マイクロフィルム用資料

ISSN 0386－5878
土木研究所資料第3762号

土木研究所資料

平成11年度
交通環境研究室
研究成果報告書

平成12年12月

建設省土木研究所
環境部交通環境研究室

Copyright © (2000) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
第3762号2000年12月

平成11年度
交通環境研究室
研究成果報告書

交通環境研究室　室　　長　大西　博文
主任研究員　山田　俊哉*1
主任研究員　上坂　克巳
主任研究員　近藤　　升
研　究　員　木村　健治
研　究　員　大城　　温
技　　官　川上　篤史
技　　官　青木　理恵*2
交流研究員　今堀るみ子*3
交流研究員　大野　順通

要　旨

平成11年度に交通環境研究室が道路事業に関連して、道路交通騒音や大気汚染の予測と対策、自然環境に調和した道路整備、地球温暖化防止、道路事業の環境アセスメント技術に関する研究を行った成果の報告である。

キーワード：道路交通騒音、大気汚染、沿道の自然環境、地球温暖化、環境アセスメント

＊1　所属：地域振興整備公団　都市整備計画部調査課
＊2　所属：建設省土木研究所施設課
＊3　交流研究員在職期間（平成11年４月から平成12年３月まで）

ま　え　が　き

道路は私たちの豊かな暮らしと経済活動を支える重要な社会基盤です。しかし、経済の発展、社会ニーズの多様化とともに環境に対する認識が高まり、自動車の騒音や排気ガスによる大気汚染、道路が動植物の生息・生育域に及ぼす影響、またCO_2等の温室効果ガスによる地球温暖化問題などが従来に増して注目されてきています。一方、平成９年６月に環境影響評価法が公布され、これに基づく新しい制度の下で環境アセスメントが平成１１年６月から全面的に施行されました。

環境と調和した道づくりを進めるには、道路によるこれらの影響を調査・予測・評価し、有効な対策を実施する必要があります。そこで、私たち当交通環境研究室では、道路交通騒音や大気汚染の予測と対策に関する研究、自然環境に調和した道路整備に関する研究、地球温暖化防止に関する研究、道路事業の環境アセスメント技術に関する研究と様々な技術の研究開発を進めています。

このような中で、本報告書は平成１１年度に交通環境研究室が実施した研究の成果及び発表論文をとりまとめたものです。本報告書が道路事業に関係する方々に活用され、お役立て頂ければ幸いです。

平成１２年１２月

建設省土木研究所
環境部交通環境研究室

目　次

まえがき

1．交通環境研究室の紹介 ……1

2．平成１１年度の研究概要 ……5

3．平成１１年度の研究成果

3.1　道路交通騒音に関する研究

（１）騒音対策新技術の予測・評価に関する調査 ……（道路事業調査費）… 15

（２）低騒音舗装の機能性向上に関する試験調査 ……（道路事業調査費）… 17

（３）高架構造物音の分析 ……（地方建設局等依頼経費）… 19

（４）騒音の重点化予測手法（高架裏面反射）……（地方建設局等依頼経費）… 21

（５）排水性舗装の騒音低減効果実態調査 ……（地方建設局等依頼経費）… 23

（６）多孔質弾性舗装に関する調査 ……（地方建設局等依頼経費）… 25

3.2　大気汚染に関する研究

（７）微生物による窒素酸化物分解機能を
活用した大気浄化技術に関する研究 ……（試験研究費）… 27

（８）環境アセスメント技術に関する調査 ……（道路事業調査費）… 29

（９）浮遊粒子状物質等の予測手法の拡充に関する調査 ……（道路事業調査費）… 31

（１０）大気汚染の予測・低減技術に関する調査 ……（道路事業調査費）… 33

（１１）SPMの二次生成物質、PM2.5、巻き上げ粉塵等の
道路沿道実態の調査 ……（地方建設局等依頼経費）… 35

（１２）道路環境アセスメントマニュアルの運用に関する調査 ……（地方建設局等依頼経費）… 37

3.3　沿道の自然環境に関する研究

（１３）道路におけるビオトープネットワークの計画手法の開発 ……（建設技術研究開発調査費）… 39

（１４）道路におけるビオトープの整備手法の開発 ……（建設技術研究開発調査費）… 41

（１５）道路による動物の生息域への影響低減技術の調査研究 ……（道路事業調査費）… 43

（１６）環境保全措置の効果についての
エコロード等による追跡調査 ……（地方建設局等依頼経費）… 45
（１７）凍結防止剤の自然環境への影響実態の調査 ……（地方建設局等依頼経費）… 47
（１８）路面排水実態の調査 ……（地方建設局等依頼経費）… 49

３.４　地球環境に関する研究
（１９）低公害大型車等の導入が都市交通環境
に与える影響に関する調査 ……（街路交通調査費）… 51
（２０）都市域の交通部門における温暖化防止施策
の総合的評価に関する研究 ……（地球環境研究総合推進費）… 53

３.５　戦略的環境アセスメントに関する研究
（２１）戦略的環境アセスメントに関する研究 ……（行政部費）… 73

３.６　道路交通振動に関する研究
（２２）道路交通振動の環境アセスメント技術
の高度化に関する試験調査 ……（道路事業調査費）… 77

４．発表論文等
４.１　道路交通騒音に関する研究
（１）種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究 ……（騒音制御）… 79
（２）道路交通騒音の現状と対策 ……（騒音制御）… 91
（３）これからの低層遮音壁 ……（騒音制御）… 95
（４）幹線道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法 ……（騒音制御）… 101
（５）道路に直面した単独建物および建物列後方
における等価騒音レベルの簡易計算方法 ……（騒音制御）… 113
（６）道路に面した市街地における
区間平均等価騒音レベルの計算方法 ……（騒音制御）… 125
（７）多孔質弾性舗装の自動車走行騒音低減効果 ……（騒音制御）… 137
（８）道路橋から発生する低周波音の実態と予測方法
……（日本音響学会騒音振動研究会資料）… 147
（９）沿道建物の一般的な防音性能について ……（日本音響学会騒音振動研究会資料）… 155

（１０）全国の直轄国道沿道における騒音実態について
－平成１０年度道路環境センサスの調査結果より－
……（日本音響学会騒音振動研究会資料）… 167
（１１）低層遮音壁の騒音低減効果とその設計 ……（土木技術資料）… 171
（１２）道路環境センサスデータによる幹線道路沿道の騒音実態 …… （土木技術資料） … 177
（１３）高架道路の裏面反射音の予測計算手法 ……（土木技術資料）… 181
（１４）空隙率別排水性舗装の騒音低減効果
……（日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集）… 185
（１５）アクティブソフトエッジ遮音壁の開発
－固定音源及び移動音源に対する屋外実験結果－
……（日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集）… 189
（１６）平面・高架併設道路の騒音予測手法 …… （日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集） … 193
（１７）低層遮音壁の設計方法について ……（日本道路会議一般論文集（Ａ））… 197
（１８）アクティブソフトエッジ遮音壁の開発
－屋外実験結果－ ……（日本道路会議一般論文集（Ａ））… 199
（１９）多孔質弾性舗装の排水機能について …… （日本道路会議一般論文集 （Ａ）） … 201
（２０）多孔質弾性舗装の耐火性に関する調査 …… （日本道路会議一般論文集 （Ａ）） … 203
（２１）多孔質弾性舗装の開発に関する共同研究について …… （日本道路会議一般論文集 （Ａ）） …205
（２２）Development of the Noise Barrier using Active Controlled Acoustical Soft Edge
-Part 1:Control Algorithm ,Consistency with Active and Passive Performance
and 2m Length Prototype Test in Anechoic Room-
……（ACTIVE 99 Proceedings）… 207
（２３）NOISE DIRECTIVITY OF VEHICLES ON ACTUAL ROAD
……（Proceedings of inter-noise 99）… 219
（２４）SIMPLE METHOD FOR CALCULATING SOUND ATTENUATION
BY TRIPLE NOISE BARRIERS ……（Proceedings of inter-noise 99）… 223
（２５）NEW TYPE OF NOISE BARRIER ALONG THE EXPRESSWAY
……（Proceedings of inter-noise 99）… 227
（２６）RELATIONSHIP OF CHANGE IN NOISE REDUCTION OF POROUS ROAD
PAVEMENT AND ACCUMULATED TRAFFIC VOLUME
……（Proceedings of inter-noise 99）… 233
（２７）多孔質舗装の吸音特性と騒音低減効果 ……（日本音響学会講演論文集）… 237

（２８）排水性舗装における騒音低減効果 ……（日本音響学会講演論文集）… 239
（２９）排水性舗装上を走行する自動車の累積交通量とタイヤ近接音の関係について
……（日本音響学会講演論文集）… 241
（３０）ドイツの騒音予測手法 RLS-90 による市街地の L_{Aeq} の推計結果と実測値の比較
……（日本音響学会講演論文集）… 243
（３１）二層式排水性舗装の騒音低減効果について ……（日本音響学会講演論文集）… 245
（３２）排水性舗装の空隙率測定方法と吸音率の関係について ……（日本音響学会講演論文集）… 247
（３３）建物群背後における道路交通騒音の予測・評価 ……（日本音響学会講演論文集）… 249
（３４）空隙率別排水性舗装の騒音低減効果と吸音特性 ……（土木研究所研究発表会論文集）… 253
（３５）排水性舗装の自動車走行騒音低減効果 ……（環境管理）… 257
（３６）排水性舗装による自動車走行騒音の低減に関する検討 ……（自動車研究）… 265

4.2　大気汚染に関する研究

（３７）微生物を利用した大気中の窒素酸化物除去に関する基礎実験
……（土木技術資料）… 269
（３８）沿道における大気汚染予測に用いる自動車の排出係数について
……（土木技術資料）… 275
（３９）道路特殊部における大気質の予測手法 ……（土木技術資料）… 279
（４０）道路沿道の弱風時拡散について ……（大気環境学会年会講演要旨集）… 285
（４１）道路沿道の有風時拡散について ……（大気環境学会年会講演要旨集）… 287
（４２）大気質予測に用いる気象データの代表性について
……（日本道路会議一般論文集（A））… 289
（４３）沿道の大気質予測における点煙源配置について
……（日本道路会議一般論文集（A））… 291
（４４）沿道における二酸化窒素濃度の予測に用いる NOx 変換式
……（環境システム研究）… 293
（４５）沿道における二酸化窒素濃度の予測に用いる年間 98%値等の換算式
……（環境システム研究）… 299
（４６）沿道の浮遊粒子状物質濃度の予測手法 ……（環境工学研究フォーラム講演集）… 305
（４７）沿道における大気質予測のための現地調査時期および期間
……（環境工学研究フォーラム講演集）… 309

4.3　沿道の自然環境に関する研究

（48）A POSSIBILITY OF ESTABLISHING
THE ECOLOGICAL NETWORK USING ROAD SPACE
…… （PIARC（世界道路会議）） … 313

（49）PLANNING METHOD OF ECOLOGICAL NETWORK AND ROAD PROJECTS
……（Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies） … 331

（50）道路照明が動植物に与える影響 …… （日本道路会議一般論文集（A）） … 339

（51）道路のり面の鳥類による利用状況 …… （日本道路会議一般論文集（A）） … 341

（52）植物の生育場所としてみた道路のり面とビオトープネットワークについて
…… （環境工学研究フォーラム講演集） … 343

（53）道路事業における生態系の評価手法 …… （土木技術資料） … 347

（54）道路空間を利用した生態系ネットワークの構築の可能性
…… （日蘭シンポジウム講演資料集） … 351

（55）道路空間を活用したビオトープ整備手法に関する研究
－地表徘徊性昆虫の周辺緑地から道路の盛土のり面への侵入可能性の検討－
…… （環境部交流研究員研究発表会） … 361

（56）路面排水が公共用水域に及ぼす影響
（凍結防止剤の散布による水質変化と水生生物への影響）
…… （環境部交流研究員研究発表会） … 367

4.4　その他の研究

（57）都市域における路面排水汚濁負荷流出量 …… （環境工学研究フォーラム講演集） … 371

（58）路面排水実態調査の結果について …… （日本道路会議一般論文集（A）） … 375

（59）自動車の CO2 排出量と旅行速度との関係 …… （日本道路会議一般論文集（A）） … 377

（60）沿道生活環境の保全技術の研究開発 …… （道路） … 379

4.5　記事等

（61）オランダの環境 NGO …… （土木技術資料） … 383

（62）沿道における窒素酸化物除去技術について …… （土木技術資料） … 385

（63）「道路と生態系ネットワーク」に関する日蘭ワークショップが開催される
…… （土木技術資料） … 387

（64）騒音は音で制す（ANC） …… （読売新聞） … 389

（６５）逆位相波で騒音低減（ANC）……（橋梁新聞）…391
（６６）Active Control of Road Traffic Noise ……（PWRI NEWS LETTER）…393
（６７）道路による生息域の分断防止と生態系ネットワークの形成に向けて
……（高速道路と自動車）…395
（６８）自動車排出ガス問題の本質 CO2 と NOx のやっかいな関係 ……（サイアス）…399
参考
交通環境研究室における研究活動 ……403
発表論文等一覧 ……405
出典一覧表 ……411
交通環境研究室メンバー ……415

１．交通環境研究室の紹介

1．交通環境研究室の紹介

概　　要

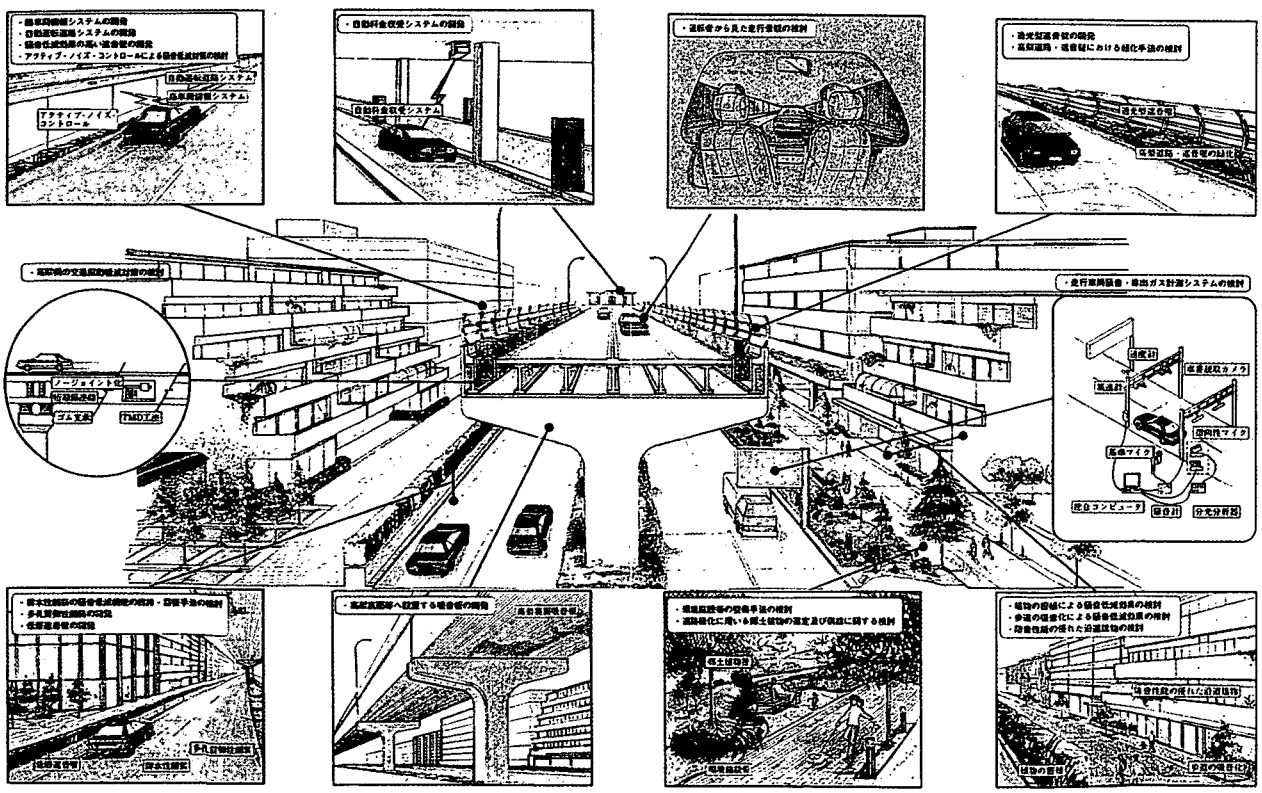
交通の視点から環境を考える場合、環境要素は大きく生活環境（大気汚染、騒音、振動等）、自然環境（植物、動物、生態系等）及び地球環境（地球温暖化、生物多様性等）に分けられます。交通環境研究室では、これら環境要素の予測・評価・対策技術に関する研究、開発を行っています。

幹線道路の沿道では大気汚染や騒音が重大な社会問題となっています。1995 年には最高裁判所において国道４３号訴訟に対する判決が下され、騒音等による生活妨害が認容されました。1998 年には西淀川訴訟が、1999 年には川崎訴訟が和解に至り、また 2000 年には尼崎訴訟の一審判決が下され粒子状物質による健康影響及び一定の環境濃度以上の自動車排ガス排出差止めが認められました。そこで、沿道の生活環境の改善を一層進めるため、道路交通が生活環境に及ぼす影響の予測・評価技術や有効な対策技術の研究を行っています。

また、道路整備においては周辺の自然環境との調和が重要な課題となっています。貴重種だけでなく普通種、さらには地域の生態系までも視野に入れて、自然環境と調和した道づくり（エコロード）が求められています。このため、ミティゲーション技術、ビオトープの創出技術等を取り入れて、生態的ネットワークの計画・整備手法、種々の対策手法の調査研究を行っています。

さらに、近年、世界的な問題となっている地球温暖化に対して、1997 年の第 3 回気候変動枠組条約締約国会議で合意された 6%の温室効果ガス排出削減目標達成のため、我が国も産業、民生、交通等の各部門において排出削減施策の実施が必要とされています。そこで、道路交通から排出される二酸化炭素を低減するための各種施策等に関し研究しています。

一方、我が国でもようやく 1998 年に環境アセスメントが法制化されました。これに伴い、環境アセスメントの実施方法が変更されましたが、道路事業の環境アセスメントの技術手法に関し上記の研究成果等を用いて改定作業を進めています。

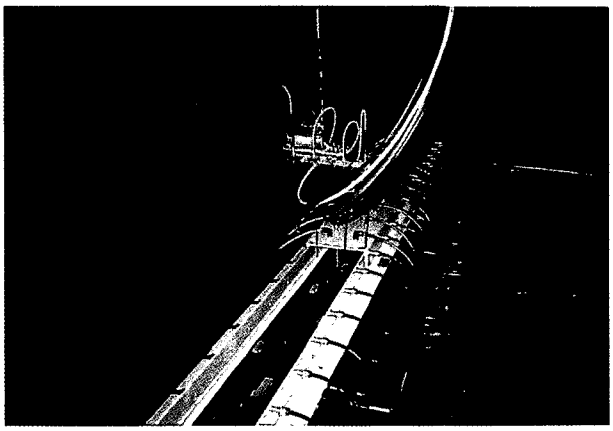


快適な生活環境をつくるための開発技術

研究内容

大気汚染の予測と対策に関する研究

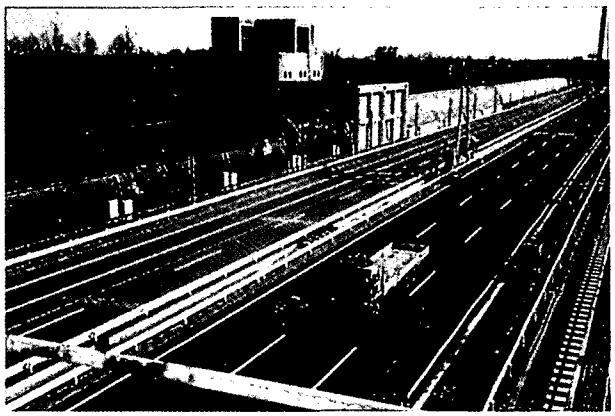
大都市圏を中心として、幹線道路の沿道では、自動車の排出ガスによる大気汚染が問題となっており、健康的で豊かな生活を送るために、これまで以上に大気汚染から生活環境を守っていく必要があります。そこで、沿道における大気汚染の予測及び対策のため、「沿道の大気汚染予測に用いる排出係数」、「局地地形における大気汚染予測手法」、「広域的な大気汚染予測手法」、「交通施策による大気汚染の低減手法」、「浮遊粒子状物質の予測手法」、「微生物による大気浄化技術」に関する研究を行っています。



堀割道路模型を用いたガス拡散状況に関する実験

道路交通騒音の予測と対策に関する研究

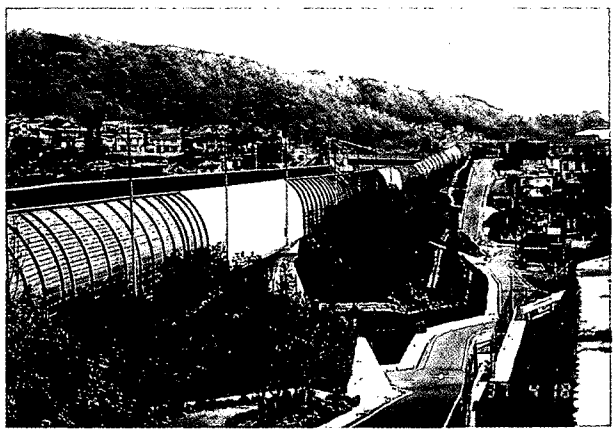
幹線道路の沿道では騒音レベルが高く、その低減対策が求められています。そこで、「多孔質弾性舗装等の低騒音舗装」等の効果の大きい騒音対策や、「低層遮音壁」、「アクティブ・ノイズ・コントロール・システム」等の新しい対策手法について研究開発を行っています。また、道路交通騒音の予測については、「種々の遮音壁を設置した場合や、建物群背後における道路交通騒音の予測手法」及び「排水性舗装等による騒音低減効果の予測手法」に関して研究しています。



多孔質弾性舗装の騒音低減効果に関する実験

自然環境に調和した道路整備に関する研究

地域の自然環境に調和した道路整備を進めるため、自然環境への影響を緩和する技術（ミティゲーション技術）として「道路による動物の生息域への影響低減技術」、「沿道の自然環境保全に関する調査」、「凍結防止剤の自然環境への影響実態の調査」、「路面排水の実態調査」等の調査研究を行っています。また、環境施設帯及びインターチェンジ等の道路空間を利用し、動植物の生息域を有機的につなぐ生態的ネットワークの計画や整備の手法についての技術として「生態系の保全・生息空間の創出技術の開発」等に関して研究しています。



ビオトープとして期待される道路空間

地球温暖化防止に関する研究

1997 年の COP3（地球温暖化防止京都会議）において、2008～2012 年に 1990 年比で 6%の温室効果ガス排出量の削減が合意されました。そこで、これを達成するために温室効果ガスの大部分を占める CO_2 排出量の削減に向け、「都市交通部門における CO_2 排出量の予測モデル」や「CO_2 排出量削減施策の評価手法」に関する研究を行っています。

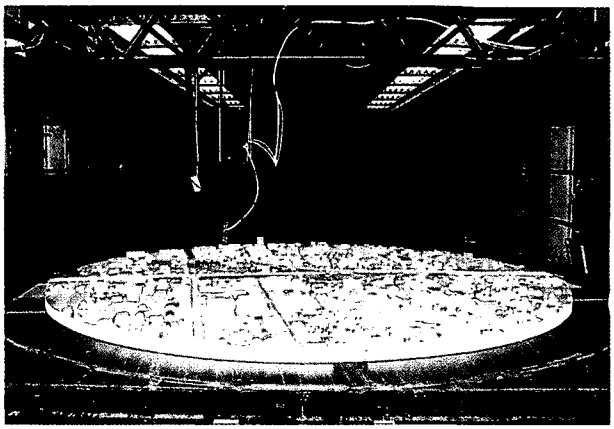
道路事業の環境影響評価技術に関する研究

環境影響評価制度の法制化に伴い、道路事業をはじめとする各種事業の環境アセスメントの実施方法が変わりました。このため、道路事業について現行の環境アセスメント技術手法の改定に向け、最新の科学的知見に基づき、新たな評価項目も加えて種々の環境要素について調査・予測・評価手法に関する研究を行っています。

主な実験施設

大気汚染実験施設

大気汚染実験施設にある拡散風洞は、道路周辺の大気拡散に関する模型実験を行うことにより、道路周辺における大気汚染の予測手法の開発や、既存の手法では困難である複雑な道路構造や地形における大気汚染状況の予測などに利用されています。拡散風洞では、風洞内に道路や地形の模型を設置し、実際の風速等を考慮した風を吹かせることにより、道路周辺における大気拡散の性状を再現することができます。また、風洞内には自動車模型走行装置を設置できるので、自動車の走行風による大気拡散状況を再現することも可能です。

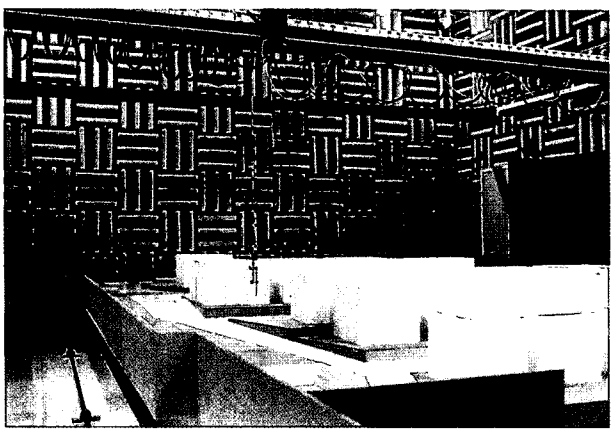


地形模型を用いたガス拡散に関する模型実験
（大気汚染実験施設・拡散風洞）

騒音実験施設

騒音実験施設は、無響室と残響室と呼ばれる音響特性の異なる 2 種類の実験室から構成されており、道路交通騒音の伝搬特性の測定、対策手法の開発などの調査研究に利用されています。無響室は、壁面で音を完全に吸収することにより、自由音場を室内に再現します。この部屋では道路交通騒音の予測や伝搬特性の研究のための模型実験を行います。

残響室は、壁面仕上げ、不整形な室内の形状、拡散板設置などにより、完全な拡散音場を再現します。この部屋では音響材料の残響室法吸音率や遮音壁の音響透過損失等の音響特性を測定します。



堀割道路模型を用いた音響レベル分布に関する模型実験
（騒音実験施設・無響室）

対外研究活動

技術指導

道路整備に伴う環境影響評価・沿道環境保全対策等に関する技術的な指導を地方建設局、地方公共団体等に対して、さらには海外技術協力として発展途上国に対しても行っています。また、建設大学校、地方公共団体等の研修機関における研修に講師として協力しています。

学会等活動

土木学会、日本音響学会、日本道路会議、道路関係諸機関等の主催する委員会の委員として活動しています。また、土木学会学術講演会、日本音響学会研究発表講演会、インターノイズ（騒音制御工学国際会議）等で、研究成果を発表しています。

研究交流

次のような研究を国際機関も含む国内外の研究所と共同で実施しています。

- 「道路交通からの温室効果ガス排出に関する研究」：経済協力開発機構(OECD)
- 「日米道路科学技術に関するワークショップ」：米国運輸省連邦道路庁(FHWA)
- 「日英道路科学技術に関するワークショップ」：英国道路庁(HA)
- 「低騒音舗装とタイヤ路面騒音の低減に関する研究」：（財）日本自動車研究所(JARI)
- 「多孔質弾性舗装の開発に関する研究」：スウェーデン道路交通研究所(VTI)
- 「道路による生息域分断の防止技術に関する研究」：オランダ運輸公共事業水管理省道路水理技術研究所(DWW)

研究成果

発表論文

1)「沿道の浮遊粒子状物質濃度の予測手法」，第 36 回環境工学研究フォーラム，1999 年 12 月
2)「道路特殊部における大気質の予測手法」，土木技術資料，Vol.42，No.1，2000 年 1 月
3)「沿道における大気汚染予測に用いる自動車の排出係数について」，土木技術資料，Vol.42，No.1，2000 年 1 月
4)「種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究」，騒音制御，Vol.23，No.2，1999 年
5)「幹線道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法」，騒音制御，Vol.23，No.3，1999 年
6)「Attenuation factors of vehicle due to drainage asphalt pavement」，Journal of Acoustical Society of Japan(E)，Vol.20，No.1，1999 年
7)「アクティブソフトエッジ遮音壁の開発－屋外実験結果－」，日本道路会議第 23 回一般論文集（A），1999 年 10 月
8)「多孔質弾性舗装の自動車走行騒音低減効果」，騒音制御，Vol.24，No.1，2000 年
9)「生態系ネットワークの計画手順に関する一考察－特に道路整備の視点から」，土木技術資料，Vol.40，No.5，1998 年 5 月
10)「A possibility of establishing the ecological network using road space」，Proceedings of Netherlands-Japan symposium，1999 年 11 月
11)「道路事業における生態系の評価手法」，土木技術資料，Vol.42，No.1，2000 年 1 月
12)「都市の交通部門における二酸化炭素排出量削減効果推計モデル」，第 21 回土木計画学研究発表会，1998 年 11 月

開発技術・技術指針

1)「道路環境整備マニュアル」，（社）日本道路協会，1989 年 1 月
2)「道路環境影響評価要覧」，建設省道路局企画課道路環境対策室，（財）道路環境研究所,道路環境研究会，1992 年 9 月
3)「新型遮音壁」，建設技術評価制度，1994 年
4)「自然との共生をめざす道づくり－エコロード・ハンドブック」，建設省道路局道路環境課，建設省土木研究所環境部，（財）道路環境研究所，エコロード検討委員会，1995 年 12 月
5)「低騒音舗装の概説－設計・積算・施工・検査－」，建設省道路局道路環境課，低騒音舗装研究会，1996 年 12 月
6)「騒音低減効果の大きい吸音板」，建設技術評価制度，1997 年
7)「道路環境技術開発の新たな展開－快適な生活環境をつくる技術開発を目指して－」，道路環境技術研究会，1997 年 3 月
8)「建設省所管道路事業環境影響評価技術指針」，建設省令第 10 号，1998 年 6 月

２．平成１１年度の研究概要

２．平成１１年度の研究概要

交通環境研究室での平成１１年度の研究課題は２２項目となっており、研究内容別には次のように分類することができる。

１　道路交通騒音に関する研究

（１）騒音対策新技術の予測・評価に関する調査
（２）低騒音舗装の機能性向上に関する試験調査
（３）高架構造物音の分析
（４）騒音の重点化予測手法に関する調査
（５）排水性舗装の騒音低減効果実態調査
（６）多孔質弾性舗装に関する調査

２　大気汚染に関する研究

（７）微生物による窒素酸化物分解機能を活用した大気浄化技術に関する研究
（８）環境アセスメント技術に関する調査
（９）浮遊粒子状物質等の予測手法の拡充に関する調査
（１０）大気汚染の予測・低減技術に関する調査
（１１）SPM の二次生成物質、PM2.5、巻き上げ粉塵等の道路沿道実態の調査
（１２）道路環境アセスメントマニュアルの運用に関する調査

３　沿道の自然環境に関する研究

（１３）道路におけるビオトープネットワークの計画手法の開発
（１４）道路におけるビオトープの整備手法の開発
（１５）道路による動物の生息域への影響低減技術の調査研究
（１６）環境保全措置の効果についてのエコロード等による追跡調査
（１７）凍結防止剤の自然環境への影響実態の調査
（１８）路面排水実態の調査

４　地球環境に関する研究

（１９）低公害大型車等の導入が都市交通環境に与える影響に関する調査
（２０）都市域の交通部門における温暖化防止施策の総合的評価に関する研究

５　戦略的環境アセスメントに関する研究

（２１）戦略的環境アセスメントに関する研究

6　道路交通振動に関する研究

（２２）道路交通振動の環境アセスメント技術の高度化に関する試験調査

各課題について、研究概要を次に示す。

【平成１１年度　研究概要】

課　題　名	研　究　概　要
１．騒音対策新技術の予測･調査に関する調査 研究期間　平１１～平１４ 担当者　大　西　博　文 　　上　坂　克　巳 　　木　村　健　治 予算科目　道路事業調査費	本研究では、近年新しく開発された道路交通騒音対策の新技術を用いた場合の騒音予測・評価方法について研究を行っている。平成１１年度は、環境アセスメントの重点化予測を行う場合などに必要な音響模型実験の精度向上を図るために、模型材料の実効的流れ抵抗に関する研究を行った。この結果、スポーツグラウンドや草地などに相当する道路沿道の地面を模型実験で再現する場合には、麻やタオル地（縮尺比 1/10 の場合）を使用すればよいことなどを確認した。
２．低騒音舗装の機能性向上に関する試験調査 研究期間　平６～平１１ 担当者　大　西　博　文 　　近　藤　升 　　青　木　理　恵 予算科目　道路事業調査費	排水性舗装は排水機能と騒音低減機能を有しており、路面滞水や道路交通騒音に対する対策として有効である。しかし、車両の通過台数の増加に対応して舗装の空隙が詰まり、その機能がしだいに失われていくといわれている。そのため、排水性舗装の経年的な騒音低減特性を明らかにすることを目的とし、平成６年に一般国道に試験施工された４種の排水性舗装および密粒舗装の区間において騒音測定を行ってきた。その結果、排水性舗装の施工６年目の騒音低減効果はどの舗装でも２～３dBであり、良好な減音効果を維持していることが分かった。
３．高架構造物音の分析 研究期間　平１１ 担当者　大　西　博　文 　　上　坂　克　巳 予算科目　地方建設局等依頼経費	道路橋 18 橋における高架構造物音等の測定データの分析を行った。まず、それら橋梁構造並びに単独大型車両走行時における速度と高架構造物、床版の振動加速度等のピークレベルを整理し、ピークレベルの周波数分析を行った。次に大型車両の走行速度と高架構造物音の関係及び橋梁構造と高架構造物音の関係について分析した。その結果、高架構造物音と低周波音は床版の振動加速度と密接な関係を有し、高架構造物音の速度依存性が認められた。また鋼橋における高架構造物音はコンクリート橋を上回る可能性が示唆された。
４．騒音の重点化予測手法 （高架裏面反射） 研究期間　平１１ 担当者　大　西　博　文 　　上　坂　克　巳 　　木　村　健　治 予算科目　地方建設局等依頼経費	本研究では、平面道路上に高架道路が併設された場合における騒音の予測方法の適用範囲を明らかにした。まず、遮音壁の高さや設置位置が異なる３ケースの模型実験を行った後、これに対応する予測計算をスリット法により行い、模型実験と予測計算の結果を比較した。この結果、遮音壁を高架道路の両端よりも外側に設置した条件では予測式を適用できることを確認した。

【平成１１年度　研究概要】

課　題　名	研　究　概　要
5．排水性舗装の騒音低減効果実態調査 研究期間　平１１ 担当者　大　西　博　文 　　近　藤　升 予算科目　地方建設局等依頼経費	排水性舗装上を走行する自動車の騒音レベルは、施工後徐々に上昇していく。しかし、騒音レベルの上昇の程度に地域差があるため、その主たる影響要因が施工直後からの交通量(累積交通量、大型車累積交通量)によるものなのか、経過時間によるものかはわかっていなかった。平成11年度は、過年度分を合わせて延べ37箇所の排水性舗装区間の路側における Laeq と試験車のパワーレベル及びタイヤ近接音の測定結果を用い、排水性舗装の騒音レベルの経年変化について検討した。その結果、騒音レベルの上昇は経過月数や累積交通量よりも大型車累積交通量とより強い相関を持ち、上昇の程度は対数関数的に推移することがわかった。また、パワーレベルとタイヤ近接音の間にある程度の関係が認められた。
6．多孔質弾性舗装に関する調査 研究期間　平１１ 担当者　大　西　博　文 　　近　藤　升 予算科目　地方建設局等依頼経費	多孔質弾性舗装は、排水性舗装の騒音低減効果が3dB程度に対して10dBを越える効果がある。このため、将来の低騒音舗装として期待されているが、湿潤時すべり摩擦性能の向上が大きな課題であった。11年度は湿潤時すべり摩擦性能を向上させた4種類の試作品を試験走路に敷設し、各試作品の騒音測定を行った。その結果から、多孔質弾性舗装の騒音低減効果は、舗装材料の硬度と連続空隙率に大きく影響されていると考えられる。特に、タイヤ近接音に関しては舗装材料の硬度の影響が顕著に現れた。
7．微生物による窒素酸化物分解機能を活用した大気浄化技術に関する研究 研究期間　平１１～１３ 担当者　大　西　博　文 　　山　田　俊　哉 　　大　城　温 予算科目　行政部費	当研究室では、微生物の働きを利用し、沿道の窒素酸化物を吸収し無害な窒素と酸素を排出するシステムの開発を行っている。本システムは、大気中の窒素酸化物を吸収液に溶解させる吸収塔と、吸収液中の窒素酸化物を窒素に還元する微生物反応槽とに別れており、吸収液だめ及び前処理槽を介して吸収液が循環している。11年度は、吸収塔の運転条件が吸収効率に及ぼす影響と微生物反応槽の仕様に関して検討した。これらの検討結果を踏まえ、容量が30L程度のシステムを実験室内で稼動させ、二酸化窒素濃度が0.1ppmの大気を毎分250L/minで通気したところ、本システムは前述した大気中の二酸化窒素の約20％を除去するとの結果が得られた。

課　題　名	研　究　概　要
８．環境アセスメント技術に関する調査 研究期間　平１０～平１３ 担当者　大　西　博　文 上　坂　克　巳 山　田　俊　哉 大　城　温 予算科目　道路事業調査費	谷や盆地のような局所的に閉じた地形においては、逆転層発生時には大気汚染物質が滞留し、大気汚染の影響が顕著になると考えられるが、現在のところこのような地形による逆転層の影響を予測できないため、その予測手法の確立が必要である。11年度は、谷内部の逆転層の出現状況および気象状況を把握するため、詳細な現地気象観測および同地点における大気拡散実験を実施した。また、そこで得られたデータをもとに、局地気象モデルにより接地逆転層の出現しやすい気象パターンについて気象の再現計算を行い、実際の気象状況との整合性を検討した。その結果、概ね気象状況を再現できていることが確認できた。
９．浮遊粒子状物質等の予測手法の拡充に関する調査 研究期間　平１１～１３ 担当者　大　西　博　文 山　田　俊　哉 大　城　温 予算科目　道路事業調査費	浮遊粒子状物質を構成する成分は、発生源別にそれぞれ特徴を有している。本研究では、自動車の排気管から排出される粒子状物質を捕集した試験ろ紙を分析することにより、その成分の特徴を整理した。その結果、ガソリン車の成分は、道路端における浮遊粒子状物質の成分と比べ、硫酸イオンが多く、アンモニウムイオンや硝酸イオンが少ない傾向がみられ、ディーゼル車の成分は、有機性炭素と元素状炭素の合計が全体の４分の３程度を占めていた。また、ディーゼル重量貨物車は速度が増加すると有機性炭素と硝酸イオンが減少し、縦断勾配が増すと、元素状炭素及びアンモニウムイオンが増加し、有機性炭素が減少する傾向がみられた。
１０．大気汚染の予測・低減技術に関する調査 研究期間　平７～平１１ 担当者　大　西　博　文 山　田　俊　哉 大　城　温 予算科目　道路事業調査費	本研究は、交通施策による大気汚染低減効果の予測を目的として実施している。11 年度は、予測に必要な広域的な交通－環境シミュレーションモデルを構築するために、大気汚染物質の排出・拡散シミュレーションの入力データとなる、交通施策による交通状況へのインパクトの推計について検討した。ここでは、交差点立体化、ロードプライシングの２つの施策を取り上げ、これら施策の交通状況へのインパクトの推計手法を検討するとともに、交通シミュレーションモデル SOUND を用いて、これらの施策による時間別の交通状況がどう改善するかを推計した。

【平成１１年度　研究概要】

課　題　名	研　究　概　要
１１．SPMの二次生成物質、PM2.5、巻き上げ粉塵等の道路沿道実態の調査 研究期間　平１１ 担当者　大　西　博　文 山　田　俊　哉 大　城　温 予算科目　地方建設局等依頼経費	一般道路の沿道でPM2.5の濃度を測定することにより、沿道におけるPM2.5の実態を把握した。また、測定に用いた3手法を比較し、各手法の特徴を整理した。その結果、沿道のPM2.5は、バックグラウンドと比べ、ほとんどの時間帯で濃度が高かった。また、フィルター振動法及びβ線吸収法は、米国のEPAが標準手法としている重量測定法に対し、濃度が低く測定され、フィルター振動法とβ線吸収法とを比較するとフィルター振動法のほうが濃度が若干低く測定される傾向がみられた。
１２．道路環境アセスメントマニュアルの運用に関する調査 研究期間　平１１ 担当者　大　西　博　文 山　田　俊　哉 大　城　温 予算科目　地方建設局等依頼経費	道路交通に起因する浮遊粒子状物質のうち、過年度までの調査で排気管から粒子として排出される量が算出されたが、この他、二次生成物質や巻き上げによる寄与があることが指摘されている。平成11年度は、沿道における二次生成物質の生成量を把握することを目的とし、車道部端から風下方向にかけての浮遊粒子状物質の濃度変化と成分変化を調査し、車道部端から風下側の濃度変化について測定結果と二次生成物質等を考慮しないで予測した結果とを比較した。その結果、排気管から排出された物質による二次生成物質が沿道のＳＰＭ濃度に及ぼす影響は確認されなかった。
１３．道路におけるビオトープネットワークの計画手法の開発 研究期間　平９～平１２ 担当者　大　西　博　文 上　坂　克　巳 川　上　篤　志 予算科目　建設技術研究開発調査費	本研究は、道路空間を活用した地域の生態系ネットワークを構築するための計画手法の開発を目指している。過年度では、生態系ネットワーク構築の計画手順として構想－基本計画－整備計画の3つの策定段階を提案し、そのうち構想段階の策定プロセスをケーススタディ等を行うことによって開発した。１１年度は、この策定プロセスを検討するのに、過去からの緑の変遷及び将来の社会環境(インフラ整備、土地利用など)の状況を検討項目に新たに取り入れ、ケーススタディを行うことによって生態系ネットワーク構想の策定プロセスの改良を行った。また、この結果より、生態系ネットワーク計画策定における構想－基本計画－整備計画の各段階で出すべきアウトプットを再整理した。

課　題　名	研　究　概　要
１４．道路におけるビオトープの整備手法の開発 研究期間　平８～１２ 担当者　大　西　博　文 上　坂　克　巳 川　上　篤　志 予算科目　建設技術研究開発調査費	道路の緑地は、都市部において生物の生息空間として重要であり、生態系ネットワークの一部として利用できると考えられる。しかし、盛土のり面の脇には側道が付随することが多く、移動能力の低い動物では側道がのり面への進入の妨げになっている可能性がある。そこで、平成 11 年度には分断の影響を受けやすい地表徘徊性の昆虫類を対象として、盛土のり面への進入可能性（側道による分断の影響）を検討した。その結果、地表徘徊性昆虫類・オサムシ科昆虫類共に、側道の幅員が増すにつれ盛土のり面と側道の反対側の近接緑地で確認された種の共通性が低下することを確認した。特に幅員 10mの側道では、オサムシ科昆虫の進入は困難になることを確認した。
１５．道路による動物の生息域への影響低減技術の調査研究 研究期間　平１０～１４ 担当者　大　西　博　文 上　坂　克　巳 川　上　篤　志 予算科目　道路事業調査費	本研究では、道路による動物の生息域の分断の影響を低減する技術の開発を目指している。１１年度にはオランダの運輸公共事業水管理省道路水利技術研究所との共同研究「道路による生息域の分断防止対策に関する研究」の一環として我が国で日蘭ワークショップを開催した。ワークショップでは日本とオランダの「道路による生息域分断の防止技術」と「生態系ネットワークの形成」に関して、具体的な整備方針や対策技術の情報交換および討議を行った。その結果、オランダでは計画－設計－施工－維持管理段階において、常に行政担当者や事業者、NGO が相互に協議を行いながら事業を進めていることがわかった。
１６．環境保全措置の効果についてのエコロード等による追跡調査 研究期間　平１１ 担当者　大　西　博　文 上　坂　克　巳 川　上　篤　志 予算科目　地方建設局等依頼経費	道路による動物の移動経路の分断による影響を緩和する対策としてボックスカルバート、コルゲートパイプ等による動物用道路横断施設が設置されている。しかし、保全対象とする動物種毎の適した設置方法や利用頻度などの効果については未解明な点が多い。そこで、今後動物用に道路横断施設を設置するためには、動物が選好する横断施設の構造や設置位置等を検討する必要がある。そこで本研究では、既設の道路において道路横断施設の動物による利用状況(動物種、利用時刻、利用頻度等)を長期にわたり低労力かつ効率的に調査する方法としてカメラ等による自動撮影方法を開発することを目的とする。

課　題　名	研　究　概　要
１７．凍結防止剤の自然環境への影響実態の調査 研究期間　平１１ 担当者　大　西　博　文 上　坂　克　巳 山　田　俊　哉 予算科目　地方建設局等依頼経費	凍結防止剤が流入する公共用水域及びその周辺において、塩化物イオン濃度を調査し、凍結防止剤が水生生物に及ぼす影響について検討した。また、凍結防止剤が陸域生物に及ぼす影響に関する既存資料を収集・整理した。その結果、凍結防止剤が河川へ流入する地点近傍の塩化物イオン濃度は、水生生物の許容濃度と比べ概ね低い値であり、許容限度を超えるのはわずかの時間のみであった。凍結防止剤が植物に及ぼす影響としては、「薬剤成分が路面から流出し根から吸収されることによる影響」と「飛散した成分が葉に付着することによる影響」とに大別され、その内容を整理した。
１８．路面排水実態の調査 研究期間　平１１ 担当者　大　西　博　文 山　田　俊　哉 予算科目　地方建設局等依頼経費	路面排水の流出状態とその水質に関する知見を得ることを目的とし、国道及び高速道路において雨水ますに流入する直前の路面排水を所定の時間間隔で採水し、流出量の測定と汚濁物質濃度の分析を行った。汚濁物質濃度は、総じて降雨初期に高く、時間の経過に伴って減少する傾向がみられた。平均値でみると、生物化学的酸素要求量と化学的酸素要求量は低い値で、浮遊粒子状物質及びノルマルヘキサン抽出物質含有量も、各々１地点で高い値となったが、他の２地点では低い値であった。蒸発残留物については、２地点で凍結防止剤の散布等の影響により高濃度が観測された。
１９．低公害大型車等の導入が都市交通環境に与える影響に関する調査 研究期間　平１１～平１３ 担当者　大　西　博　文 山　田　俊　哉 小　根　山　裕　之 大　城　温 予算科目　街路交通調査費	本研究では、低公害車等の導入により都市交通環境を改善する効果を定量的に把握することが目的である。11年度は、専門家の予測評価や自動車メーカーの開発動向の整理、将来のエネルギー需給の見通し等から、低公害車の普及シナリオを整理した。また、10年度までに作成した都市交通部門におけるCO_2排出量の予測モデルの改善と、予測可能な削減施策を拡大するためのサブモデルの作成を行った。その結果、CO_2排出量削減施策の効果は自動車走行台キロの削減による効果だけでなく、走行台キロの削減に伴う旅行速度の向上による効果も同程度以上あるという結果が得られ、道路交通の円滑化施策もCO_2排出量削減に大きく貢献することがわかった。

課　題　名	研　究　概　要
２０．都市域の交通部門における温暖化防止施策の総合的評価に関する研究 研究期間　平９～平１１ 担当者　大　西　博　文 山　田　俊　哉 小　根　山　裕　之 大　城　温 予算科目　地球環境研究総合推進費	本研究では、地球温暖化の原因となる温室効果ガスのうち二酸化炭素（CO_2）について、都市交通部門におけるCO_2排出量の予測モデルを作成し、このモデルを使ってCO_2排出量削減施策の効果を推計した。また、宇都宮市を対象とするケーススタディにより施策効果の予測を行った。11 年度は、10 年度までに作成したモデルの改善と、予測可能な削減施策を拡大するためのサブモデルの作成を行った。その結果、CO_2排出量削減施策の効果は自動車走行台キロの削減による効果だけでなく、走行台キロの削減に伴う旅行速度の向上による効果も同程度以上あるという結果が得られ、道路交通の円滑化施策もCO_2排出量削減に大きく貢献することがわかった。
２１．戦略的環境アセスメントに関する研究 研究期間　平１１～平１３ 担当者　大　西　博　文 上　坂　克　巳 予算科目　行政部費	環境アセスメントについては、現行のある程度計画が熟してから始められる事業アセスメントに加え、より早い段階で、長期政策、各種公共事業五箇年計画や広域道路網整備計画等を総合的に取り扱う戦略的環境アセスメント(SEA)の必要性が高まっている。本研究では道路事業に対してSEAを実施する方法論の基礎研究を行うもので、重要な評価項目となると考えられるCO_2についてその算定・削減にも資するものである。11年度は、道路計画を対象としてSEAを行う場合を想定し、その実施時期やCO_2発生量等の評価すべき環境要素などに関する基礎的な検討を行った。さらに、幹線道路のルート比較、道路整備五箇年計画について 、評価指標の計画方法の検討を一部行った。
２２．道路交通振動の環境アセスメント技術の高度化に関する試験調査 研究期間　平１１～平１４ 担当者　大　西　博　文 上　坂　克　巳 川　上　篤　志 予算科目　道路事業調査費	直轄国道管理調査の一環として実施されている振動測定により道路交通振動の実態を把握するとともに、交通条件および地盤状況等と振動の関係を調査し、今後の道路計画および道路管理における環境対策の立案のための基礎的資料を得ることとしている。なお、この振動測定では各地建における測定地点を３グループに分割して毎年そのうちの１グループの測定を行っている。１１年度は、グループ２の測定結果を交通条件、路面および地盤状況等の別に整理し取りまとめた。測定地点177点のうち、要請限度を超えた地点はなかった。また、道路交通振動予測式から算出された予測値と実測値を比較した結果、全体的に実測値よりも予測値の方が多少高い傾向にあった。

３．平成１１年度の研究成果

3.1　道路交通騒音に関する研究

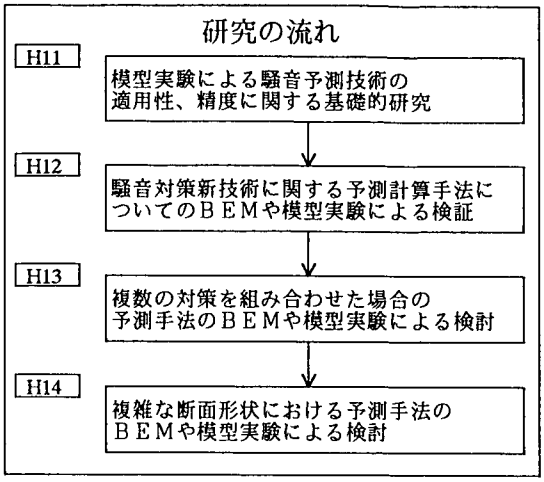
（１）騒音対策新技術の予測・評価に関する調査

研究期間：平　１１～１４
担　　当：交通環境研究室

【要旨】

本研究では、近年新しく開発された道路交通騒音対策の新技術を用いた場合の騒音予測・評価方法について研究を行っている。

平成１１年度は、環境アセスメントの重点化予測を行う場合などに必要な音響模型実験の精度向上を図るために、模型材料の実効的流れ抵抗に関する研究を行った。この結果、スポーツグラウンドや草地などに相当する道路沿道の地面を模型実験で再現する場合には、麻やタオル地（縮尺比 1/10 の場合）を使用すればよいことなどを確認した。



１．研究目的

模型実験において、道路沿道の地面の材料としてアクリル板を用いることが多い。アクリル板はコンクリートやアスファルトに相当するもので(表－１参照)、模型の表面を伝わる音をほとんど吸収しない。このため、測定される騒音レベルは他の材料を用いる場合に比べ大きい値となる。しかし、より模型実験の精度を高めるためには、地表面の音の伝わり方を適切に再現する必要がある。このため音響模型実験の精度向上を図ることを目的として、実効的流れ抵抗の種々の値に対応したに対応した模型材料の選定を行うものである。

２．研究方法

２．１　模型実験に使用する材料の実効的流れ抵抗に関する研究

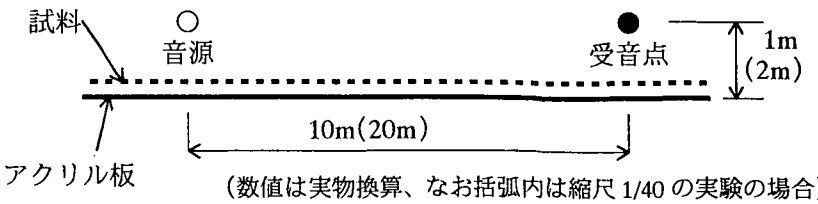
模型実験と予測計算により周波数ごとの特性を把握し、また近似の程度を調べることにより、３種類の実効的流れ抵抗（σ=75,300,1250）に対応する縮尺比別の模型材料を選定する。（σ=20000 はアクリル板が対応すると考えられるため、本研究では選定の対象としない。）

(1)模型実験

図－１のように音源、受音点、試料等を配置した。ここで音源から発生させた音について、図－１に示す受音点における音圧レベルと、自由空間において実物換算１ｍ離れた点における音圧レベルについて比較を行い、この差を 1/3 オクターブバンドごとにとりまとめた。なお、縮尺比は 1/10、1/20、1/40 の３パターンについて行った。ただし、1/40 の縮尺比では、実物換算での音源の大きさや布地の厚さが無視できなくなり、計算値と整合がとれなくなるため、音源や受音点の位置関係を高さ２ｍ、距離 20 ｍに変更し、誤差の影響を少なくした。なお、実験に用いた試料は表－２に示す 20 種類とした。

表－１　地表面の種類と実効的流れ抵抗

地表面の種類	地表面の実効的流れ抵抗(σ)
コンクリート、アスファルト	20000[kPa・s・m^{-2}]
スポーツグラウンドなどの表面の堅い地面	1250
芝地、田んぼ、草地	300
表面の柔らかい畑地、耕田	75



(数値は実物換算、なお括弧内は縮尺 1/40 の実験の場合)

図－１　模型実験材料の流れ抵抗測定における音源と受音点の位置

(2)予測計算

ASJ Model 1998のA法を用いて求めた、実効的流れ抵抗別（σ=75,300,1250）の周波数特性を求め、実験値の周波数特性との近似の程度を比較する方法により、縮尺比別の実効的流れ抵抗に対応する材料を求めた。

この方法は、直接音と模型材料に反射してくる音が位相のずれによりピーク（凸部）とディップ（凹部）を生ずるが、騒音としての重要度の高い５００Ｈｚ付近に生ずる第一ディップの近似の程度により判断するものである。これは、直達音は模型材料に関わらず一定の特性をもつが、模型材料で反射した音は材料固有の特性を持つ事に着目したものである。

３．実験結果

３．１　周波数特性の比較

計算値と実験値の周波数特性について比較したものを図－２に示す。図－２(1)は、縮尺 1/10 のときのタオル地の周波数特性であるが、σ=300 のときの周波数特性と同様の特徴を示している。また、図－２(2)は、縮尺 1/20 のときの晒し１枚の周波数特性であるが、これはσ=1,250 のときの周波数特性と同様の特徴を示している。

３．２　実効的流れ抵抗に対応した模型材料

計算値と実験値の周波数特性について比較を行った結果、縮尺比別の実効的流れ抵抗に対応した模型材料は表－３のとおりであった。

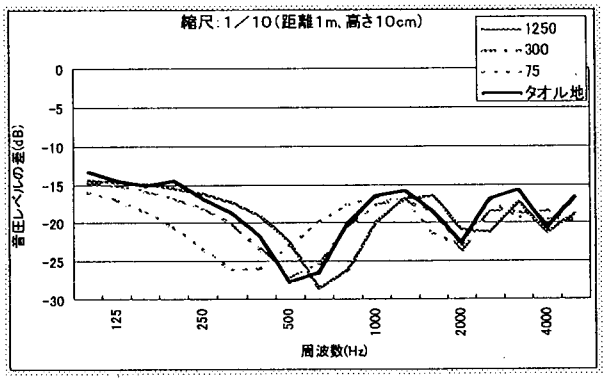
表－３　種々の実効的流れ抵抗に対応した模型材料

縮尺比	実効的流れ抵抗(σ)	模型材料
１／１０	７５	発泡ポリウレタン
	３００	タオル地
	１２５０	麻
１／２０	７５	フランネル２枚
	３００	フェルト１枚、ニット、フランネル１枚
	１２５０	晒し１枚
１／４０	７５	タオル地
	３００	晒し１枚
	１２５０	オーガンジー

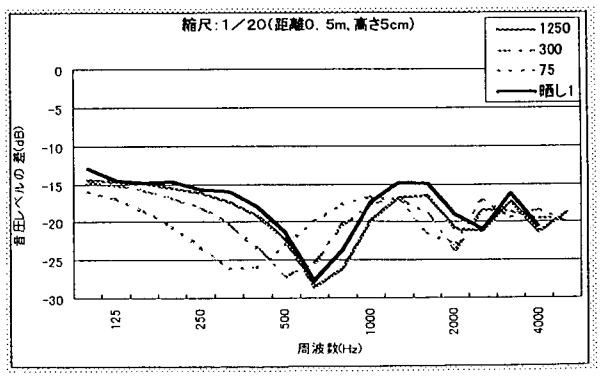
表－２　実験に用いた試料

名称	原材料	厚さ (mm)	綿密度 (g/㎡)
オーガンジー	綿 100 %	0.18	49
ジョーゼット	キュプラ 100 %	0.18	73
麻	麻 100 %	1.00	264
フランネル	綿 100 %	1.13	149
フランネル２枚	綿 100 %	2.25	149
フランネル３枚	綿 100 %	3.38	149
ベルベット	綿 100 %	1.80	314
キルティング	綿 100 %	2.25	286
ニット	ポリエステル 75 %、綿 25 %	1.25	245
デニム	綿 100 %	0.63	249
フェルト	ポリエステル 100 %	1.10	207
フェルト２枚	ポリエステル 100 %	2.20	207
フェルト２枚＋ラップフィルム	ポリエステル 100 %	1.10	
晒し	綿 100 %	0.40	114
晒し２枚	綿 100 %	0.40	114
タオル地	綿 100 %	1.00	217
難燃生地	ナイロン 100 %	0.30	208
ケント紙			176
スチレンペーパー		3.00	114
発泡ポリウレタン		5.00	70

(1)縮尺：１／１０　模型材料：タオル地



(2)縮尺：１／２０　模型材料：晒し１枚



図－２　σ=75,300,1250 のときの伝搬音の理論計算による周波数特性と、模型材料を用いた実験での伝搬音の周波数特性の比較

（音圧レベルの差は、「図－１に示す受音点における音圧レベル」－「自由空間において実物換算１ｍ離れた点における音圧レベル」）

（大西、上坂、木村）

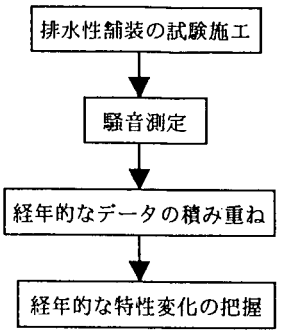
（２）低騒音舗装の機能性向上に関する試験調査

研究期間：平６～平１１
担当：交通環境研究室

【要旨】

排水性舗装は排水機能と騒音低減機能を有しており、路面滞水や道路交通騒音に対する対策として有効である。しかし、車両の通過台数の増加に対応して舗装の空隙が詰まり、その機能がしだいに失われていくといわれている。そのため、排水性舗装の経年的な騒音低減特性を明らかにすることを目的とし、平成６年に一般国道に試験施工された４種の排水性舗装および密粒舗装の区間において騒音測定を行ってきた。その結果、排水性舗装の施工６年目の騒音低減効果はどの舗装でも２～３dBであり、良好な減音効果を維持していることが分かった。

研究の流れ



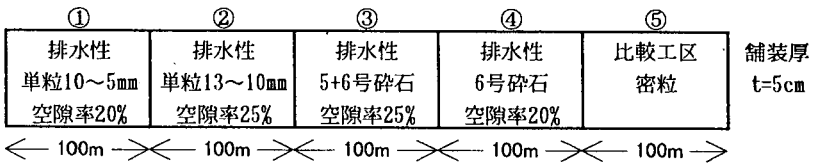
１．研究目的

一般国道 408 号に同時に施工された４種類の排水性舗装区間と密粒舗装区間において、試験車両の騒音測定を実施し、排水性舗装の経年的な騒音低減特性を把握することを目的とする。

２．研究方法

２.１　測定ケースと舗装区間

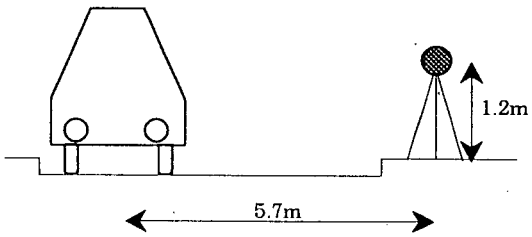
試験車両として大型車(10t)と乗用車を用い、空積載・定常走行で 40km/h、60km/h の２種類で測定を行った。また、測定対象となった舗装区間の仕様を図－１に示す。



図－１　各種舗装区間の主な仕様

２.２　騒音の測定方法

自動車の単独走行時の騒音を測定した。パワーレベル値は精密騒音計のA特性出力のピークレベル値から算出した。騒音測定箇所における自動車及びマイクロフォンの位置を図－２に示す。



図－２　自動車騒音測定箇所の道路断面図

３．研究結果

３.１　騒音のパワーレベルの経年変化

図―３は各種舗装における大型車のパワーレベルの経年変化を示したものである。これより、施工後５年目までの密粒舗装のパワーレベルと排水性舗装のパワーレベルとの差は、どの舗装仕様でも３～４dBであり、排水性舗装の経年的な騒音低減機能の低下は見られない。しかし、施工後６年目では①・④の空隙率 20%の排水性舗装において、その差が約２dBになり、排水性舗装の減音機能がやや低下している。②・③の空隙率が 25%の排水性舗装の場合は、密粒舗装のパワーレベルと排水性舗装のパワーレベルとの差が３～４dBであり、施工後６年目でも良好な減音機能を維持している。

図－４は乗用車におけるパワーレベルの経年変化を示したものである。これより、密粒舗装のパワーレベルが経年的に緩やかに上昇しており、施工後６年目のパワーレベルは施工直後の値と比較して約３dB大きい。排水性

舗装のパワーレベルも経年的に上昇しており、施工後6年目のパワーレベルは施工直後の値と比較して、すべての舗装で3～6dB大きい。

3.2　騒音低減効果の経年変化

排水性舗装の騒音低減効果を調べるために、乗用車の密粒舗装におけるパワーレベルから排水性舗装におけるパワーレベルを差し引いたものを図―5に示す。これより、施工後6年目の騒音低減効果はすべての舗装において、2～4dBであり、良好な効果が維持されていることが分かる。また、施工後2年目までは舗装仕様別の騒音低減効果の差が約4dBあるのに対して、3年目以降はその差が縮まり、約2dBの差で推移している。

3.3　自動車騒音の周波数別の経年変化について

自動車騒音の周波数別の経年変化を調べるために自動車騒音のスペクトル分析を行った。図－6は乗用車（60km/h）の密粒舗装における騒音のスペクトルから、排水性舗装（6号砕石・空隙率20%）における騒音のスペクトルを差し引いたものを示している。これより、施工後3年目以降の500Hz～2kHzの範囲内の騒音低減効果の差はほぼ3dB以内にあり、施工後3年目以降では騒音低減量の周波数別の経年変化においてもあまり差が見られないことが分かる。

4．まとめ

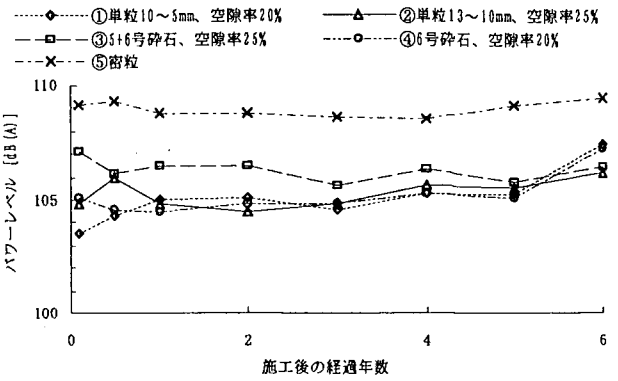
(1) 走行速度60km/hの大型車の騒音低減効果は、空隙率25%の排水性舗装の場合では、施工後6年目でも3～4dBの効果が維持されているが、空隙率20%の排水性舗装の場合では、施工後6年目で効果が約2dBに低下している。

(2) 乗用車の場合、施工後6年目の騒音低減効果はすべての排水性舗装において2～4dBであり、効果が維持されている。

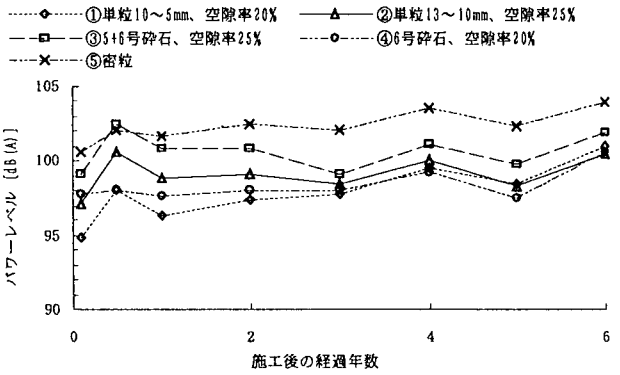
(3) 走行速度60km/hでの乗用車における舗装仕様別の騒音低減効果は施工直後には2～6dB程度と差があるものの、施工後3年目以降はその差が縮まり、2～4dB程度の効果で推移していく。

(4) 乗用車の騒音低減量を周波数分析すると、500Hz～2kHzにおいて施工後3年目以降で経年変化がほとんど見られない。

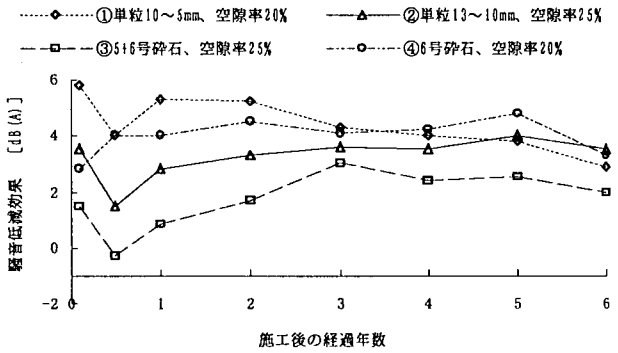
（大西、近藤、青木）



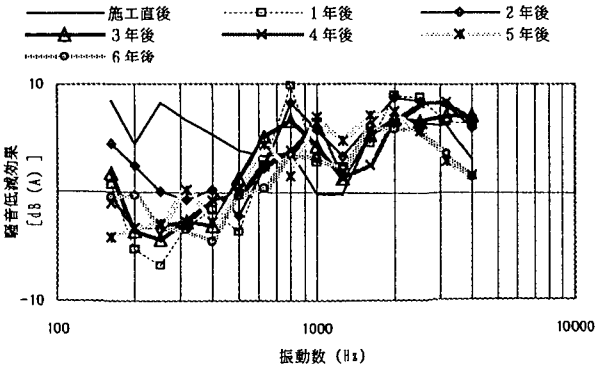
図－3　パワーレベルの経年変化
（大型車、60km/h）



図－4　パワーレベルの経年変化
（乗用車、60km/h）



図－5　密粒舗装に対する排水性舗装の
騒音低減効果の経年変化（乗用車、60km/h）



図－6　周波数別の騒音低減効果の経年変化
（6号砕石、空隙率20%、乗用車60km/h走行時）

（3）高架構造物音の分析

研究期間：平１１
担　当：交通環境研究室

【要旨】
道路橋 18 橋における高架構造物音等の測定データの分析を行った。まず、それら橋梁構造並びに単独大型車両走行時における速度と高架構造物、床版の振動加速度等のピークレベルを整理し、ピークレベルの周波数分析を行った。次に大型車両の走行速度と高架構造物音の関係及び橋梁構造と高架構造物音の関係について分析した。その結果、高架構造物音と低周波音は床版の振動加速度と密接な関係を有し、高架構造物音の速度依存性が認められた。また鋼橋における高架構造物音はコンクリート橋を上回る可能性が示唆された。

１．研究目的

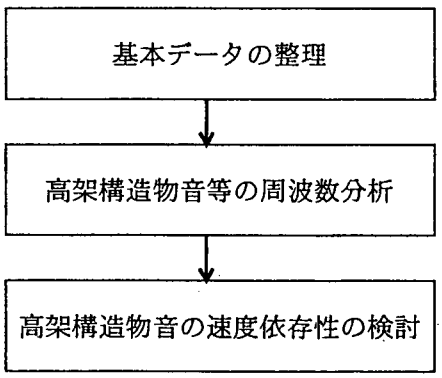
近年、道路橋から発生する高架構造物音の問題が顕在化し、（社）日本音響学会が提案する道路交通騒音の予測手法においても、高架構造物音の予測手法が参考として示された。しかし、高架構造物音の発生メカニズムに関しては未解明な点も多く、その予測手法の改善及び低減技術の開発が望まれいる。本研究では、高架構造物音等に関する実測データを解析することにより、高架構造物音の発生メカニズム解明のための基礎的検討を行うことを目的とする。

２．研究方法

２．１　基本データの整理

道路橋 18 橋を対象に、その橋梁構造及び単独大型車両走行時における速度と下記のピークレベルを整理した。

①高架構造物音（50Hz ～ 5kHz）：受音点位置　床版直下 1m 及び官民境界高さ 1.2m
②低周波音（1.6 ～ 80Hz）：受音点位置　床板直下 1m 及び官民境界高さ 1.2m
③空気伝搬音（50Hz ～ 5kHz）：受音点位置　モニター点（高欄上部 1m）
④床版の振動加速度（1.6 ～ 80Hz）：床版下面１点（上下車線のうち騒音測定点に近い側の中央部で、スパン端部からスパン長の 1/4 の位置）
⑤床版の振動加速度（50Hz ～ 5kHz）：床版下面１点



研　究　の　手　順

２．２　高架構造物音等の周波数分析

高架構造物音及び低周波音と床版の振動加速度のピークレベルの周波数分析結果を比較した。

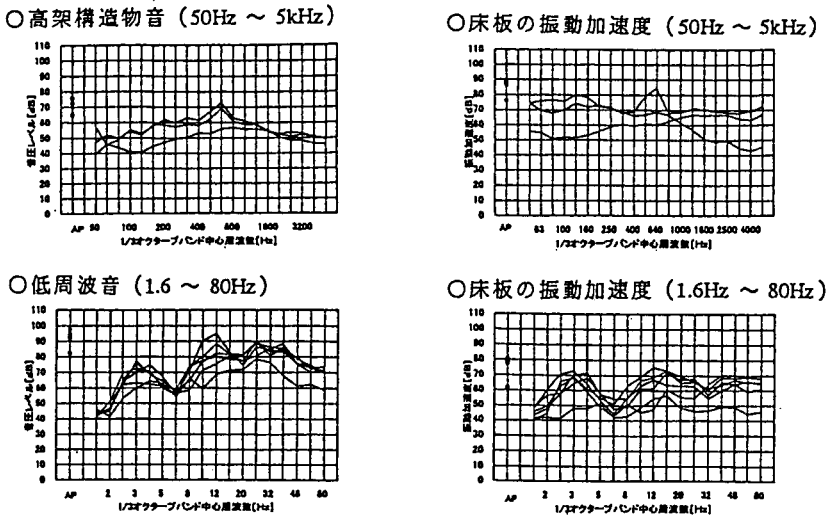
２．３　高架構造物音の速度依存性の検討

大型単独車測定時において、高架高欄上のモニター点で測定された騒音レベル（ほぼ空気伝搬音とみなせる）および官民境界高さ 1.2m の地点で測定された騒音レベル（ほぼ高架構造物音とみなせる）のピーク値と大型車両の走行速度との関係を分析した。なお、分析に当たっては騒音発生源を点音源とみなして距離補正を行い、空気伝搬音については車両走行位置の路面上から距離 10m の位置、高架構造物音については車両走行位置直下の床版下面から距離 10m の位置で基準化した。

3．研究結果

3．1　高架構造物音等の周波数分析

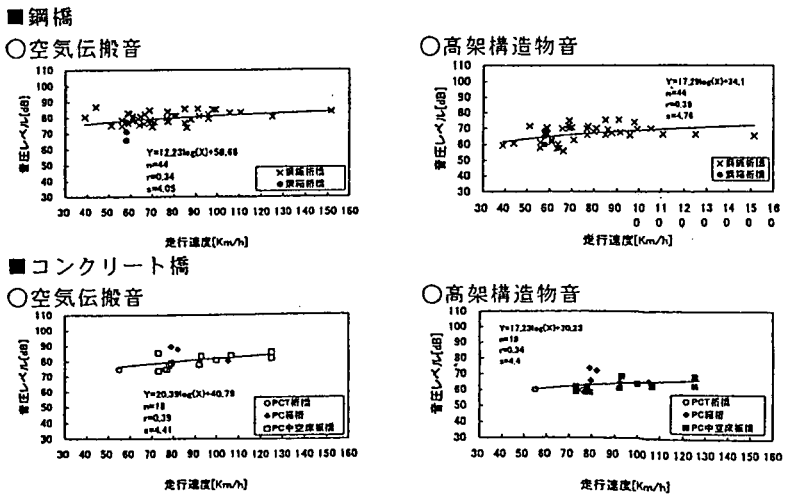
高架構造物音及び低周波音と床版の振動加速度のピークレベルの周波数分析結果を比較した結果を図－1に示す。高架構造物、低周波音ともそのスペクトルは床版の振動加速度のスペクトルと類似しており、高架構造物音、低周波音とも床版振動との関連が密接であることが確認された。



図－1　高架構造物音、低周波音と床版の振動加速度のスペクトルの比較

3．2　高架構造物音の速度依存性の検討

大型単独車両が走行した場合の空気伝搬音及び高架構造物音の速度依存性を鋼橋とコンクリート橋に区別して整理した結果を図－2に示す。空気伝搬音、高架構造物音とも速度依存性が認められている。また、鋼橋とコンクリート橋を比較すると、空気伝搬音では両者はほぼ等しいのに対し、高架構造物音では鋼橋がコンクリート橋を 4dB 程度上回っている。このことから、鋼橋はコンクリート橋より高架構造物音が発生しやすい構造である可能性があることが示唆された。



図－2　空気伝搬音、高架構造物音の速度依存性

4．今後の課題

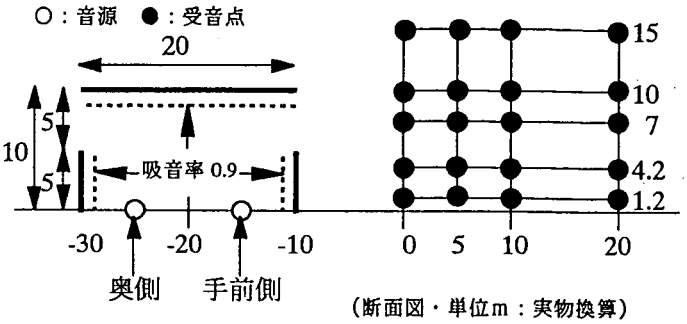
今後は、さらなるデータの集積を通じて、高架構造物音の速度依存性や橋梁構造との関係並びに高架構造物音の床版振動に対する放射効率等について検討を行う必要がある。　　（大西、上坂）

（４）騒音の重点化予測手法（高架裏面反射）

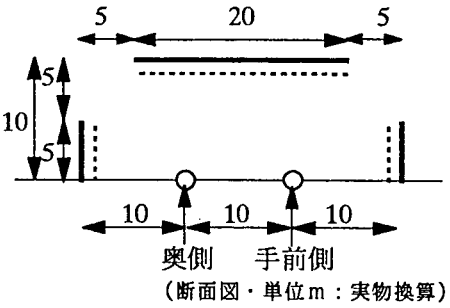
研究期間：　平１１
担　　当：交通環境研究室

【要旨】

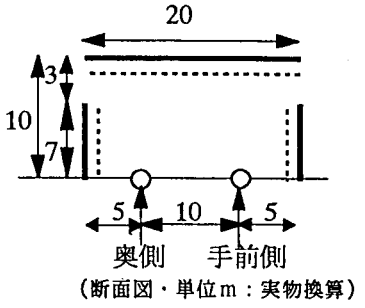
本研究では、平面道路上に高架道路が併設された場合（以下、平面高架併設道路という）における騒音の予測方法の適用範囲を明らかにした。まず、遮音壁の高さや設置位置を変化させた条件で模型実験を行った。さらに、これに対応する予測計算をスリット法により行い、模型実験と予測計算の結果を比較した。この結果、遮音壁を高架道路の両端よりも外側に設置した条件では予測式を適用できることを確認した。



図－１　平面・高架併設道路：ケース１



図－２　平面・高架併設道路：ケース２



図－３　平面・高架併設道路：ケース３

１．研究目的

平面・高架併設道路に遮音壁が併設された道路条件では、ASJ Model 1998 を応用した予測計算方法が提案されている。しかし、この計算方法は多重反射音の影響が大きくなると、適用が困難となる。一方、騒音の環境アセスメントの実施においては、予測計算により騒音レベルを求めることができない場合には、模型実験による重点化予測を行うこととされている。

このように騒音の予測にあたっては予測計算又は模型実験による方法が考えられるが、予測計算の適用範囲は今のところ示されていない。このため本研究は、これらを明らかにすることを目的とする。

２．研究方法

２．１　模型実験の方法

図－１のような平面道路、高架道路及び遮音壁からなる平面・高架併設道路を設定した。また、このケースに比べ遮音壁を５ｍ外側に設置したケース（図－２参照）と、遮音壁の高さを７ｍとしたケース（図－３参）についても設定した。これらの３ケースについて、それぞれ音源を受音点からみて手前側の車線に設置した場合と、奥側の車線に設置した場合の２パターンについて模型実験を行い、沿道の騒音レベルを測定した。なお、高架道路の裏面及び遮音壁の内側にはそれぞれ吸音率 0.9 の吸音材を用いた。また、測定周波数範囲は実物換算で 100Hz ～ 2500Hz、音源はジェットノイズ式の線音源とし、音源の設置場所は高架道路の両端から５ｍ内側の平面道路上とした。

２．２　予測計算の方法

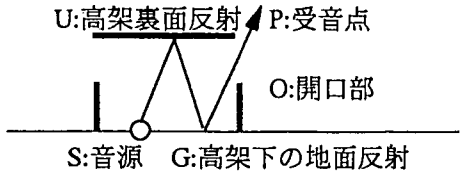
それぞれのケースの騒音レベルを予測計算により求めた。また、受音点での騒音レベルは、吸音面（高架裏面、及び遮音壁内側）で２回以上反射する経路を除いて計算を行い、これらの値を合成することにより算出した（吸音面で２回以上反射した音は、反射時のエネルギー損失が 20dB 以上になるため無視した）。

この場合、反射音の計算はスリット法で行った。なお、予測計算で考慮した経路について表－１及び図－４に示す。また、実験値と計算値の整合性についても検討を行った。

表－１　主要な反射経路

番号	経路	番号	経路
①	SOP	⑥	SO(G)P
②	SUOP	⑦	SUO(G)P
③	SLOP	⑧	SLO(G)P
④	SUGOP	⑨	SUGO(G)P
⑤	SLGOP	⑩	SLGO(G)P

S：音源　O：開口部　P：受音点　U：高架道路裏面
L：奥側遮音壁　G：高架下の地面　(G)：受音点側の地面



図－４　主要な反射経路（経路④：SUGOP）

表－２　差分平均値

ケース番号	音源位置	差分平均値（dB）
ケース1	奥側	３．１
	手前側	２．５
ケース2	奥側	２．２
	手前側	１．３
ケース3	奥側	４．７
	手前側	５．６

３．計算結果

３．１　計算値と実験値の比較

ケース１～３の全受音点（２０点）において、計算値と実験値の差分の絶対値を平均したもの（以下、差分平均値という）を表－２に示す。この表から次のことが言える。

(１)ケース１では音源を奥側、手前側のいずれに設置した場合でも、差分平均が 3dB 程度である。

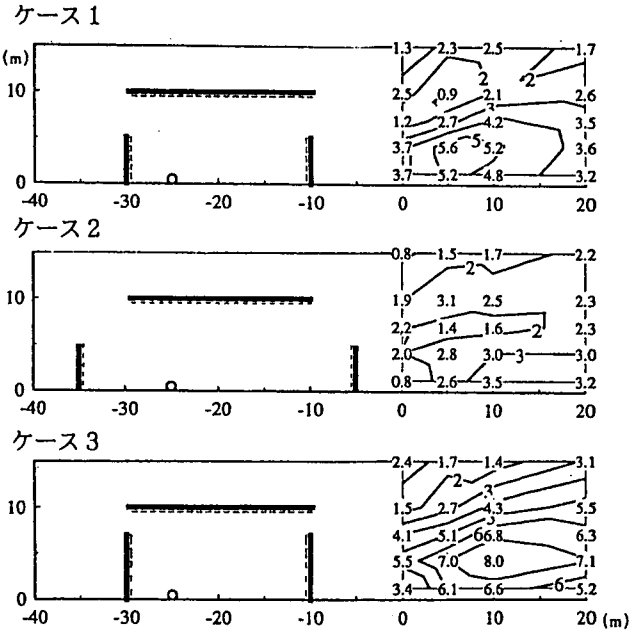
(２)ケース２では音源を奥側に設置したときの差分平均値が 2.2dB、手前側に設置したときの差分平均値が 1.3dB となっており、計算値と実験値の整合性が高い。

(３)ケース３では、音源を奥側に設置したときの差分平均値が 4.7dB、手前側に設置したときの差分平均値が 5.6dB となっており、計算値と実験値の整合性は低い。

３．２　差分の傾向についての検討

遮音壁の設置位置や高さの違いにより差分平均値に大きな違いが出たが、この原因を検討するために、差分平均値が比較的大きかった「音源が奥側に設置された条件」の騒音コンターを比較する(図－５参照)。

これらのコンターについて、計算値と実験値の差が 2.5dB 以下の受音点数を調べると、ケース１で８地点、ケース２で 13 地点、ケース３で４地点ある。これらの多くは、音源から直接見通すことのできる位置又はその周辺にある。つまりこれらの点は経路①（開口部からの回折音ＳＯＰ）の影響を受けやすい位置にあると言える。この経路①は吸音面で１度も反射されていないため、他の経路に比べ音のエネルギーが大きい。



図－５　音源が奥側に設置されたときのコンター
（コンター中の数値は「実験値－計算値」(dB)）

このため、ケース２のように、開口部（高架道路の先端と遮音壁の先端の間の隙間）が大きく、経路①の音の影響が卓越する条件では、計算値と実験値の差が小さくなり、予測計算を適用することができる。一方、ケース３のように、開口部が小さく、経路①以外の音の影響が卓越する条件では、計算値と実験値の差が大きくなる傾向があり、現時点では模型実験により騒音予測を行うことが適切と考えられる。この差の原因は、(1)スリット法の反射音の予測において、半無限障壁の回折チャートに完全反射性の障壁に対する値を用いたことによる誤差、(2)周波数ごとの吸音率の違いを考慮していないことによる吸音率の設定に関する誤差等が考えられるが、この原因の究明については今後の課題である。　（大西，上坂，木村）

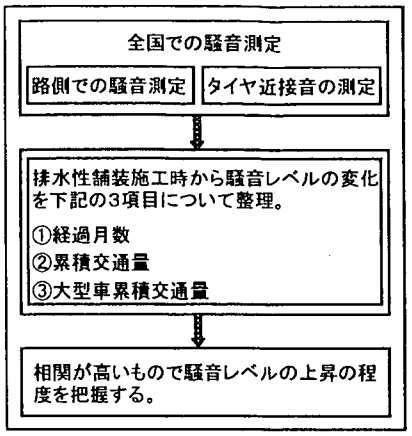
（５）排水性舗装の騒音低減効果実態調査

研究期間：平 11

担当：交通環境研究室

【要旨】

排水性舗装上を走行する自動車の騒音レベルは、施工後徐々に上昇していく。しかし、騒音レベルの上昇の程度に地域差があるため、その主たる影響要因が施工直後からの交通量(累積交通量、大型車累積交通量)によるものなのか、経過時間によるものかはわかっていなかった。平成 11 年度は、過年度分を合わせて延べ 37 箇所の排水性舗装区間の路側における LAeq と試験車のパワーレベル及びタイヤ近接音の測定結果を用い、排水性舗装の騒音レベルの経年変化について検討した。その結果、騒音レベルの上昇は経過月数や累積交通量よりも大型車累積交通量とより強い相関を持ち、上昇の程度は対数関数的に推移することがわかった。また、パワーレベルとタイヤ近接音の間にある程度の関係が認められた。



１．研究方法

全国の排水性舗装区間で測定した試験車のパワーレベル、タイヤ近接音及び LAeq と、排水性舗装施工後の経過月数、累積交通量及び大型車累積交通量との関係をそれぞれ整理した。調査箇所数は、過年度のデータを含めパワーレベルで 31 箇所、タイヤ近接音で 37 箇所及び LAeq で 28 箇所である。タイヤ近接音は、乗用試験車の排気管のない側の後方タイヤ中心から外側 45° で 20cm 離れ、路面からの高さ 10cm の位置に取り付けたマイクロホンで、またパワーレベルと LAeq は車線走行中心線から側方 7.5m、高さ 1.2m に設置したマイクロホンでそれぞれ測定を行った。

２．測定結果

２．１　騒音レベルと経過月数、累積交通量及び大型車累積交通量との関係

騒音レベルと施工後の経過月数、累積交通量及び大型車累積交通量との関係を整理し、それらを比較した。各関係の相関係数と標準偏差を表－１に示す。

表－１　排水性舗装の各種騒音レベルと経過月数等の関係における相関係数及び標準偏差

	等価騒音レベル（LAeq）				パワーレベル				タイヤ近接音			
	直線回帰		指数回帰		直線回帰		指数回帰		直線回帰		指数回帰	
	相関係数	標準偏差	相関係数	標準偏差	相関係数	標準偏差	相関係数	標準偏差	相関係数	標準偏差	相関係数	標準偏差
経過月数	0.20	1.89	0.24	1.88	0.45	2.95	0.60	2.65	0.56	1.88	0.56	1.89
累積交通量	0.02	1.93	0.05	1.93	0.45	2.95	0.56	2.73	0.55	1.90	0.56	1.89
大型車累積交通量	0.16	1.91	0.19	1.90	0.47	2.91	0.64	1.86	0.49	1.99	0.58	1.86

この結果から、パワーレベルとタイヤ近接音に関しては経過月数や累積交通量よりも大型車累積交通量の方が高い相関を示した。LAeq は経過月数との相関が最も高かったが、その相関係数は 0.20 と低かった。また、すべての場合において直線回帰よりも指数回帰の方が高い相関を示した。

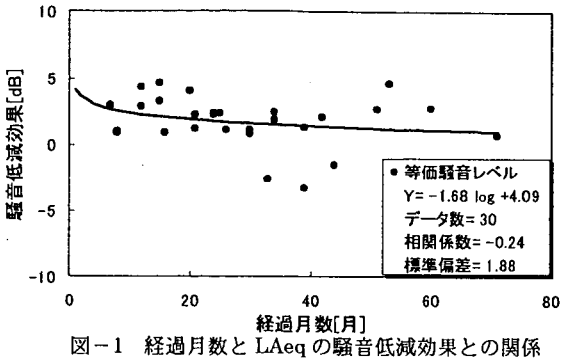
経過月数と LAeq との関係を図－１に示す。これによると、騒音低減効果は経過月数とともに低下し、１dB にまで低下するのは施工後 69 ヶ月であった。なお、ここで言う騒音低減効果とは、ASJ Model 1998 の標準的な密粒舗装のパワーレベルから求めた LAeq から各排水性舗装区間で測定した LAeq を差し引いたものである。

パワーレベルとタイヤ近接音の測定をできる限り同じ条件で行うため、すべての測定箇所で同一の乗用試験車

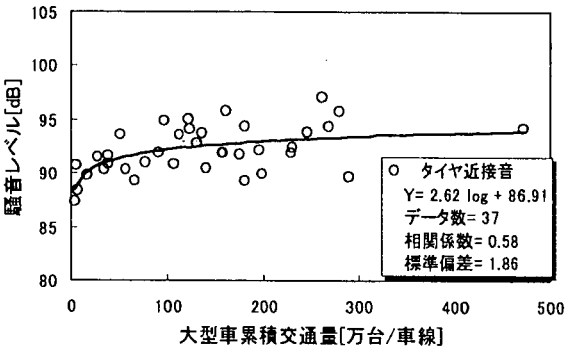
と同一のタイヤを用いた。走行速度は 50km/h とした。このようにして測定されたタイヤ近接音と大型車累積交通量との関係を図－2 示す。これによると、タイヤ近接音の上昇の程度は施工直後に大きく、その後は徐々に緩やかになっていく傾向を示した。また、試験車のパワーレベルと大型車累積交通量の関係についても同様であった。

2．2　パワーレベルとタイヤ近接音の関係

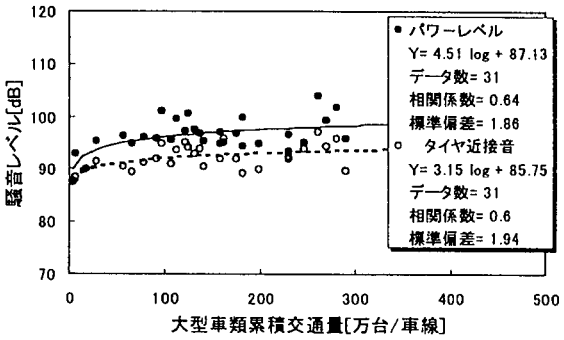
図－3 にパワーレベル及びタイヤ近接音と大型車累積交通量との関係を示す。なお、この図に示されたデータはすべてパワーレベルとタイヤ近接音を同時に測定した 31 箇所の排水性舗装におけるものである。パワーレベルとタイヤ近接音との差は大型車累積交通量 100 万台のときで 4.1dB、300 万台のときで 4.7dB とあまり変わらずに推移している。従って、パワーレベルの上昇の主要因はタイヤ近接音の主成分であるタイヤ/路面音と考えられる。



図－1　経過月数と LAeq の騒音低減効果との関係



図－2　大型車累積交通量とタイヤ近接音の関係



図－3　大型車累積交通量を指標とした場合のパワーレベルとタイヤ近接音の関係

3．まとめ

今回の調査で、以下のことが分かった。

1) 排水性舗装のパワーレベルとタイヤ近接音に関しては経過月数や累積交通量よりも大型車累積交通量の方が高い相関を示した。
2) 排水性舗装の騒音低減効果が 1dB までに低下するのは、施工後 69 ヶ月経過した時点であった。
3) 排水性舗装のタイヤ近接音とパワーレベルの上昇の程度は施工直後に大きく、その後は徐々に緩やかになっていく傾向を示した。
4) パワーレベルの経年的な上昇の主要因はタイヤ近接音の主成分であるタイヤ/路面音と考えられる。

4．今後の課題

上記のとおりタイヤ近接音とパワーレベルの間にはある程度の関係が認められた。これらの関係が明らかになれば、試験車を走らせるだけで容易に排水性舗装施工箇所の道路交通騒音を予測できる可能性も考えられる。そこで、これらの関係をさらに調査する事により、タイヤ近接音からパワーレベルへの変換方法について今後検討する必要がある。

一方、排水性舗装の騒音低減効果の低下は空隙の閉塞が主要因と考えられているが、それ以外にも路面テクスチャーの変化が考えられる。特に、敷設直後の路面ではアスファルト分が多く高い平坦性があるが、これらが供用とともに徐々に変化するため、路面テクスチャーの変化による騒音低減効果への影響についても検討を行う必要がある。前年度の調査で施工後 50 ヶ月経過した排水性舗装表面に樹脂を散布したところ、タイヤ近接音が 1.6dB 低下したという報告もあり、路面テクスチャーの変化が排水性舗装の騒音低減効果に与える影響は大きいと思われれる。そこで、現在試行されている洗浄装置を使った排水性舗装の空隙閉塞物の除去による騒音低減効果の回復手法に加えて、路面テクスチャーの改善による排水性舗装の騒音低減効果の回復手法についても検討が必要である。

（大西、近藤）

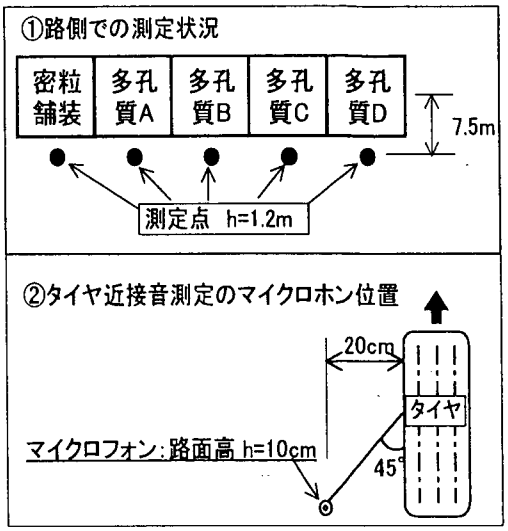
（6）多孔質弾性舗装に関する調査

研究期間：平 11

担当：交通環境研究室

【要旨】

多孔質弾性舗装は、排水性舗装の騒音低減効果が 3 dB 程度に対して 10dB を越える効果がある。このため、将来の低騒音舗装として期待されているが、湿潤時すべり摩擦性能の向上が大きな課題であった。平成 11 年度は湿潤時すべり摩擦性能を向上させた 4 種類の試作品を試験走路に敷設し、各試作品の騒音測定を行った。その結果から、多孔質弾性舗装の騒音低減効果は、舗装材料の硬度と連続空隙率に大きく影響されていると考えられる。特に、タイヤ近接音に関しては舗装材料の硬度の影響が顕著に現れた。



1．研究方法

湿潤時すべり摩擦性能を向上させた 4 種類の試作品（多孔質 A、B、C、D）と既存の多孔質弾性舗装（旧タイプ）および密粒舗装で、路側での測定とタイヤ近接音の測定を行った。

測定した計 5 種類の多孔質弾性舗装の主な仕様を表―1 に示す。タイヤ近接音は、乗用試験車の排気管のない側の後方タイヤ中心から 45° で 20cm 外側にマイクロホンをセットし、各舗装の LAeq を測定した。路側の測定は、車線中央から側方 7.5m、高さ 1.2m にマイクロホンをセットし、乗用試験車が走行する際の各舗装でのピーククレベルを測定した。なお、両測定とも 40,60,80km/h の 3 種類の走行速度で行った。

表―1　試作品仕様一覧表

	多孔質 A	多孔質 B	多孔質 C	多孔質 D	旧タイプ
連続空隙率	40	25．1	32．5	22．4	40(設計)
CS硬度※	90	83	92	84	67
ゴム形状	粒状大	ひじき状	ひじき状	粒状小	ひじき状
備考	現場施工型	プレキャスト型	プレキャスト型	プレキャスト型	プレキャスト型

※：CS 硬度とはスプリング式硬さ試験機により測定され、剛体の場合 CS 硬度は 100 となる。

2．タイヤ近接音測定結果

図－1 に、乗用試験車のタイヤ近接音を舗装種類別に各走行速度での騒音低減効果を示した。なお、騒音低減効果とは、同時に測定した密粒舗装の測定値から各舗装の測定値を差し引いて求めた。

旧タイプの騒音低減効果は全ての速度で最も大きく、速度が上昇するに連れて効果は低下した。舗装種類により効果に著しく差が現れた。多孔質 B は、40,60km/h の場合に最も効果が大きかったが、80km/h では効果が大きく低下した。多孔質 A は全ての速度で最も効果が小さかった。

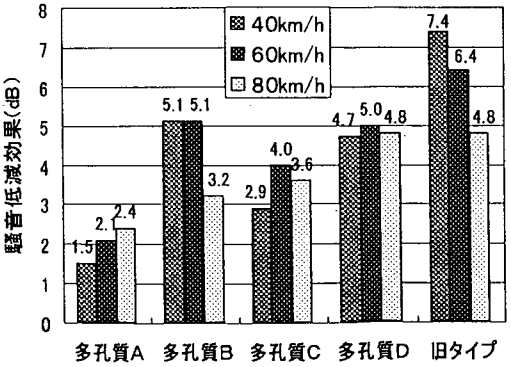
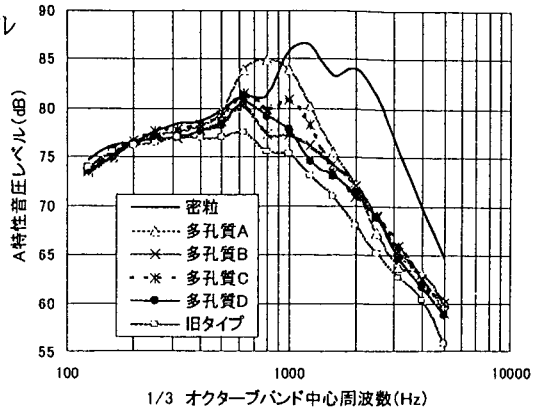


図-1 舗装種類別、速度別タイヤ近接音の騒音低減効果

図－2 に走行速度 60km/h でのタイヤ近接音の周波数特性を示す。旧タイプはほとんど全ての周波数域で最も

音圧レベルが低かった。多孔質弾性舗装で密粒舗装の音圧レベルより高かったのは、多孔質Aの500～1kHzの間だけであった。

多孔質B,C,Dのピーク周波数は630Hzにあり、これを超える周波数域で効果が現れた。また、多孔質A,B,C,Dは500－2kHzの間を除いた周波数域では、全て同程度の音圧レベルであった。

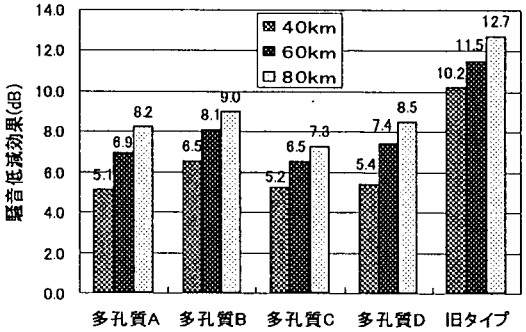


図－2 舗装種類別、ﾀｲﾔ近接音の周波数特性（走行速度60km/h）

3．路側でのピークレ騒音ベル測定結果

図－3に、乗用試験車の舗装種類別に各走行速度での騒音低減効果を示した。旧タイプの効果は全ての速度で最も大きく、次に効果が大きかったのは多孔質Bであった。タイヤ近接音に比べると、どの舗装も大きな効果を示した。中でも多孔質Aの効果は、タイヤ近接音の場合に比べて大きく上昇した。また、速度の上昇に連れて全ての舗装において効果が大きくなった。

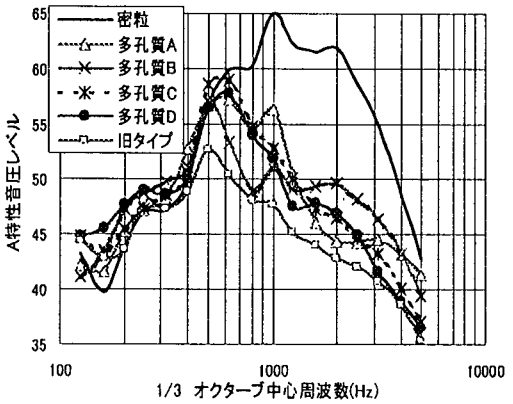
図－4に、走行速度60km/hでのピーク騒音レベルの周波数特性を示す。多孔質のピークのスペクトルは500－630Hzにあり、これを超える周波数域で減音効果が大きく現われている。また、ほぼ全ての周波数で多孔質の音圧レベルは密粒舗装より小さかった。



図—3 舗装種類別、速度別ﾋﾟｰｸ騒音ﾚﾍﾞﾙの低減効果

4．まとめ

今回の試作品は、旧タイプに比べＣＳ硬度（ゴム硬度）が増した。タイヤ近接音に関してはゴム硬度が小さい方が騒音低減効果は大きかった。周波数特性では、ゴム硬度が大きい方が1kHz付近の音圧レベルが大きかった。多孔質Aが他よりも効果が小さかった理由としては、舗装表面の粗さに起因すると思われるが、今後確認する必要がある。ピーク騒音レベルとタイヤ近接音の騒音低減効果の差を全速度で算術平均すると、多孔質A,B,C,D,旧タイプについてそれぞれ4.7,3.4,2.8,2.3,5.3dBとなった。連続空隙率が大きい旧タイプおよび多孔質Aの効果の差が大きい。これは、空隙率と吸音率には高い相関があるため、空隙率の高いものほど伝搬時および車体下の多重反射等における減音効果が大きくなるためと考えられる。



図－4 舗装種類別、ﾋﾟｰｸ騒音ﾚﾍﾞﾙの周波数特性（走行速度60km/h）

今回の調査で、多孔質弾性舗装の騒音低減効果を高めるには舗装の弾性と空隙率の両方とも大きい方が良いことがわかった。多孔質の試作品の騒音低減効果が旧タイプに比べ低下した主な理由を以下に示す。

①試作品は走行安全性を高めているため弾性が小さくなっており、この結果騒音低減効果は低下したと考えられる。

②試作品の区間ではこれを第二走行車線にのみ敷設し第一走行車線は排水性舗装であるのに比べ、旧タイプの区間ではこれを第一、二走行車線に敷設してあるため、受音点まで騒音が伝搬する際に吸音による過剰減衰が旧タイプの方が大きくなった可能性があると考えられる。

現在、走行安全性を確保しつつ、適度な弾性により大きな減音効果を保持した多孔質弾性舗装を開発中である。

（大西、近藤）

3.2　大気汚染に関する研究

（７）微生物による窒素酸化物分解機能を活用した大気浄化技術に関する研究

研究期間：平11～平13

担当：交通環境研究室

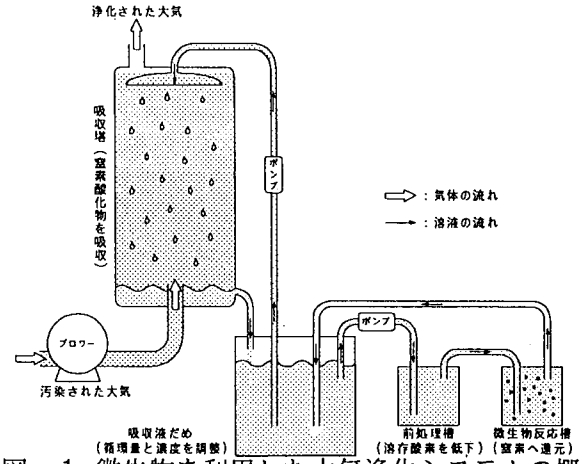
【要旨】

当研究室では、微生物の働きを利用し、沿道の窒素酸化物を吸収し無害な窒素と酸素を排出するシステムの開発を行っている。本システムは、大気中の窒素酸化物を吸収液に溶解させる吸収塔と、吸収液中の窒素酸化物を窒素に還元する微生物反応槽とに別れており、吸収液だめ及び前処理槽を介して吸収液が循環している。平成11年度は、吸収塔の運転条件が吸収効率に及ぼす影響と微生物反応槽の仕様に関して検討した。これらの検討結果を踏まえ、容量が30L程度のシステムを実験室内で稼動させ、二酸化窒素濃度が0.1ppmの大気を毎分250L/minで通気したところ、本システムは前述した大気中の二酸化窒素の約20％を除去するとの結果が得られた。

１．研究目的

自動車排出ガス測定局の測定結果をみると、道路沿道の二酸化窒素濃度は、近年ほぼ横這い傾向にあり、平成９年度に環境基準を達成していない自動車排出ガス測定局が、全体の約３分の１もある。このため、高濃度となる地域では、従来までの対策に加え、大気中の窒素酸化物を除去する技術の開発が望まれている。

当研究室では、微生物の働きを利用し、沿道の窒素酸化物を吸収し無害な窒素と酸素を排出するシステムの開発を行っている。微生物を利用した大気浄化システムの概要を、図－１に示す。本システムは、大気中の窒素酸化物を吸収液に溶解させる吸収塔と、吸収液中の窒素酸化物を窒素に還元する微生物反応槽とに別れている。吸収塔には、気液接触面積を増加させるためラシヒリングを充填している。微生物反応槽には、窒素酸化物を窒素に還元する脱窒細菌が固定された木片を入れている。吸収塔と微生物反応槽とは、吸収液だめ及び前処理槽を介して吸収液（10mmol/Lのリン酸緩衝液）が循環している。



図－１　微生物を利用した大気浄化システムの概要

２．研究方法

平成11年度は、吸収塔の運転条件が吸収効率に及ぼす影響と微生物反応槽の仕様に関して検討した。これらの検討結果を踏まえ、容量が30L程度のシステムを実験室内で稼動させ本システムの性能を調査した。なお、吸収効率は単位流量あたりの被吸収気体に含まれる二酸化窒素量に対する吸収塔における二酸化窒素の吸収量の割合とした。

２．１　吸収塔の運転条件が吸収効率に及ぼす影響の検討

吸収塔の被吸収気体の流速及び濃度、吸収液の循環流量、濃度及び温度を変化させて運転し、各条件での吸収効率を測定することにより、吸収塔の運転条件が吸収効率に及ぼす影響を検討した。

なお、吸収塔の容積は約20Lで、基本的な運転条件と実験範囲は、表－１に示すとおりである。

表－１　吸収塔の基本的な運転条件と実験範囲

	被吸収気体		吸　収　液		
	流　速 (L/min)	濃　度 (ppm)	流　量 (L/min)	濃　度 (μmol/L)	温　度 (℃)
基本条件	250	0.1	10	400	20
実験範囲	50~500	0.05~0.15	5~ 15	0~400	10~ 20

２．２　微生物反応槽の仕様の検討

脱窒細菌に関する既往の知見及び吸収塔の吸収効率に基づき、微生物反応槽の容積、吸収液の循環量及び濃度、添加する有機物及び栄養塩の量等の仕様を決定した。また、脱窒素細菌が窒素酸化物を還元するときの溶存酸素濃度から、溶存酸素を減らすための前処理槽の容量を決定した。

２．３　システムの性能の調査

システムの性能を調査するため、吸収塔の運転条件が吸収効率に及ぼす影響の検討で示した基本条件と微生物反応槽の仕様の検討結果に基づいて設定したシステムを実験室内で稼働させ、吸収塔に流出入する気体の濃度と吸微生物反応槽から流出入する吸収液の濃度を測定した。

３．研究結果

３．１　吸収塔の運転条件が吸収効率に及ぼす影響の検討

吸収塔を種々の条件で運転した結果、吸収液の流量の増加に応じて吸収効率が増加した。ただし、吸収液の流量が10L/min以上のときは、流量の増加に対し吸収効率の増加が鈍くなる傾向がみられた。また、被吸収気体の流速を増加させると濃度比である吸収効率は減少したが、単位時間あたりに被吸収気体中から吸収される二酸化窒素の量は、流速の増加に伴って増加した。また、被吸収気体の二酸化窒素濃度を増加させると0.1ppm以下では単位時間当たりに被吸収気体中から吸収される二酸化窒素の量は増加したが吸収効率に大きな影響はなく、0.1ppm以上となると吸収効率は減少した。これらに対し、吸収液の窒素酸化物濃度や温度を変化させても吸収効率に大きな影響は生じなかった。

３．２　微生物反応槽の仕様の検討

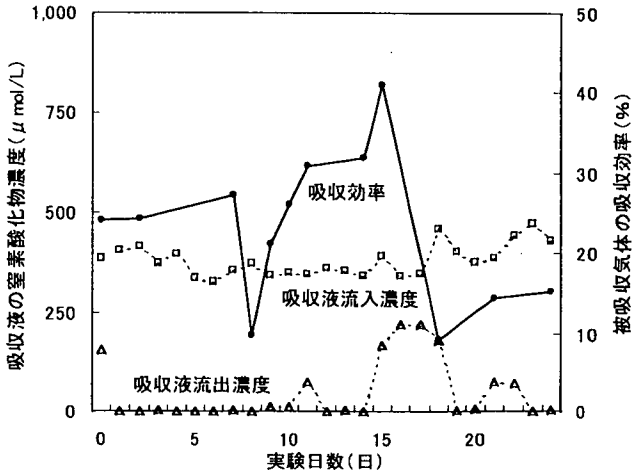
脱窒細菌に関する既往の知見及び吸収塔の吸収効率に基づき微生物反応槽の仕様について検討した。その結果、吸収液だめの容量を吸収液の濃度が400μmol/Lとなるよう調整し、微生物反応槽の容積を0.5L、吸収液の循環量を0.67mL/minとして、有機物を20.8μg/min、栄養塩として$MgSO_4 \cdot 7H_2O$を50mg/L、$CaCl_2$を4mg/L、Fe-EDTAを0.1mg/L添加すれば、吸収塔の運転条件が吸収効率に及ぼす影響の検討で示した基本条件で吸収塔を運転したときに吸収される窒素酸化物を処理できると試算された。また、脱窒素細菌が窒素酸化物を還元するときの溶存酸素濃度が0.2mg/Lであることより、溶存酸素を減らす前処理槽の容量を10Lとした。

３．３　システムの性能の調査

本システムを実験室で運転したときの、吸収塔に流出入する被吸収液の濃度から求めた吸収効率と、吸微生物反応槽から流出入する吸収液の濃度の経時変化を、図－２に示す。

吸収効率は、ばらつきがみられるものの、20%前後であった。また、微生物反応槽に流入する吸収液の窒素酸化物濃度が400μmol/L程度であるのに対し、流出する吸収液の濃度は0μmol/Lに近く、窒素酸化物のほぼ全量が処理されていた。

以上の結果から、全容量が30L程度の本システムは、二酸化窒素濃度が0.1ppmの大気を毎分250L/minで通気すると、大気中に含まれている二酸化窒素の約20%を吸収し処理することが確認された。



図－２　吸収液の濃度と吸収効率の経時変化

（大西、山田、大城）

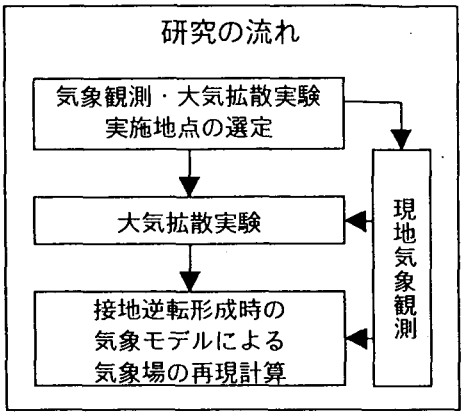
（8）環境アセスメント技術に関する調査

研究期間：平10～平13

担当：交通環境研究室

【要旨】

谷や盆地のような局所的に閉じた地形においては、逆転層発生時には大気汚染物質が滞留し、大気汚染の影響が顕著になると考えられるが、現在のところこのような地形による逆転層の影響に関する知見が十分でなく、今後知見の蓄積に努め、その影響の予測手法の確立が必要である。



11年度は、谷内部の逆転層の出現状況および気象状況を把握するため、詳細な現地気象観測および大気拡散実験を実施した。また、そこで得られた気象データをもとに、接地逆転層が出現した気象条件下で気象の再現計算を行い、実際の気象状況との整合性を検討した。その結果、概ね気象状況を再現できていることが確認できた。

1．研究目的

地形による逆転層の大気拡散への影響を把握するために、谷地形における詳細な現地気象観測および大気拡散実験（トレーサー実験）を実施し、そのデータをもとに局地気象モデルにより、接地逆転層の出現しやすい気象パターンについて、気象場の再現計算を行い、接地逆転層を考慮した大気質予測手法の検討に必要なデータを収集するものである。

2．研究方法

2．1　現地気象観測

逆転層の影響を受けやすい谷内部を通過する、上信越自動車道妙義橋（群馬県甘楽郡妙義町）周辺の５地点において気象観測（図１参照）を実施した。これにより、逆転層の出現状況、空間構造、時間変化の特性等を把握した。

2．2　大気拡散実験

逆転層の発生しやすい冬季において、逆転層出現時の大気拡散状況を詳細に把握するために、気象観測を実施している上信越自動車道妙義橋直下の地上1.5mおよび地上20m地点からトレーサーガス(PMCP及びPMCH)を大気中に放出し、拡散したトレーサーガスを水平方向および高さ方向に50地点で捕集することにより、逆転層出現時の谷内部の大気拡散状況を把握した。また、同時にパイロットバルーンによる上層風観測と拡散状況の可視化のために煙流観測を実施した。

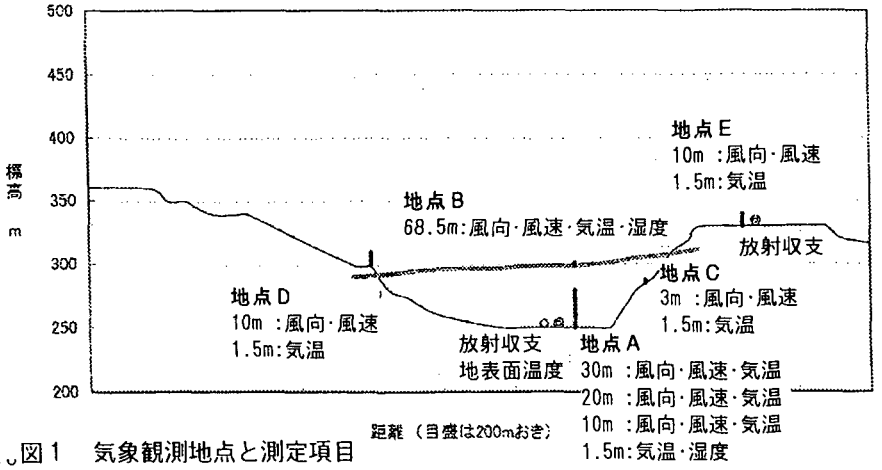


図１　気象観測地点と測定項目

２．３　接地逆転層形成時の気象モデルによる気象場の再現計算

現地気象観測と大気拡散実験で得られた気象データ（地表面温度等）をもとに、晴天で接地逆転層がよく発達した事例について、熱エネルギー保存則を組み込んだ微気象モデル（k-ε型モデル）による気象場の再現計算を行い、実測データとの比較・検討を行った。計算範囲は7km×5km、格子間隔は水平方向に100m、垂直方向に10m（地表付近）～448mと設定した。計算の座標系は、地形の影響を表現しやすい境界適合曲線座標系を用いた。

３．研究結果

３．１　現地気象観測

調査期間は12～3月と冬季であったため、日没から日出までほとんどの時間帯において逆転層が発生していた。また、逆転層の発生時間帯の8割以上が厚さ30m以上の逆転層で、ほぼ谷を埋めるように逆転層が発生していたと考えられる。逆転層形成時の風向は、谷内部の地点Ａでは谷を下る方向である西風が卓越し、谷の斜面上の地点Ｃでは北風、地点Ｄでは南風と斜面を下る方向に卓越していた。これらの観測結果から、放射冷却現象に加えて谷底へ下る斜面冷気流により逆転層が形成されていく様子が確認された。



写真１　煙流観測の実験風景

３．２　大気拡散実験

逆転層形成時には、谷内部での大気拡散が抑制され谷底をトレーサーガスが移流していく様子や、逆転層の影響により谷の斜面を上がることができずに、谷内部へ再び気流の方向が曲げられる現象が確認された。大気安定度が強い時間帯では、煙流の主軸が放出高度を維持して拡散しにくくなる現象が観測された（写真１）。

３．３　接地逆転層形成時の気象モデルによる気象場の再現計算

微気象数値モデルを用いて、大気拡散実験を実施した日の気象場の再現計算を行った結果を図２および図３に示す。

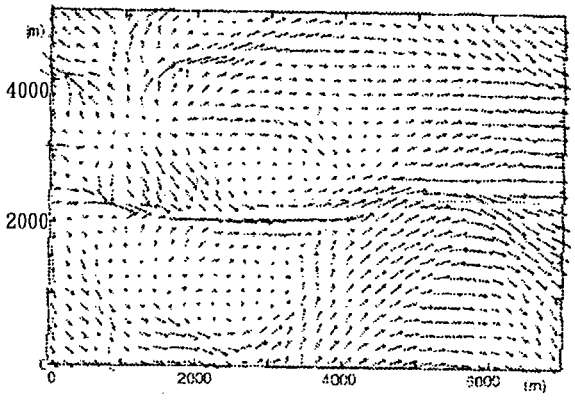


図２　逆転層形成時の風向風速の再現結果

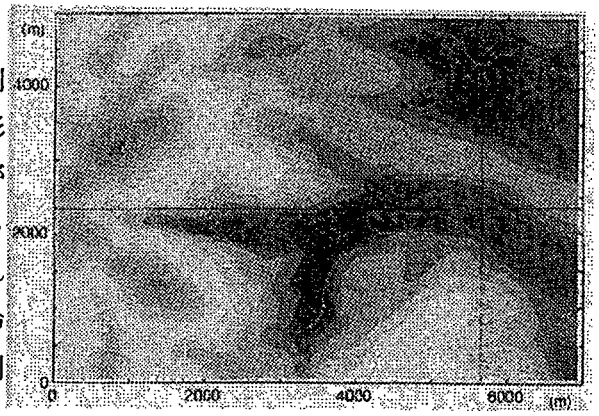


図３　逆転層形成時の気温分布の再現結果
（中央～右の色の濃い部分が低温部）

風向・風速の再現計算については、図左側にそびえる妙義山から風が吹き下ろし地形に沿って谷へ向かって収束していく様子が概ね再現できていたが、微地形の影響によると考えられる実測値との乖離が多少見られた。気温分布については放射冷却と谷への冷気流による谷内部の逆転層が再現でき、実測値との整合性も良好であった。

（大西、山田、大城）

（９）浮遊粒子状物質等の予測手法の拡充に関する調査

研究機関：平11～平13
担当：交通環境研究室

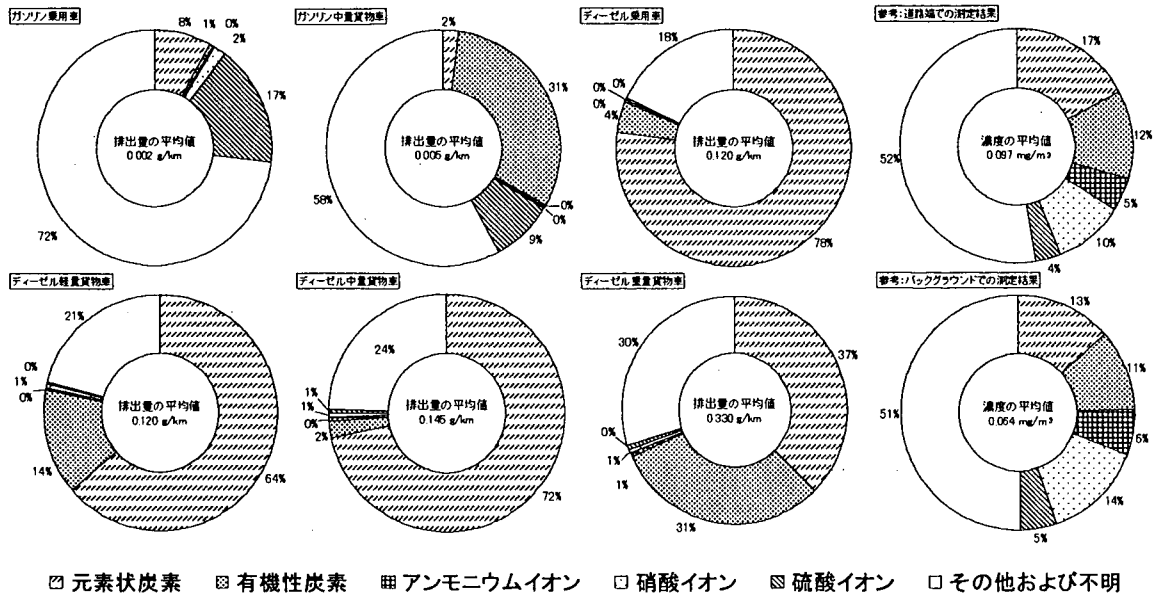
【要旨】
浮遊粒子状物質を構成する成分は、発生源別にそれぞれ特徴を有している。本研究では、自動車の排気管から排出される粒子状物質を捕集した試験ろ紙を分析することにより、その成分の特徴を整理した。
その結果、ガソリン車の成分は、道路端における浮遊粒子状物質の成分と比べ、硫酸イオンが多く、アンモニウムイオンや硝酸イオンが少ない傾向がみられ、ディーゼル車の成分は、有機性炭素と元素状炭素の合計が全体の４分の３程度を占めていた。また、ディーゼル重量貨物車は速度が増加すると有機性炭素と硝酸イオンが減少し、縦断勾配が増すと、元素状炭素及びアンモニウムイオンが増加し、有機性炭素が減少する傾向がみられた。

１．研究目的
浮遊粒子状物質は、自動車交通に起因するものの他、自動車交通以外の移動発生源及び固定発生源から排出されるもの、自然界の発生源から排出されるものがある。これら排出源から発生する浮遊粒子状物質を構成する成分は、発生源別に発生メカニズムの違いからそれぞれ特徴を有している。これらの特徴と、ある場所で捕集した浮遊粒子状物質の成分とを比較すれば、その場所における浮遊粒子状物質の主な発生源を推定できる。本研究は、シャーシダイナモ上を走行する自動車の排気管から排出され、試験ろ紙に捕集された粒子状物質を分析することにより、その成分の特徴を明らかにすることを目的とした。

２．研究方法
成分分析は、過年度に行ったシャーシダイナモ試験でろ紙に捕集された粒子状物質のうち、12台の車両で平均速度が約15～95km/hとなる各実走行モードで走行させたものを用いた。分析方法は、元素状炭素と有機性炭素については熱分離法、アンモニウムイオン、硝酸イオン、硫酸イオンについてはイオンクロマト法を用いた。

３．研究結果
車種分類別に平均した粒子状物質の排出量及び成分割合を図－１に示す。
排出量を車種別にみると、ディーゼル車の排出量は、ガソリン車と比較すると、50～100倍以上となっていた。なかでも大型車類の大半を占めるディーゼル重量貨物車の排出量が最も大きい。よって、自動車交通に起因する浮遊粒子状物質の成分は、ディーゼル大型車の成分に大きく左右されるものと考えられる。
ディーゼル車の成分は、いずれも元素状炭素の占める割合が大きかった。また、有機性炭素については車種毎にばらつきがみられたが元素状炭素に次いで割合が大きく、元素状炭素と有機性炭素とをあわせた炭素成分でみると、各車種とも全体の４分の３程度を占めていた。これに対し、アンモニウムイオン、硝酸イオン、硫酸イオンといった二次生成粒子成分は、沿道と比べ各車種とも割合が小さく、いずれの車種でも各イオン成分は１％前後であった。参考として示した道路端での浮遊粒子状物質の成分はこの傾向を受けて、道路風上より、炭素成分の割合が増加しており、イオン成分には大きな変化がみられなかった。
また、ガソリン車の成分は、参考として示した道路端における浮遊粒子状物質の成分と比べ、硫酸イオンの割合が大きく、アンモニウムイオンや硝酸イオンの割合が小さい傾向がみられた。ただし、硫酸イオンについても排出量としてみた場合には、ディーゼル車より小さい値であった。元素状炭素および有機性炭素に

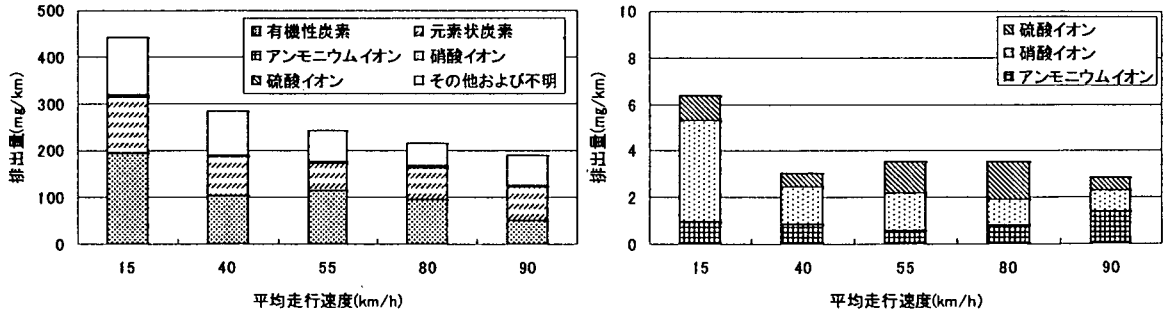
ついては、一部の分析結果で定量下限値を下回り結果に反映されていないため一概には言えないが、乗用車では元素状炭素の割合が、中量貨物車では有機性炭素の割合がそれぞれ大きく、傾向に違いがみられた。また、これら炭素成分の割合は、道路端で測定した成分と比べ割合も傾向が大きく異なっていた。



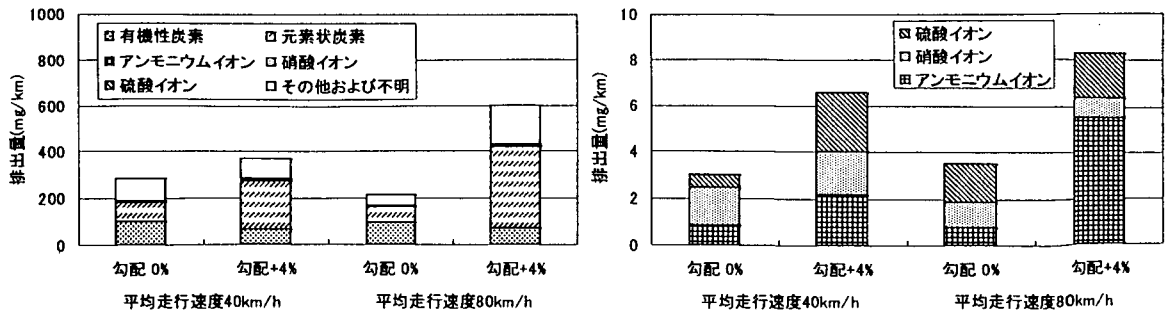
注：1.ガソリン乗用車およびガソリン中量貨物車の元素状炭素および有機性炭素については、一部の分析で定量下限値を下回ったため、結果に反映されていないものがある。
2.参考として示した道路端での測定結果は、埼玉県浦和市内の国道463号で測定したものである。

図－1　車種分類別に平均した粒子状物質の排出量及び成分割合

ディーゼル重量貨物車から排出される粒子状物質を構成する成分の走行速度による影響を図－2に、縦断勾配による影響を図－3に示す。粒子状物質を構成する成分は、速度が増加すると、有機性炭素と硝酸イオンが減少する傾向がみられた。また、縦断勾配が増加すると、元素状炭素及びアンモニウムイオンが増加し、有機性炭素が減少する傾向みられた。



図－2　ディーゼル重量貨物車から排出される粒子状物質を構成する成分の走行速度による影響



図－3　ディーゼル重量貨物車から排出される粒子状物質を構成する成分の縦断勾配による影響

（大西、山田、大城）

（１０）大気汚染の予測・低減技術に関する調査

研究期間：平 7～平11

担当：交通環境研究室

【要旨】

本研究は、交通施策による大気汚染低減効果の予測を目的として実施している。11年度は、予測に必要な広域的な交通－環境シミュレーションモデルを構築するために、大気汚染物質の排出・拡散シミュレーションの入力データとなる、交通施策による交通状況へのインパクトの推計について検討した。ここでは、交差点立体化、ロードプライシングの２つの施策を取り上げ、これら施策の交通状況へのインパクトの推計手法を検討するとともに、交通シミュレーションモデルSOUNDを用いて、これらの施策により時間別の交通状況がどの程度改善するかを推計した。

１．研究目的

本研究は、様々な交通施策に関して、交通施策に伴う交通量の削減、交通の円滑化などの交通状況の改善及びそれに伴う大気汚染物質の変化を評価するための交通モデルを検討し、施策の評価を行うものである。

２．研究方法

11年度は、交通施策の大気汚染低減効果を推計し評価するために、交通施策による交通状況の改善効果を交通シミュレーションSOUND(街路版)を用いて推計した。対象とする交通施策は交差点立体化およびロードプライシングとした。

２．１　交差点立体化

東京都区部の渋滞ポイントとなっている交差点において、立体交差化その他のボトルネック解消策について検討した。ここでは、平成６年度道路交通センサスのＯＤ調査に基づき作成した時間別ＯＤ交通量を与え、交通シミュレーションSOUNDにより再現した交通状況における主要渋滞ポイント5箇所および10箇所を立体化した場合に、交通状況の改善状況を推計した。

２．２　ロードプライシング

東京都区部においてロードプライシングを実施した場合における交通機関分担率の変化、交通状況の改善効果及びその影響等について検討を行った。ロードプライシングは、エリアプライシング（指定した域内を走行する車両に対して一定の金額を課すことにより、自動車交通量の削減を図るもの）とナンバープレート規制（指定した域内において指定されたナンバーの車両の走行に課金する方法）の２種類を検討した。ナンバープレート規制については、ナンバーの末尾一桁が奇数と偶数の車両に１日おきに走行を規制し、規制対象の車両の走行に対して課金することを想定した。

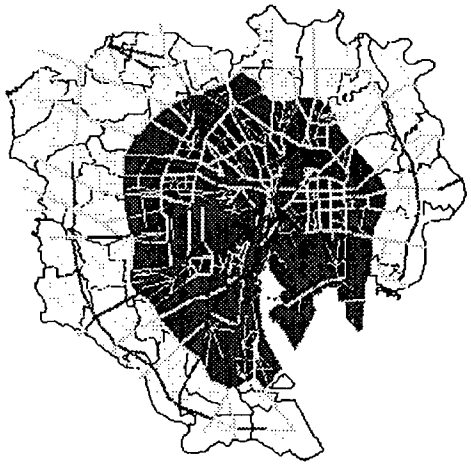


図１　ロードプライシング対象地域

対象範囲は、環状７号（西、北側）と荒川（東側）で囲まれる範囲（図１）とし、対象

時間帯は、エリアプライシング、ナンバープレート規制とも平日の7時～19時とした。課金額はエリアプライシングが1150円、ナンバープレート規制が8000円とした。

3．研究結果

3．1　交差点立体化

交差点立体化による平均旅行時間の時間別変化を図２に示す。5地点を立体化した場合は対象地域全体で１日平均0.3km/h、１時間平均で最大0.9km/h旅行速度が向上した。また、10地点立体化した場合は１日平均で0.7km/h、１時間平均で最大2.5km/hの向上となった。また、各交差点の渋滞による遅れ時間については、立体化交差点では大幅に低減し、周辺のかなり広い範囲にも低減効果があるものの、立体化交差点の近傍を中心に遅れが悪化する地点も、改善された地点の半数程度見られた（図３）。

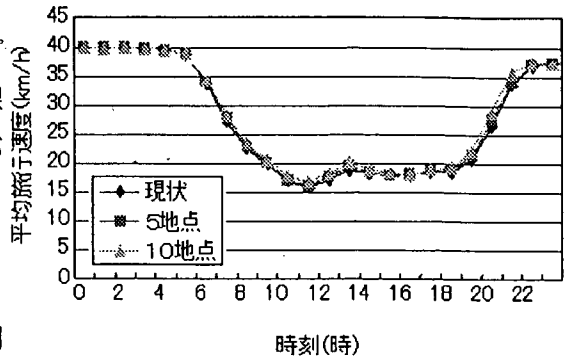


図２　交差点立体化による時間帯別平均旅行速度の改善効果

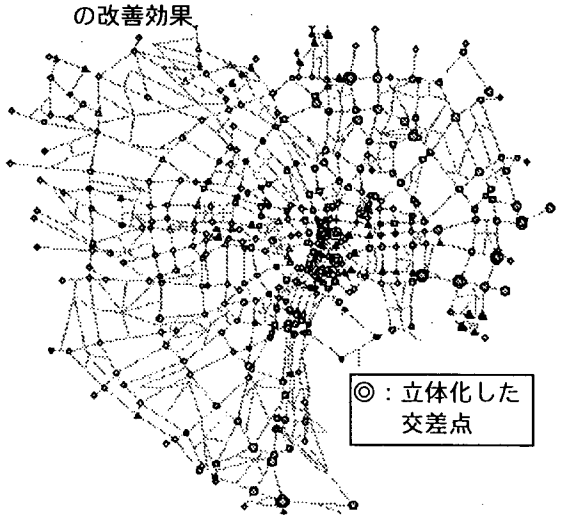


図３　10交差点の立体化による渋滞遅れ改善効果
（○◇が改善、△が悪化、大きさがその効果を表す）

このことは、主要渋滞地点を解消するだけで、広い範囲の渋滞改善効果が期待できるものの、一方で、渋滞が厳しいところのみで対策を行っても周辺の交差点で容量に余裕がないと、新たな渋滞ポイントが発生することがある。

3．2　ロードプライシング

シミュレーションの結果、エリアプライシング実施時には対象地域の平均で28%減、ナンバープレート規制時で平均67%減と大幅に交通量が削減され、対象地域の時間帯別平均旅行速度が大幅に向上している。エリアプライシング実施時では対象地域の平均で１時間平均最大10km/h程度、ナンバープレート規制実施時では最大20km/h程度の旅行速度改善効果があった（図４）。さらに、課金対象地域内と課金対象地域外に分けた場合、速度向上効果は朝７～９時では対象地域外で大きかった。これは、対象地域外から東京への通勤交通の多くが他のモードに転換し、対象地域外において通勤時間帯の渋滞が大幅に緩和したためと考えられる。

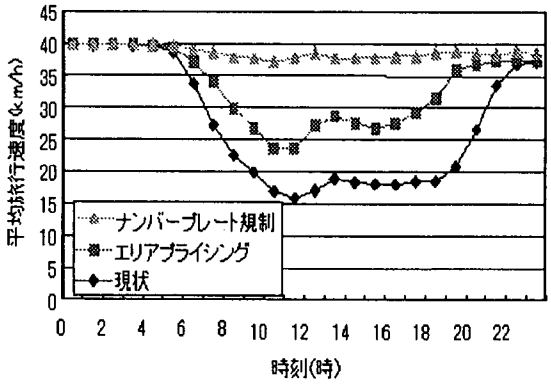


図４　ロードプライシングによる時間帯別平均旅行速度の改善効果

このことから、ロードプライシングの効果は、課金地域内だけでなく地域外でも効果が大きいといえる。なお、ロードプライシングにより、課金地域の外側（環状７号、環状８号等）への経路の転換が起こり、この地域で渋滞が悪化することが予想されたが、今回の結果では顕著な傾向は見られなかった。これは、経路選択による影響より需要の減少による効果の方が大きかった可能性が考えられる。

（大西、山田、大城）

（１１）SPMの二次生成物質、PM2.5、巻き上げ粉塵等の道路沿道実態の調査

研究機関：平11

担当：交通環境研究室

【要旨】

一般道路の沿道でPM2.5の濃度を測定することにより、沿道におけるPM2.5の実態を把握した。また、測定に用いた３手法を比較し、各手法の特徴を整理した。その結果、沿道のPM2.5は、バックグラウンドと比べ、ほとんどの時間帯で濃度が高かった。また、フィルター振動法及びβ線吸収法は、米国のEPAが標準手法としている重量測定法に対し、濃度が低く測定され、フィルター振動法とβ線吸収法とを比較するとフィルター振動法のほうが濃度が若干低く測定される傾向がみられた。

１．研究目的

PM2.5とは大気中に浮遊する粒径が2.5μm以下の粒子で、自動車などの人為発生源に由来するSPMはPM2.5の占める割合が高いと言われている。米国では、EPAからPM2.5に関する環境基準が提案されているが、我が国においてはPM2.5の濃度を測定した事例が少なく、測定方法も定まっていない。本研究では、沿道でPM2.5の濃度を測定することにより、沿道におけるPM2.5の実態を把握するとともに、異なる手法を用いて測定した結果から各測定方法の特徴を整理することを目的とした。

２．研究方法

風下側道路端と風上側路端から100～200m離れた２箇所で、PM2.5の濃度を測定した。測定には、24時間値を手動で測定する重量濃度測定法と、１時間値を自動測定できるフィルター振動法及びβ線吸収法の３手法を用いた。

また、同じ箇所でSPMの濃度を測定することにより、SPMに占めるPM2.5の割合を調査した。

調査は、３路線の一般国道沿道で行い、調査期間は各地点とも７日間とした。

調査箇所の概要は表－１に示すとおりである。

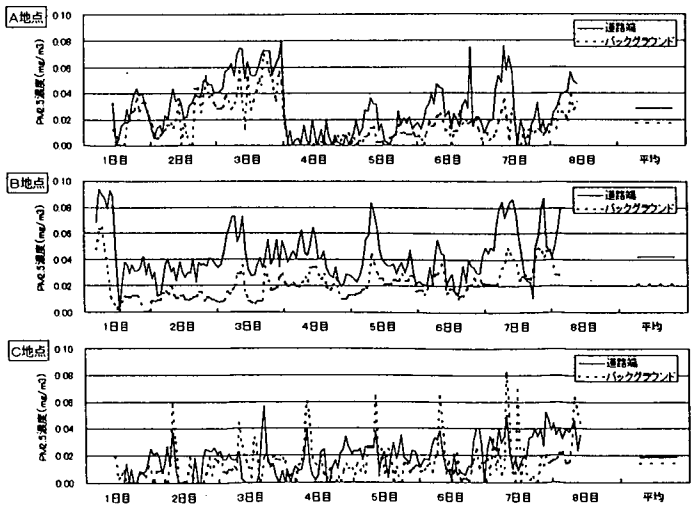
表－１　PM2.5調査地点の概要

地　点	構　造	車線数	日交通量	大型車混入率
A	平　面	４車線	49,138 台	22.4 %
B	平　面	４車線	47,074 台	45.7 %
C	平　面	４車線	50,278 台	39.4 %

３．研究結果

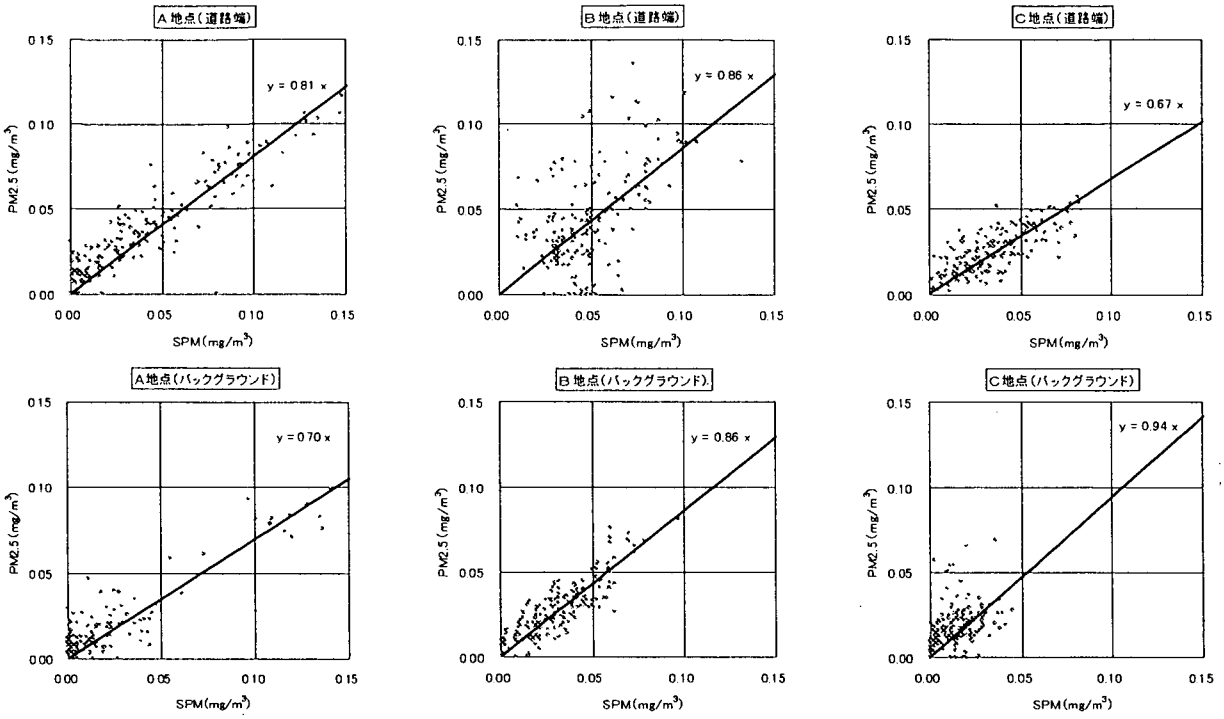
フィルター振動法を用いて測定したPM2.5濃度の経時変化を図－１に示す。

いずれの地点においても、沿道のPM2.5は、道路端から100～200m離れた箇所で測定したバックグラウンドと比べ、ほとんどの時間帯で高い濃度を示した。平均値でみると各地点における沿道の濃度は、0.02～0.04mg/m³程度で、バックグラウンド濃度に対し0.005～0.02mg/m³程度高い値でった。



図－１　PM2.5濃度の経時変化（フィルター振動法）

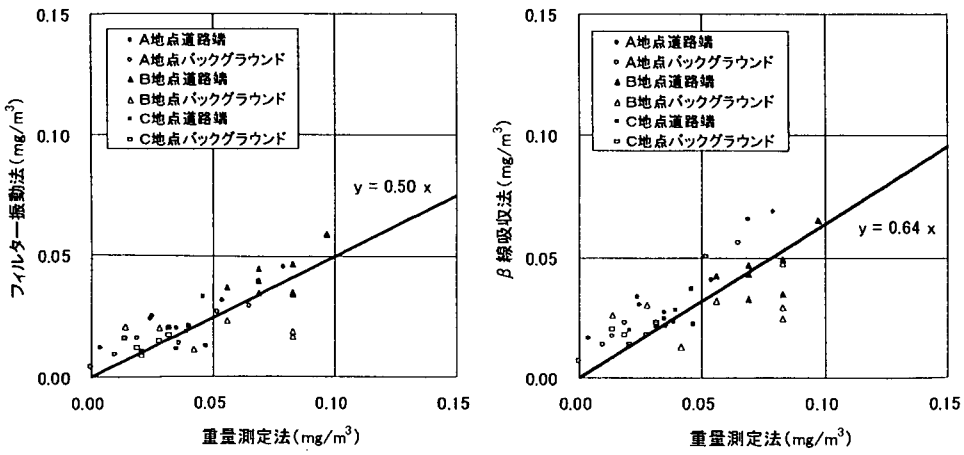
β線吸収法を用いて測定したSPMの濃度とPM2.5の濃度の比較を図－２に示す。両者は一部の地点でばらつきがみられたものの、ほぼ直線関係にあり、PM2.5の濃度はSPMの濃度の70～90％程度であった。この割合を地点別に道路端とバックグラウンドとで比較してみると、３地点で傾向が異なっており、本調査においては、自動車から排出されるSPMに占めるPM2.5の割合がバックグラウンドより高いとういう傾向をつかむまでには至らなかった。



図－２　SPMの濃度とPM2.5の濃度の比較（β線吸収法）

測定方法の違いによるPM2.5濃度の違いを図－３に示す。

フィルター振動法及びβ線吸収法で測定した濃度は、重量測定法で測定した濃度に対し、ほぼ直線関係にはあったが、フィルター振動法での測定結果は重量測定法の50％程度、β線吸収法での測定結果は重量測定法の64％程度と、値としては低くなる傾向がみられた。ただし、重量測定法と他の手法とで値がほぼ等しくなるとの報告もあることから、両者の手法の差について検討する必要があると考えられる。また、フィルター振動法とβ線吸収法とを比較すると、フィルター振動法のほうが、若干濃度が低く測定される傾向がみられた。



図－３　測定の違いによるPM2.5濃度の違い

（大西、山田、大城）

（１２）道路環境アセスメントマニュアルの運用に関する調査

研究期間：平11

担当：交通環境研究室

【要旨】

道路交通に起因する浮遊粒子状物質のうち、過年度までの調査で排気管から粒子として排出される量が算出されたが、この他、二次生成物質や巻き上げによる寄与があることが指摘されている。平成11年度は、沿道における二次生成物質の生成量を把握することを目的とし、車道部端から風下方向にかけての浮遊粒子状物質の濃度変化と成分変化を調査し、車道部端から風下側の濃度変化について測定結果と二次生成物質等を考慮しないで予測した結果とを比較した。その結果、排気管から排出された物質による二次生成物質が沿道のＳＰＭ濃度に及ぼす影響は確認されなかった。

１．研究目的

道路交通に起因する浮遊粒子状物質のうち、過年度までの調査で排気管から粒子として排出される量が算出されたが、この他、二次生成物質や巻き上げによる寄与があることが指摘されている。

自動車の走行に伴って巻き上げられる粒子状物質としては、タイヤや舗装材の摩耗粒子が考えられ、平成７年度に行った浮遊粒子状物質の成分分析調査ではタイヤや舗装材を構成する成分が含まれていた。

二次生成物質は、排気管から気体として排出された窒素酸化物や硫黄酸化物、有機炭素などが大気中で反応、凝集することによって生成する。平成10年度に行った調査では、沿道おいても二次生成物質によるＳＰＭ濃度への寄与があることを示唆する結果が得られているが、生成量を算定するまでには至っていない。

平成11年度は、沿道における二次生成物質の生成量を把握することを目的として、車道部端から風下方向にかけての浮遊粒子状物質の濃度変化と成分変化を調査した。

２．研究方法

風下側車道部端及びその車道部端から５ｍ、50ｍ、100ｍ、150ｍ離れた地点と、風上側の車道部端から50～100ｍ及び200ｍ程度離れた地点で、ロウボリュウムエアーサンプラーを用いて浮遊粒子状物質を捕集した。捕集期間は７日間とし、６時間毎に捕集ろ紙を交換した。得られた28枚のろ紙の中から、捕集時の風向が道路とほぼ直角であった８枚を抽出し、浮遊粒子状物質の重量を測定するとともに成分を分析した。

調査は、３路線の一般国道沿道で冬季に行った。調査箇所の概要は表－１に示すとおりである。

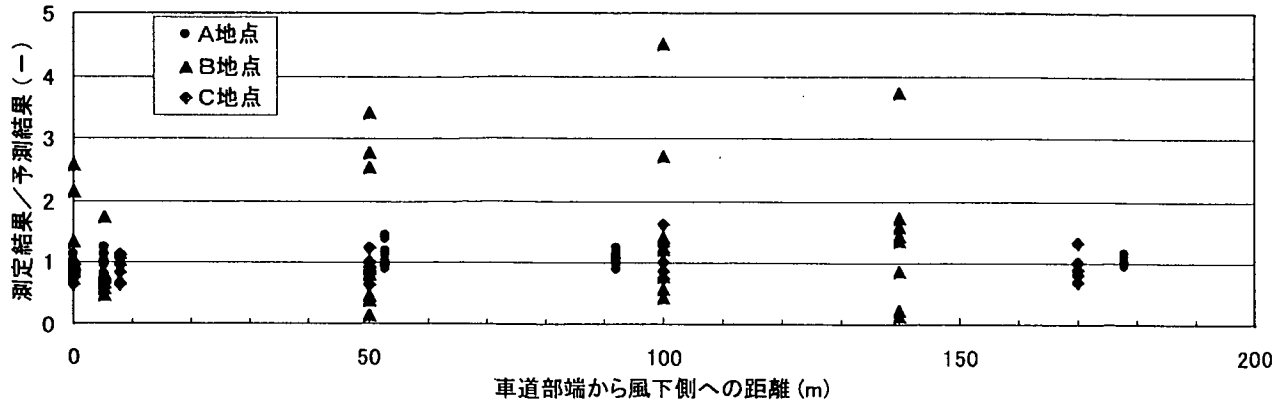
車道部端から風下側の濃度変化について、測定結果と二次生成物質等を考慮しないで予測した結果とを比較することにより、二次生成物質のＳＰＭ濃度への影響の有無を検討した。

表－１　調査地点の概要

地　点	構　造	車線数	日交通量	大型車混入率
A	平　面	４車線	49,138 台	22.4 %
B	平　面	４車線	47,074 台	45.7 %
C	平　面	４車線	50,278 台	39.4 %

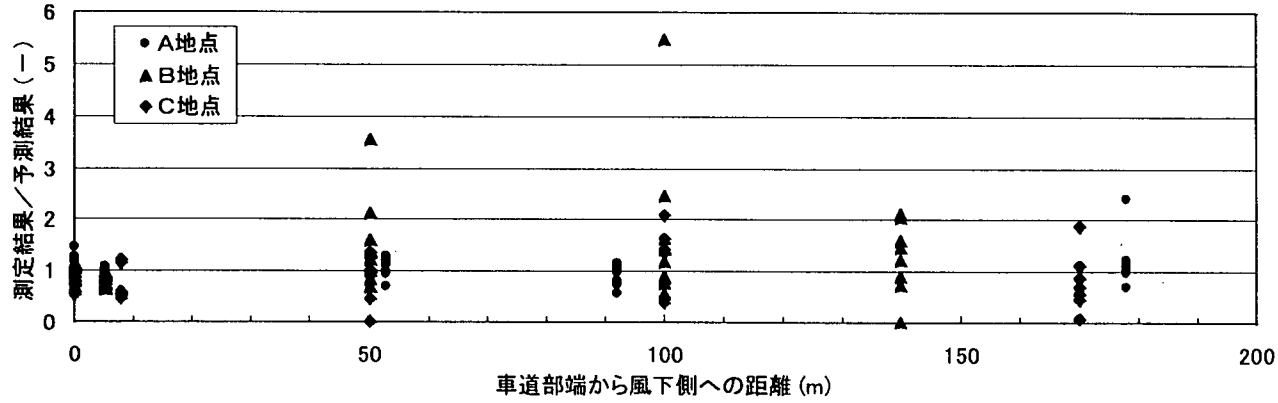
３．研究結果

ＳＰＭ濃度の測定結果の予測結果に対する割合を図－１に示す。予測には二次生成物質等を考慮していないため、測定において二次生成物質が確認されれば、風下側になるにつれて排気管から排出されてから時間が経過することから、測定結果の予測結果に対する割合は増加すると考えられる。しかし、図－１からは、風下側になるにつれて割合が増加するような傾向は読みとれなかった。

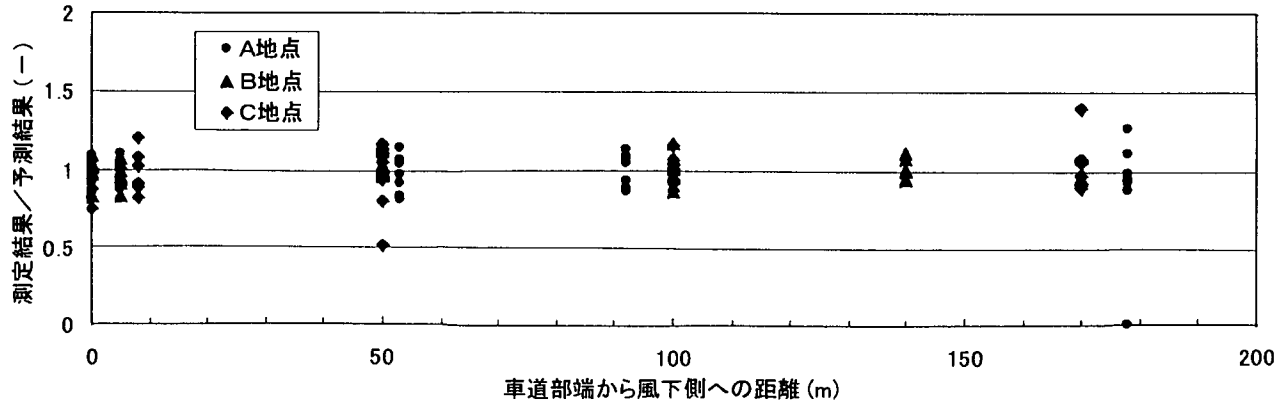


図－１　ＳＰＭ濃度の測定結果の予測結果に対する割合

また、排気管から排出される物質のうち二次生成物質に寄与すると考えられる有機性炭素について同様の検討を行った結果を図－２に、硝酸イオン及び硫酸イオンについて同様の検討を行った結果を図－３に示す。測定結果及び予測結果は、大気中におけるＳＰＭに含まれる各成分の濃度を求めたもので、ＳＰＭ全体での検討と同様、測定結果で各成分の二次生成物質が確認されれば、車道部端より風下側の割合が増加することになる。しかし、各成分でみた場合でも風下側で割合が増加するような傾向ははっきりとは確認されず、今回の調査結果では、排気管から排出された物質の二次生成物質が沿道のＳＰＭ濃度に及ぼす影響は確認されなかった。



図－２　ＳＰＭに含まれる有機性炭素の測定結果の予測結果に対する割合



図－３　ＳＰＭに含まれる硝酸イオン及び硫酸イオンの測定結果の予測結果に対する割合

（大西、山田、大城）

3.3　沿道の自然環境に関する研究

（１３）道路におけるビオトープネットワークの計画手法の開発

研究期間：平９～平 12

担当：交通環境研究室

【要旨】

本研究は、道路空間を活用した地域の生態系ネットワークを構築するための計画手法の開発を目指している。過年度では、生態系ネットワーク構築の計画手順として構想－基本計画－整備計画の３つの策定段階を提案し、そのうち構想段階の策定プロセスをケーススタディ等を行うことによって開発した。１１年度は、この策定プロセスを検討するのに、過去からの緑の変遷及び将来の社会環境(インフラ整備、土地利用など)の状況を検討項目に新たに取り入れ、ケーススタディを行うことによって生態系ネットワーク構想の策定プロセスの改良を行った。また、この結果より、生態系ネットワーク計画策定における構想－基本計画－整備計画の各段階で出すべきアウトプットを再整理した。

１．研究目的

本研究は、道路空間を活用した生態系ネットワークを構築するための計画手法を開発することを目指している。その第一段階である生態系ネットワーク構想について、コアエリア、生態的回廊の配置や整備方針に過去からの緑の変遷及び将来の社会環境(インフラ整備・土地利用など)の状況を検討項目に取り入れ、策定プロセスを改良することを目的とした。

２．研究方法

２．１　生態系ネットワーク構想の策定プロセスの概略検討

過年度開発した生態系ネットワーク構想の策定プロセスをもとに、過去の緑の変遷(失われた生態系の回復の視点)と将来の社会環境の状況(緑地の担保の視点)をコアエリアや生態的回廊の配置・整備方針を決めるためにどの様に取り入れるか検討し、策定プロセスの概略を検討した。

２．２　ケーススタディによる生態系ネットワーク構想の策定プロセスの改良

２．１で検討した策定プロセスに従って、横浜市北部地域を対象としてケーススタディを行った。そのケーススタディ結果より、策定プロセスの具体的な検討項目を明らかにし、改良を行った。その結果より、生態系ネットワーク計画策定における構想－基本計画－整備計画の各段階で出すべきアウトプットを再整理した。

３．研究結果

３．１　生態系ネットワーク構想の策定プロセスの概略検討

まず、どこが重要な動植物、また多様な動植物の生息・生育空間(コアエリア)であり、将来そのコアエリア同士をおおむねどこでつなぐ(生態的回廊)必要があるのかを明らかにすることを生態系ネットワーク構想の主なアウトプットとした。そこで、コアエリア、生態的回廊の配置や整備の方針を決めるために、過去から現在にかけて失われた自然の回復、現在成立している生態系の状況、緑地の将来の担保性の３つの視点から生物多様性の確保のための課題を整理し、策定プロセスの概略を図１のとおり提案した。

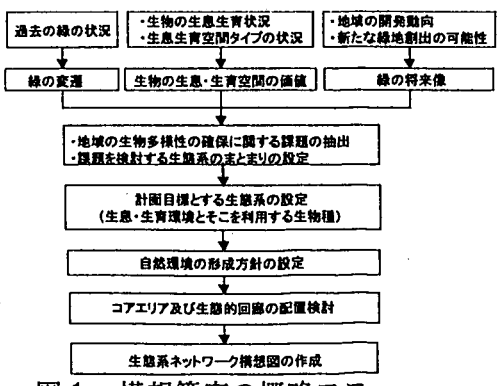


図１　構想策定の概略フロー

３．２　ケーススタディによる生態系ネットワーク構想の策定プロセスの開発

ケーススタディでは横浜市における過去からの緑地の変遷を把握するため過去の空中写真等より植生を判読した。また将来の社会環境情報として、将来の土地利用の概況、都市計画・道路計画・緑のマスタープラン・公園緑地計画等を整理した。次に、生物多様性の方策を検討するために、地域を特徴づける一定規模以上の生態系のまとまりを設定した(以降これを生態系ゾーンと呼ぶ)。生態系ゾーンはおもに森林生態系、里山生態系、都市生態系等に分類され、その生態系を保全、さらには質的向上を図ることが大きな目標となる。その生態系ゾーン内に河川の流域に基づき区分した生態系の範囲を設定(これを流域ブロックとした)し、それぞれについて保全すべき重要な動植物、また多様な動植物の生息・生育空間であるコアエリアおよびコアエリア間を結ぶ生態的回廊の配置方針を決定した。さらに、それらの具体的な整備を行うために目標種を設定することとした。これらを踏まえて生態系ネットワーク構想図を作成し、生態系ネットワーク上の整備すべき部分の整備手法(どの事業で整備するのか)を検討するまでを生態系ネットワーク構想とした。このケーススタディの結果により、改良した策定プロセスを図2に示す。また、これにあわせて、生態系ネットワーク計画の各段階のアウトプットを再整理した(表1)。ここでは、構想段階では前述のように計画対象地域にコアエリアと生態的回廊を配置し、基本計画段階では道路が関連する箇所での整備方針を決定し、整備計画段階では具体的な路線における整備方法の検討を行うこととした。また、各段階における対象エリア、検討時に使用する図面のスケール及び策定主体を整理した。

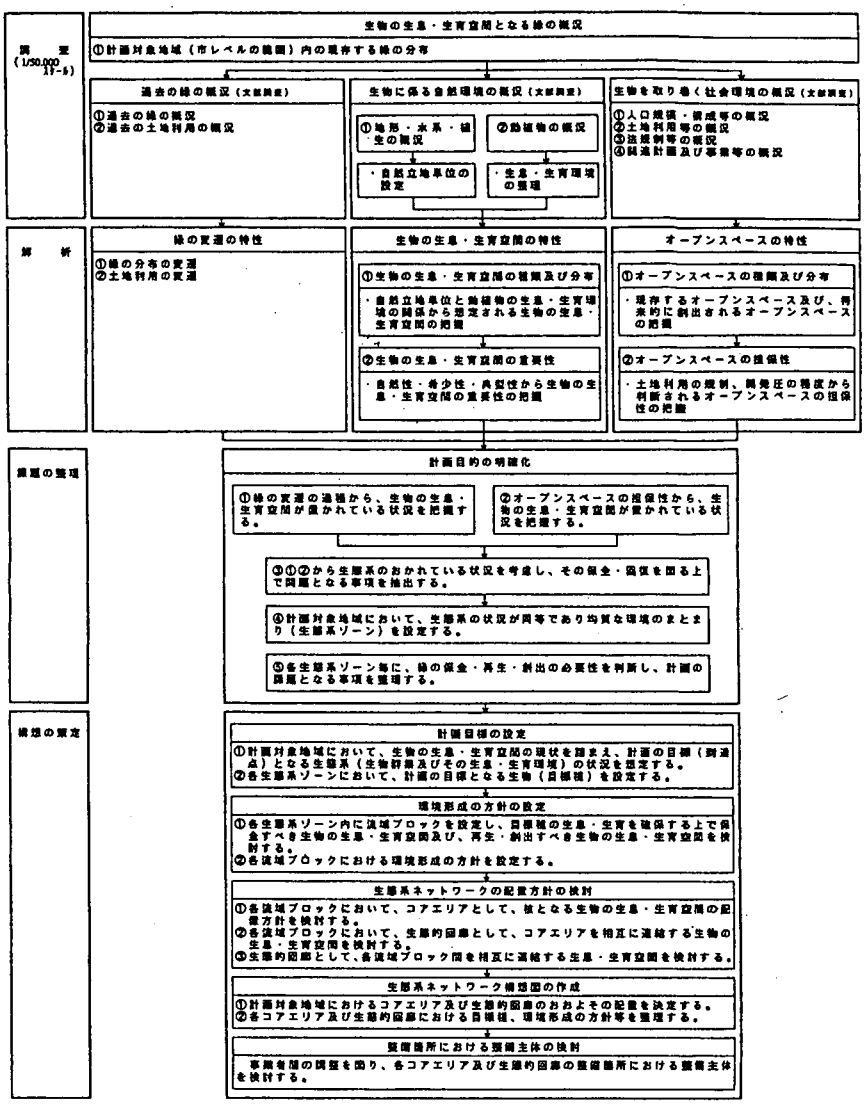


図2　構想の策定プロセス

表1　生態系ネットワークの各段階でのアウトプット

	策定主体	対象事業	図面の縮尺	記載事項
構想	・都市計画部局 ・地方建設局	・市レベルの範囲内の全事業(道路・河川・公園等)	1/50000～ 1/100000	①地域を特徴づける生態系ゾーンの範囲 ②確保・充実を図る生息生育環境及び計画対象種 ③コアエリア及び生態的回廊のおおむねの位置 ④コアエリア及び生態的回廊の環境形成の方針 ⑤基本計画策定に向けた検討単位(流域ブロック) ⑥流域ブロックにおける各種事業の役割分担
基本計画	・地方建設局 ・工事事務所	・流域ブロック内の複数の路線	1/10000～ 1/25000	①コアエリア及び生態的回廊の位置 ②コアエリアにおける道路環境形成の内容 （道路空間の活用や道路による分断の除去） ③生態的回廊としての道路環境形成の内容 （道路空間の活用や道路による分断の除去） ④各道路事業における目標種
整備計画	・工事事務所	・1路線	1/2500～ 1/5000	①道路施設の位置及び具体的な環境形成を図る位置 ②植栽の範囲・植栽パターン ③目標種に適した生息・生育空間の整備方法

（大西、上坂、川上）

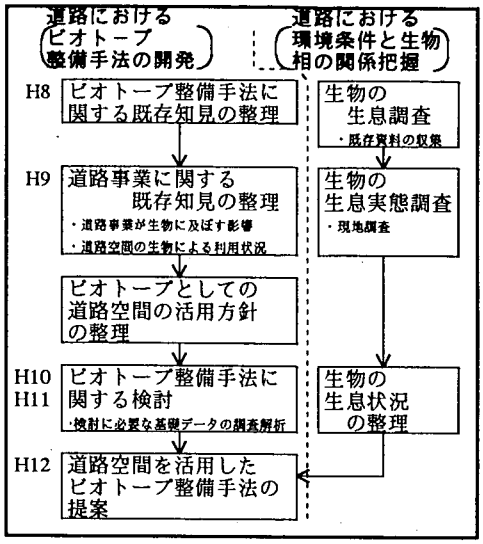
（１４）道路におけるビオトープの整備手法の開発

研究期間：平８～平 12

担　　当：交通環境研究室

【要旨】

道路の緑地は、都市部において生物の生息空間として重要であり、生態系ネットワークの一部として利用できると考えられる。しかし、盛土のり面の脇には側道が付随することが多く、移動能力の低い動物では側道がのり面への進入の妨げになっている可能性がある。そこで、平成 11 年度には分断の影響を受けやすい地表徘徊性の昆虫類を対象として、盛土のり面への進入可能性（側道による分断の影響）を検討した。その結果、地表徘徊性昆虫類・オサムシ科昆虫類共に、側道の幅員が増すにつれ盛土のり面と側道の反対側の近接緑地で確認された種の共通性が低下することを確認した。特に幅員 10 ｍの側道では、オサムシ科昆虫の進入は困難になることを確認した。



研究の全体計画

１．研究目的

本研究は、地表徘徊性の昆虫類を対象として、盛土のり面への進入可能性（側道による分断の影響）を把握することを目的とした。地表徘徊性の昆虫類は飛翔できないため、道路などによる分断の影響を受けやすいと考えられる動物である。

２．研究方法

２．１　調査箇所

調査区間は、茨城県内の常磐自動車道那珂ＩＣ～土浦北ＩＣ間とした。調査箇所は、調査区間の盛土のり面のうち側道を挟み両側（盛土のり面・近接緑地）がスギまたはヒノキ植林の箇所を抽出した。次に現地調査により植生の相関が類似した場所を 10 箇所選定した。調査箇所の概況は表１に示す。

表1　調査箇所の概況

調査箇所	植生		側道幅員	側溝数	面積（ha）		側道の交通量	常磐道
	のり面	近接緑地	（m）	*1	のり面（斜幅ｍ）	近接緑地	（台/h）	供用開始年
1	スギ	スギ	4.0	2	0.05（ 8.5）	11.3	3.0	
2	スギ	スギ	12.5	2	0.30（18.0）	5.4	606.7	
3	スギ	スギ	10.0	1	0.21（10.0）	2.9	1179.7	
4	スギ	スギ	4.0	2	0.16（17.0）	12.7	39.7	
5	スギ	スギ	4.0	1	0.18（16.0）	12.7	39.7	1984
6	スギ	ヒノキ	4.0	2	0.20（ 9.0）	2.5	6.7	
7	スギ	スギ	0.0	1	0.79（ 8.0）	20.7	0.0	
8	スギ	ヒノキ	4.0	1	0.74（13.0）	4.0	19.7	
9	スギ	ヒノキ	4.0	1	0.31（12.0）	3.8	22.0	
10	スギ	スギ	0.0	1	0.70（ 9.0）	0.4	0.0	

*1 片側のみ設置されている＝１,両側に設置されている＝２,
　蓋がある場合は、側溝は無いとみなした。
*2 平日 7:00~9:00 の任意の 90 分間調査した。ﾊﾞｲｸは 0.5 台として加算。

２．２　地表徘徊性昆虫の生息環境の把握

調査対象の生息環境を把握するため、植生と土壌の調査を 1999 年９月に実施した。調査地点は図１のとおり設定した。植生調査は原則として群落高を一辺とする調査枠を設定し、植物社会学的手法に基づき実施した。土壌調査では、土壌硬度と乾湿、有機物（腐植）の堆積状況、土色、土性を記録した。

２．３　地表徘徊性昆虫類の生息状況の把握

地表徘徊性昆虫類について、ベイトトラップで捕獲し、種まで同定した。調査地点は図１のとおり設定し、盛土のり面と近接緑地に各 20 個のトラップを設置

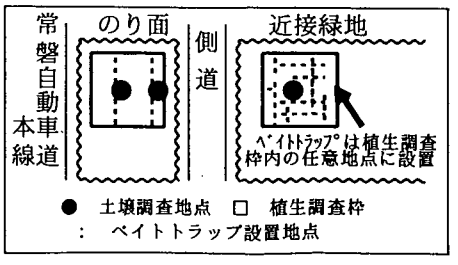


図1　各調査箇所の各種調査地点位置

した。現地調査を 1999 年 9 ,10 月の 2 回実施した。

2．4　共通係数を用いた移動阻害の影響検証

本稿では Jaccard の共通係数を用い、のり面と近接緑地間の共通係数と側道の幅員との関連を検討した。地表徘徊性昆虫は周辺の樹林（近接緑地）からのり面に進入し、類似した環境が存在する場合には進入した個体が定着すると仮定した（昆虫類がのり面と近接緑地間を自由に往来できれば、共通係数は高い値となるはずである）。なお、捕獲種には飛翔可能な種も含まれるため、飛翔能力がないオサムシ科のみを抽出した検討も行った。

$$c.c = c/(a + b - c)$$

c.c　：Jaccard の共通係数（Coefficient community）
a , b　：比較する 2 地点各々の出現種数
c　：共通出現種数

3．研究結果

3．1　地表徘徊性昆虫の生息環境

選定した10箇所の調査地点（盛土のり面、近接緑地）の植生については、植被率にやや差がみられたが、類似した種が生育していた。また、土壌環境はおおよそ類似した環境であった。

3．2　地表徘徊性昆虫類の生息状況

盛土のり面では 18 ～ 32 種、近接緑地では 21 ～ 38 種を確認した。樹林の林床に生息する種が大半を占め、石谷によるオサムシ科甲虫の環境指標性の区分による森林性生息種も含まれていた。したがって、のり面の生息環境は比較的安定しており、生息空間として機能していると考えられた。

3．3　側道によるのり面と近接緑地間の側道による移動阻害

のり面と近接緑地で捕獲した全種およびオサムシ科昆虫類の共通係数と、側道の幅員との関係を図 2 に示す。

地表徘徊性昆虫類全般・オサムシ科昆虫類共に、側道の幅員が増すにつれ種の共通性が低下した。側道が移動阻害の要因と考えられる。この傾向は、飛翔能力のないオサムシ科の昆虫類で顕著であった。特に、交通量が多い幅員 10m の道路では、オサムシ科昆虫の進入は困難になる傾向がある。 しかし、幅員 4 mの道路であれば、オサムシ科の昆虫類が盛土のり面に進入する可能性が高いと考えられた。

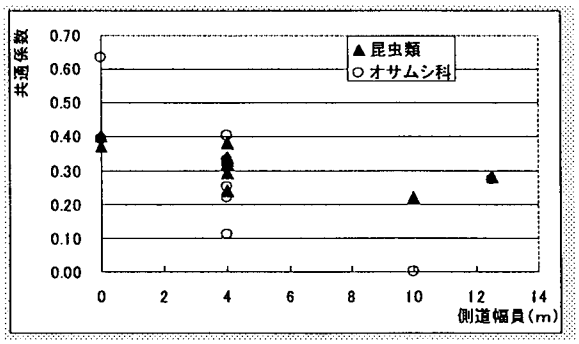


図2　地表徘徊性昆虫類およびオサムシ科昆虫の共通係数と側道の幅員との関係

3．4　高木層の植被率が共通係数におよぼす影響

本調査の地点間の生息環境条件は、できる限り統一したが、完全に同一ではない。オサムシ科昆虫の共通係数のうち、側道の幅員が 4 mの地点では、共通係数にばらつきがみられた。盛土のり面と近接緑地の高木植被率の差が小さいほど共通係数が高いという関係がみられた（図 3）。

これは、植生が同質であれば、のり面に移動してきた地表徘徊性昆虫類の定着率が高まる可能性があることを示す。

なお、本調査結果からは、草本相の植被率と共通係数との間に関係は認められなかった。

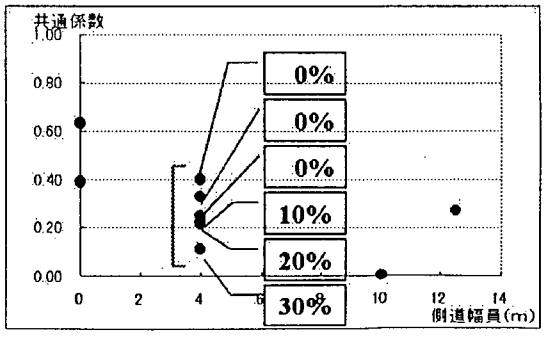


図3　高木植被率と共通係数との関係（幅員）
□: 高木層植被率の差(%)=近接緑地の植被率－盛土のり面の植被率

（大西、上坂、川上）

（１５）道路による動物の生息域への影響低減技術の調査研究

研究期間：平 10 ～平 14

担当：交通環境研究室

【要旨】

本研究では、道路による動物の生息域の分断の影響を低減する技術の開発を目指している。１１年度にはオランダの運輸公共事業水管理省道路水利技術研究所との共同研究「道路による生息域の分断防止対策に関する研究」の一環として我が国で日蘭ワークショップを開催した。ワークショップでは日本とオランダの「道路による生息域分断の防止技術」と「生態系ネットワークの形成」に関して、具体的な整備方針や対策技術の情報交換および討議を行った。その結果、オランダでは計画－設計－施工－維持管理段階において、常に行政担当者や事業者、NGO が相互に協議を行いながら事業を進めていることがわかった。

１．研究目的

本研究では、道路による動物の生息域分断の影響を低減する技術の開発を目的としている。この技術開発では、対象とする動物種や地形・植生等地域の特徴に応じて研究する必要があると考えられる。さらに、生息域の分断が地域の生態系ネットワークにも及ぼす影響を考慮して、それを軽減し、生態系ネットワークの質的向上に資する方向で技術開発を行うことが重要である。

２．研究方法

日本とオランダの道路による生息域分断の防止や生態系ネットワークの形成に関して情報交換や討議を行うため日蘭ワークショップを開催した。日蘭ワークショップには、オランダ側から 4 名(写真１，表１参照)が参加した。日蘭ワークショップでは土木研究所において具体的な道路が関連する生態系ネットワーク整備の方針や技術に関する情報交換および討議、日本のエコロード事業の現地視察、日蘭シンポジウムを行った。シンポジウムには、主に国、地方公共団体、公団、学界、民間企業等から約 150 人の参加者があった。



写真１　土木研究所での意見交換会

表１　日蘭ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑの講演者および講演題名

講演題名	講演者・所属
オランダの自然と自然保護の現状、オランダの自然保護政策における生態系ネットワーク	Paul Aukes 農業・自然管理・水産省　自然管理情報センター　自然環境部　生態系専門官
環境庁における生物多様性保全の取り組み	中島　慶二 環境庁自然保護局　計画課　課長補佐
生息環境の分断とその解消：インフラによる生息環境分断への対策の経緯、成果、及び事業化手法	Hans Bekker 運輸・公共事業・水管理省　道路水理技術研究所　ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑﾏﾈｰｼﾞｬｰ
オランダの自然環境保全における路傍空間の重要性	Hans de Vries 運輸・公共事業・水管理省　道路水理技術研究所　環境部　ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄﾏﾈｰｼﾞｬｰ
道路空間を利用した生態系ネットワークの構築の可能性	大西　博文 建設省土木研究所　環境部交通環境研究室　室長
自然環境保全、特に生態系ネットワークの実現におけるNGOの役割と重要性	Wim Geraedts 自然保護団体連合　シニア職員
環境の時代を迎えるミティゲーションのあり方	池谷　奉文 財団法人　日本生態系協会　会長

３．研究結果

３．１　自然環境保全政策としての生態系ネットワークの整備

オランダでは 1990 年に自然政策計画が策定され、国土生態系ネットワークを 2020 年までに形成することを提言している。その計画区域において、自然環境保全を主目的として整備する目標面積は 70 万 ha である。計画では保全・回復を目指すべき５タイプの生態系(河川ランドスケープ、河畔林、貧栄養の湿性草原、河川の自然堤防と後背湿地、砂質土壌・粘土土壌上の森林)とそれぞれの生息目標種を明らかにしている。

一方、日本では生物多様性条約に基づき 1995 年に生物多様性国家戦略を決定し、21 世紀半ばまでに達成すべき生物多様性の保全と持続可能な利用を目指す長期目標に向けての取り組みを進めている。環境庁では、「生物多様性保全のための国土区分及び区域ごとの重要地域情報」の試案の取りまとめや、国土レベルの生態系ネットワークの形成に向けた「緑の回廊構想」の策定等を行っている。

３．２　道路事業における動物の生息域分断に対する取り組み

オランダでは生態系ネットワークの理念が、インフラ等による生息環境の分断化を防止するための施策に展開されている。道路事業でもこの問題が認識されてきており、様々な動物用の道路横断施設を設置している。オランダの自然草地等は３千 ha であるのに対し、自動車専用道路の路傍は幅が 10 ～ 50m、合計面積が 1.2 万 ha ある。これらを動植物の生態を考慮に入れて整備を行うことで、植物種と昆虫類・鳥類・小型ほ乳類等にとって重要な生息環境として機能することが確認されているとの報告があった。

一方日本においては、エコロード事業として沿道に生息・生育する貴重種の保全や道路建設による地形改変の回避・最小化・回復など直接的影響への対策は行われてきている。しかし、地域の生態系を保全するには、道路による自然環境への直接的影響の対策だけでなく、視野を広くして地域の生態系ネットワークの保全と整合を図りつつ、さらには生態系ネットワークの形成に貢献できるよう道路事業における自然環境保全の方向性を検討し、取り組んでいくことが望ましい。

３．３　NGO の役割と重要性

オランダの自然環境保全を主目的とする土地所有者のうち大きなものは、国家森林局(22 万 ha を所有)、NGO(16 万 ha を所有)である。NGO による動植物の調査は、モニタリングルートが設定されており、一定ルート上を毎週、あるいは毎月調査している。こうした調査を趣味としているボランティアは、現在では５万人を超えていると言われている。権威ある機関の専門家が、これら調査により得られた情報を確認して統合し、毎年公表している。これら情報は事業者によるエコダクト等の整備の際に活用されている。

日本における自然環境関係の NGO の活動は、象徴的な生物や自然環境の保全等を中心に展開されており、まだ自然環境の基礎的な情報収集といった方面の活動は少ないように思われる。しかし、今後このような NGO の活動も大きくなってくるものと思われ、各種の事業を行う際には広く収集された自然環境情報に基づいて、事業者と NGO が連携していくことが求められる場面も出てくると考えられる。

３．４　シンポジウムにおけるパネルディスカッション

ここでは、勝野武彦氏（日本大学　生物資源科学部　教授）をコーディネーターとして講演者７名によって講演内容をふまえた意見が交わされた(写真２)。



写真２　日蘭シンポジウムにおけるパネルディスカッション

オランダでは道路による生息域の分断を防止するため、動物の行動パターンモデルを用いた移動路の予測、交通量・地形・景観の分析、NGO から提供される情報、ロードキルの統計等により対策方法が検討されている。その費用は新設道路の場合、運営コストの中に含まれている。また、生態系ネットワーク上の広いコアエリアは政府と NGO が所有しており、NGO によるその管理と政府によるエコダクト等の整備とが協力して行われている。

本ワークショップで特に生態系ネットワーク整備の実施体制として強調されたのは、オランダにおいて生態系ネットワークの計画担当者及びインフラ整備を行う事業者など行政側と自然保護 NGO が、常に計画－設計－施工－維持管理段階において相互に協議を行いながら事業を進めていることであった。

４．主な研究成果物

・建設省土木研究所，オランダ運輸公共事業水管理省道路水利技術研究所：日蘭シンポジウム「道路による生息域の分断防止と生態系ネットワークの形成に向けて」講演資料集，1999.11

（大西、上坂、川上）

（１６）環境保全措置の効果についてのエコロード等による追跡調査

研究期間：平 11

担当：交通環境研究室

【要旨】

道路による動物の移動経路の分断による影響を緩和する対策としてボックスカルバート、コルゲートパイプ等による動物用道路横断施設が設置されている。しかし、保全対象とする動物種毎の適した設置方法や利用頻度などの効果については未解明な点が多い。そこで、今後動物用に道路横断施設を設置するためには、動物が選好する横断施設の構造や設置位置等を検討する必要がある。

そこで本研究では、既設の道路において道路横断施設の動物による利用状況(動物種、利用時刻、利用頻度等)を長期にわたり低労力かつ効率的に調査する方法としてカメラ等による自動撮影方法を開発することを目的とする。

１．研究目的

動物が選好する動物用道路横断施設の構造や設置位置等を解明するために行う動物の道路横断実態の調査方法を明らかにすることを目的とする。そのため、既存の道路横断施設において動物による利用状況(動物種、利用時刻、利用頻度等)を自動撮影機器により長期間効率的に撮影できる方法を開発する。

２．研究方法

２．１　自動撮影機器の選定

カメラ等による動物の自動撮影に関する知見を収集し、撮影機器、撮影方法等を整理した。その結果、図１に示すような撮影機器としてデジタルカメラ、一眼レフカメラ、ハンディカムカメラを使用した自動撮影システムの適用性を検討することとした。撮影のための照明は基本的に赤外線フラッシュを用いることとしたが、デジタルカメラのみ赤外光をカットする構造となっていることから通常のフラッシュを用いた。

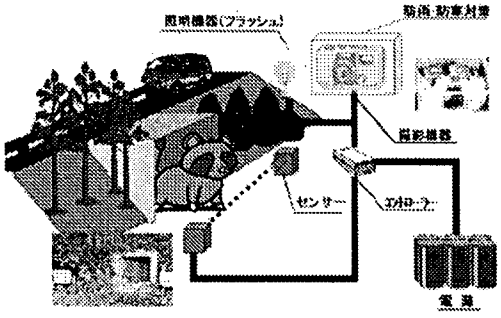


図１　自動撮影システムのイメージ

２．２　調査箇所の選定

自動撮影システムの適用性を調査するための箇所として、全国的にもロードキルが多い高速道路区間を選定した。その区間内にあるボックスカルバート(以下 BC)とコルゲートパイプ(以下 CP)の８箇所の道路横断施設において動物の利用回数を足跡調査により数えた。足跡調査は、現地で道路横断施設の出入り口両側において４晩行った。その調査結果を表１に示す。動物の通過数が多い、人間の利用が少ない、さらに自動撮影システム及び監視カメラを設置しやすいこと等を考慮して、調査地点を BC1、BC2、CP1、CP3 とした。

表１　足跡調査の結果

日程		中型野生哺乳類	野生動物合計
BC1	1日目	タヌキ4	16
	2日目	タヌキ5	
	3日目	キツネ3、不明2	
	4日目	キツネ2	
BC2	1日目	タヌキ1、キツネ1	15
	2日目	タヌキ4、キツネ1、イタチ1	
	3日目	タヌキ2、キツネ1	
	4日目	タヌキ3、キツネ1	
BC3	1日目	タヌキ3	14
	2日目	タヌキ2	
	3日目	タヌキ1、キツネ1	
	4日目	タヌキ6、イタチ1	
BC4	1日目		2
	2日目		
	3日目		
	4日目	タヌキ2	
CP1	1日目	タヌキ3	3
	2日目		
	3日目		
	4日目		
CP2	1日目		0
	2日目		
	3日目		
	4日目		
CP3	1日目		5
	2日目	タヌキ2	
	3日目		
	4日目	タヌキ2、イタチ1	

２．３　自動撮影システムによる撮影

２．１で選定した自動撮影システムを用い、２．２で選定した調査地点で３月８日から３月１９日まで表２に示す日程で動物の道路横断施設の通過を撮影した。自動撮影システムは、動物の種類、動物の通過位置、通過方向等がわかるように、横断施設内の上方から

撮影が可能な場所には仮設の棚を取付け設置した。このとき、自動撮影と同時に足跡調査も行った。足跡調査では、横断施設の入口(監視カメラと同じ側)に砂を 80 ～ 100cm 幅にまいて、通過個体の種及び個体数を毎日記録した。また、自動撮影機器が作動することによる動物の反応を調査するため、監視カメラによる夜間連続撮影も行った。監視カメラは動物に影響を与えないと思われる距離(約 10m)に設置した。

表２　システム別調査地点別自動撮影の日程

システム＼撮影日	3月8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日
デジタルカメラ					CP1				BC2			
一眼レフカメラ	CP1				BC2				BC1			
ハンディカム	BC2				BC1				CP3			

注１：▨は監視カメラ設置箇所
注２：機材はそれぞれの撮影日の前日より設置している。

３．研究結果

３．１　自動撮影調査と足跡調査の比較

自動撮影及び足跡調査では、タヌキ、キツネ、イタチ(チョウセンイタチ)、テン、イヌ、ネコが確認された。その結果を表３に示す。

表３　自動撮影の結果

システム	撮影日	3月8日	3月9日	3月10日	3月11日	3月12日	3月13日	3月14日	3月15日	3月16日	3月17日	3月18日	3月19日
デジタルカメラ						0	0	テン 1	0	タヌキ２	タヌキ４ ネコ 6	タヌキ１ ﾃﾝｸﾄﾝｲﾀﾁ１ ネコ 2	タヌキ１ ネコ 2
	足跡調査					0	0	テン 1	タヌキ１	タヌキ３	タヌキ４ キツネ１ 不明中型１	タヌキ２ イヌ 1 ネコ 2	タヌキ３ ネコ 1
一眼レフカメラ		0	0	動作不良	0	キツネ１	タヌキ２ キツネ２ イヌ 1 ネコ 1	ネコ 2	0	動作不良	0	0	0
	足跡調査	タヌキ１	タヌキ１ イタチ１	タヌキ２ イタチ１	0	タヌキ４	キツネ１ イヌ 1 不明中型２	不明中型２	キツネ１ ネコ 2	キツネ１	テン 1	0	タヌキ３ キツネ１ 不明中型１
ハンディカム		不明中型１	動作不良	動作不良	動作不良	タヌキ２	動作不良	ネコ 2	タヌキ２	0	0	0	0
	足跡調査	タヌキ１ キツネ１	タヌキ１ イタチ１ ネコ 1	タヌキ２	タヌキ４ キツネ２ ネコ 1	タヌキ３ キツネ１	タヌキ３	ネコ 2	タヌキ２	0	タヌキ１	イタチ１	タヌキ１

注１：機材はそれぞれの撮影日の前日より設置している。　注２：不明中型は、種が同定できなかった中型哺乳類。

各自動撮影システムと足跡調査の両方で確認された個体の数と確認個体数に対するその割合を算出した結果、デジタルカメラが１２個体(６１％)、一眼レフカメラが２個体(１５％)、ハンディカムカメラが６個体(６３％)となり、全体的な結果として足跡調査の方が確認数が多かった。しかし、調査日によっては自動撮影では確認できたのに足跡調査では確認できなかった場合もあった。足跡調査では砂の状態が天候に左右されやすく、足跡が残らないことがあるためと考えられる。一方、自動撮影システムで撮影できなかったのは、撮影機器毎の性能(シャッタースピードや解像度など)の差よりセンサーの感度や設置位置等によるものと考えられる。特にセンサーの感度については、感度を高くすると空撮りが多くなる一方、感度を低くすると空撮りは少なくなり同時に動物の撮影回数も少なくなる。また、横断路の構造(高さや幅)によっても感知範囲の調整が必要になり、センサーの感度や設置位置、感知範囲等の設定を今後明らかにすることが必要である。

また、自動撮影システムおよび足跡調査の精度を検討するため、全通過数が確認できると考えられる監視カメラによる夜間連続撮影を行う必要がある。

３．２　自動撮影機器の作動に対する動物の反応

自動撮影機器が作動することの動物への影響を調査するため、監視カメラでタヌキ、ノウサギ、テン、ネコについて横断路を通過する様子を撮影した。その結果、自動撮影時の照明が赤外光の場合、これら動物が撮影されることに特に警戒している様子は見られなかった。一方、通常のフラッシュ(デジタルカメラ)の場合、横断施設を通過中のテンがフラッシュ光に驚いて逃げ出す様子が確認された。このことから、今後夜間に行う撮影は動物への影響が少ない赤外線フラッシュが適切だと考えられる。

(大西、上坂、川上)

（１７）凍結防止剤の自然環境への影響実態の調査

研究期間：平11

担当：交通環境研究室

【要旨】

凍結防止剤が流入する公共用水域及びその周辺において、塩化物イオン濃度を調査し、凍結防止剤が水生生物に及ぼす影響について検討した。また、凍結防止剤が陸域生物に及ぼす影響に関する既存資料を収集・整理した。その結果、凍結防止剤が河川へ流入する地点近傍の塩化物イオン濃度は、水生生物の許容濃度と比べ概ね低い値であり、許容限度を超えるのはわずかの時間のみであった。凍結防止剤が植物に及ぼす影響としては、「薬剤成分が路面から流出し根から吸収されることによる影響」と「飛散した成分が葉に付着することによる影響」とに大別され、その内容を整理した。

１．研究目的

道路交通の安全を確保するため、路面凍結のおそれがある箇所には凍結防止剤が散布される。この凍結防止剤は、路面上の水分に溶解することで凝固点を降下させ、凍結することを防止している。道路管理に用いる凍結防止剤として数種のものがあるが、安価で入手しやすい塩化ナトリウムや塩化カルシウムが多く用いられている。散布した凍結防止剤は、周囲の植物に付着したり、溶解した後、路面の水分とともに道路外に流出し、下水道が整備されていない箇所では、土壌へ浸透したり直接公共用水域へ流出する。塩化物イオンは高濃度となると、一部の陸上植物や淡水域の水生生物に、影響を及ぼすことが知られている。

本研究では、凍結防止剤が流入する公共用水域及びその周辺において、塩化物イオン濃度を調査し、凍結防止剤が水生生物に及ぼす影響について検討した。また、凍結防止剤が陸域生物に及ぼす影響に関する既存資料を収集・整理した。

２．研究方法

２．１　凍結防止剤が水生生物に及ぼす影響

凍結防止剤が散布される道路近傍の２河川で、凍結防止剤の主成分である塩化物イオン濃度を測定した。塩化物イオン濃度の分析は、調査期間中に各地点で５回ずつ行った。また、塩化物イオン濃度の分析を行った地点で電気伝導率を期間中連続して測定し、同じ時間に分析した塩化物イオン濃度との関係から、塩化物イオン濃度の経時変化を算出した。

２．２　凍結防止剤が陸生生物に及ぼす影響

凍結防止剤、融雪剤、塩害に関する既存文献等を収集・整理し、凍結防止剤の成分が陸生生物に与える影響について検討した。文献検索は、JICST及びBIOSISによる文献検索システムを用いて行うとともに、その他学術雑誌など広く収集した。

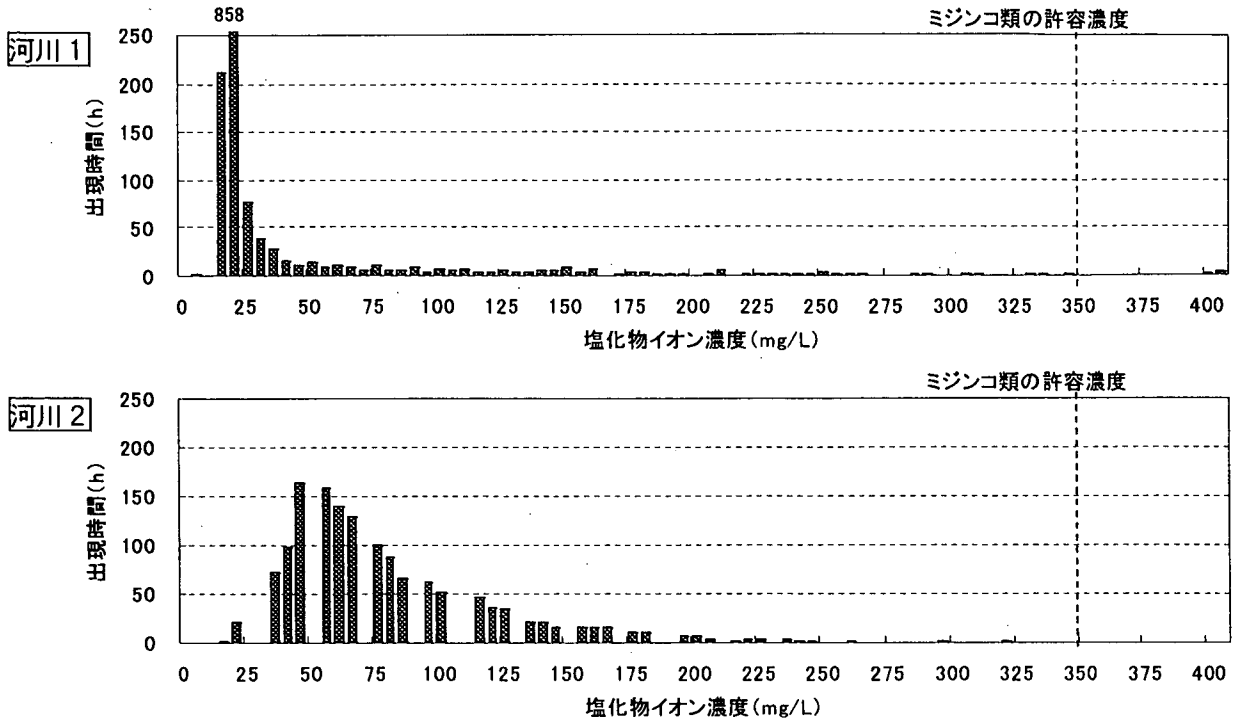
３．研究結果

３．１　凍結防止剤が水生生物に及ぼす影響

凍結防止剤が河川へ流入する地点近傍における塩化物イオン濃度の出現時間割合を図－１に示す。なお、ミジンコ類は水温が低下すると耐久卵となるが、文献に基づいて設定した許容限度が他の水生生物と比べ最も低かったことから参考値として図中に記載してある。

流入地点近傍の塩化物イオン濃度は、両河川ともほとんどが100mg/L以下の範囲内にあり、水生生物の許

容濃度と比べ小さい値であった。2河川で行った各2カ月間の調査で、ミジンコ類の許容限度である350mg/Lを超えたのは、1河川のわずか5時間だけであった。



図－1　凍結防止剤が河川へ流入する地点近傍における塩化物イオン濃度の出現時間割合

3．2　凍結防止剤が陸生生物に及ぼす影響

凍結防止剤の散布量は、新潟県、長野県が他県等に比べ突出して多く、地域別には、北海道、東北地方、北陸地方等で多い。しかし、一般道路では、坂道、曲線部、橋梁など凍結しやすく、凍結すると危険な場所へスポット的に散布する傾向にある。また、雪捨場等では、凍結防止剤を含んだ雪が集積され、その成分が流出することで影響が生じることも考えられる。

凍結防止剤が植物に及ぼす影響としては、大別して下記2点が考えられる。

①薬剤成分が路面から流出し根から吸収されることによる影響

元来の生育種が枯死し、植生が変化することもある。海外の事例では、沼地の植物群落が枯死し、塩分耐性の高い種に置き換わった例が報告されている。

②飛散した成分が葉に付着することによる影響

特に塩化ナトリウムを使用した場合に影響が認められた。脱水・原形質分離・呼吸阻害などを引き起こす。海外の事例では主として木本植物の葉の先端にネクロシス（壊死）をおこしていることが観察された。一方、塩化カルシウムを使用した場合の影響についての報告はみられなかった。

しかし、降水量や風向き、被害が生じた地点の散布量などの要因に関しては十分に把握されていない。

上記のように、既存の文献において凍結防止剤の植物への影響が認められる例が得られた。しかし、その影響要因や、影響の度合いが詳細に調査された事例はみられなかった。したがって、今後どのような状況下でどの程度の影響が生じるか等の実態を詳細に把握し、影響低減のための対策を検討する必要がある。

（大西、山田、上坂）

（１８）路面排水実態の調査

研究機関：平11
担当：交通環境研究室

【要旨】
路面排水の流出状態とその水質に関する知見を得ることを目的とし、国道及び高速道路において雨水ますに流入する直前の路面排水を所定の時間間隔で採水し、流出量の測定と汚濁物質濃度の分析を行った。
汚濁物質濃度は、総じて降雨初期に高く、時間の経過に伴って減少する傾向がみられた。平均値でみると、生物化学的酸素要求量と化学的酸素要求量は低い値で、浮遊粒子状物質及びノルマルヘキサン抽出物質含有量も、各々１地点で高い値となったが、他の２地点では低い値であった。蒸発残留物については、２地点で凍結防止剤の散布等の影響により高濃度が観測された。

１．研究目的

路面には、降下ばいじんの他、走行する自動車の排気ガスに含まれる粒子状物質やタイヤ及び舗装の摩耗くずなどが堆積している。路面排水とは、道路に降った雨水が、公共用水域や下水道に流出したもので、路面の堆積物を流すため、汚濁物質を含むことになる。しかしながら、路面排水の汚濁負荷を、定量的に把握した現地調査の事例は少ない。本研究では、国道及び高速道路において路面排水実態調査を実施し、路面排水の流出状態とその水質に関する知見を得ることを目的とした。

２．研究方法

雨水ますに流入する直前の路面排水を、所定の時間間隔で採水し、流出量の測定と汚濁物質濃度の分析を行った。分析項目は、生物化学的酸素要求量、化学的酸素要求量、浮遊物質量、ノルマルヘキサン抽出物質含有量、蒸発残留物とした。

採水間隔は、流出開始時から１時間以内が10分間隔で、２時間までが20分間隔で行い、さらに６時間までの間で採水を数回行った。

調査は、３地点で行い、各地点で４～５回の降雨を対象とした。調査地点の概要は表－１に示すとおりである。

表－１　路面排水実態調査地点の概要

地点	構造	車線数	集水面積	日交通量	大型車混入率
A	盛土	４車線	995 ㎡	10710 台	18.4 %
B	高架	４車線	387 ㎡	90144 台	15.2 %
C	平面	４車線	110 ㎡	30651 台	15.5 %

３．研究結果

路面排水実態の調査における結果の一例を図－１に示す。

路面排水は、降雨開始から数十分遅れて流出し始めている。これは、雨水が路面の窪みに溜まるのにかかる時間や、採水箇所へ到達するまでに要する時間によるものと考えられる。

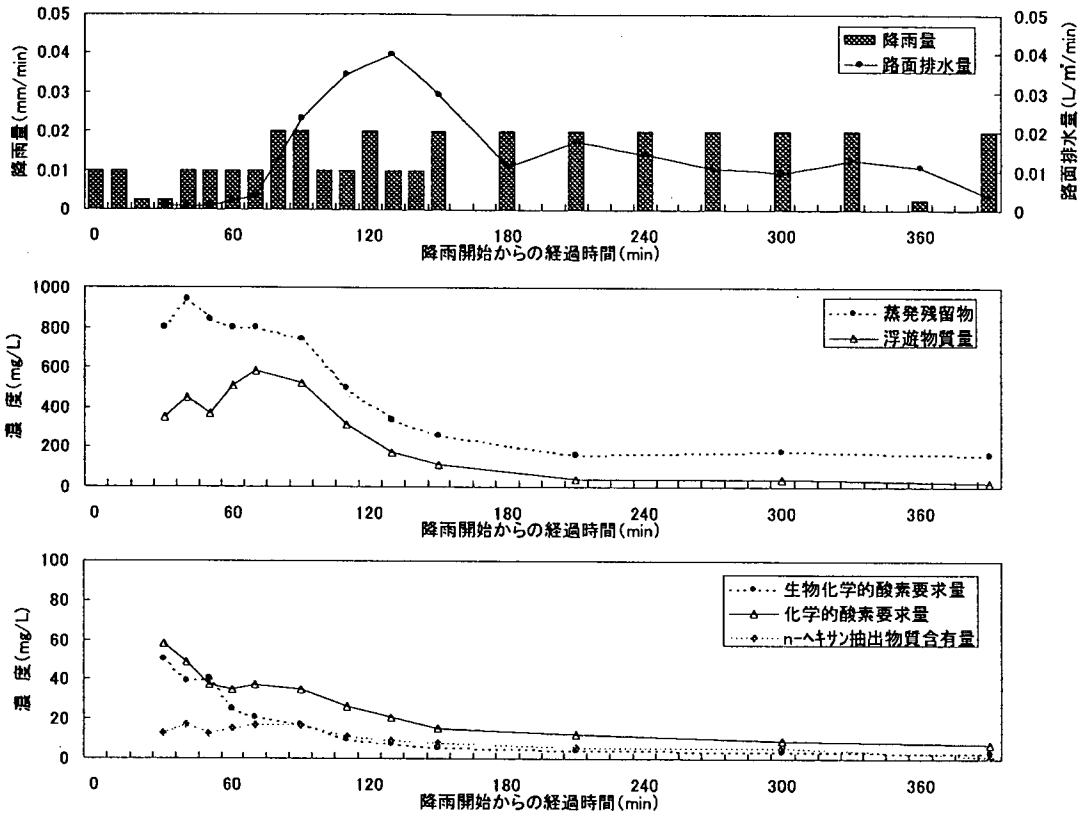
また、汚濁物質濃度は、総じて降雨初期に高く、時間の経過に伴って減少する傾向がみられ、路面の堆積物が降雨開始とともに速やかに洗い流されるファーストフラッシュ現象が確認された。

路面排水の水質調査結果を表－２に示す。

平均値でみると、生物化学的酸素要求量と化学的酸素要求量は、参考値とした排水基準値を大きく下回っていた。また、浮遊粒子状物質及びノルマルヘキサン抽出物質含有量についても、各々１地点で排水基準値を上回ったが、他の地点では排水基準値を下回っていた。蒸発残留物については、排水基準値が設けられて

いが、A地点やB地点では高濃度となっていた。これは、本調査が秋季から冬季に行われていたことから、凍結防止剤の散布による影響と推察される。

最大値でみた場合は、多くの項目で排水基準を超えていた。これらの値はいずれも降雨初期の排水量が少ないときに測定されたものである。したがって、排水先に配慮すべき保全対象がある場合などは、雨水ますを設置するなど、降雨初期に流出する雨水を希釈してから排水するような対策が考えられる。



図－1　路面排水実態の調査における結果の一例

表－2　路面排水の水質調査結果

地点	平均降雨量 mm/調査	平均排水量 L/m'/調査	水質	生物化学的酸素要求量 mg/l	化学的酸素要求量 mg/l	浮遊物質量 mg/l	n-ヘキサン抽出物質含有量 mg/l	蒸発残留物 mg/l
A	7.4	1.0	最小	3	10	13	<1	370
			平均	24	46	123	2	4,780
			最大	140	230	810	5	70,000
B	9.3	8.0	最小	3	7	1	1	60
			平均	10	33	221	3	672
			最大	209	273	2,208	32	48,848
C	7.0	6.4	最小	1	7	19	1	80
			平均	4	12	195	10	269
			最大	50	58	2,700	110	3,000
参考（排水基準）				160	160	200	5	-

注：1.水質の平均値は、各水質をそのときの排水量で加重平均することにより求めた。
2.水質の最小値及び最大値は、各地点で行った全調査の中での最小値及び最大値である。
3.排水基準は、路面排水には適用されないが、比較のための参考値として記載した。

（大西、山田）

3.4　地球環境に関する研究

（１９）低公害大型車等の導入が都市交通環境に与える影響に関する調査

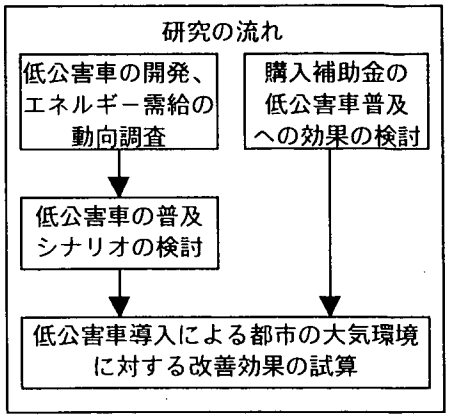
研究期間：平11～平13

担当：交通環境研究室

【要旨】

本研究では、低公害車等の導入により都市交通環境が改善される効果を定量的に把握することを目的としている。

11年度は、低公害車の開発・普及に関する専門家の予測評価や自動車メーカーの開発動向の整理、将来のエネルギー需給の見通し等から、低公害車の普及シナリオを整理した。また、10年度までに作成した都市交通部門におけるCO_2排出量の予測モデルの改善と、新たな削減施策を本モデルで扱えるように、それらのサブモデルの作成を行った。



１．研究目的

近年、窒素酸化物(NO_x)や浮遊粒子状物質(SPM)、二酸化炭素(CO_2)の削減などの環境問題に対応して、発生源対策として低公害車の導入・普及の促進施策が実施されている。本研究は、低公害車の導入による都市の大気環境に対する改善効果を検討し、望ましい都市交通整備手法の提案を行うことを目的としている。

２．研究方法

２．１　低公害車普及シナリオの検討

低公害車の普及による将来の大気環境の改善状況を予測するためには、国内外の自動車メーカーによる低公害車の開発動向や専門家による低公害車、自動車燃料、エネルギー需給の将来展望を踏まえて、今後の自動車の低公害化の現実的なシナリオを作る必要がある。そこで、自動車メーカーの低公害自動車開発動向のヒアリング、専門家の予測の整理、将来のエネルギー需給の見通しから、現実的な低公害車普及シナリオを検討した。

また、低公害車はほぼ同性能の従来型車と比較して車両価格が高いことが普及の妨げとなっていると考えられるため、車両価格と販売台数の関係から低公害車に対する購入補助金と普及率の関係の定量化を試みた。

２．２　低公害車導入による都市の大気環境に対する改善効果

低公害車の導入による都市の大気環境に対する改善効果として、都市交通部門から排出されるNOx、SPM、CO_2の削減効果を推計する。11年度は宇都宮都市圏を対象として、低公害車が普及した場合の大気汚染物質の削減効果を推計した。

３．研究結果

３．１　低公害車普及シナリオの検討

低公害車は、①在来のガソリン及びディーゼルエンジンの改良型自動車、②天然ガス車（CNG車）、メタノール車などの代替燃料自動車（ハイブリッド車含む）、③電気自動車

（燃料電池自動車含む）の３タイプに大きく分けられる。将来的には、③のタイプに移行するものと考えられるが、当面は②のタイプも普及して行くものと考えられる。現在のところ、小型車についてはハイブリッド車やLPG車が、大型車においてはCNG車が、②のタイプとして有力と考えられる（図１）。

低公害車の普及のためには、在来型車との価格差の縮小が必要である。そこで、補助金により低公害車の購入価格を引き下げた場合の普及割合を推計するため、300万円までの車両について、車両価格(x)と販売台数(y)の関係を指数関数で回帰した結果、以下の（１）式を得た（図２）。

$$y = 1.11 \times 10^{6} + e^{-1.45x} \quad (1)$$

３．２　低公害車導入による都市の大気環境に対する改善効果

宇都宮都市圏で全てのバスと、小型貨物車の3割をCNG車に置き換えた場合の大気汚染物質排出量の削減効果を試算した。

その結果、都市圏全体でNO_xの排出量は3.1%、SPMは16.7%、CO_2は5.4%削減され、都心ではより削減効果が大きい。特に、SPMはCNG車からの排出量が0であるため、33.8%も削減された（図３）。

この削減量は宇都宮都市圏で300円のエリアプライシングを導入した場合より、SPMでは削減量が大きく、NO_x、CO_2ではほぼ同じであった（図４）。

（大西、山田、小根山、大城）

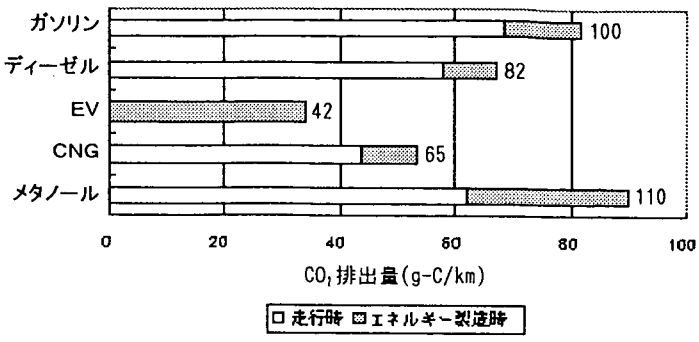


図１　低公害車のCO_2排出量の比較（ガソリン車を100とする）

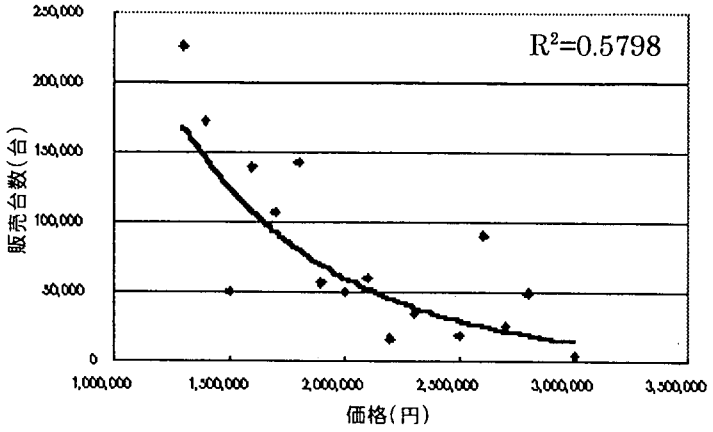


図２　車両価格と販売台数の関係

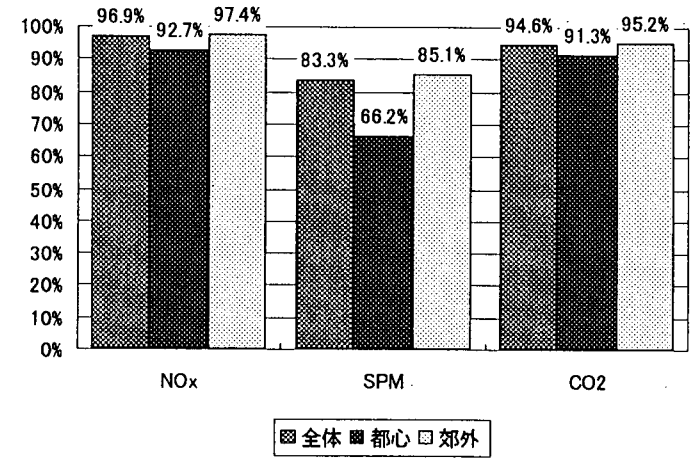


図３　低公害車導入による大気汚染物質排出量削減割合

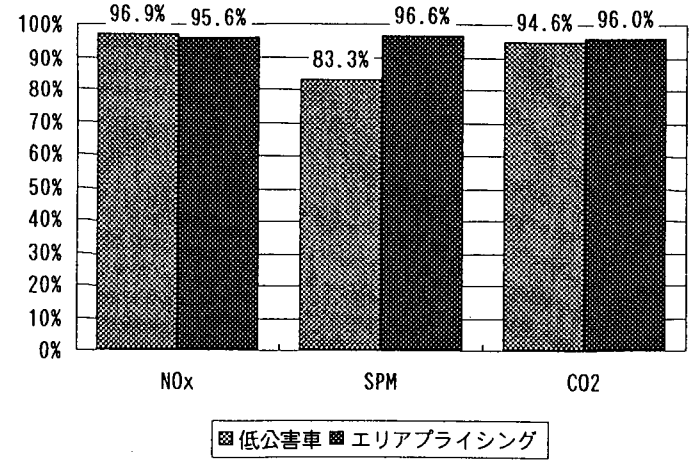


図４　エリアプライシングを実施した場合との削減量の比較

（２０） 低環境負荷型都市交通手段に関する研究

都市域の交通部門における温暖化防止施策の総合的評価に関する研究

研究代表者　　建設省土木研究所環境部交通環境研究室　　大西博文

建設省土木研究所
環境部交通環境研究室　　大西博文・山田俊哉・大城温

平成９～１１年度合計予算額　　９，９５５千円
（平成１１年度予算額　　３，４８６千円）

［要旨］

本研究では、地球温暖化の原因となる温室効果ガスのうち二酸化炭素（CO_2）について、都市内における交通部門のCO_2排出量の予測モデルを作成し、このモデルを使ってCO_2排出量削減施策の効果を推計するとともに、施策効果の総合的な評価を行った。

初めに、都市の交通部門におけるCO_2排出量削減施策の効果予測モデルの基本的枠組みを検討するとともに、施策のモデルへの導入方法について検討を行った。CO_2排出量削減施策の効果予測モデルについては、様々な施策の効果を簡便に推計でき、かつ操作性のよいモデルとなるようにした。モデルにおいては、渋滞等による旅行速度の低下や渋滞解消施策による旅行速度の向上などの旅行速度の変化を考慮できるモデルとした。また、本モデルに導入する諸施策を体系的に整理し、モデルへの導入方法を検討した。

次に、このCO_2排出量予測モデルの基本的枠組みに基づいて、モデルの詳細検討及び作成を行った。モデルは、４つのサブモデル（交通機関別トリップ推計サブモデル、自動車の旅行速度別走行台キロ推計サブモデル、公共交通車両キロ推計サブモデル、CO_2排出量推計モデル）から構成される。これらの各サブモデルについて、詳細検討及びパラメータの導出などを行うとともに、各サブモデルの感度の検討を行った。

さらに、宇都宮市をケーススタディ対象地として、作成したモデルを用いて都市内交通によるCO_2排出量削減施策の効果予測を行った。自動車からのCO_2排出量削減については、走行台キロの削減によるものと旅行速度の向上によるものとに分けて予測した。

このケーススタディの結果から、これらの施策の効果は自動車走行台キロの削減による効果だけでなく、旅行速度の向上による効果も同程度あるという結果が得られ、道路交通の円滑化施策もCO_2排出量削減に大きく貢献することが明らかとなった。

［キーワード］

交通体系、環境負荷、二酸化炭素、都市交通整備、施策評価

１．序

地球温暖化の原因となる温室効果ガスは、その排出量の大部分をCO_2が占めており、CO_2排出量の削減は喫緊の課題である。我が国では、運輸部門のCO_2総排出量が全体の約２１％を

占めており、その約８８％が自動車からの排出である。産業、民生などの他の部門が省エネルギー化の進展や長引く不況の影響などで横ばい傾向であるのに対し、運輸部門からの排出量は増加の一途をたどっており、運輸部門における温室効果ガスの削減はより重要な問題であると言える。その中でも、社会経済活動の集中している都市地域における排出量が多いことから、より環境負荷の小さい都市の交通体系を形成していくことが必要と考える。１９９０年に閣議決定された「地球温暖化防止行動計画」においても、示された施策のメニューとして「二酸化炭素排出の少ない都市・地域構造の形成」「二酸化炭素排出の少ない交通体系の形成」があげられている。より環境負荷の小さい都市の交通体系を形成していくためには、都市交通部門においてCO_2排出量削減施策を着実に実施することが必要であるが、そのためには、施策のCO_2削減効果を的確に把握し、実現可能性や利便性等も踏まえて施策を評価する必要がある。

２．研究目的

本研究では、都市交通部門におけるCO_2排出量の予測モデルを作成すること、このモデルを使って、種々のCO_2排出量削減施策の効果を定量的に推計すること、推計した効果からその施策を総合的に評価できるようにすることにより、環境負荷の小さい交通体系のあり方を定量的なデータをもとに提案することが目的である。

３．都市交通部門によるCO_2排出量推計モデルの全体構造の検討

本モデルは、都市の運輸部門におけるCO_2排出削減施策の削減効果、利便性、コスト等も含めた総合的な評価を行うための手段として、様々な施策オプションの組み合わせによる削減効果を概括的に把握しようとするものである。

本モデルで対象とする地域は、一定のまとまりをもった都市又は都市圏とする。都市圏の大きさには特に制限を設けないが、ここでは自動車から軌道系交通機関への転換が可能と考えられる中規模の都市（人口５０万人程度）を念頭に置いてモデルの検討を行った。

評価を行うCO_2排出削減施策は、表１のように分類し11施策を取り上げた。

表１　評価を行うCO_2排出削減施策

分類	手段	施策
自動車総走行距離の削減	生成交通量の削減	・中心市街地の高度化 ・在宅勤務の促進
	自動車以外の交通機関への転換	・鉄道のサービス改善 ・バスのサービス改善 ・パークアンドライドの促進 ・自転車道の整備 ・エリアプライシング
自動車走行距離あたりのCO_2排出量削減	自動車単体対策	・低公害車の導入
	道路交通の円滑化	・ボトルネック対策による渋滞の解消 ・幹線道路の整備 ・ピーク時間帯交通量の平準化

CO_2排出量は交通機関別に求める必要があり、特に自動車については旅行速度により大きく排出量が異なることから、旅行速度別の総走行距離（走行台キロ）を推計する必要がある。そこで、モデルは図１に示すとおり、交通機関別トリップ推計サブモデル、自動車の旅行速度別走行

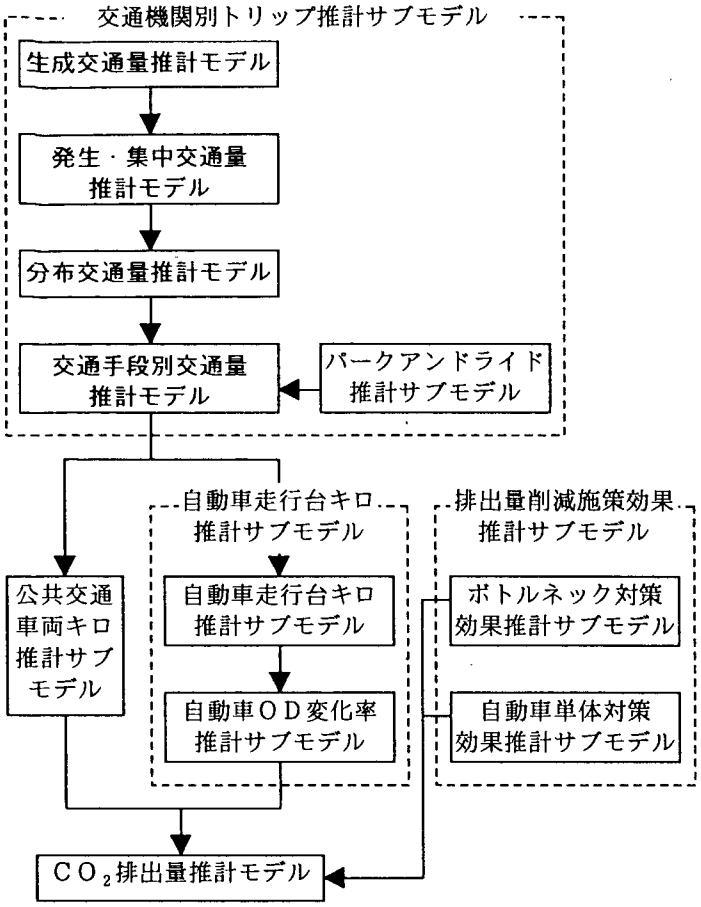


図１　都市交通部門からのCO_2排出量予測モデルの全体構造

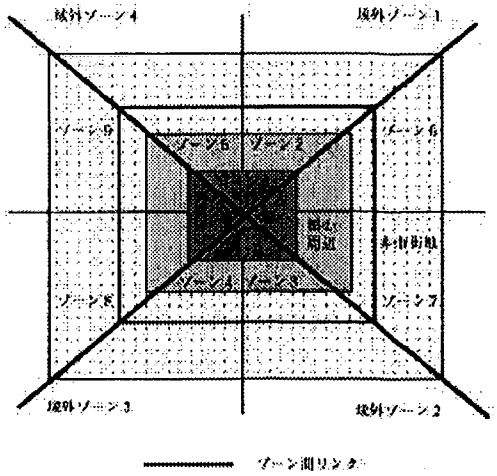


図２　ゾーン区分の概念図

台キロ推計サブモデル、公共交通車両キロ推計サブモデル、CO_2排出量推計サブモデル、排出量削減施策効果推計サブモデルから構成される。

なお、本モデルでは簡便性を考慮しつつ地域的な施策効果の違いを考慮できるようにするため、都市を図２に示すようなゾーンに区分し、ゾーン毎にトリップの推計、CO_2排出量の算出などを行うこととした。なお、実際には対象とする都市構造に合わせて適切なゾーン設定を行う。

４．サブモデルの検討

（１）交通機関別トリップ推計サブモデル

①　サブモデルの概要

本サブモデルは、自動車保有量の変化、産業別従業者数などの社会経済指標や公共交通機関の整備量や旅行コスト、旅行時間などから交通機関別のトリップを推計するモデルである。ここでは、生成トリップの推計、発生・集中トリップの推計、分布トリップの推計、交通機関別分布トリップの推計の順に行った。

②　生成トリップの推計

トリップ生成原単位は産業別、年齢別人口や自動車保有量等による影響が大きく、例えば第１次産業では自宅近くで仕事することが多いため、他の産業と比較して通勤トリップが１／４程度しか生成せず、６５歳以上の高齢者は全体のトリップが第３次産業従事者と比較して半分程度である。また、自動車の保有・非保有については目的地や交通手段の選択に影響し、自動車保有者と非保有者ではトリップ生成原単位が大きく異なると考えられるため分けて推計することとした。

このような要因を反映するために、目的別（通勤、買い物、私事、業務の４分類）個人属性別（第１次産業従事者、第２次産業従事者、第３次産業従事者、無職６５才未満、無職６５才以上）

に生成原単位を算出した（図３）。将来の予測を行う場合には、人口の変化量や自動車保有の変化を考慮して生成トリップ数を算出することとした。

③発生・集中トリップの推計

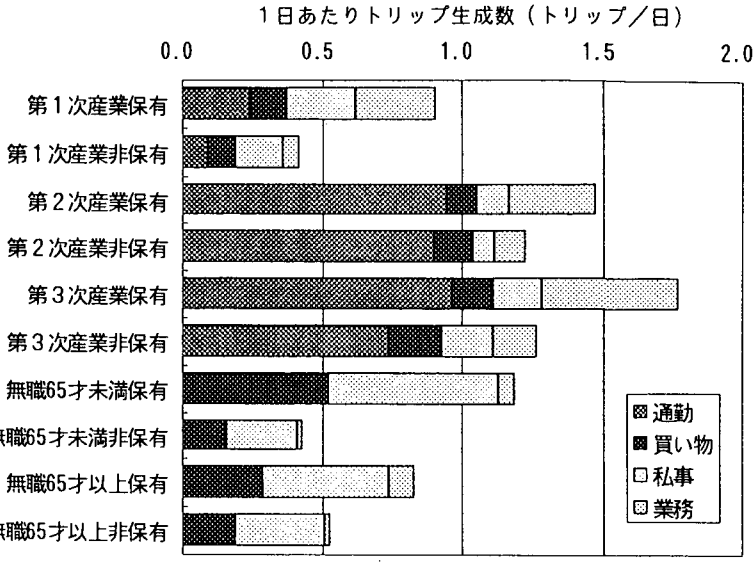
各ゾーンから発生するトリップは、それぞれのゾーンにおける社会・経済活動と密接な関係にある。例えば、夜間人口の多いゾーンでは通勤目的のトリップが多く発生することなどがあげられる。そこで、②で推計した生成トリップ数をゾーン毎に目的別、自動車保有者・非保有者別の発生・集中トリップを推計する。ここでは、産業別人口や昼間人口・夜間人口を指標とした線形回帰式を用いるものとした。

④分布トリップの推計

③で推計した発生・集中トリップからゾーン間の分布トリップを推計するものである。本モデルでは、現在パターン法の１つであるフレータ法を用いることとした。

⑤交通機関別分布トリップ推計

分布トリップから、交通機関別の旅行時間、コストなどを用いて機関別分布トリップを推計する。



※保有、非保有とは自動車の保有、非保有のことである。

図３　個人属性別の目的別トリップ生成原単位

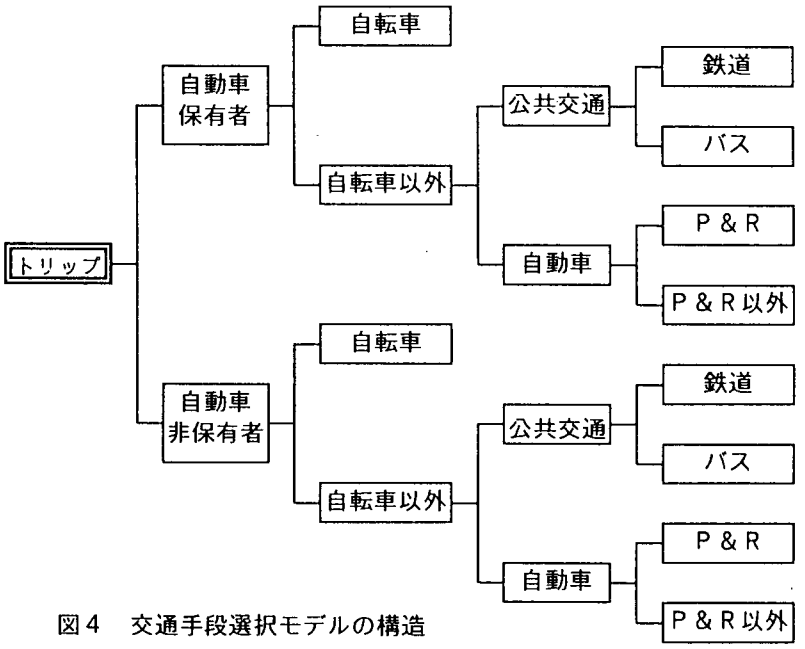


図４　交通手段選択モデルの構造

まず、自動車保有者と非保有者で交通手段の選択行動が大きく異なると考えられるため、それぞれ別に集計することとした。それぞれの手段選択モデルは、バイナリーチョイス型の集計ロジットモデルを用いることとした。既存のパーソントリップ調査の研究より、トリップ長の短いトリップを先取りした形が安定性は良いとされているため、本モデルもそれに従った。また、パークアンドライド（Ｐ＆Ｒ）の手段選択は、主に自動車の利用者が公共交通に乗り換える状況を表現するために、自動車の利用者の中から選択する構造とした（図４）。

それぞれの選択モデルについては、以下の式を用いた。モデルには精度向上を目的として、ダミー変数を導入した。ダミー変数は都心ダミーと鉄道ダミーの２種類を用い、都心ダミーはトリップの出発ゾーンまたは目的ゾーンが都心ゾーンであるか否かを表現しており、鉄道ダミーは出発ゾーンと目的ゾーンが鉄道で結ばれているか否かを表現している。

a．自転車選択モデル

$$自転車選択確率=1/(1+\exp(\alpha\cdot d+\beta\cdot k+\gamma)) \quad (1)$$

d：ゾーン間距離
k：都心ダミー（目的地を都心部に持つ場合k＝1、それ以外k＝0）
α、β、γ：パラメータ

b．自動車／公共交通選択モデル

$$自動車選択確率=\exp(V_{car})/\exp(V_{car})+(V_{pub}) \quad (2)$$

V_{car}：自動車の効用関数
V_{pub}：公共交通の効用関数

ここで、
$$V_{car}=\alpha\cdot t_{cat}+\beta\cdot c_{car}+\gamma\cdot k+\delta \quad (3)$$
$$V_{pub}=\alpha\cdot t_{pub}+\beta\cdot c_{pub} \quad (4)$$

t_{car}，c_{car}：自動車の所要時間、費用
t_{pub}，c_{pub}：公共交通の所要時間、費用
k：都心ダミー（目的地を都心部に持つ場合k＝1、それ以外k＝0）
α、β、γ、δ：パラメータ

c．鉄道／バス選択モデル

$$鉄道選択確率=\exp(V_{rail})/\exp(V_{rail})+(V_{bus}) \quad (5)$$

V_{rail}：鉄道の効用関数
V_{bus}：バスの効用関数

ここで、
$$V_{rail}=\alpha\cdot t_{rail}+\beta\cdot c_{rail}+\gamma\cdot k+\delta \quad (6)$$
$$V_{bus}=\alpha\cdot t_{bus}+\beta\cdot c_{bus} \quad (7)$$

t_{rail}，c_{rail}：鉄道の所要時間、費用
t_{bus}，c_{bus}：バスの所要時間、費用
k：鉄道ダミー
（出発地と目的地が鉄道で結ばれている場合k＝1、それ以外k＝0）
α、β、γ、δ：パラメータ

d．パークアンドライド（P＆R）選択サブモデル

$$P\&R選択確率=\exp(V_{par})/\exp(V_{par})+(V_{other}) \quad (8)$$

V_{par}：P＆Rの効用関数
V_{other}：それ以外の端末交通手段の効用関数

ここで、
$$V_{par}=\alpha\cdot t_{par}+\beta\cdot c_{par}+\gamma \quad (9)$$
$$V_{other}=\alpha\cdot t_{other}+\beta\cdot c_{other} \quad (10)$$

t_{par}，c_{par}：P＆Rの所要時間、費用
t_{other}，c_{other}：それ以外の端末交通手段の所要時間、費用
α、β、γ：パラメータ

（2） 自動車の旅行速度別走行台キロ推計サブモデル

①サブモデルの概要

（1）で推計した自動車の分布トリップや道路ネットワークの整備量からゾーン間の走行台キロの変化を推計し、道路ネットワークの各リンクの交通量を推計する。さらに、Q－V式（交

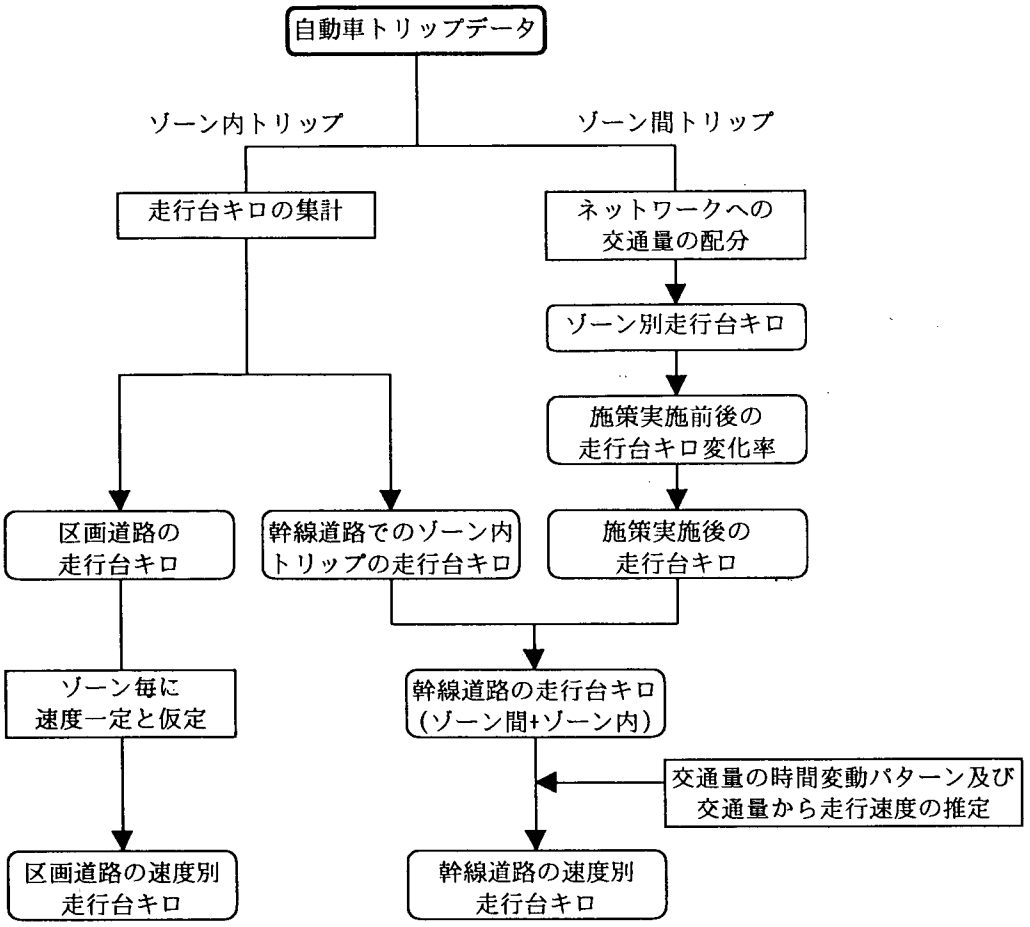


図５　自動車走行台キロ推計サブモデルの流れ

通量と速度の関係を表した式）や交通量の時間変動などを用いて、旅行速度別走行台キロを推計するモデルである。なお、自動車走行台キロは幹線道路の走行台キロと区画道路の走行台キロに分けて推計を行う。ここでいう幹線道路とは、道路交通センサスが実施され車種別交通量やピーク時旅行速度等が実測されている道路である。幹線道路の走行台キロは、簡略化したトリップでのネットワーク配分の結果と、道路交通センサスの交通量データを用いて推計した。区画道路では道路交通センサスが実施されておらず、これらのデータがないため、ゾーン単位の発生・集中交通量とトリップ当たりの走行台キロ推計モデルにより推計した。

②簡略ネットワークの設定

本モデルでは、配分計算を簡略的に行うため、隣接するゾーン間を結ぶ幹線道路（本研究では道路交通センサス対象道路が該当するものとした）を１本のリンクに代表させた簡略ネットワークを設定することとした。なお、ゾーン内で閉じているリンクはゾーン内々交通量として扱うこととした。ネットワークの簡略化の例を図６に示す。

③幹線道路のリンク交通量の推計

分布トリップの変化と現況の分布交通量からゾーン間の分布交通量を推定する。これを簡略化ネットワーク上で配分計算を行い、簡略ネットワーク上のリンクの走行台キロを推定する。なお、配分計算は、モデル上では分割配分法を用いることとした。これと現況の簡略ネットワークの走行台キロを比較して、施策実施前後のゾーン間の走行台キロの変化率を推定する。施

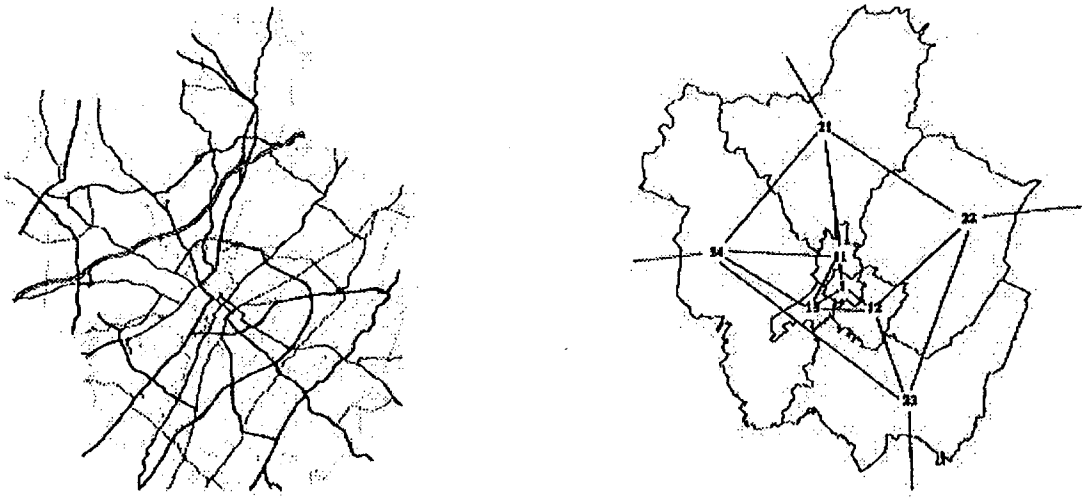


図６　道路ネットワークの簡略化（宇都宮市）

策実施後の各幹線道路の走行台キロは、対応する簡略化ネットワーク上のリンクの走行台キロの変化率を乗じて推定する。

④幹線道路の旅行速度別走行台キロ分布

本モデルでは、各リンクについて年間の時間帯別交通量及び旅行速度を車種別に推計し、それを集計することにより都市圏全体のCO_2排出量を推計する。各リンクの年間走行台キロは、日交通量を設定した後に時間帯別交通量を推計してそれらを集計した。

日交通量は、道路交通センサスの一般交通量調査の値を用いる。２４時間交通量観測地点については、２４時間の観測値を用いるものとし、１２時間交通量観測地点については、昼夜率を用いて２４時間交通量を推計した。

時間帯別交通量は、道路交通センサスの観測値は用いずに、道路交通量の時間変動パターン（図７）と各区間の交通容量より推計した。時間帯別交通量の変動パターンは、全国の道路交通センサス対象区間の時間変動パターンより作成したものを用いた。時間変動パターンは、道路容量に影響されない時間帯別の交通需要の変動を推計するために、渋滞が発生していないと考えられるセンサス区間を対象として作成した。

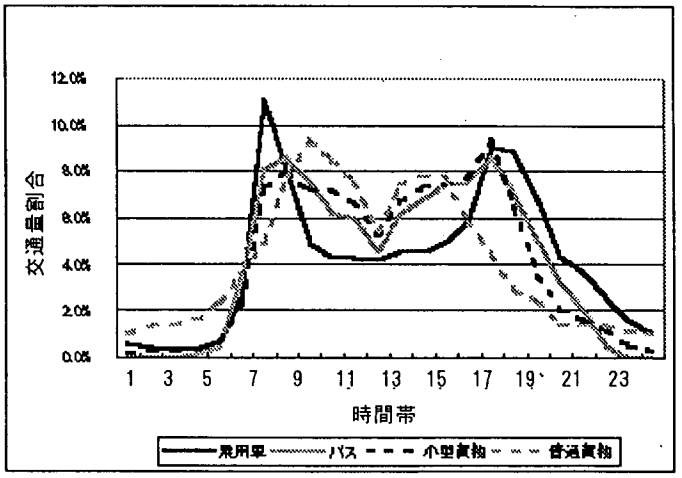


図７　車種別の交通量時間変動パターン

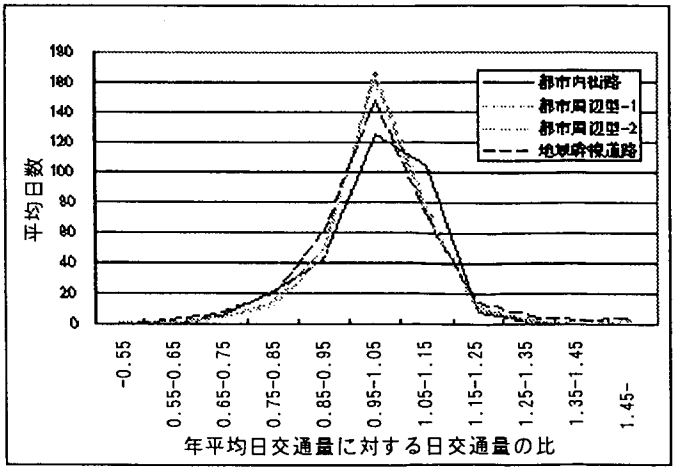


図８　年平均日交通量に対する日交通量の比の頻度分布

道路交通量は、時間帯別に変動するほか、日によっても変動が発生するため、本モデルでは平成６年度の交通量常時観測調査の日交通量変動データ（図８）を用いた。モデルでは、道路交通センサスで観測された交通量が年平均日交通量と一致していると仮定し、日交通量変動データの頻度分布を用いて年間交通量を推計した。ただし、モデルの負荷を軽減するため、出現頻度の低い日交通量比0.75以下の場合と1.25以上については捨象し、日交通量比が0.8～1.2の間で変動するとしてモデルを作成した。

以上の計算により、各センサス区間の年間時間交通需要量（365×24＝8760時間の時間帯別交通量）を推計した。

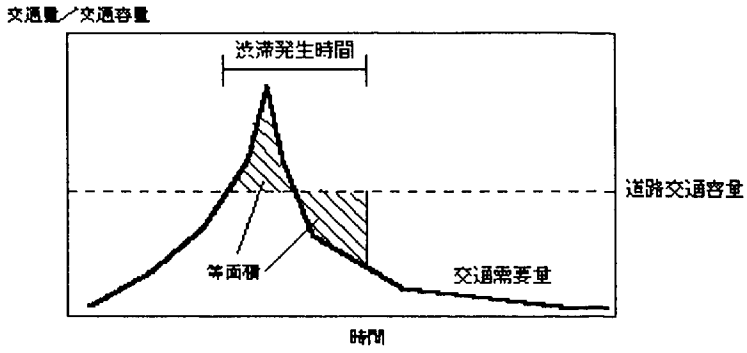


図９　渋滞時間の定義

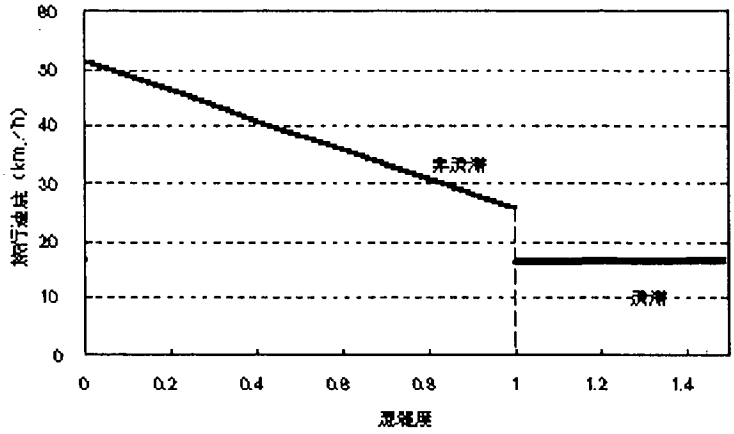


図10　旅行速度と混雑度（交通量／交通容量比）の関係式の例

次に、旅行速度別に走行台キロを集計した。道路の交通量は、道路の交通容量により制約を受け、道路の交通需要量が道路交通容量を上回った場合には、その道路は渋滞し、旅行速度は著しく低下する。そこで、各センサス区間が渋滞状態にあるか非渋滞状態にあるかの判別は、道路交通容量を用いて行った。

本モデルでは、道路交通センサスの片側ピーク時交通量と片側交通容量を比較し、値の大きいものを道路交通容量として設定している。片側交通容量Ｃは、乗用車換算時間交通容量に対して沿道状況区分別に計画水準による補正を行い、上り下りを２分配（半分）したものとする。ここで、ＤＩＤ及びその他市街地については、

Ｃ＝乗用車換算時間交通容量×0.9／2

とし、平地、山地については、

Ｃ＝乗用車換算時間交通容量×0.85／2

とした。

道路交通容量と時間帯別交通需要量を比較し、時間帯別交通需要量が道路交通容量を上回る時間帯は、渋滞時間帯として処理した。ただし、道路上である時間帯に交通需要量が交通容量を超過した場合には、超過交通量を処理し終わるまで渋滞が続く。そこで、本モデルでは、図９に示すように、ある時間帯で交通需要量が交通容量を超過した場合には、超過交通量を処理するまでの時間を渋滞時間と判定する。

旅行速度の推計は、旅行速度と交通量／交通容量比の関係式（以下Ｑ－Ｖ式という）を用いて行った（図10）。本モデルで用いるＱ－Ｖ式は、渋滞／非渋滞別に分類した。時間帯別交通量を推計する際に判別された渋滞／非渋滞の判別結果と、交通量、道路交通容量のデータによ

り旅行速度を推計した。Q－V式は道路種類別・信号密度別に算出した。

このQ－V式から旅行速度を推定し、旅行速度別に走行台キロをまとめることにより旅行速度別走行台キロの分布を推計する。これを全ての幹線道路について行うことにより、対象地域（あるいはゾーン）別の旅行速度別走行台キロが推計できる。

⑤区画道路の旅行速度別走行台キロの算出

幹線道路以外の道路（ここでは区画道路という）の走行台キロはこれまで述べてきた方法では推計できない。そこで、区画道路については、正方形の幹線道路に囲まれた地区内の街路を仮定し、街路から発生する交通が最短ルートを通って地区外へ移動するものとして、単位発生交通量当たりの走行距離を計算した（図11）。その結果、区画道路の単位発生トリップ当たりの走行距離＝5/16D（D：幹線道路の間隔）となった。

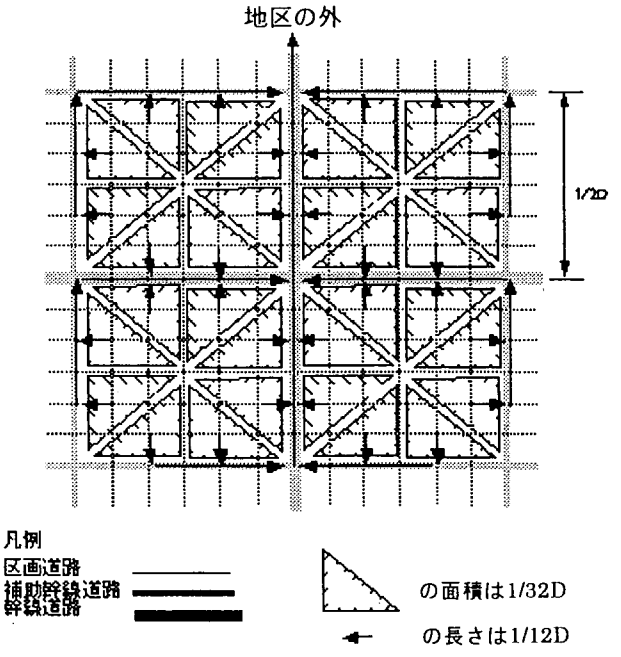


図11　区画道路のトリップあたり走行距離算出の考え方

しかし、実際には仮定のような最短経路で幹線道路に到達できるとは限らないため、誤差が生ずる。運輸省自動車輸送統計年報による全走行台キロと道路交通センサスによる走行台キロ（幹線道路走行台キロ）の差が区画道路の走行台キロと考えると、上記の区画道路走行台キロの推定結果の１．３倍であった。そこで、ここでは区画道路走行台キロの推計の際には、１．３を補正係数として乗ずることとした。

この値に、ゾーンの発生・集中トリップを乗じることにより、区画道路の走行台キロを推計した。

なお、区画道路からのCO_2排出量算出の際の旅行速度は、ＤＩＤ地域内は18km/h、それ以外の地域では28km/hと仮定した。

（３）　公共交通機関車両キロ推計サブモデル

公共交通機関（鉄道等）の車両キロについては、都市内路線延長に運行車両数（運行本数に１運行当たり編成車両数を乗じたもの）を乗じることにより推定する。運行車両数は、公共交通機関の分布トリップ（＝公共交通機関の利用者数）に比例するものとし、既存のデータから運行車両数と利用者数の関係を推定するこ

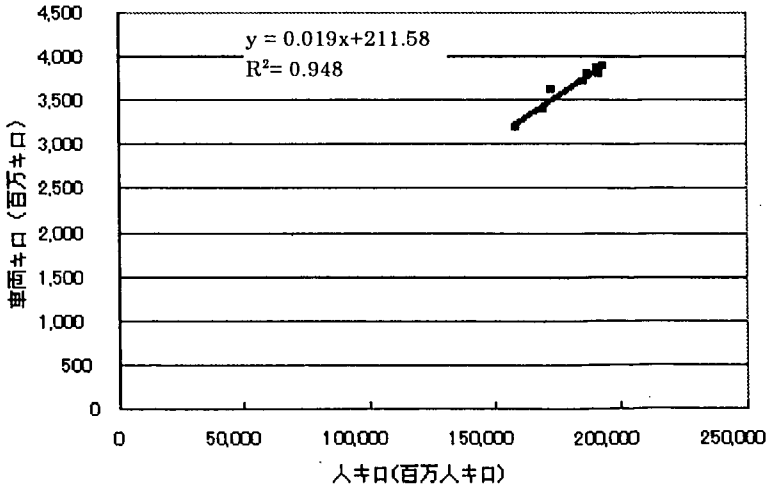


図12　鉄道車両キロと旅客人キロの関係

ととした（図12）。

また、CO_2削減施策実施により公共交通利用者数が増加する場合は、車両キロが利用者数の増加割合と同じ割合で増加すると考え、利用者数と車両キロの回帰式から車両キロ増加割合を求めることとした。

（4） CO_2排出量推計サブモデル

（2）や（3）で推計された自動車の旅行速度別走行台キロや公共交通機関の車両キロに各交通機関のCO_2排出係数を乗じて、交通機関別CO_2排出量を推定するモデルである。自動車については、CO_2排出係数としてシャシダイナモ試験等のデータを用いて推計された旅行速度別CO_2排出係数を用いる（図13）。また、鉄道等の公共交通機関については、統計から得られる路線別の電力消費量に単位電力当たりのCO_2排出量を乗じ、車両走行キロで除すことにより推計する。

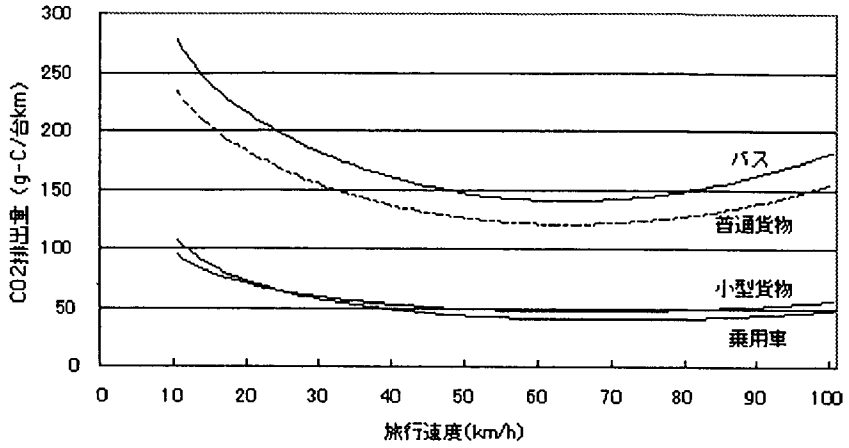


図13　自動車の車種別速度別CO_2排出係数

5．CO_2排出量削減施策の効果の試算

（1）中心市街地の高度化

交通需要は、土地利用と大きくかかわりを持つ。公共交通機関の利便性の高い都心部での土地利用を高度化することにより、公共交通への転換を促進することができる。土地利用によって交通需要をコントロールする施策としては、オランダの「ABCポリシー」や、シアトル（アメリカ）で導入されている「アーバンビレッジ」等がある。

CO_2排出量削減推計モデルでは、中心市街地の高度化による効果を発生・集中交通量推計サブモデルに反映させることとした。例えば、通勤交通の場合、発生交通量は夜間人口の関数であらわされ、集中交通量は昼間人口の関数であらわされる。従って、夜間人口と昼間人口の変化をモデルに反映することにより、中心市街地の高度化による効果を推計する。

表2　中心市街地の高度化による効果の試算結果

	自動車走行台キロ（千台km/年）		平均旅行速度（km/h）		自動車によるCO_2排出量(t-C/年)	
都心	102,996	99.5%	15.1		9,145	99.2%
近郊	390,575	98.9%	14.8		33,791	98.1%
郊外	1,543,360	99.6%	27.3		111,876	99.5%
全域	2,036,931	99.5%	22.4	0.383	154,812	99.1%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

交通手段	CO_2排出量（t-C/年）	
自動車	154,812	99.1%
鉄道	5,312	100.0%
合計	160,124	99.3%

ここでは、中心市街地の高度化施策の効果を都心ゾーンの第３次産業就業人口の増加で表現することとした。具体的には、都心ゾーンの第３次産業就業人口を現況の１．２倍とし、都心以外のゾーンの第３次産業就業人口を一律に減少させた。

その結果、都市からのCO_2排出量は０．７％とわずかに減少した。これは、都心部に第３次産業が集中することにより、わずかに自動車走行台キロが減少したこと、平均旅行速度がわずかに向上したことによると考えられる。

（２）情報通信の利用による在宅勤務の促進

近年、インターネット等の情報通信技術の普及により、在宅勤務やサテライトオフィスによる業務の可能性が拡大している。

情報通信の利用による在宅勤務が普及した場合には、通勤トリップの削減をはかることが可能となる。ただし、従来の形態では勤務地から発生していた業務トリップや私事トリップが、居住地から発生することになるため、業務目的や私事目的の分布にも影響を与える。そのため、モデル化に際しては、通勤目的のみではなくすべての目的のトリップに対してこの影響を評価する必要がある。

CO_2排出量削減推計モデルでは、情報通信による在宅勤務のモデル化は、生成交通量推計サブモデルあるいは発生・集中量推計サブモデルを用いて行う。

ここでは、在宅勤務を行う業種は第３次産業のみとし、在宅勤務により第３次産業従業者の１０％が通勤を行わないものと仮定し、通勤トリップは発生しないものとした。そのため、都心部での第３次産業従業者人口は減少し、都市周辺部での第３次産業従業者人口が増加する。

その結果、在宅勤務によるCO_2排出量削減効果は０．４％とわずかなものであった。これは通勤トリップが削減された代わりに、私事トリップや業務トリップが居住地周辺のゾーンで増加し、そのゾーンにおける道路の平均旅行速度が減少すること、通勤トリップは鉄道利用者の割合が他のトリップと比較して高いため、鉄道利用者の減少が大きいことなどが理由として考えられる。

表３　在宅勤務の促進による効果の試算結果

	自動車走行台キロ（千台km/年）		平均旅行速度（km/h）		自動車によるCO_2排出量(t-C/年)	
都心	102,013	98.6%	15.4		9,030	97.9%
近郊	396,481	100.4%	14.4		34,691	100.6%
郊外	1,541,922	99.6%	26.6		112,094	99.7%
全域	2,040,416	99.7%	21.9	-0.133	155,815	99.8%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

交通手段	CO_2排出量（t-C/年）	
自動車	155,815	99.8%
鉄道	5,013	94.4%
合計	160,828	99.6%

（３）軌道系交通機関のサービス改善

軌道系交通機関（鉄道、路面電車、モノレール、新交通システム等）は、１人あたりのCO_2排出量が自動車と比較して少ないため、そのサービスを改善して自動車から軌道系交通機関へ転換させることにより、CO_2排出量を削減することができる。公共交通機関のサービス改善策としては、以下のようなものがある。

・運賃の見直し

・運行頻度の改善
・走行速度の向上
・交通結節点の利便性向上
・新規整備

ここでは、運賃の見直しと走行速度の向上を取り上げる。

CO_2排出量削減推計モデルの中では、これら公共交通機関のサービス改善策のモデル化は、交通手段推計サブモデルにおいて行う。このサブモデルでは、多段型のバイナリーチョイスモデルを用いている。ロジットモデルの変数として所要時間・所要費用・ダミー変数の３つを用いて各交通手段の利用割合を推計している。所要時間と所要費用の２つの変数はそれぞれ独立ではないが、各交通機関の所要時間と所要費用を変更することによる利用への影響を把握するために採用している。

①運賃の見直し

公共交通機関の運賃の変更をモデル上で表現するには、ゾーン間の所要費用を変化させる。一般に、パーソントリップ調査などでは、各トリップの交通手段やトリップの所要時間については調査されているが、費用については調査されない。そのため、CO_2排出量削減推計モデルでは、ゾーン間の交通手段別の平均移動距離より費用を推計する方法をとっている。

②走行速度の向上

快速電車の運行など鉄道の表定速度を上昇させることによりサービスの改善を行う場合には、モデル上でゾーン間の所要時間を変更することにより表現する。

ここでは、鉄道の運賃を２０％割り引いた場合のCO_2排出量削減効果を試算した。しかし、鉄道の利用者は１０％程度増加したものの、CO_2排出量削減効果はほとんどなかった。これは、鉄道への転換の大半をバスからの転換が占めているためである。この原因として、移動に公共交通機関を利用できる人が限られていることや、この程度の運賃の低下では依然として自動車よりトリップ費用がかなり高いということが考えられる。また、交通手段選択モデルが多段型の二者択一モデルで、モデル中の「自動車利用」に対する選択肢が「公共交通利用」であるため、鉄道運賃の低減に対する反応が鈍いことも原因として考えられ、今後の検討課題の一つである。

表４　軌道系交通機関のサービス改善による効果の試算結果

	自動車走行台キロ（千台km/年）		平均旅行速度（km/h）		自動車によるCO_2排出量(t-C/年)	
都心	103,445	100.0%	15.0		9,217	99.9%
近郊	394,933	100.0%	14.4		34,462	100.0%
郊外	1,548,606	100.0%	27.0		112,476	100.0%
全域	2,046,984	100.0%	22.0	0.010	156,155	100.0%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

交通手段	CO_2排出量（t-C/年）	
自動車	156,155	100.0%
鉄道	5,643	106.2%
合計	161,798	100.2%

（４）バスのサービス改善

宇都宮のような規模の都市圏では、軌道系交通機関がそれほど発達しておらず、鉄道の利用が

可能な人口は限られている。そこで、バスのサービスを改善して自動車からの転換を促進する施策の効果を検討する。

バスサービスの改善施策としては、運賃の低減・運行頻度の増加・基幹バス（ガイドウェイバスを含む）の導入・バスレーンの整備などがある。ここでは、バスレーンの整備や運行頻度の増加などの施策により、都市圏内のバスによる移動時間を２０％短縮した場合の効果を試算した。その結果、CO_2排出量削減効果は１．１％と推計された。交通手段別にみると、バスと鉄道の利用が増加し、自動車の利用が減少している。バスのサービス改善に伴って鉄道の利用が増加する原因としては、バスと鉄道の乗り継ぎ利用が増加することや、（３）で述べたように交通手段選択モデルが多段型の二者択一モデルで、モデル中の「自動車利用」に対する選択肢が「公共交通利用」であるため、鉄道運賃の低減に対する反応が鈍いことが考えられる。

表５　バスのサービス改善による効果の試算結果

	自動車走行台キロ（千台km/年）		平均旅行速度（km/h）		自動車によるCO_2排出量(t-C/年)	
都心	102,331	98.9%	15.4		9,052	98.1%
近郊	392,101	99.3%	14.7		34,040	98.8%
郊外	1,532,834	99.0%	27.1		111,184	98.8%
全域	2,027,266	99.0%	22.3	0.225	154,276	98.8%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

交通手段	CO_2排出量(t-C/年)	
自動車	154,276	98.8%
鉄道	5,377	101.2%
合計	159,654	98.9%

（５）パークアンドライドの促進

宇都宮都市圏では、自動車で都心に乗り入れるトリップが多く、都心部での旅行速度低下を招いている。そこで、鉄道駅に自動車を駐車して鉄道で都心部へ向かう「パークアンドライド（以下Ｐ＆Ｒという）」に適した環境をつくり、鉄道利用を促進して自動車利用を抑制する方策を検討した。

CO_2排出量削減推計モデルでは、４．で述べたＰ＆Ｒ選択サブモデルを用いて、そのCO_2削減効果を推計する。ここでは、Ｐ＆Ｒ駐車場利用時に鉄道運賃の割引券を配布する等により、Ｐ＆Ｒ利用時のコストが従来Ｐ＆Ｒの利用時の半分になったと仮定して効果を推計した。

その結果、鉄道利用者は２．３％増加したもののCO_2排出量は変化がなかった。これは、宇都宮都市圏では鉄道網が発達しておらず、鉄道駅までの距離が長いＰ＆Ｒ利用者が多いため、自動車走行台キロの削減に結びつかなかったためと考えられる。

表６　Ｐ＆Ｒの促進による効果の試算結果

	自動車走行台キロ（千台km/年）		平均旅行速度（km/h）		自動車によるCO_2排出量(t-C/年)	
都心	103,421	99.9%	15.0		9,214	99.9%
近郊	394,940	100.0%	14.4		34,461	100.0%
郊外	1,548,624	100.0%	27.0		112,477	100.0%
全域	2,046,985	100.0%	22.0	0.011	156,152	100.0%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

交通手段	CO_2排出量(t-C/年)	
自動車	156,152	100.0%
鉄道	5,377	101.2%
合計	161,530	100.0%

（６）自転車走行空間の整備

自転車走行空間の整備は、自転車の走行性や安全性の向上を目的として行われる。具体的には、自転車道の整備や自転車通行帯の確保、自転車優先信号の設置、駐輪場の整備などがある。自転車の利用しやすい環境の整備により、自動車から自転車への手段変更を促すことができると期待される。

CO_2排出量削減推計モデルでは、自転車道の整備により自転車の走行性が向上し、自転車トリップの所要時間が短縮されるものとしてモデル化を行う。自転車走行空間の整備により自転車の旅行速度の短縮効果は、ゾーン間所要時間を変更することにより表現される。ここでは、自転車道の整備によりゾーン間の自転車所要時間が１０％短縮されると仮定し、効果を試算した。

その結果、自転車を利用するトリップ数が１０％増加し、CO_2排出量は１．２％削減されると推計された。特に、都心ゾーンでの自動車走行台キロが２．７％減少し、大きな効果があることが示された。このことは自転車の利便性向上は、近距離トリップの自転車への転換促進策として有効であることを示している。

表７　自転車走行空間の整備による効果の試算結果

	自動車走行台キロ（千台km/年）		平均旅行速度（km/h）		自動車によるCO_2排出量(t-C/年)	
都心	100,708	97.3%	15.7		8,823	95.7%
近郊	388,826	98.4%	14.9		33,540	97.3%
郊外	1,544,579	99.7%	27.3		111,995	99.6%
全域	2,034,113	99.4%	22.6	0.537	154,358	98.9%

交通手段	CO_2排出量（t-C/年）	
自動車	154,358	98.9%
鉄道	5,202	97.9%
合計	159,559	98.8%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

（７）エリアプライシング

エリアプライシングとは、都心を中心とした一定の範囲内を走行する自動車に課金する施策である。この施策によるCO_2排出量削減効果については、モデルの簡略化のために以下の仮定により推計する。

・全車一律に課金するものとする。
・１日中、同一金額を課金するものとする。
・エリアプライシングによるトリップの目的地の変更は起こらない。
・課金額は現在の自動車利用コストと同様の扱いとする。

課金後の走行コスト＝課金前の走行コスト（時間コスト＋燃料費用）＋課金額

これらの仮定のもとに、自動車のトリップあたり費用を修正した上で交通手段選択モデルにより、自動車から他の交通手段に転換する量を推計する。このモデルでは、自動車の費用として燃料費のみを計上している。モデル上では、エリアプライシングによる費用を自動車の燃料費に加算して影響を推計している。

ここでは、自動車利用者に対し１トリップあたり３００円の費用が上乗せされると仮定した。その結果、自動車走行台キロは１．３％減少し、CO_2排出量は４％削減されると推計された。また、自動車のトリップあたりコストが約４．５倍に増加し、鉄道やバスよりも高くなっている。それでもあまり自動車利用が減少しないのは、自動車利用の旅行時間が鉄道やバスの半分程度で

あることが原因と考えられ、公共交通の利便性向上が必要であることを示唆している。

表８　エリアプライシングによる効果の試算結果

	自動車走行台キロ（千台km/年）		平均旅行速度（km/h）		自動車によるCO_2排出量(t-C/年)	
都心	103,845	100.4%	16.7		8,912	96.6%
近郊	395,857	100.2%	16.1		33,366	96.9%
郊外	1,519,446	98.1%	29.9		107,697	95.8%
全域	2,019,148	98.7%	24.3	2.314	149,975	96.1%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

交通手段	CO_2排出量（t-C/年）	
自動車	149,975	96.1%
鉄道	5,128	96.5%
合計	155,103	96.0%

（８）ボトルネック対策

信号交差点や踏切等で発生する交通渋滞は、自動車の走行速度を低下させ、大気汚染物質の排出量を増大させる等の悪影響を及ぼしている。信号交差点や踏切などにおける渋滞を解消するために、交差点改良や鉄道の立体化などが行われている。

自動車走行台キロ推計サブモデルでは、比較的長い区間（数km程度）での道路交通の状態を推計するためのモデルであり、ボトルネック対策のような数百ｍから１ｋｍ程度の交通状態の変化を推計することができないため、これらの対策については、このモデルで評価することは難しい。そこで、ボトルネック対策によるCO_2削減効果は、新たなサブモデルを作成して推計するものとした。

ボトルネック対策効果推計サブモデルでは、対策前後の渋滞状況の変化よりCO_2排出量の削減効果を推計する。対策前後の渋滞長や渋滞時旅行速度、対策後の非渋滞区間の旅行速度、渋滞時間帯の交通量は観測データを用いるか、データが得られない場合には仮定して効果を推計する（図14）。

このサブモデルで推計されたCO_2削減効果は、メインモデルとは切り離されて推計されたものである。都市圏全体でのCO_2削減効果は、メインモデルで推計されたCO_2排出量から、サブモデルでの推計された効果分を減じることで推計される。ただし、ボトルネック対策効果推計サブモデルはメインモデルとは別構造であるため、対策による自動車の経路選択の変化は表現できない。また、対象地域内の平均旅行速度の推計はメインモデル内で処理されるため、ボトルネック対策による旅行速度の向上効果は反映されないため過小評価になるのが課題である。

交差点改良による渋滞解消効果は、既存の事例を調査し、対策種類ごとに集計して設定した。ここでは、交差点の立体化・道路拡幅・交差点部分の車線数増に分類して、渋滞解消効果を100%、90%、61%と設定した。また、渋滞区間の旅行速度は10km/h、

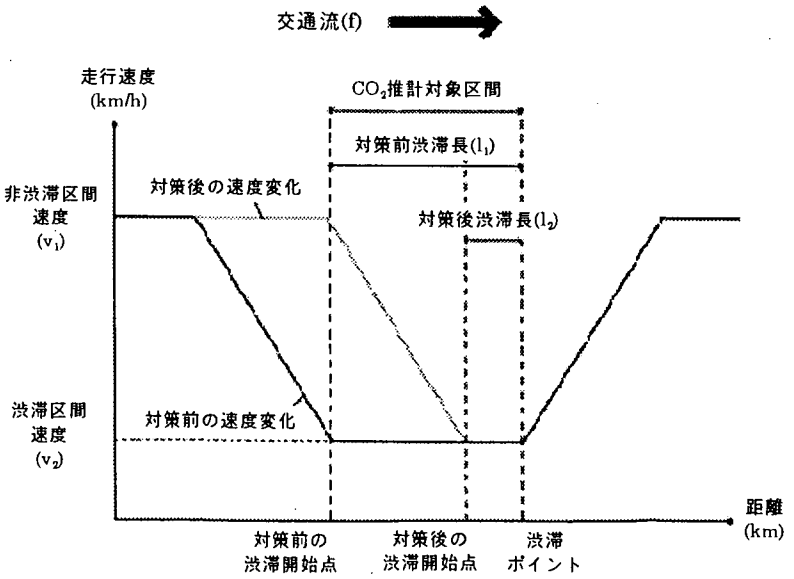


図14　ボトルネック対策による渋滞解消効果推計の考え方

非渋滞区間は25km/hと仮定した。

ここでは、宇都宮都市圏の主要渋滞ポイント15箇所で計画されている立体交差化や道路拡幅を実施した場合のCO_2排出量削減の効果を試算した。その結果、都市圏全体の排出量にはほとんど効果がなかったものの、各交差点でのCO_2排出量は２３～３９％削減された。

（９）幹線道路の整備

幹線道路の整備により、道路容量の増加による旅行速度の向上や、より短い経路への変更による走行台キロの減少によってCO_2排出量が減少する。

自動車走行台キロ推計サブモデルは、「ネットワーク配分」と「旅行速度別走行台キロの推計」の２つのモデルで構成されている。ネットワーク配分については、ゾーン間の簡略ネットワーク上でシミュレーションが行われる。道路の新設・改良が行われた場合、この簡略ネットワークの容量を変更することにより、配分交通量の変化を推計することができる。また、各道路の旅行速度別の走行台キロを推計する際には、モデルシミュレーションの過程で、時間帯別の混雑度を推計している。道路の改良効果を推計する際には、該当する道路の交通容量を変更することにより、旅行速度の向上効果を推計することができる。

ただし、上記のモデルは、都市内交通に対する施策を評価する目的で構築されているため、都市間交通に対象とした大規模なバイパス等を整備するなどの方策を評価することができない。都市間交通については、別途域外交通に対するバイパスをネットワークに追加し、通過交通が都心部を通過しなくなるものとして配分を行う。

ここでは、宇都宮の外環状道路の交通容量が１．５倍に拡大したと仮定して、CO_2排出量削減効果を試算した。その結果、通過交通が環状道路へ経路変更することにより都市圏全域で旅行速度が向上し、CO_2排出量が３．９％削減された。特に都心ゾーンや近郊ゾーンでは１０％程度削減されており、通過交通を都心部から排除した効果が大きいことがわかった。ただし、他の交通機関からの転換は考慮しているものの、平均旅行速度の向上により新たに発生する誘発交通は、現段階では考慮できないためこの点が課題として残っている。

表９　幹線道路の整備による効果の試算結果

	自動車走行台キロ（千台km/年）		平均旅行速度（km/h）		自動車によるCO_2排出量(t-C/年)	
都心	97,943	94.6%	16.6		8,428	91.4%
近郊	375,060	94.9%	15.9		31,467	91.3%
郊外	1,556,759	100.6%	29.7		109,915	97.8%
全域	2,029,762	99.2%	24.7	2.698	149,810	96.1%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

交通手段	CO_2排出量（t-C/年）	
自動車	149,810	96.1%
鉄道	5,312	100.0%
合計	155,122	96.1%

（１０）ピーク交通量の平準化

フレックスタイムや時差通勤などにより、ピーク時に集中する交通を他の時間帯に分散して旅行速度を向上することにより、CO_2排出量を削減することが可能である。フレックスタイムの効果は、モデル上では対象地域内における交通量の時間変動パターンを変更することにより表現される。交通量の時間変動パターンは、車種別（乗用車、バス、小型貨物車、普通貨物車）別に

作成されている。このうち、フレックスタイムや時差通勤の影響を受けるのは乗用車のみと仮定し、他の３車種については時間変動パターンを変更しない。

ここでは、時差通勤等の普及によりピーク時１時間の交通量を前後１時間の範囲で平準化し、ピーク時をはさむ３時間の交通量が一定になる（図15参照）と仮定して試算を行った。

その結果、旅行速度が都市圏平均で２km/h向上したことにより、CO_2排出量が２．２％削減されると推計された。今回の試算では完全にピークが平準化されると仮定したが、業種によっては時差通勤等が不可能なものもあるため、現実的な平準化のパターンについて今後検討していく必要がある。

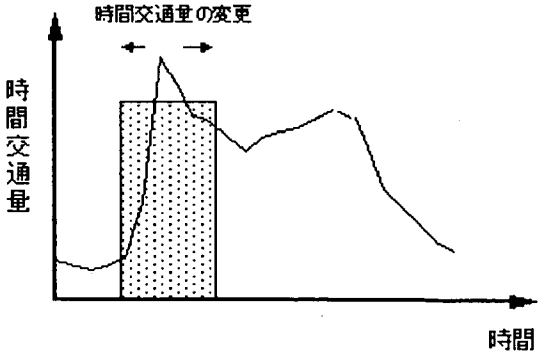


図15　ピーク時交通量平準化の考え方

表１０　ピーク交通量の平準化による効果の試算結果

	自動車走行台キロ（千台km/年）		平均旅行速度（km/h）		自動車によるCO_2排出量(t-C/年)	
都心	103,479	100.0%	16.1		9,001	97.6%
近郊	395,051	100.0%	15.6		33,620	97.5%
郊外	1,548,736	100.0%	29.5		110,203	98.0%
全域	2,047,266	100.0%	24.0	2.007	152,824	97.8%

交通手段	CO_2排出量（t-C/年）	
自動車	152,824	97.8%
鉄道	5,312	100.0%
合計	158,136	97.8%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

（１１）低公害車の導入

低公害車の導入をした場合には、１台あたりのCO_2排出量が削減される。低公害車には、ハイブリッド車、天然ガス車（ＣＮＧ車）、電気自動車、燃料電池自動車などの代替燃料自動車と在来のガソリン車及びディーゼル車を低燃費化したものがあり、その削減効果はそれぞれ異なる（図16）。

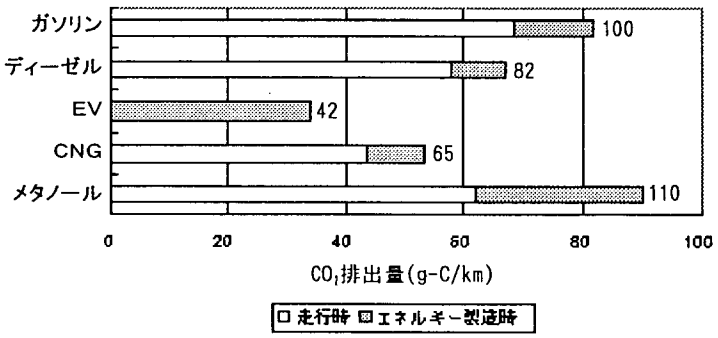


図16　低公害車のCO_2排出量の比較（ガソリン車を100とする）

モデル上では、低公害車が全体の車種の中で占める割合を設定し、CO_2排出量削減効果を推

表11　低公害車の導入による効果の試算結果

	自動車走行台キロ（千台km/年）		平均旅行速度（km/h）		自動車によるCO_2排出量(t-C/年)	
都心	103,479	100.0%	15.0		8,419	91.3%
近郊	395,051	100.0%	14.4		32,657	94.7%
郊外	1,548,736	100.0%	27.0		106,717	94.9%
全域	2,047,266	100.0%	22.0	0.000	147,793	94.6%

交通手段	CO_2排出量（t-C/年）	
自動車	147,793	94.6%
鉄道	5,312	100.0%
合計	153,105	94.6%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

計する。低公害車の１台あたりの走行台キロは、従来の自動車と同じであると仮定し、低公害車の使用形態（１日の走行距離の違いなど）は考慮していない。また、速度別のCO_2排出量の傾向は在来車と同じと仮定し、一定の低減率を乗じた。

上記の仮定のもとに、ここでは宇都宮都市圏の全てのバスと小型貨物車の３割に天然ガス自動車を導入した場合のCO_2排出量の試算を行った。その結果、CO_2排出量は５．４％削減されると試算された。今回、低公害車の普及割合を仮定して試算したが、今後は低公害車の普及状況をモデル化する必要があると考える。

（１２）CO_2排出量削減施策の比較

（１）～（１１）で試算した施策のCO_2排出量削減効果を「走行台キロの削減効果」と「旅行速度の向上効果」に分けて比較したものが図17である。この図から、走行台キロの削減によるCO_2排出量削減効果は最大１％程度、旅行速度の向上効果は最大３％程度なのに対して、低公害車の導入効果は約５％と、大きいことがわかる。また、宇都宮のように公共交通機関のネットワークが発達していない都市圏では、自動車から公共交通への転換が起きにくく、CO_2排出量削減効果が小さいことがわかった。

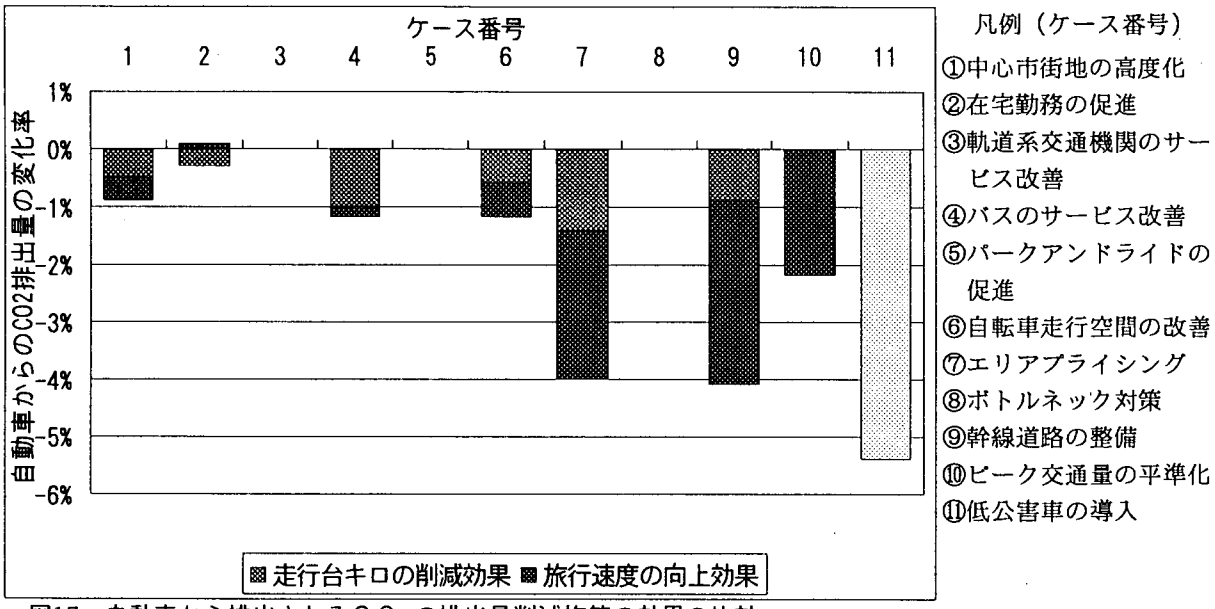


図17　自動車から排出されるCO_2の排出量削減施策の効果の比較

６．まとめと今後の課題

本研究では、地球温暖化の原因となる温室効果ガスのうち二酸化炭素（CO_2）について、都市内における交通部門のCO_2排出量の予測モデルを作成し、このモデルを使ってCO_2排出量削減施策の効果を推計した。

都市交通部門からのCO_2排出量削減施策の効果を予測するため、宇都宮市をケーススタディ対象地として選定し、１１施策の効果を推計した。自動車からのCO_2排出量削減については、走行台キロの削減によるものと旅行速度の向上によるものとに分けて予測を行った。

これらのケーススタディの結果から、自動車走行台キロの削減による効果だけでなく、旅行速

度の向上による効果も大きいという結果が得られ、幹線道路の整備やピーク交通量の平準化など道路交通の円滑化施策も、CO_2排出量削減に大きく貢献することがわかった。個々の施策では、低公害車の導入は自動車走行台キロの増減なく大幅に排出量を削減する施策として有効であることがわかった。生成交通量の削減施策は、単独ではあまりCO_2排出量削減効果が見られないものの、他の施策と組み合わせることにより効果を発揮する可能性があると考えられる。公共交通機関の利用促進策は、公共交通があまり発達していない宇都宮のような都市ではCO_2排出量削減効果が発揮されにくいと考えられるが、鉄道サービスの改善施策と比較してバスサービスの改善施策の効果がかなり大きいことから、面的に公共交通機関が発達している大都市では有効である可能性が示唆される。ボトルネック対策は都市全体ではCO_2排出量削減効果が小さいが、各地点では大幅に効果が現れており局所的には有効であると考えられる。ピーク交通量の平準化は、走行台キロを減少させずにCO_2排出量削減が可能であり、効果も大きいことがわかった。

今後の課題としては、今回ケーススタディで取り上げた宇都宮市の他に、より公共交通への転換が容易と考えられる政令指定都市規模の大都市圏等でケーススタディを行うことが挙げられる。また、誘発交通を考慮に入れた予測をすることや、各施策の効果を試算する際にいくつかの仮定して設定した変数をモデル化してより現実的な値を入力できるようにすること、各施策の組み合わせにより施策の効果の相殺あるいは相乗作用を考慮することなどが挙げられる。

[研究成果の発表状況]

(1) 口頭発表

① 小根山裕之，大西博文：環境負荷の小さい都市構造・交通体系に関する一考察，第20回土木計画学研究発表会，土木計画学研究・講演集20(2)，pp.129-132，1997.

② 小根山裕之，大西博文：都市の交通部門における二酸化炭素排出量削減効果推計モデル，第21回土木計画学研究発表会，土木計画学研究・講演集21(2)，pp.685-688，1998.

(2) 論文発表

○①小根山裕之，大城温，山田俊哉，大西博文：都市内交通による二酸化炭素排出量の推計モデル，土木技術資料，Vol.41，No.11，pp.24-29，1999.

3.5 戦略的環境アセスメントに関する研究

（２１）戦略的環境アセスメントに関する研究

研究期間：平１１～１３
担　当：交通環境研究室

【要旨】
わが国においては平成11年6月より環境影響評価法が全面施行されたところである。一方、欧米諸国においては計画の早期段階における環境影響評価が必要であるとして、戦略的環境アセスメント（以下「SEA」と記す）の検討が始まっている。本研究では、道路計画を対象としてSEAを行う場合を想定し、その実施時期や評価すべき環境要素などに関する基礎的な検討を行った。さらに、個別道路計画や道路整備五箇年計画を対象として、CO2をはじめとするSEAの評価指標について検討を行った。

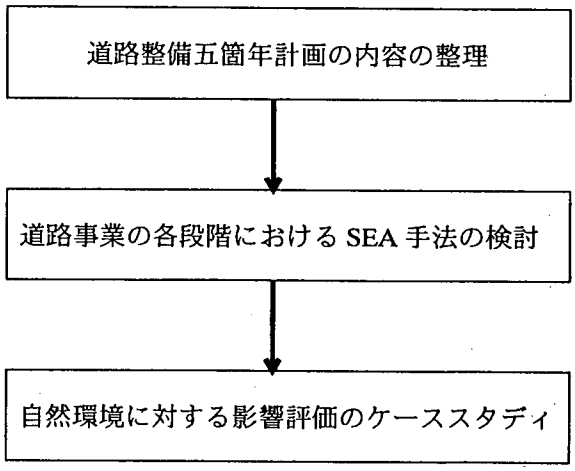
１．研究目的

個別事業の環境アセスメントは，平成９年に制定された環境影響評価法により扱われることになるが，今後は，より早い段階で，長期政策，各種公共事業五箇年計画や広域道路網整備計画等を総合的に取り扱う戦略的環境アセスメント（SEA）の必要性が高まっている。本研究では、道路事業に対してSEAを実施する場合の方法論の基礎的研究を行う。なお、SEAでは温室効果ガス（CO2）は重要な評価対象項目になると考えられる。

２．研究方法

２．１　道路整備五箇年計画の内容の整理

道路整備五箇年計画においては高規格幹線道路網整備をはじめとする各種道路整備事業の他にも、遮音壁設置などの環境対策事業、ＴＤＭなどのソフト施策が含まれている。これらの計画全体に対して環境面からの評価を行うことを想定して、同計画における主要課題と各課題に対応するための各種施策について整理を行った。



研　究　の　手　順

２．２　道路事業の各段階におけるSEA手法の検討

道路計画におけるSEAの実施段階、各段階における評価手法を検討するための基礎資料として、諸外国における研究例、実施事例を収集・整理した。また、我が国の道路整備計画の計画決定手順からSEAの実施段階を検討した。さらに各段階のSEAおよび現在実施されている環境影響評価について、目的、評価対象、評価の前提条件などを整理するとともに、評価項目、評価指標を提案した。次に、全国レベルでの環境アセスメントに対して、環境影響予測に必要なインプット、アウトプット及び評価指標における計算方法の検討を行った。

２．３　自然環境に対する影響評価のケーススタディ

自然環境の改変量として森林消失面積を例として選択し、概略的な評価を試みた。試算ケースは、個別道路事業を対象とした場合及び道路整備五箇年計画を対象とした場合について行った。

3．研究結果

3．1　道路事業の各段階における SEA 手法の検討

（1）海外文献の整理について

諸外国においては、交通政策の決定段階、道路ネットワーク計画、起終点が決定している地点間の交通機関またはルート選定の段階などにおいて SEA が実施され始めている。これまで分かった事例によると、具体的な交通基盤施設の整備位置を計画する段階においては GIS のテクニックを使って、現在、わが国で実施されているような詳細な環境影響評価が実施されている場合が多い。政策レベルの段階については、経済や社会に与える効果との総合的な評価が必要となり、その手法は一律ではなく、評価結果を全て公開している事例はみられなかった。ただし、いずれの国においても SEA におけるパブリックインボルブメントの重要性を指摘している。

（2）道路事業の各計画段階における SEA 手法の整理

海外文献の調査結果およびわが国における道路整備計画の計画決定手順から、SEA の実施時期としては3段階を提案した。各段階の SEA および現在実施されている環境影響評価について、目的、評価対象、評価の前提条件などを整理した（表1参照）。

表1 道路計画から供用までの流れとSEAと環境アセスメントの実施時期

段階	検討範囲	道路計画から供用までの流れとSEAと環境アセスメントの実施時期	目的(目標)	評価対象
基本計画段階	全国レベル	長期計画、五箇年計画 ／ 戦略的アセスメント1 ／ 政策レベル	環境保全に資する道路政策の策定	道路整備5箇年計画による道路環境の変化
	地域レベル	道路網計画 ／ 戦略的アセスメント2 ／ ネットワーク計画	計画地域の環境保全に資するネットワーク計画(優先整備路線の決定)	ブロック、県単位の道路ネットワーク
施設計画段階	検討する図面の縮尺: 1:50,000～ 1:25,000	起終点、経由地 建設区間の決定 代替路線の設定 ／ 戦略的アセスメント3 ／ 個別路線の概路ルートの計画	関係地域の環境負荷を最小化するルートの決定	計画路線の整備により影響を受ける全路線
	1:5,000～ 1:2,500 1:2,500～ 1:1,000	概略設計(代替路線毎に) 基本路線の選定 路線の決定 予備設計(路線変更含む) 環境アセスメント ・スクリーニング ・スコーピング(方法論) ・準備書・評価書 (事後調査計画含む) ／ 個別路線のルート、構造等の決定段階	沿道の環境負荷を最小化するルート・構造などの決定	計画路線
都市計画決定後		用地買収 詳細設計 工事着手 完成・供用 事後調査(環境アセスメント)		

（3）4段階のアセスメントにおける評価項目と評価指標の検討

既存資料及び諸外国の事例を参考にし、全国レベル、地域レベル、個別計画段階、個別事業段階の4段階での環境アセスメントに対し、必要な評価項目と評価指標を表2に整理した。

表2 評価項目と評価指標の例

	生活環境			自然環境			社会環境	その他		地球環境
	NOx	SPM	騒音	動物	植物	生態系	景観	日照	廃棄物	CO2
全国	市街地面積当り排出量	市街地面積当り排出量	暴露人口基準達成率			森林消失面積				年間排出量
地域	市街地面積当り排出量	市街地面積当り排出量	暴露人口基準達成率			森林消失面積	ランドスケープの変化			年間排出量
個別計画	沿道濃度	沿道濃度	沿道レベル	重要種生息地の回避	重要種生育地の回避	生態環境の改変	主要眺望点、可視領域の回避	住宅密集地、学校などの回避	廃棄物発生量	対象道路年間排出量
個別事業	沿道濃度	沿道濃度	沿道レベル	重要種生息地の回避	重要種生育地の回避	生態環境の改変	主要眺望点、可視領域の回避	日照時間帯	廃棄物発生量	

注:事業アセスにおいては、これ以外に粉じん、振動、水質、地形地質、人と自然のふれ合い活動も標準項目として挙げられているが、SEAとして重要と思われるものを記載した。

（4）道路整備五箇年計画における評価項目と評価指標の検討

上記の検討の上に道路整備五箇年計画における評価項目と評価指標を設定した。評価項目については、個別道路事業に対する環境アセスメント評価項目をベースとして、環境区分ごとに代表的な環境項目を抽出して、道路整備五箇年計画に対してのＳＥＡ評価指標とした。なお地球環境への影響を評価するため、CO2の排出量を評価項目とした。また、環境影響以外も含めた総合的な評価を行うことを想定して、道路整備効果及び事業費も評価項目とした。道路整備五箇年計画におけるＳＥＡの評価項目を表３に示す。

道路整備五箇年計画におけるＳＥＡの対象とする計画項目の設定においては、建設事業と施策事業（ＴＤＭ等のソフトな手段）の両者を考慮して、または、建設事業の中の道路建設事業とその他建設事業を両方とも考慮した。ＳＥＡの対象とする道路整備五箇年計画の計画項目を表４の区分から抽出した。

表3 SEAの評価項目と評価指標の例

評価項目		評価指標
環境項目	騒音	住居戸数からみた環境基準の達成率
	NOx	全国での面積当たりの排出量
	SPM	全国での面積当たりの排出量
	CO2	全国での年間総排出量
	森林面積	道路整備により消失する森林面積
整備効果	走行費用	所要時間の短縮に基づく走行費用の削減効果
	安全性	規格の高い道路への自動車交通の転換による死傷者数の減少
事業費	事業費	五箇年計画における総事業費

表4 道路整備五箇年計画の計画項目の分類例

SEAの対象とする道路整備五カ年計画の計画項目	ハードな事業	道路建設事業	新設
			改良
		維持修繕事業	
	TDM等ソフトな事業		

３．２　自然環境に対する影響評価のケーススタディ

（1）個別道路計画を対象とした環境アセスメントの場合

地方部における幹線道路計画の３つの代替案(Ａルート：市街部から離れつつ水田を極力さけるルート、Ｂルート：市街部に対し河川の対岸を通るルート、Ｃルート：市街部を通過するルート）による森林を消失面積を試算して評価した。評価結果は以下の通りである。

各ルートとも「特定植物群落」及び「巨樹・巨木林」を改変せず、植生自然度６の植生の改変は多いが、植生自然度７の植生の改変は中程度であった。森林消失面積を見ると、代替案Ｃの森林消失面積が最も小さい。

（2）道路整備五箇年計画を対象とした場合

道路整備五箇年計画の計画項目を対象として、道路整備の事業量により森林消失面積を試算した。計算方

法を図１に示す。また、試算結果を表５に示す。試算結果により、３つの五計について森林消失面積のみで比較すると、第１１次道路整備五箇年計画における森林面積改変量が最も大きい結果となった。また第１１次道路整備五箇年計画について発表以前のデータを用いて予測し、その結果を五計終了時点直近に行われた道路交通センサスの結果で検証した。五計事業量から算出した消失森林面積（5,056 ｈａ）は道路交通センサスから算出した消失森林面積（4,774 ｈａ）と比べて、誤差は約６％であった。質的な問題は残るが量的な予測は概ねこの方法で評価することが可能と考えられる。

なお、本来、SEA は代替案を作成して比較評価を行うことが一般的であるが、本調査は、SEA の概念整理の段階でもあることから、過去の３つの五箇年計画を比較検討することとした。

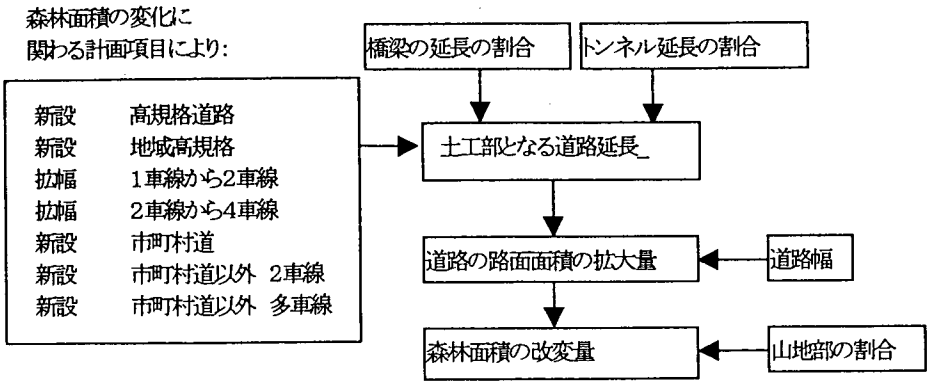


図1 道路整備の事業量による森林消失面積の試算フロー

表5 道路整備による森林消失面積(全国総計)

	事業量:道路整備延長※の合計(km)	森林消失面積(ha)
10次道路整備五箇年計画	59,006	5,040
11次道路整備五箇年計画	60,156	5,056
12次道路整備五箇年計画	42,844	3,726

※道路整備延長の合計とは、全ての道路別の整備延長を合計した値である。

４．今後の課題

以下に、主な今後の課題を示す

（１）評価項目に関する課題

・建設残土などの廃棄物の取り扱い。

（２）評価指標に関する課題

・ＳＰＭ、ＮＯｘを対象とした場合に土地利用を考慮した評価指標の設定及びバックグラウンドを加味した評価方法の検討。

（３）評価指標の計算方法に関する課題

・環境要素間で影響の程度を比較する場合の評価指標の標準化方法。

・騒音を暴露人口で評価する場合の計算方法。

（４）その他

・政策レベルで提示可能な対策（ミチゲーションなど）とその評価方法の検討。

・不足事例（政策レベルのＳＥＡ)の充実。

・ＳＥＡの結果をわかりやすく表現する方法。

（大西、上坂）

3.6　道路交通振動に関する研究

（２２）道路交通振動の環境アセスメント技術の高度化に関する試験調査

研究期間：平11～平14

担当：交通環境研究室

【要旨】

直轄国道管理調査の一環として実施されている振動測定により道路交通振動の実態を把握するとともに、交通条件および地盤状況等と振動の関係を調査し、今後の道路計画および道路管理における環境対策の立案のための基礎的資料を得ることとしている。なお、この振動測定では各地建における測定地点を３グループに分割して毎年そのうちの１グループの測定を行っている。

１１年度は、グループ２の測定結果を交通条件、路面および地盤状況等の別に整理し取りまとめた。測定地点177点のうち、要請限度を超えた地点はなかった。また、道路交通振動予測式から算出された予測値と実測値を比較した結果、全体的に実測値よりも予測値の方が多少高い傾向にあった。

研究計画

H11	道路交通振動実態調査結果の集計および分析
H12	
H13	
H14	

１．研究方法

直轄国道管理調査の振動測定は、地方建設局、北海道開発局および沖縄総合事務局がそれぞれの管内の直轄国道のうち交通量が比較的多い地点を選定して、昼夜それぞれの時間帯で２回ずつ計４回行われている。その測定結果と交通条件、路面および地盤状況等の関係を整理し、取りまとめた。

２．研究結果

２．１　直轄国道管理調査解析結果

（１）振動レベルと要請限度の関係（図－１）

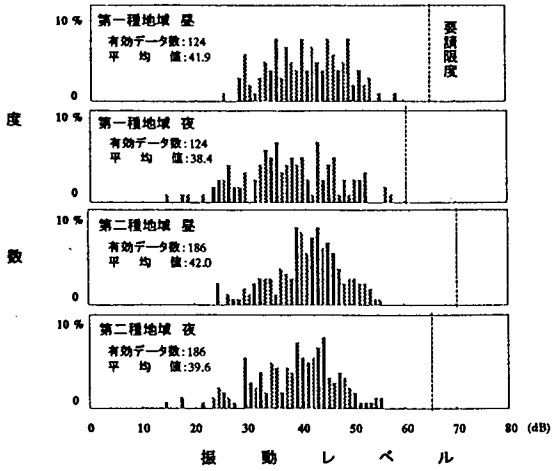
全177測定点のうち要請限度（表－１参照）を超えた地点はなかった。また、全測定点の振動レベルの平均値は40.4dBと要請限度よりかなり低い値である。

表－１　道路交通振動の要請限度(dB)

昼夜の別 / 地域の別	昼　間	夜　間
第一種地域	65	60
第二種地域	70	65

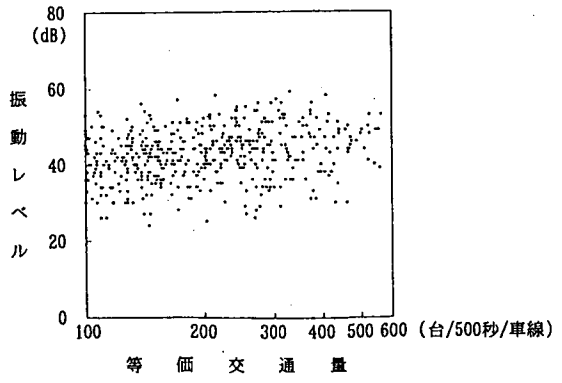
（２）振動レベルと交通量の関係（図－２）

振動レベルと交通量の関係について回帰分析を行った結果、500秒間の１車線当たりの等価交通量（大型車



図－１　地域別昼夜別振動レベルの度数分布

（各地点昼夜各２回ののべ度数）



図－２　等価交通量と振動レベル

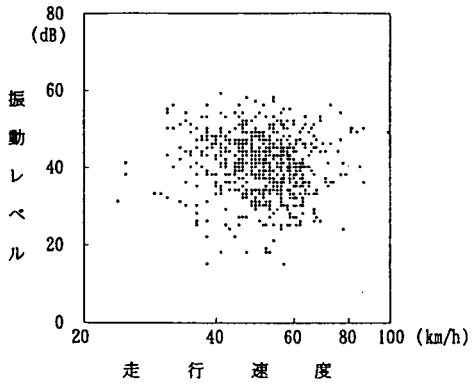
1台を小型車13台に換算した交通量）が多くなると振動レベルが大きくなる傾向が見られる。

（3）振動レベルと走行速度の関係（図－3）

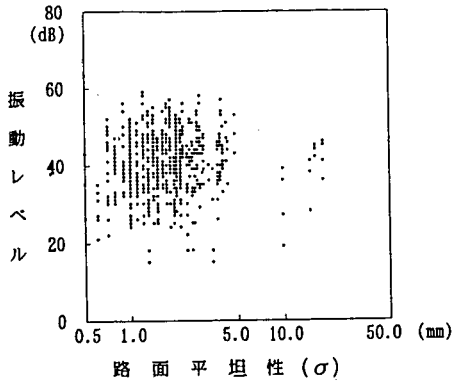
走行速度と振動レベルの相関は明確ではない。

（4）振動レベルと路面平坦性の関係（図－4）

路面平坦性(3mプロフィールメータによる路面凹凸の標準偏差)による振動レベルの差異は明確ではない。



図－3　走行速度と振動レベル



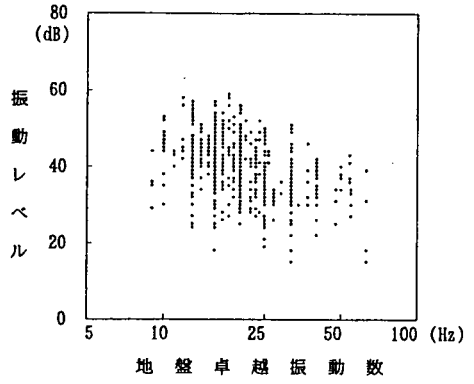
図－4　路面平坦性と振動レベル

（5）振動レベルと地盤卓越振動数の関係（図－5）

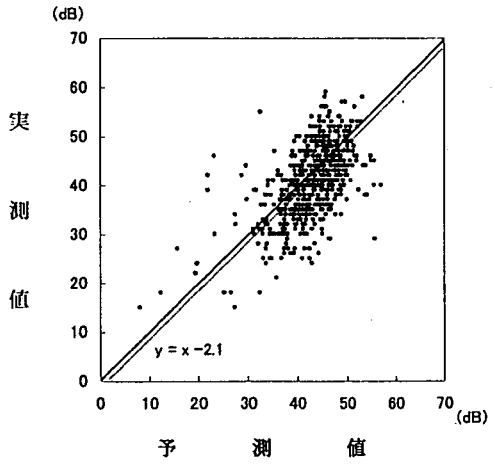
地盤卓越振動数が低くなると、振動レベルが大きくなる傾向がみられる。

（6）実測値と予測値との比較図（図－6）

道路交通振動予測式から算出された予測値を実測値と比較した。その結果、実測値に比べて予測値は平均2.1dB大きいという値が得られた。



図－5　地盤卓越振動数と振動レベル



図－6　振動レベルの実測値と予測値

2．2　今後の課題

今後も、交通条件および地盤状況等と道路交通振動の関係を調査し、データの蓄積を行う予定である。

（大　西、近　藤、川　上）

4. 発表論文等

4.1　道路交通騒音に関する研究

(1) 種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究*

上坂　克巳[*1]・大西　博文[*1]・鉢嶺　清範[*1]・石川　賢一[*2]・高木　興一[*3]

(1998年6月15日受付, 1998年11月17日受理)

【要　旨】

街路に設置される高さ1m程度の低層遮音壁は，車両の沿道への出入り確保のため開口部を有することが多く，都市景観への配慮から様々な形状，材質をとりうる。本研究では，まず，その減音効果を表す指標として，地点別挿入損失（*IL*）及び区間平均挿入損失（*SA*・*IL*）を定義した。次に，その植栽枡タイプを複数の有限長の吸音性厚み障壁とみなして*IL*の計算方法を提案し模型実験で検証した。さらに，透過損失が小さい材料を用いたパネルタイプも含めて，低層遮音壁による*IL*及び*SA*・*IL*を求める簡易式を一般化して示した。最後に，その式を用い，評価区間長，開口率，材料の透過損失等の低層遮音壁の設計パラメータと減音効果の関係を分析した。

【ABSTRACT】

Low-height noise barriers of about one meter in height placed along urban roads usually have open cuts because access control does not apply to them. In addition, by taking the surrounding landscape into consideration, the barriers may require various designs and materials.

The authors first define the two indices of sound reduction effects such as insertion loss (*IL*) and section-averaged insertion loss (*SA*・*IL*), and then propose the methods for calculating the effects by the following types of barriers : (1)the infinite-length planter type which is considered as absorptive wide barrier ; (2)the infinite-length panel type whose material has small transmission loss ; and (3) the type with open cuts added on (1) and (2). The calculation methods for the planter type are verified by model experiments. Finally, the authors analyze the relationship between the sound reduction effects and the parameters for designing the low-height noise barriers such as evaluation section length, opening ratio, transmission loss of the material and so on.

キーワード：低層遮音壁，有限長の吸音性厚み障壁，透過損失，区間平均挿入損失，道路交通騒音
: Low-Height Noise Barrier, Finite-Length Absorptive Wide Barrier, Sound Transmission Loss, Section-Averaged Insertion Loss (*SA*・*IL*), Road Traffic Noise

1. はじめに

都市内の一般道路における騒音対策の一手法として，高さが1m程度の低い遮音壁（以下「低層遮音壁」という）があり，その減音効果に関する研究が行われている[1)~5)]が，まだ，実際の対策手法として広く普及していない。この主な原因として，種々の形状，材質をとりうる低層遮音壁による減音効果の予測・評価方法が確立しておらず，その設計の考え方も明らかになっていないことが挙げられる。

---

* Study on Prediction and Evaluation of Sound Attenuation by Various Types of Low-Height Noise Barriers

*1 Katsumi Uesaka, Hirofumi Ohnishi and Kiyonori Hachimine : Public Works Research Institute, Ministry of Construction (建設省土木研究所)

*2 Kenichi Ishikawa : Oriental Consultants Co., Ltd. ((株)オリエンタルコンサルタンツ)

*3 Koichi Takagi : Department of Environmental Engineering, Kyoto University (京都大学)

筆者らは，反射性パネル（計算上は，厚みがないとみなす）を用いた低層遮音壁（以下「パネルタイプ」という）が開口部を有する場合の減音効果の予測・評価方法を提案している[5]。しかし，低層遮音壁は，上記タイプ以外にも，都市景観への配慮のため，植栽枡を兼ねるタイプ（以下「植栽枡タイプ」という）等，種々の形状，材質をとることが考えられ，このような場合にも，減音効果を適切に予測・評価し，その結果を，低層遮音壁の設計に反映させることが必要である。

以下，まず，2. において，低層遮音壁の特徴を明らかにし，予測・評価における課題を示す。

2. 低層遮音壁の特徴と予測・評価における課題

本論文では，低層遮音壁の高さは，車道面から1mを想定している。これは，対象道路を走行する運転者の見通しの確保及び都市景観への配慮の観点から，1m程度が限界となることが多いためである。

低層遮音壁は，通常の遮音壁と比較し，高さが低いこと以外にも，次のような特徴とそれに付随する予測・評価あるいは設計上の課題を有する。

(1) 低層遮音壁では，車両の沿道建物や交差道路への出入り確保のため，開口部を有することが多い。この結果，遮音壁後方の騒音レベルは複雑に変化し，減音効果の予測・評価が困難となる。

(2) 植栽枡タイプの場合，その上面及び側壁面の厚み部分の減音効果を考慮する必要がある。また，目標とする挿入損失が小さい低層遮音壁では，景観面ですぐれた透過損失の小さい材料をパネルタイプに使用することも可能であり，その際は，透過音を考慮した計算方法が必要となる。

(3) 通常の遮音壁の設計では，目標とする挿入損失を満たすよう，その高さを決めることが課題であるが，低層遮音壁の場合は，高さは1m程度が標準であり，むしろ，評価（対策）区間の延長，開口率，遮音壁の形状・材質等（以下，「設計パラメータ」という）の設定が重要な役割を持つ。

以下，これらの課題の解決を目指し，3. において開口部を有する低層遮音壁による減音効果の評価方法を，4.，5. において種々の形状，材質の低層遮音壁による減音効果の予測方法を検討し，6. では，これらの方法を用いて，予測・評価のケーススタディを行い，設計パラメータと減音効果の関係を分析する。

3. 低層遮音壁による減音効果の評価方法

騒音レベルが複雑に変化し，評価のための代表地点の選定が困難な低層遮音壁設置区間の平均的な騒音レベルを表す指標として，筆者らは，(1)式の区間平均等価騒音レベル（Section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level, $SA \cdot L_{Aeq}$）を提案している[5]。

$$SA \cdot L_{Aeq} = 10 \log_{10}\left(\frac{1}{x_2 - x_1}\int_{x_1}^{x_2} 10^{L_{Aeq}(x)/10}\,dx\right) \quad (1)$$

これは，ある評価区間（x_1～x_2）が一定時間に受ける音のエネルギーを，時間的かつ空間的に平均化した場合の騒音レベルと言える。

さらに，遮音壁設置前後の $SA \cdot L_{Aeq}$ の差を区間平均挿入損失（Section-averaged Insertion Loss, $SA \cdot IL$）と定義し，評価区間全体の平均的な減音効果を表す指標とすることを提案している[5]。

これらの指標は，開口部も含めた区間全体の平均的騒音レベルや減音効果を表しているため，評価区間全体を移動する歩行者を評価対象とする場合には適している。しかし，住居という居住空間を評価対象とする場合は，交差する区画道路や駐車場の入り口などにあたることが多い開口部背後まで含めて評価することは，必ずしも望ましくなく，開口部を除いた区間の背後（以下「遮音壁背後空間」（図－9参照）という）における平均的な騒音レベルを指標とすべき場合もあると考える。そこで，ここでは，遮音壁背後空間の区間平均等価騒音レベルを $\overline{SA \cdot L_{Aeq}}$，遮音壁設置前後の $\overline{SA \cdot L_{Aeq}}$ の差を $\overline{SA \cdot IL}$ と新たに定義する。

一方，低層遮音壁の設置と併せて，歩道上にベンチ等の休憩施設を設置し，その周辺の静穏性に特に配慮する場合のように，ある特定の地点の騒音レベルを評価する必要がある時は，地点評価を行うべきと考える。この場合，騒音レベルは等価騒音レベル L_{Aeq} で評価し，遮音壁設置前後の L_{Aeq} の差を，その地点における挿入損失 IL とする。なお，以下，単に IL と表示した場合は L_{Aeq} の差としての挿入損失を，$IL^{(PS)}$ と表示した場合は点音源（point source）に対する挿入損失を示す。

なお，低層遮音壁では，街区単位で対策及び評価を行うことが多いため，以下，評価区間と対策区間は同義とする。また，評価点と受音点も同義とする。

4. 特殊な形状，材質の低層遮音壁による減音効果の予測方法（無限長障壁の場合）

特殊な形状，材質の低層遮音壁の代表例として，植栽枡タイプ及び透過損失の小さい材料を用いたパネルタイプによる減音効果の計算方法を検討する。ただし，4. では，まず，開口部がない無限長の障壁を対象とする。

4. 1 植栽枡タイプによる減音量の計算方法

(1) 対象とする植栽枡タイプの特徴

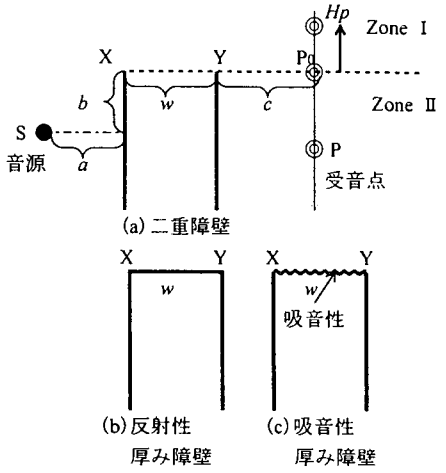
植樹帯あるいは植樹帯に遮音壁を組み合わせた場合における減音効果については，渡辺ら[6]，鹿島ら[7)~9)]，石井[10)]の報告等がある。これらの研究では，植樹帯単独による減音効果は，葉面積や植樹帯の通過長さ等によって，ある程度定量的に予測できることが明らかになっている[6),8)]が，植樹帯と遮音壁を組み合わせた場合については，植樹帯，地表面，遮音壁による減音効果が複雑に作用し[7)~10)]，その減音効果を定量的に予測することは，現在のところ，困難であると考える。また，植樹帯による減音効果は，葉面積等に因るため，樹種や維持管理の水準に大きく依存することになる。

したがって，本論文では，対象とする植栽枡タイプとして，その上面が草花で覆われているものを取り上げる。この場合，減音効果の物理的意味が明確で，ある程度予測に信頼がおけ，効果の継続のための維持管理も比較的容易であると考えたからである。なお，この植栽枡タイプは，吸音性厚み障壁[11)]（厚みのある障壁の厚み部分が吸音性の障壁，図－1参照）とみなすことができる。また，植栽枡タイプを道路構造令でいう植樹帯（標準幅員 1.5 m）を利用して設置することを想定すると，その奥行き（以下に示す w に相当）は 1～1.5 m 程度となる。

(2) 吸音性厚み障壁による減音量の計算方法

筆者らは，二重障壁，反射性厚み障壁及び吸音性厚み障壁による減音量 $\Delta L\,(D)_{SXYP}$，$\Delta L\,(RW)_{SXYP}$，及び $\Delta L\,(AW)_{SXYP}$ の比較を縮尺比 1/10 の模型実験に基づいて行っている[11)]。その結果によると，$\Delta L\,(AW)_{SXYP}$ は，厚みの幅 w と周波数 f に依存して変化し，$\Delta L\,(D)_{SXYP}$ より大きくなることがある一方，$\Delta L\,(RW)_{SXYP}$ と同程度まで小さくなることもある[11)]。この結果を，さらに詳細に検討するため，文献 11) による模型実験値を用いて，$\Delta L\,(D)_{SXYP}$，$\Delta L\,(RW)_{SXYP}$ 及び $\Delta L\,(AW)_{SXYP}$ と，厚みの幅 w 及び周波数 f の関係を分析した。

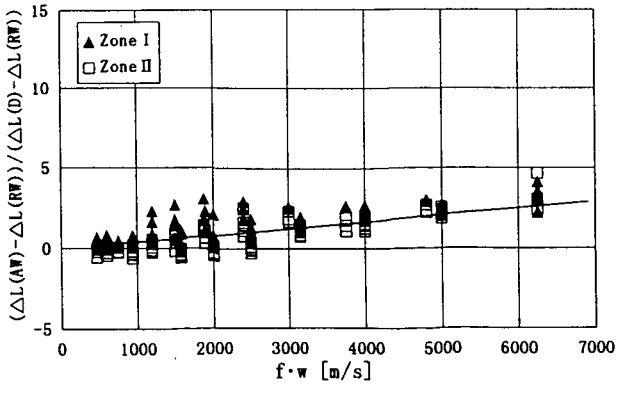
図－1 に，文献 11) における模型実験の配置から，今回の分析に用いたものを抜粋して示した。厚みの幅 w は 1.5 m, 3 m, 5 m（実物換算。以下，模型実験に関する数値は，「原寸」と表示しない限り実物換算で示す）の 3 通りで，対象周波数は 315～1,600 Hz (1/3 オクターブバンド中心周波数）であった。ただし，以下の分析にあたっては，1/3 オクターブバンド毎に整理したデータのうち，$\Delta L\,(D)_{SXYP} - \Delta L\,(RW)_{SXYP} \geqq 1$ (dB) となるものを選定した。これは，第 1 に，$\Delta L\,(D)_{SXYP} - \Delta L\,(RW)_{SXYP} < 1$ (dB) となっているデータの幾つかが，計算値[11)]と比較した結果，無響室の壁面での反射音の影響等により $\Delta L\,(D)_{SXYP}$ と $\Delta L\,(RW)_{SXYP}$ の差が見かけ上，小さくなっていると思われること，第 2 に，これらの測



w	a	b	c	Hp
1.5	4	1	3.5	3, 1, 0.4, 0, -1, -2
3	4	1	2	3, 1, 0.4, 0, -1, -2
5	2.5	1	2.5	3, 2, 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0, -0.4, -0.6, -0.8, -1, -1.2, -1.4, -2

（単位 m，実物換算）

図－1 模型実験の配置



図－2 $(\Delta L\,(AW)_{SXYP} - \Delta L\,(RW)_{SXYP})/(\Delta L\,(D)_{SXYP} - \Delta L\,(RW)_{SXYP})$ と $f \cdot w$ との関係

定データの誤差は，**図－2**の縦軸にあたる（$\Delta L\,(AW)_{SXYP} - \Delta L\,(RW)_{SXYP}) / (\Delta L\,(D)_{SXYP} - \Delta L\,(RW)_{SXYP})$ の値に与える影響が非常に大きいことから，回帰式の精度向上のため，削除すべきと考えたからである。

なお，吸音性厚み障壁の厚み部分に貼付した吸音材の流れ抵抗 σ は 140 kPa·s/m² であったが，これは，植栽枡の上面が草花の場合におおむね相当する（文献 12）によると，流れ抵抗 σ は，芝地，草地等で 300 kPa·s/m²，耕田等で 75 kPa·s/m² である）。

分析結果を，**図－2** の散布図に整理した。データは，受音点が Zone Ⅰ と Zone Ⅱ（**図－1** 参照）にある場合を分類してプロットしている。この図から，$f \cdot w$ の増加とともに，$(\Delta L\,(AW)_{SXYP} - \Delta L\,(RW)_{SXYP}) / (\Delta L\,(D)_{SXYP} - \Delta L\,(RW)_{SXYP})$ が直線的に増加する傾向が見られるため，これらの関係は，基本的に次の回帰式で表されると考えた。

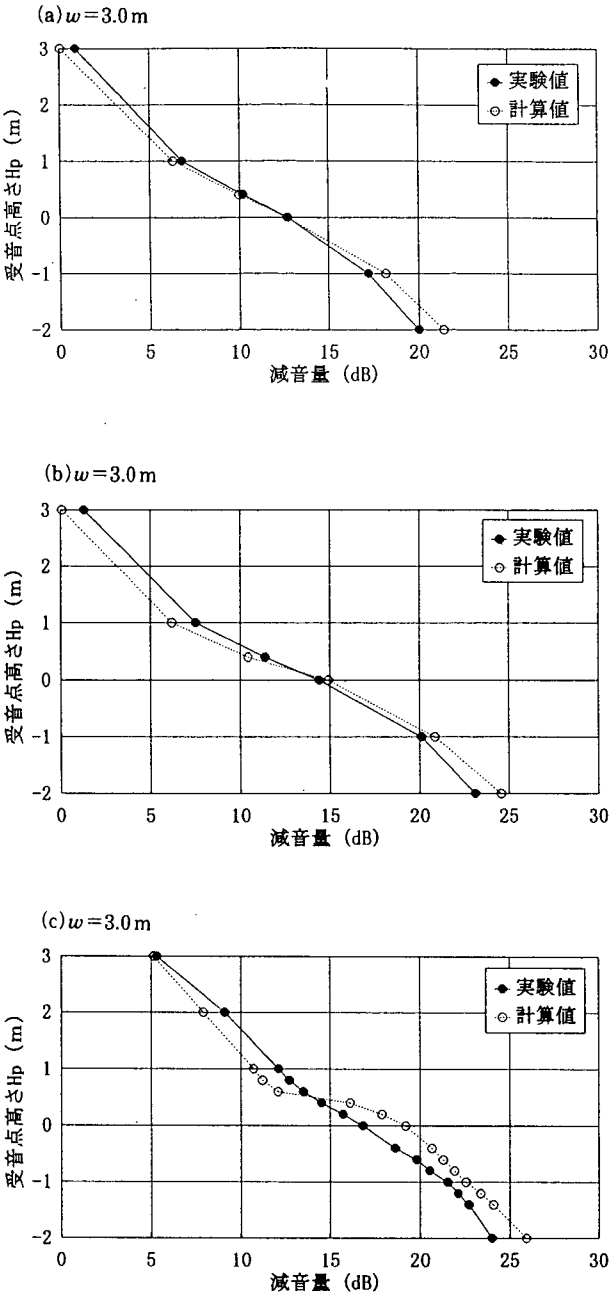
$$\begin{aligned}\Delta L\,(AW)_{SXYP} &= \Delta L\,(RW)_{SXYP} + A \cdot f \cdot w \times \{\Delta L\,(D)_{SXYP} - \Delta L\,(RW)_{SXYP}\} \\ &= \Delta L\,(RW)_{SXYP} + B \cdot (w/\lambda) \times \{\Delta L(D)_{SXYP} - \Delta L\,(RW)_{SXYP}\} \qquad (2)\end{aligned}$$

ここで，λ は音の波長を表し，B（=cA, c は音速）及び w/λ は無次元量である。

今回の実験データ（181 データ）では，c=340 m/s とすると，B=0.142 であり，回帰式の相関係数は 0.754 であった。なお，Zone Ⅰ と Zone Ⅱ のデータに分けて回帰分析を行うと，各々B=0.159, B=0.122 となり，Zone Ⅰ に対する B がやや大きい値をとったが，ここでは，Zone Ⅰ と Zone Ⅱ における計算値の連続性を重視して，1 つの回帰式とした。

(2) 式の意味は，以下のとおりである。一般的に，$\Delta L\,(AW)_{SXYP}$ が $\Delta L\,(RW)_{SXYP}$ より大きくなるのは，吸音性厚み障壁の音源側のエッジを回折して直接受音点に到達する音と，エッジ回折後，厚み部分で反射して伝搬する音の干渉作用によると考えられる。したがって，厚み部分の吸音効果を表す（$\Delta L\,(AW)_{SXYP} - \Delta L\,(RW)_{SXYP}$）は，$f$ 及び w に依存する[11]とともに，厚み部分の反射音の寄与が大きい受音点位置で，より大きくなると考えた。また，厚み部分における反射音の寄与は，（$\Delta L\,(D)_{SXYP} - \Delta L\,(RW)_{SXYP}$）で表せると仮定した。

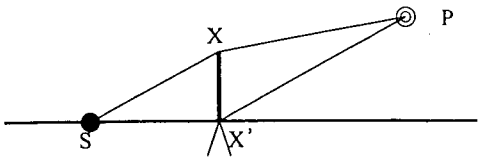
なお，(2) 式において，$\Delta L\,(D)_{SXYP}$ 及び $\Delta L\,(RW)_{SXYP}$ の計算に文献 11）の方法を用いると，常に $\Delta L\,(D)_{SXYP} \geqq \Delta L\,(RW)_{SXYP}$ であり，かつ，$A \cdot f \cdot w \geqq 0$ であるから，常に $\Delta L\,(AW)_{SXYP} \geqq \Delta L\,(RW)_{SXYP}$ である。また，$w=0$ の時，$\Delta L\,(AW)_{SXYP} = \Delta L\,(RW)_{SXYP}$ となる。



図－3 (2)式と模型実験値の比較

(3) 計算方法の適用範囲

(2) 式は，$\Delta L\,(D)_{SXYP} - \Delta L\,(RW)_{SXYP} \geqq 1$ (dB) となるデータから作成した回帰式である。ここでは，(2) 式の適用範囲並びに (2) 式における $\Delta L\,(D)_{SXYP}$，$\Delta L\,(RW)_{SXYP}$ の計算に文献 11）の方法を用いた場合の計算値の妥当性を検討するため，(2)式による計算値と文献 11）の模型実験値との比較を行った。なお，半無限障壁による減音量の計算には前川の実験チャート[13]を用いた（5. 1 (2), 6. も同様）。



図－4　地面上のパネルタイプ（透過損失の小さい材料を用いる場合）による挿入損失

厚み w が 1.5 m, 3 m, 5 m の時に，受音点高さ Hp（図－1 参照）別に計算値と実験値を比較した結果を図－3 に示す。減音量は，自動車走行騒音の代表パワースペクトル[14]で重み付けした 315～1,600 Hz の A 特性オーバーオール値として示している。

Zone I では計算値がやや小さく，Zone II では計算値がやや大きい傾向を示しているが，これは，(2)式の検討時に，Zone I と Zone II を同一の回帰式で表したことが一因と考えられる。しかし，計算値と実験値の差は，植栽枡タイプによる減音効果の予測で重要な w が 1.5 m, 3 m の時に 1 dB 以下，w が 5 m の時にも概ね 2 dB 以下であり，計算値と模型実験値は，よく一致していると言える。また，($\Delta L(D)_{SXYP} - \Delta L(RW)_{SXYP}$) が小さくなる $Hp=3$ m, −2 m の受音点位置でも，計算値と実験値の乖離が特に大きくなる傾向は見られない。

したがって，(2)式は，図－1 における実験配置全てにおいて，適用可能であることが確認された。

ただし，今回の検討は，限られた実験データを用いて行っており，(2)式の精度の向上には，データの蓄積により，Zone I と Zone II での回帰式の分類の必要性も含めた，より詳細な分析が必要と考える。

4. 2　透過損失の小さいパネルタイプによる挿入損失の計算方法

透過損失の小さい材料を用いた無限長のパネルタイプが設置された場合に，透過音を考慮した挿入損失 $IL^{(PS)}$ の計算方法を検討する。

地面上に，透過損失 TL の遮音壁を設置する場合の挿入損失 $IL^{(PS)}$ の計算方法を，文献 15), 16) を参考に，一般的に，以下のように定式化した。

$$IL^{(PS)} = -10\log_{10}\{(10^{-\Delta L_{SXP}/10} + (10^{-\Delta L_{SX'P}/10} - 10^{-\Delta L_{SXP}/10}) \cdot 10^{-TL/10}\} - \Delta L_{SX'P} \quad (3)$$

ここで，S は音源，P は評価点，X は遮音壁の上端，X′は遮音壁の下端（地面上）であり，ΔL_{SXP}, $\Delta L_{SX'P}$ は，各々，X, X′を上部回折点とする半無限障壁による減音量を表す（図－4 参照）。ただし，低層遮音壁では，評価点が遮音壁の上端より高いため，地面反射の影響は無視している。

(3)式において，$TL=0$ の時は $IL^{(PS)}=0$ となり，TL が十分大きい時は，

$$IL^{(PS)} = \Delta L_{SXP} - \Delta L_{SX'P} \quad (4)$$

となる。

しかし，評価点が遮音壁の上端よりも高く，評価点と遮音壁の距離が小さい低層遮音壁においては，$\Delta L_{SX'P} \fallingdotseq 0$ であるため，(3)式は，以下のように簡略化できる。

$$IL^{(PS)} = -10\log_{10}\{10^{-\Delta L_{SXP}/10} \cdot (1-10^{-TL/10})\} \quad (5)$$

5.　十分長い直線道路に開口部を有する低層遮音壁が設置された場合の簡易計算式

筆者らは，十分長い直線道路に開口部を有する（透過損失が十分大きい）パネルタイプが設置された場合の地点別 IL 及び $SA \cdot IL$ の簡易計算式を提案している[5]。ここでは，その簡易式を，4. での検討結果も踏まえ，植栽枡タイプ及び透過損失の小さいパネルタイプまで拡張し，開口部を有する種々のタイプの低層遮音壁による減音効果の簡易計算式を一般化（(8)式及び(9)式参照）して示す。

5.1　植栽枡タイプに対する 1 パスの方法の適用

(1)　計算方法

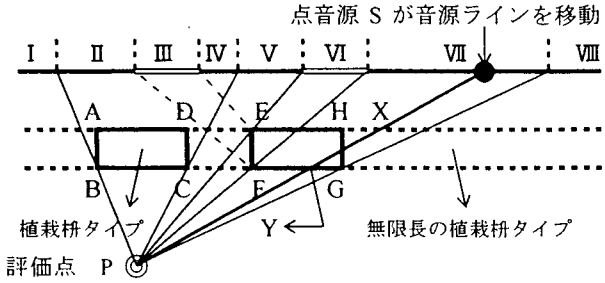
上述の地点別 IL 及び $SA \cdot IL$ の簡易計算式は，1 パスの方法[5),17),18)]（(6)式参照）の原理に基づき，有限長障壁の見通し角を用いて導かれたものである（式の導出過程は，文献 5）を参照されたい）。したがって，これらの簡易式を植栽枡タイプに拡張するには，1 パスの方法が植栽枡タイプに適用できればよい。その場合，奥行きを有する植栽枡タイプの側壁面での反射音の影響を考慮する必要がある。

まず，開口部を有するパネルタイプ（厚みのない有限長障壁）に対する 1 パスの方法を次式に示す。

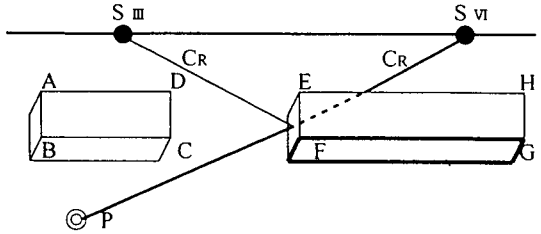
$$IL^{(PS)} = \begin{cases} \text{① 平面 SP が障壁と交差する場合} \\ \quad \Delta L_{SXP} \\ \text{② ①以外の場合} \\ \quad 0 \end{cases} \quad (6)$$

ここで，平面 SP とは音源 S と評価点（受音点）P を含む鉛直な平面をいい，X は平面 SP と障壁の上部エッジとの交点である。

(6)式は，条件①では，有限長障壁を半無限障壁とみなして，その減音量 ΔL_{SXP} を計算し，②では障壁が存在しないと仮定するものである。この式は有限長障壁の側方回折音を計算しておらず，条件①，②の境界付近に音源がある時は，計算値の誤差が大きくなる。しかし，音源が障壁と平行に移動する場合，



図－5　十分長い直線道路に設置された植栽枡タイプに対する1パスの方法の適用（平面図）



図－6　側壁面 $\overline{EF}$ における1回反射音の扱い

ユニットパターン（文献19）では，点音源が移動する場合における所定の評価点での騒音レベルの時間的変化と定義されているが，本論文では，音源位置毎の評価点での騒音レベルと定義する）のエネルギー積分値（以下，単に「エネルギー積分値」という）を求める時は，(6)式で実用上問題ないことが明らかにされている[5]。

図－5は，十分長い直線道路に平行に2つの直方体形状をした植栽枡タイプ（有限長の吸音性厚み障壁）ABCD及びEFGHが設置された場合の平面図である。以下，線分 $\overline{AB}$, $\overline{DC}$, $\overline{EF}$, $\overline{HG}$ で表される壁面を側壁面，$\overline{BC}$, $\overline{FG}$ を評価点側・壁面，$\overline{AD}$, $\overline{EH}$ を音源側・壁面，これらを総称して外周壁面という。植栽枡タイプの上面は吸音性（本論文では，草花を想定し $\sigma=140\,\mathrm{kPa\cdot s/m^2}$ とする），外周壁面は完全反射とする。また，評価点との位置関係により，音源ラインをⅠ～Ⅷの区間に分割しているが，区間Ⅲは側壁面 $\overline{EF}$ に対して区間Ⅵと対称の位置を表す。

植栽枡タイプが設置された場合のエネルギー積分値を求めるための1パスの方法を以下に提案する。

$$IL^{(PS)}=\begin{cases}\text{① 平面 SP が評価点側・壁面と交差する場合} \\ \qquad \Delta L\,(AW)_{SXYP} \\ \text{② ①以外の場合} \\ \qquad 0\end{cases} \tag{7}$$

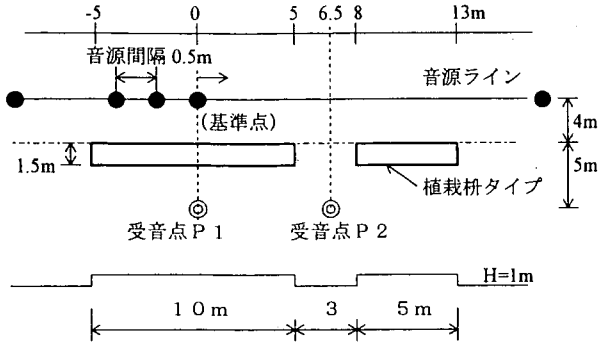
ここで，$\Delta L\,(AW)_{SXYP}$ は無限長の吸音性厚み障壁による減音量を表し，(2)式により計算する。ただし，回折点Xは，無限長の植栽枡タイプの音源側・壁面の上部エッジが平面SPと交差する点，回折点Yは，評価点側・壁面の上部エッジが平面SPと交差する点とする。

図－5において，(7)式①にあたるのは音源が区間Ⅱ～Ⅳ，Ⅶにある場合，(7)式②にあたるのは，それ以外の場合である。

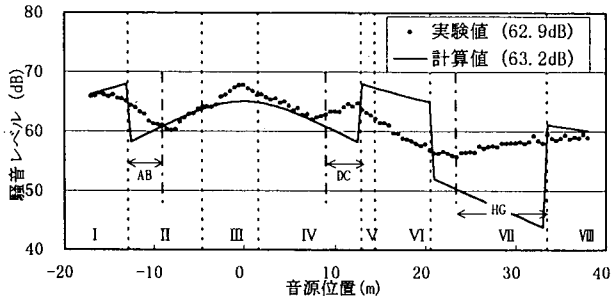
音源が区間Ⅵにある時に，区間Ⅰ，Ⅴ，Ⅷにある（評価点から音源が見通せる）時と同様の扱いをしているのは，植栽枡タイプの側壁面での1回反射音の主な影響を，エネルギー積分値の算出にあたって，間接的に取り入れるためである。

すなわち，まず，図－5において，評価点Pに対する側壁面（この場合 $\overline{EF}$ があたる）での1回反射音の影響を考慮する音源位置として区間Ⅲを抽出した。今，区間Ⅲにある音源を $S_{Ⅲ}$，側壁面 $\overline{EF}$ に対して $S_{Ⅲ}$ と対称の位置にある音源 $S_{Ⅵ}$（区間Ⅵにある）を図－6に示す。ここで，$S_{Ⅵ}$ からPに至る音の主な寄与 $C_{Ⅵ}$ は，側壁面 $\overline{EF}$ の上方及び左側方を伝搬する音の寄与（図－6上では省略している）の和で表されるが，計算上は，これに $S_{Ⅲ}$ から側壁面 $\overline{EF}$ で反射してPに至る1回反射音の寄与 C_R を加えて，$S_{Ⅵ}$ からの寄与 $C'_{Ⅵ}$ とした。$C'_{Ⅵ}=C_{Ⅵ}+C_R$ であり，スリット法[18]の考え方によると，C_R は，側壁面 $\overline{EF}$ を開口面とみなし，$S_{Ⅵ}$ からそれを通過してPに到達する音の寄与として考えられるため，$C'_{Ⅵ}$ は，評価点側・壁面 $\overline{FG}$ の位置に（厚みがない）パネルタイプが設置された場合と同程度になると考えた。一方，音源 $S_{Ⅲ}$ の時の寄与としては，計算上，C_R は除いている。このように，計算上，$S_{Ⅲ}$ の時の寄与 C_R を $S_{Ⅵ}$ の時の寄与に置換しているが，エネルギー積分値の算出には，支障がないと考えた。一方，平面SPが側壁面 $\overline{AB}$，$\overline{DC}$ または $\overline{HG}$ と交差する時の上方回折による挿入損失を(7)式①を用いて計算すると，上方回折点X，Y間の距離を実際より大きく見積もることになる。これらの音源位置では，そもそも1パスの方法が側方回折音を無視していることに加え，(2)式から判断すると(7)式①による計算値は上方回折音も過小評価し，過大な挿入損失を与えるおそれがある。しかし，計算値の誤差が大きくなるのは音源が受音点から斜め方向に離れた（図－5では，平面SPが $\overline{HG}$ と交差する場合が最も離れている）場合，すなわち，騒音レベルが小さくなる場合であり，その誤差がエネルギー積分値に与える影響は小さいと考えた。

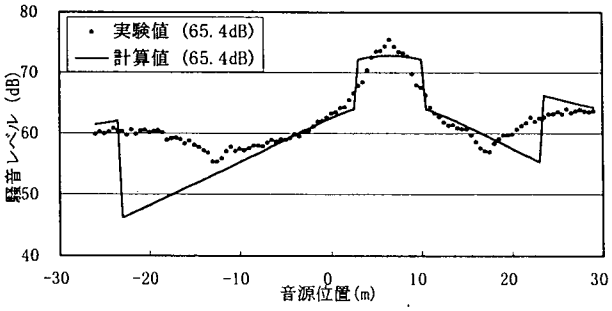
さらに，開口部の幅（D, E間の距離にあたる。最低でも3m程度）が奥行き（D, C間の距離にあた



図－７　植栽枡タイプに対する１パスの方法の検証のための模型実験の配置



図－８（a）　騒音レベルの計算値と模型実験値の比較（受音点Ｐ１）



図－８（b）　騒音レベルの計算値と模型実験値の比較（受音点Ｐ２）

る。最大でも 1.5 m 程度）の２倍以上となるのが一般的な植栽枡タイプでは，側壁面での１回反射音に対する側方回折の影響及び側壁面間での２回以上の多重反射音の影響は，計算の簡略化のため省略した。また，地面反射の影響は，(3)式同様無視した。

(2)　模型実験による検証

無響室において縮尺比 1/10 の模型実験を行い，(7)式による計算結果を検証した。

実験配置を図－７に示す。床面は厚さ３mm（原寸）のアクリル板を用いて反射性とし，音源には，点音源としてのジェットノイズ音源（高さ 0.4 m）を用いた。低層遮音壁は，厚さ５mm（原寸）のアクリル板を用いて製作（高さ１m，奥行き 1.5 m）し，その上面には，4.1(2)同様，流れ抵抗 $\sigma=140$ kPa・s/m^2 の吸音材（ベルベット２枚重ね，厚み 3.3 mm，原寸）を貼付した。対象周波数は，4.1(2)より広帯域の 200 Hz～5 kHz とし，自動車交通騒音の主要な周波数帯域を含むようにした。

実験値の算出にあたっては，音源の PWL を別途測定し，以下で述べる計算上のパワースペクトル，PWL の設定と一致するように，1/3 オクターブバンド毎の一定の補正を，各測定値に対して行った。

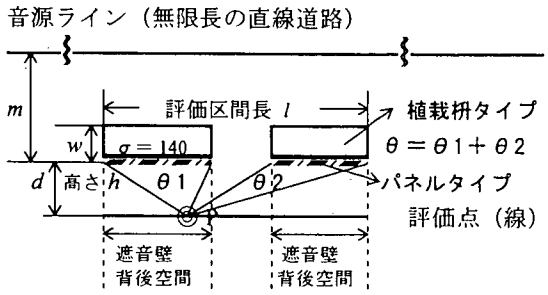
一方，音圧レベル（SPL）の計算は，1/3 オクターブバンド中心周波数を用い，音源（計算上は，高さ 0 m）のパワーレベル（PWL）と半自由空間における距離減衰（距離 r）及び(7)式より求めた $IL^{(PS)}$ を用いて，

$$SPL=PWL-8-20\log_{10}r-IL^{(PS)}$$

により行った。音源には，１台の自動車を想定し，パワースペクトルとして自動車走行騒音の代表スペクトル[14]（200 Hz～5 kHz）を与え，PWL は 100 dB（A 特性）とした。なお，(7)式①における $\Delta L(AW)_{SXYP}$ の計算には(2)式の方法を用いるが，(2)式中の $\Delta L(D)_{SXYP}$，$\Delta L(RW)_{SXYP}$ の算出には，文献 11）の方法を用いた（6.3 も同様）。

図－８（a），（b）には，受音点 P1 及び P2（いずれも，高さ 1.4 m（6. 参照））における騒音レベルの模型実験値および計算値を示す。凡例の括弧内の数値は，ユニットパターンのエネルギー平均値（測定または計算した騒音レベルのエネルギー合成値をデータ数で除してレベル表示したもの）を示す。また，P1 の位置は，図－５の P の位置に相当するため，図－５の区間Ⅰ～Ⅷに相当する音源位置，並びに平面 SP が側壁面 $\overline{AB}$，$\overline{DC}$ または $\overline{HG}$ と交差する音源位置を図－８（a）に示した。

図－８（a）では，平面 SP が，側壁面 $\overline{AB}$，$\overline{DC}$ または $\overline{HG}$ と交差する音源位置では，5.1(1)で予想したとおり，騒音レベルの計算値が実験値より小さくなり，その傾向は騒音レベルが最も小さい $\overline{HG}$ の場合に顕著となっている。また，区間Ⅲで実験値が計算値を上回り，区間Ⅵでその逆となっているのは，5.1(1)で述べたとおり，音源が区間Ⅲにある時の側壁面 $\overline{EF}$ での１回反射音の寄与 C_R を，音源が区間Ⅵにある時の寄与に置換して計算していることが，一因であると考える。このように，ユニットパターンの形状では，計算値と実験値の間に差異が認められるが，両者のエネルギー平均値の差は，わずか 0.3 dB であり，両者は非常によく一致している。



図－9　十分長い直線道路に設置された低層遮音壁による減音効果計算のための模式図

また，受音点P2が開口部の背後にある図－8（b）においても，ユニットパターンの形状では，計算値と実験値の間に上記と同様の理由による差異が認められるが，両者のエネルギー平均値は65.4 dBで一致している。

したがって，植栽枡タイプに対する1パスの方法である(7)式は，ユニットパターンのエネルギー平均値（エネルギー積分値も同様）の計算に，実用上，十分適用できることが明らかとなった。

5.2　開口部を有する種々のタイプの低層遮音壁による減音効果の簡易計算式

5.1において，植栽枡タイプに対して(7)式の1パスの方法が適用できることが明らかとなった。また，透過損失の小さいパネルタイプは，厚みのない有限長障壁の一種であり，1パスの方法が適用できる。したがって，文献5）で示された地点別IL及び$SA\cdot IL$の簡易計算式（(8)式，(9)式で$(1-10^{-TL/10})=1$としたもの）を，(5)式及び(7)式をもとに拡張し一般化して示す（図－9参照）。なお，(8)式，(9)式の導出過程については，文献5）を参考にされたい。

(1)　地点評価の場合

$$IL=-10\log_{10}\left\{1-\frac{\theta}{\pi}\left(1-10^{-IL_0/10}\right)\times\left(1-10^{-TL/10}\right)\right\} \tag{8}$$

(2) 区間評価（評価区間全体）の場合

$$\begin{cases} SA\cdot IL=-10\log_{10}\{10^{-[SA\cdot IL_0]/10}+(1-10^{-[SA\cdot IL_0]/10})\,\alpha\} \\ \text{ここで,} \\ SA\cdot IL_0=-10\log_{10}\left[1-(1-10^{-IL_0/10})\times(1-10^{-TL/10})\times\frac{1}{\pi}\left\{2\tan^{-1}\left(\frac{l}{d}\right)-\frac{d}{l}\ln\left(1+\frac{l^2}{d^2}\right)\right\}\right] \end{cases} \tag{9}$$

ここで，θは評価点から植栽枡タイプの評価点側・壁面を見通した時の角度の和，lは評価区間長，αは開口率（評価区間長に対する低層遮音壁の未設置区間の総延長の割合），dは評価点側・壁面と評価点（線）の距離を示す。パネルタイプの場合は，dは遮音壁設置位置と評価点（線）までの距離となる。

また，TLはパネル材料の透過損失を示すが，TLが，従来の一般的な遮音壁に用いられているパネルの透過損失と同等以上の場合や，植栽枡タイプの場合は，$(1-10^{-TL/10})\fallingdotseq 1$とする。

さらに，IL, $SA\cdot IL$は，各々，開口部を有する低層遮音壁の地点別挿入損失，評価区間全体の区間平均挿入損失を示す。一方，IL_0は無限長で連続した低層遮音壁を仮定した場合の挿入損失，$SA\cdot IL_0$は評価区間上の有限長で連続した低層遮音壁を仮定した場合の評価区間全体の区間平均挿入損失を示す。なお，これらの減音効果は，全て無限線音源（十分長い直線道路を想定）に対するものである。

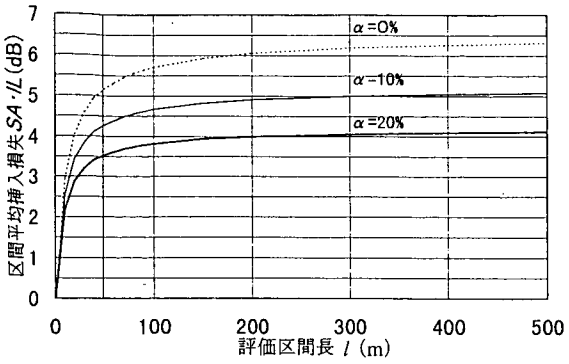
ここで，(8)式，(9)式による計算の基本となるIL_0の算出にあたっては，パネルタイプの場合はm, d, h（図－9）をもとに前川の実験チャート[13]を用い，植栽枡タイプの場合はm, d, h, wをもとに(2)式を用いて，$IL^{(PS)}$を算出し，遮音壁設置前後のユニットパターンのエネルギー積分値または平均値の差分を求めればよい。

なお，(9)式は，文献5）で示された式を変形して，より簡易な表現にしている。また，(9)式は，$SA\cdot IL$が開口部の位置や数に関わらず開口率αのみによって定まる[5]ことに基づいた簡易計算式であるが，$\overline{SA\cdot IL}$は開口部の位置や数にしたがって変化するため，同様には計算できないことが，試算により明らかとなった。

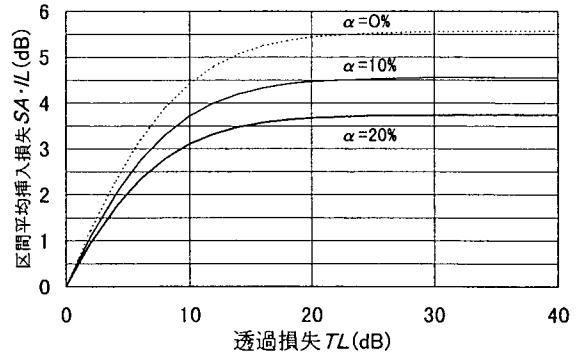
6.　設計パラメータと減音効果の関係の分析

本論文で扱う低層遮音壁の設計パラメータとしては，高さ以外に，評価（対策）区間長，開口率，パネル材料の透過損失，植栽枡タイプの奥行き・上面の流れ抵抗が挙げられる。

ここでは，植樹帯（幅員1.5 m）を含む幅員5 mの歩道上に高さ1 mの低層遮音壁を設置する場合を想定して，予測・評価のケーススタディを行い，これらの設計パラメータと減音効果の関係を分析する。なお，音源位置は，幹線道路（4車線）近車線側の第1，2車線中央（歩車道境界から4 m），評価点は，官民境界（歩車道境界から5 m）で高さ1．4 m（歩道面からの高さ1.2 m，歩道面が車道面から0.2



図－10　開口率 α，評価区間長 l と $SA \cdot IL$ の関係



図－11　パネル材料の透過損失 TL と $SA \cdot IL$ の関係

m マウンドアップされていることを想定）とした。

6.1　評価区間長，開口率と $SA \cdot IL$ の関係

透過損失が十分大きいパネルタイプを設置する場合，開口率 α が 0%，10%，20%の時に，評価区間長 l と $SA \cdot IL$ の関係を(9)式を用いて検討した結果を図－10 に示す。なお，IL_0 は，0.5 m ピッチで延長 2 km の音源を想定し 1/3 オクターブバンド中心周波数を用いて計算し，自動車走行騒音の代表スペクトル[14]で重み付けをした 50 Hz～5 kHz の A 特性オーバーオール値として求めた（6.2, 6.3 も同様）。

図－10 より，無限長に対して，$SA \cdot IL$ の減少を 0.5 dB 程度に抑えることのできる l は，α が 0%の時 100 m，α が 20%の時 50 m 程度である。また，l が 50 m 以下では，$SA \cdot IL$ は急激に減少する。したがって，低層遮音壁の評価（対策）区間長は，少なくとも 50 m 程度以上必要だと言える。また，α が 10%大きくなると $SA \cdot IL$ は 1 dB 程度減少する。

なお，以下の検討では，標準的な評価区間長として l＝100 m を用いる。

6.2　パネルタイプに許容される透過損失

(9)式を用いて，α が 0%，10%，20%の場合に，パネル材料の透過損失 TL と $SA \cdot IL$ の関係を求め，図－11 に示した。

この図から，$SA \cdot IL$ の減少を 0.5 dB 程度に抑えることができる TL は，α が 0%の場合は 14 dB，α が 20%の場合は 11 dB であり，この程度の透過損失があれば，パネルタイプの材料として，十分用いることができると考える。

6.3　パネルタイプと植栽枡タイプの地点別 IL，$SA \cdot IL$，$\overline{SA \cdot IL}$ の差異

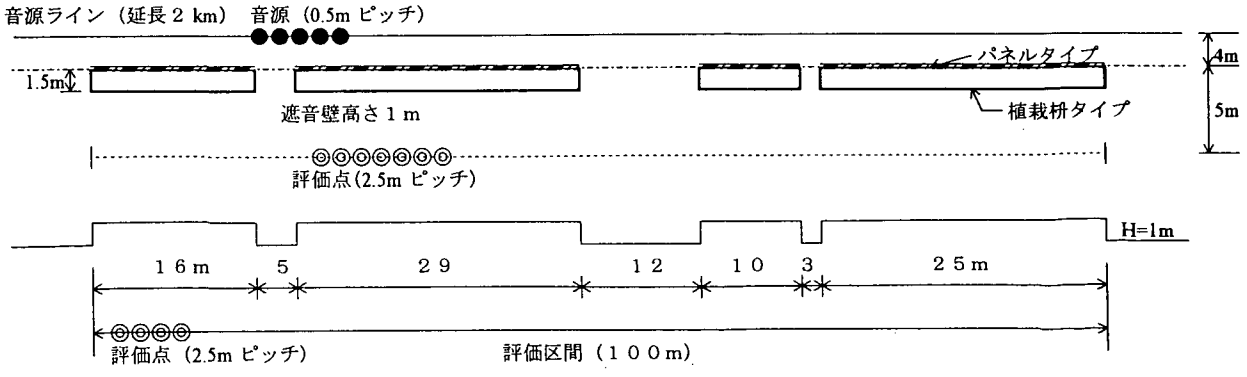
(8)式，(9)式を用いて，α＝20%の場合に，透過損失が十分大きいパネルタイプと植栽枡タイプ（上面の流れ抵抗 σ＝140 kPa·s/m^2）の挿入損失の差異を検討した。それらの配置は図－12 のとおりである。

図－13 に，(8)式を用いて，パネルタイプと植栽枡タイプの地点別の IL を比較した結果を示す。また，表－1 には，IL_0 の計算結果，(8)式による地点別 IL（2.5 m 間隔）の計算結果を区間平均して $SA \cdot IL$ 及び $\overline{SA \cdot IL}$ を求めた結果，並びに(9)式で $SA \cdot IL$ を直接計算した結果等を整理して示す。

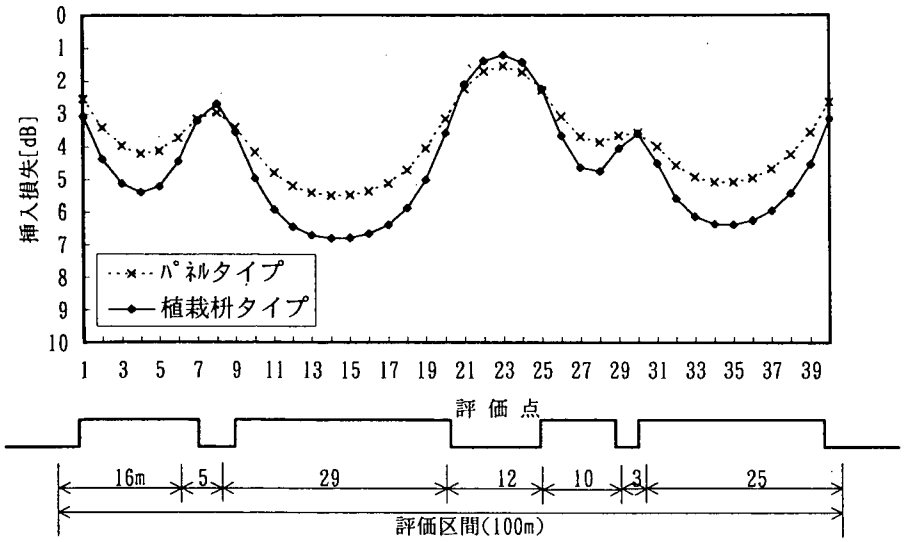
これらの結果から以下のことが分かる。

(1) 植栽枡タイプはパネルタイプに比べ，遮音壁背後空間と開口部背後空間の地点別 IL の差異が大きく，$\overline{SA \cdot IL}$ と $SA \cdot IL$ との差は 0.8 dB である。

(2) 植栽枡タイプとパネルタイプの減音効果の差は，IL_0 では 2.0 dB であるが，$\overline{SA \cdot IL}$ では 1.0 dB，$SA \cdot IL$ では 0.7 dB に縮まる。また，地点別



図－12　パネルタイプと植栽枡タイプの配置



図－13　パネルタイプと植栽枡タイプによる地点別 IL の比較

表－1　パネルタイプと植栽枡タイプによる減音効果の比較

（単位：dB）

	IL_0	IL (14)	$SA \cdot IL$ (c)	$\overline{SA \cdot IL}$ (d)	(d)－(c)
パネル (a)	7.8	5.5	3.7 (3.8)	4.2	0.5
植栽枡 (b)	9.8	7.0	4.4 (4.6)	5.2	0.8
(b)－(a)	2.0	1.5	0.7	1.0	

（注）1. IL (14) は図－13 の評価点 14 における IL を表す。
2. IL (14)，$SA \cdot IL$，$\overline{SA \cdot IL}$ は(8)式で計算。ただし，$SA \cdot IL$ の（　）内の数値は(9)式で計算。

IL が最も大きくなる評価点 14 では，その差は 1.5 dB である。

なお，**表－1** において，(8)式による計算結果は(9)式による計算結果とほぼ一致していることが確認できる。

7. 実車に対する減音効果に関する考察

本論文では，音源を無指向性点音源とみなして予測式の構築を行っている。しかし，高さが低い低層遮音壁の場合，走行する自動車（以下「実車」という）を音源とする時は，低層遮音壁近傍の実車（特に大型車）の側面と低層遮音壁の間での多重反射[20]及び実車から発生する騒音の指向性（車両上方より側方の騒音レベルが高い）[21]が減音効果に及ぼす影響を考慮する必要がある。

矢野らによるテストコースでの実験結果[1]によると，走行車線の中心から 3.3 m 隔てて設置された高さ 0.9 m の連続した塀（長さ 20 m）の背後 5 m，高さ 1.2 m の地点で，挿入損失の実測値と前川の実験チャート[13]による計算値を比較すると，乗用車では実測値がやや大きく，大型車では実測値と計算値がほぼ一致している。

一般に，低層遮音壁は開口部を有し吸音性パネルを用いることも多いこと，多車線道路では車両と低層遮音壁との距離は大きくなることから，実際には，多重反射の影響は，より小さくなると考えられる。一方，実車の指向性の影響は，常に存在するため，実際の道路に設置した低層遮音壁による減音効果は，本論文で提案する予測式で求めた結果より大きくなる可能性がある。今後，検討すべき課題である。

8. ま と め

本論文で得られた主な成果は以下のとおりである。

(1) 有限長で開口部を有する低層遮音壁による減音効果の区間評価の指標として，評価区間全体を対象とした $SA \cdot IL$ 及び遮音壁背後空間を対象とした $\overline{SA \cdot IL}$ を示した。これらの指標は，騒音の評価対象（住居，歩行者）により適宜選択する必要がある。また，歩道上にベンチを設置する場合のように，特定の地点の騒音レベルを評価する場合は，地点別 IL を評価指標として用いればよい。

(2) 植栽枡タイプの低層遮音壁を，吸音性厚み障壁とみなし，その減音量を，反射性厚み障壁及び二重障壁による減音量を用いて求める回帰式を作成した。この式は，広い受音点領域に適用可能であるため，低層遮音壁だけでなく，他の

種類の吸音性厚み障壁にも拡張して利用することが期待できる。

(3) 透過損失が小さい材料を用いたパネルタイプ及び植栽枡タイプを含め，低層遮音壁が開口部を有する場合の減音効果を地点別 IL 及び $SA \cdot IL$ として求める簡易計算式を，一般化して示した。

(4) 音源が4車線道路の近車線側にある場合を想定して，高さ1mの低層遮音壁による減音効果を求めるケーススタディを行った。その結果，開口率が20%の場合は，評価（対策）区間長が50m程度以上必要なこと，パネルタイプの透過損失は11dBで十分なこと，植栽枡タイプはパネルタイプと比べ地点別 IL で最大1.5dB，$SA \cdot IL$ で0.7dB減音効果が大きいこと等を示した。

以上の結果，種々のタイプの低層遮音壁による減音効果の予測・評価が可能となり，設計の際の留意点も，ある程度明らかになったと考える。

今後の主な課題としては，以下が挙げられる。

(1) 中央分離帯にも低層遮音壁を併設した場合の予測方法の検討

(2) 植栽枡タイプの上面の流れ抵抗が変化した場合の減音量の検討及び現地実測等による検証

(3) 予測式における自動車走行騒音の指向性の考慮

(4) 低層遮音壁の合理的な設計方法の検討

参考文献

1) 矢野博夫，日高新人，朱　鎮洙，橘　秀樹，押野康夫，筑井啓介：テストコースにおける自動車の走行騒音放射特性の検討（その2. 音圧測定による近傍音場の解析），日本音響学会講演論文集，pp. 627～628（1992. 3）

2) 筑井啓介，押野康夫，橘　秀樹：実車を用いた遮音塀の回折減音量に関する検討，日本音響学会講演論文集，pp. 687～688（1996. 3）

3) 高村貴洋，渡辺義則，中島勝哉：道路端に低い壁を設置することによる減音量の推定，土木学会第51回年次学術講演会，pp. 300～301（1996）

4) 大西博文，上坂克巳，鉢嶺清範：低層遮音壁の種々の道路条件における効果，日本音響学会講演論文集，pp. 825～826（1997. 3）

5) 上坂克巳，大西博文，鉢嶺清範，千葉　隆，高木興一：低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究，土木学会環境工学研究論文集，34巻，pp. 307～317（1997）

6) 渡辺敏夫，山田伸志：植物模型による音の散乱，日本音響学会誌，43巻11号，pp. 845～850（1987）

7) 鹿島教昭，田村明弘：植樹帯による減音効果—実在する植樹帯の挿入損失—，日本音響学会誌，47巻10号，pp. 729～737（1991）

8) 鹿島教昭，田村明弘：植樹帯による減音効果（第2報）—幼木を用いた縮尺模型実験—，日本音響学会誌，49巻10号，pp. 711～720（1993）

9) 鹿島教昭，田村明弘：植樹帯による騒音低減効果，騒音制御，21巻3号，pp. 175～178（1997）

10) 石井　貢：低い塀を取り付けた植栽枡の防音効果，日本音響学会騒音・振動研究会資料，N－94－10（1992）.

11) 上坂克巳，大西博文，鉢嶺清範，石川賢一，高木興一：厚みのある障壁，二重障壁による回折効果に関する実験的研究，騒音制御，22巻3号，pp. 153～161（1998）

12) 高木興一，山本貢平，吉久光一：Ⅳ道路交通騒音予測における伝搬計算方法，日本音響学会誌，50巻3号，pp. 240～249（1994）

13) K. Yamamoto, K. Takagi: Expression of Maekawa's chart for computation, Applied Acoustics Vol. 37, pp. 75～82 (1992)

14) 曽根敏夫，香野俊一，岩瀬昭雄：Ⅲ自動車走行騒音のパワーレベルとスペクトル，日本音響学会誌，50巻3号，pp. 233～239（1994）

15) K. Takagi: Some remarks on practical methods for calculating acoustical diffraction, Applied Acoustics Vol. 31, pp. 119～132 (1990)

16) 三宅龍雄，上坂克巳，大西博文：透過音を考慮した遮音壁の騒音低減効果について，日本音響学会騒音・振動研究会資料，N-97-50（1997）

17) Department of Transportation, Federal Highway Administration, USA: FHWA Highway traffic noise prediction model, Report FHWA-RD-77-108 (1977)

18) 日本音響学会編：L_{Aeq} における道路交通騒音予測，日本音響学会　第4回音響技術セミナー資料，pp. 37～49（1995）

19) 橘　秀樹，佐々木實：Ⅱ予測計算法の概要，日本音響学会誌，50巻3号，pp. 229～232（1994）

20) D.C. Hothersall, S.A.Tomlinson: High sided vehicles and road traffic noise barriers, Proc. Internoise 95, pp. 397～400 (1995)

21) 筑井啓介，押野康夫，橘　秀樹：自動車走行騒音の指向性を考慮した道路交通騒音の予測手法に関する研究，騒音制御，22巻2号，pp. 108～116（1998）

(2) 道路交通騒音の現状と対策*

大 西 博 文*1

1. はじめに

道路に面する地域における騒音に係る環境基準の達成率はここ何年間も10数%と低い水準で推移しており，幹線道路沿道での騒音は依然として厳しい状況にある。また，平成7年7月の騒音に係る国道43号訴訟に関する最高裁判所の判決では，沿道住民に対する生活妨害が認容された。一方，昭和46年に閣議決定された騒音に係る環境基準が平成10年9月の環境庁告示により28年振りに改定され，平成11年4月から施行された。このように道路交通騒音は深刻な状況にあり，近年では司法により厳しい判断が示されており，また，行政においては様々な動きがなされている。本稿では，このような状況を踏まえて道路交通騒音の現状と対策について以下に述べる。なお，ここに述べることは筆者の私見であることをお断りしておく。

2. 道路交通騒音の現状

環境庁の調査によると平成9年度の道路交通騒音の環境基準の達成率は，全国の4,713測定地点のうち13.3%であった[1]（図－1参照）。測定地点が多少異なっているので同等には比較できないが，過去20年間の環境基準の達成率は昭和56年の17.2%を最高に平成9年の13.3%までずっと10%台と低迷している（図－2参照）。これまで各種の騒音対策が講じられているが，自動車交通量の増加，幹線道路周辺の市街化等のため道路交通騒音の状況の改善ははかばかしくない。

大都市地域（東京23区と12政令指定都市）とそれ以外の地域で見た環境基準の達成率は，それぞれ6.3%，14.4%と大都市地域の方が低くなっている。しかし，それ以外の地域でも達成率は低く，道路交通騒音は大都市圏だけでなく地方部においても幹線道路の沿道では厳しい状況にあることが分かる。

また，道路種類別の環境基準の達成率では，自動車専用道路である高速自動車国道が24.2%と最も高く，逆に都市高速道路が4.1%と最も低い。これは，都市高速道路が平面道路に併設されていることが多く，また交通量が多いためであり，高速自動車国道はこれに比べて交通量が少なく，道路用地も確保できており対策が比較的容易であるためと考えられる。一方，一般道路では国道の達成率が8.1%と最も低く，市町村道が22.2%と最も高い。これは，国道のような幹線道路であるほど交通量が多いためであると思われる。

3. 道路交通騒音対策の体系

道路交通騒音対策には，騒音の発生，伝搬，受音の各段階で講じられる発生源対策，交通流対策，道路構造対策，沿道対策がある。また，これらには施設の設置等によるハードな対策と規制・誘導等によるソフトな対策がある（図－3[2]参照）。騒音のような環境問題の対策では発生源対策が基本であるが，2. で述べたとおりその改善が容易でない現状では，地域の状況を踏まえてこれら各種対策を適切に組み合わせることが効果的である。

4. 道路交通騒音の各種対策

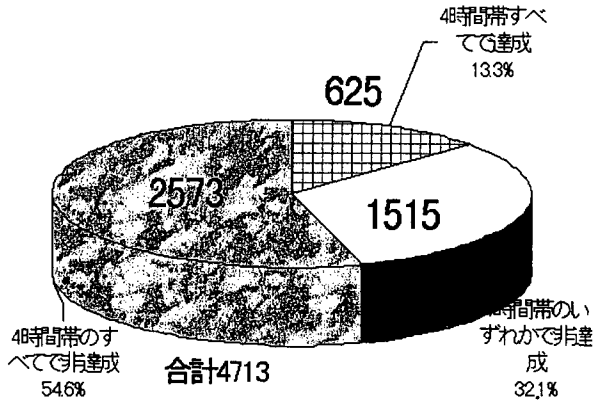
ここでは，3. の体系図の中の主な道路交通騒音対策について述べる。

発生源対策の主要なものに自動車騒音単体規制があり，自動車騒音の低減が図られてきた。平成4年11月及び平成7年2月の中央環境審議会の答申では，加速走行騒音を1～3 dB，定常走行騒音を1～6.1 dBとする低減目標値が設定された。しかしながら，タイヤ音や大型車のエンジン音がまだ課題として残っている。タイヤの単体規制，エンジンの一層の遮蔽等対策の進展が必要である。

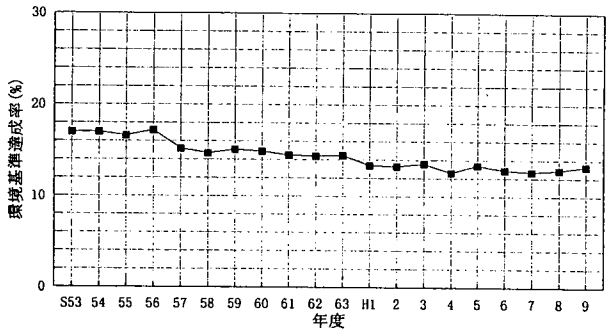
交通流対策では，道路網の体系的な整備により幹

* Current Status of Road Traffic Noise and Its Countermeasures

*1 Hirofumi Ohnishi : Public Works Research Institute, Ministry of Construction（建設省土木研究所）



図－1　環境基準の達成状況



図－2　環境基準の達成状況の推移

線道路と生活道路の機能を分化させることが重要である。例えば，都市部を迂回する環状道路やバイパスの整備により都市部を通過する交通の転換を図り，既存の道路は主に当該地域に関係する交通を処理する機能を果たすこととなり，その沿道環境は改善される。

道路構造対策では，一般的には遮音壁がよく用いられる。最近では，その上端部に吸音体や突起を取り付けることにより，騒音の回折減衰量を高める工夫がなされた遮音壁が開発されている。前者は，吸音体により遮音壁の上端部周辺の騒音を吸音することによって，遮音壁の背後の騒音低減を図ろうとするものである。後者は突起により騒音を干渉させ，騒音低減を図ろうとするものである。

また，平面道路に高架道路が併設されている区間では，高架道路の裏面に吸音板を設置することにより反射音を低減させる対策が適用されている。この対策は，道路に遮音壁が設置されていて高架裏面の反射音が沿道で卓越している場合に効果的である。最近では，吸音率が90%を超える高い吸音性能を有する吸音板が開発されている。

さらに，近年では排水性舗装が低騒音舗装として広く用いられるようになってきた。排水性舗装は通常の密粒舗装に比べると3～5dBの騒音低減効果を有するが，経時的にその空隙が閉塞するため効果は低下する。効果の持続性を向上させる技術開発が期待される。

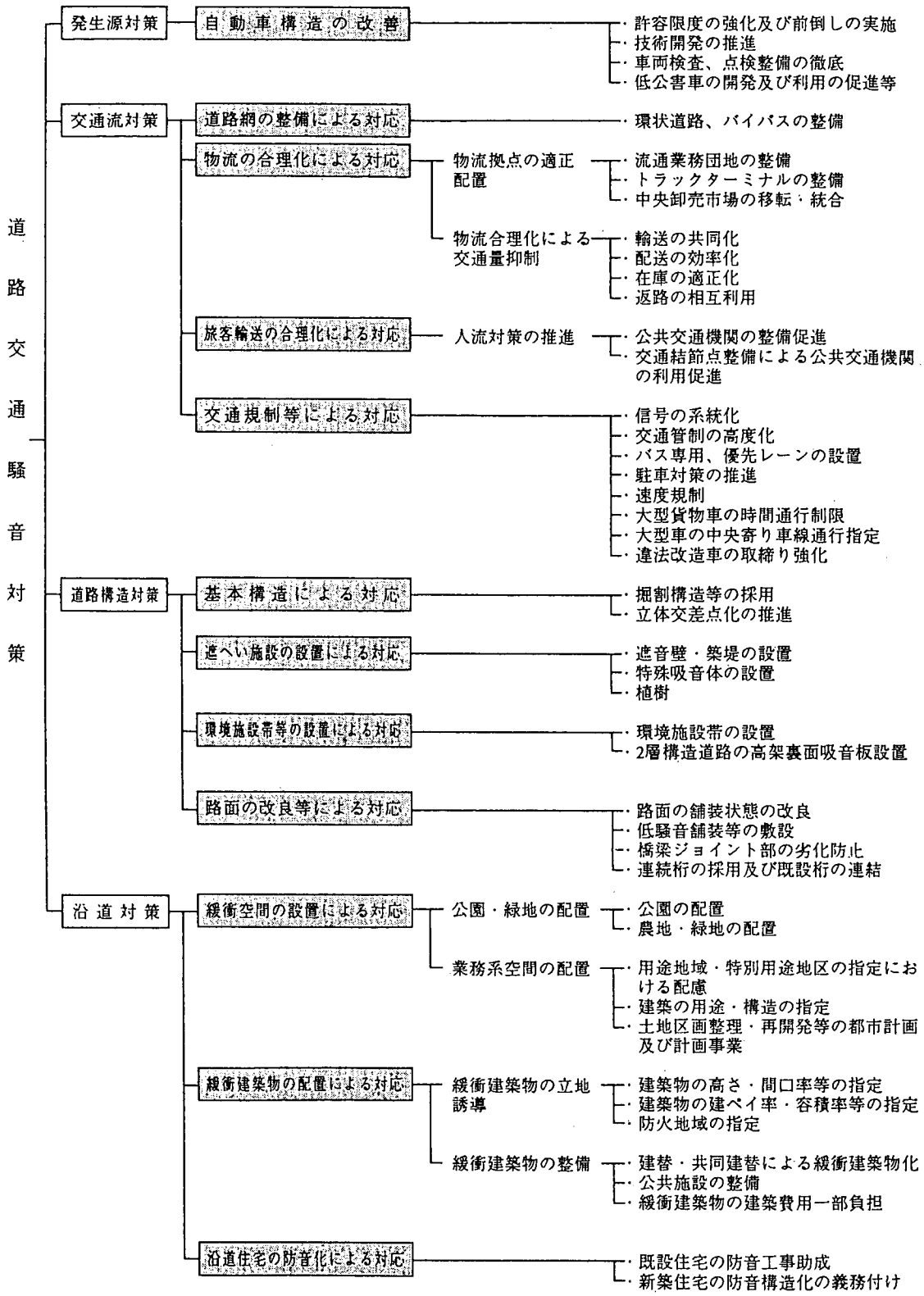
沿道対策としては，騒音等環境負荷の大きい幹線道路に面した住宅の立地を抑制することが重要である。このため，沿道の土地利用が業務系となるように用途地域の指定に配慮することが望まれる。また，沿道の住宅の防音化を図るため，既設住宅に対しては防音工事の助成を行ったり，新規の住宅立地に対しては防音構造化への誘導・義務づけなどが必要である。

5. おわりに

本稿では，道路交通騒音が非常に厳しい状況にあることと各種騒音対策の概要を述べた。これらの対策の推進に関しては，発生源対策である自動車単体規制の強化，低公害車の開発・普及及び道路機能を分化させる体系的な道路網の整備を基本としつつ，騒音が著しい箇所ではその状況を踏まえて道路構造対策，沿道対策を実施していくことが重要であると考えられる。このとき，これら対策による沿道生活環境の改善の程度をいろいろな視点から評価することも対策推進上忘れてはならない。

参考文献

1）環境庁：道路周辺の交通騒音状況（ぎょうせい，1998）
2）環境庁編：環境白書平成10年版各論（大蔵省印刷局，東京，1998），p. 64



図－3　道路交通騒音対策の体系図[2)]

(3) これからの低層遮音壁*

鉢嶺清範*1・上坂克巳*1

1. 低層遮音壁とは？

低層遮音壁とはなんであろうか。その答えは，次の写真にある（図－1)。これは，国道4号南千住に試験施工された低層遮音壁の一例であるが，これを見てどう思うだろうか？

普通，遮音壁というと，高さが3mとか，5mとか，背の高い遮音壁を想像する。だが，このような道路交通騒音対策用として使われている遮音壁は，高速道路など自動車専用道路に設置する場合には問題ないが，都市内の沿道利用が行われている道路に設置する場合には問題がでてくる。なぜなら，遮音壁を設置することによって，道路と沿道とのアクセスが制限されたり，歩道上の歩行者に圧迫感を与えたり，沿道地域に対して日照障害や電波障害を引き起こしたり，さらには，良好な景観を保つことにも影響を与えてしまうからである。そこで，逆転の発想をして，これまでの高い遮音壁では設置できないのであれば，低い遮音壁なら設置できるのではないか，と考えた。

遮音壁は，主に音を遮蔽することによって減音効果を得ていることはよく知られている。そうであれば，高さ1m程度の低い遮音壁でも，ある程度の減音効果が期待できるはずである。これまでも沿道利用がある道路では，歩車道境界に植樹を行ったり，横断防止柵を設置してきた。このような場合，植栽枡やガードパイプを少し工夫して設置すると，その背後ではある程度の減音効果を得ることができるのではないだろうか。このように考え，研究を始めたのが高さ1m程度の背の低い遮音壁で，低層遮音壁と呼んでる。

国道4号の低層遮音壁は，道路延長方向では，どのようになっているのであろうか。図－2が，設置されている低層遮音壁の平面図である。これを見ると，低層遮音壁は，道路延長方向にずっと連続して設置されているのではなく，道路と沿道とのアクセスの阻害を最小限に防ぐため，遮音壁の所々に開口部を設けている。開口部があると，当然，そこから音が漏れてきてしまう。これで，遮音壁の役目を果たせるのであろうか。普通の遮音壁では，開口部ができないように連続して設置されるため，どのくらいの減音効果があるのかを，容易に予測することができるが，低層遮音壁のように，所々に開口部があるような場合，その低減効果をどのように予測・評価したらいいのであろうか。

一方，別の低層遮音壁の写真がある。四日市市国道23号に設置されている例である（図－3)。

この例だと，図－1の例と比較して，低層遮音壁の形状やデザインが異なっている。このようにデザインや構造物の形状，用いられる材料が違っても，低層遮音壁としての減音効果は変わらないのであろうか。また，低層遮音壁の設置を考えた場合，どのように設計し，どんな材料を用いて，どのような形状・デザインにしたらいいのであろうか。

現在において，低層遮音壁が広く普及していない理由として，ここまでに挙げてきた，高さが低いと効果がないのではないか，低層遮音壁の所々に開口部があると予測・評価ができないのではないか，どのように低層遮音壁を設計したらよいのか，という疑問点があるからではないだろうか。以降では，これらの疑問点について考えてみる。

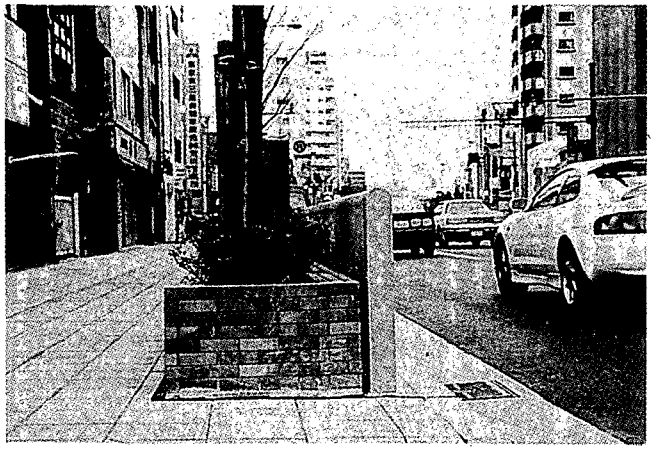
2. 連続した低層遮音壁の効果

低層遮音壁とは，1. で述べてきたように都市内の一般道路沿道に設置する高さが1m程度の高さの低い遮音壁のことである。その種類は，パネルタイプ，奥行きの有する植栽枡タイプに大別できる。ここでは，パネルタイプの低層遮音壁が道路延長方向に連続して設置された場合の減音効果の測定例を紹介する。

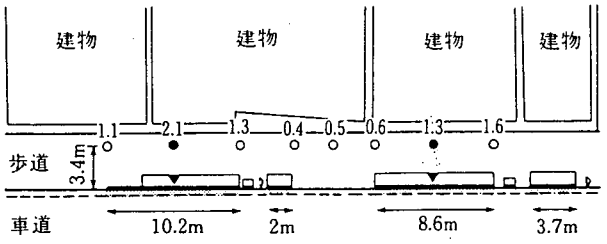
---

* Low-Height Noise Barrier in the Future

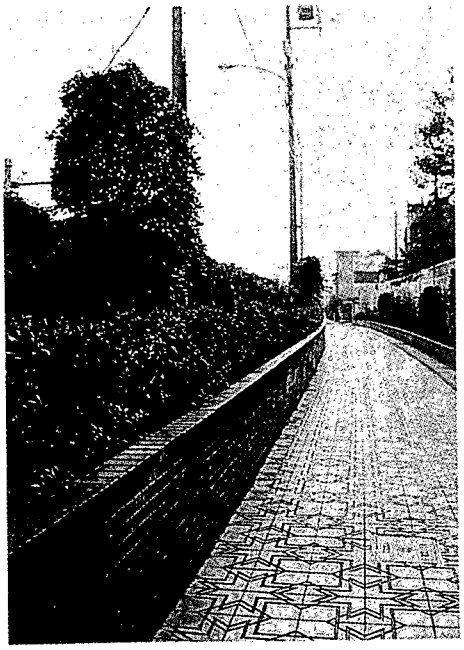
*1 Kiyonori Hachimine and Katsumi Uesaka : Public Works Research Institute, Ministry of Construction（建設省土木研究所）



図－1　低層遮音壁（国道4号南千住）



図－2　低層遮音壁（国道4号南千住）平面図



図－3　低層遮音壁（国道23号四日市）

まず，高さ0.9m，厚さ20mm，設置延長18mの低層遮音壁を，自動車の走行ライン（車両幅中心線）から2.5mの位置に設置し，設置延長中央の遮音壁面から2m，高さ1.2mの位置において実測された例[1]がある。低層遮音壁の騒音低減量は，ピーク時において，乗用車の場合で7dB（A），大型車の場合で6dB（A）となっている。

また，土木研究所の試験走路において，低層遮音壁（奥行10cm，高さ100cm，延長120m相当）を設置し減音効果の測定（図－4）を行った例がある。この測定では，点音源を離散的に配置して測定した各騒音レベルから，各受音点毎にユニットパターンを求め，それを用いて電算シミュレーションを行うことにより，各受音点の減音効果を計算した。受音点位置は，図－5に示す6点とし，音源位置は，上下あわせて6車線の道路を想定して遮音壁車道側表面よりそれぞれ5.6m，17.4mの位置，高さは0.3mとした。図－2中の受音点横に減音効果を示している。受音点高さ1.4mの場合，L_{50}相当にして5～8dB程度の減音効果があることがわかる。

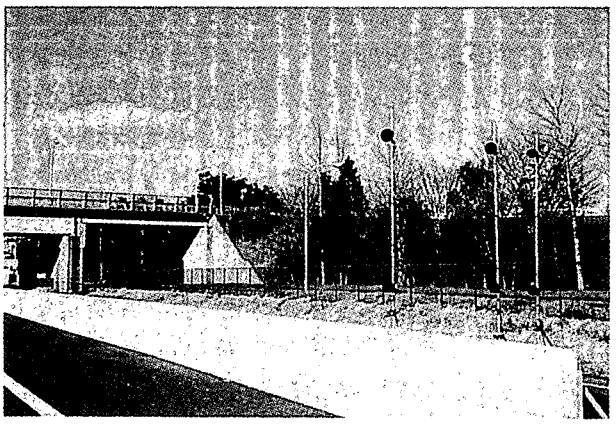
どちらの例からも，たとえ高さが低い遮音壁であっても，その背後においては，ある程度の減音効果を得ることができることがわかる。

3. 開口部を有する低層遮音壁の効果

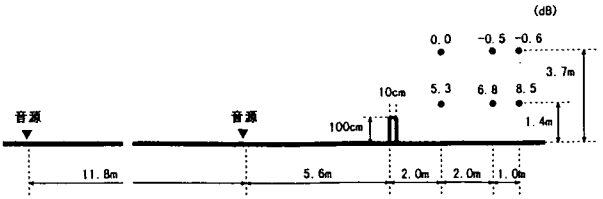
3.1　簡易計算法

低層遮音壁の減音効果の予測・評価が困難な主な理由として，低層遮音壁が所々に開口部を有し，評価地点と開口部の位置関係により減音効果が複雑に変化することが挙げられる。

筆者らは，評価地点により騒音レベルが複雑に変化する場合，評価区間全体の平均的な騒音レベル及び減音効果を表す指標として，区間平均等価騒音レ



図－4　低層遮音壁（土木研究所試験走路）



図－5　低層遮音壁の減音効果

ベル（$SA\cdot L_{Aeq}$）及び区間平均挿入損失（$SA\cdot IL$）を提案している。また，評価区間の中で，ある特定地点の騒音レベルを評価する必要がある場合は，地点別挿入損失（IL）を用いて評価することができる。

以下に，低層遮音壁設置前後のL_{Aeq}の差として表される地点別挿入損失（IL）と，同$SA\cdot L_{Aeq}$の差として表される区間平均挿入損失（$SA\cdot IL$）を求めるための簡易計算式を示す[2),3)]。

$$IL=-10\log_{10}\left\{1-\frac{\theta}{\pi}(1-10^{-IL_0/10})(1-10^{-TL/10})\right\} \quad (1)$$

$$SA\cdot IL=-10\log_{10}[10^{-(SA\cdot IL_0)/10}+\{1-10^{-(SA\cdot IL_0)/10}\}\alpha] \quad (2)$$

$$SA\cdot IL_0=-10\log_{10}\left[1-(1-10^{-IL_0/10})(1-10^{-TL/10})\times\frac{1}{\pi}\left\{2\tan^{-1}\left(\frac{l}{d}\right)-\frac{d}{l}\ln\left(1+\frac{l^2}{d^2}\right)\right\}\right]$$

ここで，

IL（地点別挿入損失）：沿道の特定地点における遮音壁設置前後のL_{Aeq}の差

$SA\cdot IL$（区間平均挿入損失）：評価区間における遮音壁設置前後の$SA\cdot L_{Aeq}$の差

l：評価区間長

d：評価点側の側面と評価点（線）の距離

θ：評価点（受音点）から植栽枡タイプの評価点側壁面の見込み角の和

α（開口率）：評価区間長に対する低層遮音壁の未設置区間の延長の割合

TL：パネル材料の透過損失

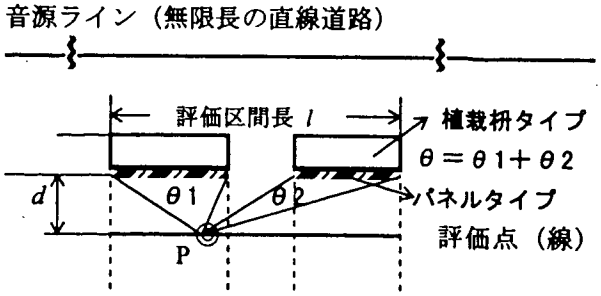
IL_0：無限長の連続した低層遮音壁を仮定した場合の挿入損失

$SA\cdot IL_0$：評価区間において，有限長の連続した低層遮音壁を仮定した場合の区間平均挿入損失

なお，低層遮音壁の評価区間長l等，減音効果計算に用いる変数の定義を図－6に示す。

3.2 予測計算のケーススタディ

図－7（a），（b）に示すように評価区間（100 m）に，低層遮音壁（パネルタイプ）の開口率αを20%とし，遮音壁の数，設置位置が異なる2種類のケースを設定して，(1)，(2)式の妥当性の検証を行った。評価区間を40等分し，各区間の中央の官民境界上で，車道面からの高さ1.4 mの位置に40の評価地点を設定している。交通条件を近車線側時間交通量



図－6 低層遮音壁の減音効果計算のための模式図[3)]

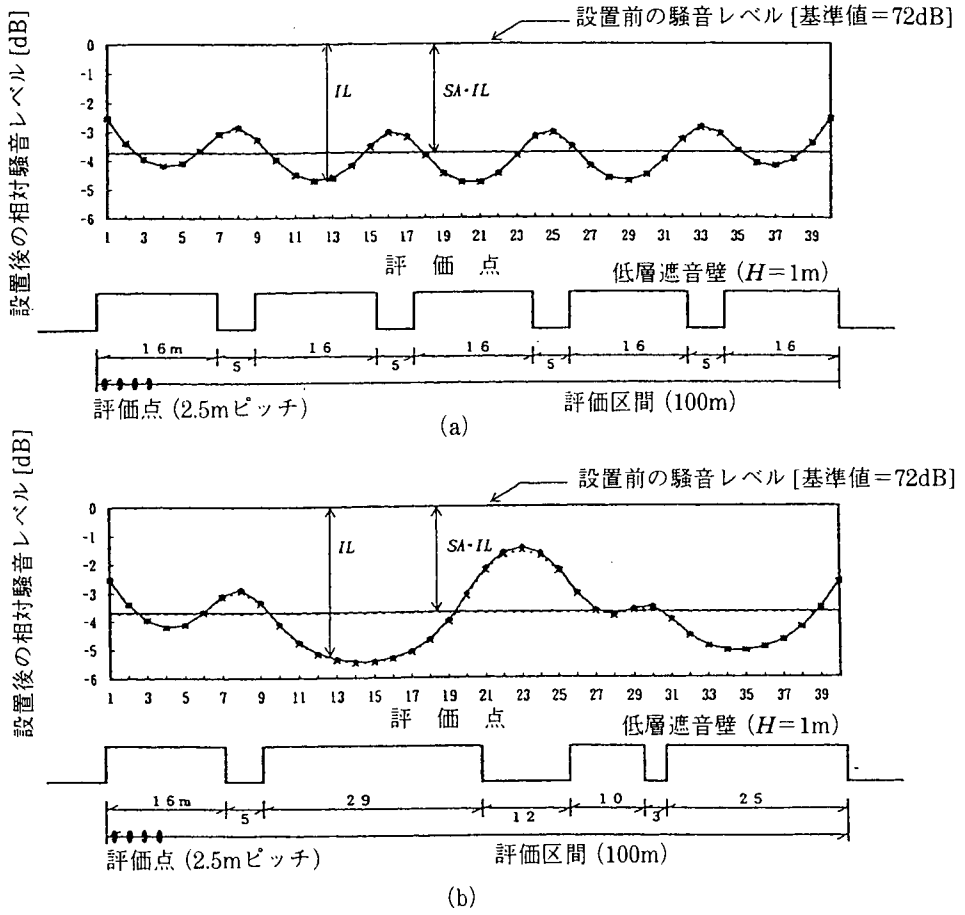
1,000台，走行速度60 km/h，大型車混入率15%として，各評価地点におけるL_{Aeq}を，日本音響学会提案のエネルギーベース騒音予測法により算出した。(a)，(b)の2種類のケースについて，上方，側方の回折音の寄与を合成する方法と，見込み角θと開口率αを用いた簡易計算式((1)，(2)式)により計算し，地点別挿入損失（IL）と区間平均挿入損失（$SA\cdot IL$）を比較した。図－2により二つの計算方法の差異を比較すると，(a)，(b)どちらのケースにおいても，ILと$SA\cdot IL$の2つの計算値は，図上で区別ができないほどよく一致している。これより，ILと$SA\cdot IL$の算出は，簡易計算式を用いても実用上問題ないことがわかる。さらに，(a)，(b)それぞれのILと$SA\cdot IL$を比較すると，両者のILの分布状況に大きな差が認められるが，$SA\cdot IL$に関しては，両者の差はほとんど見られない。これは，低層遮音壁の開口部の位置にかかわらず，開口率αによって$SA\cdot IL$を近似的に求められることを示している。

次に，(2)式を用いて，開口率αを0%，10%，20%とした場合に，遮音壁パネル材料の透過損失TLと$SA\cdot IL$の関係を求め，図－8に示した。これより，$SA\cdot IL$の減少を0.5 dB程度に抑えることのできるTLは，αが0%で14 dB，20%で11 dBであり，この程度の透過損失があれば，遮音壁の材料として利用できることがわかる。

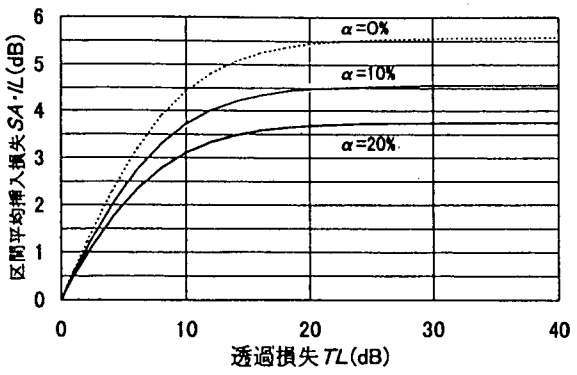
なお，パネルタイプを植栽枡タイプに変えることや，中央分離帯にもパネルタイプを併設することにより減音効果を高められることも明らかとなっている[3),4)]。

4. 低層遮音壁のデザイン

低層遮音壁を設計する場合には，その構造は，道路構造，歩道幅員及び沿道状況等に応じて変わってくる。歩道幅員が狭いなど低層遮音壁の設置幅員が確保しにくい場所では，厚さの薄いパネルタイプを，幅員に余裕のある場所では奥行きのある植栽枡



図－7　*IL* と *SA*・*IL* の計算結果の比較[2)]
(a) 五つの低層遮音壁を均等に設置した場合，(b) 四つの低層遮音壁を不規則に設置した場合



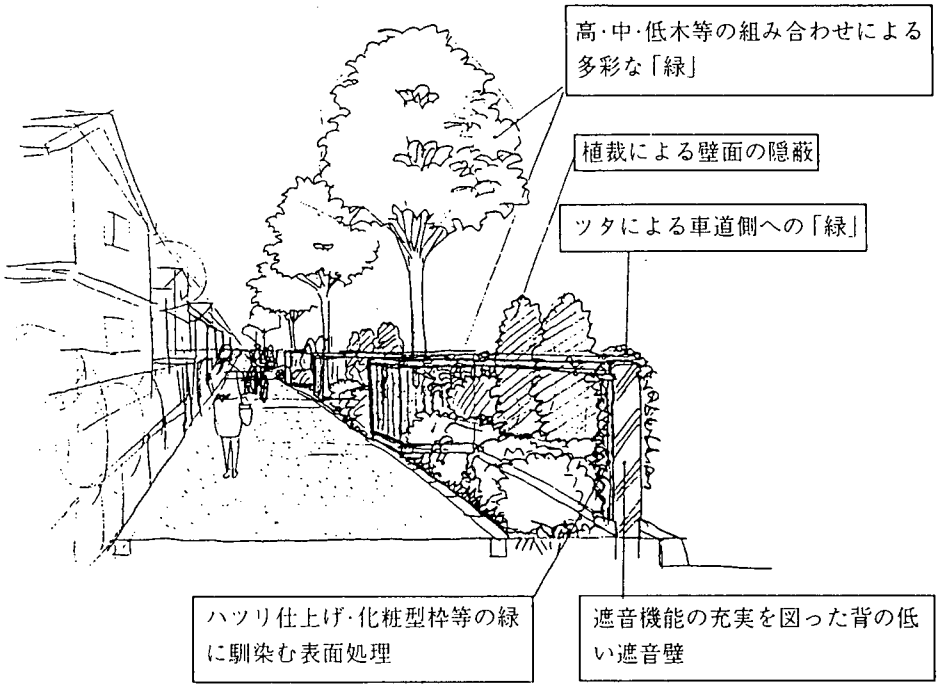
図－8　低層遮音壁に許容される透過損失[3)]

タイプを採用するなど，現場の状況に応じて低層遮音壁の構造を使い分けることが必要である。また，できるかぎり個々の低層遮音壁の設置延長を長くし，途中で開口部を設ける場合でも，隣同士の間隔を小さくするなど連続性を高める工夫をする。さらに，低層遮音壁は通常の遮音壁のように，材料に高い透過損失を求めないので，幅広い材料，またデザインの選択が可能で，設置する区間の景観性を高める工夫を十分に盛り込むことができる。低層遮音壁の材料として，木材を使ったり，植え込む樹種やその配置に工夫をこらすことで，遮音壁という無機質なイメージをなくし，親しみやすい沿道環境を整備することができるであろう。参考例として，図－9に低層遮音壁のイメージ図を，図－10に低層遮音壁の設計例を示す。

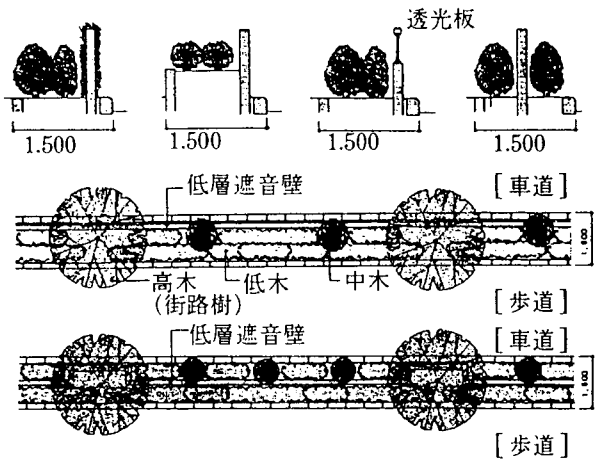
5. 最　後　に

これまで見てきたように，低層遮音壁の設計にあたっては，その高さ（減音効果）に重点を置いて設計するよりも，評価（対策）区間の延長，開口率，遮音壁の形状・材質・デザイン等の設定に重点を置いて設計することによって，沿道環境の向上を図ることができることがわかる。

今後は，美観にすぐれ，沿道景観と調和した，親しみやすい低層遮音壁の普及が望まれる。残された課題として，減音効果の予測・評価方法のさらなる充実と，良好な沿道環境を作り出すことのできる質の高い景観設計技術の充実を図っていく必要がある。



図－9　低層遮音壁のイメージ図



図－10　低層遮音壁の設計例

参　考　文　献

1）筑井啓介，押野康夫：背の低い遮音塀による自動車騒音低減効果の検討，自動車研究，17巻9号，pp. 19～22（1995）

2）上坂克巳，大西博文，鉢嶺清範，千葉　隆，高木興一：低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究，土木学会環境工学研究論文集，34巻，pp. 307～317（1997）

3）上坂克巳，大西博文，鉢嶺清範，石川賢一，高木興一：種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究，騒音制御，23巻2号，pp. 99～109（1999）

4）鉢嶺清範，上坂克巳，大西博文，石川賢一，高木興一：低層遮音壁による減音効果について～中央分離帯と歩車道境界に併設した場合～，日本音響学会平成11年度春季講演論文集，pp. 703～704（1999）

(4) 幹線道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法*

上坂　克巳*1・大西　博文*1・三宅　龍雄*2・高木　興一*3

(1998年12月16日受付，1999年1月14日受理)

【要　旨】

騒音に係る環境基準改定により評価指標がL_{50}からL_{Aeq}に改められ，道路に面する地域の基準値は幹線道路近接空間とその背後地に分類されたため，沿道建物後方での道路交通騒音（L_{Aeq}）計算の必要性が高まっている。本論文では，直方体形状の単独建物が幹線道路に面する場合に，前川チャートを用い，その後方空間の全ての受音点位置において，相反の定理及び計算値の連続性を保ちつつ，騒音レベルを簡便に計算する方法を提案した。これらの方法は，建物の上方及び側方を伝搬する音の寄与を音の回折及び反射を考慮して計算し，それらを合成するものであり，その妥当性を波動音響理論による計算値と模型実験値との比較により明らかにした。

【ABSTRACT】

The revised environmental quality standards for noise have adopted L_{Aeq} as an evaluation index in place of L_{50} which has been used for a long time. The new standards divide the 'areas facing roads' into the ones adjacent to arterial roads and the others, and give different target values to each of them. Therefore calculating L_{Aeq} of road traffic noise at the positions behind a building becomes increasingly important. This paper presents simple methods for calculating sound pressure level at all the receivers behind a building of rectangular cross-section directly facing the arterial road. The methods which apply the Maekawa's chart to calculation of sound attenuation by a virtual thin barrier take account of both sound diffraction and reflection, meet the reciprocity and secure the continuity of calculated values in all the combinations of positions of sound sources and receivers. The sound pressure levels at the receivers are calculated by summing the contributions from the paths propagating over the top and the sides of the building. The validity of the methods presented here is verified by comparing the values by the methods with those calculated on a basis of wave acoustics and with those measured through model experiments.

キーワード：沿道建物，音の回折と反射，模型実験，騒音に係る環境基準，道路交通騒音

: Roadside Building, Sound Diffraction and Reflection, Model Experiment, Environmental Quality Standards for Noise, Road Traffic Noise

1. はじめに

平成10年9月30日に，等価騒音レベル（以下，「L_{Aeq}」という）を評価指標とする新たな「騒音に係る環境基準」[1]が環境庁より告示された。同基準では，道路に面する地域を，幹線道路に近接する空間（以下，「近接空間」という）とその背後地（以下，「後方空間」という）とに区分し，異なる基準値を与えている。

したがって，今後の環境アセスメント等における

---

* Calculation Methods for Sound Pressure Level behind a Building Facing an Arterial Road

*1 Katsumi Uesaka and Hirofumi Ohnishi : Public Works Research Institute, Ministry of Construction (建設省土木研究所)

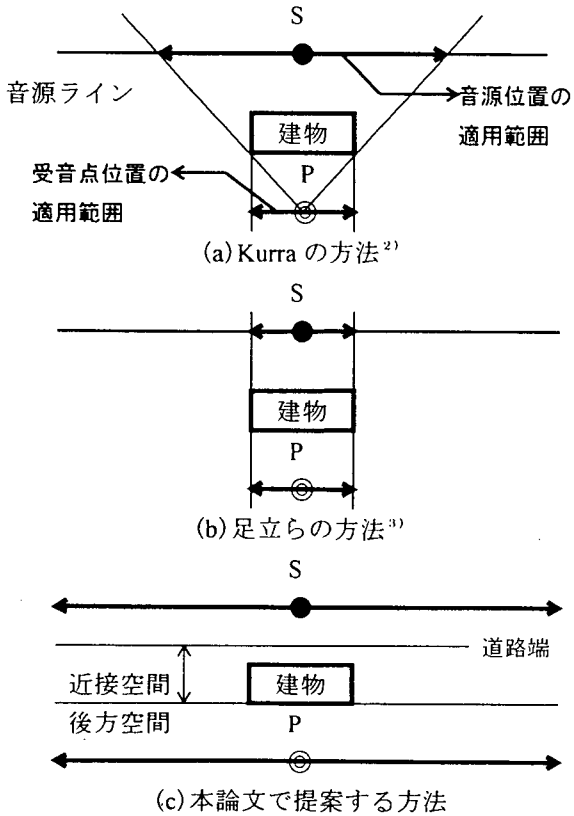
*2 Tatsuo Miyake : Sogo Engineering Inc. ((株)綜合技術コンサルタント)

*3 Koichi Takagi : Department of Environmental Engineering, Kyoto University (京都大学)

道路交通騒音の予測では，評価量が騒音レベルの中央値L_{50}からL_{Aeq}に変更となることはもとより，予測地点についても従来のように官民境界上（多くの場合，道路端）とするだけではなく，近接空間（本論文では，幹線道路から1列目の建物が立地している空間とみなす。図－1（c）参照）の後方も重要な予測地点となりうる。

建物後方の騒音レベルを精度よく求めるためには，点音源に対する単独建物による減音効果を求めることが基本となるが，これに関する研究としては，Kurra[2]，足立ら[3]の文献がある。これらの文献では，直方体の形状を有する建物背後の騒音レベルを，建物の上方及び側方を伝搬する音の寄与を合成して求める方法を提案している。Kurra[2]は，薄い半無限障壁による減音量の計算にKurzeの方法[4]を，厚みのある障壁における厚み部分の効果の計算に藤原らの方法[5]及び前川の方法[6]を用いている。一方，足立ら[3]は，半無限障壁による減音量の計算には前川の実験チャートを，厚みのある障壁による減音量の計算にはKurzeの方法[7]を利用している。

しかし，上記の2つの方法は，建物による遮蔽（回折）効果の計算を主な目的にしているため，図－1で示すように，受音点Pが建物背後にある（建物の側壁面を延長した2つの平面に挟まれる）場合しか想定していない。また，音源Sの位置は，Kurraの方法でもPから見た建物の陰となる領域に限定されており，両方法では，建物背後の受音点でさえ，対象道路（図－1で音源ラインにあたる）から発生する道路交通騒音をL_{Aeq}として評価する場合に必要なユニットパターンの計算[8]が完全にはできない。なお，これらの音源位置，受音点位置の制約は，両方法が厚みのある障壁による減音効果の計算に用いている藤原ら[5]・前川の方法[6]あるいはKurzeの方法[7]が，PからSを見通せる場合などを計算対象としていないことによる。



図－1　従来の方法と本論文で提案する方法の音源，受音点位置の適用範囲の差異

そこで，本論文では，直方体形状の単独建物が道路に面して立地している場合を対象に，道路上のあらゆる位置の音源（走行車両）に対して，後方空間に位置するあらゆる受音点での騒音レベルを，相反の定理及び計算値の連続性を保ちつつ，簡便に求める方法の構築を行う。ただし，基本的には，建物の道路側の壁面が，十分長い直線道路に平行な場合を対象とする。

また，騒音レベルの計算にあたっては，建物の表面を完全反射とみなし，文献2)，3)同様，建物の上方及び側方を伝搬する音の寄与を合成することとするが，その際，建物による遮蔽（回折）効果だけでなく，建物壁面における反射音の影響も併せて考慮する。なお，騒音レベルの計算に基本となる半無限障壁による減音量の計算には前川の実験チャート[9]を，反射性厚み障壁（全ての面が完全反射の厚みのある障壁）による減音量の計算には，筆者らが提案している方法[10]を拡張して用いることとする。

以下，まず，2.では，筆者らが提案する反射性厚み障壁による減音量の計算方法を拡張し，建物と同程度の厚みを有する場合を対象に，その計算値と波動音響理論（以下，「波動理論」という）計算値との比較を行う。次に，3.では，反射性厚み障壁を完全反射の地面上に設置した場合に，地面反射の影響を考慮した計算方法を，模型実験により検証する。さらに，4.では単独建物の後方空間での騒音レベルの計算方法を提案し，模型実験により検証する。最後に，5.では，L_{Aeq}の計算における地面反射音の取り扱い等について考察する。

2. 反射性厚み障壁による減音量の計算方法

単独建物後方の騒音レベルを精度よく計算するには，音源から建物の上方及び左右の側方を伝搬して受音点に至る各々の音の寄与を，正確に求めること

が基本となる。

ここでは，それらの音の寄与を筆者らが提案する反射性厚み障壁による減音量の計算式[10]を用いて求めることとした。ただし，文献10）では，音源位置が反射性厚み障壁の上端より低い場合（(1)式の③，④の条件にあたる）における減音量の計算方法しか示されておらず，この方法を用いて建物側方の伝搬音を計算する場合，音源，受音点とも建物の側壁面に対面する位置にある時は計算ができない。したがって，まず，文献10）の方法を，音源が障壁の上端より高い位置にある場合にまで拡張し，音源が障壁の上端より低い位置にある場合と併せて，一般化して定式化する。なお，定式化にあたっては，相反の定理を満足させ，計算値の連続性を確保するように配慮した。

また，文献10）では，障壁の厚みが建物ほど広い場合については計算方法の検証が行われていないため，厚みが建物の間口，奥行きと同程度の場合を対象に，拡張した計算式の妥当性を波動理論計算値との比較により明らかにする。

2.1 計算方法

反射性厚み障壁（Reflective Wide Barrier）による減音量 $\Delta L\,(RW)_{SXYP}$ の計算式を，以下のとおり定式化する（図－2参照）。

① 音源S，受音点PともZone Ⅰにある場合

$\Delta L_{SXP} \leqq \Delta L_{SYP}$ の時

すなわち $\delta_{SXY}<0 \wedge \delta_{XYP}<0 \wedge \delta_{SXP} \leqq \delta_{SYP}$ の時

$$\Delta L\,(RW)_{SXYP} = -10\log_{10}\{10^{-\Delta L_{SYP}/10} + (r/r')^2\,(10^{-\Delta L_{S'YP}/10} - 10^{-\Delta L_{S'XP}/10})\}$$

$\Delta L_{SXP} > \Delta L_{SYP}$ の時

すなわち $\delta_{SXY}<0 \wedge \delta_{XYP}<0 \wedge \delta_{SXP} > \delta_{SYP}$ の時

$$\Delta L\,(RW)_{SXYP} = -10\log_{10}\{10^{-\Delta L_{SXP}/10} + (r/r')^2\,(10^{-\Delta L_{SXP'}/10} - 10^{-\Delta L_{SYP'}/10})\}$$

② SがZone Ⅰ，PがZone Ⅱにある場合

すなわち $\delta_{SXY}<0 \wedge \delta_{XYP} \geqq 0$ の時

$$\Delta L\,(RW)_{SXYP} = -10\log_{10}\{10^{-\Delta L_{SYP}/10} + (r/r')^2\,(10^{-\Delta L_{S'YP}/10} - 10^{-\Delta L\,(RW)_{S'XYP}/10})\}$$

③ SがZone Ⅱ，PがZone Ⅰにある場合

すなわち $\delta_{SXY} \geqq 0 \wedge \delta_{XYP}<0$ の時

$$\Delta L\,(RW)_{SXYP} = -10\log_{10}\{10^{-\Delta L_{SXP}/10} + (r/r')^2\,(10^{-\Delta L_{SXP'}/10} - 10^{-\Delta L\,(RW)_{SXYP'}/10})\}$$

④ S，PともZone Ⅱにある場合

$\Delta L_{SXP} \leqq \Delta L_{SYP}$ の時

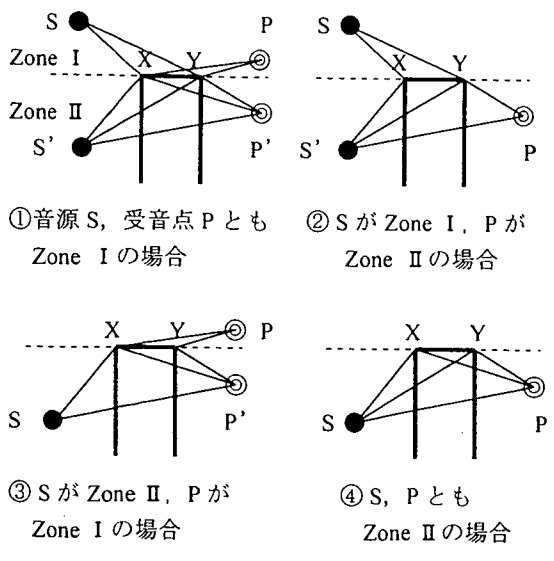
すなわち $\delta_{SXY} \geqq 0 \wedge \delta_{XYP} \geqq 0 \wedge \delta_{SXP} \leqq \delta_{SYP}$ の時

$$\Delta L\,(RW)_{SXYP} = \Delta L_{SYP} + \Delta L_{SXY} - 5$$

$\Delta L_{SXP} > \Delta L_{SYP}$ の時

すなわち $\delta_{SXY} \geqq 0 \wedge \delta_{XYP} \geqq 0 \wedge \delta_{SXP} > \delta_{SYP}$ の時

$$\Delta L\,(RW)_{SXYP} = \Delta L_{SXP} + \Delta L_{XYP} - 5 \qquad (1)$$



図－2 反射性厚み障壁による減音量計算のための模式図

ここで，一般に $\Delta L_{ABC}, \delta_{ABC}$ と書く値は，各々，音源がA，受音点がCの場合に，上端をBとする半無限障壁による減音量（前川の実験チャート[9]により求める）及び回折行路差（AからCを見通せる場合は負の値とする）を表し，$\Psi \wedge \Omega$（Ψ，Ωは条件式を表す）と書く表現はΨ，Ω両方の条件を満たすことを示す。また，rは音源Sと受音点Pの間の直線距離，r'はS，P'間またはS'，P間の直線距離を表す。また，S'，P'は，各々，直線XYに対して，S，Pと対称の位置にある点である。また，減音量 $\Delta L\,(RW)_{SXYP}$ が負の値を示す時は，反射音の影響が回折による減音効果を上回り，障壁がない場合に比べ音圧レベルが増加していることを示す。

(1)式の条件③，④の場合の式の導出過程は，文献10）で示されており，条件②の場合の式は相反の定理に基づき，条件③の場合の考え方を拡張したものである。したがって，ここでは，条件①の場合の式の導出過程について示すこととする。

条件①での計算にあたっては，負の行路差を有する回折効果による回折音の寄与 C_1（エネルギー量）と障壁上面での反射音の寄与 C_2 を考慮している。ここで，C_1は，音源側または受音点側の半無限障壁を回折する音の寄与で近似することとし，回折減音量 ΔL_{SXP} と ΔL_{SYP} のうち，大きい方を採用し

た。これは，条件①と条件②③との境界での計算値の連続性にも配慮している。一方，C_2の計算にあたっては，スリット法[11]を用いることとし，その適用条件も文献11）に示されたものを用いた。

今，$\Delta L_{SXP} > \Delta L_{SYP}$ の時を考える。障壁が存在しない場合のPでの音の寄与をC，P′での音の寄与をC'とすると，

$$\Delta L\,(RW)_{SXYP} = -10\log_{10}\{(C_1+C_2)/C\}$$
$$= -10\log_{10}\{C_1/C + (C'/C) \times (C_2/C')\}$$

となる。ここで，

$$C_1/C = 10^{-\Delta L_{SXP'}/10},\ C'/C = (r/r')^2$$

であり，スリット法によると，

$$C_2/C' = 10^{-\Delta L_{SXP'}/10} - 10^{-\Delta L_{SYP'}/10}$$

であるから，(1)式が得られる。

また，$\Delta L_{SXP} = \Delta L_{SYP}$の時は，明らかに$\Delta L_{S'YP} = \Delta L_{SXP'}$，$\Delta L_{S'XP} = \Delta L_{SYP'}$であるため，条件①における適用条件の境界での計算値の連続性は確保されている。

次に，SがZone IとZone IIの境界にあり，PがZone Iにある時は，条件①の$\Delta L_{SXP} > \Delta L_{SYP}$の場合と条件③の境界にあたるが，この境界での計算値の連続性も確保されている。なぜなら，条件③において，式中の$\Delta L\,(RW)_{SXYP'}$の値は，条件④の時の式に基づくと，$\Delta L_{SXP'} \leqq \Delta L_{SYP'}$かつ$\Delta L_{SXY} = 5$の時，$\Delta L\,(RW)_{SXYP'} = \Delta L_{SYP'}$であり，条件①の時の式と同形となるからである。

$\Delta L_{SXP} \leqq \Delta L_{SYP}$の時も全く同様であり，条件①と条件②の境界での計算値の連続性も確保されている。さらに，文献10）では，条件③と条件④の境界での計算値の連続性が示されており，同様に，条件②と条件④の境界の連続性も明らかである。したがって，(1)式は，全ての音源，受音点位置の組み合わせにおいて計算値の連続性が確保されていることが確認された。

2.2 波動理論計算値との比較

反射性厚み障壁の厚みwが建物の間口や奥行きと同程度の場合における(1)式の計算結果の妥当性を検討するため，波動理論計算値との比較を行った。

波動理論を用いた反射性厚み障壁による減音量計算の妥当性については，川井が二重回折波に関するPierceの方法[12]とウェッジにおける一重回折波に関するPierceの第2近似式[12]を組み合わせた計算結果と模型実験値との比較により検討している[13]。その結果では，これらの方法は，音源，受音点が各エッジより半波長以上離れており，各エッジ間の距離が半波長以上の場合に適用可能であることが示されている。

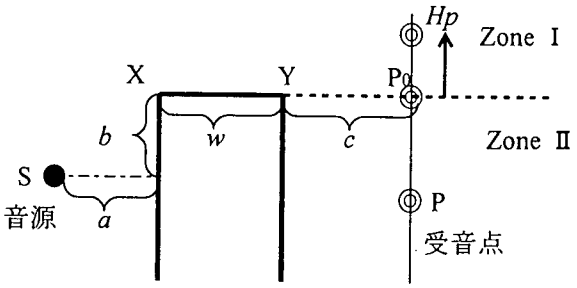
ここでは，二重回折波の計算にPierceの方法を，ウェッジにおける一重回折波の計算には，Pierceの第2近似式より計算対象となるウェッジ開き角の適用範囲が広いとされる[14] Kouyoumjian & Pathakの漸近解[15]を用いた。

まず，二重回折に関するPierceの方法に，Kouyoumjian & Pathakの漸近解を組み合わせた場合の波動理論計算値と，(1)式による計算値及び模型実験値との比較を，文献10）における模型実験結果を用いて行った。

なお，波動理論による計算は，1/27オクターブバンドの中心周波数で行った。一方，(1)式における半無限障壁による減音量の計算は，1/3オクターブバンドの中心周波数で行った（以下，同様）。また，両者とも自動車走行騒音の代表パワースペクトル[16]で重み付けしたA特性オーバーオール値として，減音量を算出した。

図−3に，文献10）における模型実験の配置から，今回の分析に用いたものを抜粋して示した。wは1.5 m, 3 m, 5 m（実物換算。以下，模型実験に関する数値は，「原寸」と表示しない限り実物換算で示す）の3通りで，対象周波数は315〜1,600 Hz（1/3オクターブバンド中心周波数）であった。

図−4 (a)〜(c)に，(1)式による計算値，波動理論

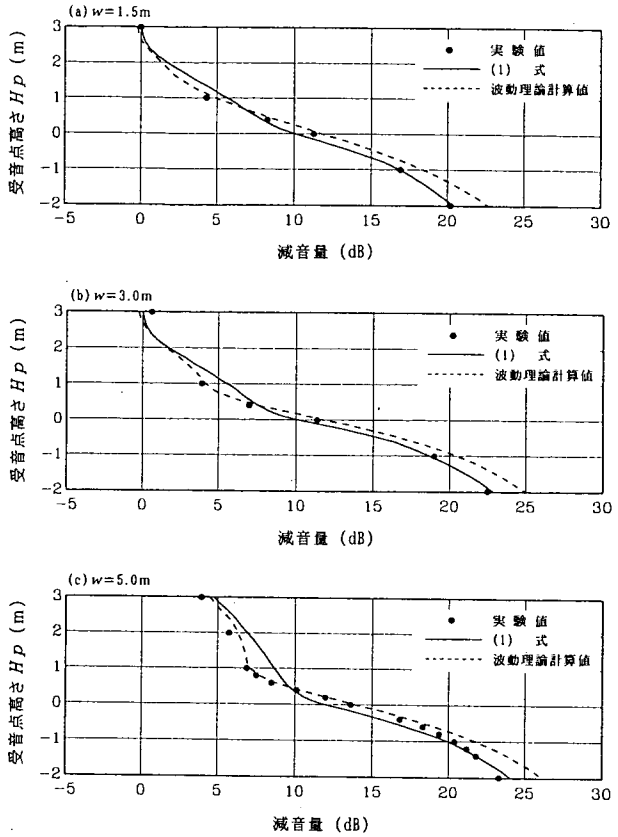


(a)反射性厚み障壁

w	a	b	c	Hp
1.5	4	1	3.5	3, 1, 0.4, 0, -1, -2
3	4	1	2	3, 1, 0.4, 0, -1, -2
5	2.5	1	2.5	3, 2, 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0, -0.4, -0.6, -0.8, -1, -1.2, -1.4, -2

（単位 m，実物換算）

図−3 模型実験の配置



図－4　計算値と模型実験値の比較

計算値及び模型実験値を示す。まず，ZoneⅡでは，w にかかわらず，(1)式による計算値と模型実験値はよく一致しているが，波動理論計算値は模型実験値より1～2 dB程度大きい値を示している。一方，ZoneⅠでは，波動理論計算値は模型実験値とよく一致しているが，(1)式による計算値は，Hp＝1 m 付近で，1～2 dB程度，実験値より大きい値を示している。

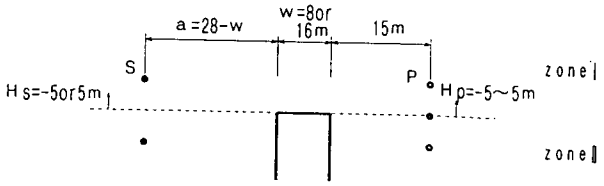
次に，w が建物の間口，奥行きと同程度の場合について，(1)式と波動理論による計算結果の比較を行った。ここでは，対象周波数は，上記の検討より広帯域で，道路交通騒音の主要な周波数帯域を含む50 Hz～5 kHz とした。

音源，受音点配置を図－5 に示す。反射性厚み障壁の厚み w は8 m または16 m とし，各々のケースにおいて，音源がZoneⅠにある場合とZoneⅡにある場合を想定した。

両計算結果の比較を，図－6 (a)～(d) に示す。

w が8 m, 16 m の場合とも，音源がZoneⅠにある時（図－6 (a)，(c)）は，(1)式による計算値と波動理論による計算値は，非常によく一致している。

一方，音源がZoneⅡの場合（図－6 (b)，(d)）は，



図－5　自由空間における反射性厚み障壁と音源・受音点の配置

特に，受音点もZoneⅡにある時に，両計算値の差異がやや大きくなり，(1)式による計算値が波動理論計算値より2 dB程度小さい値を示している。しかし，音源がZoneⅡの場合の両計算値の大小関係は，図－4 における結果と同様の傾向を示しており，w が大きくなるにつれ，両計算値の乖離が特に大きくなることはない。

したがって，(1)式は，建物の間口，奥行きと同程度の広い厚みを有する反射性厚み障壁に対しても，ほぼ適用できると考えられる。

3. 地面上の反射性厚み障壁による挿入損失の計算方法

2. において，建物の間口や奥行きと同様の厚みを有する反射性厚み障壁（w＝8 m 及び16 m）に，(1)式がほぼ適用できることが示された。

ここでは，w＝8 m の反射性厚み障壁が，完全反射の無限平面（以下，「地面」という）上に設置された時に，(1)式を基本に地面反射音の影響を考慮した場合の計算結果の妥当性を，模型実験により検証する。なお，音源，受音点とも，障壁の上端より低い（ZoneⅡに相当）場合を対象とした。

3.1 計算方法

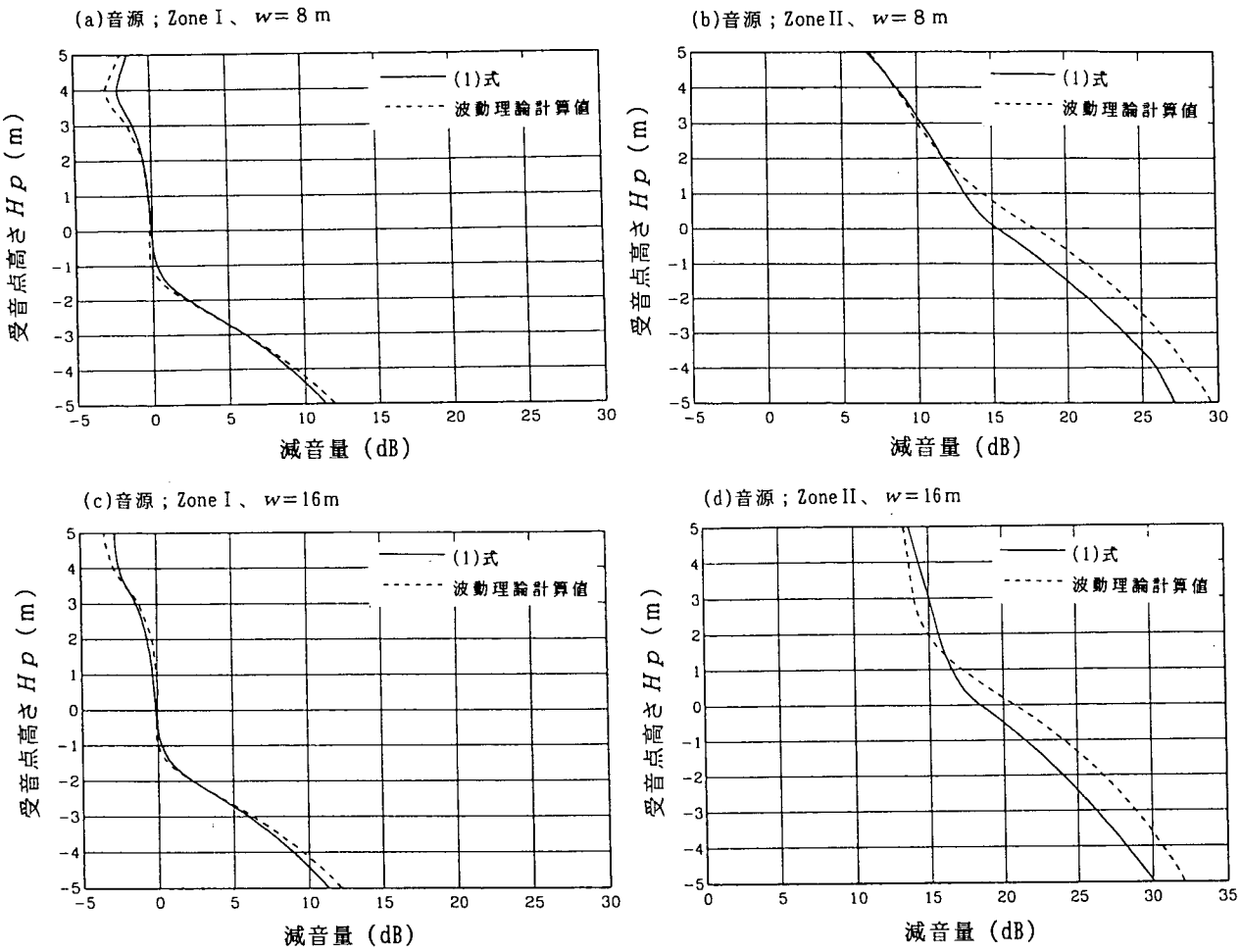
地面上に反射性厚み障壁が設置された場合の挿入損失 IL_{SXYP} の計算を，以下のように定式化した。ただし，音源は，地面上（高さ 0 m）にあるとしている（図－7 参照）。

$$IL_{SXYP}=-10\log_{10}(10^{-\Delta L(RW)_{SXYP}/10}+10^{-\Delta L(RW)_{SXYP'}/10}) \quad (2)$$

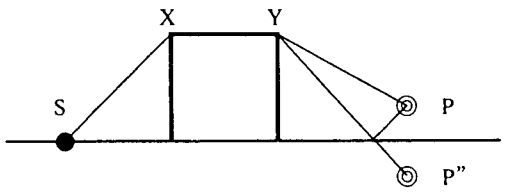
ここで，P′は受音点Pの地面に対する反射イメージであり，(2)式では，障壁回折後の地面反射音の寄与を前川の提案する方法[17]により与えている。なお，$\Delta L(RW)_{SXYP}$，$\Delta L(RW)_{SXYP'}$ の計算には(1)式を用いる。

また，音源（パワーレベル＝PWL）が地面上にある場合，音源から距離 r 離れた受音点Pでの音圧レベル SPL は，次式[18]で求めることができる。

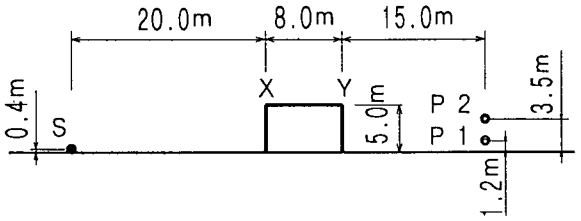
$$SPL=PWL-8-20\log_{10}r-IL_{SXYP} \quad (3)$$



図－6　(1)式と波動理論による計算値の比較



図－7　地面上の反射性厚み障壁による挿入損失計算のための模式図



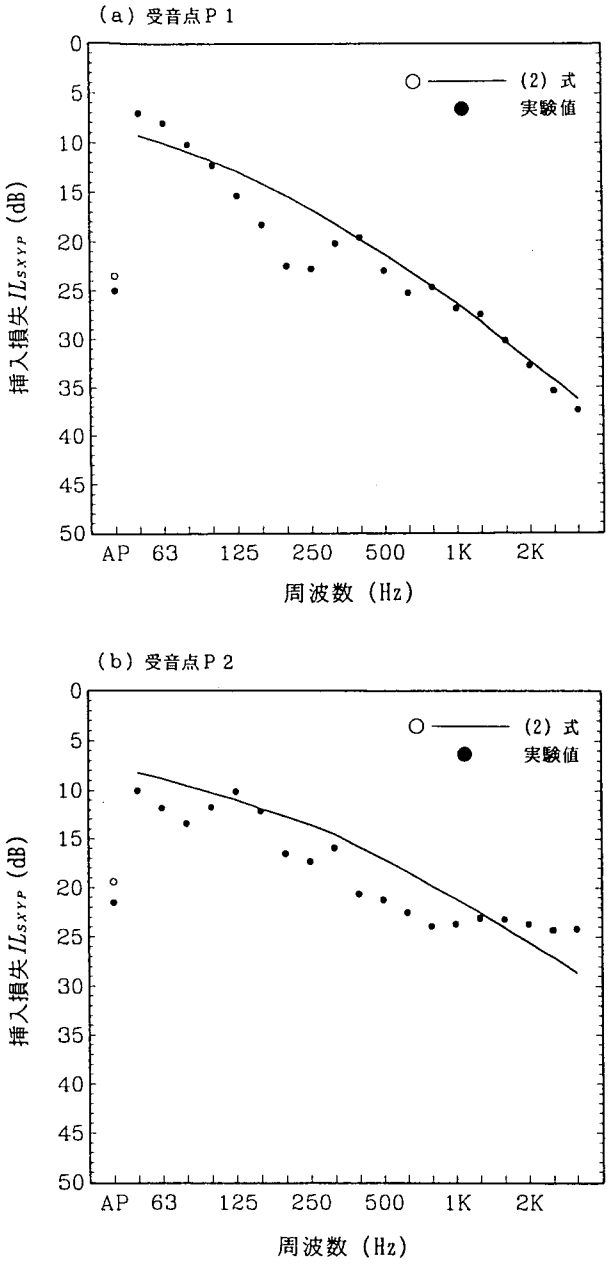
図－8　模型実験における地面上の反射性厚み障壁と音源・受音点の配置

(3)式は地面上にある音源からの半球面波伝搬による距離減衰を表しており，言い換えれば，地面に沿って伝搬する音に関しては，地面反射の影響はすでに考慮されている。しかし，図－7のように障壁の上方を伝搬する音の寄与を計算する場合には，さらに受音点側の地面反射音の影響を考慮する必要があると考えた。

3.2　模型実験による検証

(2)式を検証するため，無響室において，縮尺比1/20の模型実験を行った。

実験配置を図－8に示す。地面及び反射性厚み障壁は反射性とし，それぞれ，厚さ3mm及び5mm（原寸）のアクリル板で製作した。反射性厚み障壁は，高さ5m，厚み8m（高さ，厚みの設定の考え方は，4.2参照）とし，延長は，障壁側方からの回折音を無視できるように200mとした。音源には，点音源としてのジェットノイズ音源を横向き（高さ0.4m）にして用い，それを図－8において紙面と垂直方向に向け，図－8の断面において無指向性となるように配慮した。受音点はP1（高さ1.2m）及びP2（高さ3.5m）の2点とし，マイクロホンは1/4イ



図－9 (2)式による計算値と模型実験値との比較

ンチタイプ（4.2も同様）を使用した。また，対象周波数は，予備実験の結果，無響室における反射音の影響を排除できる50 Hz～3.15 kHzとした。

図－9 (a)，(b)に，(2)式による計算結果と模型実験値を周波数毎に比較して示した。なお，計算には(2)式を用いるため，計算上の音源高さは0 mとした。

受音点P1では，計算値と実験値は，よい整合を示しているが，200～250 Hz付近と630 Hz付近で，実験値に干渉ディップが生じている。これは，主に障壁の受音点側エッジを回折後，受音点に直接到達する音と地面で反射して到達する音の干渉（計算上では，225 Hz, 675 Hzで干渉ディップが生じる）の影響と考えられる。また，音源から直接障壁の音源側エッジに到達する音と地面で反射して到達する音の干渉ディップは，計算上は876 Hzで生じると考えられるが，その影響は実験値には顕著に現れていない。

また，受音点P2では，受音点P1と比べて，計算値と実験値の整合性がよくない。これは，受音点側の地面反射音の影響による干渉ディップ（計算上は78 Hz, 235 Hz, 392 Hz, 549 Hz, 706 Hz等で生じる）の影響が大きいと考えられる。

しかし，50 Hz～3.15 kHzにおいて，自動車走行騒音の代表パワースペクトル[16]で重み付けしたA特性オーバーオール値としての挿入損失は，P1，P2とも，計算値が実験値と比べ1～2 dB小さい値を示す程度であり，(2)式による方法は，道路交通騒音のような広帯域の周波数成分を含む騒音の予測には，実用上，十分利用できると考えられる。

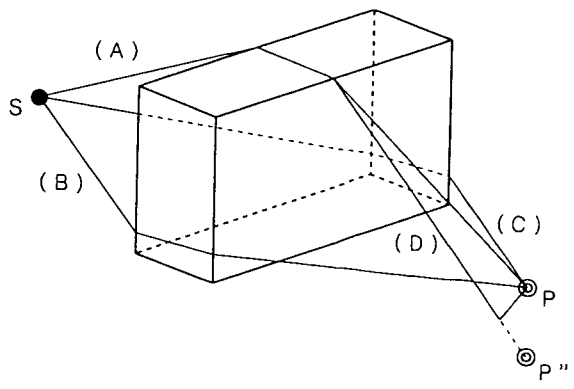
なお，音源高さを0.4 mとし，障壁設置前の地面反射音及び障壁設置後の音源側の地面反射音の影響も併せて考慮した計算も行ったが，計算結果にほとんど差異は認められなかった。

4. 単独建物による挿入損失の計算方法

2., 3. の結果を用いて，直方体形状の単独建物が道路に面して立地する場合に，建物後方での挿入損失の計算方法を提案する。ここでは，3. での検討結果を踏まえ，建物上方を回折した音の受音点側地面での反射の影響を考慮することとした。

4.1 計算方法

単独の建物による挿入損失 $IL_{build.}$ を求めるにあたり，図－10に示す4本の伝搬パスによる音の寄与を考えることとした。この図において，音源Sは地面上（高さ0 m）にあり，受音点Pは地面より高い



図－10 単独建物（厚みのある有限長障壁）と音の伝搬経路

位置にある。ここで，(A) は建物上方を回折して受音点Pに到達するパス，(B) は建物の左方を回折して受音点Pに到達するパス，(C) は建物の右方を回折して受音点Pに到達するパス，(D) は建物上方を回折した後，受音点側の地面で反射して受音点Pに到達するパスを表している。なお，(D) は，(2)式同様，建物上方を回折して受音点Pの地面反射イメージP″に到達するパスで代用できると考えた。

なお，地面上の音源Sの PWL が与えられた場合の受音点Pでの SPL は，(3)式同様，Sからの半球面波伝搬による距離減衰を基本として求めることができる。したがって，3.1で述べた理由により，パス (B)，(C) には，すでに地面反射音の影響が含まれていると考えられる。

これらの音の寄与を合成するにあたり，以下に示す2通りの方法をとることとした。ここでは，建物の上方，左方，右方の壁面を厚み部分とする反射性厚み障壁を想定し，パス (A)，(B)，(C)，(D) に対応する反射性厚み障壁による減音量を，各々，ΔL_{upper}, ΔL_{left}, ΔL_{right}, $\Delta L''_{upper}$ と表す。

まず，山本，高木らが提案する（厚みのない）有限長障壁による減音量の計算方法[19),20)]を，厚みのある有限長障壁（建物）に拡張するとともに，新たに地面反射音の寄与を加味した方法を示す。

$$IL_{build.} = -10\log_{10}\{10^{-\Delta L_{upper}/10}+10^{-\Delta L'_{upper}/10} +(1-10^{-\Delta L_{upper}/10}-10^{-\Delta L'_{upper}/10}) \times(10^{-\Delta L_{left}/10}+10^{-\Delta L_{right}/10})\} \quad (4)$$

山本，高木らの方法は，有限長障壁として，半無限障壁の上端に矩形状の障壁を付加したモデルを取り上げ，Fresnel-Kirchhoffの近似回折理論に基づき自由空間における減音量を計算するものである。一方，(4)式は，上記モデルにおける半無限障壁の上端の位置に地面があると想定し，地面より上の半自由空間での建物による挿入損失を与えている。自由空間に置き換えて考えれば，この式は，地面に対して対称な建物鏡像を加えた高さが2倍の仮想建物が空中にある時の減音量を計算するものであり，この場合，仮想建物の下方を回折するパスは，図－10のパス (D) に相当する。

次に，ISO 9613-2[21)] や足立らの文献[3)] で示された考え方に，地面反射音の寄与を加味した方法を示す。

$$IL_{build.} = -10\log_{10}(10^{-\Delta L_{upper}/10}+10^{-\Delta L'_{upper}/10} +10^{-\Delta L_{left}/10}+10^{-\Delta L_{right}/10}) \quad (5)$$

(5)式は，図－10で示された4本の伝搬パスにおける音の寄与を，単純にエネルギー合成したものであり，(4)式において ΔL_{upper} および $\Delta L''_{upper}$ が共に十分大きい場合にあたる。

なお，(4)式，(5)式における ΔL_{upper}, ΔL_{left}, ΔL_{right}, $\Delta L''_{upper}$ の計算には(1)式を用いる。また，$IL_{build.}$ の計算結果が負の値となる場合は，建物壁面での反射音の影響により，建物がない場合に比べ，音圧レベルが増加していることを示す。

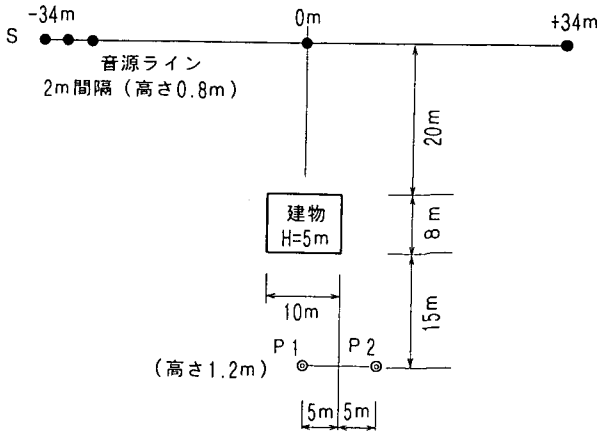
4.2 模型実験による検証

(4)式，(5)式の妥当性を検討するため，無響室において，縮尺比1/20の模型実験を行った。

建物の上方及び側方の回折効果を測定するためには，音源は，無指向性であることが望ましいため，点音源としてのジェットノイズ音源を上向き（音源高さ0.8m）にして用いた。地面及び直方体の建物（高さ5m，間口10m，奥行き8m）は反射性とし，それぞれ，厚さ3mm及び5mm（原寸）のアクリル板を用いて製作した。なお，建物の形状は，建築面積80 m²の2階建てを想定したものであるが，無響室の壁面での反射音の影響による回折減音量の測定限界から，建物の高さは通常の2階建てよりやや低く設定している。また，図－8，図－11の模型実験配置において，音源，受音点位置を建物壁面から15m以上離しているのも同じ理由による。

対象周波数は，3.2同様，50 Hz～3.15 kHzとし，自動車走行騒音の代表パワースペクトル[16)] で重み付けしたA特性オーバーオール値で挿入損失を表した。なお，計算には，(4)式，(5)式を用いるため，計算上の音源高さは0mとした。また，(4)式，(5)式において用いる(1)式の計算にあたり，反射性厚み障壁に対して音が斜めに入射する場合の回折点は，音の伝搬経路が最短になるように設定した。

実験配置を図－11に，受音点P1及びP2（いずれも，高さ1.2m）における挿入損失の模型実験値



図－11 単独の建物と音源・受音点の配置

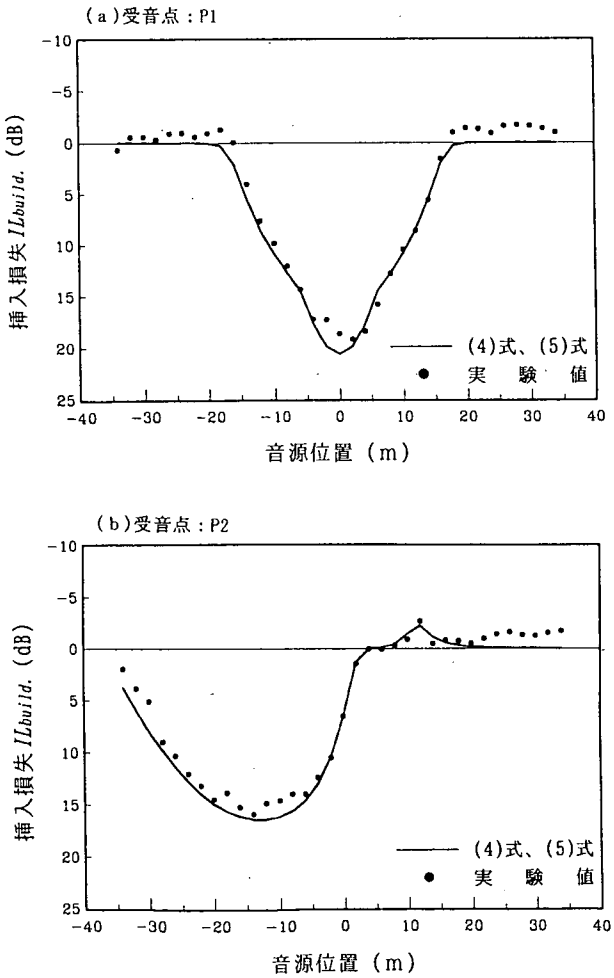
及び計算値を，各々，図－12（a），（b）に示す。

(4)式と(5)式の計算結果は，図において区別できないほど一致し，模型実験値との整合性も高いが，挿入損失のピーク付近において，計算値が実験値をやや上回る傾向が見られた。また，受音点P2での計算値は，音源位置12m付近において，建物側壁での反射音による音圧レベルの増加もよく表現できている。

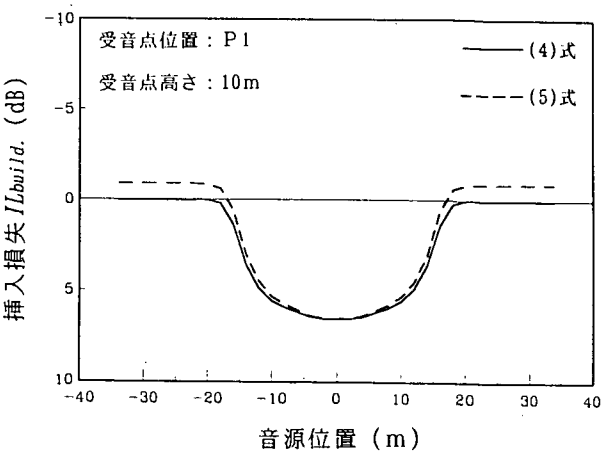
なお，3.2同様，音源高さ（0.8m）を考慮した計算も行ったが，両式とも，計算結果にほとんど差異は認められなかった。

5. 考　　察

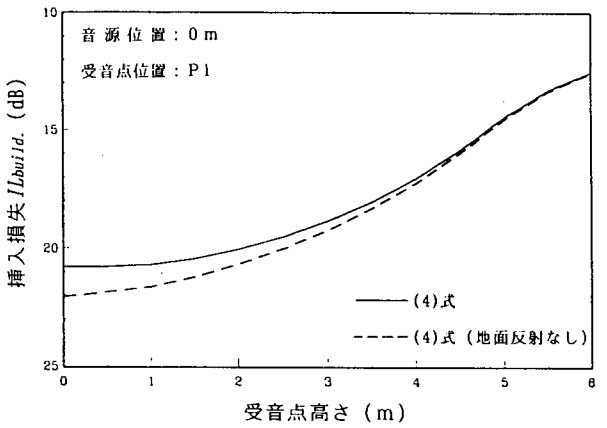
(4)式と(5)式による計算値の差異を詳細に検討する。まず，図－11の受音点位置P1の場合に，P1の高さを変化させて，図－12と同様の計算を行った。P1が建物より高くなった場合（高さ10m）の計算値を図－13に示す。(5)式による$IL_{build.}$の計算値は，音源位置が－17mより左または17mより右の場合



図－12　(4)式，(5)式による計算値と模型実験値の挿入損失の比較



図－13　(4)式と(5)式による計算結果の差異



図－14　受音点側の地面反射音の影響

に負の値となり，不合理な結果を示している。このような建物の側方から音源を見通せる受音点位置では，$10^{-\Delta L_{left}/10}$または$10^{-\Delta L_{right}/10}$の値が1に近づき，さらに，受音点が高く$10^{-\Delta L_{upper}/10}$も大きくなる場合に，(5)式における対数の真数部分が1を超えるためである。その他の音源，受音点位置では，(4)式と(5)式による計算結果の差異はほとんど認められなかったものの，適用範囲や式の合理性の点では，(4)式が(5)式よりすぐれている。

次に，受音点側の地面反射音が計算結果に及ぼす影響を詳細に検討する。図－11において地面反射音の影響が最も大きくなると考えられる音源位置0m（音源高さは0m），受音点位置P1の場合に，P1の高さを0mから6mまで変化させた。この時の(4)式の計算結果及び(4)式で地面反射音の影響を無視（$10^{-\Delta L'_{upper}/10}=0$とする）した場合の計算結果を図－14に示した。計算上，地面反射音を考慮した場合としない場合の計算値の差異は，受音点高さが低いほど大きくなるが，最大でも1dB程度（高さ0m）

であり，道路交通騒音の予測における一般的な受音点高さ（1.2m以上）では1dB未満であった。図－12（a），図－14の結果から判断すると，地面反射音を考慮した方が計算値と実験値との整合性は高いものの，地面反射音が計算値に及ぼす影響は小さい。

また，図－12（a），（b）の計算ケースにおいて，地面反射音を考慮した場合としない場合で，ユニットパターンのエネルギー積分値の計算値の差異を比較したところ，両者とも0.1dB未満であった。さらに，図－12（a）のP1（高さ1.2m）を，音源ラインに直角方向に水平に移動し，建物の受音点側壁面から1mの距離にまで近づけて同様の計算を行っても，計算値の差異は0.3dB未満であった。したがって，単独建物後方の騒音レベルをL_{Aeq}で評価する時は，地面反射音の影響はほとんど無視できると考えられる。これは，受音点から音源が見通せる場合をはじめ，建物側方からの伝搬音の寄与が支配的になるためである。なお，受音点位置がより高くなると，図－14から分かるように，地面反射音の寄与自体が無視できるほど小さくなると考えられる。

ただし，地面が吸音性の場合は，建物による回折，反射の影響と地表面効果とを併せて検討する必要があり，今後の課題である。

なお，建物が道路に対して斜めを向いて立地している時は，音源と受音点の位置関係により，本論文で提案する方法がそのままでは適用できない場合がある。複数の建物周辺の騒音レベルの計算同様，今後，検討すべき課題である。

6. ま と め

直方体形状の単独建物が道路に面して立地する場合に，その後方での騒音レベルの計算方法の検討を行った。筆者らが提案する反射性厚み障壁による減音量の計算方法を用いて，建物の上方及び側方を伝搬する音の寄与を求め，それらを合成することにより，建物による回折及び反射の影響が考慮でき，建物後方の騒音レベルを簡便に求められることが，波動理論計算値及び模型実験値との比較により明らかとなった。また，地面反射音の影響が大きい受音点位置では，その影響を計算上考慮した方が模型実験値との整合性はよいものの，L_{Aeq}の計算においては，地面反射音の影響はほとんど無視できることを簡単な試算により示した。

なお，本論文で示した単独建物後方の騒音レベルの計算方法は，道路交通騒音だけでなく，広帯域の周波数成分を含む騒音に対しても広く利用できると考えられる。

謝　辞

模型実験の方法等に関して数多くの貴重な御助言を頂いた(財)小林理学研究所の山本貢平氏に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

1）騒音に係る環境基準について，平成10年環境庁告示第64号（1998）
2）S. Kurra : A computer model for predicting sound attenuation by barrier-buildings, Applied Acoustics, Vol. 13, pp. 331～355（1980）
3）足立義雄，平野興彦：緩衝性建築物による道路交通騒音の減音効果の予測（模型実験と予測計算），日本音響学会講演論文集，pp. 45～46（1981. 5）
4）U. Kurze, G.S. Anderson : Sound attenuaiton by barriers, Applied Acoustics, Vol. 4, No. 1, pp. 35～53（1971）
5）K. Fujiwara, Y. Ando, Z. Maekawa : Noise control by barriers — Part 1 : Noise reduction by a thick barrier, Applied Acoustics, Vol. 10, No. 2, pp. 147～159（1977）
6）Z. Maekawa : Environmental sound propagation, Proc. Eighth International Congress on Acoustics, London, pp. 29～46（1974）
7）U. Kurze : Noise reduction by barriers, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 55, pp. 504～518（1974）
8）橘　秀樹，佐々木實：II 予測計算法の概要，日本音響学会誌，50巻3号，pp. 229～232（1994）
9）K. Yamamoto, K. Takagi : Expression of Maekawa's chart for computation, Applied Acoustics, Vol. 37, pp. 75～82（1992）
10）上坂克巳，大西博文，鉢嶺清範，石川賢一，高木興一：厚みのある障壁，二重障壁による回折効果に関する実験的研究，騒音制御，22巻3号，pp. 153～161（1998）
11）日本音響学会編：L_{Aeq}における道路交通騒音予測，日本音響学会第4回音響技術セミナー資料，pp. 38～39（1995）
12）A.D. Pierce : Diffraction of sound around corners and over wide barriers, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 55, pp. 941～955（1974）
13）川井孝雄：厚みのある障壁及び角柱による回折音場，日本音響学会誌，34巻7号，pp. 369～375（1978）
14）川井孝雄：ウェッジによる回折音場の漸近解に関する検討，日本音響学会誌，35巻10号，pp. 544～553（1979）
15）R.G. Kouyoumjian, P.H. Pathak : A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectory conducting surface, Proc. IEEE, Vol. 62, pp. 1448～1461（1974）
16）曽根敏夫，香野俊一，岩瀬昭雄：III 自動車走行騒音のパワーレベルとスペクトル，日本音響学会誌，50巻3号，pp. 233～239（1994）

17) 前川純一：障壁（塀）の遮音設計に関する実験的研究，日本音響学会誌，18巻4号，pp. 187～196（1962）
18) 高木興一，山本貢平，吉久光一：IV 道路交通騒音予測における伝搬計算方法，日本音響学会誌，50巻3号，pp. 240～249（1994）
19) 山本貢平，堀田竜太，高木興一：有限長障壁に対する音の回折効果の計算方法について，日本音響学会誌，50巻4号，pp. 271～278（1994）
20) K. Takagi, R. Hotta, K. Yamamoto : A simple method for the calculation of noise attenuation by a finite length barrier, Applied Acoustics, Vol. 43, pp. 353～365（1994）
21) ISO9613-2 : Acoustics —Attenuation of sound during propagation outdoors— Part 2 : General method of calculation（1996）

(5) 道路に直面した単独建物および建物列後方における等価騒音レベルの簡易計算方法*

上坂克巳[*1]・大西博文[*1]・三宅龍雄[*2]・高木興一[*3]

(1999年3月16日受付, 1999年7月13日受理)

【要旨】

騒音に係る環境基準の改定により，沿道建物後方での道路交通騒音予測の必要性が高まっている。本論文では，平面道路に面した単独建物後方の特定地点における等価騒音レベル（L_{Aeq}）の計算方法，および平面道路に沿って1列に並んだ建物の背後における区間平均等価騒音レベル（$SA \cdot L_{Aeq}$）の計算方法を提案し，それらの妥当性を模型実験で検証した。さらに，これらの計算に用いる建物の高さ，建物列の間隙率などのパラメータと計算値の関係を分析し，受音点の位置により計算方法が簡略化できることを示した。

【ABSTRACT】

As the environmental quality standards for noise were revised, it becomes increasingly important to predict road traffic noise behind roadside buildings. This paper presents methods for calculating L_{Aeq} at specific individual positions behind a building directly facing a surface road and for calculating section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level ($SA \cdot L_{Aeq}$) behind a row of buildings belong the road. The validity of the methods presented here is verified by model experiments. In addition, the authors analyze the relationship between the calculated values and the parameters for the calculations such as height of the building, opening ratio of the row of buildings and so on. As a result, it is shown that the calculation methods can be simplified at some positions of receivers.

キーワード：沿道建物，区間平均等価騒音レベル，模型実験，騒音に係る環境基準，道路交通騒音

: Roadside Buildings, Section-Averaged Equivalent Continuous A-Weighted Sound Pressure Level ($SA \cdot L_{Aeq}$), Model Experiment, Environmental Quality Standards for Noise, Road Traffic Noise

1. はじめに

平成11年4月1日に，等価騒音レベル（以下「L_{Aeq}」という）を評価指標とする新たな「騒音に係る環境基準」[1]が施行された。同基準では，幹線道路に近接する空間とその背後地に対して異なった基準値を与えているため，道路に直面する建物後方での騒音予測の必要性が高まっている[2]。

筆者らは，前報[2]で，直方体形状の単独建物が道路に面して立地している場合に，その後方での騒音レベルの計算方法を提案した。この方法は，建物の上方および左右の側方を伝搬する音の寄与を各々求め，それを合成する（以下，この方法を「3パスの方法」という）ため，ある程度正確なユニットパターン（道路上を自動車が走行したとき，一つの受音点（予測地点）における音圧レベルの時間変化のパターンのこと[3]。本論文では，音源位置ごとの受音点での音圧レベルをいう）の計算が可能である。しかし，この方法は，建物が道路に対して斜めを向いて立地している時には，音源と受音点の位置関係によりそのままでは適用できない場合がある。また，

* Simple Methods for Calculating L_{Aeq} behind a Building and a Row of Buildings Directly Facing a Road

*1 Katsumi Uesaka and Hirofumi Ohnishi : Public Works Research Institute, Ministry of Construction (建設省土木研究所)

*2 Tatsuo Miyake : Sogo Engineering Inc. ((株)綜合技術コンサルタント)

*3 Koichi Takagi : Graduate School of Engineering, Kyoto University (京都大学大学院工学研究科)

計算対象を近接して立地する複数の建物まで拡張することは困難と考える。

一方，環境アセスメント等において実際に道路交通騒音を予測する場合は，建物の高さ，間口，奥行き等のパラメータ（以下，「建物パラメータ」という）を調査する必要がある。これらの数が多いと予測計算が煩雑になるだけでなく，その調査に費やす労力も多大となる。したがって，実用上は，計算に用いる建物パラメータの数ができるだけ少ない予測計算方法が有効である。

本論文では，道路に直面した単独建物後方の特定地点におけるL_{Aeq}のより汎用的な計算方法，および沿道に1列に並んだ建物（以下，「道路近接建物列」という）背後における評価区間の平均的なL_{Aeq}の計算方法を提案する。さらに，受音点の位置に応じた計算の簡略化の方法を明らかにする。

なお，ここでは平面道路を取り上げ，対象とする建物と道路との間には遮音壁等の音響的障害物がない場合を想定する。また，建物壁面および地面は完全反射とみなす。ただし，建物後方での地面反射音が計算結果に及ぼす影響は一般的には小さいと考えられる[2]ため，これを無視する。

2. 単独建物後方の特定地点におけるL_{Aeq}の計算方法

道路に直面した単独建物後方の特定地点におけるL_{Aeq}の計算方法を検討する。

まず，2.1において建物による音の回折および反射の影響を考慮したL_{Aeq}の計算方法を2種類提案する。次に，2.2ではこれらの方法の妥当性を模型実験により検証し，2.3では計算値相互の比較により計算の簡略化の方法を明らかにする。最後に，2.4では建物群背後の特定地点でのL_{Aeq}計算の可能性に関して考察する。

2.1 計算方法

（A） 3パスの方法

上坂ら[2]の3パスの方法では，建物が道路に対して斜めを向いて立地している場合に，音源，受音点の位置により計算ができないことがあった。この場合には，建物の上方および側方の伝搬音を計算するための回折点設定の考え方が示されていなかったためである。したがって，ここでは3パスの方法における回折点設定の考え方を一般化して示す。

半自由空間におけるユニットパターンの計算式は次式で示される。

$$L_p = L_W - 8 - 20\log_{10} r - IL^{(PS)} \qquad (1)$$

ここで，L_p：音圧レベル［dB］，L_W：自動車走行騒音のパワーレベル［dB］，r：音源と受音点の距離［m］，$IL^{(PS)}$：点音源（Point Source）に対する単独建物による挿入損失［dB］。

$IL^{(PS)}$は，上坂ら[2]と同様に，次式で求める。

$$IL^{(PS)} = -10\log_{10}\{10^{-\Delta L_{upper}/10} + (1-10^{-\Delta L_{upper}/10})(10^{-\Delta L_{left}/10} + 10^{-\Delta L_{right}/10})\} \qquad (2)$$

ここで，ΔL_{upper}, ΔL_{left}, ΔL_{right}は，順に，建物の上方，左方，右方の回折減音量を表す。これらは，建物が直方体とみなせる場合は，基本的に，反射性厚み障壁（Reflective Wide Barrier）による減音量ΔL（RW）[2]として求める。したがって，ΔL_{upper}, ΔL_{left}, ΔL_{right}には，建物壁面での反射音も考慮されていることになる。

ΔL_{upper}は次式で計算する（図−1参照）。

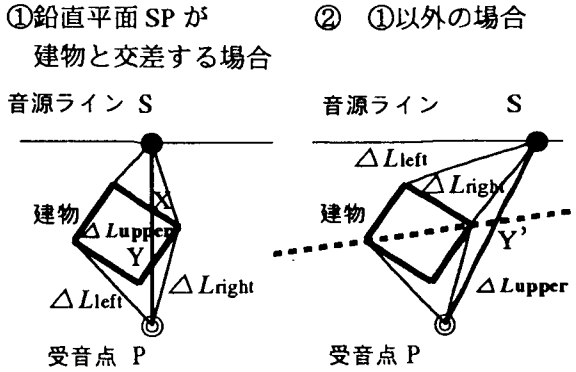
$$\Delta L_{upper} = \begin{cases} 1) \text{ 鉛直平面SPが建物と交差する場合} \\ \quad \Delta L(\mathrm{RW})_{SXYP} \\ 2) \text{ 1) 以外の場合} \\ \quad \Delta L_{SY'P} \end{cases} \qquad (3)$$

ここで，X，Y：鉛直平面SP（音源S，受音点Pを通り鉛直な平面）と建物の上部エッジとの交点，Y′：鉛直平面SPと，受音点から見た建物投影面を水平方向に延長した面の上部エッジとの交点，$\Delta L_{SY'P}$：Y′を回折点とする半無限障壁の回折減音量（Yamamotoら[4]の方法により求める）。

一方，ΔL_{left}, ΔL_{right}は，ΔL（RW）の計算式より求めるが，その回折点は最短伝搬経路を与える点とする。なお，側方の回折経路が三重回折となる場合は，その寄与を無視（回折減音量が∞）する。

（B） 建物側壁面での反射音を考慮した1パスの方法

次に，厚みのない有限長障壁による減音効果の計算に用いられる1パスの方法[3),5),6)]を基本とし，建物の遮蔽効果と建物側壁面での反射音の影響を個別



図−1 3パスの方法の模式図（平面図）

に計算する方法を示す。

この方法によるユニットパターンの計算式は，次式で示される。

$$L_p=10\log_{10}\left(10^{L_{p,0}/10}+\sum_{i=1}^{N}10^{L_{p,i}/10}\right) \quad (4)$$

ここで，$L_{p,0}$：建物上方および側方の直接伝搬音による音圧レベル［dB］，$L_{p,i}$：建物側壁面 i における反射音による音圧レベル［dB］，N：建物側壁面の数，直方体の単独建物の場合 $N=4$（建物群を対象とする場合（2.4 参照）は，すべての建物の側壁面数の合計）。

$L_{p,0}$ の計算は，次式により行う。

$$L_{p,0}=L_W-8-20\log_{10}r-\Delta L_{\text{upper}} \quad (5)$$

ΔL_{upper} は，次式で与えられる（図－2①参照）。

$$\Delta L_{\text{upper}}=\begin{cases}1)\ \text{鉛直平面 SP が建物と交差する場合}\\ \quad \Delta L\ (\text{RW})_{\text{SXYP}}\\ 2)\ 1)\ \text{以外の場合}\\ \quad 0\end{cases} \quad (6)$$

また，$L_{p,i}$ の計算は，次式により行う（図－2②参照）。

$$L_{p,i}=\begin{cases}1)\ \text{S, P とも，建物側壁面 } i \text{ と対面する側にあり，鉛直平面 SP}_i\text{ が，建物側壁面 } i \text{ と交差する場合}\\ \quad L_W-8-20\log_{10}r_i-\Delta L_{\text{slit},i}\\ 2)\ 1)\ \text{以外の場合}\\ \quad -\infty\end{cases} \quad (7)$$

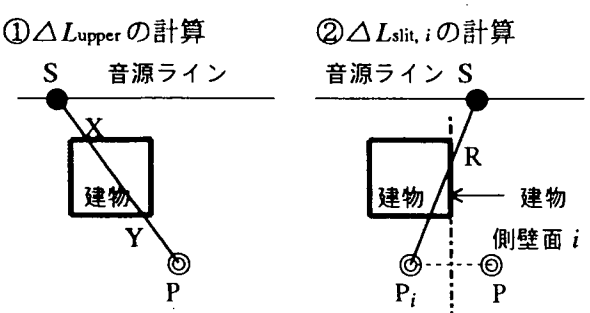
ここで，P_i：P の建物側壁面 i に対する鏡像受音点，r_i：S と P_i の間の距離［m］，$\Delta L_{\text{slit},i}$：建物側壁面 i での反射時の減音量［dB］。

$\Delta L_{\text{slit},i}$ は，建物側壁面 i と同じ高さで，水平方向に無限長のスリット面を仮定し，次式で求める。

$$\Delta L_{\text{slit},i}=-10\log_{10}(1-10^{-\Delta L_{\text{SRP}_i}/10}) \quad (8)$$

ここで，R：鉛直平面 SP_i が建物側壁面 i の上部エッジと交差する点。

なお，直方体の単独建物の場合，(7)式の 1）の条件に該当する側壁面の数は，最大でも 2 である。



図－2　1 パスの方法の模式図（平面図）

2.2　模型実験による検証

(1)　実験の方法

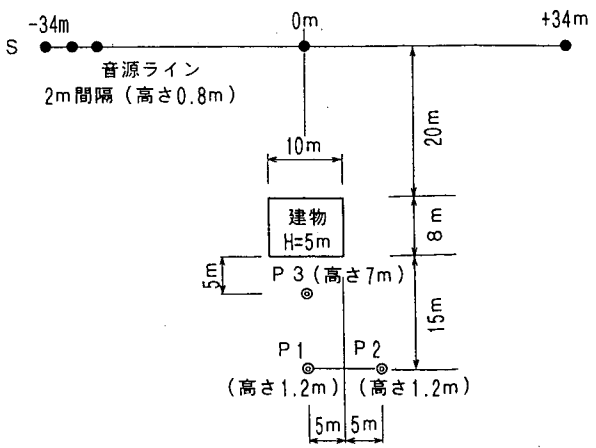
2.1 で提案された（A），（B）の方法の検証を行うため，無響室において縮尺比 1/20 の模型実験を行った。実験配置を図－3 に示す。

音源 S は，点音源としてのジェットノイズ音源を上向き（音源高さ 0.8 m（実物換算。本論文では，模型実験に関する数値は，「原寸」と表示しない限り実物換算で示す））にして用いた。受音点は，建物後方に 3 点（P1～P3）設け，1/4 インチマイクロホンで音圧レベルを測定した。

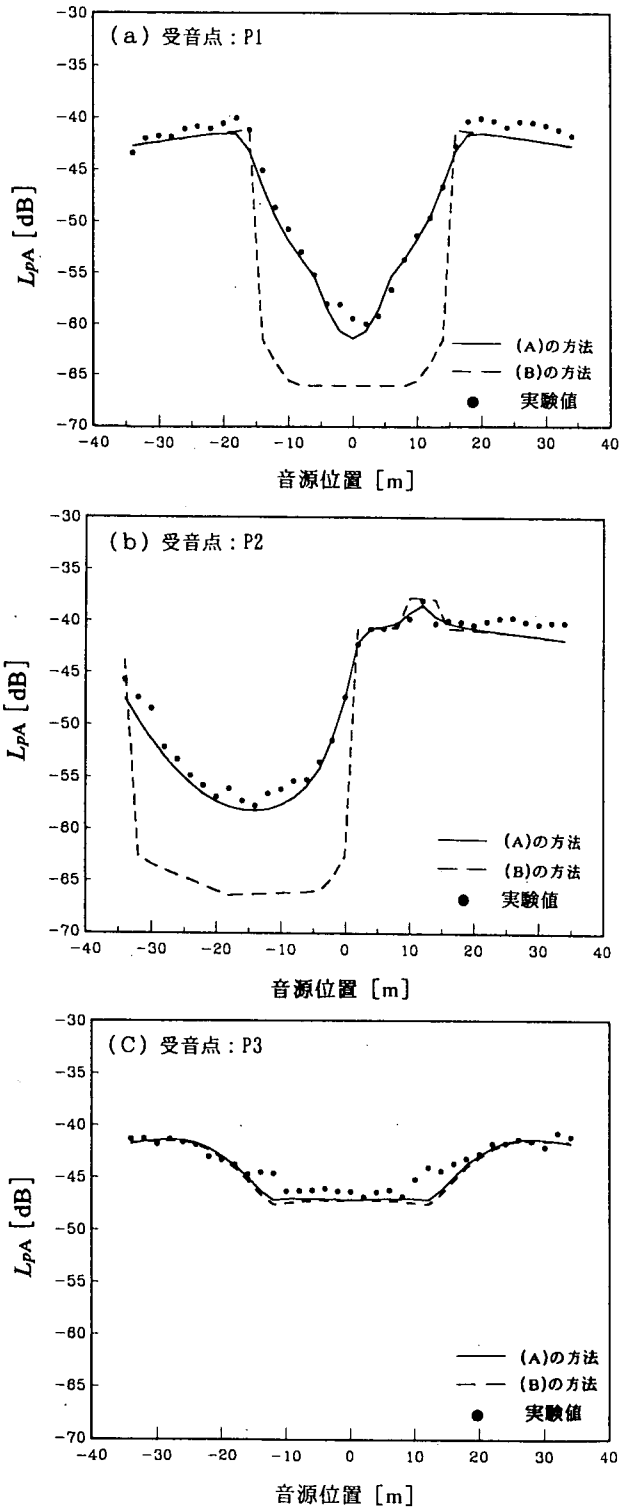
地面および直方体の建物（高さ 5 m，間口 10 m，奥行き 8 m）は反射性とし，それぞれ厚さ 3 mm（原寸）および 5 mm（原寸）のアクリル板を用いて製作した。なお，建物の形状は，建築面積 80 m^2 の 2 階建てを想定したものである。ただし，無響室の壁面での反射音の影響による回折減音量の測定限界から，建物の高さは通常の 2 階建てよりやや低く設定している。音源および受音点 P1, P2 を建物壁面から 15 m 以上離しているのも同じ理由による。さらに，対象周波数については，予備実験の結果，この実験配置において無響室壁面での反射音の影響がほぼ排除できると判断された 50 Hz～3.15 kHz とした。

(2)　ユニットパターン計算値と模型実験値との比較

図－4（a)～(c）に計算値と模型実験値の比較を示す。L_{pA} は自動車走行騒音の代表パワースペクトル[3] で重み付けした A 特性オーバーオール値を表し，$L_{WA}=0$ とした場合の相対レベルとして示している。ここでは，計算上の音源高さは 0 m とし 1/3 オクターブバンドごとにその中心周波数を用いて計算を行い（本論文の計算はすべて同様），その結果を



図－3　単独建物と音源，受音点の配置



図－4　計算値と模型実験値の比較

合成した。また，実験値は半自由空間での理論減衰値から測定した挿入損失を差し引いて求めた。

（A）の方法による計算値は実験値とよく一致している。一方，（B）の方法による計算値は，受音点P1，P2において，音源が受音点から見て建物の陰となる領域にある場合に，実験値に比べて過小な値となる。これは，（B）の方法が，建物側方の伝搬音の寄与を考慮していないためと考えられる。また，両方法とも，受音点P2の場合の音源位置12m付近において，建物側壁面での反射音による音圧レベルの増加をよく表現できている。

2.3　両方法によるユニットパターンの積分値の比較と計算方法の簡略化の検討

上記の検討により，L_pの計算に関する（A）の方法の妥当性が確認された。一方，（B）の方法では，音源位置により模型実験値との乖離が大きくなる場合があることが分かった。しかし，L_{Aeq}の計算において特に問題となるのは，個別の位置の音源に対するL_pではなく，ユニットパターンの積分値である。

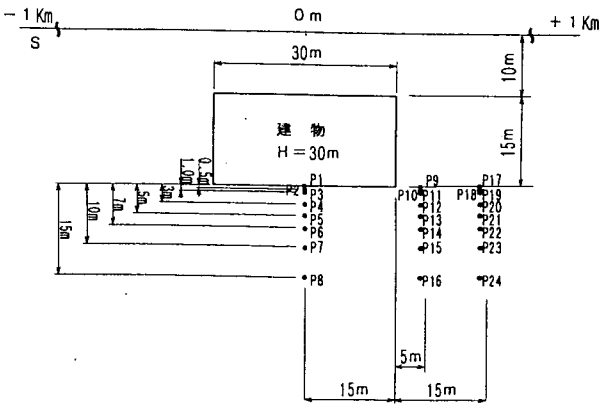
ここでは，図－5のように，十分長い直線道路に面して10階建て相当の建物（間口30m，奥行き15m，高さ30m）が立地した場合を想定する。そして，（B）の方法によるユニットパターンの積分値の計算値を，2.2で妥当性が確認された（A）の方法による計算値と比較する。

まず，受音点P1～P24（高さ1.2m）において，建物の有無によるユニットパターンの積分値の差（以下，線音源（Line　Sourse）に対する挿入損失という意味で「$IL^{(LS)}$」という）を両方法により求めた。なお，音源は2m間隔で2kmの区間に配置し，$IL^{(LS)}$は，自動車走行騒音の代表パワースペクトル[3]で重み付けしたA特性オーバーオール値（50～5kHz）として算出した。

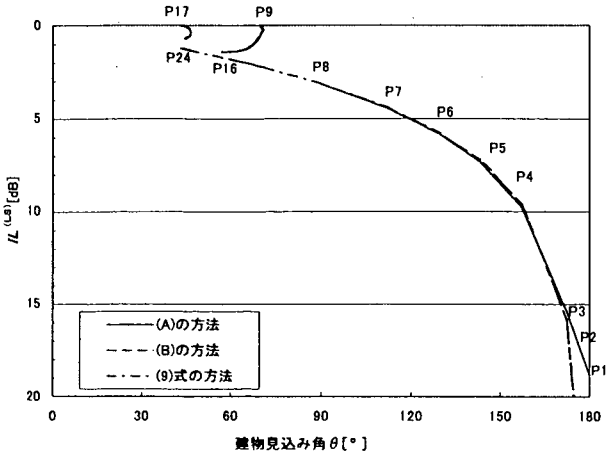
図－6に，受音点Pj（j=1～24）から建物を見た場合の水平方向の見込み角θ［°］と（A），（B）の方法による$IL^{(LS)}$の計算値の関係，および次式を併せて示した。

$$IL^{(LS)} = -10\log_{10}\{(\theta_0-\theta)/\theta_0\} \qquad (9)$$

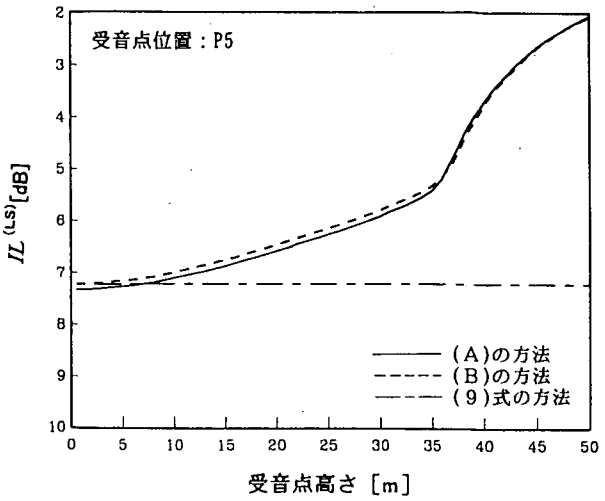
ここで，θ_0は，対象とする建物が存在しない場合に，受音点から見た道路全体の見通し角であり，十分長い直線道路では$\theta_0 \fallingdotseq 180$［°］とする。



図－5　計算値の比較のための建物と受音点の配置



図－6　建物の見込み角 θ と $IL^{(LS)}$ の関係



図－7　受音点高さと $IL^{(LS)}$ の関係

(9)式は，直線道路を対象とした場合に，(B) の方法で建物側壁面における反射音の寄与を無視する ((4)式で $L_{p,i}=-\infty$ とする) とともに，建物の高さを無限大と考え建物上方を伝搬する音の寄与を無視する ((6)式 1) で $\Delta L\,(\mathrm{RW})_{\mathrm{SXYP}}=\infty$ とする) 場合に相当する。なお，(9)式の導出過程については，上坂ら[6]を参照されたい。

次に図－7 に，建物の背後 5 m の受音点 P 5 の高さを 1.2 m から 50 m まで変化させた場合に，受音点高さと，(A)，(B) の方法および (9) 式による $IL^{(LS)}$ の計算値との関係を示した。

これらの図から以下のことが分かる。

1) (A)，(B) の方法による計算値は，θ が 180° に近い場合を除きほとんど差異がない。

2) 建物背後の受音点 (P 1～P 8) の高さが 1.2 m の場合 (図－6) は，(B) の方法と (9)式による計算値は，図において区別ができないほど一致する。P 5 の高さを変化させた場合 (図－7) は，建物と同じ高さ (30 m) では両方法による計算値の差は 1 dB 程度であるが，それより高くなると計算値の差異が大きくなる。

3) 建物の斜め後方の受音点 (P 9～P 16，P 17～P 24) においては，(A)，(B) の方法と (9)式の結果の差異は，最大で 2 dB 程度である。これは，(9)式が建物側壁面における反射音の寄与を無視していることに起因する。

以上の結果から，(A)，(B) の方法の適用条件，および (9)式の適用等による計算の簡略化の方法は，次のように整理できる。

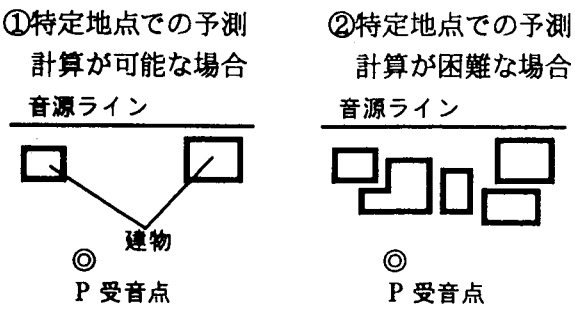
1) θ が 180° に近い場合は (A) の方法を用いる必要があるが，それ以外の場合は (A)，(B) どちらの方法を用いてもよい。なお，騒音がほぼ 1 方向から到来する場合は，建物側方の回折音を考慮しなければならず (A) の方法を用いる必要がある。これには，トンネル坑口の蓋かけ部上方に建物が立地し，その背後の受音点で明かり部の道路からの影響を計算する場合などがあたる。

2) 建物背後の受音点で，その高さが建物より低いときは，計算方法を以下のように簡略化できる。まず，直線道路を対象とする場合は，(9)式を用いればよい。すなわち，建物高さの調査は必要なく，平面形状についても θ の設定に必要な範囲で調査すればよい。このことは，直方体形状以外の建物を対象とした場合でも，θ さえ設定できれば L_{Aeq} が計算できることを意味する。また，曲線道路においては，建物高さを無限大と考え，(B) の方法を用いればよい。なお，建物側壁面での反射音の寄与 $10^{L_{p,i}/10}$ は，ほぼ無視できる。

3) 建物の斜め後方の受音点では，建物側壁面における反射音を考慮した方が計算精度は高い。しかし，反射音が L_{Aeq} の計算結果に及ぼす影響は，鏡面反射を仮定した場合でも最大 1～2 dB 程度と考えられる。実際の建物壁面がある程度の凹凸と吸音性を持つことを考慮すると，(B) の方法において，建物側壁面での反射音の寄与を省略した近似計算が可能である。この場合，受音点高さが建物より低い時は，上述した建物背後の受音点と同様，計算方法がより簡略化できる。

2. 4　建物群背後の特定地点での L_{Aeq} 計算の可能性に関する考察

2. 1 で提案した方法を建物群背後の特定地点での L_{Aeq} 計算へ適用することの可能性について考察する。ただし，(A) の方法を建物群背後の受音点での



図－8　建物群背後での騒音予測計算

計算に適用することは，煩雑で適用範囲が限定されることも予想されるため，以下では（B）の方法を検討対象とする。

まず，図－8①のように，複数の建物が十分な間隔をおいて立地し，建物間の多重回折，多重反射の影響がほぼ無視できる場合は，原理的には（B）の方法が適用可能である。この際，2.3の検討結果から判断すると，計算の簡略化のため，建物側壁面での反射音の寄与を省略した近似計算も可能と考える。

しかし，建物の立地密度が大きくなるにつれ，計算精度の向上のためには，建物上方および側方の多重回折ならびに建物側壁面間の反射音の影響を丹念に計算する必要が生じてくると考える。

さらに建物が密集し，図－8②のようにPから音源が見通せない場合には，建物間の多重反射の影響や建物間隙から放射する音の指向性を正確に計算する必要がある。この場合には，特定地点でのL_{Aeq}の予測計算を幾何音響理論に基づき行うことは，現在のところほとんど不可能と考える。したがって，後述するように，評価区間の平均的なL_{Aeq}を計算することが実用的であると考える。

3. 道路近接建物列の背後における評価区間の平均的なL_{Aeq}の計算方法

上述したように，建物群背後においても隣接する建物の間隔が十分広いときは，比較的簡易に特定地点でのL_{Aeq}の計算が可能である。しかし，建物が密集するにつれ計算が煩雑になり，最終的には幾何音響理論に基づく計算がほとんど不可能となる。

また，予測地点（受音点）と建物群の間隙との位置関係により，予測地点でのL_{Aeq}は複雑に変化する。よって，たとえ特定地点でのL_{Aeq}の計算が可能であったとしても，環境アセスメント等において地域の代表的な騒音レベルを評価する場合は，予測地点の選定が困難である。

したがって，ここでは，道路近接建物列の背後における騒音の評価指標として，3.1で示す評価区間の平均的なL_{Aeq}を用いることとする。また，3.2ではその計算方法を示し，3.3ではその妥当性を模型実験により検証する。さらに，3.4ではケーススタディにより，計算の簡略化の方法および適用範囲を明らかにする。

なお，基本的には，同一高さ，同一奥行きの直方体形状の建物から構成される道路近接建物列を想定して議論を進める。

3.1 建物列背後での騒音レベルの区間評価

筆者らは，多くの開口部を有する低層遮音壁（パネルタイプおよび奥行きを有する植栽枡タイプがある）背後における評価区間の平均的な等価騒音レベルとして，次式で示される区間平均等価騒音レベル（Section-Averaged Equivalent Continuous A-Weighted Sound Pressure Level, $SA\cdot L_{Aeq}$）を提案している[6),7)]。

$$SA\cdot L_{Aeq}=10\log_{10}\left(\frac{1}{x_2-x_1}\int_{x_1}^{x_2}10^{L_{Aeq}(x)/10}dx\right) \tag{10}$$

$SA\cdot L_{Aeq}$［dB］は，道路端から一定距離隔たった一定高さの評価区間（x_1～x_2）が一定時間に受ける音のエネルギーを，時間的かつ空間的に平均した場合の騒音レベルである。

なお，$SA\cdot L_{Aeq}$を測定で求める場合は，等間隔に配置したnカ所の測定点での$L_{Aeq}(i)$から，次式により計算する。

$$SA\cdot L_{Aeq}=10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}10^{L_{Aeq}(i)/10}\right) \tag{11}$$

さらに上坂ら[6),7)]は，低層遮音壁設置前後の$SA\cdot L_{Aeq}$の差を区間平均挿入損失（Section-Averaged Insertion Loss, $SA\cdot IL$）と定義している。

道路近接建物列は，低層遮音壁の植栽枡タイプと同様，直方体形状の障壁が道路に沿って1列に並んだものである。したがって，低層遮音壁による減音効果の予測・評価に有効であった$SA\cdot L_{Aeq}$および$SA\cdot IL$を，道路近接建物列背後の騒音レベルの評価にも用いることとする。

3.2 計算方法

平面道路を対象とした場合，道路近接建物列背後における評価区間の$SA\cdot L_{Aeq}$は，道路近接建物列が存在しない場合の等価騒音レベルL_{Aeq}および道路近接建物列による区間平均挿入損失$SA\cdot IL$を用いて次式で計算する。

$$SA\cdot L_{Aeq}=L_{Aeq}-SA\cdot IL \tag{12}$$

$SA \cdot IL$ の計算については，上坂ら[6),7)]の方法を適用する。すなわち，これらの文献で示された $SA \cdot IL$ の計算式において，道路近接建物列の延長が十分長い（無限長）とすると，次式が得られる。

$$SA \cdot IL = -10\log_{10}\{10^{-IL_0^{(LS)}/10} + (1-10^{-IL_0^{(LS)}/10})\alpha\} \quad (13)$$

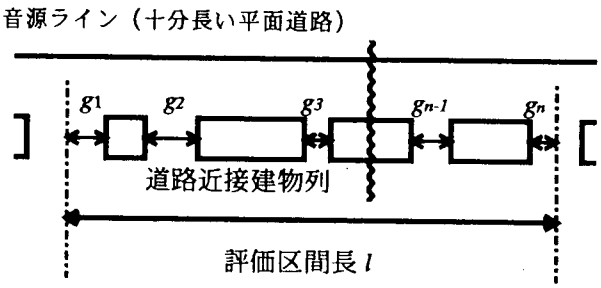
ここで，$IL_0^{(LS)}$ は，道路近接建物列が無限に連続しているとみなした場合に，無限線音源に対する建物列の有無によるユニットパターンのエネルギー積分値の差を示す。連続した建物列は反射性厚み障壁[2)]とみなせるため，$IL_0^{(LS)}$ の計算には，(3)，(6)式同様，ΔL(RW) の計算式を用いる。

また，α は道路近接建物列の間隙率であり，次式で定義する（図－9参照）。

$$\alpha = \left(\sum_{i=1}^{n} g_i\right)/l \quad (14)$$

ここで，l は評価区間長 [m] を，g_i $(i=1\sim n)$ [m] は評価区間内における i 番目の建物間隔（gap）を表す。なお，g_1，g_n は，評価区間の両端（一般的には，評価区間の外郭を形成する交差道路の中心線）から最も近い建物側壁面までの距離を示す。

なお，(13)式では，音が道路近接建物列の間隙を伝搬する際に生ずるエネルギーの損失は十分に小さいと仮定している。



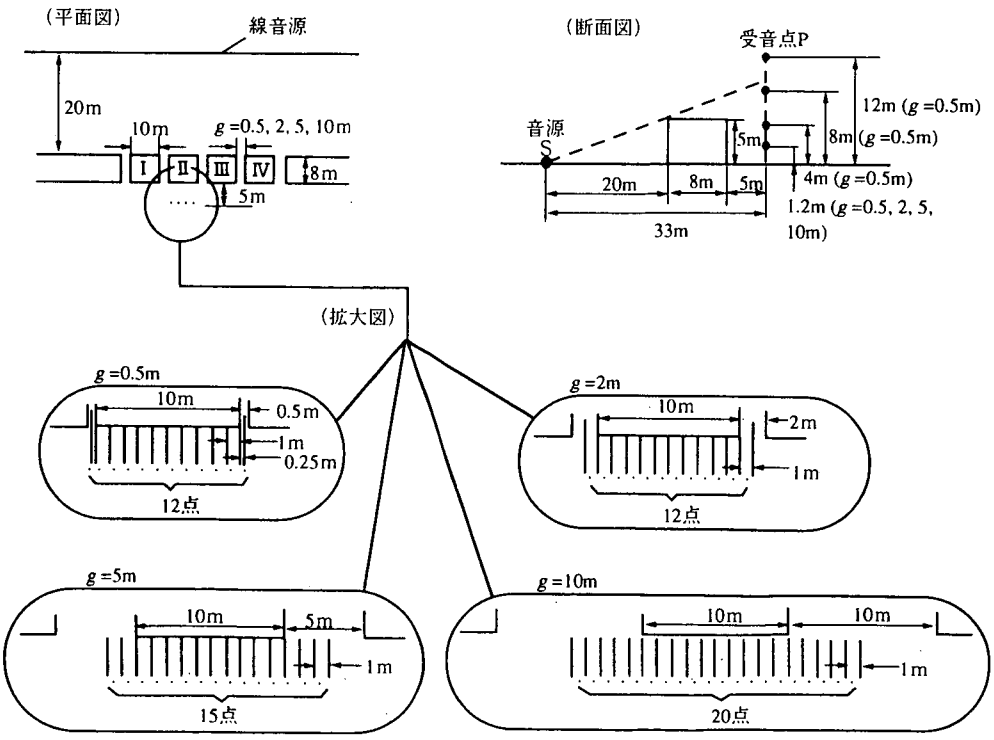
図－9　道路近接建物列背後の評価区間と間隙率 α の設定

3.3　模型実験による検証

(1)　実験の方法

(13)式の検証を行うため，無響室において，縮尺比1/20の模型実験を行った。

図－10に模型実験の配置を示す。2.2と同じ直方体の建物模型（間口10m，奥行き8m，高さ5m）4棟を等間隔で整列させ，その両側に，高さ，奥行きが同じで延長が40～80mの建物を設置した。隣接する建物の間隔 g は0.5m，2m，5m，10m（間隙率 α は，順に，0.048，0.167，0.333，0.5となる）と変化させた。また，受音点高さは，g＝0.5mの時，1.2m，4m，8m，12mの4通りとし，その他の g では1.2mとした。音源には，ジェットノイズを利用した線音源[8)]（延長160m，半径＝音源高さ0.2m）を用い，それを床面（地面）上に置いた。地面および建物は反射性とし，それぞれ厚さ3mmおよび5mm（原寸）のアクリル板で製作した。また，対象周波数は，予備実験の結果，無響室壁面での反射音の影響と計測器のノイズをほぼ排除できる200Hz～3.15kHz



図－10　4棟建物を用いた模型実験の配置

とした。

図－10 のとおり，基本的には，建物Ⅱの後方の評価区間を1m間隔に区分して，各々の区間中央に受音点を配置した。ただし，$g=2$m，受音点高さ1.2mの時には，後述する**図－11** での検討のため，建物Ⅰの後方も含め24点の受音点を配置した。

$SA \cdot IL$ の実験値は(15)式より算出した。算出にあたっては，地面上に何も設置しない場合と，4棟の建物およびその両側の建物を設置した場合の音圧レベルの差異から，受音点 i での挿入損失 $IL_i^{(LS)}$ を1/3オクターブバンドごとに求めた。

$$SA \cdot IL = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} 10^{-IL_i^{(LS)}}\right) \qquad (15)$$

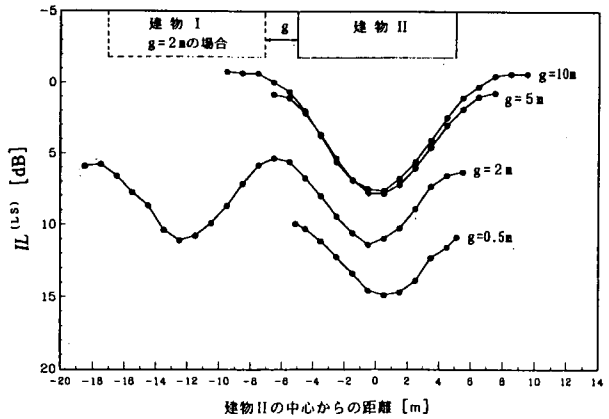
ただし，$g=0.5$mの時は，間隙背後の区間を0.25m区間に分割したため，他の1m区間の $IL_i^{(LS)}$ の測定値は(15)式において4点分と数えた。

(2) $IL_i^{(LS)}$ の実験値および4棟建物を用いた実験の妥当性

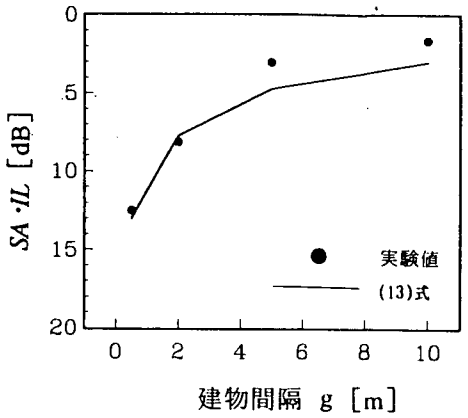
本実験では建物を等間隔に配置している。これは，$SA \cdot IL$ が建物間隙の位置や数に関わらず間隙率 α に依存して定まることが，(13)式の検討過程において明らかとなっている[6]からである。

図－11 に，受音点高さ1.2m，g が0.5m，2m，5m，10m時の各受音点での $IL_i^{(LS)}$ の実験値を示す。なお，$IL_i^{(LS)}$ は，自動車走行騒音の代表パワースペクトル[3]で重み付けしたA特性オーバーオール値として示した（**図－12**，**14** の $SA \cdot IL$ も同様）。

g が2mの場合，建物Ⅰ，Ⅱの後方で周期的な $IL_i^{(LS)}$ の変化が観測され，各周期の $SA \cdot IL$ もほぼ一致した。したがって，**図－10** に示す建物Ⅱの後方区間の $SA \cdot IL$ を測定すれば，建物が等間隔で無限に立地した場合とほぼ同等の結果が得られると判断した。



図－11 $IL_i^{(LS)}$ の模型実験値



図－12 建物間隔 g を変化させた場合の $SA \cdot IL$ の計算値と実験値の比較

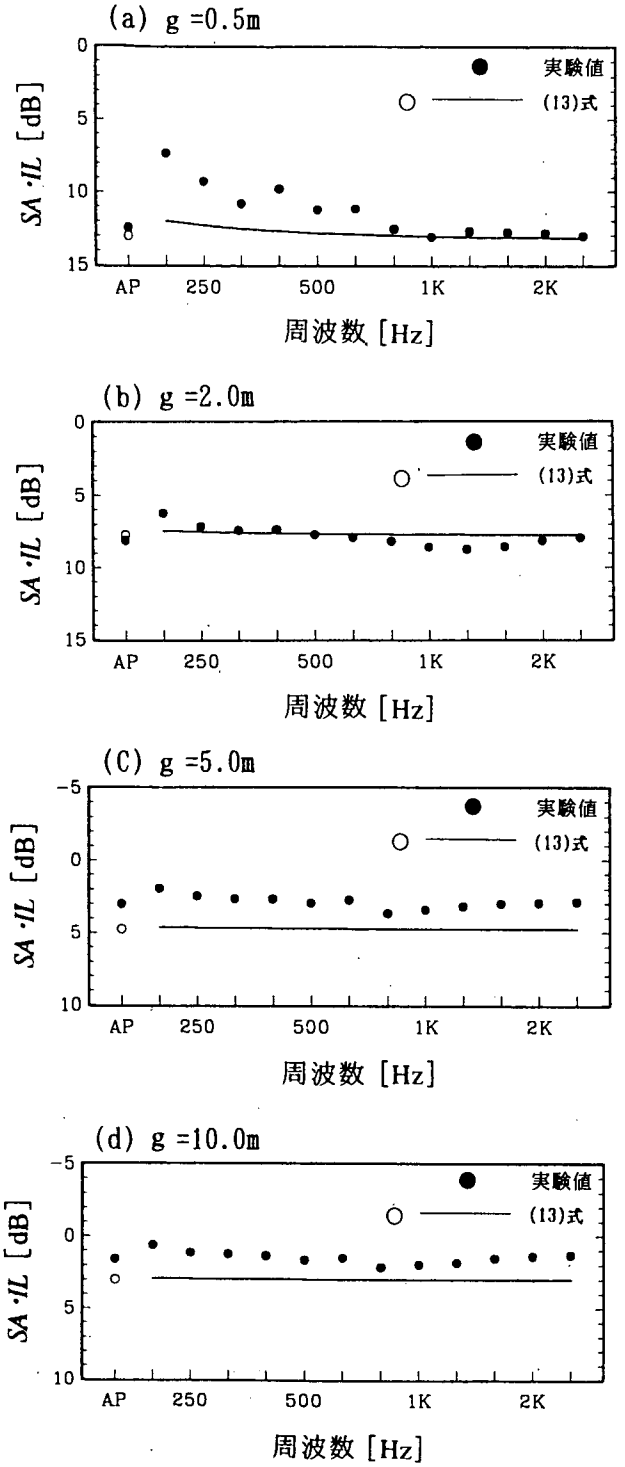
(3) $SA \cdot IL$ の計算値と模型実験値の比較

図－12 に受音点高さが1.2mの場合に，建物間隔 g を変化させた場合の $SA \cdot IL$ の計算値と実験値を示す。g が0.5m，2mの時は，計算値と実験値は非常によく一致している。しかし，g が5m，10mの時は，計算値が実験値より1～2dB程度大きい値を示している。

さらに**図－13** に，建物間隔 g と $SA \cdot IL$ の関係を周波数別に示す。$g=2$m，5m，10mでは，$SA \cdot IL$ の計算値，実験値とも，周波数にかかわらず，ほぼ一定である。これは周波数に依存する建物列上方の回折音が無視できるほど小さいためと考えられる。一方，$g=0.5$mの時の $SA \cdot IL$ 実験値は，周波数が低くなるにつれ減少する傾向が見られる。この時，$SA \cdot IL$ の計算値が周波数の低下とともにやや減少するのは上方回折音の影響だが，実験値では計算値を上回る $SA \cdot IL$ の減少が観測された。

次に，**図－14** に，$g=0.5$mの場合に，受音点高さを1.2m，4m，8m，12mとした時の $SA \cdot IL$ の計算値と実験値を示した。すべての受音点高さで，計算値と実験値は非常によく一致している。

g が小さい時には，(13)式による計算値は低周波数帯域で実験値とやや乖離する傾向が見られた。しかし，$SA \cdot IL$ を自動車走行騒音の代表パワースペクトル[3]で重み付けしたA特性オーバーオール値として算出する場合は，計算値と実験値の差は2dB以下である。したがって，(13)式は，道路交通騒音を対象とする場合，実用上，十分に利用できると考える。なお，受音点側の地面反射音を考慮した計算も行ったが，計算結果にほとんど差異は認められなかった。



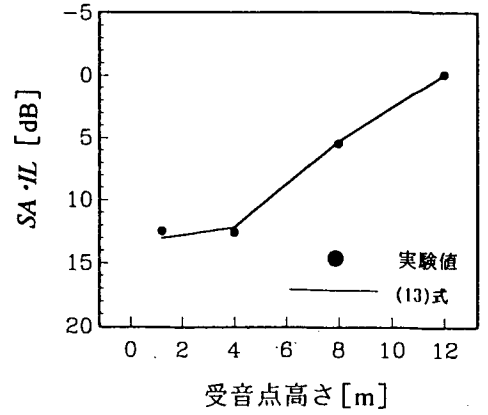
図－13　$SA \cdot IL$ の計算値と実験値の比較（周波数別）

3.4　計算方法の簡略化に関する検討

(13)式による $SA \cdot IL$ の計算に必要な建物高さ，建物奥行き，間隙率 α というパラメータと $SA \cdot IL$ の関係をケーススタディにより分析し，計算の簡略化の方法および適用範囲を明らかにする。

(1)　建物パラメータと $SA \cdot IL$ の関係の分析

対象道路として，都市内における幅員 30 m の 4 車線の平面道路を想定した。道路近接建物列の道路側壁面は道路端に位置するとし，建物奥行き（0～19 m），建物高さ（5～20 m），間隙率 α（0.05～0.5）を変化させた。音源は道路中央を移動することとし，受音点は建物後方（道路端からの距離は 20 m）で高さは 1.2 m，5 m，8 m とした。なお，対象周波数は道路交通騒音の主要帯域を含む 50 Hz～5 kHz とし，$SA \cdot IL$ の計算値は自動車走行騒音の代表パワースペクトル[3]で重み付けした A 特性オーバーオール値として示した。



図－14　受音点高さを変化させた場合の $SA \cdot IL$ の計算値と実験値の比較

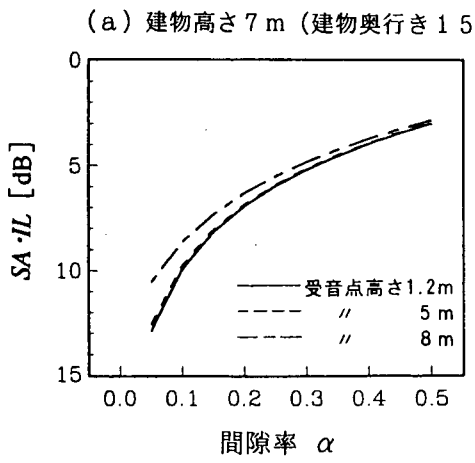
図－15 に，建物高さが 7 m（2 階建て相当）または 10 m（3 階建て相当）の場合に，受音点高さ別に，間隙率 α と $SA \cdot IL$ の関係を示す。これらの図から，$SA \cdot IL$ は α にしたがって 3～13 dB の範囲で大きく変化していることが分かる。また，受音点高さが建物高さより低い時は，$SA \cdot IL$ は受音点高さにはほとんど関係していない。

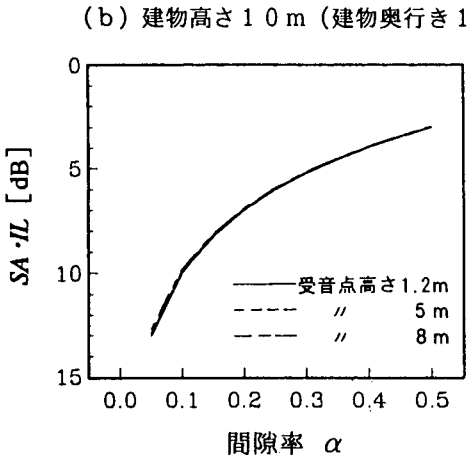
図－16 に，受音点高さ 8 m，間隙率 α が 0.05，0.2 または 0.5 の場合に，建物高さを 5 m から 20 m まで変化させた時の $SA \cdot IL$ の変化を示す。α により変化の状況は異なるが，建物高さが受音点より高い場合は，建物高さは $SA \cdot IL$ の算出にほとんど関係していない。

図－17 に，建物高さ 7 m，受音点高さ 5 m または 8 m，間隙率 α が 0.05，0.2 または 0.5 の場合に，建物奥行きを 0 m（道路側の壁面位置にある薄い障壁に相当）から 19 m まで変化させた場合の $SA \cdot IL$ の変化を示した。受音点が建物より低い場合だけでなく高い場合にも，建物奥行きは $SA \cdot IL$ にほとんど影響を与えないことが分かる。

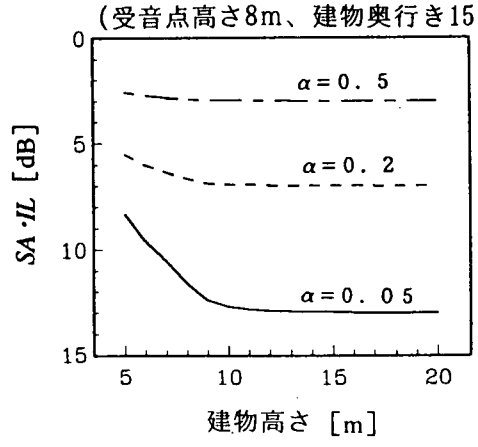
(2)　計算の簡略化の方法と適用範囲

以上の分析結果から，(13)式の簡略化の方法と適用





図－15　間隙率 α と $SA \cdot IL$ の関係

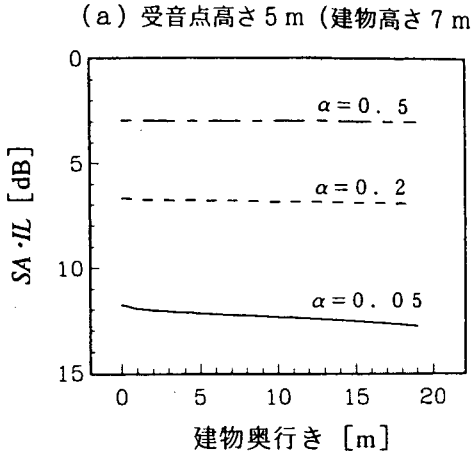


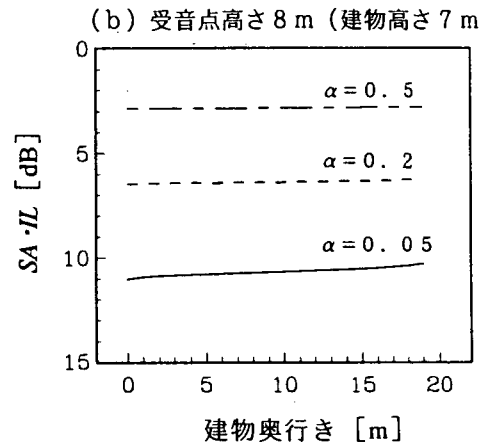
図－16　建物高さと $SA \cdot IL$ の関係

範囲は，次のように整理できる。

1）道路近接建物列より低い受音点では，$SA \cdot IL$ は，ほぼ間隙率 α によって決定される。したがって，建物の正確な高さや建物奥行きを調査する必要はなく，(13)式において，$10^{-IL_0(LS)/10} \fallingdotseq 0$ とした次式で計算すればよい。

$$SA \cdot IL = -\log_{10}\alpha \qquad (16)$$





図－17　建物奥行きと $SA \cdot IL$ の関係

(16)式は，高さや奥行きが異なる建物から構成される道路近接建物列にも適用できる。なお，α が小さい場合は，その設定誤差が $SA \cdot IL$ の計算値に与える影響が大きいため，α の調査には高い精度が要求される。

2）道路近接建物列より高い受音点での計算では，α に加えて，建物高さも設定する必要がある。一方，建物奥行きが $SA \cdot IL$ の計算結果に与える影響は，受音点が低い時と同様に小さい。したがって，建物を道路側の壁面からなる薄い障壁と考えても，計算上ほとんど支障はない。

4. ま と め

平面道路に直面した単独建物および建物列後方における L_{Aeq} の簡易な計算方法の検討を行った。

まず，単独建物後方の特定地点における L_{Aeq} の計算方法を２通り示し，これらの妥当性を計算値と模型実験値との比較および計算値相互の比較により明らかにした。また，これらの方法を建物群背後の特定地点での L_{Aeq} の予測に用いる場合の適用性につ

いて述べた。次に，道路に近接した建物列の背後における区間平均等価騒音レベル（$SA \cdot L_{Aeq}$）の計算方法を提案し，その妥当性を模型実験により検証した。

さらに，これらの計算に必要な建物高さ，水平方向の建物の見込み角θ，道路近接建物列の間隙率αなどの建物パラメータと計算値の関係を分析することにより，受音点位置に応じた計算の簡略化の方法を検討した。その結果，受音点の高さが建物より低い場合は，θやαのみを用いて予測計算を行えばおおむねよいことが明らかとなった。

なお，本論文で提案した2.1の（B）の方法や3.2の(13)式は，原理的には遮音壁の設置された道路に対しても応用が可能と考える。

今後は，本論文で提案した方法を実測値により検証すべきと考える。また，近接した建物列後方の特定地点におけるL_{Aeq}の計算方法や，2列以上の建物群背後における$SA \cdot L_{Aeq}$の計算方法について検討を行う必要がある。

謝辞

長期間にわたり模型実験に用いた線音源を貸与していただいた(財)小林理学研究所，模型実験の方法等について貴重な助言をいただいた同研究所の山本貢平氏ならびに計算を担当された（株)綜合技術コンサルタントの吉田光明氏に厚く感謝の意を表します。

参考文献

1）騒音に係る環境基準について，平成10年環境庁告示第64号（1998）

2）上坂克巳，大西博文，三宅龍雄，高木興一：幹線道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法，騒音制御，23巻3号，pp. 189～199（1999）

3）日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌，55巻4号，pp. 281～324（1999）

4）K. Yamamoto, K. Takagi : Expression of Maekawa's chart for computation, Applied Acoustics, Vol. 37, pp. 75～82（1992）

5）Department of Transportation, Federal Highway Administration, USA : FHWA Highway traffic noise prediction model, Report FHWA-RD-77-108（1977）

6）上坂克巳，大西博文，鉢嶺清範，千葉　隆，高木興一：低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究，土木学会環境工学研究論文集，34巻，pp. 307～317（1997）

7）上坂克巳，大西博文，鉢嶺清範，石川賢一，高木興一：種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究，騒音制御，23巻2号，pp. 99～109（1999）

8）加来治郎，山下充康：騒音の市街地浸透に関する研究，日本音響学会誌，35巻5号，pp. 257～261（1979）

(6) 道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベルの計算方法*

上坂克巳[*1]・大西博文[*1]・千葉　隆[*2]・高木興一[*3]

(1999年3月16日受付, 1999年7月13日受理)

【要旨】

騒音に係る環境基準が改定され，道路に面する地域の環境基準の達成状況の評価は，基準値を超過する住居等の戸数および割合を把握して行うことが示された。したがって，市街地における道路交通騒音を広域的に計算する方法の必要性が高まっている。本論文では，平面街路および遮音壁の設置された道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベル ($SA \cdot L_{Aeq}$) の計算方法を提案した。これらの方法は，市街地を道路に直面した建物列とその背後の建物群に大別してモデル化し，建物群の間隙を伝搬する音と建物群の上方を伝搬する音の寄与を合成して，$SA \cdot L_{Aeq}$ を算出するものである。計算方法の妥当性は，模型実験および現地調査により明らかにされた。

【ABSTRACT】

The revised environmental quality standards for noise provide that the status of noise in the "areas facing roads" should be evaluated by calculating the number and the ratio of residences at which L_{Aeq} excesses the standards. Therefore calculating road traffic noise in large built-up areas becomes increasingly important. This paper presents methods for calculating section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level ($SA \cdot L_{Aeq}$) in the built-up areas facing a surface street and a highway with noise barriers. In these methods, the built-up areas are classified into a row of buildings directly facing the road and the other buildings behind it. The values of $SA \cdot L_{Aeq}$ in the areas are calculated by summing the contributions from the sound paths propagating among buildings and over them. The validity of the methods presented here is verified by model experiments and field surveys.

キーワード：市街地，区間平均等価騒音レベル，模型実験と現地調査，騒音に係る環境基準，道路交通騒音

: Built-Up Areas, Section-Averaged Equivalent Continuous A-Weighted Sound Pressure Level ($SA \cdot L_{Aeq}$), Model Experiment and Field Survey, Environmental Quality Standards for Noise, Road Traffic Noise

1. はじめに

平成11年4月1日に，等価騒音レベル（以下「L_{Aeq}」という）を評価指標とする新たな「騒音に係る環境基準」[1]が施行された。同基準では，道路に面する地域の環境基準の達成状況の評価は，地域内の住居等のうち基準値を超過する戸数および超過する割合を把握して行うとされている。したがって，今後の騒音評価では，多数の建物が立地する地域（以

---

* Calculation Methods for $SA \cdot L_{Aeq}$ in Built-Up Areas Facing a Road

*1 Katsumi Uesaka and Hirofumi Ohnishi : Public Works Research Institute, Ministry of Construction (建設省土木研究所)

*2 Takashi Chiba : Public Planning & Policy Studies, Inc. ((株)公共計画研究所)

*3 Koichi Takagi : Graduate School of Engineering, Kyoto University (京都大学大学院工学研究科)

下「市街地」という）における道路交通騒音の状況を広域的に把握する必要がある。広域的な騒音の把握を測定により行うことは多大な労力を要するため，道路交通条件および建物の立地状況から騒音を推計する手法が有効である。

本論文では，道路に面した市街地における評価区間の平均的な騒音レベルを，道路からの距離に応じて簡便に計算する方法を検討する。

以下，まず，2. では，既存の研究との比較により本研究のねらいを明らかにする。次に，3. では，市街地のモデル化および市街地における騒音レベルの計算方法について示し，4. では，模型実験により建物群の間隙を伝搬する音の超過減衰を表す回帰式を作成する。さらに，5., 6. では，提案した計算方法を模型実験値，従来の実験式および現地実測値と比較し，その妥当性を検証する。

2. 本研究のねらい

沿道の市街地での騒音伝搬に関する研究事例としては，山田ら[2]，加来ら[3]，家田ら[4]，藤田ら[5]，藤本ら[6]の文献やISO9613-2の付録で示された方法[7]等が挙げられる。

これらの中で，現在，わが国で最も実用的に用いられているのは加来らの方法[3]である。この方法は，模型実験結果より，家屋による超過減衰量を道路の高さ，家屋密度，道路端からの距離で表す経験式として導いたものであるが，以下の課題を有している。

1) 郊外の住宅地を想定しているため，建物の立地密度（以下「建物密度」という）の適用範囲は0.34（200 m×200 m の面積中に200戸）以下，建物高さは2階建て以下，受音点高さは1.2 m と限定されている。また，都市部の市街地では，用途規制の差異等から道路に近接した地域とその背後の地域では建物密度が異なることもあり，それが騒音レベルの計算結果に与える影響は大きい（4.2参照）が，このことを計算上反映できない。

2) 平面道路だけでなく，高架道路を対象とした場合の計算式も示されているが，その適用条件は高欄高さが1 m の場合に限定され，それより高い遮音壁が設置された場合は適用ができない。

したがって，本論文では，特に都市部の市街地を想定し，建物密度が高く3階建て以上の建物が存在する場合にも適用が可能で，道路に直面した建物列（以下「道路近接建物列」という）とその背後の建物群（以下「背後建物群」という）の建物密度の差異を計算に反映できる方法を提案する。また，遮音壁のない平面道路（以下「平面街路」という）に加え，遮音壁が設置された道路も対象とし，広い受音点範囲で適用が可能な方法の構築を目指す。

3. 市街地のモデル化と騒音レベルの計算方法

3.1 騒音レベルの評価指標

騒音レベルの評価指標としては，筆者らが提案している[8]区間平均等価騒音レベル（Section-Averaged Equivalent Continuous A-Weighted Sound Pressure Level, $SA\cdot L_{Aeq}$）を用いる。なお，市街地における騒音レベルの区間評価の必要性および有効性については，土坂ら[8]を参照されたい。

$$SA\cdot L_{Aeq}=10\log_{10}\left(\frac{1}{x_2-x_1}\int_{x_1}^{x_2}10^{L_{Aeq}(x)/10}dx\right) \tag{1}$$

$SA\cdot L_{Aeq}$ [dB] は，道路端から一定距離隔たった一定高さの評価区間（x_1～x_2）が一定時間に受ける音のエネルギーを，時間的かつ空間的に平均した場合の騒音レベルである。

なお，$SA\cdot L_{Aeq}$ を測定で求める場合は，等間隔に配置した n カ所の測定点での $L_{Aeq}(i)$ から，次式により計算する。

$$SA\cdot L_{Aeq}=10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}10^{L_{Aeq}(i)/10}\right) \tag{2}$$

さらに，建物群および遮音壁による減音効果を表す指標として，それらの有無による $SA\cdot L_{Aeq}$ の差である区間平均挿入損失（Section-Averaged Insertion Loss, $SA\cdot IL$）[8]を用いる。

3.2 市街地における $SA\cdot L_{Aeq}$ 計算の基本的考え方

建物が密集した市街地では騒音の距離減衰が大きいため，広域的な騒音レベルの計算においては暗騒音補正を行うことが望ましい。ここでは，道路から一定距離隔たった一定高さの評価区間の $SA\cdot L_{Aeq}$ を，道路交通騒音（Road Traffic Noise）の寄与 $SA\cdot L_{Aeq}$(RN) と暗騒音（Background Noise）の寄与 $SA\cdot L_{Aeq}$(BN) とを合成した次式で求めることとする。

$$SA\cdot L_{Aeq}=10\log_{10}\left(10^{SA\cdot L_{Aeq}(RN)/10}+10^{SA\cdot L_{Aeq}(BN)/10}\right) \tag{3}$$

$SA\cdot L_{Aeq}$(RN) は，半自由空間での幾何減衰を考慮して計算される等価騒音レベル L_{Aeq}(RN) から，建物群，遮音壁による $SA\cdot IL$ を差し引いて求める。なお，ここでは地表面効果は無視する。

$$SA \cdot L_{Aeq}(RN) = L_{Aeq}(RN) - SA \cdot IL \qquad (4)$$

$L_{Aeq}(RN)$ の計算は，一般的に ASJ Model 1998[9] の方法によるが，十分長い直線道路ではこの方法を無限線音源に適用した次式を用いることができる。

$$L_{Aeq}(RN) = L_{WA} - 3 - 10\log_{10} d - 10\log_{10}(1{,}000\,V/N) \qquad (5)$$

ここで，L_{WA} は走行車両の A 特性パワーレベル [dB]，d は線音源（音源を設定する車線）から評価区間までの距離 [m]，V は車両の平均走行速度 [km/h]，N は交通量 [台/h] である。

一方，$SA \cdot L_{Aeq}(BN)$ は，別途，測定して設定することも可能であるが，一般的には騒音に係る環境基準[1]でいう昼間，夜間に対して，各々50 dB, 40 dB とすればよいと考える。これは，1) 環境騒音が，同基準の AA 類型の基準値に相当するこれらの値を下回ることは少ないと考えられること，2) 計算値を道路に面する地域の A 類型の基準値（昼間 60 dB, 夜間 55 dB）と比較して環境基準の達成状況を評価する時（B, C 類型の場合も同様）も，暗騒音補正の影響はほとんど無視できる，ことによる。

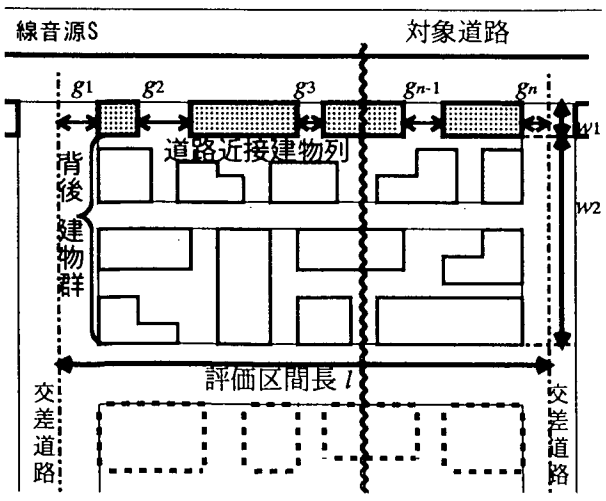
なお，$SA \cdot IL$ の計算方法については後述する。

3.3 市街地のモデル化と建物パラメータ

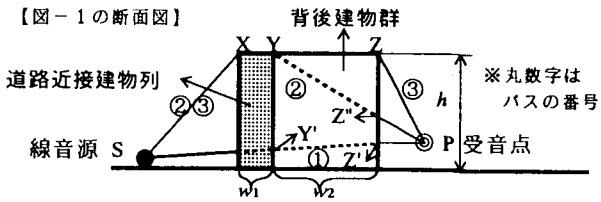
本論文でいう市街地（図－1 参照）は評価の基本単位でもあり，原則として対象道路およびそれと交差する道路で囲まれた地域とする。ただし，後述する市街地の建物パラメータがおおむね一定とみなせる地域は，統合して評価することができる。

音源は対象道路上にのみ線音源 S を想定し，交差道路からの発生音は考慮しない。

また，前述したように，市街地を形成する建物を道路近接建物列と背後建物群とに分類し，それらに対し，以下に示す五つの建物パラメータを与える（図－1, 2, (8), (9)式参照）。



図－1 市街地のモデル化（平面図）



(注)P が Z より高くなり SP が $\overline{YZ}$ と交わるときは，交点を Z' とし $d_2 = 0$ とする。さらに P が高くなり SP が Y の上を通過するときは，$d_1 = d_2 = 0$ とする。

図－2 平面街路を対象とする場合の音の伝搬パスと d_1, d_2 設定の考え方

1) 道路近接建物列および背後建物群の平均高さ h [m]

2) 道路近接建物列の間隙率 α

3) 道路近接建物列の平均奥行き w_1 [m]

4) 背後建物群の建物密度 β

5) 背後建物群の平均奥行き w_2 [m]

ここで，w_2 は道路近接建物列の後方壁面から，背後建物群の最後方壁面までの平均距離を表す。

建物パラメータとして，道路近接建物列に α，背後建物群に β を与えた理由は次のとおりである。

1) 道路近接建物列直後の評価区間では，建物間隙を伝搬する際の多重反射，散乱による音の減衰は小さく，建物が完全反射の場合の $SA \cdot IL$ は主に α を用いて簡易に求められることが明らかとなっている[8]（(10)式参照）。

2) 一方，背後建物群後方の評価区間（受音点を P で表す）の $SA \cdot IL$ 計算では，建物群中を多重反射，散乱しながら伝搬する音の減衰を考慮する必要がある。このためには，建物密度がパラメータとして有効なことが，従来の研究で明らかになっている[2),3),6),7)]。

また，h, w_1 および w_2 というパラメータは，受音点位置が高い場合や道路から離れている場合などに，特に重要となる。なお，基本的には道路近接建物列と背後建物群の平均高さがほぼ同一の場合を想定して議論を進め，両者が異なる場合の取り扱いについては 3.4(3) で述べる。

3.4 市街地における $SA \cdot IL$ の計算方法

(1) 平面街路を対象とする場合

まず，平面街路を対象に，建物群による $SA \cdot IL$ の計算方法を示す（図－2 参照）。

今，線音源 S から発生し市街地を伝搬する音の経

路（パス）として，以下の三つを考える。

1) パス 1：道路近接建物列の前面および上面の間隙から入射し，背後建物群中を伝搬する音を表すパス
2) パス 2：背後建物群の上面の間隙から入射し，背後建物群中を伝搬する音を表すパス
3) パス 3：道路近接建物列および背後建物群の上方を伝搬する音を表すパス

ここで，パス 1，パス 2，パス 3 による音の寄与（Contribution，エネルギー量）を C_1, C_2, C_3 とし，建物群が存在しない場合の音の寄与を C とすると，$SA \cdot IL$ は以下の式で与えられる。

$$SA \cdot IL = -10\log_{10}(C_1/C + C_2/C + C_3/C) \quad (6)$$

$C_1/C \sim C_3/C$ は次式で計算する。

$$\begin{cases} C_1/C = \alpha\,(1-10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10})\,10^{-\Delta L(\beta,d_1)/10} \\ C_2/C = (1-\beta)\,(10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10} - 10^{-IL^{(LS)}_{SXZP}/10}) \times 10^{-\Delta L(\beta,d_2)/10} \\ C_3/C = 10^{-IL^{(LS)}_{SXZP}/10} \end{cases} \quad (7)$$

ここで，$IL^{(LS)}_{SXYP}$ および $IL^{(LS)}_{SXZP}$ は，線音源（Line Source）に対する無限長の連続した反射性厚み障壁（Reflective Wide Barrier）による挿入損失を表す。これらは上坂ら[10]の点音源に対する減音量 ΔL（RW）の計算式を用いて，障壁の有無によるユニットパターン[9]の積分値の差として求める。また，$\Delta L(\beta, d_i)$ は，パス i（$i=1, 2$）が背後建物群を通過する際の超過減衰量［dB］を示し，β および d_i の関数（(13)式参照）である。さらに d_i はパス i の背後建物群中の通過距離を示し，図－2 で定義される。

(7)式の導出の考え方を示す。まず，図－3 のように，エッジを X, Y または X, Z とする反射性厚み障壁の上方回折音の寄与を，各々 C_0, C_3 とすると，

$$C_0/C = 10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10}, C_3/C = 10^{-IL^{(LS)}_{SXZP}/10}$$

が得られる。

C_1 の算出では，道路近接建物列の間隙を通過する音の寄与を $\alpha\,(C-C_0)$ とし，それに背後建物群を通過する音の寄与の減少割合を乗じた。C_2 の算出では，同様の考え方において，背後建物群の上面の間隙から入射する音の寄与を $(1-\beta)\,(C_0-C_3)$ で表した。これらを C で除すことにより，(7)式の C_1/C および C_2/C に関する式が得られる。

一方，道路近接建物列の間隙率 α は，次式で定義される[8]（図－1 参照）。

$$\alpha = \left(\sum_{i=1}^{n} g_i\right)/l \quad (8)$$

ここで，l は評価区間長［m］を，g_i（$i=1\sim n$）は道路近接建物列の i 番目の建物間隔（gap）を表す。なお，g_1, g_n は，評価区間の両端（一般的には，市街地外周の交差道路の中心線）から最も近い建物側壁面までの距離を示す。

さらに，背後建物群の建物密度 β は次式で定義される（図－1 参照）。

$$\beta = \frac{A}{w_2 l} \quad (9)$$

ここで，A（m^2）は，背後建物群中に存在する建物の建築面積の和を表す。

なお，(7)式に $\beta=0$ を代入すると，(6)式は，

$$SA \cdot IL = -10\log_{10}\{\alpha\,(1-10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10}) + 10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10}\} \quad (10)$$

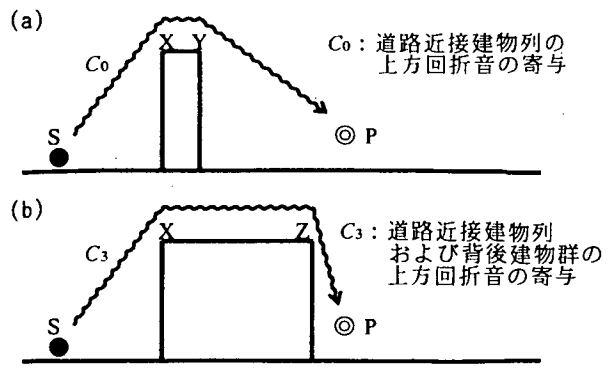
となり，上坂ら[8]による平面道路に近接する建物列直後の評価区間の $SA \cdot IL$ 計算式と一致する。

(2) 遮音壁のある道路を対象とする場合

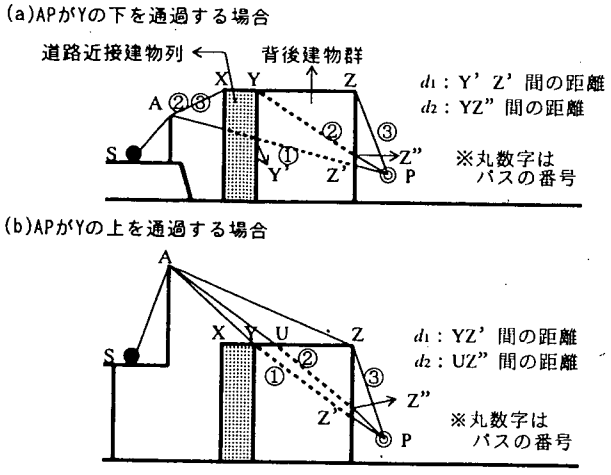
高さが一定の連続した遮音壁が設置された道路を対象とする場合，(6)式の $C_1/C \sim C_3/C$ は，(7)式の考え方を応用した次式で計算する（図－4 参照）。

$$\begin{cases} C_1/C = \alpha\,(10^{-IL^{(LS)}_{SAP}/10} - 10^{-IL^{(LS)}_{SAXYP}/10}) \times 10^{-\Delta L(\beta,d_1)/10} \\ C_2/C = (1-\beta)\,(10^{-IL^{(LS)}_{SAXYP}/10} - 10^{-IL^{(LS)}_{SAXZP}/10}) \times 10^{-\Delta L(\beta,d_2)/10} \\ C_3/C = 10^{-IL^{(LS)}_{SAXZP}/10} \end{cases} \quad (11)$$

ここで，$IL^{(LS)}_{SAP}$ は，線音源に対する遮音壁による挿入損失を表し，点音源に対する半無限障壁による減音量の計算式[11]を用いて求める。また，$IL^{(LS)}_{SAXYP}$ は無限線音源に対する半無限障壁（エッジ A）と反射性厚み障壁（エッジ X, Y）による二重回折による挿入損失を示す。その算出には，点音源に対する半無限障壁（Single Barrier）および反射性厚み障壁による二重回折の減音量 ΔL（D, S-RW）$_{SAXYP}$ の計算が基本となるが，これを次式で求めた。



図－3 建物群を連続した反射性厚み障壁とみなすことによる上方回折音の計算



(注)さらにAが高くなり，APがZより上を通る場合は $d_2=0$ とする。一方，PがZより高い場合の扱いは，図－2（注）を参照されたい。

図－4　遮音壁のある道路を対象とする場合の音の伝搬パスと d_1, d_2 設定の考え方

$$\Delta L\,(\mathrm{D,S\text{-}RW})_{\mathrm{SAXYP}}=\Delta L_{\mathrm{SAP}}+\Delta L\,(\mathrm{RW})_{\mathrm{AXYP}} \tag{12}$$

この式では，上坂ら[12]の二重障壁による減音量の計算方法を応用した。すなわち，半無限障壁による減音量を基本とし，さらにエッジA上に仮想音源を想定して反射性厚み障壁による減音量を加えた。

(3)　道路近接建物列が背後建物群より高い場合の $SA\cdot IL$ の近似計算方法

3.4(1), (2)において，道路近接建物列の平均高さが背後建物群より高い場合は，近似的には(6)式の C_2/C, C_3/C を，$\alpha C_2/C$, $\alpha C_3/C$ に改めればよい。この方法では，道路近接建物列の上方を伝搬する音の寄与は無視できるほど小さいと仮定している。

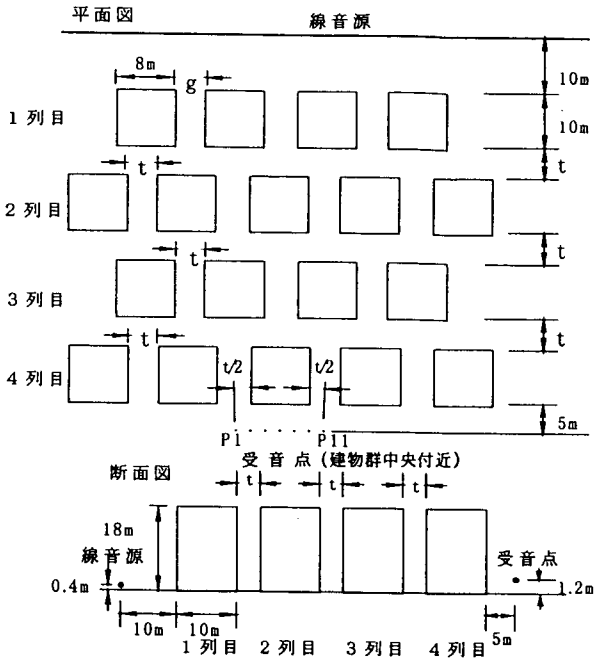
4.　背後建物群を通過する音の超過減衰式の検討

背後建物群を通過する音の超過減衰量を表す実験回帰式を作成するため，無響室において縮尺比1/40の音響模型実験を行った。

4.1　模型実験の方法

(1)　実験方法

模型実験の配置および実験ケースを図－5に示す。この図において，「建物列数」とは実際に配置した列数を表し，「受音点位置 i（i=1～4）列目背後」とは，i 列の建物を配置したと仮定した時に，その最後列の建物の受音点側の壁面から5m（実物換算。本論文では，模型実験に関する数値は，「原寸」とことわらない限り実物換算で示す）離れた位置を指す。また，各々の受音点位置において，建物が存



ケース No	建物列数	1列目の建物間隔 g（m）	2列目以後の建物間隔 t（m）	受音点位置 1列目背後	2列目背後	3列目背後	4列目背後
1	1	1			①	②	
2	2	1	1		①		
3	3	1	5			②	
4	1	2				③	
5	3	2	5			③	
6	1	3		○	④	⑤	
7	2	3	3		④		
8	3	3	3			⑤	
9	3	3	5			○	
10	1	5		○	⑥	⑦	⑧
11	2	5	5		⑥		
12	3	5	5			⑦	
13	4	5	5				⑧
14	1	7		○	⑨	⑩	⑪
15	2	7	7		⑨		
16	3	7	7			⑩	
17	4	7	7				⑪

注：(13)式，(14)式の算出には，同じ○数字の実験データの組み合わせを用いた。

図－5　模型実験の配置および実験ケース

在しない場合の音圧レベルも測定した。

直方体の建物模型の大きさは，建築面積80 m²（間口8m，奥行き10m）で，高さは建物上方の回折音を無視できると考えられる18mとした。この模型を，ジェットノイズを利用した線音源[3]（延長320m，半径＝音源高さ0.4m）に沿って320m以上の延長で整列させた。

建物列数，音源から1列目の建物（道路近接建物列）の間隔 g と2列目以降の建物群（背後建物群）の前後左右の間隔 t を，実験ケースのように変化させて，等間隔に配置した受音点P1～P11（高さ1.2m）で音圧レベルを測定した。測定は1/4インチタイプのマイクロホンを移動させて行った。そして，各マイクでの音圧レベル（L_{Aeq} 相当）から(2)式により建物群設置前後の $SA\cdot L_{\mathrm{Aeq}}$ を算出し，その差分を $SA\cdot IL$ とした。なお，対象周波数は，200～1,250 Hzとし，1/3オクターブバンドごとに分析を行った。

本実験では，t を等間隔として建物を配置した。これは，建物密度が同じであれば建物配置が異なっても $SA \cdot IL$ の差異は小さいことが，加来らの実験結果[3]において明らかとなっているためである。

建物模型の材料には発泡スチロールを用いたが，音源からの音が直接入射する1列目および2列目建物の音源側の面には，厚さ3mm（原寸）のアクリル板を貼付し透過損失を高めた。また，地面（床面）は，同じアクリル板を用いて反射性とし，すべての建物模型底面と地面との隙間はシールして塞いだ。

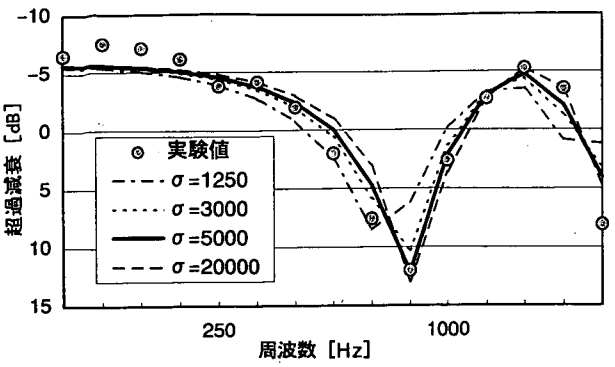
(2) 発泡スチロールの吸音率

発泡スチロールを十分広く敷き詰め，その表面から1mの高さに10mの間隔で音源と受音点を配置した。その時の周波数別の超過減衰の実測値と波動音響理論による計算値の比較を図−6に示す。計算上の流れ抵抗 σ が5,000 kPa・s/m^2 の時に，計算値と実験値の残差二乗和が最小となり，ピークディップを生ずる周波数も一致した。そこで，発泡スチロールの実効的流れ抵抗 σ を5,000 kPa・s/m^2 とし，その統計入射吸音率を周波数別に推定[13]した。そして，自動車交通騒音のA特性代表パワースペクトル[9]で重み付けして求めた200〜1,250 Hzのオールパスの吸音率は0.12であった。

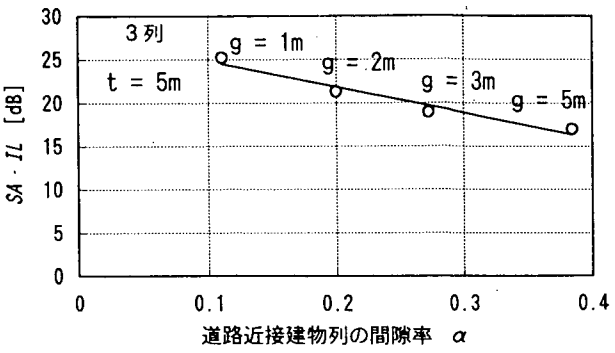
わが国では建物間隙の伝搬音に対する建物壁面の吸音効果に関する研究はほとんど見当たらない。しかし，ドイツ連邦交通省が定めた沿道騒音防音指針RLS-90では，平らな建築物正面での反射による吸音効果を1dB（吸音率0.2程度に相当）に設定している。したがって，本実験に用いた発泡スチロールは，模型材料としてほぼ妥当であると判断した。

4.2 α, β, d_i および周波数 f と $SA \cdot IL$ の関係

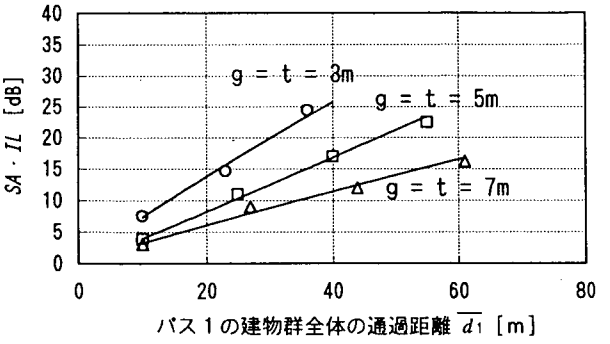
建物列数3列，受音点位置3列目背後，t=5m（β=0.41）の場合に，g を変化させた時の α と $SA \cdot IL$ の関係を図−7に示す。ここで，$SA \cdot IL$ は自動車走行騒音の代表パワースペクトル[9]で重み付けしたA特性オーバーオール値として示している（図−8も同様）。g を2mから1mに狭くすると，建物群全体での建物密度 $\overline{\beta}$ は，0.51から0.53に変化する程度であるが，$SA \cdot IL$ の増加は3dBをやや上回っている。これは，α が1/2になった影響が大きいと考えられる。したがって，α は建物パラメータとして重要な役割を果たしていることが分かる。



図−6 周波数別超過減衰の実験値と計算値の比較



図−7 α と $SA \cdot IL$ の関係



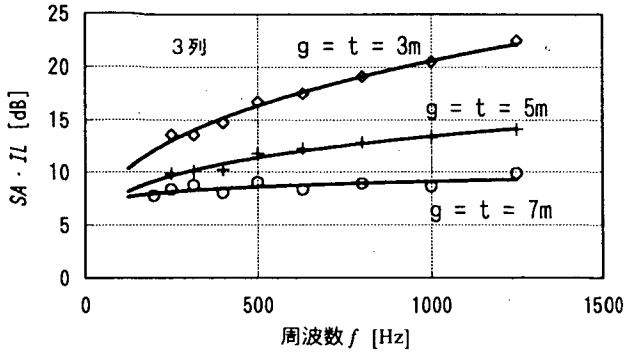
図−8 $\overline{d_1}$ と $SA \cdot IL$ の関係

次に，建物列数を順次増加させ，最後列の建物後方5mの位置が受音点の時に，パス1（図−2参照）の建物群全体（道路近接建物列および背後建物群）の通過距離 $\overline{d_1}$ と $SA \cdot IL$ の関係を図−8に示す。建物密度による $SA \cdot IL$ の差異は，$\overline{d_1}$ の増加とともに大きくなる。$\overline{d_1}$=40mの場合には，g=t=3m（α=0.27, β=0.56）の時が，g=t=7m（α=0.47, β=0.31）の時より，13dB程度 $SA \cdot IL$ が大きい。

さらに図−9には，建物列数3列，受音点位置3列目背後の場合に，周波数 f と $SA \cdot IL$ の関係を示す。建物密度が大きくなるにつれ，f とともに $SA \cdot IL$ が増加する傾向が顕著となる。

4.3 背後建物群を通過する音の超過減衰式

4.2の検討結果を踏まえて重回帰分析を行い，伝搬音が背後建物群を通過する際の超過減衰量を表す実験回帰式を作成した。なお，分析にあたっては，図−5の下注に記した模型実験ケースの組合せによ



図－9　周波数 f と $SA \cdot IL$ の関係

り，1列目の建物がある状態で，さらに2列目以降の建物を追加した場合の $SA \cdot IL$ を測定した。

まず，β，d_i を説明変数とした場合の式を示す。

$$\Delta L(\beta, d_i) = 0.775\{\beta/(1-\beta)\}^{0.630} \times d_i^{0.859} \quad (13)$$

次に，説明変数として，周波数 f も加えた回帰式を示す。

$$\Delta L(\beta, d_i, f) = 0.235\{\beta/(1-\beta)\}^{0.646} \times d_i^{0.833} \times f^{0.201} \quad (14)$$

これらの式では，超過減衰量が，$\beta=0$ の時に0となり，$\beta=1$ の時に無限大となるように配慮した。

なお，(13)式は，自動車走行騒音の代表パワースペクトル[9]で重み付けしたA特性オーバーオール値（200～1,250 Hz）としての実験値から求めた回帰式である。一方，(14)式は，1/3オクターブバンドごとの実験値から求めた回帰式である。ただし，回帰式検討にあたっては，S/N比10 dB以上のデータを選定した。

図－10 (a)，(b) に，(13)，(14)式による計算値と実験値の関係を示す。両式の決定係数 R^2 は，各々0.935, 0.939であり，両式の場合とも重回帰分析の精度は非常に高い。また，(14)式において，β, d_i, f の偏相関係数は，順に0.86, 0.82, 0.58であり，β，d_i と ΔL (β, d_i, f) の相関が特に高い。

5. 模型実験値および従来の実験式との比較

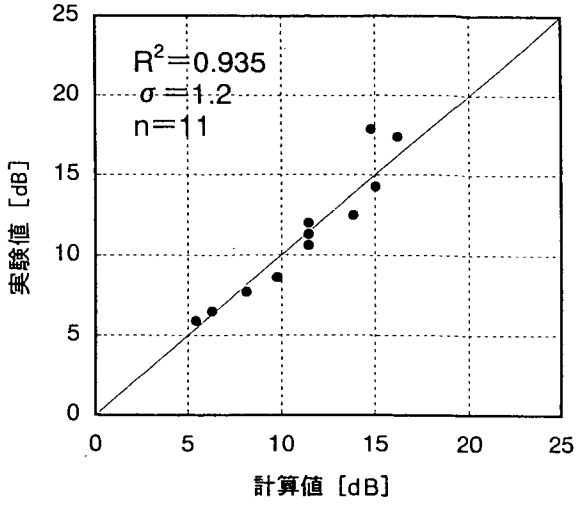
5.1 平面街路を対象とした模型実験による検証

受音点高さが変化した場合の(6)，(7)式の妥当性を検証するため，図－11に示す模型実験を無響室で行った。建物高さ（6 m，2階建て相当），受音点高さ（5通り）以外の実験条件は4.1と同様である。

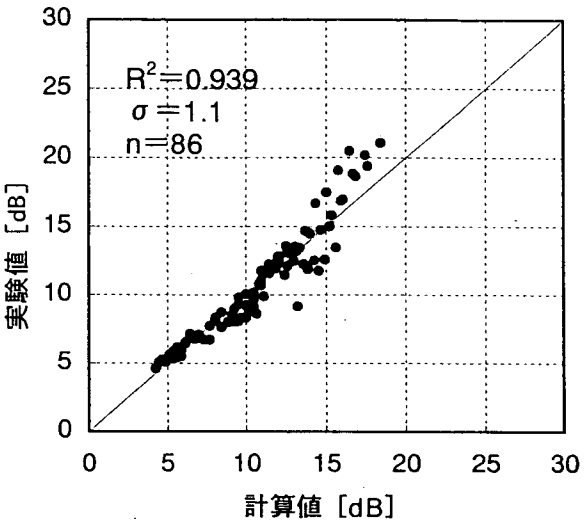
$SA \cdot IL$ の計算は，200～1,250 Hzの1/3オクターブバンドごとに行った。背後建物群を通過する音の減衰式には(14)式を用い，(7)式の中の ΔL (β, d_i) を ΔL (β, d_i, f) に読み替えて(14)式を代入した。

図－12に受音点高さと $SA \cdot IL$ の関係を示す。

(a) (13)式の場合



(b) (14)式の場合

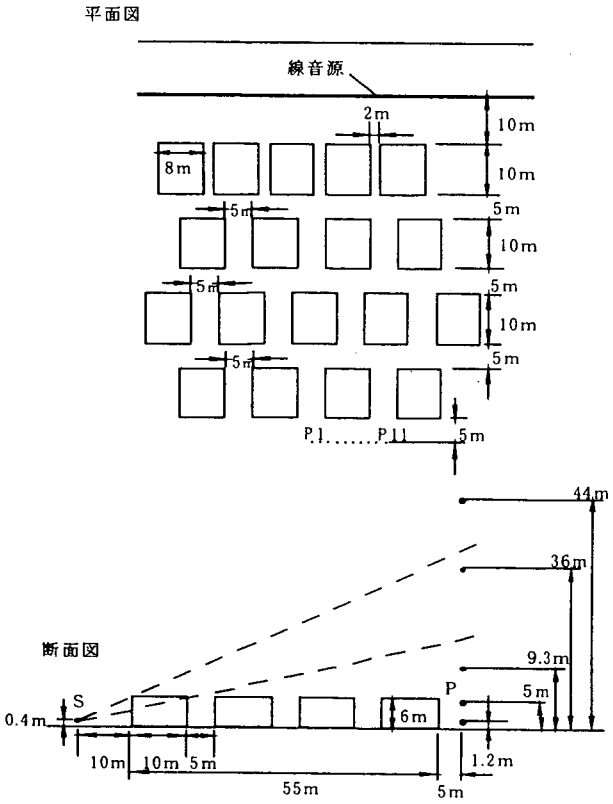


図－10　背後建物群による超過減衰量の計算値と実験値の比較

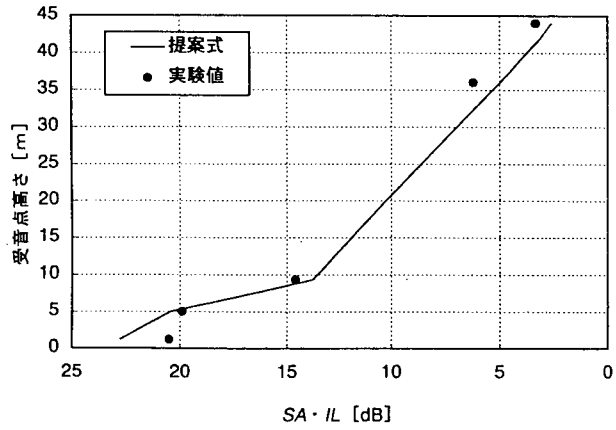
$SA \cdot IL$ は自動車走行騒音の代表パワースペクトル[9]で重み付けしたA特性オーバーオール値として表した。この図によると，$SA \cdot IL$ の計算値と実験値は，受音点高さ1.2 mの時に最大で約2 dBの差異が認められる程度であり，全体的によく一致している。したがって，(6)，(7)，(14)式の妥当性がほぼ検証されたと考える。

5.2 加来らの実験式との比較

(13)，(14)式の検討に用いたデータの範囲は，α が0.11～0.47，β が0.31～0.81，道路端（5.2では，1列目建物の前面の位置とする）からの距離（水平距離。本論文中，以下同じ）は66 m以内であった。ここでは，(13)，(14)式の適用範囲の検討に加え，遮音壁のある道路に関する(11)式の妥当性を検討するため，加来らの実験式[3]による計算結果との比較を行う。ただし，提案式での回折計算の基本となる半無限障壁



図－11　模型実験の配置



図－12　受音点高さと $SA \cdot IL$ の関係

による減音量は，ASJ Model 1998[9] における回折効果の補正量 ΔL_d を符号を替えて用いた。

加来らは，底面積 100 m²，高さ 4 m（1 階建て相当）の建物と底面積 50 m²，高さ 6.5 m（2 階建て相当）建物が 1：1，1：2，1：4 と混在した場合の超過減衰量の平均値を実験式の検討に用いている。したがって，提案式による計算では，上記の混在比率を 1：2 と考え，建物の平均的な大きさを間口 8.2 m，奥行き 8.2 m，高さ 6 m と設定し，それらが均等に分布している状態を想定した。また，加来ら[3] と同様，音源は道路面と同じ高さで 1 列目建物の前面から 10 m 離れた位置とし，受音点位置は前後する建物の隙間の中央で高さは 1.2 m とした。

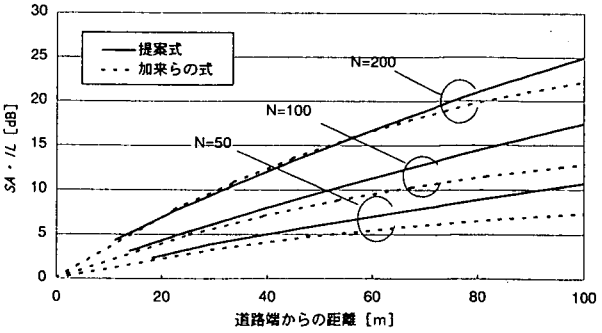
まず，平面街路（音源高さ 0 m）を対象に，(6)，(7)，(13) 式の提案式による計算値と加来らの実験式を比較して図－13 に示す。

道路端からの距離が 50 m 程度までは，N（200 m ×200 m 中の建物の戸数）＝50（建物群全体の建物密度 $\bar{\beta}$＝0.084），N＝100（$\bar{\beta}$＝0.168），N＝200（$\bar{\beta}$＝0.336）の時のいずれも，両式の差異は 1 dB 程度以下と小さい。したがって，提案式は，この範囲内であれば，$\bar{\beta}$＝0.1 程度の小さい建物密度でも十分適用できると考えられる。

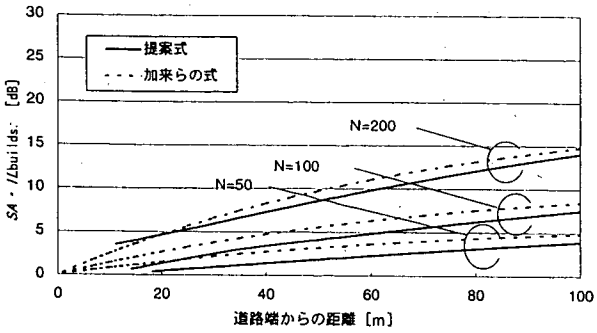
一方，道路端からの距離が 100 m になると，提案式は加来らの式より 3～5 dB 大きい $SA \cdot IL$ を与えている。この一因として，上方回折音の寄与 C_3 を求める際の回折点 X, Z の設定方法（図－3（b）参照）の問題があると考える。すなわち，建物密度が小さい場合には，この方法では上方回折音の寄与 C_3 を過小評価する可能性がある。そこで，提案式での計算上，Z の位置を，受音点から 2 列目の建物後壁の上部エッジに変更したところ，道路端からの距離 100 m の場合でも，すべての N において加来らの式との差異は 2 dB 以下となった。建物密度が小さく道路端と受音点の距離が大きい場合は，上方回折点の位置が計算結果に与える影響は大きいと考えられる。したがって，提案式の精度向上のためには，建物密度を考慮した上方回折点の合理的な設定方法を検討する必要がある。

さらに，提案式と加来らの式による計算値の差異の原因として，両式に用いた建物模型材料の表面の吸音率の差異が考えられる。

次に，道路面の高さ 10 m，高欄高さ 1 m の高架道路を対象に，(6)，(11)，(13) 式の提案式と加来らの式の計算結果の比較を行った結果を図－14 に示す。ここで，$SA \cdot IL_{builds.}$ とは，高架道路が既に存在する場合に，建物群の有無による区間平均挿入損失を表す。



図－13　(6)，(7)，(13) 式と加来らの式との比較



図－14　(6)，(11)，(13)式と加来らの式との比較

この場合は，すべての N において，道路端からの距離 100 m まで，提案式は加来らの式とよく一致している。これは，今回の計算例では，道路端からの距離 100 m でも(11)式の C_2 が C_3 より卓越するため，上述した上方回折点の設定上の誤差が $SA \cdot IL_{builds.}$ の計算結果に及ぼす影響が小さいためである。したがって，このような場合には，提案式は，建物密度が小さく道路端から受音点までの距離が大きい時まで適用できると考える。

6. 現地調査による検証

本論文での提案式の検証を行うため，東京の都市部および郊外部の平面街路に面した市街地を対象に現地調査を行い，(3)～(7)式，(13)式による計算値との比較を行った。

6.1 対象とした道路および市街地の概要

現地調査を行った 3 地区の概要を**表－1** に示す。また，A 地区を例として，建物の立地状況および L_{Aeq} の測定点配置を**図－15** に示す。

測定点は，対象道路とほぼ平行な区画道路（背後建物群中）および対象道路端に設け，高さは 1.2 m とした。測定はすべて深夜に行い，積分型騒音計を用いて 10 分間の L_{Aeq} を同時測定するとともに，対象道路の交通条件も同時に観測した。なお，$SA \cdot L_{Aeq}$ は，同じ区画道路上に 10 m 程度の等間隔で配置した測定点での L_{Aeq} を用いて，(2)式より算出した。

また，試算の結果，今回対象とする受音点位置では(7)式における C_1 が C_2，C_3 より卓越することが明らかとなったため，C_1/C のみを計算上考慮した。C_1/C の計算においても，上坂ら[8]の結果から**図－3** (a) の C_0 は無視できるほど小さいと考えた。

この場合，(6)，(7)，(13)式は次式で表せる。

$$SA \cdot IL = -10\log_{10}\alpha + 0.775\{\beta/(1-\beta)\}^{0.630} \times d_1^{0.859} \quad (15)$$

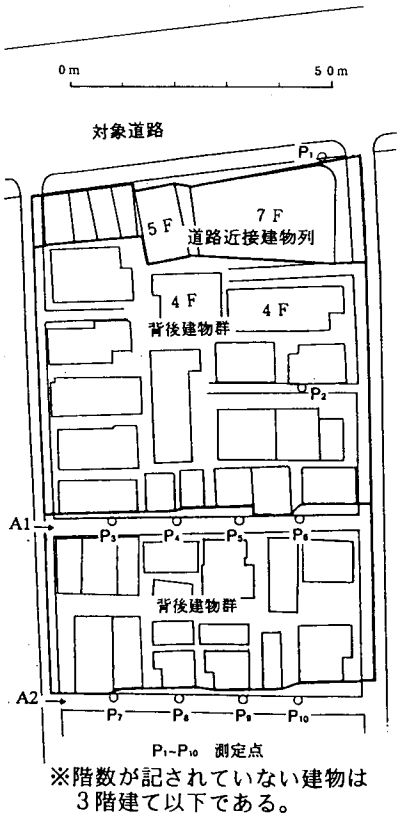
(15)式の計算において，特に高い精度が要求される α[8] は現地調査により把握したが，β，d_1（$\fallingdotseq w_2$）は**図－15** に示す住宅地図より読みとった。

なお，B 地区では，背後建物群中で区画道路が入り組み，道路端からの距離により測定点を配置できる評価区間長が異なったため，α，β とも 2 種類を与えた。さらに，C 地区においては，背後建物群中に

表－1　対象とした道路および市街地の概要

交通・沿道条件		A 地区		B 地区		C 地区	
交通量[台/時]		1,674		738		492	
大型車混入率[%]		1		1		5	
平均速度[km/h]		31.5		41.5		53.7	
道路幅員[m]		23		16		23	
$SA \cdot L_{Aeq}$ 実測区間		A1	A2	B1	B2	C1	C2
市街地の建物パラメータ	α	0.20	0.20	0.24	0.36	0.15	0.15
	β	0.52	0.52	0.52	0.46	0.38	0.27
	w_2 [m]	48.7	82.7	11.4	46.7	15.7	45.4
参考 車線数		4		2		4	
参考 用途地域 道路近接建物例		商業地域		近隣商業地域		住居地域	
参考 用途地域 背後建物群		2 種住居専用地域		2 種低層住居専用地域		住居地域	

(注)「$SA \cdot L_{Aeq}$ 実測区間」は**図－15，16** 中の記号に対応する。また，計算上，線音源は道路中央に設定した。



※階数が記されていない建物は
3 階建て以下である。

図－15　市街地のモデル化と測定点（A 地区）

おいて道路からの距離により建物密度が明らかに変化したため，βのみ2種類を与えた。

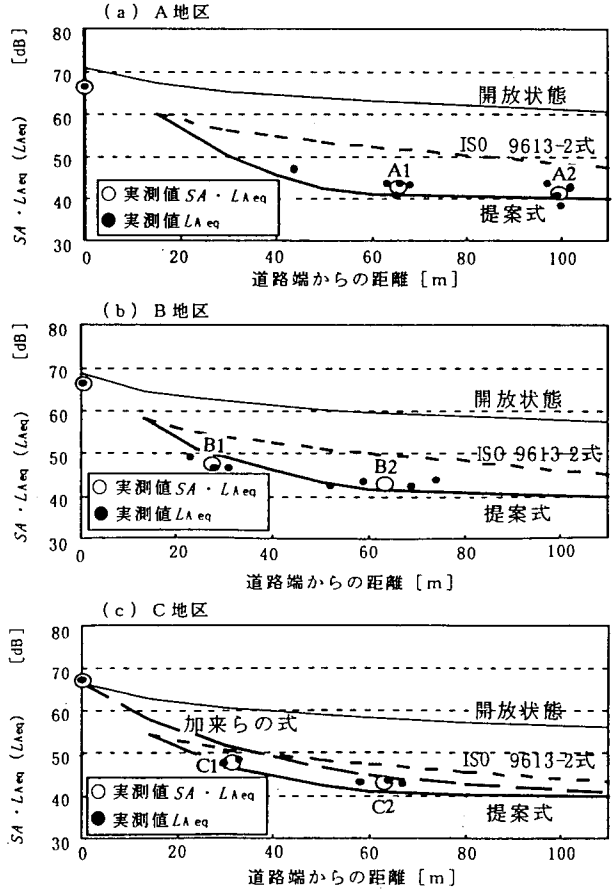
6.2 計算値と実測値の比較

図－16に，提案式，ISO 9613-2[7]の方法による$SA \cdot L_{Aeq}$の計算値，開放状態におけるL_{Aeq}の計算値，およびL_{Aeq}，$SA \cdot L_{Aeq}$の実測値を示す。また，建物密度が加来らの方法[3]の適用範囲と考えられるC地区においては，その計算結果も併せて示した。

なお，(5)式において，走行車両のA特性パワーレベルL_{WA}は，ASJ Model 1998[9]の一般道路の非定常走行区間におけるパワーレベル式を用いて算出した。

$$\text{大型車類}：L_{WA}=88.8+10\log_{10}V$$
$$\text{小型車類}：L_{WA}=82.3+10\log_{10}V \qquad (16)$$

図－16によると，すべての地区において道路端からの距離が60～100 mまでの範囲で，提案式による$SA \cdot L_{Aeq}$の計算値は実測値とおおむね整合しており，その差は最大でも3 dB未満である。なお，環境基準の達成状況の評価では，基準値が異なる「幹線交通を担う道路に近接する空間」と「背後地」[1]の境界（道路端から15～20 m）付近での計算精度が特に要求される。B地区，C地区の結果からみると，これらの位置での計算値と実測値の差異は2 dB未満と非常に小さい。



図－16 各種計算式と現地実測値との比較

一方，ISO 9613-2の方法で計算された建物群による減衰量は，実測値より過小であることが分かる。また，C地区において，加来らの方法はおおむね実測値と整合している。

なお，今回は夜間の測定のため，(3)式において$SA \cdot L_{Aeq}$ (BN)＝40 dBとした。今後，より詳細に提案式を検証するためには，$SA \cdot L_{Aeq}$ (BN) およびβを現地調査に基づき設定することが必要と考える。

7. ま と め

平面街路および遮音壁が設置された道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベル（$SA \cdot L_{Aeq}$）の計算方法を提案した。

この方法では，市街地を道路近接建物列（間隙率α）と背後建物群（建物密度β）に大別してモデル化した。そして，建物群に入射しその間隙を伝搬して受音点に至る音の寄与と，建物群の上方を伝搬する音の寄与を合成することにより$SA \cdot L_{Aeq}$を算出した。上方回折音の計算には，筆者らが提案する反射性厚み障壁による減音量の計算方法を用い，背後建物群の間隙を伝搬する音の超過減衰量を表す回帰式は模型実験を通じて作成した。

本提案式の妥当性および適用範囲は，模型実験値，従来の実験式および現地実測値との比較により明らかにされた。その結果，道路端からの距離が，おおむね50 m以内の範囲であれば，建物の立地密度，道路の高さ，遮音壁の有無にかかわらず，提案式が適用できることが明らかとなった。

一方，平面街路において，道路端から受音点までの距離が50 mを超えβが0.3より小さい場合は，$SA \cdot L_{Aeq}$の計算値がやや過小となるおそれがある。提案式の適用範囲の拡張および精度向上のためには，建物密度を考慮した上方回折点の合理的な設定方法の検討が必要と考える。

また，背後建物群を通過する音の超過減衰式は，現地実測データの集積により検証していく必要がある。α，β等の市街地の建物パラメータの実用的な調査・設定方法も今後の課題である。

謝辞

長期間にわたり模型実験に用いた線音源を貸与していただいた(財)小林理学研究所に厚く感謝の意を表します。また，本稿で引用した文献3)における実験条件を詳細にご教示いただいた同研究所の加来治郎氏，本稿での模型実験の方法について貴重な助

言をいただいた同研究所の山本貢平氏ならびに計算を担当された(株)公共計画研究所の周　暁路氏に対し厚く感謝の意を表します。

参　考　文　献

1）騒音に係る環境基準について，平成10年環境庁告示第64号（1998）
2）山田一郎，石井　泰：市街地における騒音伝搬の過剰減衰の予測の試み，日本音響学会講演論文集，pp. 507～508（1978.10）
3）加来治郎，山下充康：騒音の市街地浸透に関する研究，日本音響学会誌，35巻5号，pp. 257～261（1979）
4）家田信吾，馬恒　堅，久野和宏，池谷和夫：仮想都市空間における騒音伝搬予測の一手法，日本音響学会誌，39巻4号，pp. 239～246（1983）
5）藤田真一，青井一郎，厚井弘志，笈西隆滋：ランドサットTMデータによる建物面積率を用いた道路周辺の環境騒音予測モデル，日本リモートセンシング学会誌，6巻4号，pp. 5～10（1986）
6）藤本一寿，金　華日，白川秀樹，安永和憲：戸建て住宅地への道路交通騒音の伝搬，日本音響学会騒音・振動研究会資料N-98-43（1998）
7）ISO9613-2：Acoustics —Attenuation of sound during propagation outdoors— Part2：General method of calculation, Annex A. 3（1996）
8）上坂克巳，大西博文，三宅龍雄，高木興一：道路に直面した単独建物および建物列後方における等価騒音レベルの簡易計算方法，騒音制御，23巻6号，pp. 430～440（1999）
9）日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌，55巻4号，pp. 281～324（1999）
10）上坂克巳，大西博文，三宅龍雄，高木興一：幹線道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法，騒音制御，23巻3号，pp. 189～199（1999）
11）K. Yamamoto, K. Takagi：Expression of Maekawa's chart for computation, Applied Acoustics, Vol. 37, pp. 75～82（1992）
12）上坂克巳，大西博文，三宅龍雄，山本貢平，高木興一：多重回折による減音効果の計算方法～障壁間隔が大きい場合～，日本音響学会講演論文集，pp. 705～706（1999.3）
13）山本貢平，平尾善裕：模型実験用吸音材の吸音率推定方法に関する一考察，日本音響学会講演論文集，pp. 705～706（1991.10）

（7）多孔質弾性舗装の自動車走行騒音低減効果*

大西　博文*1・明嵐　政司*1・南里　吉輝*2・高木　興一*3

（1999年6月24日受付，1999年9月14日受理）

【要　旨】

古タイヤのゴム粒子から作られる多孔質弾性舗装に関して，自動車走行騒音及び吸音率の測定を行った結果，次のような知見が得られた。これらのことから同舗装は道路交通騒音対策として大きな効果を発揮するものと考えられる。1）走行速度が40～120 km/h の範囲で，乗用車の場合約16～19 dB，大型貨物車の場合約6～10 dB と非常に大きな減音効果があった。2）多孔質弾性舗装は，排水性舗装が減音効果を持たない600 Hz 以下の周波数帯域でも大きい減音量を示し，これが排水性舗装よりも大きい減音効果を有する要因となっている。3）垂直入射吸音率は舗装厚さによってピークを示す周波数帯域が異なるが，おおむね800～2,000 Hz の周波数帯域で約0.9のピーク値を示す。

【Abstract】

We carried out some measurements of vehicle noise and a normal incidence absorption coefficient of the poro-elastic road surface (PERS), which was made of rubber granules obtained from wasted tires, and have obtained the following findings. We consider that PERS has a very large reduction effect on the vehicle noise. 1) PERS has very large noise reduction effects of about 16-19 dB for passenger cars and about 6-10 dB for heavy trucks at a speed of 40-120 km/h. 2) PERS has a large noise reduction effect in the frequency range less than 600 Hz, where the drainage asphalt pavement has little reduction effect. This makes the noise reduction effect of PERS much larger than that of the drainage pavement. 3) The peak value of normal incidence absorption coefficient of PERS is about 0.9. It appears in the frequency range of 800-2,000 Hz, where the peak frequency differs from each other due to the thickness of PERS.

キーワード：多孔質弾性舗装，自動車走行騒音，騒音対策，タイヤ路面音

Poro-elastic road surface, Vehicle noise, Noise reduction measures, Tire-road noise

1. はじめに

道路交通騒音の状況は，環境庁の調査によると平成9年度では全国の幹線道路沿道での測定点4,772カ所のうち13.3% しか環境基準を達成しておらず[1]，厳しい状況にある。また，環境基準を10 dB 以上超過している地点も少なからずある。これに対し，自動車構造の改善等自動車騒音単体規制の強化，遮音壁の設置や排水性舗装の敷設等道路構造対策の推進，業務・商業施設の幹線道路沿道への誘致等沿道土地利用対策の推進等各種の対策が講じられているが，沿道の騒音状況の改善ははかばかしくない。この理由としては，自動車交通量の増加が著しいこと，また上記の対策では効果が十分大きくない，あるいは効果は大きいが遮音壁のように道路と沿道地域の間で自動車の出入りのあるような一般道路では適用できないなどが挙げられる。騒音対策としての排水性舗装は，通常よく用いられている密粒舗装に代わって用いられるもので，沿道アクセスを阻害しないため自動車専用道路だけでなく広く一般

---

* Vehicle Noise Reduction Effect of Poro-Elastic Road Surface

*1 Hirofumi Ohnishi and Seishi Meiarashi : Public Works Research Institute, Ministry of Construction（建設省土木研究所）

*2 Yoshiteru Nanri : Central Consultant Inc.（(株)セントラルコンサルタント）

*3 Koichi Takagi : Kyoto University（京都大学）

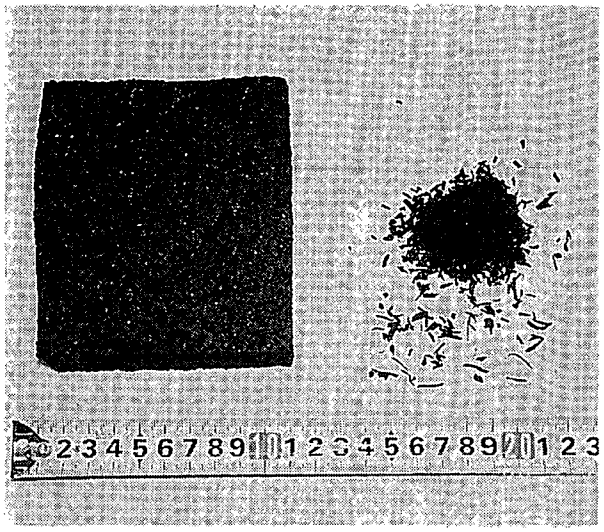
道路でも用いることができる。しかし，その騒音低減効果は約3～5 dB[2]と十分大きなわけではないので，上述のように環境基準を10 dBも超過している箇所では基準を満たすような十分な対策とはならない。そこで，減音効果が大きく適用箇所に制約がない対策が望まれるわけである。本稿で述べる多孔質弾性舗装は，現在実用化を目指して研究開発が行われているところであるが，排水性舗装と同様に沿道アクセスを阻害しないため広く適用でき，またその騒音低減効果はこの後で述べるように排水性舗装と比べて相当大きいものであり，道路交通騒音対策として極めて有効なものと考えられる。

本稿では，まず多孔質弾性舗装について説明する。次にこの舗装の自動車走行騒音低減効果を把握するために行った実験の概要を述べ，これら実験から得られたデータに基づき多孔質弾性舗装の騒音低減効果を分析・考察した。なお，ここでいう騒音低減効果とは，通常用いられる密粒舗装における自動車走行の騒音レベルから多孔質弾性舗装等における騒音レベルを差し引いたもののことである。

2. 多孔質弾性舗装とは

多孔質弾性舗装は，道路舗装の3～5 cm程度の表層として通常よく使われる密粒度アスファルトの代わりに，古タイヤを粉砕して作られるゴム粒子をウレタン樹脂で固めて作られたゴム版を用いた舗装のことである。ゴム粒子の大きさ，形状には色々なものがあり，ここでは幅1～2 mm，長さ10～20 mmのひじき状のゴム粒子を用いて多孔質弾性舗装の表層版を成型した（図－1参照）。もともとこの舗装はスウェーデンのNilssonらによって1970年代の中頃に考案され，1990年代の初期まで断続的に研究開発が行われたが，実用化には至っていない[3)~6)]。一方，筆者らは上記のような多孔質弾性舗装版を用いて研究開発を行っており，その実用化のため騒音低減効果[7),8)]以外にも走行安全性，施工性，耐久性等に関する研究を実施している。

本舗装は，ゴム粒子を固めたものであるため多孔質であり，またゴムでできているため弾性を有している。これらの特徴のため，本舗装は通常の密粒舗装に比べ自動車走行騒音が格段に小さい。前者の特徴は排水性舗装と同じであるが，後者は排水性舗装にはないものである。これが本舗装の騒音低減効果を排水性舗装より大きくしている要因であると考えられる。これら3種類の舗装の路面性状を図－2に示す。



図－1　多孔質弾性舗装のゴム粒子と成型版

3. 実験の概要

3.1 自動車走行騒音測定の実験概要

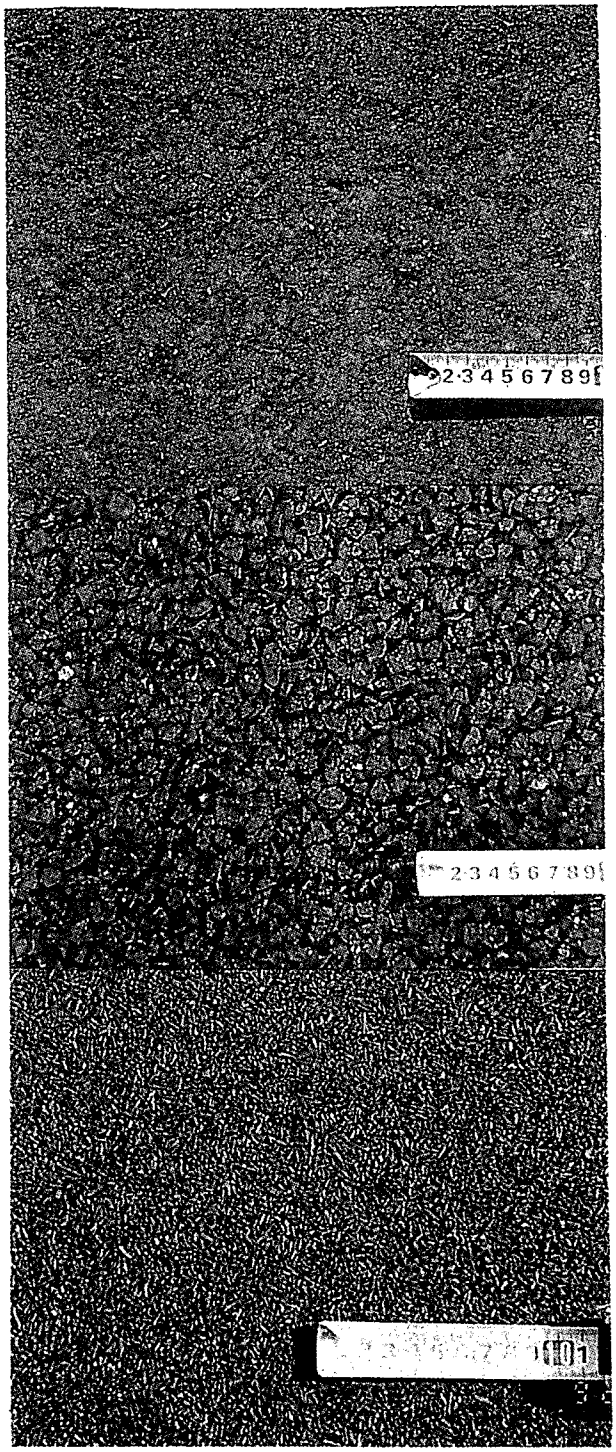
建設省土木研究所の試験走路に敷設された3種類の多孔質弾性舗装と密粒舗装の上を試験車を走行させ，その時の走行騒音を測定した。試験車は乗用車（排気量1,980 cc）及び大型貨物車（排気量10,520 cc，最大積載量12 t）を用いた。これら試験車両の走行速度は，それぞれ40～160 km/h及び40～120 km/hの範囲で20 km/h刻みとし，定常走行と惰性走行を行った。なお，大型貨物車の積載条件は定積載とした。これら各条件で試験車を3回ずつ走行させ，測定された3個の騒音レベルを算術平均して各条件の測定値とした。

騒音測定用のマイクロフォンは自動車の走行中心線から側方に5.6 m，地上1.2 mに設置した。また，マイクロフォンを中心として前後10 mの位置に走行速度計測用の赤外線センサーを設置した（図－3参照）。

一方，多孔質弾性舗装は前述のゴム粒子を厚さ5 cm，縦横それぞれ1 mのパネル状に工場で製作したものを，試験走路の基層上に接着剤で接着した。このとき本舗装の空隙率は，30%，35%及び40%の3種類とした。次に，後述するように最も騒音低減効果の大きい空隙率40%の多孔質弾性舗装に関して，厚さを2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cmとして，またゴム粒子の大きさを小さいもの（直径約1.0 mm，長さ約10 mm）と大きいもの（直径約1.5 mm，長さ約15 mm）を用いて同様の騒音測定を行った。

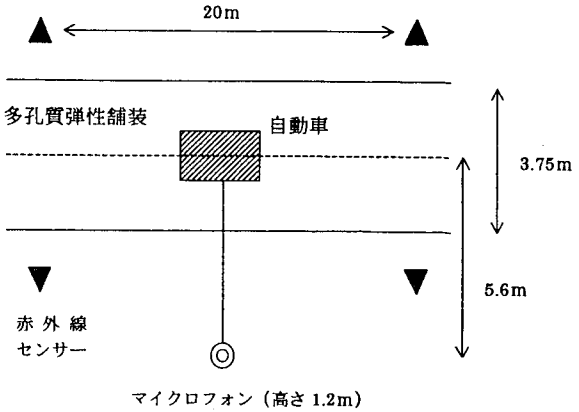
3.2 垂直入射吸音率の測定の概要

上記の各種類の多孔質弾性舗装のパネルから直径



図－2　各種舗装の路面性状（上から密粒舗装，排水性舗装，多孔質弾性舗装）

98 mm, 28 mm の供試体を各種類3組ずつ作製し，これら供試体を用いて音響管による2マイクロフォン法で音響インピーダンス比を測定し，垂直入射吸音率を求めた。



図－3　自動車走行騒音の測定機器の配置

4. 多孔質弾性舗装の騒音低減効果

4.1　自動車走行騒音の測定結果

(1)　空隙率と減音効果

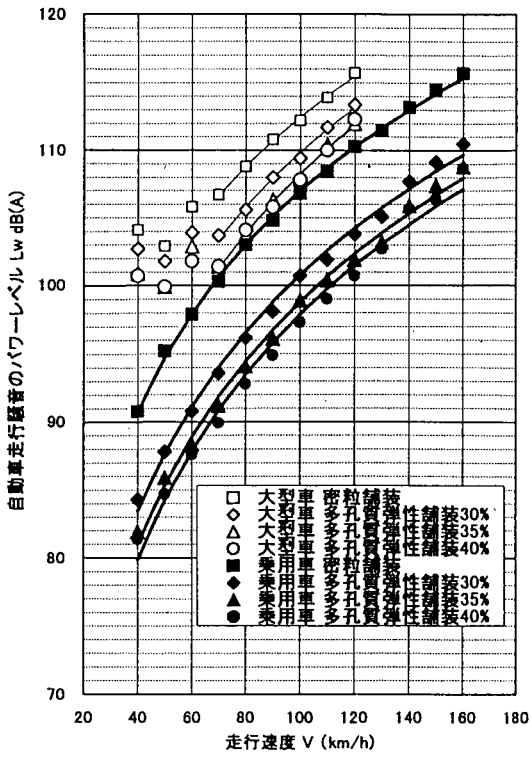
試験走路に敷設された3種類の空隙率30%，35%，40%の多孔質弾性舗装と密粒舗装の上で試験車を定常走行させたときの騒音のパワーレベルを図－4に示す。このときの表層の厚さは5 cmであり，ゴム粒子は小さいものを用いた。なお，ここでは図－3に示すマイクロフォンの直前の地点を中心とする1秒間の走行距離の区間における自動車走行騒音を用いて有限長自乗積分法によりパワーレベルを求めた。乗用車の場合，走行速度が40～160 km/hの範囲で，空隙率30%の多孔質弾性舗装は約5～7 dBの騒音低減効果を示した。空隙率35%，40%のものは約7～10 dBの減音効果を示した。

一方，大型貨物車の場合は，走行速度が40～120 km/hの範囲で，空隙率30%の多孔質弾性舗装は約1～3 dB，空隙率35%，40%のものは約3～6 dBの減音効果を示した。

両車種とも空隙率が大きいほど大きな騒音低減効果を示す。空隙率30%と35%の減音効果の差は大きいが，空隙率35%と40%の差はあまり大きくない。また，大型貨物車に比べ乗用車の方が騒音低減効果は大きい。これは，多孔質弾性舗装の騒音低減効果が主として発揮されるタイヤ路面騒音の自動車走行騒音全体に占める割合が，大型貨物車より乗用車の方が大きいためである。

ここで，減音効果が最も大きい空隙率40%の多孔質弾性舗装のパワーレベルL_wと走行速度Vの回帰式を乗用車及び大型貨物車について示すと，それぞれ次のとおりである。

$$L_w = 7.2 + 45.3 \log_{10} V \qquad (1)$$



図－4　車種別，舗装種類別自動車走行騒音のパワーレベルと走行速度の関係

$$L_w = 17.8 + 45.2 \log_{10} V \qquad (2)$$

このとき得られた密粒舗装のパワーレベルと走行速度の回帰式は，乗用車及び大型貨物車についてそれぞれ次のとおりである。

$$L_w = 25.1 + 41.0 \log_{10} V \qquad (3)$$

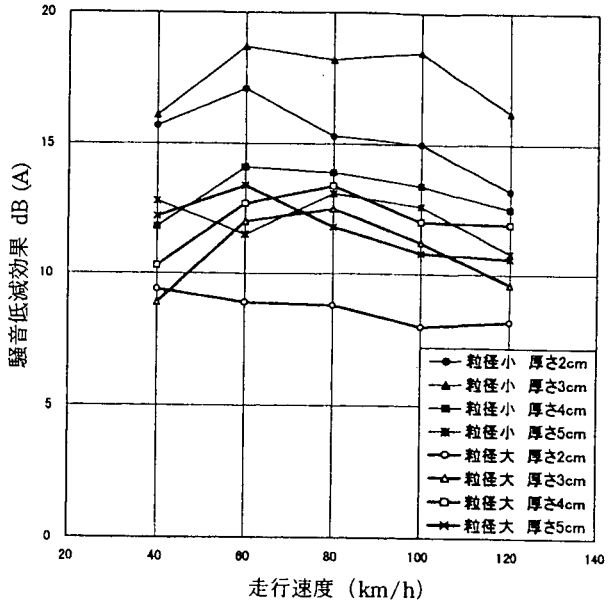
$$L_w = 37.0 + 37.7 \log_{10} V \qquad (4)$$

これら回帰式の速度項の係数を比べると，密粒舗装では約38～41，多孔質弾性舗装では約45と，パワーレベルの速度依存性は多孔質弾性舗装の方が大きくなっている。

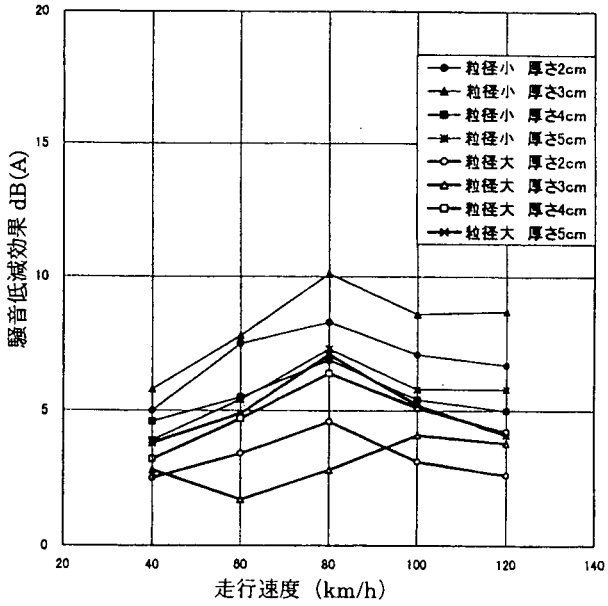
なお，大型貨物車の場合，走行速度が40 km/hから50 km/h，60 km/hから70 km/hへ上昇するときパワーレベルが低下しているが，これは上記の速度変化のときにトランスミッションギアが変わったためである。

(2)　舗装厚・ゴム粒子の大きさと減音効果

上記のとおり空隙率が40%の多孔質弾性舗装が最も大きい騒音低減効果を示したので，空隙率を40%として，表層の厚さを2～5 cmまで1 cm刻みとし，またゴム粒子の大きさを大と小として同様の騒音測定を行った。このときの自動車走行騒音の低減効果を示したものが図－5, 6である。これによると乗用車の場合，速度が40～120 km/hの定常走行の場合，厚さ3 cm，ゴム粒子小の多孔質弾性舗装が



図－5　表層厚さ別，ゴム粒子径別多孔質弾性舗装の騒音低減効果（乗用車，定常走行時）



図－6　表層厚さ別，ゴム粒子径別多孔質弾性舗装の騒音低減効果（大型貨物車，定常走行時）

最も騒音低減効果が大きく約16～19 dBであった。次に減音効果が大きかったのは厚さ2 cm，ゴム粒子小のもので約13～17 dBであった。減音効果が最も小さかったのは，厚さ2 cm，ゴム粒子大のもので約8～9 dBであった。減音効果の速度依存性を見ると，小さいゴム粒子の多孔質弾性舗装においては，60 km/hのとき最大となった減音効果はその後速度の上昇とともに緩やかに低下している。全般的にゴム粒子が小さい方が減音効果は大きかった。また，表層版の厚さは必ずしも厚い方が減音効果が大

きいわけではなく，ゴム粒子が小さい場合はむしろ厚さが3cm，2cmの方が4cm，5cmよりも大きい減音効果を示した。

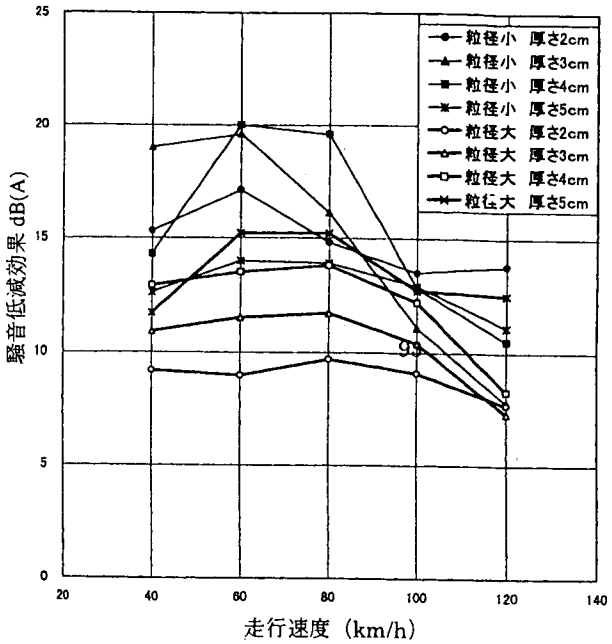
一方，大型貨物車の場合も，走行速度が40～120km/hの範囲で，厚さ3cm，ゴム粒子小の多孔質弾性舗装が最も騒音低減効果が大きく約6～10dBであった。次に減音効果が大きかったのは厚さ2cm，ゴム粒子小のもので約5～8dBであった。減音効果が最も小さかったのは，厚さ2cm，ゴム粒子大のもので約2～4dBであった。減音効果の速度依存性は，どの仕様の多孔質弾性舗装の場合でも40km/hから80km/hまでは速度の上昇とともに減音効果は大きくなり，その後120km/hまでは速度の上昇とともに効果は低下する。乗用車の場合もそうであるが，排水性舗装のように減音効果が速度上昇とともに単調に増加するといった明確な傾向を示さない。大型車の場合も，全般的にゴム粒子が小さい方が減音効果は大きかった。また，表層版の厚さも，ゴム粒子が小さい場合は厚さが3cm，2cmの方が4cm，5cmよりも大きい減音効果を示した。

(3) 惰性走行時の騒音低減効果

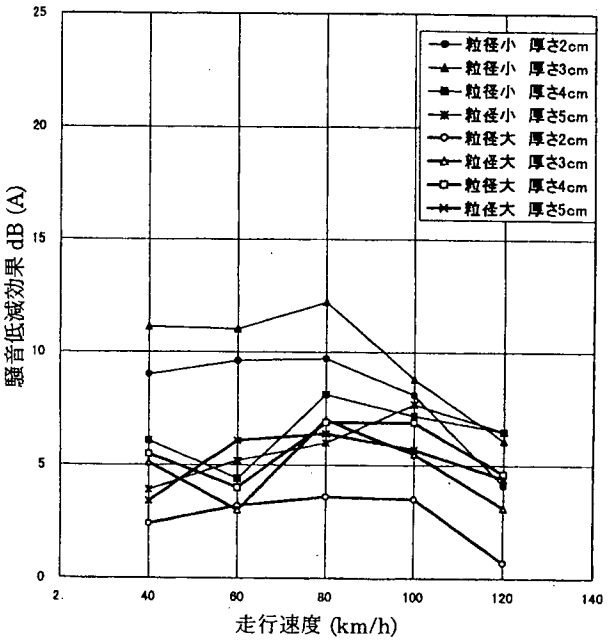
これ以降は上述のとおり騒音低減効果が最も大きい多孔質弾性舗装，すなわち空隙率40%，厚さ3cm，ゴム粒子小のものを中心にして述べる。

惰性走行時の騒音低減効果を乗用車についてみると，走行速度が40～120km/hの範囲では速度が40km/hのとき約19dBで，60km/hのとき約20dBと最大になり，その後速度の上昇とともに急激に減音効果が小さくなり120km/hでは約8dBとなった（図－7参照）。これは，密粒舗装におけるパワーレベルが走行速度の上昇に伴い大きくなるよりも，速度上昇に伴う多孔質弾性舗装におけるパワーレベルの増大の方が大きいためである。この傾向は定常走行時にもみられたが，惰性走行時にはより顕著にみられる。

一方，大型貨物車では走行速度が40～120km/hの範囲で約6～12dBの騒音低減効果を示した。速度が40～60km/hでは約11dBで，80km/hのとき最大の約12dBとなり，その後120km/hの約6dBまで低下する（図－8参照）。定常走行時と比べると80km/hまでの減音効果は11～12dBと大きい状態が続くが，80km/hを超える範囲での減音効果は急激に低下し，定常走行時と同程度となる。これは，定常走行時の40～80km/hの範囲では自動車走行騒音全体に占めるエンジン音，吸排気音等（以後，駆動機関音という）の割合が大きいが，惰性走行時には駆動機関音はなくなりタイヤ路面音だけになるためである。



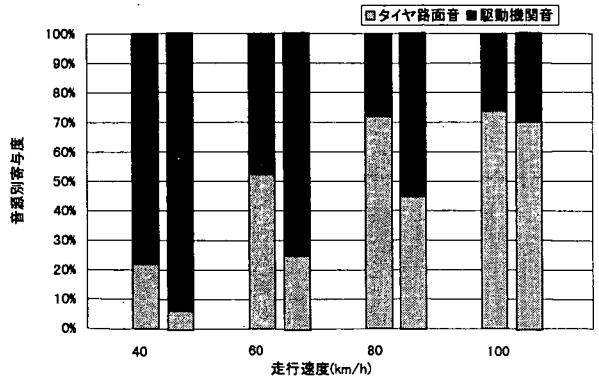
図－7 多孔質弾性舗装の騒音低減効果（乗用車，惰性走行時）



図－8 多孔質弾性舗装の騒音低減効果（大型貨物車，惰性走行時）

(4) タイヤ路面音と駆動機関音

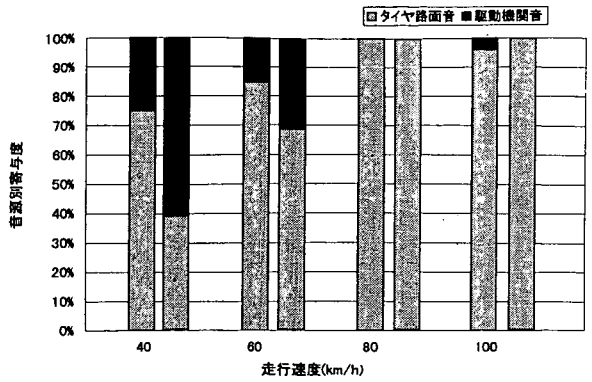
惰性走行騒音をタイヤ路面音とし，定常走行騒音から惰性走行騒音を差し引いたものを駆動機関音として，定常走行騒音におけるこれら音源別の寄与率を大型貨物車について示したものが図－9である。密粒舗装では走行速度が40km/hのとき自動車走



図－9　自動車走行騒音の音源別寄与度（大型貨物車）

行騒音全体の 78% を駆動機関音が占めていたが，60 km/h では駆動機関音の寄与（48%）とタイヤ路面音の寄与（52%）がほぼ同じ大きさになった。さらに，80 km/h, 100 km/h となると逆にタイヤ路面音の寄与が大きくなり 72～74% を占めた。一方，多孔質弾性舗装では 40 km/h のとき駆動機関音が 94% を占めていたが，60 km/h で 75%，80 km/h で 55% に減少し，さらに 100 km/h では 30% にまで減少した。このときのギヤ位置は，走行速度が 40 km/h のとき 4 速，60 km/h のとき 5 速，80 km/h 及び 100 km/h のとき 6 速であった。多孔質弾性舗装の場合も密粒舗装同様に走行速度が上昇すると駆動機関音の寄与が低下するが，同じ走行速度における駆動機関音の自動車走行騒音全体に占める割合は多孔質弾性舗装の方が密粒舗装より常に大きい。これは，多孔質弾性舗装が主としてタイヤ路面音の発生を抑制しているからである。しかし，このときタイヤ路面音ほどではないが，駆動機関音も路面に吸音され低減している。

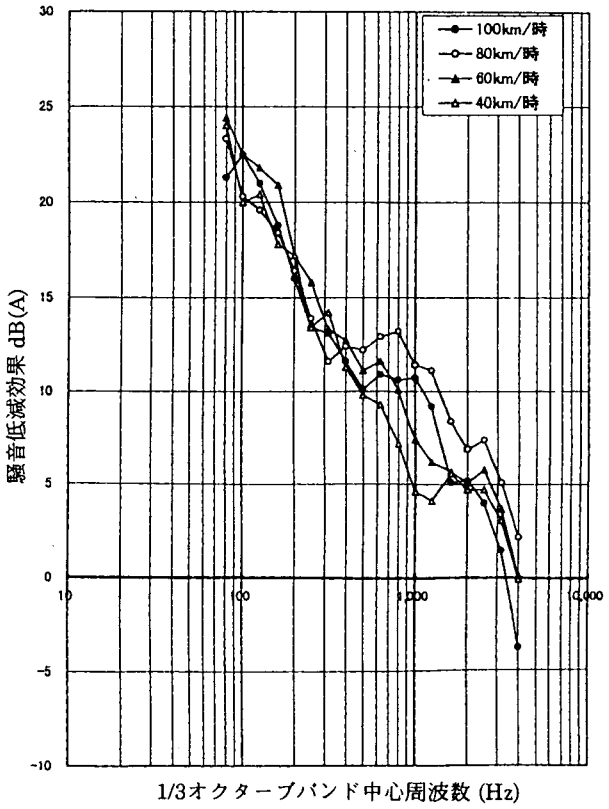
一方，乗用車についてこれらの関係をみると（図－10 参照），密粒舗装では走行速度が 40 km/h, 60 km/h のときは駆動機関音がそれぞれ 25%，15% と少し寄与があるが，80 km/h 以上の走行速度ではほとんどすべてがタイヤ路面音の寄与である。一方，多孔質弾性舗装では主としてタイヤ路面音が低減するため駆動機関音の割合が上がるが，それでも 40 km/h のとき 61%，60 km/h のとき 31% の寄与となる程度で，80 km/h 以上ではほとんどすべてがタイヤ路面音の寄与となる。



図－10　自動車走行騒音の音源別寄与度（乗用車）

(5)　周波数分析の結果

多孔質弾性舗装の騒音低減効果を周波数別にみると，大型貨物車の定常走行時には走行速度によって異なるが，100 Hz で 20～22 dB の低減，500 Hz で 10～12 dB, 1 kHz で 5～11 dB, 2 kHz で 5～7 dB の低減であり，800～1,500 Hz の周波数帯域を除いて 40～100 km/h の各走行速度でほぼ同様の低減量であった（図－11 参照）。しかし，800～1,500 Hz の周波数帯域では 40 km/h のとき 4～7 dB, 60 km/h のとき 6～10 dB の低減量であるのに対し，80 km/h では 11～13 dB, 100 km/h のとき 9～11 dB と前二者より大きな低減量を示した。4.1(2) で述べたようにオーバーオールでの走行速度別の減音効果の違いは，上記のとおり 800～1,500 Hz の周波数帯域での減音量の違いのためである。多孔質弾性舗装が排水性舗装より大きな騒音低減効果を示すのは，両者の



図－11　多孔質弾性舗装の騒音低減効果の周波数特性（大型貨物車，定常走行時）

周波数別の減音特性から次のように説明できる。排水性舗装は通常800 Hz以上で減音効果を示し，800 Hzで3 dB, 1 kHz以上で6～7 dBの減音量[9]となるのに対し，多孔質弾性舗装は上述のとおり1 kHz以下でも大きな減音量を有し，特に排水性舗装が減音効果をもたない600 Hz以下の周波数帯域で10～22 dBと非常に大きな減音量を示すためである。

また，大型貨物車の惰性走行時にも周波数別の減音効果には定常走行時と同様の傾向がみられたが，卓越している周波数帯域800～1,500 Hzでは10～15 dBと定常走行時の4～13 dBより大きな減音量となっているため，オーバーオールでの減音効果は惰性走行時の方が大きい（図－12参照）。

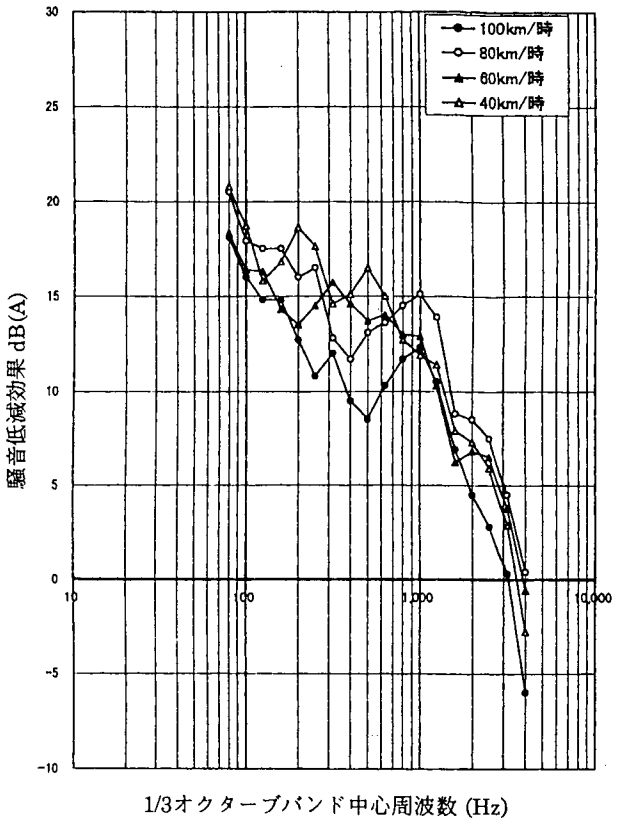
一方，乗用車の定常走行時における騒音低減効果をみてみると，100 Hzで18～27 dB, 500 Hzで12～19 dB, 1 kHzで17～21 dB, 2 kHzで15～20 dBの低減量であった（図－13参照）。特に乗用車の定常走行騒音の中で卓越した周波数帯域である800～2,000 Hzで15～21 dBと非常に大きな低減量を示すため，オーバーオールでも4.1(2)で述べたように16～19 dBと非常に大きな減音効果となったのである。

また，惰性走行時では，100 Hzで－4～26 dB, 500 Hzで2～22 dB, 1 kHzで14～21 dB, 2 kHzで18～22 dBの減音量を示した（図－14参照）。1 kHz以上では各走行速度とも大きな減音量を示すが，1 kHz未満の周波数帯域では80 km/h以上の速度で，特に100 km/h以上の速度で減音量が小さくなっている。この結果，オーバーオールでは40～60 km/hで19 dBと大きな減音効果が現れたが，80 km/h以上では走行速度の上昇とともに減音効果は小さくなっていく。

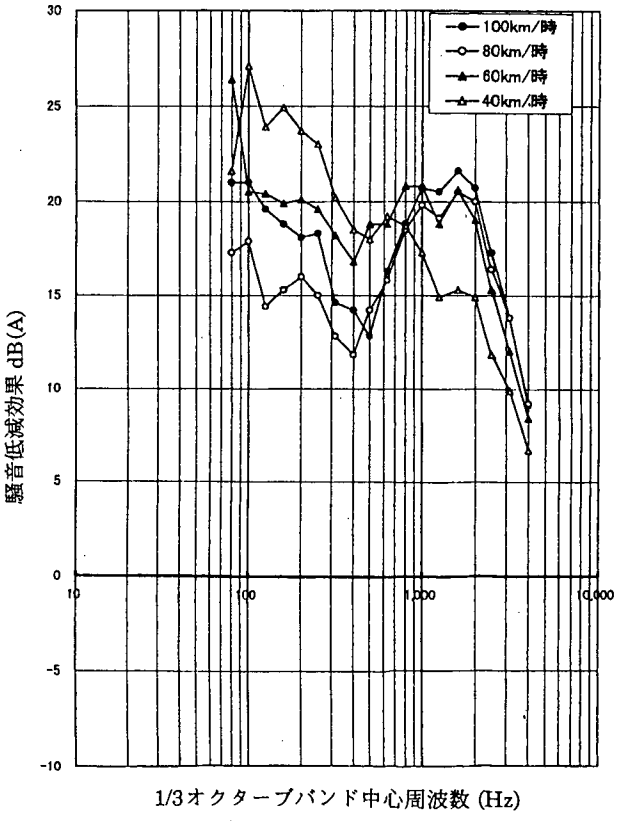
4.2 垂直入射吸音率の測定結果

密粒舗装と7種類の多孔質弾性舗装からそれぞれ3組ずつの供試体を作り，これらを用いて2マイクロフォン管内法でまず音響インピーダンス比を求め，これから垂直入射吸音率を算出した。各種類の3組の供試体はそれぞれ比較的よく吸音特性が一致しており，これらを平均したものを各舗装の吸音特性とした。ここでは，垂直入射吸音率と反射率の位相について述べる。

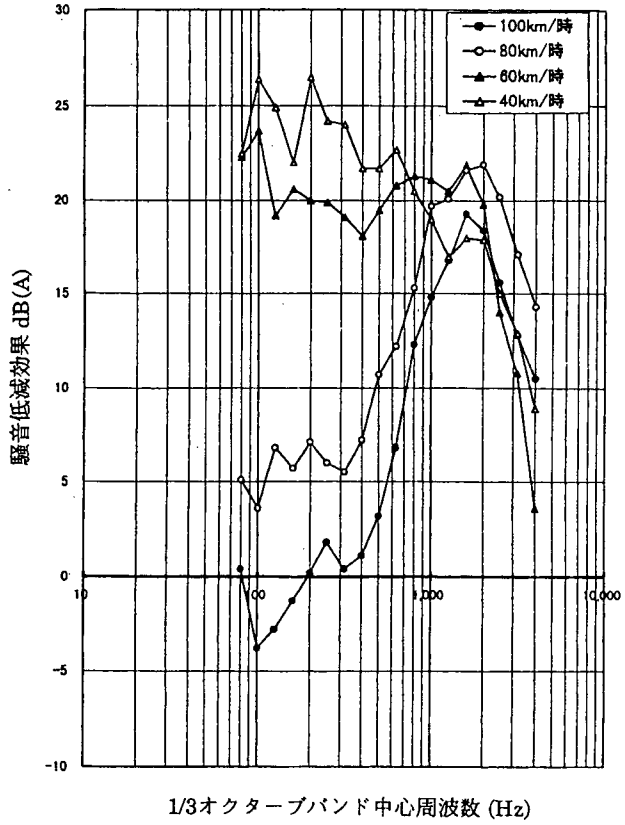
密粒舗装の垂直入射吸音率は1,600 Hzの周波数帯域で約0.2になるのを除き，ほとんどすべての周波数帯域で0に近い値であった（図－15参照）。一方，多孔質弾性舗装では厚さによって吸音率のピークを示す周波数帯域が異なるが，おおむね800～2,000 Hzの周波数帯域で約0.9のピーク値を示す。



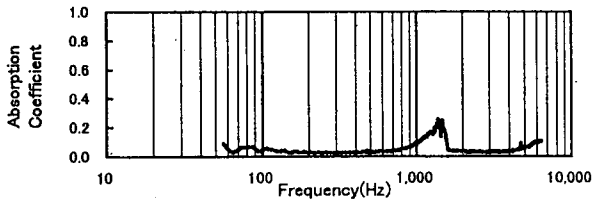
図－12 多孔質弾性舗装の騒音低減効果の周波数特性（大型貨物車，惰性走行時）



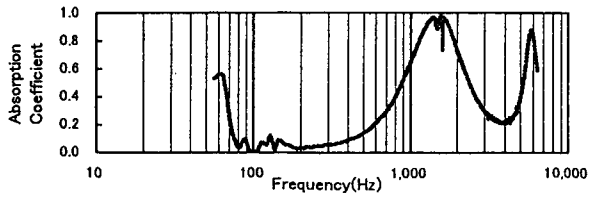
図－13 多孔質弾性舗装の騒音低減効果の周波数特性（乗用車，定常走行時）



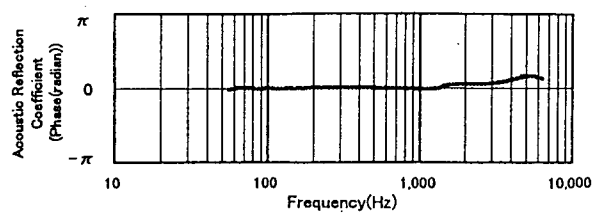
図－14　多孔質弾性舗装の騒音低減効果の周波数特性（乗用車，惰性走行時）



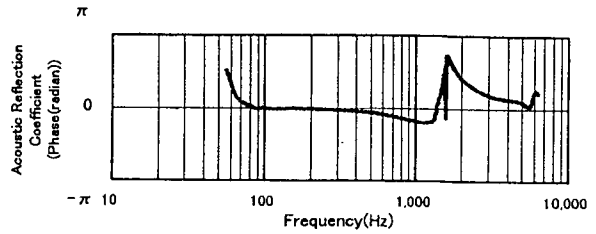
図－15　密粒舗装の垂直入射吸音率の周波数特性



図－16　多孔質弾性舗装（厚さ3cm，粒径小）の垂直入射吸音率の周波数特性



図－17　密粒舗装の垂直入射反射率の位相の周波数特性



図－18　多孔質弾性舗装（厚さ3cm，粒径小）の垂直入射反射率の位相の周波数特性

さらにこれらの約4倍の周波数帯域で第1ピークより低いピークを示す。また，第1ピークの周波数は，厚さ2cmのときは約1,800 Hz，厚さ3cmでは約1,500 Hz（図－16参照），厚さ4cmでは約1,000 Hz，厚さ5cmでは約850 Hzであった。このように舗装厚さが増加するとともに，吸音率のピークを示す周波数帯域が低下している。これらの特徴から多孔質弾性舗装の吸音メカニズムは，共鳴器型のものと考えられる。

次に，反射率の位相をみると，密粒舗装では位相のずれはどの周波数帯域でもほとんど見られない（図－17参照）。これは，音が密粒舗装の表面で反射していることを示している。一方，多孔質弾性舗装では位相が，吸音率がピークを示す1,500 Hz付近で-0.2πから0.8πまでずれている（図－18参照）。すなわち，1,500 Hz付近では位相が約π，つまり約1/2波長ずれているため干渉により減音し，その結果吸音率が約0.9と大きくなっていると考えられる。

5. おわりに

多孔質弾性舗装に関して各種の実験，測定を行った結果，この舗装に関して明らかになった低騒音舗装としての特性は以下のとおりである。

1）空隙率40%，厚さ3cm，ゴム粒子小の多孔質弾性舗装が各種の仕様の中で最も大きな騒音低減効果を有し，定常走行時の速度が40～120 km/hの範囲で，乗用車の場合約16～19 dB，大型貨物車の場合約6～10 dBと非常に大きな減音効果があった。

2）減音効果の速度依存性に関しては，走行速度が40 km/hから60 km/hないし80 km/hまで上昇するとき効果は大きくなり，その後120 km/hまでは速度の上昇とともに効果は低下する。排水性舗装のように減音効果が速度上昇とともに単調に増加するといった明確な傾向を示さない。

3）多孔質弾性舗装におけるタイヤ路面音と駆動機関音の関係を大型貨物車についてみると，走行速度が40 km/hから100 km/hの範囲で駆動機関音

の寄与率が94%から30%に減少した（密粒舗装では78%から26%に減少した)。一方，乗用車についてこの関係をみると，同じ速度の範囲で駆動機関音の寄与率が61%から0%に減少した（密粒舗装では25%から0%に減少した)。

4）多孔質弾性舗装の騒音低減効果を周波数別にみると，大型貨物車の定常走行時には走行速度によって異なるが，100 Hzで20～22 dBの低減，500 Hzで10～12 dB, 1 kHzで5～11 dB, 2 kHzで5～7 dBの低減であった。一方，乗用車の定常走行時の場合は，100 Hzで18～27 dB, 500 Hzで12～19 dB, 1 kHzで17～21 dB, 2 kHzで15～20 dBの低減量であった。このように排水性舗装が減音効果を持たない600 Hz以下の周波数帯域でも多孔質弾性舗装が大きい減音量を示すことが，この舗装の減音効果が排水性舗装よりも大きい要因となっている。

5）多孔質弾性舗装では厚さによって垂直入射吸音率のピークを示す周波数帯域が異なるが，おおむね800～2,000 Hzの周波数帯域で約0.9のピーク値を示す。この特徴から多孔質弾性舗装の吸音メカニズムは，共鳴器型のものと考えられる

以上のとおり多孔質弾性舗装に関して，音源における騒音低減効果はかなり明らかになってきたが，騒音の伝搬過程における減音効果はまだ解明されていない。上記のように吸音率も大きな値を有しており，伝搬過程の減音効果もある程度期待できると思われる。

一方では，本舗装の実用化に向けての課題である走行安全性，施工性，耐久性等が研究されているところである。これらの課題が解決され，大きな減音効果を持ち適用範囲が広いこの多孔質弾性舗装が，騒音対策として用いられるのを期待する次第である。

参考文献

1）環境庁：環境白書平成11年版各論（大蔵省印刷局，1999)，p. 67

2）大西博文，明嵐政司：排水性舗装の騒音低減効果に関する研究，道路，662巻，pp. 82～84（1996)

3）N. Nilsson : The poro-elastic road surface—a new tool for controlling traffic noise, Noise Con'83, pp. 375～378（1983)

4）N. Nilsson, T. Zetterling : Noise reduction mechanism for poro-elastic road surface, Int. Tire/Road Noise Conf. 1990 Pro., Vol. 1, pp. 47～66（1990)

5）T. Zetterling, N. Nilsson : Implementation of the poro-elastic road surface, Int. Tire/Road Noise Con. 1990, Pro., Vol. 1, pp. 315～325（1990)

6）U. Sandberg, H. Bendtsten, J. Kragh, J. Johansen, A. Arnevik, S.A. Storeheier : Low noise road surfaces —a Nordic co-operation project, VTI Rapport 388, (Swedish Road and Transport Research Institute, 1993) pp. 26～27

7）大西博文，明嵐政司，鉢嶺清範：多孔質弾性舗装の騒音低減特性について，土木技術資料，38巻，1号（1996)

8）大西博文，南里吉輝：多孔質弾性舗装の開発，平成9年秋季日本音響学会講演論文集II，pp. 677～678（1997)

9）T. Iwase, R. Kawabata : Measurements of basic acoustical properties of the porous pavement and their applications to the estimation of road traffic noise reduction, J. Acoust. Soc. Jpn. (E), Vol. 20, No. 1, pp. 63～74（1999)

(8) 道路橋から発生する低周波音の実態と予測方法

Current Status of Low Frequency Noise from Road Bridge and Its Prediction Method

村井逸朗* 竹田和信* 大西博文** 上坂克巳** 那須猛士*** 石渡俊吾***
Iturou Murai *Kazunobu Takeda* *Hirofumi Ohnishi* *Katumi Uesaka* *Takeshi Nasu* *Syungo Ishiwata*

名古屋高速道路公社*
Nagoya Expressway Public Corporation

建設省 土木研究所**
Public Works Research Institute, Ministry of Construction

(株)オリエンタルコンサルタンツ***
Oriental Consultants Co., LTD.

内容梗概：全国の道路橋80箇所周辺における低周波音の実測データから，その実態を把握するとともに，低周波音の予測方法の検討を行った。まず，低周波音の評価指標をL_{G5}およびL_{50}とし，実測データと従来の研究で示された心理的・生理的影響の評価基準値とを比較した。その結果，最近の設計仕様に基づいて建設された道路橋から発生する低周波音圧レベルの人体に対する影響はほとんどないことが確認された。次に，実測データに基づき，低周波音の周波数特性，距離減衰特性，交通条件などの影響要因との関係を分析した。最後に，それらの結果を用い，大型車交通量と道路中心からの距離により簡便に低周波音圧レベルを予測する計算式を提案した。

1．はじめに

人の耳には聞き取りにくい低い周波数の音（低周波音）の影響が問題視されてきたのは，昭和40年前後からであるが，道路交通に係わる苦情は年間数例報告される程度であった。道路橋から発生する低周波音については，昭和51年7月に，中央高速道の橋梁における影響が新聞に報じられ，道路橋における低周波音の影響を社会的に知らしめる発端となった。しかし，現在でも道路橋からの低周波音については，発生のメカニズムや人体に与える影響要因等の解明が十分なされていない状況にある。

一方，環境影響評価法の制定を受け，道路事業に係わる環境影響評価における「低周波音」の取り扱いの整理が必要となった。

本稿は，道路橋周辺での実態調査に基づき，低周波音の実態を把握するとともに，道路計画時の予測手法を検討したものである。

以下，2．では従来の研究で明らかにされている低周波音の評価基準をとりまとめて示す。3．では，実態調査の方法を，4．では，実測データ分析の基本的考え方を示す。5．では，低周波音の実態および各種影響要因について分析する。6．では，低周波音の予測計算方法を提案する。

2．従来の低周波音の評価基準

低周波音は，騒音や振動のように環境基準や要請限度といった法令により定められた基準値がない。ここでは，低周波音の影響に関する既存研究より，道路橋から発生する低周波音の評価に適用可能であると考えられる評価基準およびその指標を示す。

道路橋から発生する低周波音の苦情としては，低周波音により建具が振動し，がたつくことによるものが多く，この他に頭痛や胸・腹の圧迫感，寝つきが悪い等の苦情についても報告されている。そこで，低周波音の評価基準を「物理

的影響」「心理的・生理的影響」という視点で分類した。

2.1 物理的影響に関する評価基準

住宅の窓や戸等が低周波音により振動し，2次音としてがたつき音が発生するという物理的影響については，実験室に設置した障子，サッシ等にスピーカから定常的な純音を放射する実験から，がたつきの始まる入射音圧レベルを求めたものがある。図-2.1に，その実験結果を示す。[1)]

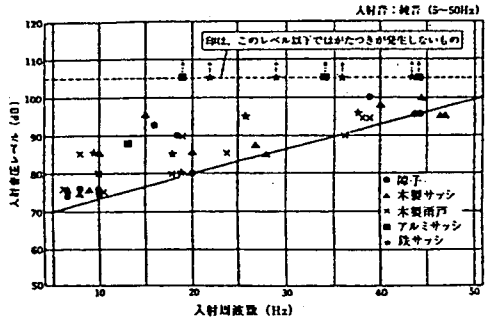


図-2.1　建具のがたつき始めるレベル[1)]

2.2 心理的・生理的影響に関する評価基準

(1) 圧迫感・振動感による評価

低周波音の圧迫感・振動感については，中村らが優先感覚判定実験（低周波実験室内の被験者に，20秒間試験音を聞かせて最も優位と判断される項目を選んだ結果）を行い，50%の被験者が「圧迫感・振動感」を感じ始めるレベルを求めたものがある。[2)]

(2) 感覚閾値からの評価

①G特性音圧レベルによる評価

1995年にISO 7196として図-2.2に示す評価特性が提案され「1～20Hzの周波数範囲において平均的な被験者の知覚できるような低周波音はG特性で概ね100dB」と記述されている。[3)] このG特性は騒音で用いられているA特性に相当するもので，低周波音の領域における感覚閾値に基づく評価加重特性である。

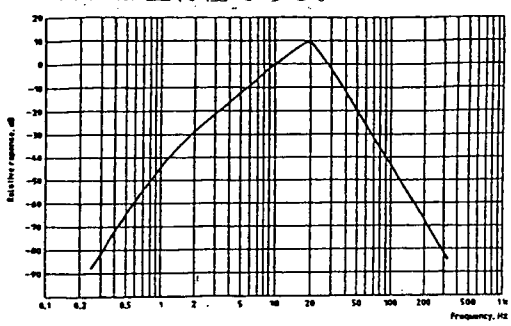


図-2.2　G特性の周波数レスポンス[3)]

②感覚閾値に関する種々の研究成果

時田は感覚閾値に関する種々の研究成果をまとめて「低周波音の評価について」[4)]として整理している。また中野は前記の「低周波音の評価について」を引用した「超低音（聞こえない音）」[5)]の中で，『感知される実際の多種類の超低音スペクトル（1～20HzのG特性音圧レベル）数十種類について超低音を求めた結果によると，超低音レベルは平均して約100dB(98～105dB)になることが明らかになっている。』としている。

(3) 睡眠影響からの評価

山崎らは脳波から低周波音の睡眠影響を調べた結果，『睡眠深度Ⅰ（浅い眠り）の状態では，20Hzで110dB，40Hzで90dBにおいて覚醒するとされている。超低周波音による睡眠深度の覚醒効果は10Hzで100dB程度の高いレベルの暴露により浅い睡眠に覚醒が現れる。』[6)]としている。

(4) 一般環境中の低周波音圧レベル

環境庁の昭和59年度報告書に記載された一般環境中に存在する低周波音圧レベル（1～80Hzの時間率音圧レベルL_{50}）を図-2.3に示す。[7)] この調査結果の低周波音圧レベルの範囲（60～90dB）において，心拍数，血圧，ストレス反応等の生理的影響や睡眠影響に関する被験者暴露実験を行った結果，人体に影響を及ぼす影響を証明しうるデータは得られなかったと報告されている。

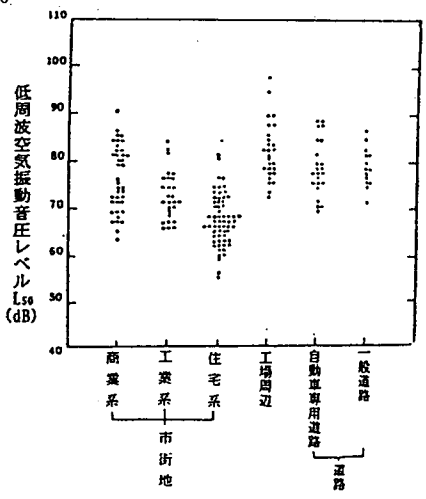


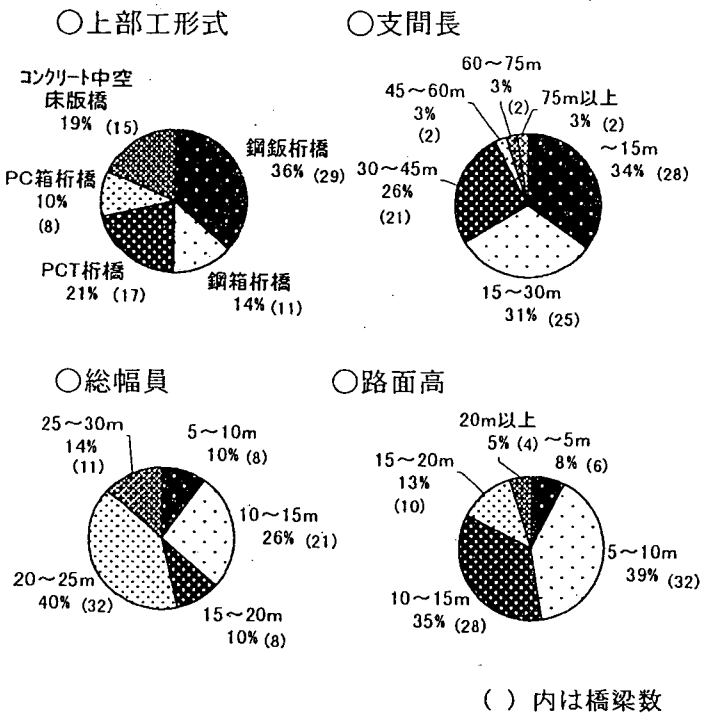
図-2.3　一般環境中の低周波音[7)]

また，都道府県，政令指定都市の条例により一部実施されている環境影響評価では，低周波音の評価として，この一般環境中に存在する低周波音圧レベルの範囲との比較を行っている。

3．低周波音の実態調査の方法

3.1 対象橋梁条件

調査の対象とした橋梁は，昭和62年以降の最近の設計仕様で建設されたものを主とした80橋梁で，周辺に工場等の低周波音を発生させる主要な音源のない場所を選定した。この調査は，平成９，10年度に実施されたものであり，調査対象橋梁の諸元は図-3.1に示すとおりである。



( ) 内は橋梁数

図-3.1 実態調査対象橋梁の諸元

3.2 測定方法

低周波音の測定は，JIS等の規格がなく，これまでの測定は方法が統一されていなかった。そこで，「低周波音及び超低周波音測定方法」（日本騒音制御工学会・技術部会）[8]を参考に，道路橋における低周波音の測定方法を整理した。表-3.1に整理した測定方法，図-3.2に測定位置を示す。

今回の調査では，道路橋における低周波音を類似橋梁の結果から予測することを前提に，できるだけ簡便に数多く測定することを目的とした「標準測定」と，距離減衰特性，影響要因等を把握することを目的とした「重点測定」を行った。

表-3.1 実態調査の測定方法

	標準測定	重点測定
測定項目	○低周波音圧レベル ○低周波音の周波数別音圧レベル ○風速 ○交通条件 （交通量，平均走行速度）	○低周波音圧レベル ○低周波音の周波数別音圧レベル ○低周波音の時系列波形 ○床版の振動加速度レベル ○風速 ○交通条件 （交通量，平均走行速度）
周波数範囲	○低周波音圧レベル ○低周波音の周波数別音圧レベル 周波数範囲1.6～80Hz（1/3ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ中心周波数）	
周波数特性	○低周波音圧レベル，周波数別音圧ﾚﾍﾞﾙは原則としてFLAT特性で測定する。 ○ISO 7196[3]に規定されているG特性についても測定する。	
測定方法	○測定位置 ・道路端の地上1.2m点 （支間中央，ジョイント部）	○測定位置 ・道路端の地上1.2m点 （支間中央，ジョイント部） ・道路端より10m，20mの地上1.2m点（支間中央） ・床版直下１m（支間中央，ジョイント部，支間L/4） ・床版の振動加速度ﾚﾍﾞﾙ （支間中央，ジョイント部，支間L/4）
	○測定時間 原則として昼間測定とし１時間当たり10分間測定２回を４時間分行う。	○測定時間 原則として昼間測定とし，４時間の連続測定を行う。
	○測定時の注意 マイクロホンに防風スクリーンをつけ，風の影響を受けないようにする。また，測定時の風速を記録する。 ○交通条件 車種分類は４車種分類（大型車，中型車，小型貨物車，乗用車）とし，ビデオ撮影により行う。	
分析方法	○APおよび1/3ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ毎のLs，L50，Leqおよびピークレベル ○分析時の動特性はSLOWを基本とする。 ○サンプリング間隔は１秒とする。	

注）APとは1.6～80Hzのオールパスをいう。

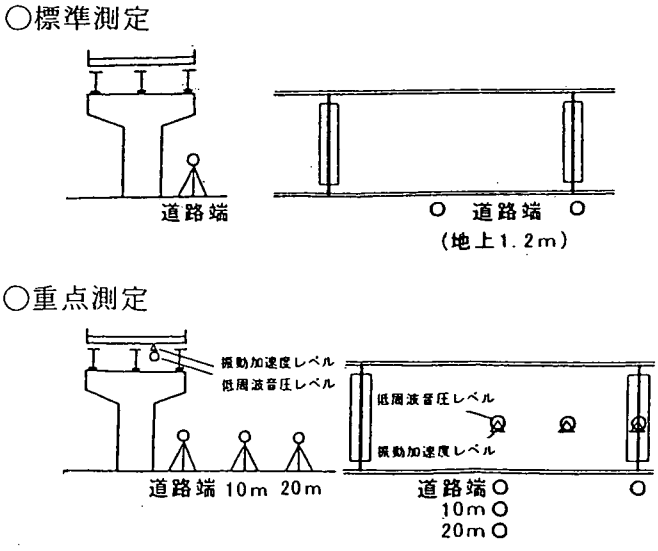


図-3.2 実態調査における測定位置

4．調査データ分析の基本的考え方

4.1 測定位置別の低周波音圧レベル

支間中央部，支間L/4部，ジョイント部において測定された，重点測定における床版直下1mの大型車単独走行時のピークレベルは，支間中央部が最も大きいという傾向がみられた。また，沿道での低周波音圧レベルも同様な傾向がみられている。

以上の結果から，以下の分析には支間中央部の実測データを用いることとする。

4.2 低周波音の周波数特性

標準測定における道路端地上1.2m点の5％時間率音圧レベルL_5について，上部工形式別に周波数特性をAPレベルとの相対レベルで整理した結果を図-4.1に示す。実態調査結果では，上部工形式別に分類しても，周波数特性の傾向は明確にはみられなかった。

以上の結果から，以下の分析にはAPレベルを用いることとする。

4.3 時間率音圧レベルの選定

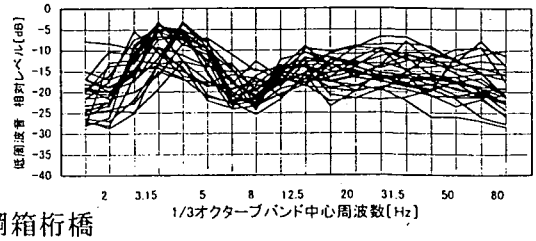
道路交通騒音の評価は，騒音に係る環境基準の改定により，L_{Aeq}（等価騒音レベル）で行われることになった。一方，道路交通振動では，L_{10}（80％レンジの上端値）が用いられている。

道路橋における低周波音では，工事騒音などと同様にピークレベルが問題となると考えられる。しかし，ピークレベルを評価指標として用いた場合，ピークレベル1個では，種々の条件下での特異性が現れる可能性がある。そこで，大型車複数台のピークレベルを平均することにより，大型車の平均的なピークレベルと等しい統計値を求めた。

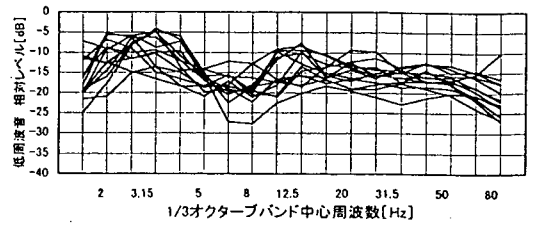
図-4.2は，鋼鈑桁橋（支間長43.5m，交通量480台/10分，大型車台数24台/10分）におけるピークレベルを大きい方から順に平均したものである。ピークレベルは15個程度の平均でほぼ一定値となり，そのときは統計値L_5（90％レンジの上端値）と等しくなった。また，他の橋梁においてもほぼ同様の傾向がみられた。そこで，道路橋における低周波音の評価量としては，基本的にL_5を用いることとした。

ただし，「一般環境中の低周波音圧レベル」と比較する場合は，これに関する調査がL_{50}で整理されているため，評価指標をL_{50}とした。

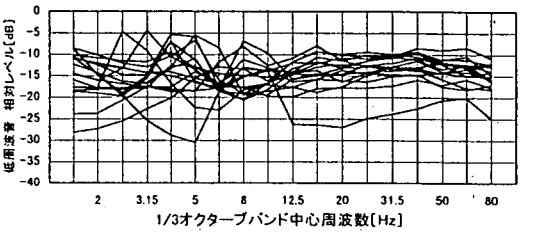
○鋼鈑桁橋



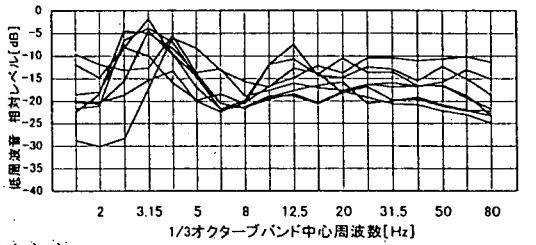
○鋼箱桁橋



○PCT桁橋



○PC箱桁橋



○ｺﾝｸﾘｰﾄ中空床版橋

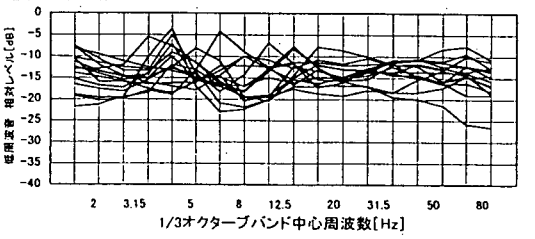


図-4.1　低周波音の周波数特性

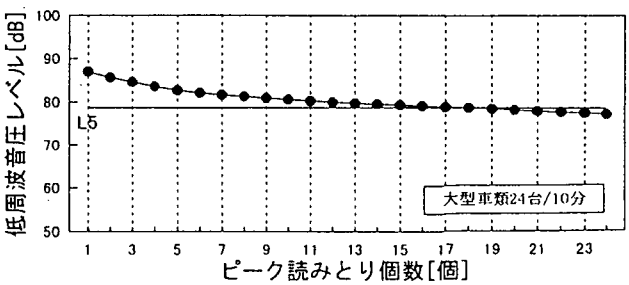


図-4.2　大型車ピークレベルとL_5の関係

4.4 距離減衰特性

重点測定において床版直下1m点，道路端，道路端から10m点，道路端から20m点で測定された一般車走行時のL_{50}，L_{G5}（1～20HzのG特性音圧レベルL_5）について，距離減衰量を道路中心からの斜距離で整理した結果を図-4.3に示す。低周波音の距離減衰量は，線音源の距離減衰と同程度の概ね3dB／倍距離であった。

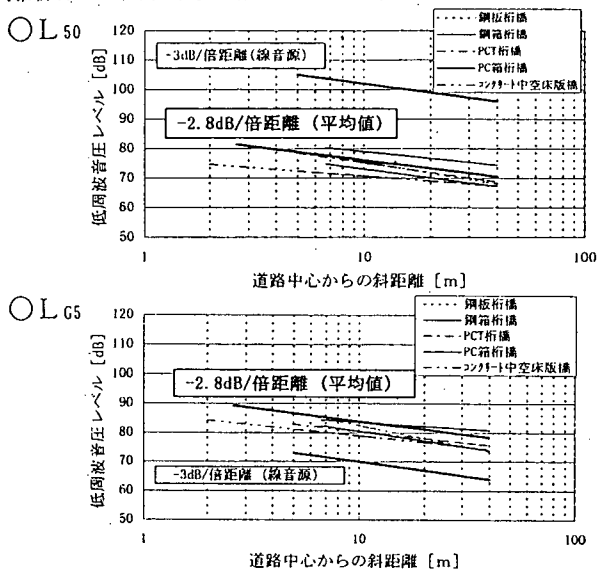


図-4.3　低周波音の距離減衰量

4.5 基準点の設定と基準点音圧レベルの算出

今回の測定では，測定点を道路端の高さ1.2mの位置に設定しているため，測定点と対象橋梁との位置関係は一様ではない。したがって，橋梁種別や各種道路交通条件が異なる場合の低周波音圧レベルを比較分析するため，図-4.4に示す位置に基準点を設定した。基準点は，今回の測定地点の平均的な位置である道路中心からの距離15m，道路面高さ10mに基づき設定した。この時，基準点と道路中心との斜距離r_0は17.4mである。

以下の検討においては，基準点における低周波音圧レベルを用いる。なお，その算出にあたっては，測定値をもとに，先に述べた低周波音の距離減衰特性を用いて補正を行った。

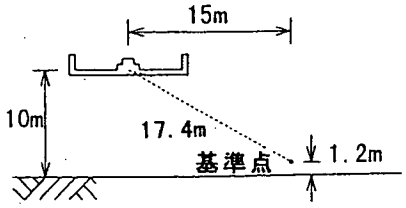


図-4.4　基準点の位置

5．低周波音の実態と影響要因の分析

5.1　上部工形式別の低周波音圧レベルと評価基準値との比較

基準点における低周波音圧レベルのL_{50}およびL_{G5}について，上部工形式別に整理した結果を図-5.1に示す。

また，図中の横線は，以下の評価基準値である。

①1～80Hzの50%時間率音圧レベルL_{50}で90dB

②1～20HzのG特性5%時間率音圧レベルL_{G5}で100dB

評価基準値①を若干上回るデータが存在するが，これは，高欄の直下において測定されたデータである。また，これらの地点の周辺においても，特に苦情などの問題は確認されていない。

したがって，最近の設計仕様に基づき建設された道路橋から発生する低周波音がその周辺のの住民に及ぼす心理的・生理的影響は，ほとんどないと考えられる。

また，上部工形式を鋼橋（鋼鈑桁橋，鋼箱桁橋）とコンクリート橋（PCT桁橋，PC箱桁橋，コンクリート中空床版橋）に分類すると，交通条件が一律ではないが，鋼橋のレベルがやや高い傾向にある。

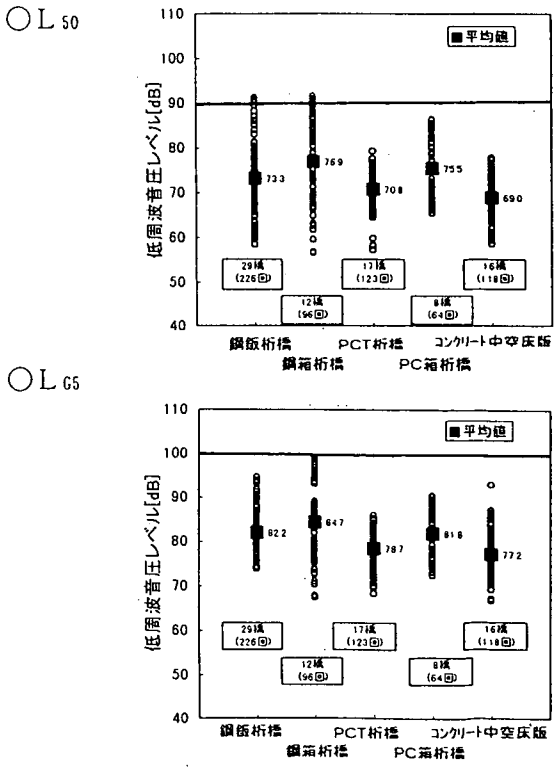


図-5.1　上部工形式別の低周波音圧レベル

5.2 交通条件と低周波音圧レベルの関係

図-5.2は，重点測定において床版直下１ｍで測定された低周波音のユニットパターンを，大型車と小型車の場合を比較した結果である。大型車と小型車のユニットパターンのピークでのレベル差は約22dBであり，低周波音は大型車走行時の影響が支配的と考えられる。

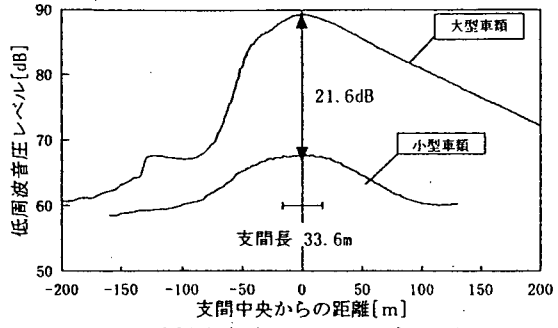
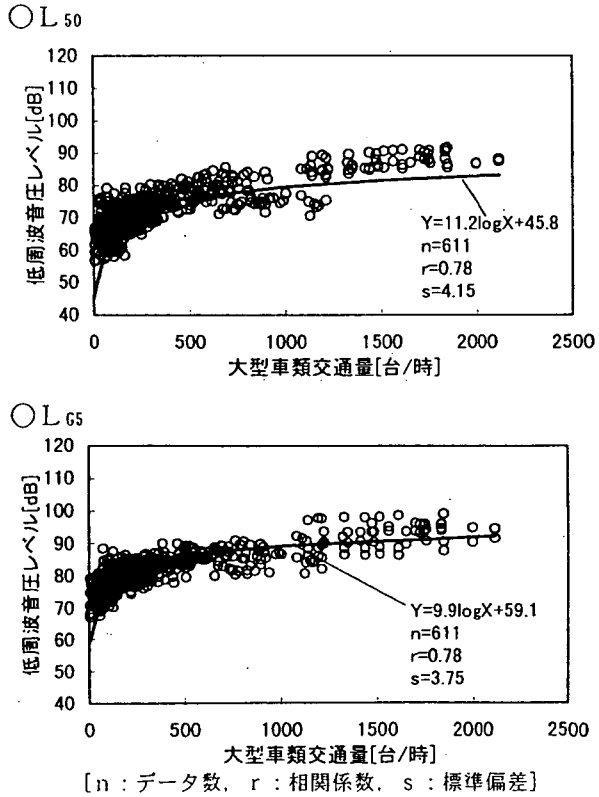


図-5.2　低周波音のユニットパターン

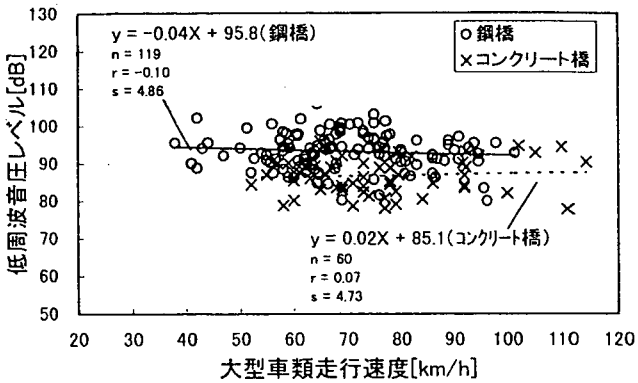
低周波音には大型車が大きく影響すると考えられることから，基準点における低周波音圧レベルと大型車類交通量との関係を整理した。その結果を図-5.3に示す。相関係数は約0.8と低周波音圧レベルと大型車類交通量の相関が高い結果となった。



［n：データ数，r：相関係数，s：標準偏差］

図-5.3 大型車類交通量と低周波音圧ﾚﾍﾞﾙの関係

走行速度と低周波音圧レベルとの関係を図-5.4に整理した。低周波音圧レベルは重点測定において床版直下１ｍで測定された大型車単独走行時のピークレベルであり，走行速度は大型車の走行速度である。今回の実態調査結果からは，走行速度と低周波音圧レベルの関係に明確な傾向はみられなかった。

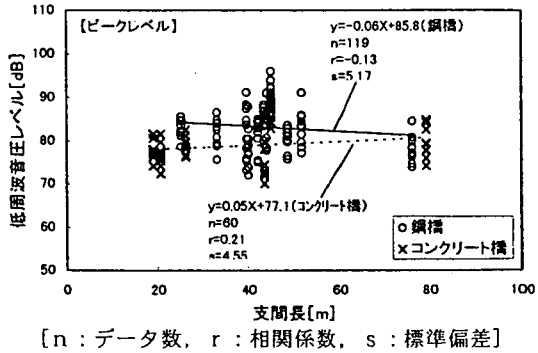


［n：データ数，r：相関係数，s：標準偏差］

図-5.4　走行速度と低周波音圧ﾚﾍﾞﾙの関係

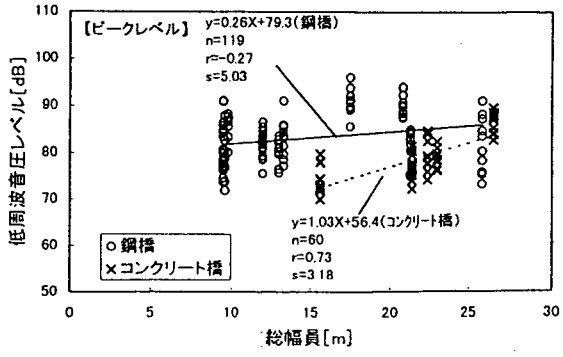
5.3 橋梁の諸元と低周波音圧レベルの関係

重点測定において床版直下１ｍで測定された大型車単独走行時のピークレベルと，橋梁の支間長，総幅員との関係を整理した結果を図-5.5，図-5.6に示す。



［n：データ数，r：相関係数，s：標準偏差］

図-5.5　支間長と低周波音圧レベルの関係

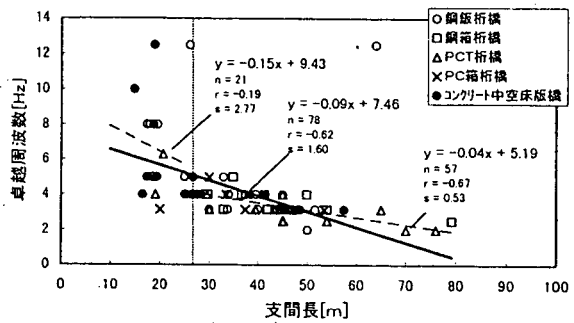


［n：データ数，r：相関係数，s：標準偏差］

図-5.6　総幅員と低周波音圧レベルの関係

また，支間長と卓越周波数の関係について道路端の地上1.2mにおける５％時間率音圧レベルL_5を用いて整理した結果を図-5.7に示す。

支間長が長くなると卓越周波数が小さくなるという傾向がみられたが，支間長，総幅員と低周波音圧レベルとの関係に明確な傾向はみられなかった。



[n：データ数，r：相関係数，s：標準偏差]

図-5.7　支間長と卓越周波数の関係

6．低周波音の予測方法

6.1 予測の基本的考え方

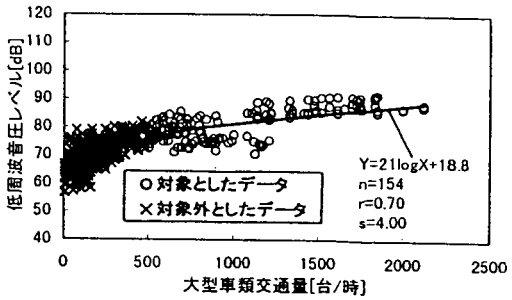
低周波音の周波数特性の傾向が明確ではなく，現時点において周波数別に音圧レベルを予測することは難しいと考えられる。したがって，現段階での低周波音の評価指標は，L_{G5}およびL_{50}とする。

また，5.1において，上部工形式別の低周波音圧レベルにある程度の差がみられたが，上部工形式別に分類すると各々データ数が少なくなること，また低周波音の予測が重要となる環境影響評価の実施時点では，上部工形式の特定が困難であることから，上部工形式の分類は行わなかった。

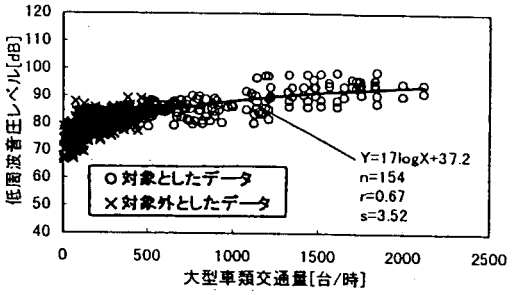
また，5.2の結果から，低周波音圧レベルと大型車類交通量との相関が高い傾向となったことから，大型車類交通量を予測計算のためのパラメータとして選定した。

大型車類交通量と基準点における低周波音圧レベルの回帰分析結果を再度，図-6.1に示す。ただし，この図では，図-5.3と異なり，大型車類交通量が500台/時以上のデータを用いて回帰分析を行っている。これは，予測において重要な大型車類交通量が大きい場合の精度を向上させるためである。

○L_{50}



○L_{G5}



[n:データ数，r:相関係数，s:標準偏差]

図-6.1 大型車類交通量と低周波音圧ﾚﾍﾞﾙの関係

さらに，予測位置の低周波音圧レベルは，大型車類交通量との回帰式から予測した基準点の低周波音圧レベルに「4.4 距離減衰特性」で整理した距離減衰量（３dB／倍距離）を補正することにより求めることとした。

6.2 道路橋からの低周波音の予測方法

6.1に基づき得られた道路橋からの低周波音の予測方法を以下に示す。（図-6.2参照）

[適用範囲]

・上部工形式：鋼鈑桁橋，鋼箱桁橋，PCT桁橋，PC箱桁橋，ｺﾝｸﾘｰﾄ中空床版橋

・大型車類交通量：2100台/時以下

（実態調査結果の範囲）

[予測位置]

・橋梁支間中央部の地上1.2m点

[予測式]

$$\begin{cases} L_0 = a\log_{10}X + b \\ L = L_0 - 10\log_{10}(r/r_0) \end{cases} \qquad (1)$$

ここで，

L ：予測位置における低周波音圧レベル[dB]

L_0：基準点における低周波音圧レベル[dB]

X ：大型車類断面交通量[台/時]

r ：道路中心から予測位置までの斜距離[m]

r_0：道路中心から基準点までの斜距離[17.4m]

a，b ：基準点の低周波音圧ﾚﾍﾞﾙを予測するための係数

L_{50}の場合　a=21，b=18.8

L_{G5}の場合　a=17，b=37.2

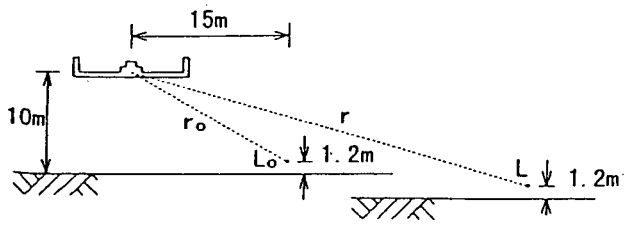
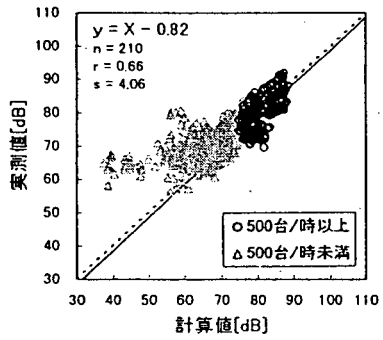


図-6.2　基準点における低周波音圧レベルの算出と距離補正

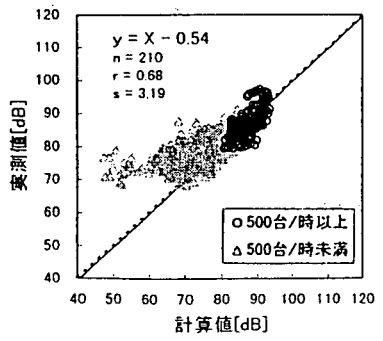
測定位置（道路端，道路端から10m点，道路端から20m点の地上1.2m点）における(1)式による計算値と実測値を比較して図-6.3に示す。計算値と実測値の平均的な差は1dB以下である。また，低周波音圧レベルが小さい場合に，計算値が実測値を下回る程度が大きくなるが，5.1で示した評価基準値と比較すると，この差異はほとんど問題とならない。

したがって，(1)式は道路橋周辺の低周波音圧レベルの予測方法として，実用的に十分利用できると考えられる。

○L_{50}



○L_{G5}



注）図中の数値は，大型車類交通量500台/時以上のデータによる回帰分析結果である。
[n:データ数，r:相関係数，s:標準偏差]

図-6.3　計算値と実測値の比較

7．おわりに

本稿では，全国の道路橋80箇所周辺における低周波音の実測データから，その実態を把握するとともに，低周波音の予測方法の検討を行った。その結果得られた主な成果は以下のとおりである。

(1) 道路橋から発生する低周波音圧レベルの評価指標として，L_{G5}およびL_{50}を採用した。

(2) L_{G5}およびL_{50}を用いて，低周波音圧レベルの実測データと，今回設定した心理的・生理的影響の評価基準値とを比較した。その結果，最近の設計仕様に基づいて建設された道路橋から発生する低周波音圧レベルの人体に対する影響はほとんどないことが確認された。

(3) 大型車交通量と道路中心からの距離により簡便に低周波音圧レベルを予測する計算式を，実態調査の結果に基づいて提案した。

ただし，道路橋からの低周波音の予測計算方法は，今回，初めて提案するものであり，今後，より精度の高い予測を行うためには，以下の項目について検討する必要があると考えられる。

①低周波音圧レベルを説明するための大型車類交通量以外の要因の検討

②橋梁の形式等の諸元に応じた低周波音の予測方法の検討

③低周波音の周波数別の予測計算方法の検討

今回の検討では，道路事業者には実態調査の協力をいただき，また，今回設置された検討委員会では，時田委員長をはじめ委員の方々には貴重なご助言と御指導をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

1)「昭和52年度低周波空気振動等実態調査」，環境庁大気保全局，昭和52年

2)中村俊一、時田保夫、織田厚，「低周波音に対する感覚と評価に関する基礎的研究」，環境科学，1979

3)ISO7196,1995 Acoustics-Frequency weighting characteristics for infrasound measurements

4)時田保夫，「低周波音の評価について」，音響学会誌，41号11巻

5)中野有朋，「超低音（聞えない音）」，技術書院

6)山崎和秀、時田保夫，「低周波領域音波の睡眠に対する影響」，日本音響学会講演論文集，1982

7)「低周波空気振動調査報告書」，環境庁大気保全局，昭和59年

8)「低周波音及び超低周波音測定方法」，日本騒音制御工学会・技術部会

（9）沿道建物の一般的な防音性能について

General Sound Insulation of buildings along Arterial Roads

植村　圭司　　上坂　克巳　　大西　博文
Keiji UEMURA　　*Katsumi UESAKA*　　*Hirofumi OHNISHI*
建設省土木研究所
Public Works Research Institute, Ministry of Construction
岩瀬　昭雄
Teruo IWASE
新潟大学工学部
Niigata University

[内容梗概]平成 11 年４月に、L_{Aeq} を評価指標とする新たな「騒音に係る環境基準」が施行された。同基準では、幹線交通を担う道路に近接する空間については、特例として「屋内へ透過する騒音に係る基準」が定められている。屋内へ透過する騒音は、建物の騒音の影響を受けやすい面における騒音レベルから、建物の防音性能値を差し引いて評価される。本稿では、沿道建物の一般的な防音性能値を主に建物の外壁の種類、窓の種類とその大きさの組み合わせから推定する目安となる防音性能表を提案した。その妥当性は、防音性能表により推定された防音性能値と実測データの比較により明らかにされた。

１．はじめに

平成 11 年４月に新たな「騒音に係る環境基準」が施行された。その基準では、幹線交通を担う道路に近接する空間については、特例として「屋内へ透過する騒音に係る基準」[1]が定められている。従って、屋内へ透過する騒音（以下、「屋内透過騒音」と呼ぶ）を推定する必要性が高まっている。

屋内透過騒音を予測するには、沿道建物の防音性能を推定する必要がある。建物の防音性能を算出する方法としては、建物の外壁や窓の組み合わせによる総合透過損失と屋内の吸音力を用いて計算する方法が既に知られている[2]。しかし、この方法には、めし合わせ（以下、「窓サッシの隙間」と呼ぶ）や、外壁のひび割れ、換気口から屋内に透過する騒音などは加味されにくい。また、計算にあたっては、建物構造の詳細な調査により、各々の計算条件を正確に設定する必要がある。

そこで、本稿では、予測計算手法などの提案に代え、建物の窓閉め時の防音性能を建物の外観を目視することにより簡易に推定できる目安となる防音性能表を提案することにした。この防音性能表は、主に、建物の外壁の種類、窓の種類とその大きさから防音性能値を推定するものである。また、この表では、外壁の隙間や換気口からの騒音の影響も加味されている。

個々の実際の建物は、建物の諸条件により、それぞれ違う防音性能を有すると考えられるが、ここでは現実的に沿道に立地する建物の、一般的な防音性能を推定するときの目安となる防音性能表を提案する。

そこで、第２章でまず建物の防音性能に影響を与える要因を抽出する。次に、抽出した要因を建物の外壁の種類、窓の種類とその大きさ、居室の吸音力から算出できる基本防音性能値と、それを低減させる他の要因に分類する。第３章

は標準的な居室を想定して、建物構造別の基本防音性能値を計算で導く。さらに、第４章では、計算に反映できなかった、窓サッシの隙間や、外壁のひび割れ、換気口の影響も加味し、建物の防音性能を推定する建物の防音性能表を提案する。最後の第５章では、提案した建物の防音性能表により推定された防音性能値と実測データと比較して防音性能値の妥当性を確認した。

２．建物の防音性能に影響を与える要因

2.1 建物の防音性能に影響を与える要因

窓閉め時の建物の防音性能を検討した。このとき、建物の防音性能に関係のある要因として、以下の点に着目した。

①建物外壁の透過損失

外壁の種類とその面積によって決まる。

②窓サッシの透過損失

窓サッシの種類とその面積によって決まる。

③屋内の吸音力

居室内の状態による居室の吸音力によって決まる。

④窓サッシの隙間による騒音の透過

⑤外壁のひび割れによる騒音の透過

⑥換気口からの騒音の透過

以上①～③については定量的に把握でき、第３章の建物の基本防音性能値の計算に反映する。④～⑥は定量的な計算が難しい要素であるため、第４章で基本防音性能値の再検討の際に取り上げる。

2.2 基本防音性能値の定義とその計算方法

新しい「騒音に係る環境基準」では、「屋内へ透過する騒音」は、「建物の騒音の影響を受けやすい面（以下「騒音影響面」と呼ぶ）における騒音レベル」から「当該建物の防音性能値」を差し引いて評価するものとされている[1)]。

この関係は次式に示される。

$$L_{Aeq}\ (\mathrm{Indoor}) = L_{Aeq}(\mathrm{Outdoor}) - D \qquad (1)$$

ここで

L_{Aeq} (Indoor)：屋内へ透過する騒音の等価騒音レベル[dB]。

L_{Aeq}(Outdoor)：騒音影響面に入射する屋外の等価騒音レベル[dB]。

D　：建物の防音性能値[dB]

防音性能値Dは、建物の外壁と窓の組み合わせによる総合透過損失と居室の吸音力で決まる基本防音性能値D_0に対し、窓サッシの隙間や換気口による騒音の透過の影響を考慮した防音性能の低下量ΔDを加味して補正できると考えた。

$$D = D_0 - \Delta D \qquad (2)$$

基本防音性能値D_0は、周波数別の基本防音性能値D_{0f}に道路交通騒音の周波数特性SP_fで重み付けしたオーバーオール値である。

$$D_0 = -10 \log \frac{\Sigma 10^{(SPf - D0f)/10}}{\Sigma 10^{SPf/10}} \qquad (3)$$

また、D_{0f}はL_{Aeq}に対するものであるべきであるが、建物に入射する騒音はランダム入射と仮定して、外壁の周波数別総合透過損失TL_f、室内の吸音力をA、騒音影響面の面積をSとして以下の式で求まるとした[2)]。

$$D_{0f} = TL_f + 10 \log (A / S) \qquad (4)$$

外壁の周波数別総合透過損失TL_fは、外壁の周波数別透過損失TL_{bf}、外壁面積S_b、窓の周波数別透過損失TL_{wf}、窓の面積S_w居室の室内平均吸音率α、居室全表面積S_rを用いて以下の式で示される。

$$TL_f = -10 \log \frac{10^{-TLbf/10} \times S_b + 10^{-TLwf/10} \times S_w}{S_b + S_w} \qquad (5)$$

$$A = \alpha \times S_r \qquad (6)$$

なお、$S_b + S_w = S$

道路交通騒音のスペクトルは、一般的に建物の遮音量を評価するときに用いられる ISO717-1 スペクトル NO.2 を用いた。なお、ASJ Model 1998の道路交通騒音のスペクトルを用いた試算も行ったが、前者のスペクトルを用いた計算結果と大差はなかった。

両者のスペクトルを比較して図－１に示す。

３．標準的な居室を想定した基本防音性能値の算出

3.1 計算条件の設定

建物の防音性能値の算出にあたり、建物の防音性能に影響を及ぼす要因のうち、基本防音性能値の算出に用いる A、S、S_b、S_w、$TLbf$、TL wf、α、Sr は、標準的な居室を想定して以下に示す条件とした。

(1)居室条件の設定

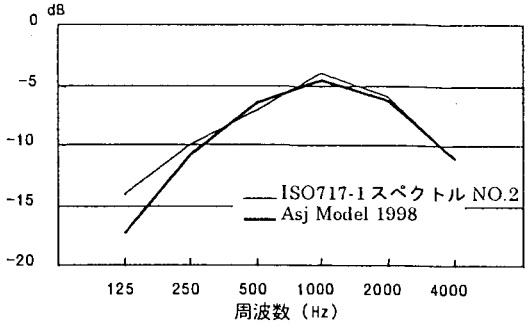
図－２に想定した居室と窓の大きさを示す。一般的な居室として 3.6m × 3.6m × 2.4m の 8 畳間を想定した。騒音影響面の面積Ｓは 8.6m² となる。窓の大きさは腰窓として 1.8m × 1.2m、掃き出し窓として 1.8m × 1.8m および 3.6m × 1.8m をそれぞれ想定した。

(2)外壁の周波数別透過損失の設定

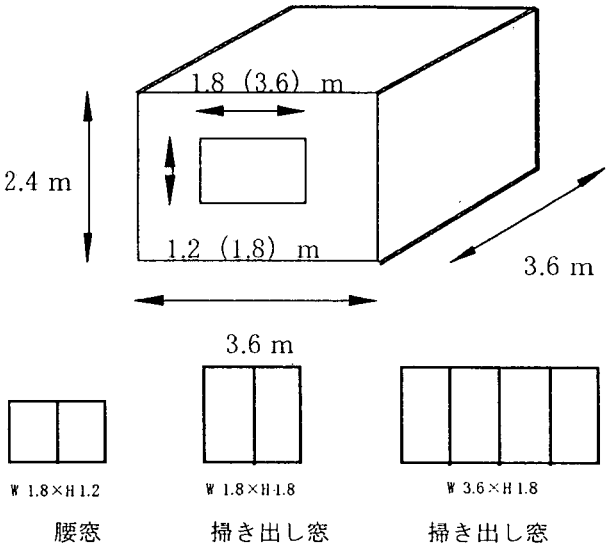
外壁は、目視により分類できるＲＣ、モルタル又はサイディング、在来型木造の３通りに分類した。既存文献[3)4)5)]による外壁種類別の周波数別透過損失を図－３に、また、その平均透過損失を図－４に示した。なお、外壁種類別の平均透過損失は、外壁種類毎の周波数別透過損失を算術平均して求めた。基本防音性能値の計算にあたっては、この平均値を用いた。

(3)窓サッシの周波数別透過損失の設定

窓サッシは、目視によって分類できる二重窓、固定窓、開き・回転窓、一重引き違い窓防音型、一重引違い窓普及型、スチール製サッシ、木製サッシの７つに分類した。一重引違い窓普及型の窓については網入りガラス（厚さ 6.8 mmを想定）と網無しガラス（ガラス厚５ mm と３ mm を想定）を想定した。既存文献[3)4)5)6)7)]による窓サッシ種類別の周波数別透過損失を図－５に、また、その平均透過損失を図－６に示した。なお、窓サッシ種類別の平均透過損失は、窓サッシ種類毎の周波数別透過損失を算術平均して求めた。基本防音性能値の計算にあたっては、この平均値を用いた。



図－１　道路交通騒音の周波数特性の比較



図－２　想定した居室と窓の大きさ

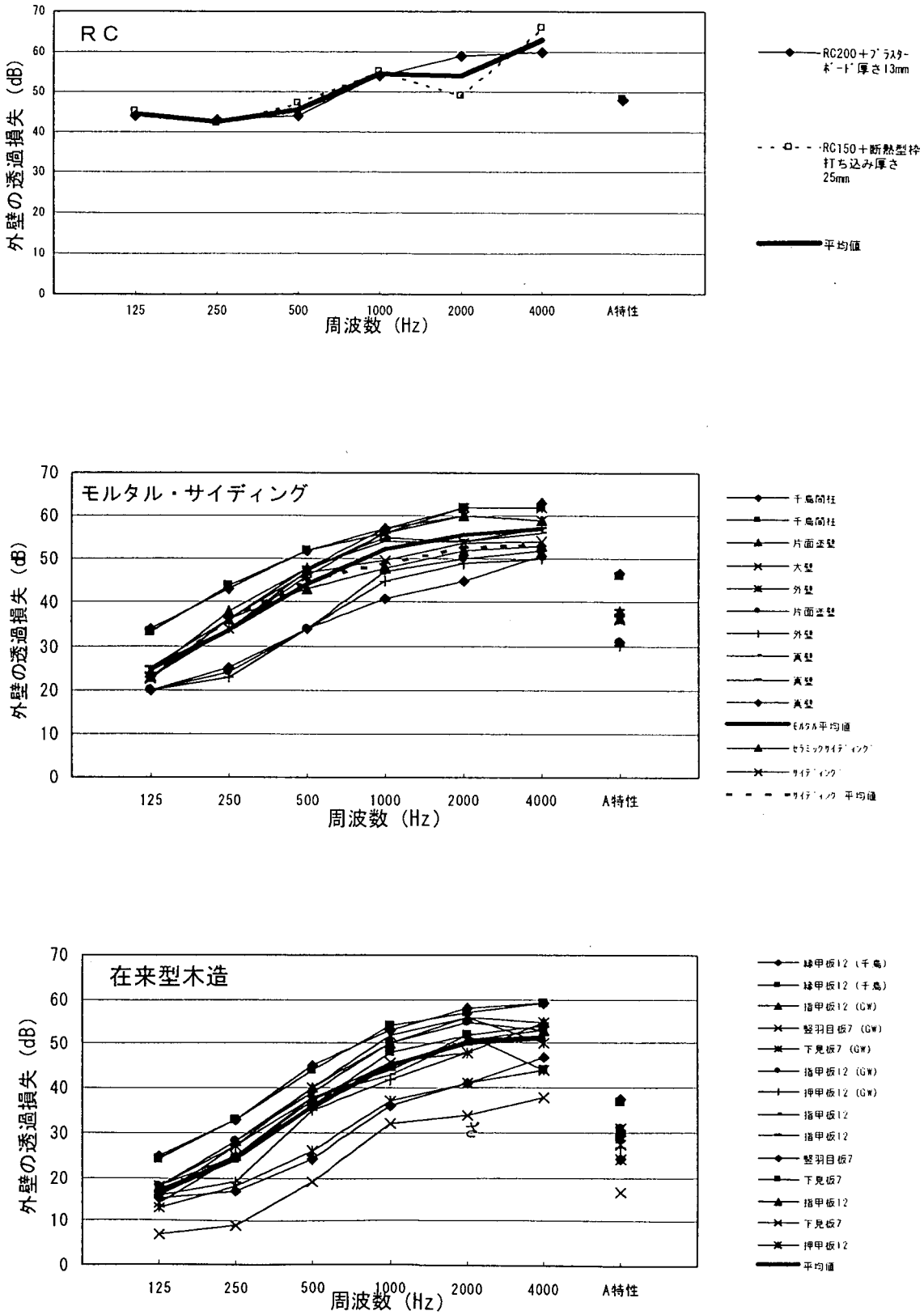
(4)居室内の吸音率の設定

居室内の吸音率 α は図－７に示す吸音率の実測値を参考に、周波数にかかわらず一律 0.25 とした。これらは、「５．防音性能表の検証」で用いたデータの実測時に測定したものある。

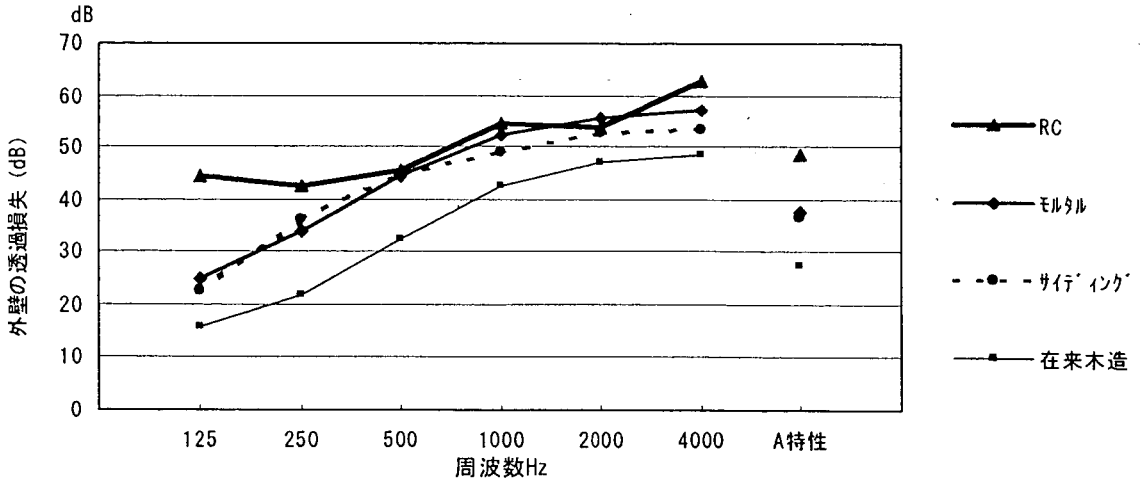
以上、設定した建物の条件を整理して表－１に示した。

表－１　設定した建物の条件

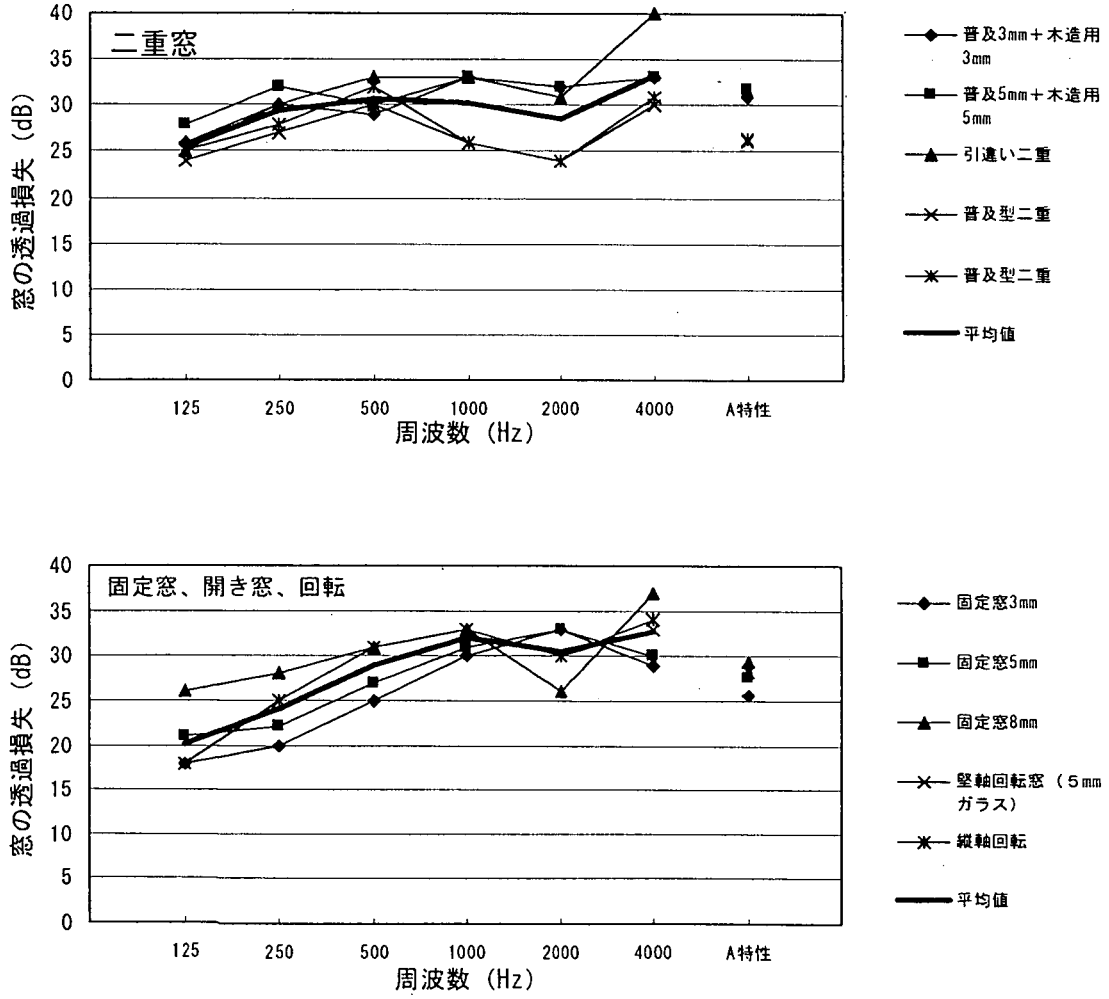
項　　目	設定した条件
対象周波数帯域	125 ～ 4,000Hz　（1/1 オクターブバンド）（抽出した透過損失の範囲、帯域幅）
対象の部屋	８畳（3.6m × 3.6m × 2.4m）騒音の影響を受けやすい面の面積Ｓ＝ 8.64m
部屋の吸音力	平均吸音率 α ＝ 0.25（125 ～ 4,000Hz）室内表面積Ｓr ＝ 60.5 m² A ＝ 15.1 m²
窓の大きさ	腰窓：1.8m × 1.2m（S_2＝ 2.16m²）　掃き出し窓：1.8m × 1.8m（S_2＝ 3.24m²） 掃き出し窓：3.6m × 1.8m（S_2＝ 6.48m²）
外壁材の周波数別透過損失	図－４参照
窓サッシの周波数別透過損失	図－６参照
道路交通騒音の周波数特性	ISO717-1 の No.2 スペクトル



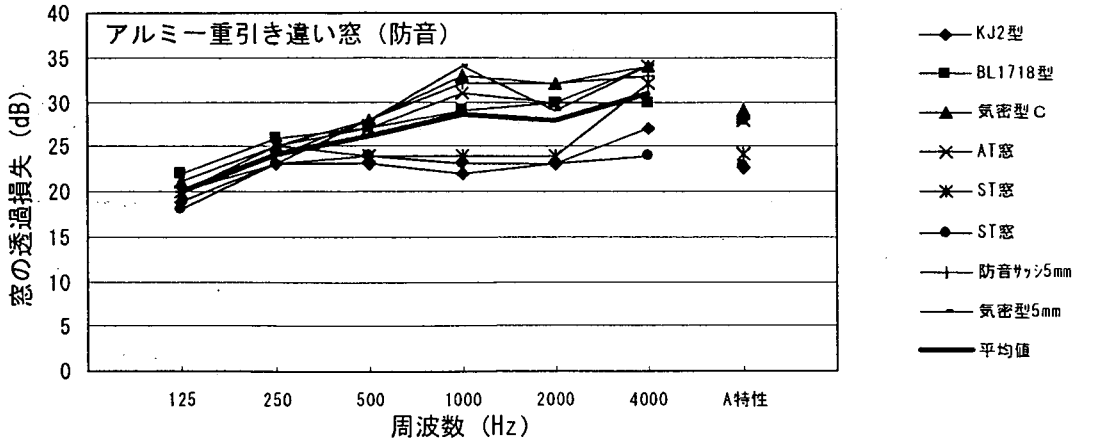
図－３　外壁種類別の周波数別透過損失

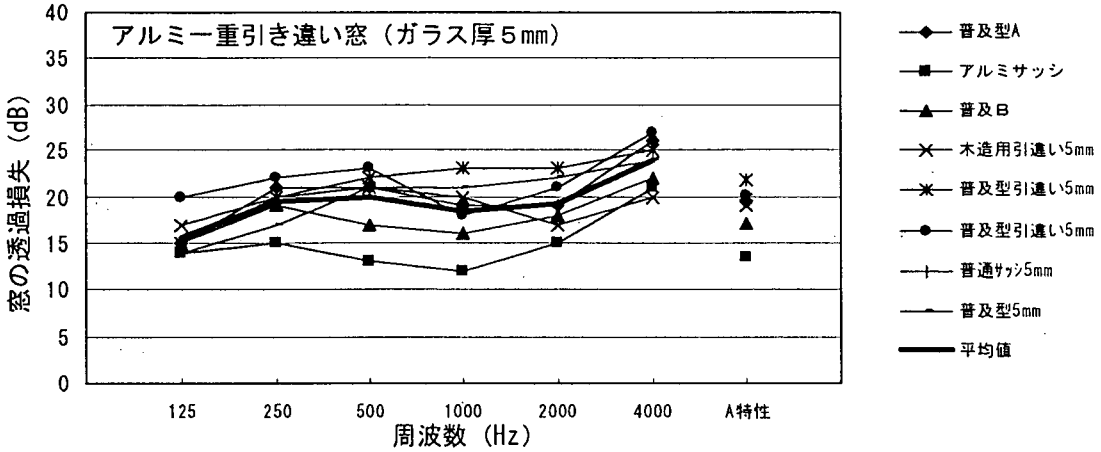


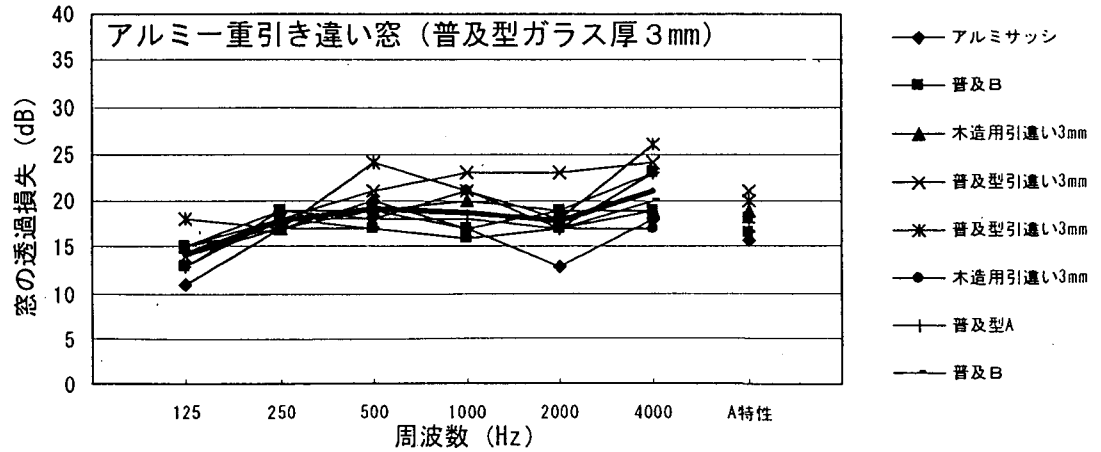
図－４　外壁の周波数別平均透過損失



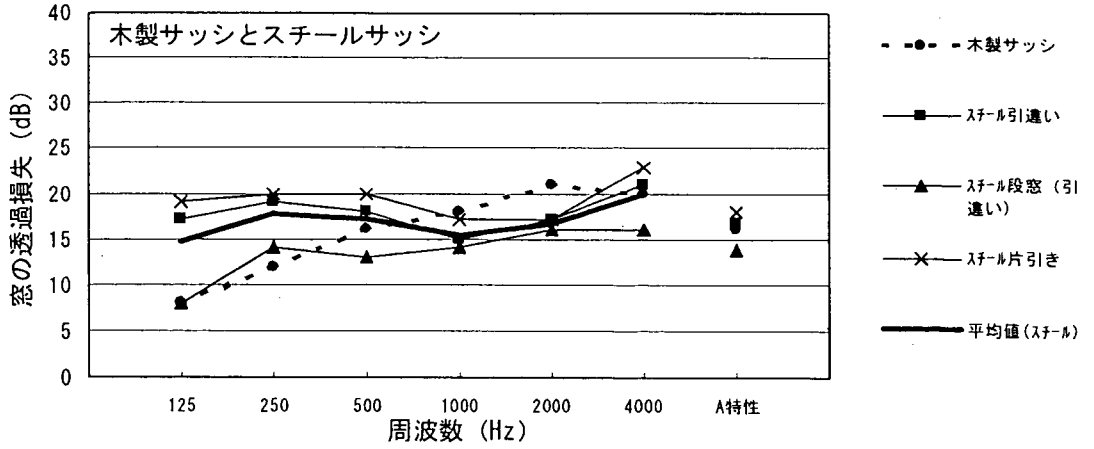
図－５　（１）　窓サッシ種類別の周波数別透過損失



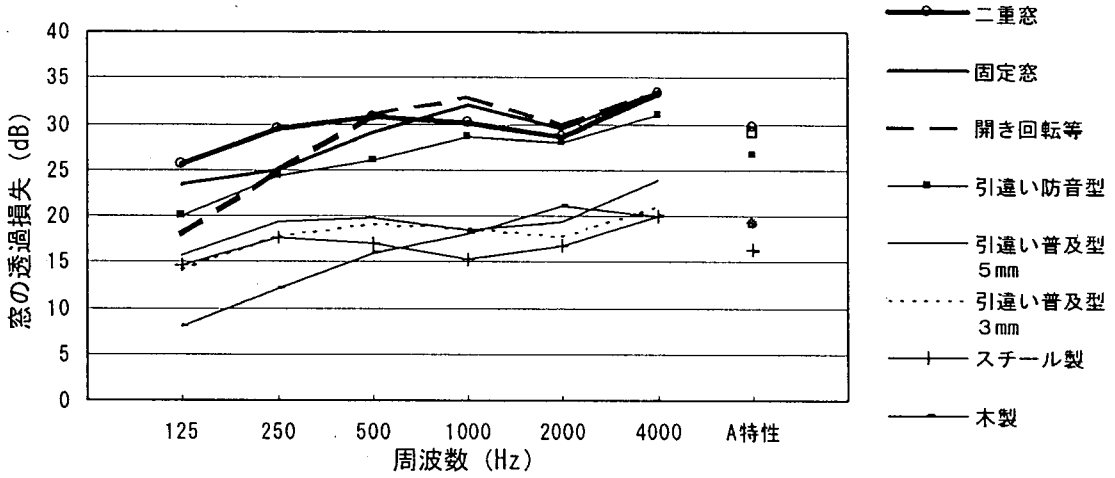




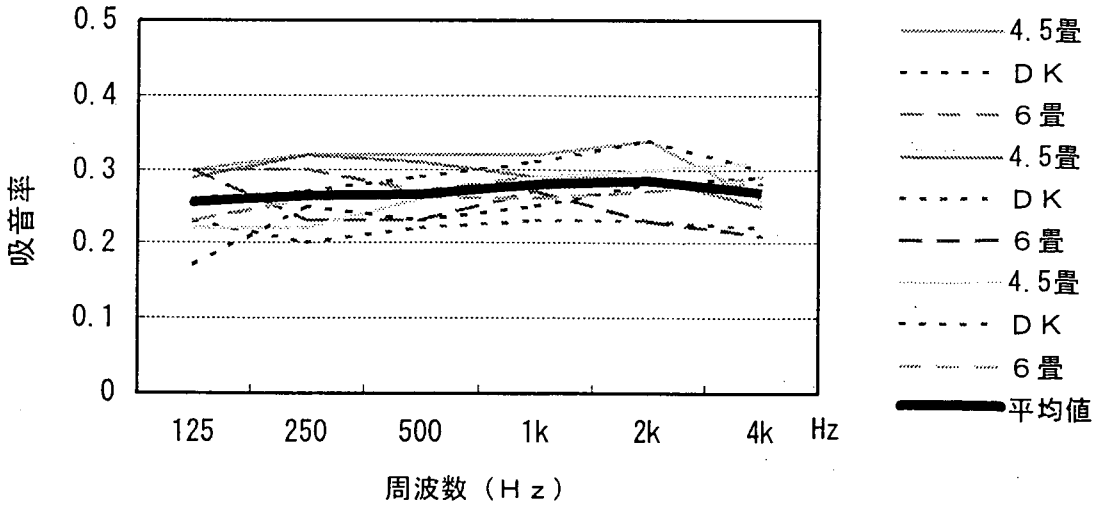
図－５（２）　窓サッシ種類別の周波数別透過損失



図－５　（３）　窓サッシ種類別の周波数別透過損失



図－６　窓サッシ種類別の周波数別平均透過損失



図－７　居室の吸音率

3.2 基本防音性能値D_0の算出結果

表－１に設定した条件で、建物の外壁と窓サッシの組み合わせ毎に建物の基本防音性能値D_0を計算した。計算結果を表－２に示す。

１重引違い普及型網なしサッシについては、ＲＣの高層建物のガラス厚を５mmとして計算した。一方、低層のＲＣ、モルタル・サイディング、在来型木造のガラス厚は３ mm として計算した。高層建物と低層建物でガラス厚を違えたのは、高層階の方が低層階より強い風速に対応させていると考えたためである。

４．沿道建物の防音性能表の提案

表－２に示した建物の基本防音性能値D_0は、建物の外壁と窓サッシの平均透過損失、居室の吸音率をもとに計算で求めたものである。しかし、建物の防音性能に影響を与える要因には、このほかに、窓サッシの隙間、外壁のひび割れ、換気口の影響がある。そこで、これらを考慮して基本防音性能値D_0を再検討した。

4.1 窓サッシの隙間、換気口に配慮した建物の防音性能値

(1)窓サッシの隙間による騒音の影響を加味した防音性能値

基本防音性能値D_0は、実験室として整備された環境で測定された、図－４、図－６に示される平均透過損失データを用いて計算されていて、実際の建物の防音性能としては過大に評価している可能性があると考えた。経験的にも、窓サッシの取り付け施行直後と比べて、使用後は防音性能が低下することが知られている。

そのため、計算結果のみで、実際の建物の防音性能をそのまま推定するのは実状にそぐわない可能性があり不適切と考えられる。しかし、一方で隙間の影響を定量的に把握するのも容易ではなく、そこで基本防音性能値D_0の数値を５dB 毎に切り捨てることによってまとめた（例えば 25.0 ～ 29.9dB のものは一律 25dB)。

この場合、さらに同じ防音性能値でまとめると表－２が表－３のように簡素化される。その結果、外壁の種類は、ＲＣ、モルタル・サイディング、在来型木造の３種類に分類できる。一方、窓の種別は、二重窓、アルミサッシ一重（固定窓、引き違い防音型窓・開き窓・回転窓、引き違い普及型窓)、スチールサッ製サッシ・木製サッシに分類できる。さらに、窓の大きさは窓の面積の総和が掃き出し窓１間相当以下かそれ以上かで分類することとした。

ここで、窓の面積の総和が１間の掃き出し窓相当より大きい場合は、窓の可動部分からの騒音の透過の影響が大きいと考え、その幅の合計が一間以内の場合に限り30dBとした。

表－２ 計算による基本防音性能値D_0

(腰窓：W1.8 × H1.2)

		高層	低層		
		RC	RC	モルタルサイディング	在来型木造
		4F ～	1 ～ 3F		
二重窓		38.0	38.0	36.2	30.3
固定窓		37.4	37.4	35.8	30.2
開き窓、回転窓		36.3	36.3	35.0	30.0
1 重引違い防音型	網入り(6.8mm)	36.0	36.0	34.8	29.9
	網なし(5mm)	35.1	35.1	34.1	29.6
1 重引違い普及型	網入り(6.8mm)	28.5	28.5	28.3	26.6
	網なし(3or5mm)	27.5	26.8	26.6	25.4
スチール製		24.8	24.8	24.7	—
木製		—	24.5	24.4	23.6

(掃き出し窓：W1.8 × H1.8)

		高層	低層		
		RC	RC	モルタルサイディング	在来型木造
		4F ～	1 ～ 3F		
二重窓		36.3	36.3	35.2	30.5
固定窓		35.7	35.7	34.8	30.4
開き窓、回転窓		34.6	34.6	33.8	30.0
1 重引違い防音型	網入り(6.8mm)	34.3	34.3	33.6	29.9
	網なし(5mm)	33.3	33.3	32.7	29.5
1 重引違い普及型	網入り(6.8mm)	26.8	26.8	26.6	25.6
	網なし(3or5mm)	25.8	25.0	24.9	24.2
スチール製		23.0	23.0	22.9	—
木製		—	22.7	22.6	22.2

(掃き出し窓：W3.6 × H1.8)

		高層	低層		
		RC	RC	モルタルサイディング	在来型木造
		4F ～	1 ～ 3F		
二重窓		33.0	33.3	33.1	31.4
固定窓		32.8	32.8	32.6	31.0
開き窓、回転窓		31.6	31.6	31.5	30.2
1 重引違い防音型	網入り(6.8mm)	31.3	31.3	31.2	30.0
	網なし(5mm)	30.3	30.3	30.2	29.3
1 重引違い普及型	網入り(6.8mm)	23.8	23.8	23.7	23.5
	網なし(3or5mm)	22.7	22.0	22.0	21.8
スチール製		20.0	20.0	20.0	—
木製		—	19.7	19.7	19.6

	35～39.9
	30～34.9
	25～29.9
	20～24.9
	15～19.9

(2)外壁のひび割れ、換気口の有無の影響を加味した防音性能値

外壁種別が、モルタル・サイディングや在来型木造の建物は、例えば老朽化による外壁のひび割れで隙間が生じることある。そこで、劣化の程度が著しい外壁を有する建物の防音性能値を、さらに５dB引き下げて在来型木造の防音性能と同等と見なすこととした。

そして、特に防音性能の高い建物では、換気口があると建物の防音性能が低下すると考え、外壁の種類がＲＣもしくはモルタル・サイディングの場合で、窓の種類が二重窓の建物の場合、換気口が無いか、防音型換気口がある場合に限り35dB以上の防音性能値を有すると分類することにした。

以上の結果を整理し、注意すべき点も付記して沿道建物の一般的な防音性能表として表－３の様にまとめた。

4.2 建物の防音対策の検討

沿道建物の一般的な防音性能表を用いて、建物の防音対策の効果を推定し、それにより防音対策を検討することができる。建物の防音対策の検討時に用いる防音性能表をさらに簡便な分類にして表－４に整理した。

考えられる建物の防音対策としては、窓を防音型に交換、外壁の補修、防音型換気口の設置が挙げられる。例えば、表－３によると防音対策前の住宅の窓が、引き違い普及型のアルミサッシ一重窓の場合は、建物の防音性能は 20dB か 25dB であることが分かる。その窓を二重窓・固定窓にすることによって、防音性能は 30dB か 35dB まで向上する。このとき、防音性能値を 35dB とするには、換気口を防音型にする必要がある。また、木造モルタル、在来型木造の建物で、対策時に外壁が著しく劣化しており明らかに隙間が目立つ場合は、補修が必要であるなどと、防音効果の推定とそれに対応させた注意点の把握が可能となる。

５．防音性能値の検証

表－３の防音性能表の検証を行うため、表－３から推定された建物の防音性能値と実測データを比較した（図－８参照）。また、検証に用い

表－３　沿道建物の一般的な防音性能表

窓の面積の総和が１間の掃き出し窓以下の場合

単位：dB

窓の種別＼外壁種別		RC	モルタル・サイディング[注1]	在来型木造
二重窓		35/30[注2]	35/30[注2]	30[注3]
アルミサッシ一重	固定窓	30	30	30[注3]
	引違い(防音型、開き、回転)	30	30	25[注3]
	引違い(普及型)	25	25	20
スチール製サッシ、木製サッシ		20	20	20

窓の面積の総和が１間の掃き出し窓より大きい場合

単位：dB

窓の種別＼外壁種別		RC	モルタル・サイディング[注1]	在来型木造
二重窓		30	30	30[注3]
アルミサッシ一重	固定窓	30	30	30[注3]
	引違い(防音型、開き、回転)	30/25[注4]	30/25[注4]	25[注3]
	引違い(普及型)	20	20	20
スチール製サッシ、木製サッシ		15	15	15

注１）木造モルタルのうち、ひび割れ、隙間等の補修が必要と思われる建物については在来型木造として扱う。
注２）二重窓で、換気口がない又は防音型の換気口を使用している場合に限り、防音性能値３５とする。普及型換気口を使用している場合は防音性能値３０とする。
注３）在来型木造のうち、明らかに隙間が目立ち補修が必要と思われる建物については防音性能値は２０とする。
注４）防音性能値３０は、可動部分の幅の合計が１間以内の場合に限る。可動部分の幅の合計が１間を超える場合は防音性能値は２５とする。

表－４　建物の防音対策時に用いる防音性能表

単位：dB

窓の種別＼外壁種別	RC モルタル・サイディング[注1]	在来型木造
二重窓、固定窓	35/30[注2]	30[注3]
防音型サッシ	30[注4]	25[注3]

防音型サッシ：防音型一重引違いサッシの他、気密型の開き窓、回転式の窓も含む。
注１）木造モルタルのうち、ひび割れ、隙間等の補修が必要と思われる建物については在来型木造として扱う。
注２）二重窓のうち、窓の面積の総和が１間の掃き出し窓相当以下の場合で、換気口がない又は防音型の換気口を使用している場合に限り、防音性能値３５とする。普及型換気口を使用している場合は防音性能値３０とする。
注３）在来型木造のうち、明らかに隙間が目立つ建物は補修が必要である。
注４）可動部分の幅の合計が１間以内の場合に限る。可動部分の幅の合計が１間を超える場合は防音性能値は２５とする。

た実測データの測定条件を表－５に示した。

実測は、SRC 集合住宅、RC 集合住宅、実験住宅に対して行われ、42 データが得られた。

実測方法は、JIS（案）「建築物の現場における音圧レベル差の測定方法」または JIS A 1520「建具の遮音試験方法」に従った。

測定条件として、音源は、道路交通騒音の実騒音とスピーカー音とした。居室の状態は、居住状態と空き部屋の状態、実験住宅の３種類である。騒音影響面の向きは、音源が実騒音の場合は沿道側であった。居室は、和室、洋室、ＤＫの３種類であり、規模は 4.5 畳～８畳であった。

外壁は、ＲＣ、モルタル、サイディングであり、在来型木造は含まれていない。

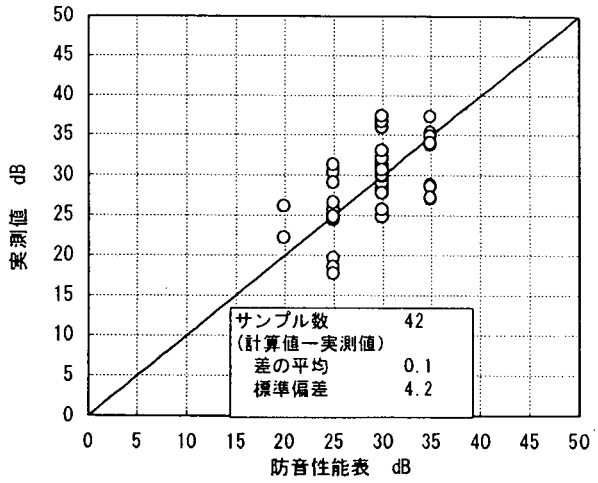
また、窓の種類は、二重窓、防音型窓、普及型窓、スチールサッシ窓である。窓サイズは、主に腰窓、掃き出し窓であり、窓の面積は 0.42 m^2～ 3.52m^2であった。本稿で計算した、1.8m × 3.6m の可動部分が２間の掃き出し窓の大きさのものは含まれていない。

この条件で、実測値と本稿で提案した防音性能表により推定した防音性能値を比較した。その結果、多少のばらつきが認められるものの、防音性能表の妥当性は概ね確認されたと考える。

検証に用いた実測データの測定条件

	SRC 集合住宅(4)	RC 集合住宅(8)	実験住宅(30)
音源	実騒音(12)		ｽﾋﾟｰｶｰ(30)
居室の状態	居作状態(11)、空き部屋(1)		実験住宅(30)
騒音影響面の向き	道路側(12)		
居室の種類	和室(4)	洋室(4)、DK(4)	和室(5)、洋室(21)
居室のサイズ	4.5 畳(4)	８畳(8)	８畳(30)
外壁種別	RC(4)	RC(8)	ｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞ(15)、ﾓﾙﾀﾙ(15)
窓サイズ	腰窓(4)	掃き出し窓(8)	腰窓(23)、掃き出し窓(7)
窓種別	１重普及型(4)	２重(6)、１重普及型(2)	２重(12)、１重普及型(9)、１重防音型(7)、はめ殺し(2)

（ ）内はデータ数



図－８　提案した防音性能表（表－３）と既存実測データの比較

６．まとめ

本稿では、建物の一般的な防音性能値を推定するときの目安となる防音性能表を提案した。この防音性能表を用いると、主に建物の外壁の種類、窓の種類とその大きさを目視で把握して、簡易に建物の防音性能値を推定できる。検討にあたっては、まず建物の防音性能に影響を与える要因のうち、外壁、窓の組み合わせと居室の吸音力から定まる基本防音性能値を計算によって求めた。次に、窓サッシの隙間、外壁のひび割れ、換気口からの騒音の影響を加味し、基本防音性能値を再検討し、沿道建物の一般的な防音性能値を導いた。この防音性能値を、外壁の種類、窓の種類とその大きさで分類したものが防音性能表である。

防音性能表により推定された防音性能値と、実測値を比較した結果、防音性能表の妥当性が概ね確認された。

この防音性能表は、建物の防音対策の検討にも有効に活用できると考える。

本稿の建物の防音性能値は、騒音影響面が道路に対して平行なときを想定して提案している。

しかし、騒音影響面が、道路に対して斜めになる場合は、道路からの騒音が建物の外壁に対して斜めに入射する。このとき、騒音の外壁への入射角度に応じた、窓や外壁の遮音性能の変化が考えられる。このことから、今後は、建物の騒音影響面が道路に対して斜めの状態のときなどの条件も加えて、建物の防音性能を検討する必要もあろう。

謝辞

本稿の内容については、(財) 道路環境研究所の屋内騒音予測手法検討委員会（委員は以下のとおり）において審議していただいた。検討にあたっては、委員の皆様から貴重なご意見を頂くとともに多くのデータを提供していただいた。ここに深く感謝の意を表するものである。

屋内騒音予測手法検討委員会

委員長　岩瀬昭雄（新潟大学工学部教授）
委　員　橘　秀樹（東京大学生産技術研究所教授）
大西博文（建設省土木研究所環境部交通環境研究室長）
福島寛和（建設省建築研究所第五研究部防煙研究室長）
斉藤　厚（建設省関東地方建設局道路部計画調整課課長補佐）
木村　衛（日本道路公団企画部道路環境課長）
鹿島行雄（首都高速道路公団計画部環境技術課課長補佐）
山本貢平（財団法人小林理学研究所研究企画室長）
吉村純一（財団法人小林理学研究所建築音響研究室主任研究員）
安岡博人（三井建設株式会社技術本部技術研究所第三研究部長）
事務局　財団法人道路環境研究所
公共計画株式会社

（敬称略）

参考文献

1) 環境庁　告示　平成10年環境庁告示第63号　騒音に係る環境基準について，平成10年9月
2) 日本音響学会編，音響工学講座，「騒音・振動」，pp149～153, 1992
3) 日本音響材料協会編，騒音・振動対策ハンドブック，技報堂，pp662-772, 1982
4) 久我新一，建築用遮音材料，技術書院，pp101-104, 114-117, 1974
5) 日本建築学会，音響材料の特性と選定，丸善，pp35-48, 1997
6) 木村翔，建築音響と騒音防止設計，彰国社，pp207-208, 1977
7) 日本住宅リフォームセンター，住宅の騒音対策についての基礎知識，p17, 1995

（１０）全国の直轄国道沿道における騒音実態について
－平成１０年度道路環境センサスの調査結果より－

Current Status of Road Traffic Noise of National Highways
-By The Result of Road Environment Census in 1998-

木村　健治　　上坂　克巳　　大西　博文

Kenji KIMURA　　*Katsumi UESAKA*　　*Hirofumi OHNISHI*

建設省土木研究所

Public Works Research Institute, Ministry of Construction

植村　圭司

Keiji UEMURA

新日本気象海洋（株）

Shin-Nippon Meteorological and Oceanographical Consultant CO., LTD

[内容梗概]本稿は、建設省が平成 10 年度に実施した道路環境センサスの、調査方法及び調査結果について報告するものである。道路環境センサスでは、全国の直轄国道約 21,000km のうち、①騒音の環境基準の類型指定、②騒音規制法に基づく地域の指定、③用途地域の指定のいずれかがなされている地域を通過する道路を対象に道路交通騒音の調査を行っており、平成 10 年度の調査対象は 3,777 地点、13,237km であった。この調査結果について、環境基準との比較を行ったところ昼間又は夜間における環境基準の超過は７割に達した。また、低騒音舗装（排水性舗装）による対策を実施した場合に、環境基準の超過延長がどのように改善されるかも検討した。

１．はじめに

近年、自動車交通量の増加に伴い、道路交通騒音が大きな問題となっている。このような状況の中、平成７年には「国道４３号・阪神高速道路騒音排気ガス規制等請求事件」の最高裁判所判決において、沿道住民に対する騒音等による生活妨害が認容され、道路環境対策の一層の推進が必要とされた。これも踏まえ、建設省は道路環境施策の充実を図るため、全国の直轄国道等を中心に騒音の実測調査（道路環境センサス）を開始した。

この調査は、道路交通センサス調査対象路線のうち直轄国道等について、①騒音の環境基準の類型指定、②騒音規制法に基づく地域の指定、③用途地域の指定のうち、いずれかがなされている地域を通過する全ての調査単位区間の騒音状況を把握することを基本的な目的とし、騒音調査を実施するものである。[1)]

平成 10 年度の道路環境センサスでは、全国の直轄国道の沿道 3,777 地点 13,237km において騒音、交通量等の実測調査を行った。

本稿では、道路環境センサスについて説明を行う。まず、２．で道路環境センサスの調査方法、評価方法を紹介し、３．で調査結果を「騒音に係る環境基準」に照らして環境基準の超過状況について報告を行う。４．で、仮に低騒音舗装による対策を実施した場合に、環境基準の超過状況がどのように改善されるかについて検討を行う。

２．道路環境センサスの調査方法

２．１　調査方法

1)調査項目

調査項目は、10 分間時間率騒音レベル（L_x）及び等価騒音レベル（L_{Aeq}）とし、同時に交通量、車速も測定した。また、測定地点の情報と

して、道路構造、併設道路の有無、騒音対策の実施状況、環境基準の類型指定、用途地域の指定、騒音規制区域の指定の状況を調べた。

2)騒音レベルの測定方法

騒音測定は、JIS Z 8731「騒音レベル測定」に従い、JIS C 1502 に定める普通騒音計を用いて、毎正時から 10 分間、24 回連続して行った。また、L_{Aeq} の測定は、積分型騒音計を用いるか、または普通騒音計により JIS Z 8731 に定める方法にしたがい、十分短いサンプリング間隔で行った。なお測定は、道路交通騒音以外の影響がなく、交通条件の特異でない平日に行った。

3)交通量の測定方法

毎時の騒音測定と同時に、上下別方向別、車種別（大型、小型の２車種分類）に 10 分間測定した。

4)車速の測定方法

毎時の騒音測定と同時に、その測定時間内の走行状態を代表する車両を上下方向別に各 10 台程度選定し、その走行速度を、測定位置前後 50m の区間内の通過時間から、上下別方向別に測定し平均値を算出した。

２．２　測定地点の選定の考え方

道路環境センサスにおける測定地点の選定の考え方を以下に述べる。

1)調査対象区間の設定

建設省が実施する全国道路交通情勢調査（道路交通センサス）の調査単位区間のうち、環境基準の類型指定地域、用途地域あるいは騒音規制区域を通過する区間を調査対象区間とした。

2)除外区間の設定

調査単位区間のうち、通常の騒音レベルが測定不可能、交通不能、トンネル・橋梁部のみが調査対象区間に該当するなどの場合は、これら区間を除外区間とし、調査単位区間から除いた。

3)騒音レベル代表区間の設定

除外区間を除いた後、調査単位区間の中で、道路条件、交通条件、騒音レベルがほぼ一定とみなせるよう区間を騒音レベル代表区間として設定した。１つの調査単位区間で騒音対策の実施、道路構造の違いにより騒音レベルが一定とみなせない場合は、騒音レベルが一定とみなせるように調査単位区間を分割し、騒音レベル代表区間を設定した。

２．３　測定地点の選定

１つの騒音レベル代表区間につき１地点の騒音実測調査地点を選定した。この測定地点の選定では、区間全体の騒音暴露状況を代表できる箇所とするように留意した。

２．４　騒音非測定区間でのデータ補完

効率的に道路交通騒音の状況を把握するために、次に示す場合には騒音の実測を省略した。

1)過年度データによる補完

過去に実測を行っており、また実測時以降に道路条件及び、交通条件等に変化がないと考えられる場合には、平成８年度及び平成９年度に測定した実測データを用いた。

2)他区間データによる補完

道路条件及び、交通条件等が類似する実測区間が近傍に存在する場合には、この実測区間のデータを用いた。

なお、平成 10 年度の道路環境センサスでは、実測箇所 912 地点、過年度データによる補完箇所 2,840 地点、他区間データによる補完箇所 25 地点であった。

３．道路環境センサスの調査結果

３．１　測定対象と環境基準値について

平成 10 年度の道路環境センサスでは、全国の直轄国道 3,777 地点、13,237km を対象とした。

また、この調査結果について L_{Aeq} を評価量とする新しい「騒音に係る環境基準（平成 10 年 9 月告示）」に示される環境基準値との比較を行い、時間帯別や都市規模別に超過状況を整理した。

なお、道路環境センサスの観測点は国道の道路端で行われている。ここで観測点は、幹線交通を担う道路の近接空間となるため、以下の環境基準値が適用される。

環境基準値	70dB	65dB
	昼間	夜間
	（6 ～ 22 時）	（22 ～ 6 時）

３．２　時間帯別の環境基準等の超過状況

昼間、夜間の時間帯別に環境基準の超過地点数を整理したグラフを図－２に示す。

これによると、全調査地点数 3,777 地点のうち、昼間の環境基準超過地点数は 2,348 地点

(62%)、夜間で 2,660 地点(70%)となっており、夜間の方が 312 地点(8%)多くなっている。

また、昼間または夜間のいずれかにおける環境基準超過地点数は 2,735 地点(72%)となった。

なお、夜間に 73dB（「騒音に係る環境基準」において、騒音対策を優先的に実施するものとされた夜間の騒音レベル）を超過している地点数は 760 地点(20%)に達しており、これらの地点では騒音対策の早急な実施が望まれる。

3．3　都市規模別の環境基準等の超過状況

都市規模別に環境基準の超過地点数を整理したグラフを図－3に示す。これによると、東京 23 区や 12 政令指定都市などの大都市地域において、超過地点数がやや多くなっていることがわかる。また、それ以外の地域においても、超過地点数が半数を超えており、騒音問題は大都市地域だけでなく、全国に広がっていることがわかる。なお、夜間に 73dB を超過している地点数は大都市地域で 24%となっており、それ以外の地域よりも多くなっている。

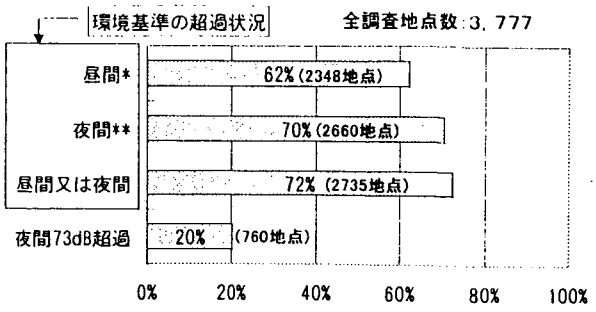
4．低騒音舗装による対策効果の試算

3．で示すように、全国の直轄道路沿道において環境基準を超過する箇所が多数存在している。このため、これらの箇所などの道路交通騒音が厳しい区間については、関係機関が連携して、自動車単体対策、交通流対策、道路構造対策及び沿道にふさわしい土地利用への転換等の沿道対策を総合的に進めることが必要である。

なお、道路構造対策には、遮音壁や環境施設帯の設置や低騒音舗装の実施等が考えられる。

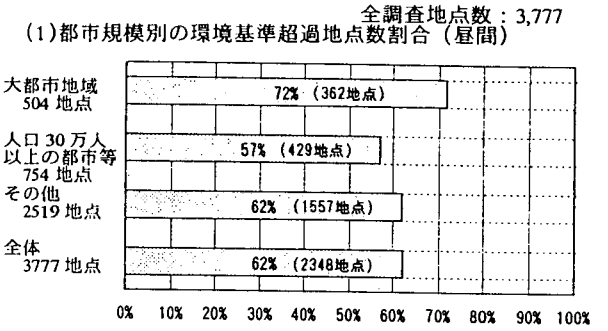
ここで、今回の調査対象道路のうち、昼間または夜間のいずれかの時間帯で環境基準を超過する道路区間について仮に低層音舗装（排水性舗装）を実施した場合、環境基準超過延長がどのように改善されるかについて試算する。

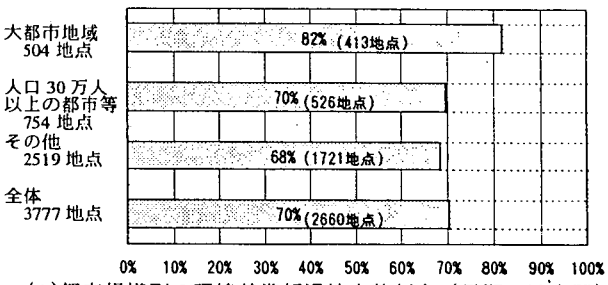
今回の調査結果をもとに、騒音レベル別の測定地点数について整理したグラフを図－4に示す。このグラフを見ると、昼間では 71dB ～ 75dB において 1,843 地点(49%)、夜間では 66dB ～ 70dB において 1,177 地点(31%)の測定地点が存在している。つまり、環境基準を少し上回る範囲に多くの測定地点が存在しているため、騒音レベルが少し改善するだけで、広い範囲におい

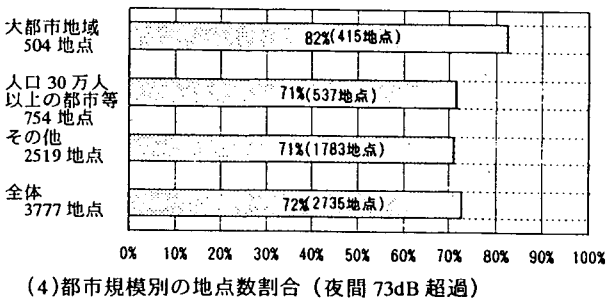


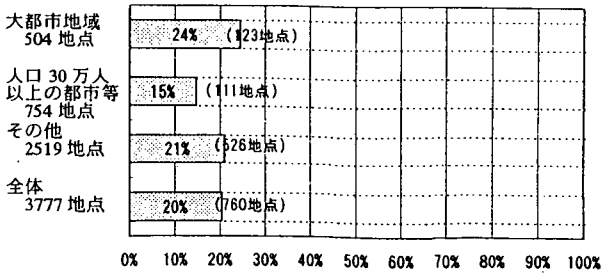
集計対象地点：平成10年度道路環境センサスの直轄国道調査
*昼間：午前６時～午後１０時。
**夜間：午後10時～午前６時。

図－2　時間帯別の環境基準等の超過状況









・大都市地域とは東京 23 区及び 12 政令指定都市をいう。
・人口 30 万人以上の都市等とは県庁所在地及び人口 30 万人以上の都市（ただし大都市地域を除く）をいう。

図－3　都市規模別の環境基準等の超過状況

て環境基準を満たすことを示している。

次に、騒音レベル別の道路延長の累積度数曲線と低層音舗装実施後の道路延長の累積度数曲線を重ね合わせたグラフを図－５に示す。この試算では低層音舗装は、昼間又は夜間いずれかにおいて環境基準を超過した箇所に設置するものとし、騒音低減効果は３ dB と仮定している。

これによると、低騒音舗装を実施した場合の効果は以下のとおり試算される。

①昼間の環境基準（70dB）を越える延長は、約8,400km（63%）から約 4,600km(35%)に減少。

②夜間の環境基準（65dB）を越える延長は、約9,300km(70%)から約 7,100km(54%)に減少。

③優先的に対策を実施すべきとされている夜間の騒音レベルが 73dB を越える延長は、約2,800km(21%)から約 900km(７%)に減少。

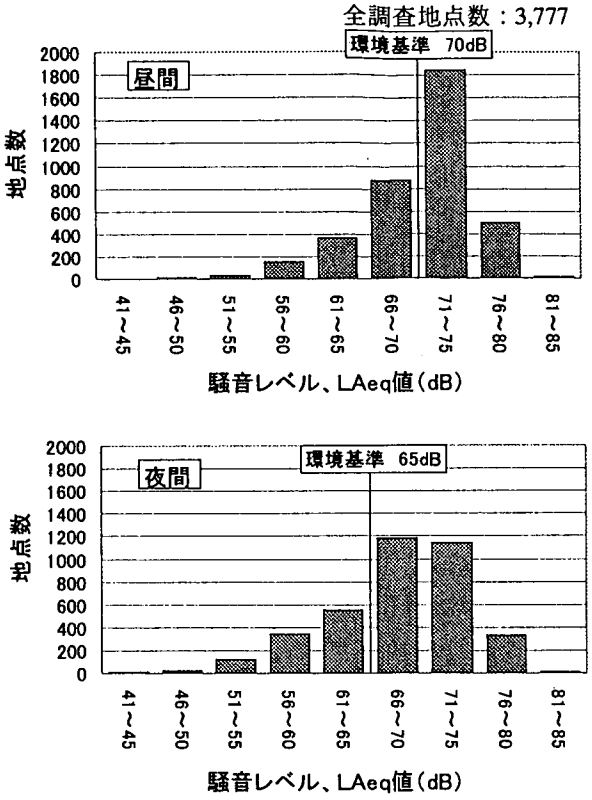
５．まとめ

全国の直轄国道約 21,000km のうち、3,777 箇所、13,237km において道路環境センサスとして騒音の実測調査を行った。そして、騒音の L_{Aeq} 実測値を用いて、平成１０年９月に告示された「騒音に係る環境基準」による評価を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

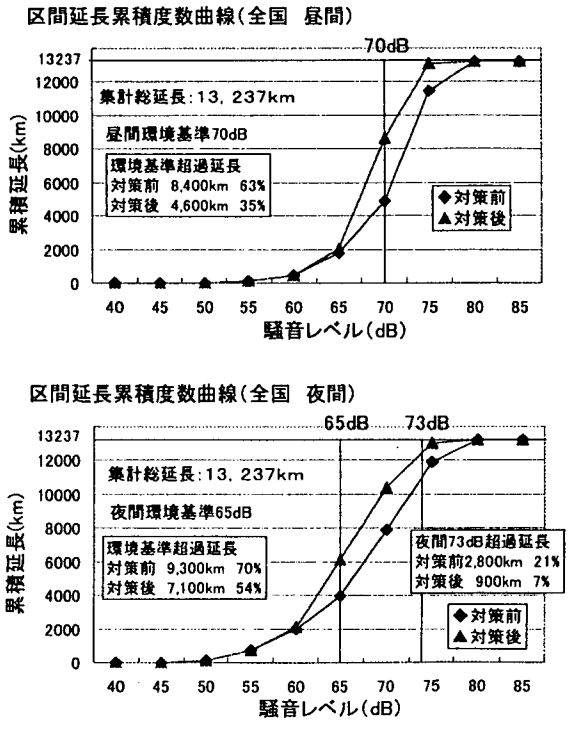
1)道路環境センサスの実測結果を用いて、直轄国道の調査地点について、新しい「騒音に係る環境基準」に照らして評価した結果、昼間または夜間において環境基準を超過している地点数は 72%となった。また、優先的に騒音対策を実施する必要のある夜間の騒音レベルが 73dB を越えている地点数は 20%となっており、沿道騒音の実態は依然厳しい状況にある。

2)都市部以外の地域でも、多くの測定点で騒音レベルが環境基準を超過している。このため、全国的な騒音対策を行っていく必要がある。

3)昼間または夜間のいずれかの時間帯で、環境基準を超過する道路に仮に低騒音舗装を実施したとした場合、環境基準超過延長が昼間で 63%から 35%、夜間で 70%から 54%に大幅に改善される。



図－４　騒音レベル別の測定地点数



図－５ 騒音レベル別の道路延長の累積度数曲線

参考文献

1)植村圭司、上坂克巳、大西博文：道路環境センサスにおける幹線道路沿道の騒音実態，土木技術資料，41 巻８号，1999

（１１）低層遮音壁の騒音低減効果とその設計

鉢嶺清範* 上坂克巳** 大西博文***

1. 低層遮音壁とは

低層遮音壁とは、写真-1に示されるような歩車道の境界に設置される高さ1m程度の高さの低い遮音壁のことである。これは、国道4号東京都足立区南千住に試験施工された低層遮音壁の一例である。

普通、遮音壁というと、高さが3m、5mの背の高い遮音壁を想像する。しかし、このような道路交通騒音対策用として使われている遮音壁は、高速道路など沿道利用のない自動車専用道路に設置する場合には問題ないが、都市内の一般の道路に設置する場合には問題が残る。なぜなら、遮音壁を設置することによって、道路と沿道とのアクセスが制限されたり、歩道上の歩行者に圧迫感を与えたり、沿道地域に対して日照障害や電波障害を引き起こしたり、さらには、良好な景観を保つことにも影響を与えてしまう。そこで、これまでの背の高い遮音壁が設置できないのであれば、上記のような沿道への影響が小さい背の低い遮音壁の設置を考えた。

遮音壁は、主に音を遮蔽することによって減音効果を得ていることはよく知られている。たとえ高さ1m程度の低い遮音壁でも、ある程度の減音効果が期待できるはずである。これまでも沿道利用がある道路では、歩車道境界に植樹を行ったり、横断防止柵を設置してきた。このような場合、植栽枡やガードパイプを少し工夫して設置することにより、その背後ではある程度の減音効果を得ることができるはずである。このような考えをもとに、研究を始めたのが高さ1m程度の背の低い遮音壁である。



写真-1 低層遮音壁 (国道4号東京都足立区南千住)

図-1は、前述の国道4号の低層遮音壁が道路延長方向に設置されている様子を示した平面図である。これを見ると、低層遮音壁は道路延長方向に、途切れることなく連続して設置されていないことがわかる。これは、道路と沿道のアクセスの阻害とならないように、遮音壁の所々に開口部を設けているためである。しかし、このような開口部があれば、当然、そこから音が漏れ、遮音壁の役目を果たせないのではないかと考えられる。背の高い遮音壁では、開口部ができないように連続して設置されていて、このような場合の減音効果は、容易に予測することが可能である。では、低層遮音壁のように、所々に開口部があるような場合、その減音効果をどのように予測・評価するかが問題になる。

もう一つ低層遮音壁の設置例がある。三重県四日市市の国道23号に設置されているものである(写真-2)。

この例と写真-1の例を比較すると、低層遮音壁の形状やデザインが異なっていることに気づく。このようにデザインや構造物の形状、用いられる材料が違っても、低層遮音壁としての減音効果はほとんど変わらないのだろうか。また、低層遮音壁の設置を考えた場合、どのように設計し、どのような

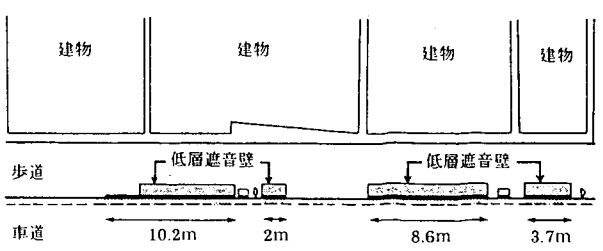


図-1 低層遮音壁 (国道4号東京都足立区南千住) 平面図



写真-2 低層遮音壁 (国道 23 号三重県四日市市)
※歩道より撮影。写真左側が植栽枡タイプ低層遮音壁。

材料を用いて、どのような形状・デザインにしたらよいのであろうか。

このように、現在、低層遮音壁が広く普及していない理由として考えられるのは、高さが低いと、また所々に開口部があると効果がないのではないか、開口部があるような低層遮音壁の減音効果の予測は難しいのではないか、どのように低層遮音壁を設計したらよいのか、という疑問があるからであろう。以下では、これらの疑問点について述べていくことにする。

2. 連続した低層遮音壁の騒音低減効果

低層遮音壁は、奥行きのほとんどないパネルタイプとある程度の奥行きを有する植栽枡タイプに大別できる。ここでは、パネルタイプの低層遮音壁が道路延長方向に連続して設置された場合の減音効果の測定例を紹介する。まず、高さ 0.9m、厚さ 20mm、設置延長 18m の低層遮音壁を、自動車の走行ライン (車両幅中心線) から側方 2.5m の位置に設置し、設置延長中央の遮音壁面から 2m、地上高さ 1.2m の位置において騒音低減量を実測した例 [1] がある。これによると低層遮音壁の騒音低減量は、ピーク時において、乗用車の場合で 7dB(A)、大型車の場合で 6dB(A) となっている。

また、土木研究所の試験走路において、低層遮音壁 (奥行 10cm、高さ 100cm、延長 120m 相当) を設置し減音効果の測定 (写真-3) を行った例がある。この測定では、点音源を離散的に配置して騒音レベルを測定した。これより各受音点毎にユ

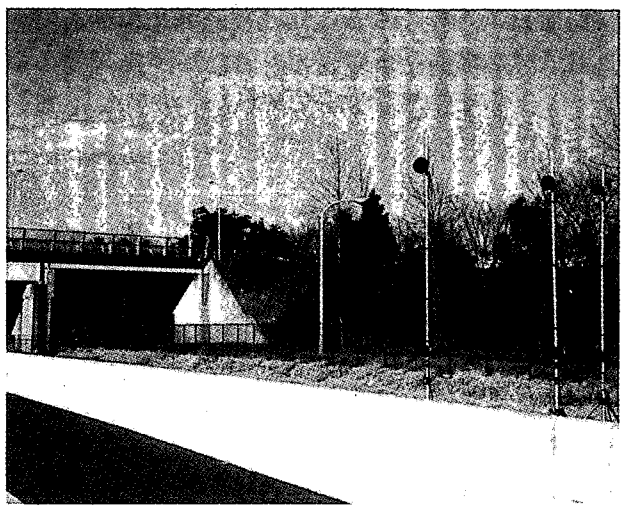


写真-3 低層遮音壁 (土木研究所試験走路)

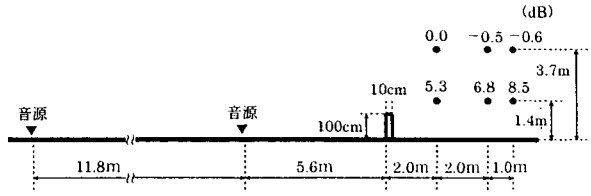


図-2 低層遮音壁の減音効果

ニットパターンをもとめ、これを基に各受音点の減音効果を計算している。受音点位置は、図-2 に示す 6 点とし、音源位置は、上下あわせて 6 車線の道路を想定して遮音壁車道側表面よりそれぞれ 5.6m、17.4m の位置、高さは 0.3m である。受音点高さ 1.4m の場合、L_{50} 相当にして 5~8dB 程度の減音効果があることがわかる。

なお、図-2 の例では受音点の上に実測された減音効果を示している。

どちらの例からも、たとえ高さが低い遮音壁であっても、その背後においては、ある程度の減音効果を得ることができることがわかる。

3. 開口部を有する低層遮音壁の騒音低減効果

3.1 簡易計算法

低層遮音壁の減音効果の予測・評価が困難な主な理由として、低層遮音壁が所々に開口部を有し、評価地点と開口部の位置関係により減音効果が複雑に変化することが挙げられる。

筆者らは、評価地点により騒音レベルが複雑に変化する場合、評価区間全体の平均的な騒音レベル及び減音効果を表す指標として、区間平均等

価騒音レベル ($SA \cdot L_{Aeq}$) 及び区間平均挿入損失 ($SA \cdot IL$) を提案している。また、評価区間の中で、ある特定地点の騒音レベルを評価する必要がある場合は、地点別挿入損失 (IL) を用いて評価することができる。

以下に、低層遮音壁設置前後の L_{Aeq} の差として表される地点別挿入損失 (IL) と、同 $SA \cdot L_{Aeq}$ の差として表される区間平均挿入損失 ($SA \cdot IL$) を求めるための簡易計算式を示す[2),3)]。

$$IL = -10\log_{10}\left\{1 - \frac{\theta}{\pi}(1 - 10^{-IL_0/10})(1 - 10^{-TL/10})\right\} \quad (1)$$

$$SA \cdot IL = -10\log_{10}\left[10^{-(SA \cdot IL_0)/10} + \{1 - 10^{-(SA \cdot IL_0/10)}\}\alpha\right] \quad (2)$$

$$SA \cdot IL_0 = -10\log_{10}\left[1 - (1 - 10^{-IL_0/10})(1 - 10^{-TL/10}) \times \frac{1}{\pi}\left\{2\tan^{-1}\left[\frac{l}{d}\right] - \frac{d}{l}ln\left[1 + \frac{l^2}{d^2}\right]\right\}\right]$$

ここで、

IL(地点別挿入損失)：沿道の特定地点における遮音壁設置前後の L_{Aeq} の差

$SA \cdot IL$(区間平均挿入損失)：評価区間における遮音壁設置前後の $SA \cdot L_{Aeq}$ の差

l ： 評価区間長

d ： 遮音壁の評価点側の側面と評価点 (線) の距離

θ ： 評価点から遮音壁の評価点側壁面の見込み角の和

α(開口率)：評価区間長に対する低層遮音壁の未設置区間の延長の割合

TL：パネル材料の透過損失

IL_0：無限長の連続した低層遮音壁を仮定した場合の挿入損失

$SA \cdot IL_0$：評価区間において、有限長の連続した低層遮音壁を仮定した場合の区間平均挿入損失

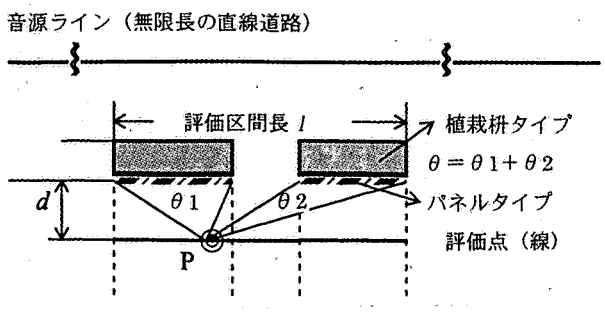


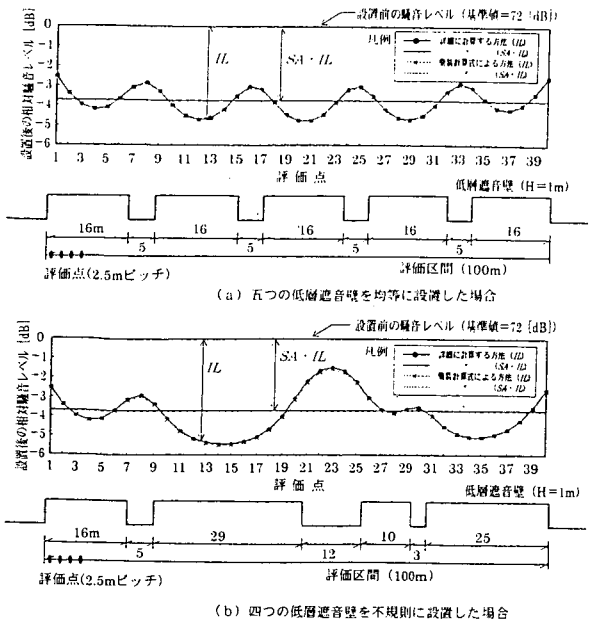
図-3 低層遮音壁の減音効果計算のための模式図[3)]

なお、低層遮音壁の評価区間長 l 等、減音効果計算に用いる変数の定義を図-3 に示す。

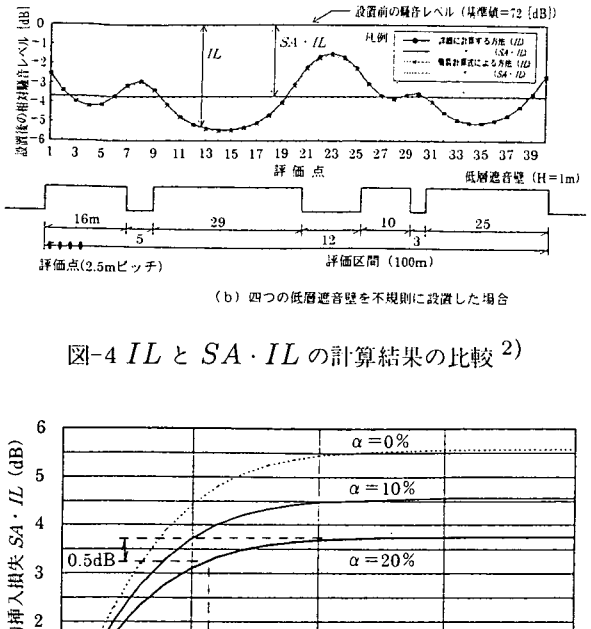
3.2 予測計算のケーススタディ

図-4(a),(b) に示すように 100m の評価区間に、開口率が 20%のパネルタイプの低層遮音壁が設置されている場合に、遮音壁の数、設置位置が異なる 2 ケースを設定して、(1),(2) 式の妥当性の検証を行った。開口率 20%は、現実の沿道利用のある道路において一般的と考えられる開口率として設定した。評価区間を 40 等分し、各区間の中央の道路端上で、車道面からの高さ 1.4m の位置に 40 の評価地点を設定する。一方、交通条件は、道路交通騒音の予測計算を行う場合の一般的な条件を用いて、近車線側の交通量 1,000 台/h、走行速度 60km/h、大型車混入率 15%と設定し、各評価地点における L_{Aeq} を、日本音響学会提案のエネルギーベース騒音予測法により算出した。開口率が同じで設置位置の異なる (a),(b) の 2 ケースについて、低層遮音壁の上方、側方の回折音の寄与を合成する方法 (回折音の伝搬経路を考えて減音効果を詳細に計算する方法、詳しくは参考文献 2),3) を参照) と、見込み角 θ と開口率 α を用いた簡易計算式 (式 (1),(2)) による方法で計算し、地点別挿入損失 (IL) と区間平均挿入損失 ($SA \cdot IL$) を比較した。図-4 により二つの計算方法の差異を比較すると、(a),(b) どちらのケースにおいても、IL と $SA \cdot IL$ の 2 つの計算値は、図上で区別ができないほどよく一致している。これより、IL と $SA \cdot IL$ の算出は、3.1 で示した簡易計算式を用いても実用上問題ないことがわかる。さらに、(a),(b) それぞれの IL と $SA \cdot IL$ を比較すると、両者の IL の分布状況について開口部の位置の違いによる大きな差が認められるが、$SA \cdot IL$ に関しては、両者の差はほとんど見られない。これは、$SA \cdot IL$ が低層遮音壁の開口部の位置にかかわらず、開口率によって求められることを示している。

次に、式 (2) を用いて、開口率を 0%、10%、20%とした場合に、遮音壁パネル材料の透過損失と $SA \cdot IL$ の関係を求め、図-5 に示す。これに



（a）五つの低層遮音壁を均等に設置した場合



（b）四つの低層遮音壁を不規則に設置した場合

図-4 IL と $SA \cdot IL$ の計算結果の比較 [2)]

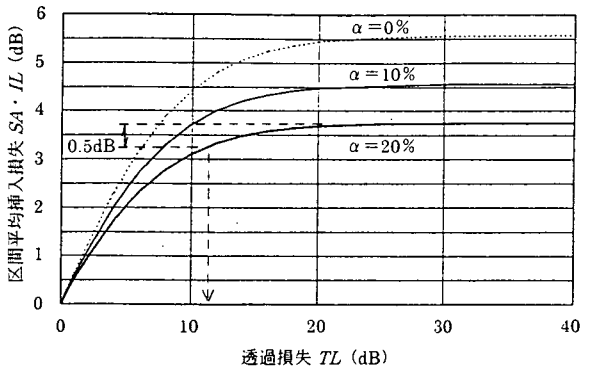


図-5 低層遮音壁に許容される透過損失 [3)]

よると、$SA \cdot IL$ の減少を 0.5dB 程度に抑えることのできる透過損失は、開口率が 0%で 14dB、20%で 11dB である。この程度の透過損失があれば、低層遮音壁の材料として利用できることがわかる。

なお、パネルタイプを植栽枡タイプに変えることや、歩車道境界と中央分離帯にパネルタイプを併設することにより減音効果を高めることができること、及び、簡易計算式による方法と詳細な計算による方法の計算結果は、模型実験による実測値と整合がとれることも明らかになっている [3),4)]。

4. 低層遮音壁のデザイン

低層遮音壁を設計する場合、その構造は、道路構造、歩道幅員や植樹帯幅及び沿道状況等に応じて低層遮音壁の構造を使い分けることが必要である。低層遮音壁の具体的な構造を検討する際には、減音効果の予測計算の結果により設定された遮音壁の高さ、吸音板の有無、植樹帯幅を踏まえ、低層遮音壁の材料、断面形状、道路延長方向のデザインの工夫を行うことが必要である。

4.1 歩道空間の閉鎖性、圧迫感をやわらげる工夫

歩道幅員が狭い、沿道敷地にゆとりがない、遮音壁が高くなる等の場合、低層遮音壁を設置すると歩道空間は閉鎖的なものとなり、歩行者、沿道住民は、圧迫感を受けることになる。このような場合には、植栽枡タイプではなくパネルタイプの低層遮音壁にする、あるいは低層遮音壁の材料として透光板を採用したりすることにより、歩道空間の閉鎖性や圧迫感をやわらげることを検討する。

4.2 歩道幅員、植樹帯幅の違いへの対応

4.2.1 植樹帯を設置できない場合

歩道幅員が狭い場所は、植樹帯が設置されていない場合がほとんどである。このような場所に低層遮音壁を設置する場合には、既存の横断防止柵やガードパイプ等の替わりに、厚さの薄いパネルタイプを設置するとよい。さらに、このような場所では、歩行者が低層遮音壁を近くで見たり、あるいは、直接触れることになる点に配慮し、低層遮音壁の壁面や天端の処理を工夫する。

4.2.2 植栽がとれる場合

歩道幅員に余裕のある場所では、既存の植樹帯の中に低層遮音壁を設置する、また既存の植樹帯がない場合には、新たに奥行きのある植栽枡タイプの低層遮音壁を設置するとよい。

なお、植樹帯幅が狭い場合 (1.0m 程度) は、ツタ類や低中木等を植栽するとともに、低層遮音壁の壁面処理を工夫する。

植樹帯幅が広い場合 (1.0m 程度以上) は、ゆとりある歩道空間を生かし、低中高木の植栽構成を工夫し、変化に富んだ緑量の多い植栽や花壇とするなど、潤いのある空間を整備するとよい。また、ベンチ等を用い、人のたまり空間を整備する工夫も必要である。その他、車道側にも植栽を施すなどドライバーに対して配慮すること可能である。

日照条件が厳しい場合には、植え込まれる植物については、耐陰性のある樹種を選定する、低層遮音壁の壁材料として透光性のあるものを用いる等の工夫も必要である。

4.3 低層遮音壁の断面形状、道路延長方向のデザインの工夫

低層遮音壁の構造について、断面形状及び道路延長方向のデザイン展開を工夫する。

4.3.1 断面形状のデザイン

断面形状は、低層遮音壁のタイプ(パネルタイプ、植栽枡タイプ等)、植栽の構成(配植、樹高、樹種)、透光板との組み合わせ等によりデザインの基調となる各種の断面形状が設定できる。図-6に低層遮音壁の断面形状の例を示す。

4.3.2 道路延長方向のデザイン

低層遮音壁の道路延長方向の展開は、低層遮音壁が設置される植樹帯幅、遮音壁の設置延長、歩道切り下げの頻度、地域特性、各利用者の視点(歩行者、ドライバー、沿道住民等)を考慮して、デザインを工夫する。図-7に低層遮音壁の道路延長方向のデザイン例を示す。

4.4 個別の低層遮音壁に対する工夫

個々の低層遮音壁について、できるかぎり設置延長を長くし開口部を少なくする。やむをえず途中で開口部を設ける場合でも、低層遮音壁同士の間隔を小さくするなど連続性を高める工夫が必要である。

また、低層遮音壁では、背が低く開口部があるために直接届く音があったり、回折減衰がそれほど大きくないため、材料に高い透過損失を求める必要がない。このため3.2で示した程度の透過損失を持つ材料を選択すればよく、幅広い材料、及びデザインの選択が可能で、設置する区間の景観性

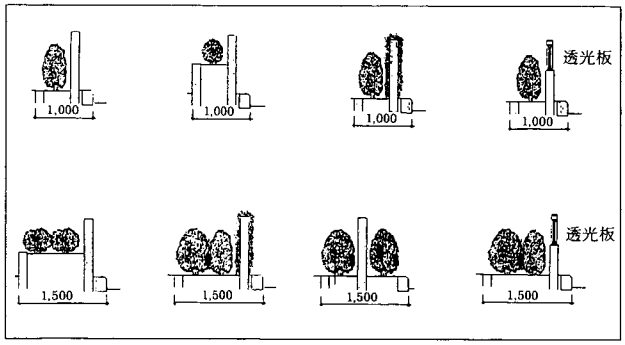


図-6 断面形状の例

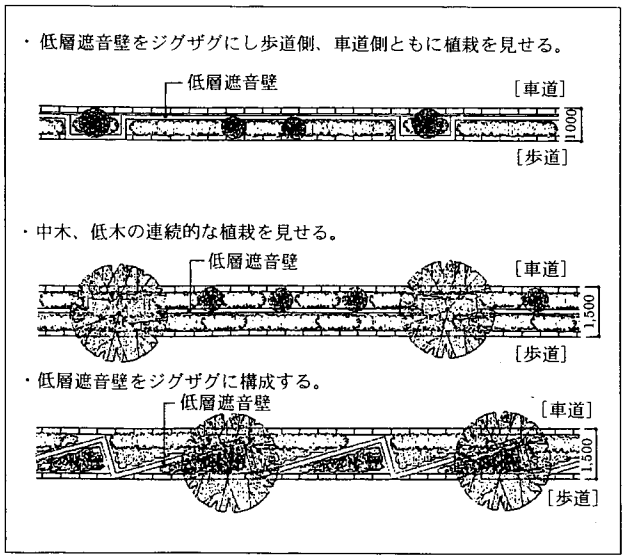
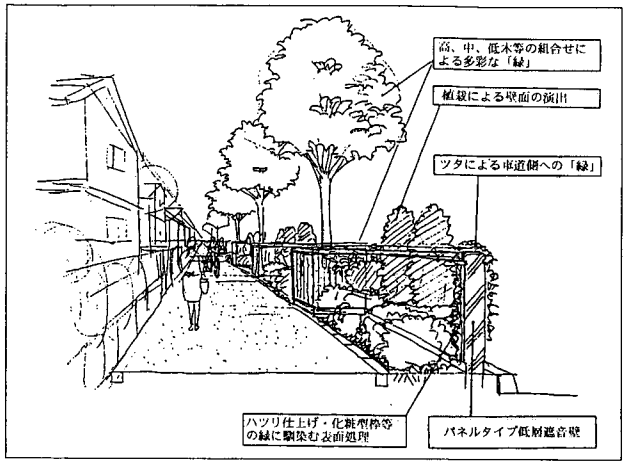
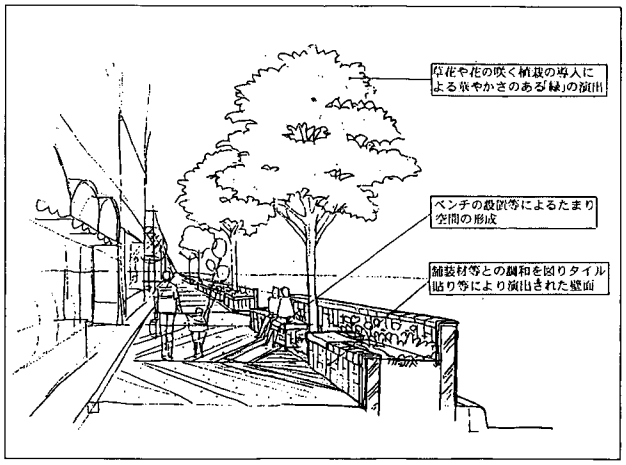


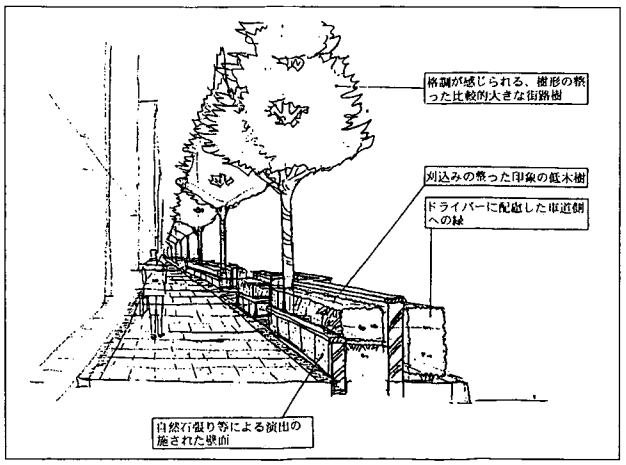
図-7 道路延長方向のデザイン例



(a) 住居系



(b) 商業系



(c) 業務系

図-8 低層遮音壁のイメージ図

を高める工夫を十分に盛り込むことができる。例えば低層遮音壁の材料として木材を使ったり、低層遮音壁の形状を徐々に変化させたり、植え込む樹種やその配置に工夫をこらすことで、遮音壁という無機質なイメージをなくし、親しみやすい沿道環境を演出することができる。

4.5 地域特性に応じた工夫

沿道土地利用や景観等地域特性にふさわしい、適切な低層遮音壁の形状、材質、表面処理、植栽の構成、あるいはたまり空間としての機能等について工夫することが必要である。

図-8 (a), (b), (c) に、住居系、業務系、商業系の土地利用の特性に配慮した低層遮音壁の設置例を示す。

5. 最後に

ここまで述べたように、低層遮音壁の設計にあたっては、その高さ (減音効果) にだけ重点を置いて設計するのではなく、評価 (対策) 区間の延長、開口率、遮音壁の形状・材質・デザイン等の設定にも配慮して設計することによって、沿道環境の向上を図ることができる。

今後、低層遮音壁の設置を検討する際には、沿道景観と調和した、親しみやすい設計が望まれる。残された課題として、低層遮音壁の減音効果の予測・評価方法のさらなる充実と、良好な沿道環境を作り出すことのできる質の高い景観も含めた設計技術の充実を図っていく必要がある。

参考文献

1) 筑井啓介、押野康夫：背の低い遮音塀による自動車騒音低減効果の検討, 自動車研究,17 巻 9 号,pp.19-22,1995.

2) 上坂克巳、大西博文、鉢嶺清範、千葉隆、高木興一：低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究, 土木学会環境工学研究論文集,34 巻,pp.307-317,1997.

3) 上坂克巳、大西博文、鉢嶺清範、石川賢一、高木興一：種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究, 騒音制御,23 巻 2 号,pp.99-109,1999.

4) 鉢嶺清範、上坂克巳、大西博文、石川賢一、高木興一：低層遮音壁による減音効果について ～ 中央分離帯と歩車道境界に併設した場合 ～, 日本音響学会平成 11 年度春季講演論文集,pp.703-704,1999.

鉢嶺清範*



建設省関東地方建設局
高崎工事事務所
(前　交通環境研究室研究員)
Kiyonori HACHIMINE

上坂克巳**



建設省土木研究所環境部
交通環境研究室主任研究員
Katsumi UESAKA

大西博文***



同　交通環境研究室長
Hirofumi OHNISHI

(12)道路環境センサスデータによる幹線道路沿道の騒音実態

植村圭司* 上坂克巳** 大西博文***

1. はじめに

平成7年の「国道43号線・阪神高速道路騒音排気ガス規制等請求事件」の最高裁判所判決において、沿道住民に対する騒音等による生活妨害が認容され、道路環境対策の一層の推進が必要となった。これをうけて、建設省を中心に道路管理者は、道路環境施策の充実を図るため、全国の国道等を中心に騒音の実測調査(道路環境センサス)を実施した。

また、平成11年4月に、L_{Aeq}(等価騒音レベル)を評価指標とする新しい「騒音に係る環境基準(以下、環境基準と呼ぶ)」が施行された。

騒音レベルの評価指標は、従来L_{50}(中央値)であったのでL_{Aeq}データの全国規模での測定は、これまで行われていなかった。本稿では、まず、道路環境センサスの調査方法を紹介する。次に平成8年度に全国の直轄国道沿道の道路環境センサスの調査結果を示す。さらに、実測データから、L_{50}値をL_{Aeq}値に変換する方法を検討する。

なお、土木研究所は、道路環境センサスの実施要領の作成及び測定結果の全国集計を担当した。

2. 道路環境センサスとは

道路環境センサスとは、幹線道路沿道で行う騒音実測調査のことである。道路交通センサス(建設省が実施する全国道路交通情勢調査)の調査対象路線のうち、主要な路線の道路交通騒音の状況を把握することを目的に主として、直轄国道を対象に平成7年度から調査を実施している。

調査は、騒音・交通調査と沿道状況調査から構成されている。騒音・交通調査では、道路交通騒音の騒音レベル、交通量、車速を測定する。一方、沿道情報調査は、環境基準類型の指定状況、用途地域・騒音規制区域の指定状況、道路構造、幅員及び騒音対策の実施状況を調査している。

2.1 現地調査地点の選定方法

図-1のフローに従って、調査地点を設定した。

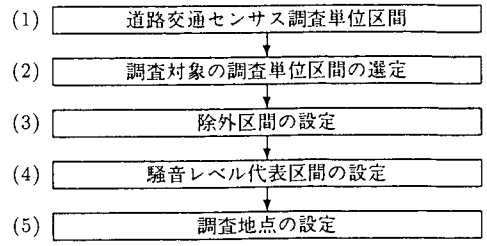


図-1 調査地点選定フロー

(1) 道路交通センサスの調査単位区間のうち、
(2) 環境基準の類型指定地域及び用途地域・騒音規制区域を通過する区間を選定する。
(3) 交通不能区間及びトンネル部、橋梁部のみが調査対象区間となっている区間を除外する。
(4) 調査単位区間内で騒音レベルが著しく異なると考えられる場合は、調査単位区間をさらに分割し、これを道路環境センサスにおける調査の基本単位である騒音レベル代表区間と呼ぶ。
(5) 1つの騒音レベル代表区間につき1箇所測定地点を設定する。測定地点は、騒音レベル代表区間の騒音暴露状況を代表するよう留意した。

2.2 騒音レベル、交通量、車速の調査方法

道路環境センサスの現地調査項目は、10分間時間率騒音レベル(L_X)、等価騒音レベル(L_{Aeq})、交通量及び車速である。測定は、交通条件の特異でない日で、1年を代表すると思われる平日に行った。騒音測定用のマイクロホンの設置位置は道路端とした。また、道路交通騒音以外の騒音影響がないように配慮している。騒音レベルの測定は毎正時から10分間の測定を24回連続して実施した。また、交通量、車速も騒音測定と同時に行った(表-1参照)。

2.3 沿道状況の調査方法

個々の騒音レベル代表区間について環境基準の類型指定地域、用途地域・騒音規制区域の分類とその通過延長を調査した。延長は、上下方向別延長の平均値とした。また、道路構造、幅員及び騒音対策の実施状況は道路台帳を参考に調査した。

3. 道路交通騒音の実態

道路交通センサスの調査対象延長20,654km

Current Status of Traffic Noise along Arterial Roads by Road Environment Census

(直轄国道) のうち、騒音レベル代表区間総延長5,447km について前述の調査を行った。騒音レベルの評価は、暴露騒音レベル別道路延長を算出して行った。

3.1 騒音レベル別道路延長の集計

昼間 (新環境基準では 6 時から 22 時まで) と夜間 (同 22 時から 6 時まで) の時間帯の騒音レベル別道路延長を図-2 に示した。

騒音レベルの分布をみると、71~75dB(A) の騒音レベルの区分の道路延長が、昼間は 2,953km、夜間は 1,928km であり昼夜とも最長である。71~75dB(A) と 76~80dB(A) の騒音レベルの区分の道路延長は、昼間に比べ夜間は 1,289km 短くなっている。逆に、70dB(A) 以下の騒音レベルの区分の道路延長は、昼間より夜間が 1,270km 長く、全体的に騒音レベルが低い方にシフトしている。一方、81dB(A) 以上の騒音レベルの区分の道路延長は、昼間より夜間が 19km 長くなった。

3.2 騒音レベル、交通量、車速の経時変化

暴露騒音レベル延長が、時間帯によって異なる要因を分析するため、1 日における各時間毎の全国の平均的な騒音レベルと交通量、車速を示し、騒音レベルと交通条件の関係を分析した。なお、各時間毎の平均騒音レベルは、各測定地点の騒音レベルを算術平均して求めた (図-3 参照)。

一般に、道路交通騒音のように線音源と考えられる場合、騒音レベルと交通量の関係については、等価交通量 (小型車換算交通量) が 1/2 になると、騒音レベルは 3dB(A) 低減する。本稿の時間帯毎の平均的な騒音レベルをみると、昼間は 71.2dB(A)、夜間は 68.8dB(A) であり、昼間と夜間の差は、2.4dB(A) であった。このときの等価交通量の平均値は、夜間は 1,129 台/時であり、昼間の 2,657 台/時の 42.5%であった。夜間の等価交通量が昼間の 1/2 以下であるにもかかわらず、夜間の平均騒音レベルは昼間に比べ 3dB(A) も低減しない。それは、夜間は昼間に比べ交通量は減少するが、昼間の平均速度が 51.1km/h に対して、夜間のそれが 59.3km/h と車速が増したことによるものと考えられる。

4. L_{50} から L_{Aeq} への変換式の検討

これまで集積された L_{50} の測定データを有効に活用するには、これを L_{Aeq} に変換することが必要である。そこで、L_{50} を L_{Aeq} に簡便に変換する計算方法を、道路環境センサスの L_{50} と L_{Aeq} の実測データを用いて検討した。

4.1 変換式の作成

道路交通騒音の L_{Aeq} と L_{50} の関係を調べた一例

表-1 現地調査の方法

調査項目	調 査 方 法
騒音レベル (L_x, L_{Aeq})	JIS Z 8731「騒音レベル測定方法」に従った。
交通量	上下方向別、車種別 (大型、小型の 2 車種分類) に測定した。
車 速	騒音測定時間内の走行状態を代表する車両を上下方向別に各 10 台程度選定し、それらの走行速度は、騒音測定地点前後 50m 区間の通過時間から算出し、上下方向別に平均値を求めた。

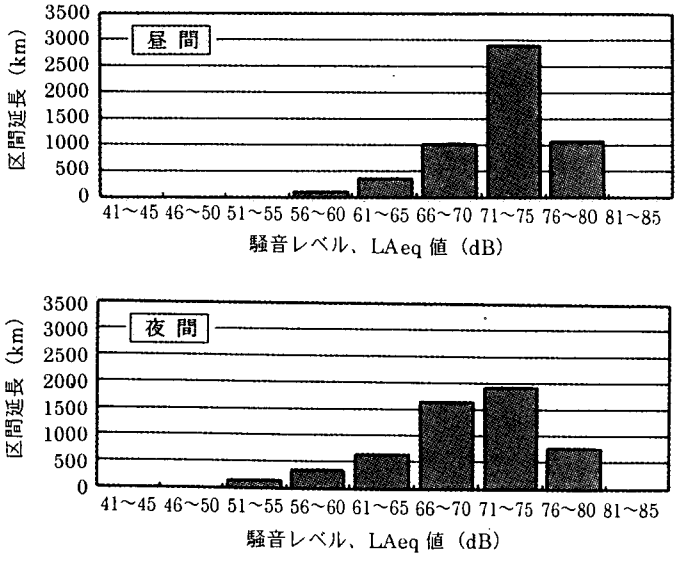


図-2 騒音レベル区分別の道路延長

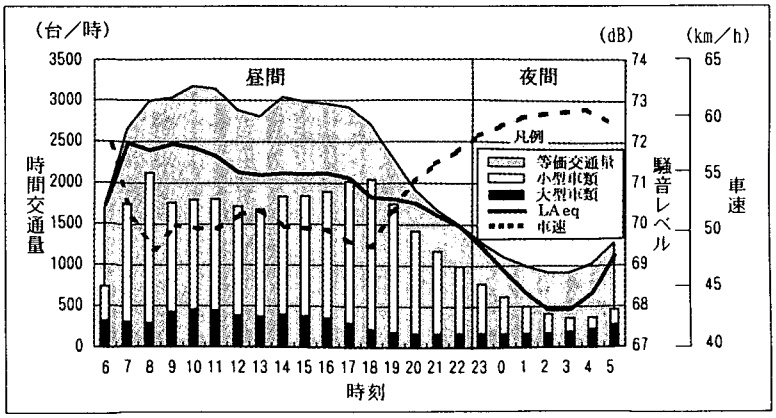


図-3 騒音レベル区分別の道路延長

として、ASJ Model 1993[1](1993年に公表された日本音響学会の騒音レベル予測モデル)での提案式が挙げられる。これによると、盛土、切土、高架の3つの道路構造については、L_{Aeq} から L_{50} への変換式が次のとおり簡単な1次関数で与えられている。

$$L_{Aeq} - L_{50} = aX + b \qquad (1)$$

$$X = d/l$$

d :平均車頭間隔　(m)

l :道路中心と観測点間の距離　(m)

式(1)の係数 a, b は、道路構造毎に表-2の左のように設定されている。

ここでは、道路環境センサスデータを用い、式(1)と同様、d/l を説明変数として、L_{Aeq} と L_{50} の差を目的変数とした回帰分析を行い、新たな変換式を作成した。その結果を表-2の右に示す。なお、ASJ Model 1993では、盛土、切土、高架の道路構造で L_{Aeq} から L_{50} への変換式を提案しているが、ここでは、これらの構造に加え平面道路と堀割道路の変換式も作成した。

なお、利用したデータは、道路環境センサスの単路部における実測データのうち、測定値の信頼性を考慮して、10分間(測定時間内)交通量が200台以上の[2]3,494地点のデータを用いて検討した。表-3に利用したデータを示した。

4.2 ASJ Model 1993の変換式との比較

道路環境センサスの実測 L_{50} 値を ASJ Model 1993の変換式により L_{Aeq} 値に換算した値[4](以下「換算値」という)と実測 L_{Aeq} 値(以下、「実測値」と呼ぶ)との関係を図-4に示す。

換算値と実測値の標準偏差は1.4~1.9dB(A)である。いずれの道路構造でも相関係数は、0.9以上を示しており、よく整合がとれていると考える。ASJ Model 1993の変換式は、高速道路のデータを対象に作成されているが、道路環境センサスは一般道路を対象としており、これにも適用できることが明らかになった。

同様に、本稿の変換式による換算値(以下「計算値」という)実測値の関係[4]を図-5に示す。すべての道路構造において、計算値と実測値の整合性は高い。本稿で新たに示した堀割と平面構造における変換式でも、実測値と計算値はよい整合を示した。道路構造別でみると、堀割道路で最も良い整合が得られた。

ただし、表-2において、本稿の変換式をASJ Model 1993の変換式と比較すると、係数 a が小

表-2 変換式の係数

道路構造	ASJ Model 1993		本稿で作成した式	
	a	b	a	b
盛土	1.00	0.98	0.32	1.52
切土	0.57	0.58	0.15	1.34
高架	0.55	1.37	-0.01	2.50
堀割	—	—	0.33	1.07
平面	—	—	0.19	2.28

表-3 検討に用いた道路、交通条件に関するデータ

道路構造		盛土	切土	高架	堀割	平面
サンプル数		1,847	563	1,084	284	27,814
交通量(台/時)	最大	10,440	7,290	9,348	9,348	8,286
	最小	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
	平均	2,364	2,352	2,604	3,486	2,220
道路中心から観測点までの距離	最大	47.5	47.5	45.7	34.2	53.5
	最小	7.7	6.5	5.0	12.1	3.4
	平均	22.0	26.0	19.0	21.2	12.7
平均車頭間隔(m)	最大	437.8	456.2	437.9	384.9	479.5
	最小	29.3	40.2	30.2	23.5	16.9
	平均	172.4	177.7	160.7	141.3	155.0
走行速度(Km/h)	最大	103.9	60.2	96.2	96.2	105.5
	最小	22.8	25.2	16.4	19.3	10.5
	平均	57.5	59.4	57.7	59.2	49.7

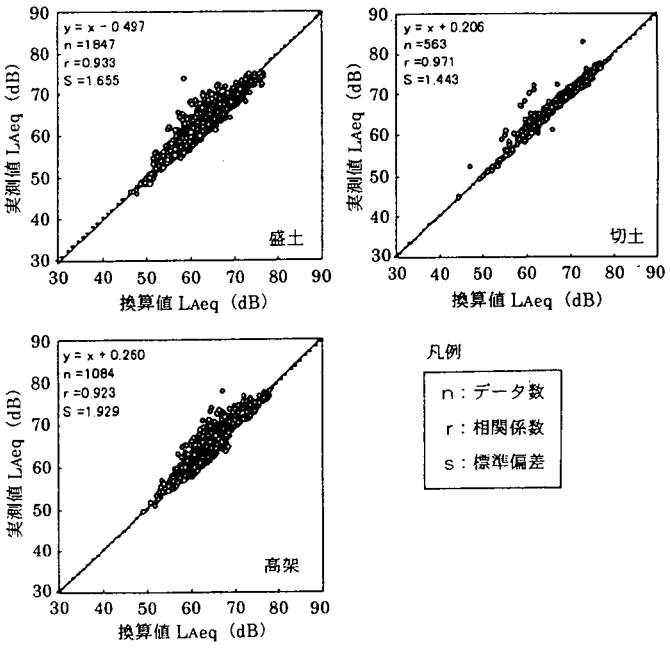


図-4 ASJ Model 1993の変換式により計算した L_{Aeq} と実測 L_{Aeq} の関係

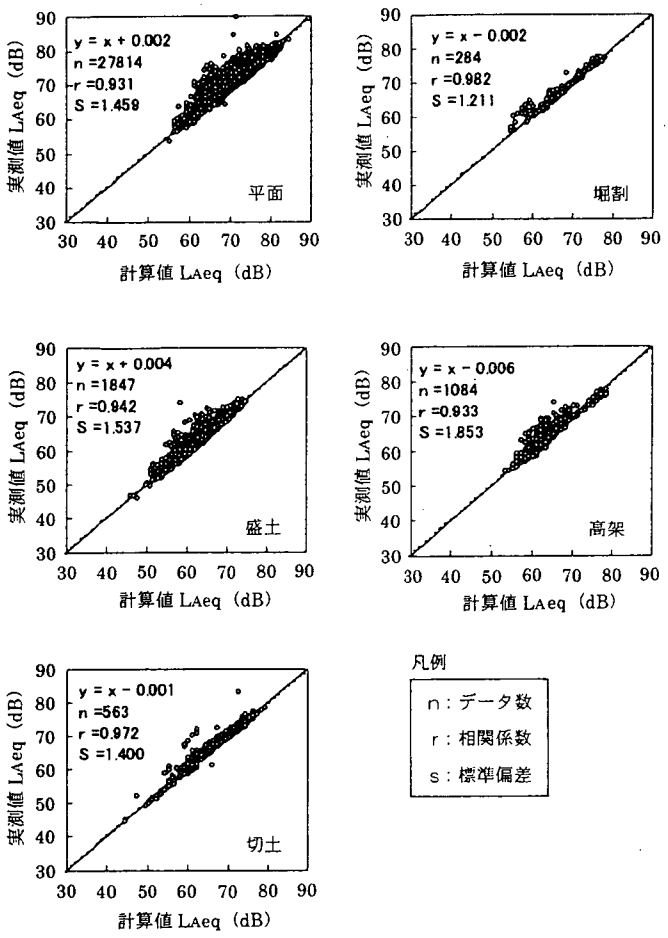


図-5 本稿の変換式により計算した L_{Aeq} と実測 L_{Aeq} の関係

さく d/l による影響が小さくなっている。これは、本稿のデータは道路端で測定されたデータであり、ASJ Model 1993 で使用されたデータに比べ、道路中心から観測点までの距離が小さいものが多く、d/l の値が大きいためであると考えられる。

5. まとめ

平成 8 年度に全国の直轄国道において道路環境センサスを実施した。そして、その実測データを用いて幹線道路沿道の騒音実態を把握した。また、実測した L_{50} と L_{Aeq} の関係の解析をおこなった。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 延長ベースで集計した結果、71 ～ 75dB (A) の騒音レベルを受ける道路延長が、昼間と夜間の時間帯とも最長になることがわかった。

(2) 平均車速は、昼間が 51.1km/h であるのに対し夜間は 59.3km/h と、昼間から夜間にかけて増加している。夜間の平均的な等価交通量が、昼間の等価交通量の 1/2 以下であるにもかかわらず、平均的な騒音レベルが 3dB(A) も低減しないのは、この車速の増加が一因であると考えられる。

(3) 平面、堀割、盛土、高架、切土の道路構造について L_{50} を L_{Aeq} に換算する式を作成した。換算値と実測値との相関係数は 0.95 程度となり、良い整合が得られた。

参考文献

1) 植村圭司、大西博文、上坂克巳：道路環境センサスにおける道路交通騒音の実態について，日本音響学会講演論文集,1998.

2) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会報告：道路一般部を対象としたエネルギーベース騒音予測手法，日本音響学会誌,50 巻 3 号,1994.

3) 久野和宏、野呂雄一：道路交通騒音予測のこと XVI —L_{Aeq} 計測における観時間長と暗騒音の影響—，騒音・振動研究会資料,N-97-37

4) 植村圭司、上坂克巳、大西博文、那須猛士：道路環境センサスにおける L_{50} と L_{Aeq} の関係について，騒音・振動研究会資料,N-98-66,1998.

植村圭司*



(前　交通環境研究室交流研究員)
Keiji UEMURA

上坂克巳**



建設省土木研究所環境部
主任研究員
Katsumi UESAKA

大西博文***



同　交通環境研究室室長
Hirofumi OHNISHI

(13)高架道路の裏面反射音の予測計算手法

木村健治* 上坂克巳** 大西博文***

1. はじめに

道路事業の環境アセスメントでは、騒音の影響を評価の対象としている。今まで、多くの評価が行われてきており、この結果をもとに対策が行われてきた。しかし、平面道路上に高架道路が併設された道路(以下、平面・高架併設道路という)に、遮音壁による対策を行ったケースでは、予測した騒音低減効果が得られないことがあり、問題となっていた。この原因を調べると、高架裏面からの反射音が原因であることがわかった。

このため、高架裏面反射音の対策手法や予測手法について研究が行われた。対策手法としては、高架裏面へ吸音板を設置することが考えられた。吸音性能の高い吸音板が多数開発され、建設技術評価制度により評価された。また、予測手法については、ASJ Model 1998(1998年に日本音響学会により開発された道路交通騒音予測モデル)に、高架裏面反射音の予測式が示された。しかし、この予測式は、遮音壁を両側に設置するような条件を計算の対象としていない。

そこで今回、遮音壁を有する平面・高架併設道路の騒音予測手法を検討した。代表的なケースとして、高架裏面が平滑で、遮音壁と高架裏面が吸音性のものを考えた。これについて、縮尺模型による実験値と予測計算値を比較・検討したところ、簡易で実用的な予測手法を取りまとめたので報告する。

2. 模型実験

図-1のような遮音壁が平面道路に設置された平面・高架併設道路について考える。この条件において、音源を受音点からみて平面道路の手前側の車線に設置した場合と、奥側の車線に設置した場合について縮尺模型実験を行い、受音点での騒音レベルを測定した。

なお、模型の縮尺は1/20で、高架裏面の形状は平滑面とした。また、点音源を平面道路上の、左右の遮音壁から5m(実物換算)内側の、手前側又は奥側の車線に相当する位置に設置した。

模型実験では、吸音材料として厚さ3mmのフェルトを用いた。この材料について道路交通騒音の代表的な周波数範囲(実物換算で400Hz~2kHz)においてA特性による聴感補正(低周波及び高周波について、人間に聞こえにくい音の評価を下げて補正すること)を行った平均斜入射吸音率の測定値(入射角0度~60度)は0.90であり、裏面吸音板に必要とされる高い吸音性能を満たしている。

実験では、ジェットノイズ(圧縮空気を利用して音を発生させる装置。これを、道路の延長方向に設置した。なお、ジェットノイズの中心の高さは実物換算で0.15m)を利用した点音源から、一定の大きさで定常的な広帯域ノイズを放射した。この音をマイクロホンで受け、周波数分析器で10秒間エネルギー平均することで騒音レベルを得た。周波数範囲は2,000~50,000Hz(実物換算で100~2,500Hz)を対象とした。

また、地面からの反射の影響を排除して測定した、音源のA特性によるパワーレベル(音源が放射するエネルギーを、人間が聞き取ることのできる最小の音のエネルギーで除したものの対数を10倍したもの)は137dBであった。

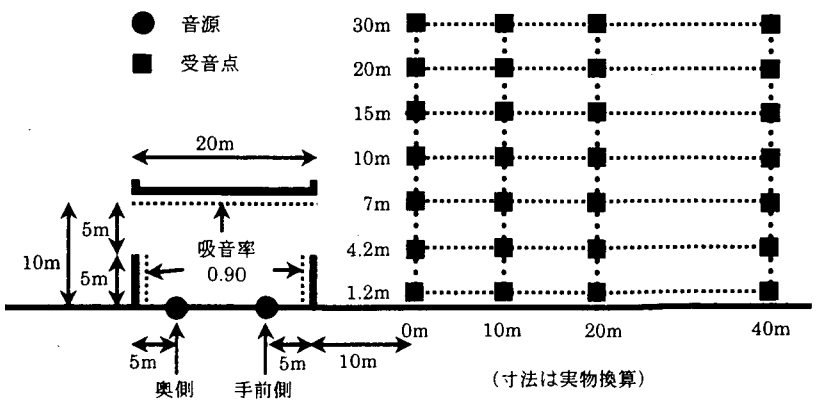


図-1 道路断面および音源と受音点の配置

Prediction Method of Road Traffic Noise Reflected on Underside of Viaduct

3. 予測計算

3.1 反射音の経路について

本研究では、吸音材 (吸音率 0.90) を設置した面で 2 回以上反射した音は、反射時におけるエネルギーの損失が 20dB 以上 (元のエネルギーの 1/100 以下) になるため無視できると考えた。

このため、受音点での騒音レベルは、吸音面 (高架裏面、及び遮音壁内側) に入射しない経路と、吸音面で 1 回だけ反射する経路についてのみ計算を行い、それらの寄与を合成して求めた。なお、具体的な反射経路は図-2 に示す 8 つである。

3.2 計算式について

表-1 に示す経路について、i (図-2 の丸数字に対応) 番目の経路まで考慮したときの受音点での騒音レベル L_{pA} は、式 (1) により表される。

$$L_{pA} = 10\log_{10}\{\Sigma 10^{L_{pA,i}/10}\} \qquad (1)$$

ここで、L_{pA} : 受音点での騒音レベル (dB)

$L_{pA,i}$: i 番目の伝搬経路による騒音レベルの寄与 (dB)

また、$L_{pA,i}$ は式 (2) ~ (5) で計算する (なお、$\Delta L_{1,i}$、$\Delta L_{2,i}$、$\Delta L_{3,i}$、$\Delta L_{4,i}$ についてはスリット法[1] により計算する)。

$i = 1, 5$ のとき

$$L_{pA,i} = L_{WA} - 8 - 20\cdot\log_{10} r_i - \Delta L_{1,i} \qquad (2)$$

$i = 2, 6$ のとき

$$L_{pA,i} = L_{WA} - 8 - 20\cdot\log_{10} r_i - (\Delta L_{1,i} + \Delta L_{2,i}) + 10\log_{10}(1-\alpha_2) \qquad (3)$$

$i = 3, 7$ のとき

$$L_{pA,i} = L_{WA} - 8 - 20\cdot\log_{10} r_i - (\Delta L_{1,i} + \Delta L_{3,i}) + 10\log_{10}(1-\alpha_3) \qquad (4)$$

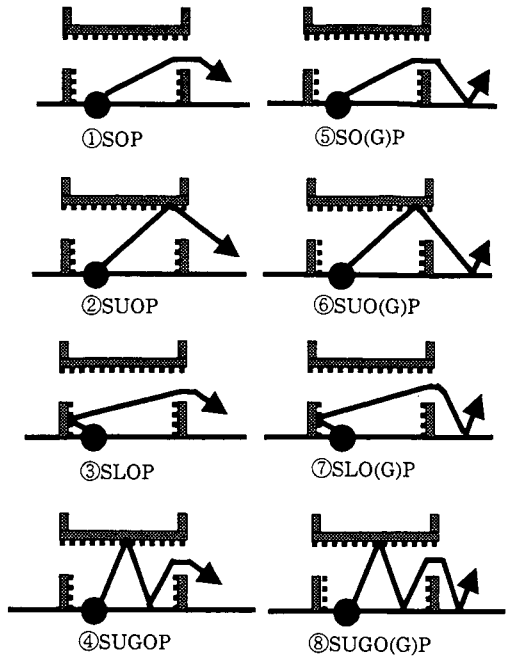
$i = 4, 8$ のとき

$$L_{pA,i} = L_{WA} - 8 - 20\cdot\log_{10} r_i - (\Delta L_{1,i} + \Delta L_{2,i} + \Delta L_{4,i}) + 10\log_{10}(1-\alpha_2) \qquad (5)$$

ここで、

L_{WA} : 自動車走行騒音の A 特性パワーレベル (dB)

r_i : i 番目の伝搬経路における音源から受音点までの距離 (m)



S : 音源　O : 開口部　P : 受音点　U : 高架道路裏面
L : 奥側遮音壁　G : 高架下の地面　(G) : 受音点側の地面
なお、⑤~⑧は、①~④に受音点側の地面による反射音を加えたもの

図-2 8 つの伝搬経路

$\Delta L_{1,i}$: 高架裏面と右側の遮音壁の開口部を通過する際の減音量 (dB)

$\Delta L_{2,i}$: 高架裏面で反射する際の減音量 (dB)

$\Delta L_{3,i}$: 左側の遮音壁で反射する際の減音量 (dB)

$\Delta L_{4,i}$: 地面反射における減音量 (dB)

α_2 : 高架裏面の吸音率 (α_2=0.9)

α_3 : 左側の遮音壁の吸音率 (α_3=0.9)

4. 実験値と計算値の比較

4.1 考慮すべき伝搬経路の検討

予測計算に必要な伝搬経路を検討するために、次のケース A からケース C の場合について実験値と計算値の比較を行った。

ケース A. 経路①(開口部からの回折音 SOP のみ) を考慮

ケース B. 経路①~④(開口部からの回折音 SOP と反射音 (受音点側で地面反射する経路 (G) を除く)) を考慮

ケース C. 経路①~⑧(開口部からの回折音 SOP と反射音 (受音点側で地面反射する経路 (G) を含む)) を考慮

なお、音源は手前側よりも奥側に設置したほうが、反射音の影響が大きかった。このため、音源

を奥側に設置した場合についてのみ記述する。

(1) コンターによる比較

実験値と計算値について、騒音の広がりを調べるために、全受音点での騒音レベルのコンター(音源：奥側)を作成した。これについて、実験値と計算値を比較する。

1) ケースA(経路①を考慮した場合)

高さ10mから20mまででは概ね整合が取れている。しかし、高さ10m以下の領域や、高さ20m以上の官民境界付近での差が目立つ(図-3)。

2) ケースB(経路①～④を考慮した場合)

ケースAに比べ、高さ10m以下の官民境界付近や、高さ20m以上の官民境界付近において差が縮小している(図-4)。

3) ケースC(経路①～⑧を考慮した場合)

ケースBに比べ、高さ10m以下の領域で差が縮小している(図-5)。

(2) 官民境界における実験値と計算値の比較

考慮する伝搬経路を増やすことで、官民境界における実験値と計算値の差がどのように変化するかを調べた(図-6)。

1) ケースA(経路①を考慮した場合)

高さ7mから20mでは、差の絶対値が1dBに収まっている。しかし、高さ1.2mでは13.7dB、高さ30mでは7.6dBとなっており、これらの箇所では、実験値に比べ計算値がかなり小さくなっている。

2) ケースB(経路①～④を考慮した場合)

高さ1.2mでは差が3.6dB、高さ30mでは2.4dBとなっており、ケースAに比べ差が縮小している。

3) ケースC(経路①～⑧を考慮した場合)

高さ1.2mでは差が0.6dBとなっている。全体的にケースBよりも差が縮小している。

(3) 高さ1.2mにおける実験値と計算値の比較

(2)と同様に、高さ1.2mでの実験値と計算値の差を調べた(図-7)。

1) ケースA(経路①を考慮した場合)

4箇所すべての点で差が5dB以上となっている。特に官民境界での差が大きい。

2) ケースB(経路①～④を考慮した場合)

官民境界において差が縮小している。ただし、官民境界から10mの箇所では差が8.2dBとなっており、依然として差が大きい箇所がある。

3) ケースC(経路①～⑧を考慮した場合)

官民境界から10mの箇所では、差が5.9dBとなった。全体的にケースBよりも差が縮小している。

(1)から(3)の結果より、経路を加えることで騒音レベルの差が縮小していることがわかる。また、受音点側の地面で反射する経路(経路⑤～⑧)の影響も大きく、予測計算では、これらの経路も無視できないことがわかる。

4.2 伝搬経路の簡略化の検討

伝搬経路を1つずつ加えたときに、騒音レベルがどのように変化するかを調べた。まず、受音点ごとに実験値と計算値の差の絶対値を高さ方向(官民境界上の受音点)と水平方向(高さ1.2mの受音点)で、それぞれ平均したものを表-1に示す。この表から6番目の経路まで

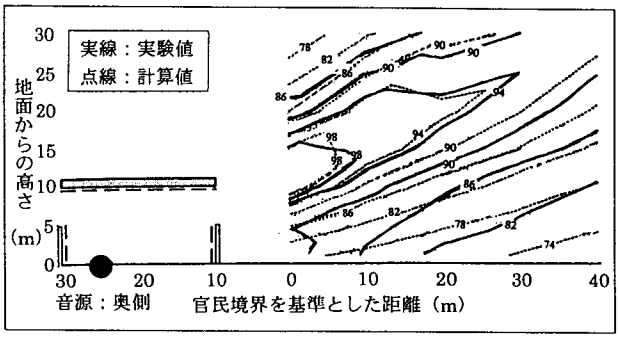


図-3 騒音レベルのコンター(経路①)

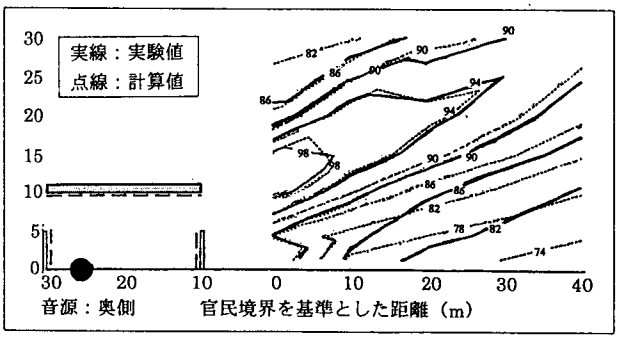


図-4 騒音レベルのコンター(経路①～④)

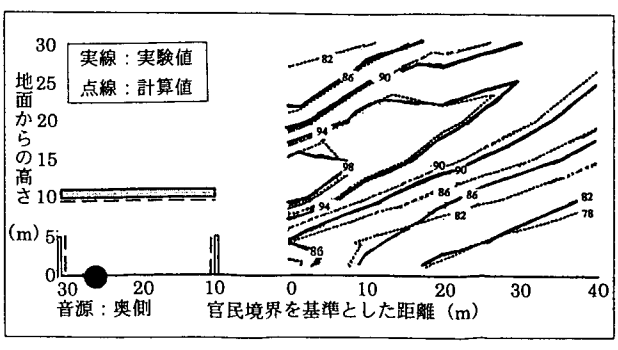


図-5 騒音レベルのコンター(経路①～⑧)

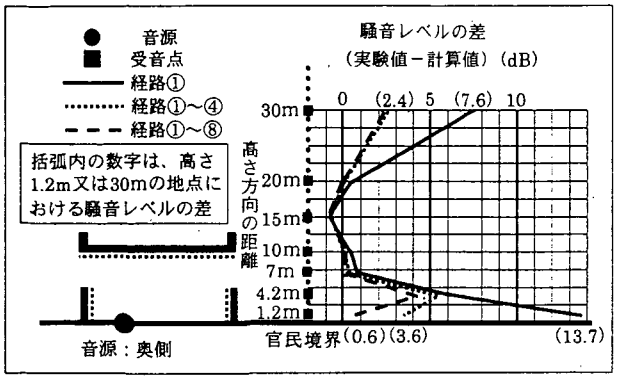


図-6 官民境界における実験値と計算値の差のグラフ

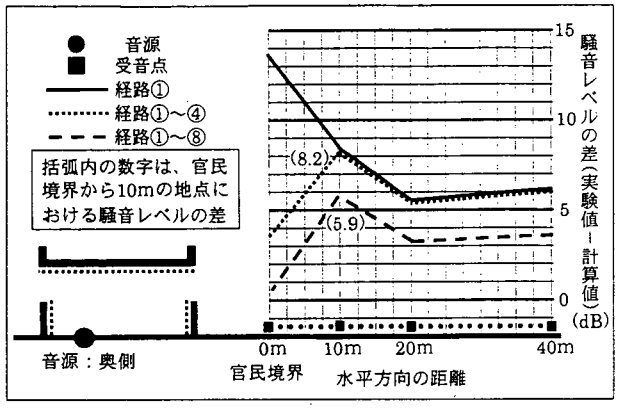


図-7 高さ 1.2m における実験値と計算値の差のグラフ

表-1 実験値と計算値の差の絶対値の平均

経路		音源：奥側		音源：手前側	
		高さ方向	水平方向	高さ方向	水平方向
①	SOP	4.3	8.5	2.6	5.6
②	+SUOP	**2.8**	**5.9**	2.6	5.6
③	+SLOP	**2.6**	**5.8**	**2.1**	**5.4**
④	+SUGOP	**1.8**	5.8	2.1	5.4
⑤	+SO(G)P	**1.7**	**4.1**	**1.6**	**2.9**
⑥	+SUO(G)P	**1.2**	**3.4**	1.6	2.9
⑦	+SLO(G)P	1.2	**3.3**	1.6	2.9
⑧	+SUGO(G)P	1.2	3.3	1.6	2.9

・その経路を加えたことで値が変化した場合は**太字**で示す。
・＋の記号はその経路の騒音レベルの寄与を加算していくことを示す。

考慮すれば、数値がほぼ収束していることがわかる。6番目の経路まで考慮したときの差の平均は、高さ方向で1.2dBと1.6dB、水平方向で3.4dBと2.9dBとなっており、おおむね整合がとれている。

このことから、予測計算は表-1に示す経路のうち①から⑥までの経路を考慮する必要があり、また、一般的な平面・高架併設道路の沿道の騒音レベルは、これらの経路の騒音レベルを合成することでおおむね予測できると考えられる。

5. まとめ

今回は、高架裏面及び遮音壁に吸音性の材料を使用した平面・高架併設道路について騒音レベルの予測方法の検討を行った。表-1に示す8つの伝搬経路の音のうち、6つを合成することにより求めた予測計算結果は、縮尺模型実験の結果とおおむね整合がとれていた。

6. 今後の課題

高さ方向に比べ水平方向の計算値と実験値の差がやや大きくなっている。この原因については、直接音と反射音の干渉の影響や、多重回折の計算方法の誤差等が考えられる。今後、この原因を明確にし、改善を行う必要がある。

また、今回対象とした平面・高架併設道路の開口部は5mであるが、これが狭くなると多重反射音の影響が大きくなると考えられる。この場合でも、6つの伝搬経路の音を合成することで、騒音レベルを予測できるかを検証する必要がある。

参考文献

1） 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル “ASJ Model 1998”, 日本音響学会誌, 55巻4号, pp.281-324, 1999.

木村健治*



建設省土木研究所環境部
交通環境研究室研究員
Kenji KIMURA

上坂克巳**



同　交通環境研究室
主任研究員、工博
Dr.Katsumi UESAKA

大西博文***



同　交通環境研究室長
Hirofumi OHNISHI

（１４）空隙率別排水性舗装の騒音低減効果*

◎青木理恵，近藤升，大西博文（建設省土木研究所）

1.はじめに

排水性舗装は、その空隙により騒音低減効果（以下、効果という）を有している。しかし供用後の時間の経過とともに空隙詰まりが起こり、効果が低下する。現在のところ空隙の閉塞と効果の変化との関係がまだ十分に把握されていない。本稿では、土木研究所の試験走路に空隙率を変えた６種類の排水性舗装を敷設して空隙率の違いによる効果を調査したので、その結果を報告する。

2.研究方法

試験走路に、密粒舗装(空隙率4%)と空隙率を11%、14%、17%、20%、23%、26%の６種類に変えた排水性舗装を敷設した。これら舗装の骨材には、６号砕石（骨材粒径5～13mm）を使用し、舗装厚さは5cmとして、車両走行騒音のパワーレベルの測定調査を行った。

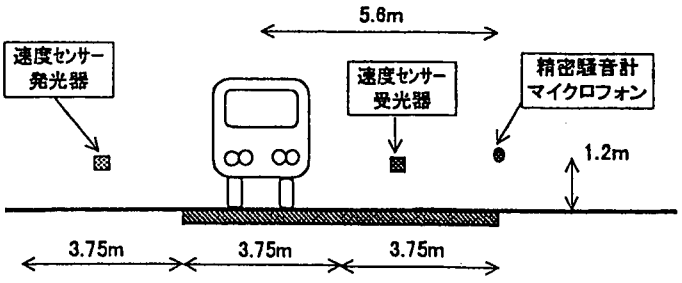


図-１　ﾏｲｸﾛﾌｫﾝ、速度ｾﾝｻｰ等の配置図（断面図）

試験車両は大型貨物車（積載重量10t・定積載）と乗用車を用いた。試験車両の走行速度は４種類（40,60,80,100km/h）とし、速度センサーによって計測した速度がその±5%以内に収まったものを速度毎に各５データ採用し、それらの算術平均値を速度毎の騒音レベルとした。走行方法は定常走行及び惰性走行の２種類とした。また騒音測定は、車両走行中心線から側方5.6m、高さ1.2mの位置で行った（図-１参照)。

3.空隙率の違いによる自動車走行騒音の低減効果の変化

3.1　定常走行時および惰性走行時の騒音低減効果

排水性舗装の空隙率と大型車、乗用車の定常走行時における効果の関係を図-2,4に、惰性走行時における効果の関係を図-3,5に示す。なお、ここでいう効果とは試験車が密粒舗装上を走行するときのパワーレベルから排水性舗装上を走行するときのパワーレベルを差し引いたものである。また、この場合のパワーレベルは、騒音測定上舗装体の吸音による減音も含まれているため、見かけ上のパワーレベルとなる[1)2)]。

3.1.1 大型車の騒音低減効果

定常走行時の騒音低減効果は、40～100km/hの全ての速度で空隙率が23%の排水性舗装の効果が最も大きく、3.7～4.7dBであった。最も空隙率の大きい26%の効果は2.5～4.4dBと23%よりもやや小さかった。空隙率が23%から14%まで小さくなるにつれて効果も徐々に低下し、空隙率が11%になると効果は0.1～2.2dBとかなり小さくなった。また、速度が速くなると

---

*Noise reduction effects of drainage asphalt pavements with varied porosity.

by Rie Aoki, Noboru Kondo, Hirofumi Ohnishi(Public Works Research Institute, Ministry of Construction)

ともに効果も大きくなり、各速度の空隙率の違いによる効果の差は縮まった。その理由として、高速走行時では全体のパワーレベルに対して排水性舗装が主として減音効果を発揮するタイヤ／路面音の寄与が大きくなることが考えられる。

惰性走行時の騒音低減効果は、40～100km/hの全ての速度で空隙率が23%と26%のものが同程度で最も大きく、3.3～5.6dBであった。空隙率が11%と14%のものについては、騒音低減効果に速度依存性がほとんど見られず、効果はほぼ一定であった。また、定常走行時と違い、速度が速くなるとともに各速度の空隙率の違いによる効果の差は大きくなった。

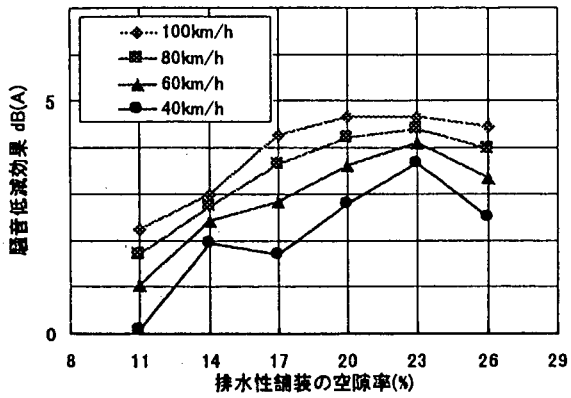


図-2　大型車の定常走行時の騒音低減効果

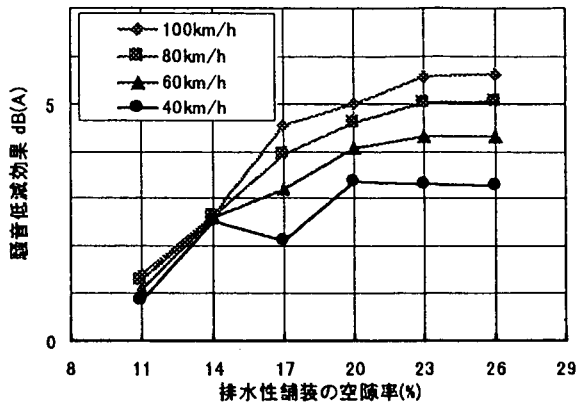


図-3　大型車の惰性走行時の騒音低減効果

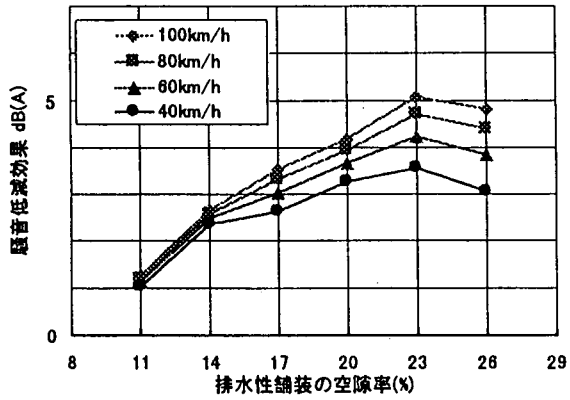


図-4　乗用車の定常走行時の騒音低減効果

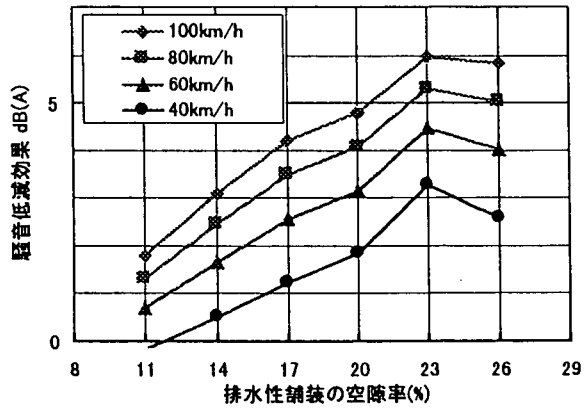


図-5　乗用車の惰性走行時の騒音低減効果

3.1.2 乗用車の騒音低減効果

定常走行時では40～100km/hの全ての速度で空隙率が23%の効果が最も大きく、3.6～5.1dBであった。最も空隙率の大きい26%の効果は3.1～4.8dBと23%よりもやや小さかった。速度の違いによる効果の差は空隙率が11%と14%ではほとんどなく、11%で約1dB、14%で約2.5dBの効果であった。しかし、空隙率が26%では速度100km/hで4.8dB、速度40km/hで3.1dBの効果であるからその差は1.7dBとなり、空隙率が大きくなるとともに速度の違いによる効果の差は広がった。

また惰性走行時の騒音低減効果は約0～6dBで、定常走行時と同じく空隙率が23%の効果が最も大きく、3.3～6.0dBであった。空隙率が大きいほど、かつ走行速度が速いほど、騒音低減効果は大きい。この惰性走行での騒音低減効果は、定常走行での騒音低減効果に比べて速度依存性が強かった。

図-2,4と3,5とを比較してみたところ、大型車、乗用車ともに惰性走行時に比べ定常走行時の騒音低減効果は少ない。これは、排水性舗装がその騒音低減効果を発揮するのは、

主としてタイヤ／路面音に対してであるためと考えられる。

また大型車の定常走行時（図-２）の場合、高速域では空隙率20%と23%は同程度で最も高い効果を示したが、低速域では空隙率23%の効果が大きかった。空隙率26%のものは23%より効果が小さかった。惰性走行時（図-３）では空隙率23%と26%の効果が最も高かった。乗用車の定常走行時（図-４）の低速域では空隙率20～26%まで効果はほとんど同程度で最も大きかったが、高速域では空隙率23%のものが最も効果があった。惰性走行時（図-５）では高速域では空隙率23%と26%のものは同程度の効果があったが、低速域では定常走行時と同様に空隙率23%のものが最も効果があった。これらを考慮して総合的に判断すると、今回の調査では空隙率23%のものが最も効果のある排水性舗装だと考えられる。

3.2　空隙率の違いによる駆動機関音の変化

惰性走行騒音は主としてタイヤ/路面音からなっている。一方、定常走行騒音から惰性走行騒音を差し引いたものは、エンジン音や吸排気音等からなっている（以後、駆動機関音という）。また密粒舗装と３種類の空隙率（11%、23%、26%）の排水性舗装上を走行する自動車の騒音パワーレベルを上記のタイヤ/路面音と駆動機関音のパワーレベルに分けて、大型車に関して図-６～９に、乗用車に関して図10～13に示す。

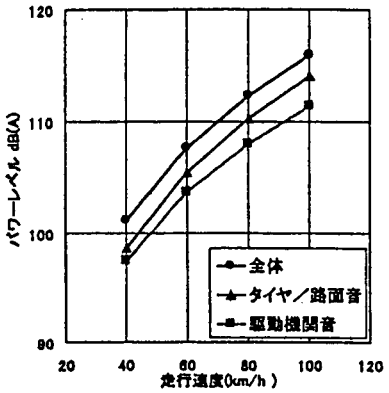


図-６　大型車の要因別ﾊﾟﾜｰﾚﾍﾞﾙ(密粒舗装)

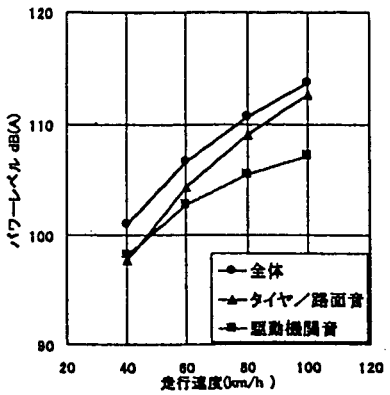


図-７　大型車の要因別ﾊﾟﾜｰﾚﾍﾞﾙ(空隙率11%)

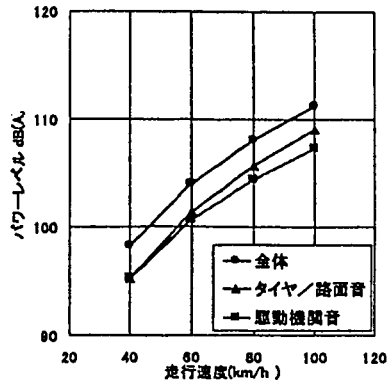


図-８　大型車の要因別ﾊﾟﾜｰﾚﾍﾞﾙ(空隙率20%)

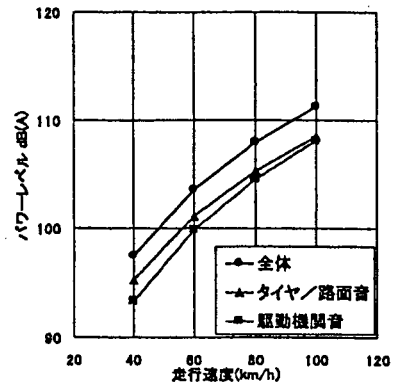


図-９　大型車の要因別ﾊﾟﾜｰﾚﾍﾞﾙ(空隙率23%)

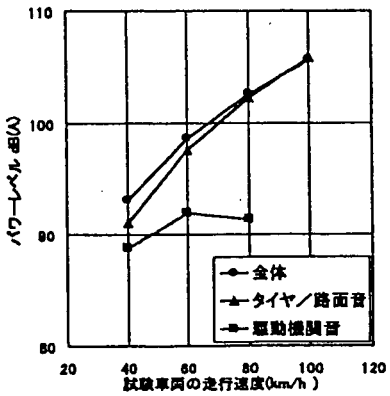


図-10　乗用車の要因別ﾊﾟﾜｰﾚﾍﾞﾙ(密粒舗装)

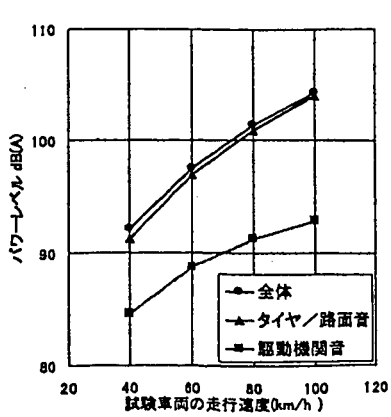


図-11　乗用車の要因別ﾊﾟﾜｰﾚﾍﾞﾙ(空隙率11%)

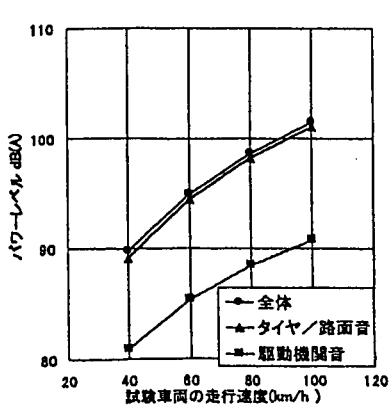


図-12　乗用車の要因別ﾊﾟﾜｰﾚﾍﾞﾙ(空隙率20%)

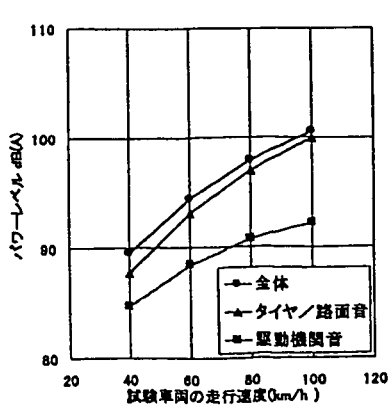


図-13　乗用車の要因別ﾊﾟﾜｰﾚﾍﾞﾙ(空隙率23%)

3.2.1 大型車の騒音低減効果

図-6～9より、大型車においては密粒舗装、排水性舗装とも全ての速度でタイヤ/路面音が駆動機関音を上回っていた。ただし、速度40km/hの時は両者とも同程度のパワーレベルであった。また、タイヤ/路面音と駆動機関音の差は、密粒舗装と空隙率11%では比較的大きかったが、速度が大きくなるにつれてその差は縮まり、空隙率の大きい20%と23%ではほぼ同程度にまで小さくなった。どの空隙率の排水性舗装の場合においても高速域での駆動機関音はあまり違わないが、空隙率が大きいものの方が空隙率が小さいものよりもタイヤ/路面音は小さくなっており、その結果空隙率が大きいものの方が全体のパワーレベルも小さくなった。

3.2.2 乗用車の騒音低減効果

図-10～13より、乗用車においては密粒舗装、排水性舗装とも全ての速度でタイヤ/路面音が駆動機関音を大きく上回っていた。これは、乗用車のパワーレベルではタイヤ/路面音が支配的であり、駆動機関音があまり寄与していないためである。駆動機関音は空隙率が11%でも23%でもあまり違わないが、タイヤ/路面音は空隙率が23%の方が11%より小さくなっており、その結果全体のパワーレベルも空隙率が23%の方が小さくなった。

5.まとめ

大型貨物車の定常走行時は、排水性舗装の騒音低減効果と空隙率の関係では、全ての走行速度において空隙率23%のものが効果が最も大きかった。惰性走行では、空隙率23%のものと26%のものが最も騒音低減効果が大きかった。乗用車の場合は、定常走行時及び惰性走行時とも、全ての走行速度で空隙率23%のものが騒音低減効果が最も大きかった。よって、大型貨物車、乗用車を含めた評価では、排水性舗装の空隙率が23%で最も騒音低減効果が大きくなると認められる。

以上のように排水性舗装では、その騒音低減効果において空隙率の最適値の存在が示唆された。一般には空隙率が大きいほど騒音低減効果は上がると考えられてきたが、今回の結果では空隙率23%のものが最適であり、26%にまで空隙率を上げると逆に効果が低減することが分かった。空隙率23%が26%のものより効果が大きいことは、空隙率以外の要因があることを示唆している。これは、空隙率が26%まで上がると路面テクスチャーが荒くなり、タイヤ加振音が増大するのが原因ではないかと考えられるが、これは今後確認する必要がある。排水性舗装は供用に伴い空隙率が徐々に低下することを考えると[3]、空隙率が大きい方が効果の持続性は良くなるので、この視点からも排水性舗装敷設時の空隙率は23%とすることが適当であると考えられる。また空隙率14%までは2～3dBの騒音低減効果が見られるが、空隙率が11%まで下がってしまうとその効果は約1dB程度まで落ちてしまうため、空隙率が14%程度までは効果があると考えても良いと思われる。

上記の考察は排水性舗装の敷設時空隙率を調整した場合のものである。実際の道路では経時的に空隙率が低下するとともに舗装の表面性状も変化するわけであり、後者の騒音低減効果に対する影響も考慮して効果を検討することが望まれる。

参考文献

1)岩瀬、川端：「透水性舗装面上の音響伝搬特性の推定」、日本音響学会、1997年9月、pp.675～676.

2)岩瀬、川端：「透水性舗装路面上の音響伝搬特性の推定その２」、日本音響学会、1998年3月、pp.721～722

3)大西、明嵐、南里：「排水性舗装の空隙閉塞」、日本音響学会、騒音・振動研究会資料、1997年6月

（15）アクティブソフトエッジ遮音壁の開発*
－固定音源及び移動音源に対する屋外実験結果－

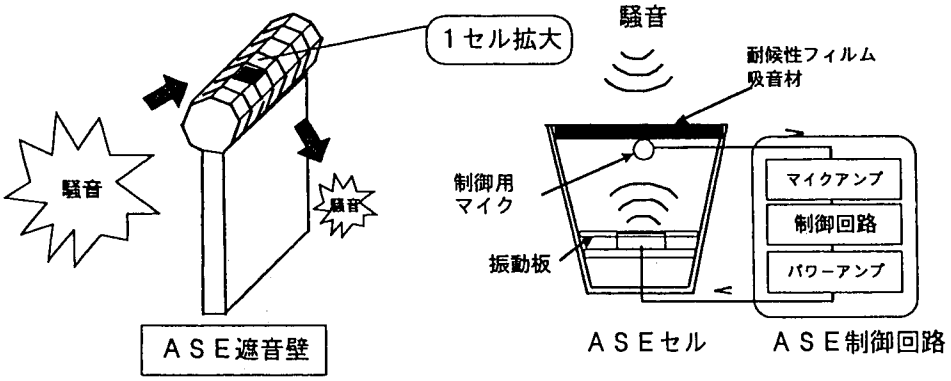
○上坂克巳，大西博文（建設省土木研究所），鉢嶺清範（建設省高崎工事事務所），
大西慶三，西村正治（三菱重工）

1．はじめに

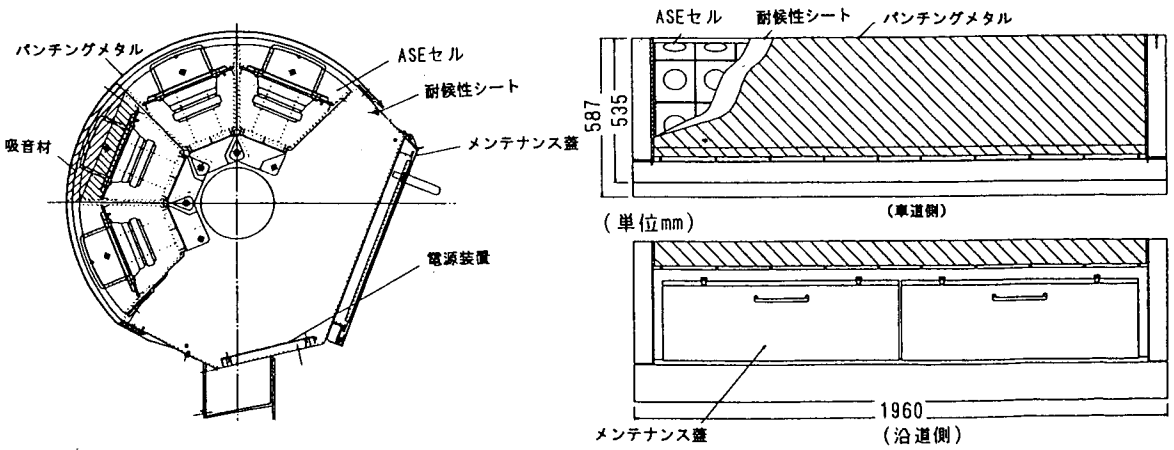
我が国では，道路交通騒音対策にアクティブノイズコントロール（ANC）技術を適用するための研究が 1990 年頃から行われている[1]。そのほとんどは遮音壁に ANC 技術を組み合わせるものである。しかし，従来の研究では移動音源に対して，遮音壁後方の広い空間で ANC 技術の減音効果を確認するには至っていない。また，ANC 技術は，現在のところ低い周波数帯域を制御範囲とすることが実用的であるため，高い周波数帯域での減音効果の向上が課題となっている。

筆者らは上記課題の解決を目指し，アクティブソフトエッジ（ASE）遮音壁の開発を行っている。第 1 報でその基本原理を示した[2]。第 2 報ではアクティブ制御と吸音効果（パッシブ性能）を両立させた ASE セルの性能を示し二次元境界要素法によりその減音効果を推定した[3]。さらに第 3 報では屋内実験用に延長 2m の ASE 遮音壁を製作し，固定音源及び移動音源に対する減音効果を確認した[4]。

本報では，土木研究所の試験走路に設置した ASE 遮音壁のプロトタイプ（延長 40m）の減音効果の測定結果を報告する。測定は固定音源および大型車走行時（40km/h および 80km/h）を対象に行った。



図－1　ASE 遮音壁の基本原理と ASE セル



図－2　ASEユニットの断面図，正面図および背面図

---

* Development of the Noise Barrier with Active Controlled Acoustical Soft Edge － Field Tests for Measuring the Sound Attenuation Effect of ASE Noise Barrier in Cases of a Steady Source and a Moving Source －
by Katsumi UESAKA, Hirofumi OHNISHI (Public Works Research Institute, Ministry of Construction),
Kiyonori HACHIMINE (Takasaki Works Office, Ministry of Construction) and
Keizo OHNISHI, Masaharu NISHIMURA (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd)

2．ASE遮音壁プロトタイプの概要

図－1にASE遮音壁の基本原理を示した。ASE遮音壁は，その上端に設置したASEセル表面の音圧を，ANC技術を用いて常にゼロに近く保つことにより，回折音の低減を図るものである[2)]。なお，制御方式は，アナログのフィードバック制御を用いている。

図－2には，製品としてのASE遮音壁の最小単位であるASEユニット（長さ2m）の断面図，正面図等を示す。今回の実験では，ASEユニット20個を日本道路公団仕様金属製遮音板標準型（以下，「通常遮音壁」という）の上端に連続して設置し，延長40mのASE遮音壁プロトタイプを構築した（図－3参照）。また，1個のASEユニットには，ANC制御を行う基本単位であるASEセル(図－1参照）が48個（断面方向4個×延長方向12個）内包されている。

表－1にASEユニットの構成と基本仕様を示す。

表－1　ASEユニットの構成と基本仕様

1　構成
(1)ASEセル　48個／ユニット
スピーカ，マイクロフォン，吸音材等
(2)制御基板　24枚／ユニット
(3)フレーム
フレーム本体，耐候性シート，パンチングメタル，メンテナンス蓋
(4)電源装置
2　基本仕様
(1)ANC制御周波数　200～630Hz
(2)使用環境　外気温度－10℃以上40℃以下
外気湿度80％RH以下
(3)消費電力　45W／ユニット
(4)重量　130kg／ユニット

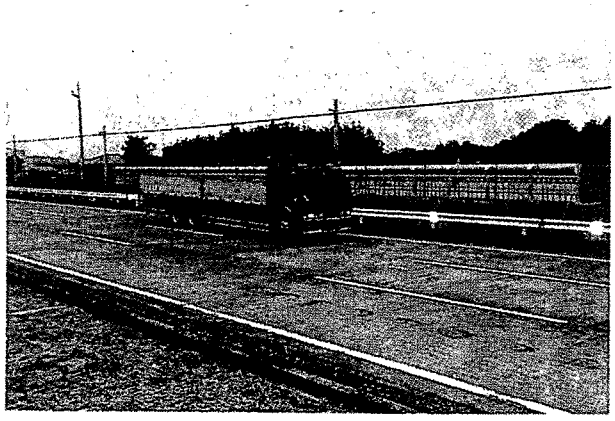
3．土木研究所試験走路での屋外実験

土木研究所の試験走路に，延長が40mで車両走行面からの高さ2.5mのASE遮音壁プロトタイプを設置した。実験装置の配置を図－3に示す。

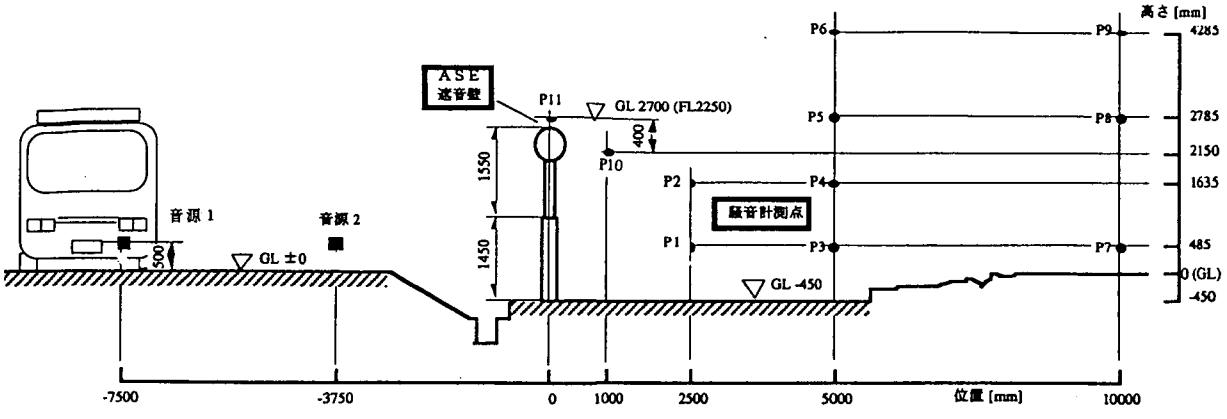
固定音源には，予備実験の結果，低周波帯域でのS/Nがほぼ確保できるボイスコイルタイプスピーカを下向きにして用い，ランダムノイズを発生させた。音源位置は音源1と音源2の二通りとし，測定点はP1～P11の11点を設け同時測定を行った。

図－4に大型車走行時の減音効果の測定状況を示す。大型車（満積載，総重量20トン）は，ほぼ音源1の位置が走行中心となるように，40km/hおよび80km/hで走行した。

固定音源及び大型車走行に対するASE遮音壁の制御ON/OFF時の音圧レベルの測定は，同じ日の深夜に行った。一方，通常遮音壁設置時の音圧レベルの測定は別の日の深夜に行った。



図－4　大型車走行時の減音効果の測定



図－3　土木研究所試験走路に設置したASE遮音壁と実験装置の配置

4．実験結果

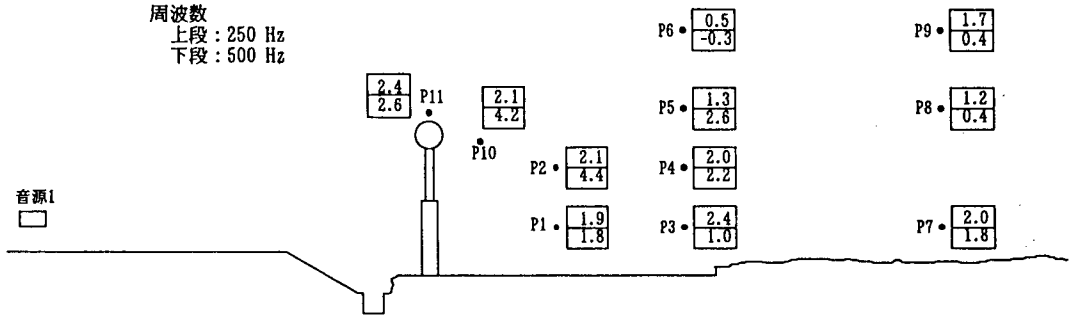
4.1　固定音源に対する減音効果

図－5に，音源1および音源2の場合におけるASE制御ON，OFF時の音圧レベルの差異を250Hz，500Hzについて示す。多くの測定点位置で2～4dB程度のASE制御の効果が得られた。また，全体的には500Hzの場合が250Hz場合よりやや制御効果が大きい。一方，音源や測定点が遮音壁に近く回折角が大きいほど減音効果が大きい。

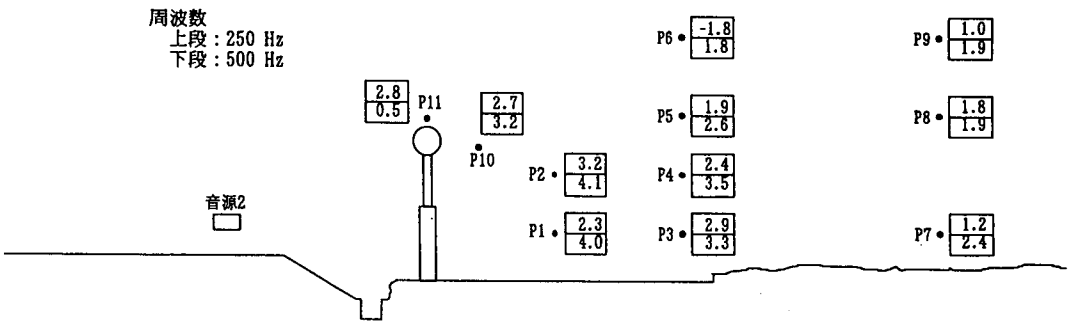
図－6に，音源2の場合に，通常遮音壁とASE遮音壁（制御ON）の場合の減音効果の差異を50Hzから8kHzのオーバーオール値として示す。ASE遮音壁では，通常遮音壁を2～6dB上回る減音効果を有することが確認された。

また，音源1，測定点P1の場合に，通常遮音壁，ASE制御ON，ASE制御OFFでの音圧レベルを1/3オクターブ分析した結果を図－7に示す。ただし，音源のパワースペクトルは別途測定し，それが自動車走行騒音のA特性代表スペクトル[5]と一致するように，全ての測定値に周波数毎の一定の補正を行っている（図－6の測定値も同様）。この図から200Hz～630Hzでは2～4dB程度のASE制御の効果(ON/OFFの差)が得られ，1250Hz～4000Hzでは3～5dB程度のASEセル表面の吸音材の効果が得られていることが分かる。

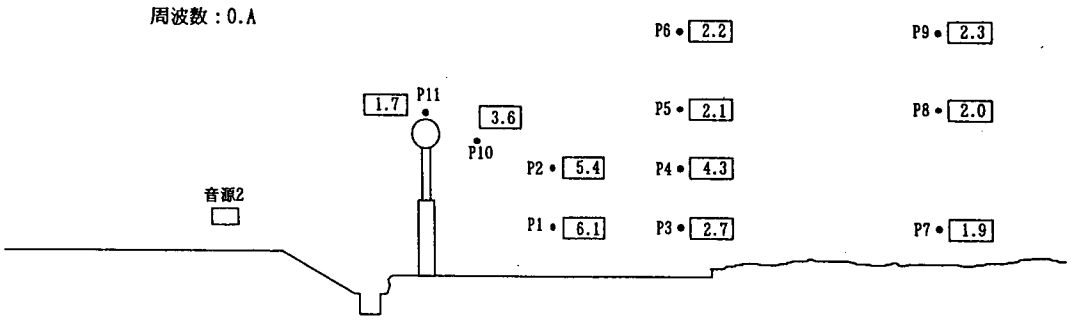
(a)音源1の場合



(b)音源2の場合



図－5　固定音源に対するASE制御ON/OFFの減音効果の差異



図－6　固定音源に対するASE遮音壁（制御ON）と通常遮音壁の減音効果の差異

4.2 移動音源に対する減音効果

図－８に大型車が40km/hおよび80km/hで走行した時に，測定点P1における250Hzでの測定結果を示す。測定は 4 回行い，その算術平均値を測定値とした。ASE遮音壁では通常遮音壁を，ピーク値で5dB程度上回る減音効果が得られている。

図－９に固定音源（音源 1）と大型車走行時における ASE 遮音壁（制御 ON）と通常遮音壁の減音効果の差異を示す。減音効果は，大型車が延長 40m の遮音壁の中心(測定位置）から±10m の範囲を通過している場合の等価音圧レベル L_{peq} の差異として求めた。この図から，大型車走行時にも，走行速度にかかわらず，固定音源と同様のASE遮音壁の効果が確認された。ただし，400Hzと800Hzにおいて，ASE遮音壁の減音効果が小さくなっており，これがASE遮音壁のオーバーオール値としての減音効果を低下させている。今後，その原因を解明していく必要がある。

5．まとめ

延長 40m の ASE 遮音壁のプロトタイプを土木研究所試験走路に設置して，その減音効果の測定を行い，以下の結果を得た。

1）固定音源に対する ASE 制御の効果は，受音点位置により異なるが，250Hz，500Hz で 2 ～ 4dB であった。

2）固定音源に対する ASE 遮音壁の減音効果は，受音点位置により異なるが，50Hz ～ 8kHz のオーバーオール値で通常遮音壁を 2 ～ 6dB 上回った。

3）大型車走行（40km/h および 80km/h）に対する ASE 遮音壁の減音効果は，ピーク時に通常遮音壁を 5dB 程度上回った。また，走行速度にかかわらず，固定音源と同様のASE制御の効果が確認された。

今後の主な課題としては，

1）ASE 遮音壁の有効な設置場所の選定

2）ASE 遮音壁の減音効果の向上（特に 400Hz，800Hz 付近）

が挙げられる。

参考文献

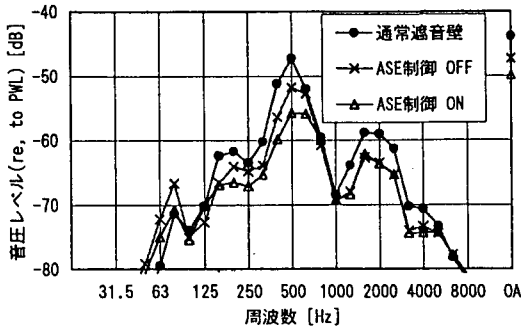
1)大西，西村：アクティブノイズコントロールによる道路交通騒音対策の実状，騒音制御，23 巻 3 号，pp.153 ～ 159（1999）

2)大西，西村，大西，上坂：アクティブソフトエッジ遮音壁の開発－第 1 報：基本コンセプト－,日本音響学会講演論文集，pp.739 ～ 740(1997.9)

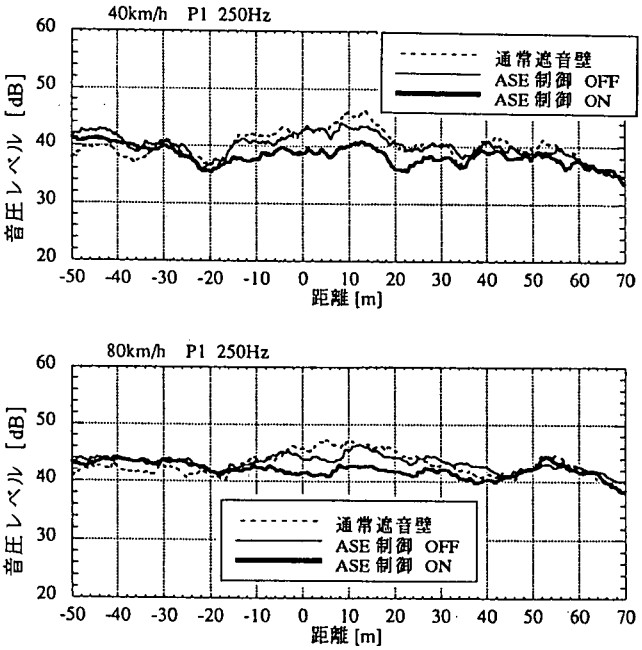
3)大西，西村，和田，上坂，大西：アクティブソフトエッジ遮音壁の開発－第 2 報：アクティブ制御とパッシブ吸音との両立および回折音の BEM シミュレーション－，日本音響学会講演論文集，pp.693 ～ 694（1999.3）

4)上坂，鉢嶺，大西，大西，西村：アクティブソフトエッジ遮音壁の開発－第 3 報：固定音源および移動音源に対する無響室内実験結果－，日本音響学会講演論文集，pp.695 ～ 696（1999.3）

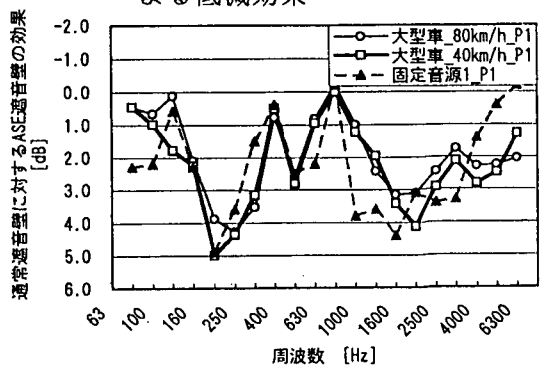
5)日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌，55 巻 4 号，pp.281 ～ 324（1999）



図－７　固定音源に対する ASE 遮音壁の周波数別減音効果



図－８　大型車走行騒音の ASE 遮音壁による低減効果



図－９　固定音源と大型車走行騒音に対する ASE 遮音壁の減音効果の比較

（１６）平面・高架併設道路の騒音予測手法*

◎木村 健治，上坂 克巳，大西 博文（建設省土木研究所）
鉢嶺 清範（建設省高崎工事事務所），堀田 竜太（小林理研）

１．はじめに

平面道路上に高架道路が併設された道路（以下、平面・高架併設道路という。）では、平面道路からの直達音に加え、高架裏面からの反射音が問題となる。この対策として、遮音壁や裏面吸音板を設置することがあるが、対策の効果を確かめるために、騒音レベルを予測する必要がある。ASJ Model 1998[1]では、高架裏面反射音の計算手法が示されているが、遮音壁を有する平面・高架併設道路は対象としていない。

そこで本研究では、平面・高架併設道路を対象に、高架裏面が平滑で、かつ遮音壁と高架裏面に吸音性材料を用いることを前提として簡易で実用的な予測・評価手法を検討する。

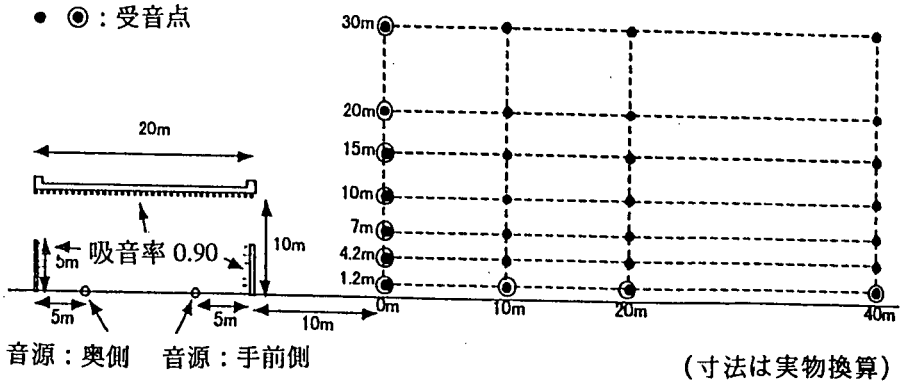
２．模型実験

図－１のような平面道路、高架道路及び遮音壁からなる平面・高架併設道路について考える。道路断面の詳細を図－２に示す。この条件において、音源を受音点からみて平面道路の手前側の車線に設置した場合と、奥側の車線に設置した場合の２パターンについて縮尺模型実験を行い、受音点での騒音レベルを測定した。なお、模型の縮尺は 1/20 で、高架裏面の形状は平滑面とした。

音源は平面道路上の、左右の遮音壁から５ｍ（実物換算）内側の、手前側又は奥側の車線に相当する位置に点音源を設置した。

模型実験では、吸音材料として厚さ 3mm のフェルトを用いた。この材料についての道路交通騒音の代表パワースペクトル(実物換算で 400Hz ～ 2kHz)で重み付けした A 特性の平均斜入射吸音率測定値（入射角 0 度～ 60 度）は 0.90 であり、裏面吸音板に必要とされる高い吸音性能を満たしている。

実験では、ジェットノイズ（道路の延長方向と平行になるように設置、また中心高さは実物換算で 0.15m）を利用した点音源から定常的な広帯域ノイズを放射し、1/4 インチマイクロホンで受けた信号を実時間周波数分析

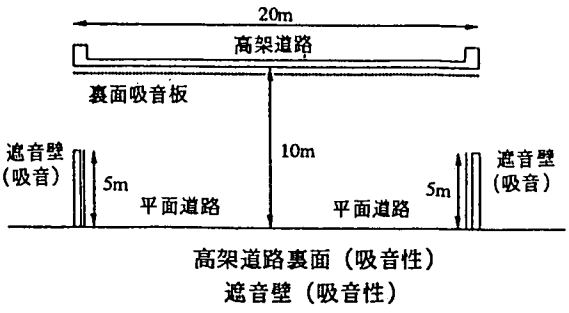


図－１　道路断面及び音源と受音点の配置

* Traffic noise prediction method of a road with a viaduct
by Kenji KIMURA, Katsumi UESAKA, Hirofumi OHNISHI(Public Works Research Institute, Ministry of Construction),Kiyonori HACHIMINE(Takasaki Work Office, Ministry of Construction),Ryota HOTTA(Kobayasi Institute of Physical Research)

器で10秒間パワー平均し、1/3オクターブバンド毎の平均騒音レベルを得た。

周波数範囲は2,000Hz～50,000Hz（実物換算で100Hz～2,500Hz）を対象とした。また、自由空間中で測定した音源のA特性パワーレベルは137dBであった。



図－2　検討対象とする道路断面

3．予測計算方法

3.1　反射音の経路について

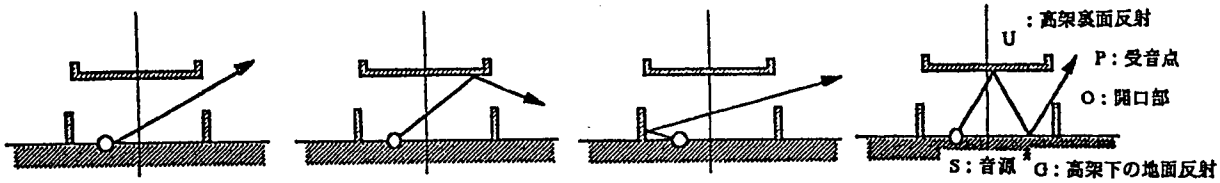
本研究では、吸音材（吸音率0.90）を設置した面で2回以上反射した音は、反射時におけるエネルギーの損失が20dB以上になるため無視できると考えた。

表－1　今回考慮する音の伝搬経路

①	SOP	⑤	SO(G)P
②	SUOP	⑥	SUO(G)P
③	SLOP	⑦	SLO(G)P
④	SUGOP	⑧	SUGO(G)P

S：音源　O：開口部　P：受音点　U：高架道路裏面
L：奥側遮音壁　G：高架下の地面　(G)：受音点側の地面

このため、受音点での騒音レベルは、吸音面（高架裏面、及び遮音壁内側）に入射しない経路と、吸音面で1回だけ反射する経路についてのみ計算を行い、それらの寄与を合成して求めた。なお、具体的な反射経路は表－1及び図－3に示す8つである。



①SOP　②SUOP　③SLOP　④SUGOP

図－3　伝搬経路の例

3.2　計算式について

表－1に示す経路について、i（表－1の丸数字に対応）番目の経路まで考慮したときの受音点での騒音レベルL_{pA}は、次式により表される。

$$L_{pA} = 10\log_{10}\left\{\sum 10^{L_{pA,i}/10}\right\}$$

ここで、L_{pA}　：受音点での騒音レベル（dB）

$L_{pA,i}$：i番目の伝搬経路による騒音レベルの寄与（dB）

また、$L_{pA,i}$は次式で計算する。（なお、$\Delta L_{1,i}$，$\Delta L_{2,i}$，$\Delta L_{3,i}$，$\Delta L_{4,i}$についてはスリット法[1]により計算する。）

i＝1,5のとき

$$L_{pA,i} = L_{WA} - 8 - 20\cdot\log_{10} r_i - \Delta L_{1,i}$$

i＝2,6のとき

$$L_{pA,i} = L_{WA} - 8 - 20\cdot\log_{10} r_i - (\Delta L_{1,i} + \Delta L_{2,i}) + 10\log_{10}(1-\alpha_2)$$

i＝3,7のとき

$$L_{pA,i} = L_{WA} - 8 - 20\cdot\log_{10} r_i - (\Delta L_{1,i} + \Delta L_{3,i}) + 10\log_{10}(1-\alpha_3)$$

i＝4,8のとき

$$L_{pA,i} = L_{WA} - 8 - 20\cdot\log_{10} r_i - (\Delta L_{1,i} + \Delta L_{2,i} + \Delta L_{4,i}) + 10\log_{10}(1-\alpha_2)$$

ここで、L_{WA}：自動車走行騒音のA特性パワーレベル（dB）

r_i：i番目の伝搬経路における鏡像音源または音源から受音点までの距離（m）

$\Delta L_{1,i}$：高架裏面と右側の遮音壁の開口部を通過する際の減音量(dB)

$\Delta L_{2,i}$：完全反射の高架裏面で反射する際の減音量(dB)

$\Delta L_{3,i}$：完全反射の左側の遮音壁で反射する際の減音量(dB)

$\Delta L_{4,i}$： 地面反射における減音量(dB)

α_2：高架裏面の吸音率（α_2=0.9)

α_3：左側の遮音壁の吸音率(α_3=0.9)

4．実験値と計算値の比較

4.1　8つの経路を考慮した場合の計算値と実験値の比較

計算値と実験値を比較するために、受音点ごとにこれらの差分を求めた。この差分の絶対値を高さ方向(官民境界上の受音点)と水平方向(高さ 1.2m の受音点)で、それぞれ平均したもの(以下、差分平均値という。)を表－２に示す。この表から、８番目の経路までを考慮して計算を行うと、数値が収束している事がわかる。

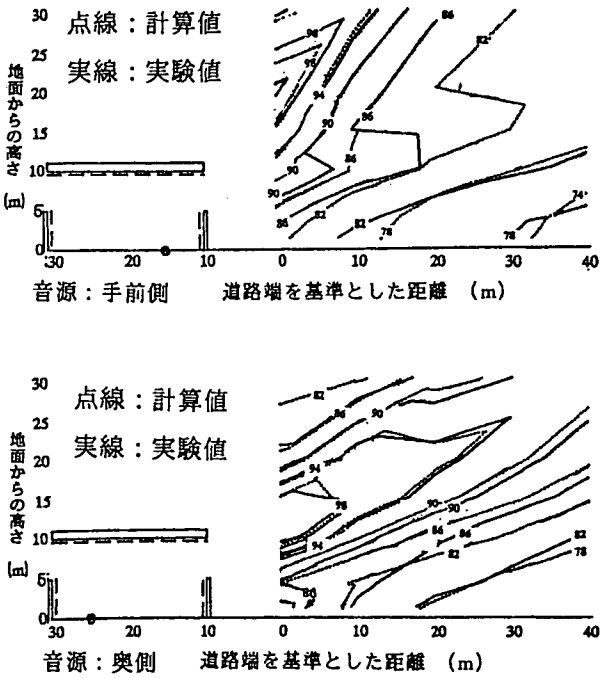
さらに、このときの全受音点での騒音レベルのコンター（図－４）を見ると、実験値と計算値は非常に良く似た傾向を示している。

これらのことから、予測計算は表－１に示す８つの経路を考慮する必要があり、また、高架裏面及び遮音壁に吸音性の材料を使用した一般的な平面・高架併設道路の沿道の騒音レベルは、これらの経路の騒音レベルを合成することでおおむね予測できると考えられる。

表－２ 実験値と計算値の差分平均値

経路		音源：奥側		音源：手前側	
		高さ方向	水平方向	高さ方向	水平方向
①	SOP	4.3	8.5	2.6	5.6
②	+SUOP	**2.8**	**5.9**	2.6	5.6
③	+SLOP	**2.6**	**5.8**	**2.1**	**5.4**
④	+SUGOP	**1.8**	5.8	2.1	5.4
⑤	+SO(G)P	**1.7**	**4.1**	**1.6**	**2.9**
⑥	+SUO(G)P	**1.2**	**3.4**	1.6	2.9
⑦	+SLO(G)P	1.2	**3.3**	1.6	2.9
⑧	+SUGO(G)P	1.2	3.3	1.6	2.9

・その経路を加えたことで値が変化した場合は太字で示す。
・＋の記号は経路の騒音レベルの寄与の値を加算していくことを示す。



図－４　８番目の経路までを考慮したときの騒音レベルのコンター
（上は音源が手前側、下は音源が奥側）

4.2　伝搬経路の簡略化の可能性の検討

予測計算に必要な伝搬経路の簡略化の可能性を検討するために、次のＡからＣの場合について検討を行った。

Ａ．経路①（開口部からの回折音 SOP のみ）を考慮

Ｂ．経路①～④（開口部からの回折音 SOP と反射音（受音点側で地面反射する経路(G)を除く））を考慮

Ｃ．経路①～⑧（開口部からの回折音 SOP と反射音（受音点側で地面反射する経路(G)を含む））を考慮

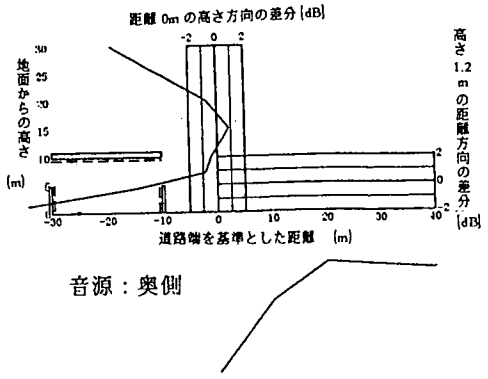
1)音源が奥側の場合

（図５～７に、Ａ～Ｃそれぞれについての差分平均値のグラフを示す。）

(1)A(経路①についてのみ考慮した場合)：騒音レベルの差はかなり大きい（図－５)。また表－２より差分平均値が、高さ方向 4.3dB、水平方向 8.5dB となっている事がわかる。

(2)B(経路①～④について考慮した場合)：A に比べ遮音壁付近と官民境界の高さ 30m 付近で、計算値と実験値の騒音レベルの差が縮小している(図－６)。また差分平均値も、高さ方向 1.8dB、水平方向 5.8dB となっており、減少していることがわかる。

(3)C(経路①～⑧について考慮した場合)：B に比べ水平方向を中心に計算値と実験値の騒音レベルの差がさらに縮小した（図－７)。これより、経路⑤～⑧は無視できないことがわかる。また差分平均値も、高さ方向 1.2dB、水平方向 3.3dB となっており、実験値とおおむね整合がとれている。



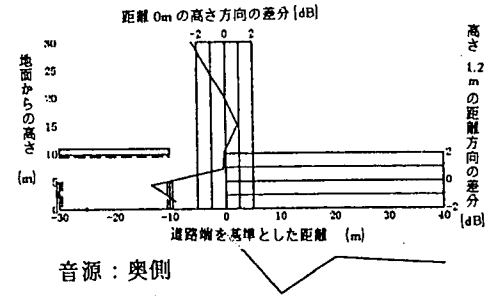
図－５ 騒音レベルの計算値と実験値の差
(経路①について考慮したとき)

2)音源が手前側のとき

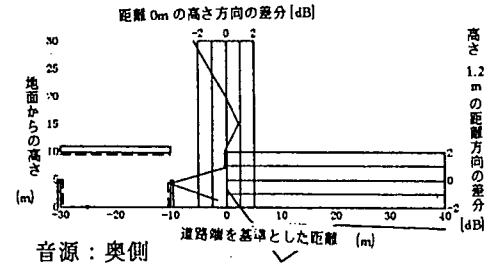
(1)A(経路①についてのみ考慮した場合)：差分平均値は、高さ方向 2.6dB、水平方向 5.6dB となっている(表－２)。

(2)B(経路①～④について考慮した場合)：差分平均値が、高さ方向 2.1dB、水平方向 5.4dB となっており、A に比べ減少していることがわかる。

(3)C(経路①～⑧について考慮した場合)：差分平均値が、高さ方向 1.6dB、水平方向 2.9dB となっており、実験値とおおむね整合がとれている。これより音源が奥側にある場合と同様に、経路⑤～⑧は無視できないことがわかる。



図－６ 騒音レベルの計算値と実験値の差
(経路①～④について考慮したとき)



図－７ 騒音レベルの計算値と実験値の差
(経路①～⑧について考慮したとき)

５．まとめ

今回は、高架裏面及び遮音壁に吸音性の材料を使用した平面・高架併設道路について騒音レベルの予測方法の検討を行った。表－１に示す８つの伝搬経路の音（吸音面に入射しない音と、吸音面で１回だけ反射する音）を合成することにより、受音点での騒音レベルを求めた。予測計算結果と縮尺模型実験の結果を比較すると、おおむね整合がとれていた。

６．今後の課題

高さ方向に比べ水平方向の計算値と実験値の差がやや大きくなっている。この原因については、直接音と反射音の干渉の影響や、多重回折の計算方法の誤差等が考えられる。今後、この原因を明確にし、改善を行う必要がある。

参考文献　1)道路交通騒音の予測モデル” ASJ Model 1998”，日本音響学会誌 55 巻 4 号 (1999)，pp.281-324

（17）低層遮音壁の設計方法について

建設省　土木研究所　○木村　健治
同　上坂　克巳
同　大西　博文

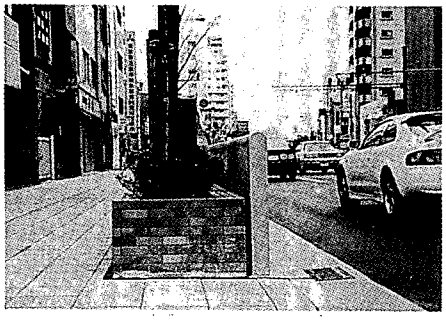
1．はじめに

低層遮音壁（高さの低い遮音壁）は、開口部から沿道への出入りが可能で、日照阻害や電波障害といった問題がほとんどなく、景観に配慮した設計が可能という特徴を持つ。このため、都市部の一般道路における騒音対策として有効である。しかし、実際の対策手法としてはまだ広く普及していない。この主な原因として減音効果の予測・評価手法が確立しておらず、設計の考え方が明らかになっていないことが挙げられる。

このため本研究では、低層遮音壁の予測、評価及び設計を行うために参考とする「低層遮音壁の設計マニュアル」の作成を行っているところである。本報では、この概要について報告する。

2．低層遮音壁について

低層遮音壁（図－１）とは、沿道住民や歩行者に対する騒音低減を目的として、歩車道境界に設置される高さ 1m 程度の遮音壁のことである。これには、パネルタイプと植栽枡タイプの２種類がある。また、図－２に示すような安全性、景観、快適性、利便性等の付加機能を有する。



図－１　低層遮音壁

3．設計の手順

低層遮音壁の設計手順を図－３に示す。低層遮音壁の設計では、高さは１ｍ程度が標準のため、遮音壁のタイプ、奥行き、使用材料、開口率、減音効果の評価区間長（設計パラメータという）の設定が重要な役割を持つ。

(1)目標減音量

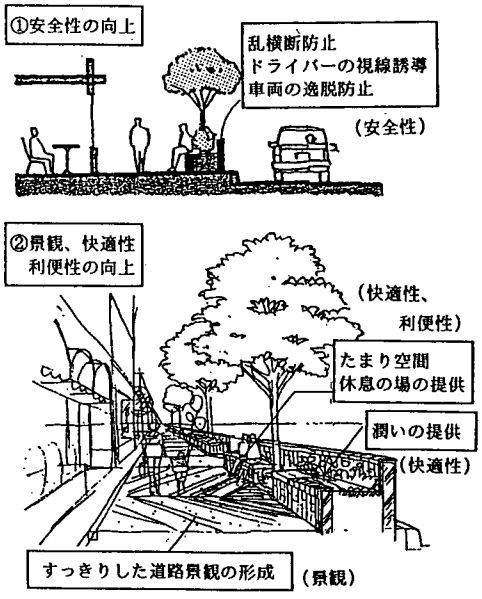
目標減音量は「低層遮音壁が無い状態での騒音レベル」から「環境基準値（やむを得ない場合は要請限度）」を引いた値とする。

(2)設計条件の設定

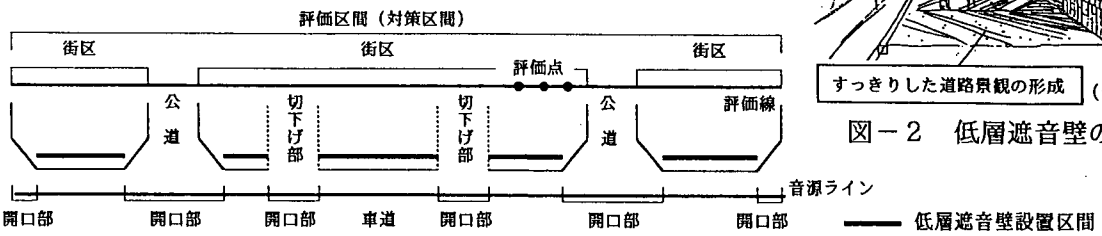
減音効果を予測するために、遮音壁の高さ、タイプ、奥行き、評価区間長、開口率を設定する。

①高さ……対象道路を走行する運転者の見通しの確保及び都市景観への配慮の観点から、１ｍ程度を標準とする。

②タイプ、奥行き……歩道における低層遮音壁の設置幅員が確保しにくい場所では、厚さの薄いパネルタイプを、幅員に余裕がある場所では奥行きのある植栽枡タイプを採用する。なお、



図－２　低層遮音壁の付加機能



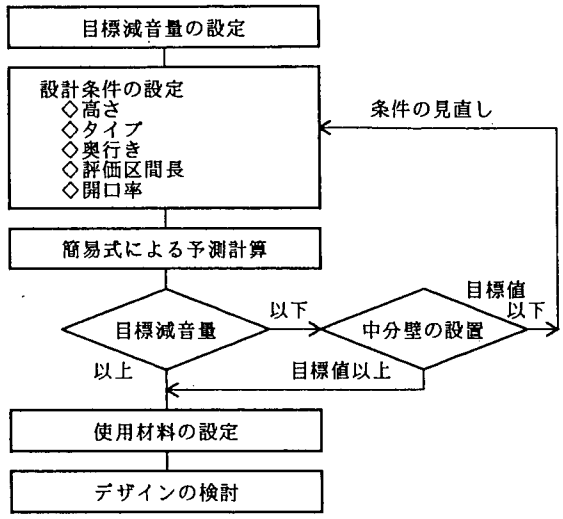
図－４　低層遮音壁の減音効果を評価するための条件の設定

奥行きの設定にあたっては、歩道利用者や沿道住民に圧迫感を与えないように配慮する。

③評価区間長……断続的に設置された低層遮音壁の両端に挟まれた区間を評価区間(図－４)（評価区間と対策区間は同義）とし、また、この長さを評価区間長とする。なおベンチを設置する場合など、特定の場所の騒音レベルを評価する場合には評価点を設定する。

④開口率……騒音低減量を大きくするには開口率を小さくすることが重要である。なお開口率は次式で表される。

$$\text{開口率} = \frac{\text{開口部延長の合計(m)}}{\text{対策区間長(m)}} \times 100\%$$



図－３ 低層遮音壁の設計手順

(4)簡易式による減音効果の予測計算

騒音低減量の予測計算は次の簡易式①、② [1]により $1 - 10^{-TL/10} = 1$ として行う。目標減音量を達成しない場合は、中央分離帯への低層遮音壁の設置も検討する。

$$IL = -10\log_{10}\{1 - \frac{\theta}{\pi}(1 - 10^{-IL_0/10})(1 - 10^{-TL/10})\} \quad \cdots ①$$

$$SA\cdot IL = -10\log_{10}[10^{-(SA\cdot IL_0)/10} + \{1 - 10^{-(SA\cdot IL_0)/10}\}\alpha] \quad \cdots ②$$

$$SA\cdot IL_0 = -10\log_{10}[1 - (1 - 10^{-IL_0/10})(1 - 10^{-TL/10}) \times \frac{1}{\pi}\{2\tan^{-1}(\frac{l}{d}) - \frac{d}{l}\ln(1 + \frac{l^2}{d^2})\}]$$

ここで、IL（地点別挿入損失）：沿道の特定地点における遮音壁設置前後の L_{Aeq} の差
$SA\cdot IL$（区間平均挿入損失）：評価区間における遮音壁設置前後の $SA\cdot L_{Aeq}$ の差
l：評価区間長
d：評価点側の側面と評価点（線）の距離
θ：評価点（受音点）から植栽枡タイプの評価点側壁面の見込み角の和
α（開口率）：評価区間長に対する低層遮音壁の未設置区間の延長の割合
TL：パネル材料の透過損失
IL_0：無限長の連続した低層遮音壁を仮定した場合の挿入損失
$SA\cdot IL_0$：評価区間において、有限長の連続した低層遮音壁を仮定した場合の区間平均挿入損失

(5)使用材料の設定

予測計算で求めた騒音低減量を参考に、使用材料の種類（金属、木材、コンクリート等）や、厚さを設定する。この場合、①、②式により、許容されるパネル材料の等価損失 TL を検討する。

(6)デザインの検討

低層遮音壁は幅広い材料、またデザインの選択が可能なので、設置区間の景観を高める工夫を行う。例えば、材料に木材を使ったり、植栽する樹種やその配置を工夫することで、親しみやすく、景観性の高い沿道環境を整備することができる。

４．おわりに

低層遮音壁の設計では、その高さに重点をおいて設計するよりも、評価（対策）区間の延長、開口率、遮音壁の形状・材質・デザイン等の設定・選択に重点をおいて設計することが重要である。

今後は、景観にすぐれ、沿道環境と調和した、親しみやすい低層遮音壁の普及が望まれる。残された課題として、減音効果の予測・評価方法のさらなる充実と、良好な沿道環境を作り出すことのできる質の高い景観設計技術の充実を図っていく必要がある。

参考文献：1)上坂、大西、鉢嶺、石川、高木「種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究」
騒音制御 Vol.23 No.2 1999.4,P99 ～ P109

(18)アクティブソフトエッジ遮音壁の開発　－屋外実験結果－

建設省土木研究所　○上坂　克巳
大西　博文
建設省高崎工事事務所　鉢嶺　清範

1．はじめに

土木研究所では，道路環境技術開発三箇年計画（H8 ～ H10 年度）の一環として，アクティブ・ノイズ・コントール（ANC）技術を用いた騒音対策手法の研究を行っている。本報では，ANC 技術を用いて遮音壁エッジ周辺の音圧（200 ～ 630Hz）を常にゼロに近く保つことにより，遮音壁上方の回折音を低減するアクティブソフトエッジ（ASE）遮音壁の開発状況とその減音効果について報告する。

2．アクティブソフトエッジ（ASE）遮音壁の特徴

アクティブソフトエッジ（ASE）遮音壁とは，図－２に示す ASE ユニットを遮音壁上端に設置したものである。「ソフト」とは，音圧反射率が－１のことを意味する。ASE ユニットでは，ANC 技術を利用しその表面の音圧を常にゼロ近くに保つことができる。

遮音壁の回折音の大きさは，遮音壁エッジ近傍の音圧に強く依存することが知られている。筆者らはその点に着目し，遮音壁エッジ周辺の局所空間のみの音圧をゼロとすることを目標とした。局所空間の消音では，ヘリコプター乗員が使用するヘッドホンなどで実用化されている単純なフィードバック制御を用いることができる。その結果，このシステムでは自動車のような移動音源に対しても制御が可能であり，これが第１の特徴となっている。また，ANC の制御対象周波数は 200 ～ 630Hz であるが，それ以上の周波数帯域についても，表面の吸音材の効果により，遮音壁上方の回折音を低減することができる。したがって，ASE 遮音壁はアクティブ，パッシブ両方の機能を備えたハイブリッドシステムと言え，これが第２の特徴と言える。

3．ASE遮音壁プロトタイプの減音効果の屋外での測定

3.1　実験方法

平成 10 年度に，土木研究所の試験走路において延長 40m の ASE 遮音壁プロトタイプを設置した。

図－１に示す実験配置において，固定音源(スピーカからランダムノイズを発生)及び大型車走行(40km/h および 80km/h）に対する遮音壁の減音効果を測定した。測定は，「ASE 制御あり」，「ASE 制御なし」および「通常遮音壁（統一型遮音壁)」に対して行った。なお，遮音壁上端に設置した ASE ユニットの断面図および正面図を図－２に示す。

3.2　実験結果

図－３に，固定音源の位置が2の場合に受音点P1における上記3ケースの音圧スペクトルを示す。ASE遮音壁は制御帯域内(200 ～ 630Hz)の減音効果と 1kHz 以上の吸音材によるパッシブ減音効果を同時に発揮し，オーバーオール音圧レベルで，統一型遮音壁を 6.1dB 上回る減音効果が確認された。

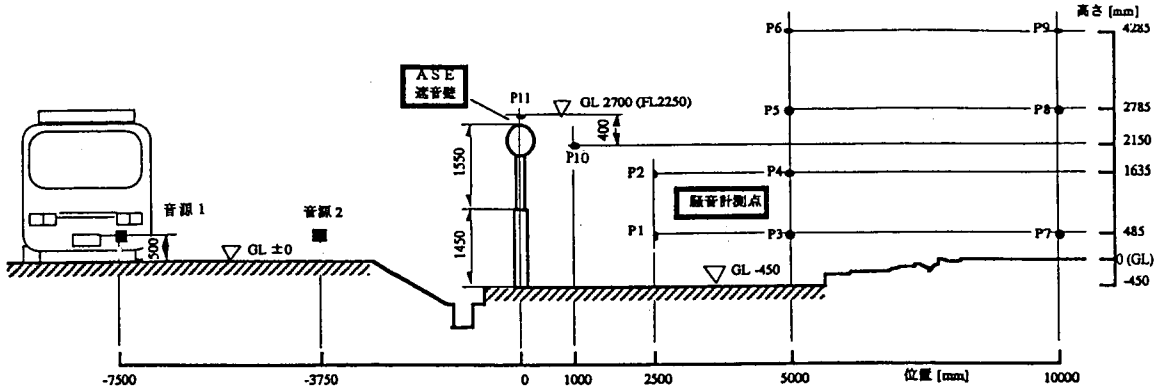
また，遮音壁をはさんで，音源が受音点の斜め方向にある場合は，音源が受音点の正面にある場合と同様もしくはやや大きい減音効果が得られることが確認された。

さらに，大型車走行時にも，走行速度にかかわらず，固定音源と同様の効果が確認された。図－４は，40km/hおよび80km/h走行時の250Hzにおける騒音測定結果を示す。この図は 4 回の測定値の算術平均値であるが，ASE遮音壁は通常遮音壁に比べ，ピーク値で5dB程度の減音効果が得られている。

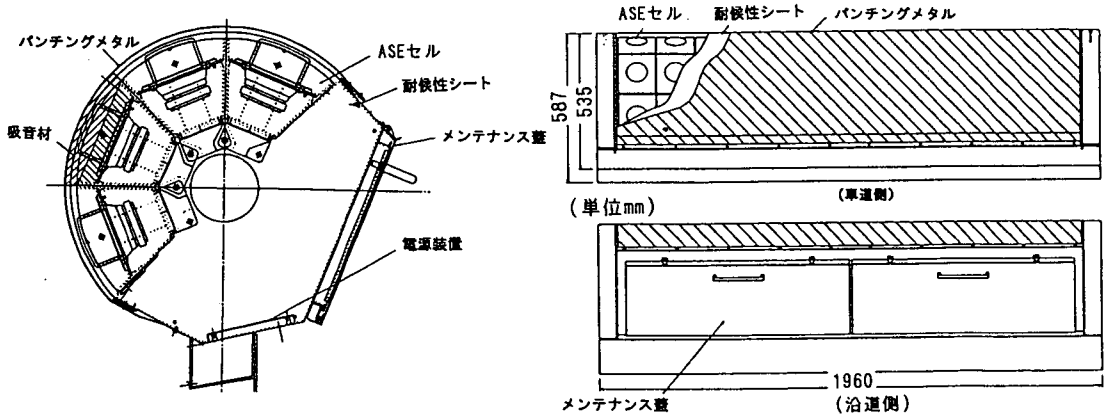
4．まとめ

ASE 遮音壁は，通常遮音壁を最大で 6dB 程度上回る減音効果を有することが確認された。また，移動音源となる大型車の走行に対しても固定音源と同等の効果が得られた。

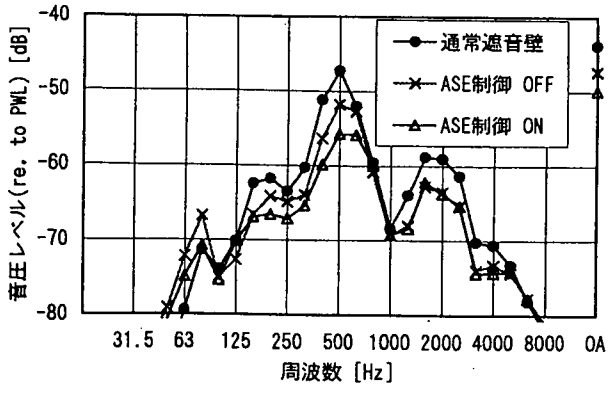
今後の主な課題としては，ASE 遮音壁の有効な設置場所の選定や，高周波数帯域での減音効果の向上が挙げられる。



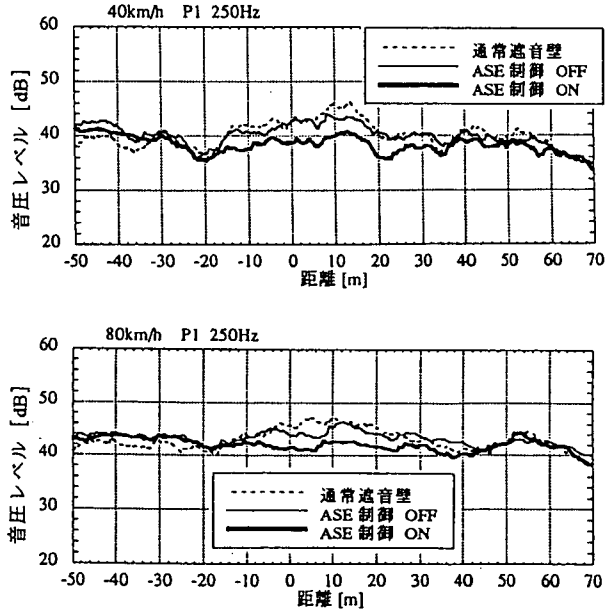
図－１　土木研究所試験走路での実験配置



図－２　ASEユニットの断面図，正面図および背面図



図－３　固定音源に対する減音効果



図－４　大型車走行時の減音効果

（１９）多孔質弾性舗装の排水機能について

建設省土木研究所　近藤　升
同　大西博文
セントラルコンサルタント（株）　○南里吉輝

1. はじめに

多孔質弾性舗装は，排水性舗装と比べて格段に高い騒音低減効果を有していることから，道路交通騒音対策として早期実用化が期待されている。しかし，排水性舗装とは異なり降雨時の水はけが課題と指摘されている。そこで，定水位透水試験，降雨排水実験および飽和度確認実験により多孔質弾性舗装の排水機能を調査した。

2. 実験概要

(1) 定水位透水試験

各種の多孔質弾性舗装の供試体を水で飽和状態にして５段階の水頭差(2,5,10,20,50cm)で定水位透水試験を行い，仕様の違いによる透水係数を求めた。各供試体の仕様を表－１に示す。仕様別の透水係数は，それぞれ３個の供試体の平均値とした。

表－1　透水試験用供試体の仕様一覧

番号	粒の形状	粒の大きさ	空隙率	構造(cm)
A-1	ひじき状	小	35%	1層(10×10×5)
A-2	ひじき状	小	40%	1層(10×10×5)
B-1	ひじき状	大	35%	1層(10×10×5)
B-2	ひじき状	大	40%	1層(10×10×5)
C-1	粒状	小	35%	1層(10×10×5)
C-2	粒状	小	40%	1層(10×10×5)
D-1	粒状	大	35%	1層(10×10×5)
D-2	粒状	大	40%	1層(10×10×5)
E-2	上層ひじき状、下層粒状	小＋大	40%	2層(10×10×5)、上層1cm、下層2cm

(2) 降雨排水実験

降雨強度を調整できる散水装置の下に，一般道路と同じ２％の横断勾配で空隙率 40%の多孔質弾性舗装材料を設置し，降雨時での浮き水の発生状況を観察した。また，供試体からの排水量を転倒ます型流量計により単位時間ごとに測定した。なお，降雨強度は毎時 5mm と 10mm の２ケース，降雨時間は３時間とし，降雨停止後２時間の排水状況を調査した。使用した供試体の仕様を表―２に示す。

表－2　降雨排水実験用供試体の構造・仕様一覧

番号	粒の形状	粒の大きさ	ドレーン用溝の有無	構造(cm)
1	粒状	大	溝なし	1層(104×2000×3)
2	ひじき状	小	溝なし	1層(104×2000×3)
3	ひじき状	小	底面に方形格子2＊4列	1層(104×2000×3)
4	上層ひじき状、下層粒状	大＋小	溝なし	2層(104×2000×3)、上層1cm、下層2cm

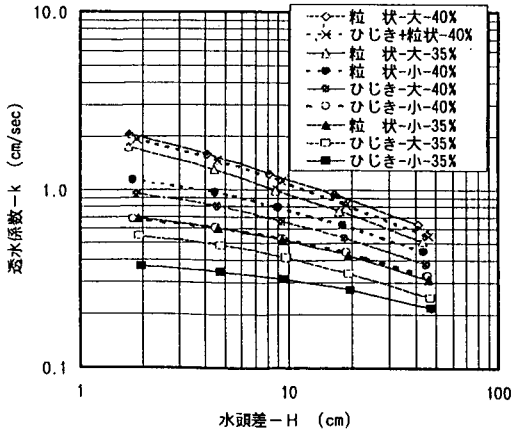
(3) 飽和度確認実験

供試体内への雨水の浸透状況を確認するため，６種類の供試体について飽和度確認実験を行った。この実験では毎時 20mm の定常降雨状態を３時間継続させ，降雨開始 30 分後から 30 分毎に浮き水を排除して供試体重量を計測し，供試体の水による飽和度を求めた。

3. 実験結果

(1) 定水位透水試験

定水位透水試験より得られた水頭差と水平方向の透水係数の関係を図－１に示す。実験から求められた透水係数は，水頭差，供試体の仕様によって異なるが，水平方向で 0.2～2.0cm/sec であった。透水係数は要因ごとに，粒状の方がひじき状よりも，粒子は大きい方が小さいよりも、空隙率は大きい方が小さいよりも透水係数が大きかった。この結果から，透水係数に影響を及ぼす要因は粒子の形状，粒子の大きさ，空隙率の順と考えられる。



図－１　各種多孔質弾性舗装の水頭差と水平方向の透水係数

また、水頭差と透水係数の関係を示す曲線が右下がりであることから，多孔質弾性舗装内の流れはダルシー則に当てはまらないことがわかった。

表－3 各種多孔質弾性舗装の構造別透水係数一覧(水平方向，動水勾配2%)

供試体構造	D-2	E-2	D-1	C-2	B-2	C-1	A-2	排水性舗装	B-1	A-1
透水係数(cm/sec)	2.93	2.85	2.54	1.34	1.11	0.77	0.74	0.66	0.62	0.39

この実験結果から推計した動水勾配 2%での各供試体の透水係数を高い順に表－3 に示す。同様に求めた空隙率 20%の排水性舗装の透水係数と比較すると，多孔質弾性舗装はひじき状・空隙率 35%を除き，排水性舗装以上の透水性能を有する結果となった。

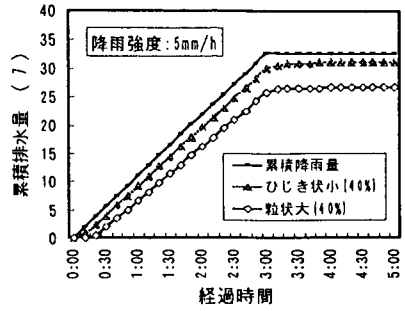
(2) 降雨排水実験

降雨強度 5mm/h における各供試体の経過時間毎に累積排水量を図－2，図－3 に示す。実験結果より以下のことがいえる。

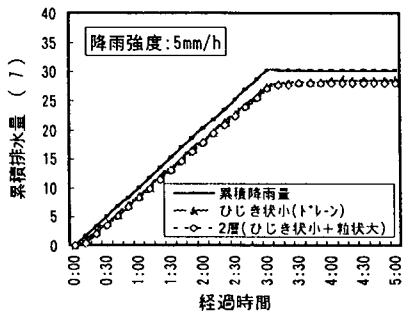
① 表－2の番号 1 の供試体（粒状）では，図－2 を見ると初期の排水が降雨開始から遅れて始まり，時間経過とともに累積の降雨量と排水量の差が徐々に増している。これは，雨水の供試体内への浸透と貯留によると考えられる。粒状の場合，降雨強度が 5mm/h では舗装表面の凹部に水がたまり,凹部を伝って排水されるため，表面に浮き水が見られないが，10mm/h では浮き水が発生した。供試体からの排水は，降雨開始後 20 分程度で定常状態となった。

② 表－2の番号 2,3,4 の供試体（ひじき状）では，図－2,図－3 を見ると供試体内への雨水の浸透はほとんど見られない。供試体表面には，降雨開始直後より浮き水が発生した。供試体からの排水は，降雨開始直後より定常状態となった。

裏面にドレーン溝を付けた供試体も，2 層構造の供試体も，供試体上層のひじき状粒子部分の空隙経路が小さく，雨水の供試体への浸透が妨げられたため，透水性能が十分に発揮されなかったと考えられる。



図－2 粒状別多孔質弾性舗装の累積排出量



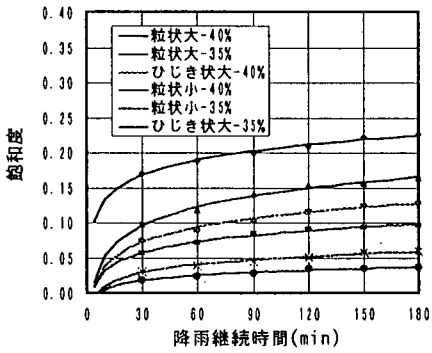
図－3 改良型多孔質弾性舗装の累積排水量

(3) 飽和度確認実験

飽和度確認実験の結果は図－4のとおりである。実験結果より以下のことがいえる。

① 要因毎の飽和度の大小関係は，透水係数の場合と同様に粒状の方がひじき状よりも，粒子の大きさが大きい方が小さいよりも、空隙率が大きい方が小さいよりも、飽和度が大きかった。

② 多孔質弾性舗装の飽和度は，20mm/h 以上の降雨強度における3時間連続降雨で約 0.05～0.25 程度であり，排水性舗装の飽和度（約 0.5 以上）と比べて小さい。しかし多孔質弾性舗装の場合，飽和度は小さくても保水することが確認されている。これは，多孔質弾性舗装は排水性舗装と比べると雨水の浸透は少ないが，一旦舗装体内に浸透すると空隙経路の細さから排水されにくい構造であると考えられる。



図－4 降雨時間と空隙の飽和度の関係

4．まとめと課題

多孔質弾性舗装の透水係数は排水性舗装と同等以上であるが,雨水の浸透性は排水性舗装と比べて低い。これは，ゴムの撥水性と空隙経路の細さによるものと考えられる。試験走路で実際に使用された多孔質弾性舗装の観察では，時間経過（車両の通行）とともに雨水の浸透性が増加していると推測されるため，実際に車道で使用された材料の排水機能も調査する必要があると考えられる。

（２０）多孔質弾性舗装等の耐火性に関する調査

建設省土木研究所　大西博文
同　近藤升
同　○青木理恵

１．はじめに

近年、都市部の道路交通騒音問題を解決するために有効な低騒音舗装が開発されてきている。その中でも、古タイヤを細断し、それをパネル状に成形したものを用いた多孔質弾性舗装は、その騒音低減効果が極めて高いことから、早期実用化が望まれている。しかしまだ安全性、耐久性等の課題が検討されているところである。本稿では耐火性を検討するため実験を行ったので、その結果を報告する。

２．実験概要

ここでは、多孔質弾性舗装のほかにこれと比較するために密粒舗装、排水性舗装も用いて、屋内実験と屋外実験を行った。これらの実験において燃料・舗装材料の燃え方、火炎の高さ、煙の発生等燃焼の状況を観察するとともに、火炎の伝播速度、燃焼温度を測定した。これら実験の概要を表-１及び図-１に示す。

表-１　実験概要

実験種別	舗装体種類	骨材・空隙率	燃料種類	実験方法
屋内実験	密粒舗装	骨材粒径13～5mm、空隙率3%	高揮発性燃料：n-ヘプタン（ガソリン相当） 低揮発性燃料：n-デカン（軽油相当）	大きさ50*50cm、厚さ5cmの供試体の中央において直径30cmの範囲に500mLの燃料を一様に散布する。燃料が供試体に浸透したら（密粒舗装には浸透しない）、供試体の中央にパイロットランプにより着火する。
	排水性舗装	骨材粒径13～5mm、空隙率20%		
	多孔質弾性舗装	古タイヤをひじき状に細断したもの 空隙率35%		
屋外実験	密粒舗装 排水性舗装 多孔質弾性舗装	屋内実験と同様	ガソリン 軽油	広さ5*5m、厚さ5cmの範囲に実験用の舗装を施工する。その中央部に直径3mの範囲に36Lの燃料を一様に散布する。燃料が供試体に浸透したら（密粒舗装の場合は浸透しない）、供試体の中央にパイロットランプにより着火する。

３．実験結果

3.1　屋内実験

高揮発性燃料（ガソリン相当）の場合、密粒舗装では着火と同時に燃料散布領域の全域に一瞬にして火炎が広がるが、舗装材料自体には引火しなかった。一方、多孔質弾性舗装においても、着火後、燃料散布領域に火炎は広がった。その後、舗装材料のゴムも燃えだし、燃料散布領域外に火炎が伝播した。この時の火炎の伝播距離と時間との関係を、図-２に示す。これによると高揮発性燃料の場合、火炎の伝播速度は無風状態で毎分約 4cm となり、極めて遅い。なお、放射温度計により測定された舗装中心部の表面温度は、密粒舗装、多孔質弾性舗装ともに約 400℃であった。

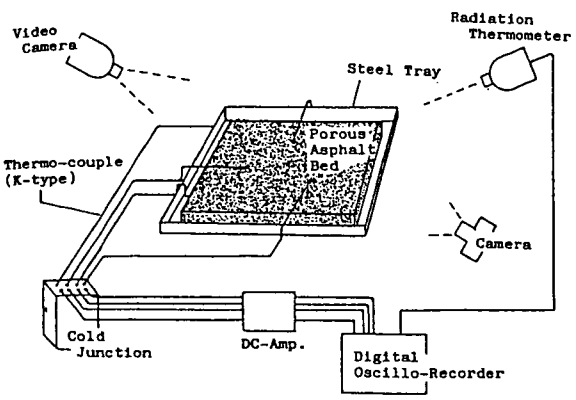


図-１　実験システムの概要

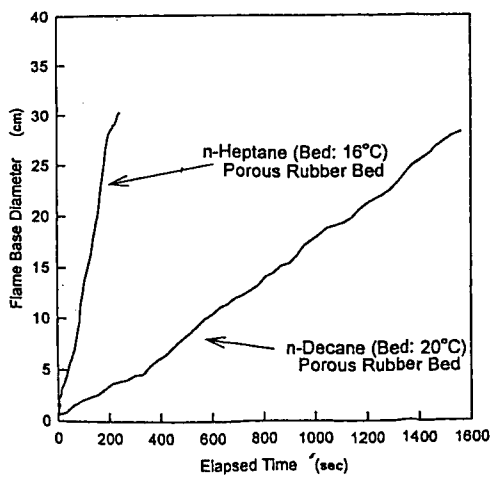


図-２　火炎の伝播距離と時間との関係

3.2 屋外実験

軽油を散布した場合には密粒舗装、排水性舗装、多孔質弾性舗装のどの舗装においても着火しなかったが、ガソリンの場合にはどの舗装においてもすぐに着火した。

密粒舗装の場合は、舗装表面に流れ広がった燃料に着火し、燃料が広がった範囲で激しく燃え、炎は 2.5～3.0m の高さまで上がった。この時、舗装表面にある燃料が直接燃えるため炎の色は赤く、また不完全燃焼が起こり黒煙が発生した。しかし舗装材料は燃焼しなかった。この場合の燃焼状況を図-3 に示す。

一方、多孔質弾性舗装の場合は、燃料を散布した範囲以外には燃料は全く広がらず、散布した範囲内の舗装の空隙に燃料が浸透し、その範囲内で燃料が舗装体内から空隙を通って気化し、それに引火した。この時、同時に舗装材料のゴム自体が燃えたため炎の色は赤く、多くの黒煙が発生した。炎の高さは密粒舗装より低く、1.0～1.5m 程度であった。また火炎は舗装材料の多孔質弾性舗装上を伝播していったが、その速度は非常に緩慢であった。この場合の燃焼状況を図-4 に示す。

上述のとおり、密粒舗装と多孔質弾性舗装上に燃料が散布され、それに引火した状況を比べると、前者では散布された燃料が舗装上を流れ広がり、その燃焼範囲は大きくなり、また火炎の高さも高い。一方、後者では燃焼範囲は燃料が散布された範囲に限られ（その後、燃焼範囲は徐々に拡大するが、その速度は遅い）、火炎の高さは低い。従って、耐火性については多孔質弾性舗装の方が密粒舗装よりも安全であると考えられる。

なお、排水性舗装の場合は、燃料が散布された範囲で青い火炎が約 30cm 上がった。また、舗装材料は燃えず、煙もほとんど発生しなかった。

表-2　屋外実験結果

	着火性	燃焼の状況		
		燃料・舗装材料の燃え方	炎の高さ	煙の状況
密粒舗装	軽油の場合は着火しなかったが、ガソリンの場合は着火した。	舗装体表面に流れ広がった燃料に着火し、激しく燃焼し、赤い炎が上がった。しかし舗装材料は燃えなかった。	2.5～3.0m	燃料の不完全燃焼があり、黒煙が発生した。
排水性舗装		燃料を注いだ範囲の舗装の空隙に浸透した燃料が気化してそれに引火し、青い炎が上がった。しかし舗装材料は燃えなかった。	30cm前後	煙はほとんど発生しなかった。
多孔質弾性舗装		燃料を注いだ範囲の空隙に浸透した燃料が気化してそれに引火し、さらに舗装体のゴム自体が燃焼して赤い炎が上がった。このため火炎は遅い速度ではあるが、舗装上を伝播していった。	1.0～1.5m	ゴム自体の燃焼のため、黒煙が多く発生した。



図-3　密粒舗装の燃焼状況



図-4　多孔質弾性舗装の燃焼状況

（２１）多孔質弾性舗装の開発に関する共同研究について

建設省土木研究所　○近藤　升
同　大西博文
同　青木理恵

１．はじめに

多孔質弾性舗装は、数ある低騒音舗装の中でも最も騒音低減効果が期待できるが、実用化のためには安全性、耐久性等に関する課題を解決する必要がある。また、ゴムから作られる多孔質弾性舗装は通常の舗装材料と異なるため、性能の評価方法についても検討しなければならない。そこで、土木研究所とゴム・タイヤメーカー 12 社が共同研究を行い、室内試験による性能の評価試験方法を提案するとともに、これら試験により試作された 14 種類の多孔質弾性舗装を評価したところ、騒音低減効果を除き密粒舗装とほぼ同等の性能を持つものが確認された。

２．研究方法

２．１多孔質弾性舗装の評価試験方法に関する検討

多孔質弾性舗装は主にゴムチップとウレタン樹脂からできているため、従来の舗装の性能評価試験方法は適用できない。そこで、多孔質弾性舗装独自の性能評価試験方法を検討した。

２．２多孔質弾性舗装の性能評価

湿潤時すべり摩擦抵抗や排水性を高めるため、ゴムチップの形状、添加物、表面のテクスチャーを変えた 14 種類の多孔質弾性舗装の供試体を作成した。それら供試体を、2.1 で検討された試験方法により評価した。なお、供試体の大きさは評価試験により異なるが、厚さに関しては過年度の研究から最も騒音低減効果の大きい 3cm とした。

３．研究結果

３．１多孔質弾性舗装の評価試験方法の決定

共同研究で作成した主な性能評価試験項目と評価試験方法等を表－１に示す。

表－１　主な評価項目及び性能評価試験方法一覧

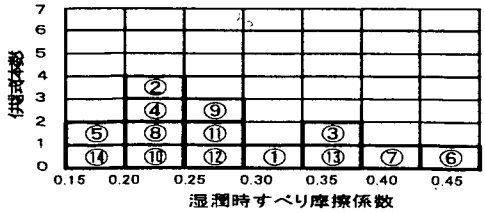
項目	評価基準	評価試験	試験方法の概要
構造	多孔質構造であること	連続空隙率測定試験	供試体の体積と質量を測定する。その後、供試体をつり線で吊り下げ一定温度のメタノール液中に入れ、約 10 秒程度ゆすって気泡が出なくなったことを確認し、メタノール中の供試体質量を測定することにより算出する。
耐久性	車両の走行により著しい摩耗が生じないこと	摩耗性試験	試験機に取り付けられた供試体上で、スパイクタイヤを 30,000 回転走行させる。その後、供試体断面の平均摩耗深さからすり減り量を算出する。
	気象条件等による劣化を生じないこと	湿熱劣化試験 (引張り強さ) (伸び) (硬さ)	同条件で製作された 10 個の供試体の 5 個で引っ張り強さ、伸び、硬さを測定し、残り 5 個の供試体を温度 70℃、湿度 95%の恒温恒湿試験機内に入れ、4 週間放置した後、引っ張り強さ、伸び、硬さを測定し変化率を算出する。
すべり抵抗性	すべり摩擦係数が密粒舗装と同等であること	湿潤時すべり抵抗性試験	供試体を水槽内に浸漬し泡が出なくなったことを確認した後供試体を取り出し、水膜ができるまで供試体上面に散水し、DF 試験で測定する。
騒音低減効果	排水性舗装よりも高い音低減効果があること	吸音率測定試験	２マイクロホン管内法により、垂直入射吸音率を測定する。その結果を道路交通騒音のスペクトルで加重平均し、平均吸音率を算出する。
排水性	降雨時に水たまりができにくいこと	現場透水試験	供試体を水槽内に浸漬し泡が出なくなったことを確認した後、供試体を取り出し現場透水試験器にセットし、円筒部内の水 400ml を流下させる経過時間を測定する。測定された時間から 15 秒当たりの流下した水量を算出する。
	降雨後に保水しにくいこと	保水試験	供試体質量を測定した後、供試体を水槽内に浸漬し泡が出なくなったことを確認した後供試体を取り出し、0.5,1,3,6,12,24 時間経過ごとに質量を測定する。

評価試験方法は実用化時の簡便さを考慮して室内試験を基本とした。しかし、湿潤時すべり抵抗性や騒音低減効果の確認は、道路に多孔質弾性舗装を敷設し、その上ですべり摩擦測定車や自動車を走行させて

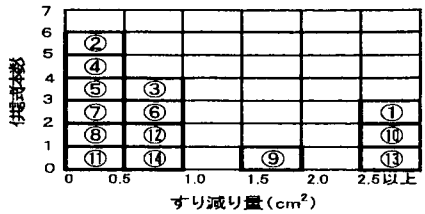
行う必要がある。

3．2多孔質弾性舗装の試作品の性能評価結果

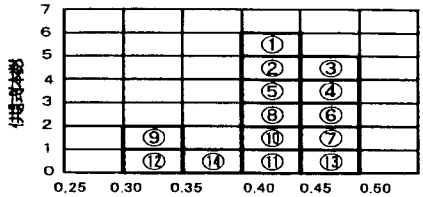
試作された 14 種類の供試体で表－1 の評価試験方法の内、湿潤時すべり抵抗性試験、摩耗試験、吸音率測定試験および現場透水試験の結果をそれぞれ図－1～4 に示す。なお、図中には各供試体に付された番号も表示している。



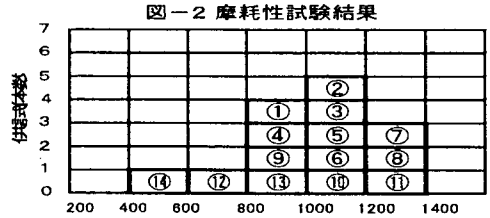
図－1 湿潤時すべり抵抗性試験結果(線速度：60km/h)



図－2 摩耗性試験結果



図－3 道路交通騒音に対する平均吸音率



図－4 現場透水試験結果

（1）DF 試験による湿潤時すべり摩擦係数は最も高い供試体⑥で 0.47 であった。走行速度 60km/h の時にすべり摩擦測定車で測定された密粒舗装の湿潤時すべり摩擦係数の 0.50 程度と比べ、多孔質弾性舗装のそれはわずかに低い。しかし、過年度までの研究で多孔質弾性舗装の場合、DF 試験の測定値は常にすべり摩擦測定車による測定値より 0.1 程度少なくなっている[1)]。従って、図－1 で湿潤時すべり摩擦係数が0.4以上の結果となった供試体⑥,⑦は密粒舗装とほぼ同等の湿潤時すべり摩擦係数を持つと推測される。

（2）摩耗性試験によると、密粒舗装のすり減り量は約 4.7cm² であり、一方多孔質弾性舗装は 14 種すべての供試体がこれを下回り、そのうち 10 種は 1.0cm²以下であった。これら供試体の平均摩耗深さは 0.03cm であり、多孔質弾性舗装は高い耐摩耗性を有することが確認された。

（3）吸音率測定試験によると、11 種の供試体が道路交通騒音に対する平均吸音率が 0.4 以上であった。排水性舗装の平均吸音率の 0.2 程度と比べ、多孔質弾性舗装は 2 倍以上の高い吸音特性を有することが確認された。

（4）現場透水試験の結果では、8 種の供試体が 1,000ml/15sec を上回り、排水性舗装の約 1,200ml/15sec とほぼ同等の結果となった。しかし、実際の降雨状況ではゴムの撥水性と空隙経路の細さにより雨水はほとんど舗装体内に浸透しない[2)]。

4．今後の課題

上記結果から、試作された 14 種類の供試体のうち⑥,⑦はすべての試験において高い特性を持つことが確認された。特に、湿潤時すべり摩擦抵抗が改善されたことは今回の共同研究の成果である。今後は実用化を目指し、下記の確認試験を行い、一般道路における試験施工、追跡調査を行っていく必要がある。

①すべり摩擦測定車による、湿潤時すべり摩擦係数の確認。

②騒音低減効果の確認。

③湿熱劣化試験後に、湿潤時すべり抵抗性試験、摩耗性試験等を行い、それぞれの特性の経時変化を確認。

排水性については今後改良を行う必要があるが、現在は密粒舗装と同じ表面排水を基本と考える。また、実用化のためには安全性、耐久性以外にも施工性、経済性も今後改善していく必要がある。

【参考文献】

1)池原圭一、小林保：「多孔質弾性舗装の走行安全性」、土木技術資料 41-8(1999)

2)南里吉輝、近藤升、大西博文：「多孔質弾性舗装の排水機能について」、第 23 回日本道路会議一般論文集

(22) Development of the Noise Barrier using Active Controlled Acoustical Soft Edge

- Part 1: Control Algorithm, Consistency with Active and Passive Performance and 2m Length Prototype Test in Anechoic Room -

Keizo Ohnishi[1], Susumu Teranishi[2], Masaharu Nishimura[1]
Katsumi Uesaka[3], Kiyonori Hachimine[3], Hirofumi Ohnishi[3]

[1]Takasago R&D Center, Mitsubishi Heavy Industries Ltd.
2-1-1 Shinhama, Arai-cho, Takasago, Hyogo Pref. 676-8686 Japan
[2]Kobe Shipyard & Machinery Works, Mitsubishi Heavy Industries Ltd.
1-1-1 Wadasaki-cho, Hyogo-ku, Kobe, Hyogo Pref. 652-8585 Japan
[3]Public Works Research Institute, Ministry of Construction
Asahi 1, Tsukuba, Ibaraki Pref. 305-0804 Japan

INTRODUCTION

Recently there are great needs to reduce the community noise from road traffic. They use several noise countermeasures to reduce it; e.g. drainage surface paved road, noise barriers et al. Especially noise barriers, several new types of them were developed as passive control method. The noise reductions mechanisms of them were classified as follows;

(1) By installing some particular shapes on the barrier edge[1)2)]
(2) By installing sound absorptive materials on the barrier edge[3)]
(3) By installing acoustical 'soft' condition on the barrier edge[4)]

With respect to (1), when they design more insertion loss of the barrier, the bigger shapes will be needed. Regarding (2), there is not so much noise attenuation in the frequency range below about 500Hz. About (3), Fujiwara et al[5)] used the surface of the 1/4-wavelength long acoustical tube as acoustical 'soft' condition (sound pressure reflection coefficient is -1). They indicated if they limit the frequency range (say, each acoustical tube was assigned to the restrict frequencies which are resonance ones) to reduce using acoustical 'soft' condition on the barrier edge, there was 5 to 10dB noise reduction at intended frequency range compared with rigid barrier in the simulation.

We are developing the Active controlled acoustical Soft Edge (ASE) devices which are installed on the barrier edge to reduce the diffracted noise[6)7)8)]. ASE has compact size; it is controlled with surface sound pressure reflection coefficient as -1 in the wide frequency range using active noise control technology. We will show the control algorithm and refer a way of designing the sound pressure reflection coefficient at the surface of ASE combined with passive control method like absorptive materials. We also indicate the noise reduction test results using 2m length prototype ASE unit in an anechoic room and compare them with BEM simulation results.

CONCEPT & CONTROL ALGORITHM

Concept: The components of ASE is shown in Figure 1. Each ASE device consists of an ASE cell and an ASE controller. The ASE cell consists of the following components; a microphone, an actuator, an enclosure and surface material (surface material usually includes absorptive material, water-proof film sheet and punching metal). The ASE controller consists of the components; a microphone amplifier, a controller and a power amplifier. Plural ASE devices are installed around the edge of the noise barrier. Each ASE cell is controlled INDIVIDUALLY, say simple, low-cost SISO control system can be used.

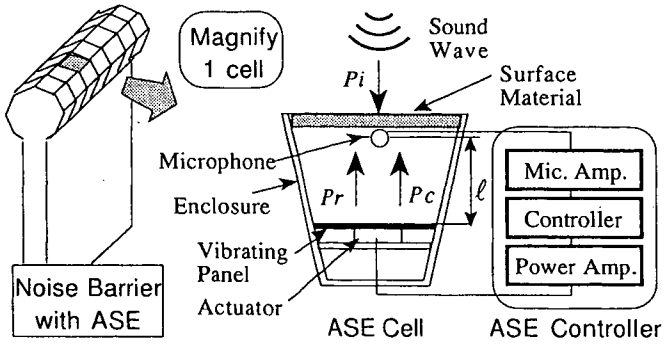


Figure 1 Components of the Active acoustical Soft Edge (ASE)

Control Algorithm[9]**:** The control algorithm is described as follows. In Figure 1, the sound pressure p measured at the microphone is given by equation (1).

$$p = p_i + p_r + p_c \tag{1}$$

Where, p_i is the incident sound pressure, p_r is the reflected sound pressure on the vibration panel and p_c is the control sound pressure. Since G is transfer function of the feedback loop , p_c is explained by equation (2).

$$p_c = Gp \tag{2}$$

Therefore, p and p_c can be written in equation (3).

$$p = \frac{p_i + p_r}{1-G}, \quad p_c = \frac{G(p_i + p_r)}{1-G} \tag{3}$$

The particle velocity u at just behind the surface material ($x = -\ell$) is similarly described as follows;

$$\begin{aligned} u &= u_i + u_r + u_c \\ &= \frac{1}{\rho c}(p_i - p_r - p_c) \\ &= \frac{1}{\rho c(1-G)}\{-G(p_i + p_r) + (1-G)(p_i - p_r)\} \end{aligned} \tag{4}$$

where ρc is the specific acoustic impedance of acoustic medium

From equations (3) and (4), the specific acoustic impedance ratio at $x=-\ell$ $(\zeta_{-\ell})$ is given by equation (5).

$$\zeta_{-\ell}=\frac{p}{\rho cu}=\frac{1}{-G+(1-G)\dfrac{p_i-p_r}{p_i+p_r}} \tag{5}$$

On the other hand, p_i and p_r can be written in following forms;

$$p_i=p_o e^{i(\omega t+k\ell)},\ p_r=p_o e^{i(\omega t-k\ell)} \tag{6}$$

$$\frac{p_i-p_r}{p_i+p_r}=\frac{e^{ik\ell}-e^{-ik\ell}}{e^{ik\ell}+e^{-ik\ell}}=i\tan k\ell \tag{7}$$

where i is imaginary number unit, k is wave number

Rewriting equation (5), we get equation (8).

$$\zeta_{-\ell}=\frac{1}{-G+i(1-G)\tan k\ell} \tag{8}$$

Therefore, the specific acoustic impedance ratio ζ_f at the surface of a ASE cell and sound pressure reflection coefficient r are given by the following equations;

$$\zeta_f=\frac{R_f}{\rho c}-\frac{1}{G-i(1-G)\tan k\ell} \tag{9}$$

$$r=\frac{\zeta_f-1}{\zeta_f+1} \tag{10}$$

where R_f is flow resistance of the surface material

If $|G|$ goes to infinity and R_f has very small number, equation (9) becomes;

$$\zeta_f=0 \tag{11}$$

The insertion of equation (11) in equation (10) yields equation (12); the surface sound pressure reflection coefficient (complex number) of ASE goes to -1.

$$r=-1 \tag{12}$$

The size of each ASE cell is recommended to sufficiently shorter than the wave length of the noise intended to reduce to avoid phase mismatch on the surface of the cell.

EVALUATE REFLECTION COEF. OF ASE BY IMPEDANCE TUBE TEST[7)]

In order to confirm the control algorithm is effective, we measured the sound pressure reflection coefficient on the surface of ASE cell using an impedance tube. The test setup is shown in Figure 2. An ASE cell (lefthand circle in Figure 2) is installed on the end of impedance tube. ASE cell consists of a microphone(located just inside of the absorptive material), an loud speaker, an enclosure, an absorptive material(urethane foam, 30mm thickness) and surface material (thin steel mesh sheet). A noise source is located on another end of it and generate sinusoidal wave noise according to sweep signal from FFT analyzer. The observed noise at the microphone is minimized by ANC controller using 'Feedback-LMS control method[10)]'. The sound pressure reflection coefficient on the surface of ASE cell is measured by the pair microphones P1,P2 to separate incident and reflected sound wave at the surface material of ASE cell.

Measured noise reduction at the microphone and sound pressure reflection coefficient on the surface of ASE cell are shown in Figure 3.

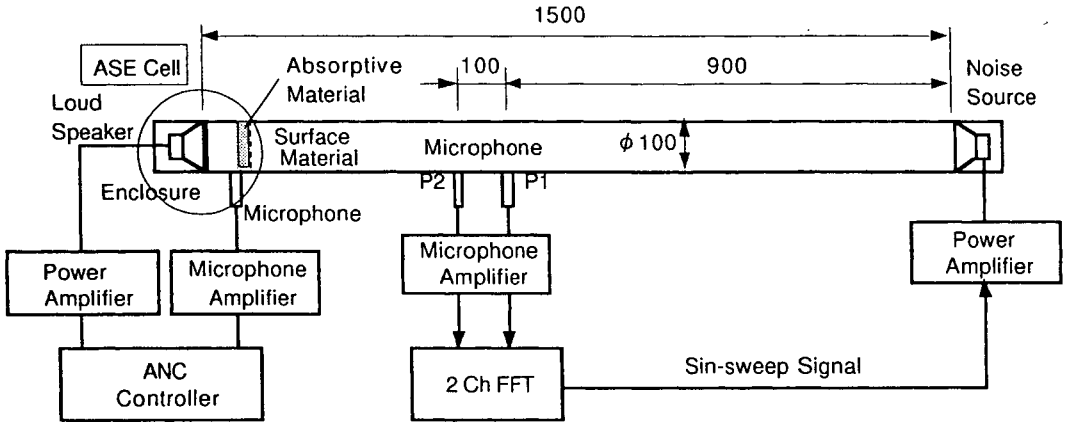


Figure 2 Test setup for measuring reflection coef. of an ASE cell

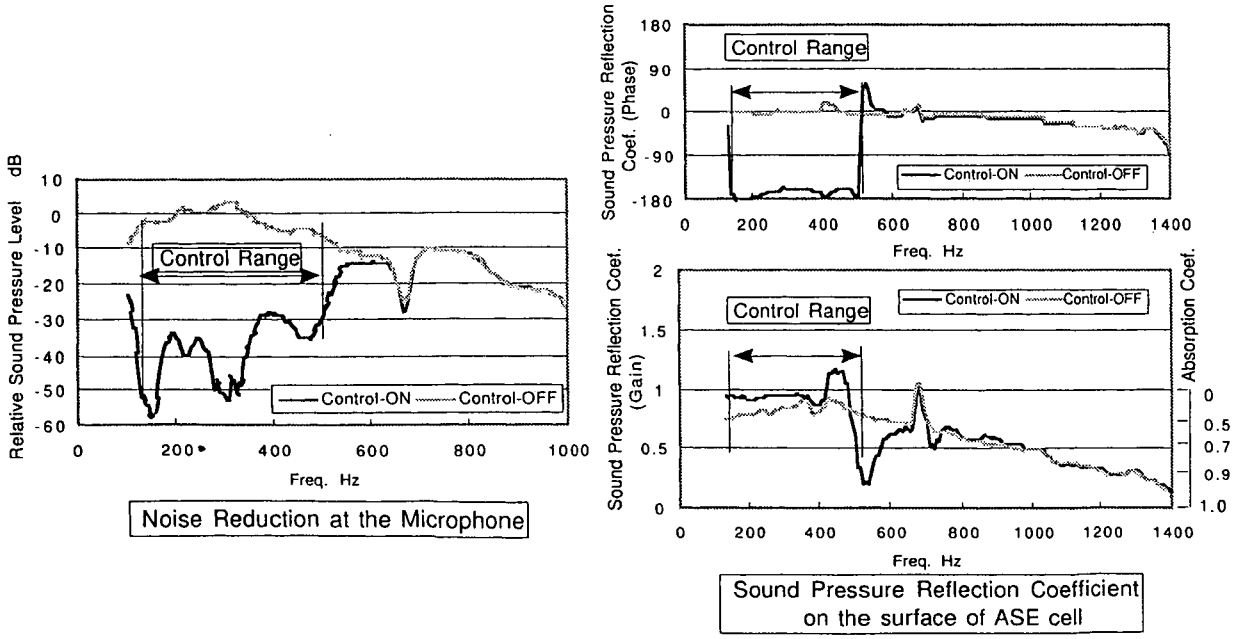


Figure 3 Noise reduction at the microphone and reflection coef. on the ASE surface

In Figure 3, noise reduction level at the microphone is over 20dB between 140 to 510Hz. In this frequency range, ASE control puts the sound pressure reflection coefficient on the surface of ASE cell to nearly 180deg (phase), 1(gain); i.e. complex sound pressure reflection coefficient is nearly -1. There are same passive absorption effects over 800Hz both ASE control-ON and -OFF conditions. The absorption coefficient is over 0.7 above 1kHz in non-control region. It shows ASE could consist with active control and passive absorption effect in the same time.

DIMENSION & COMPONENTS OF ASE CELL

Since road traffic noise has wide frequency range, ASE should have wide frequency performance. We considered active control frequency range of ASE is 200 ~ 600Hz, and passive absorption frequency range of it is over 800Hz, approximately. We set the dimension of ASE like Figure 4. A loud speaker (ϕ120mm) is installed in a enclosure. The surface of the enclosure is 170x170mm. A 50mm thickness sound absorptive material (glass wool) is located in front of the loud speaker. The glass wool is covered with a water-proof film sheet and a punching metal. An ASE controller (feedback control method) is installed in each ASE cell.

In order to improve passive absorption performance, the bigger number of flow resistance R_f of the surface material we use, the smaller the sound pressure reflection coefficient r becomes (see equations (9),(10)). It is not good for ASE control. So, we lacked the glass wool in front of the loud speaker(ϕ120mm area).

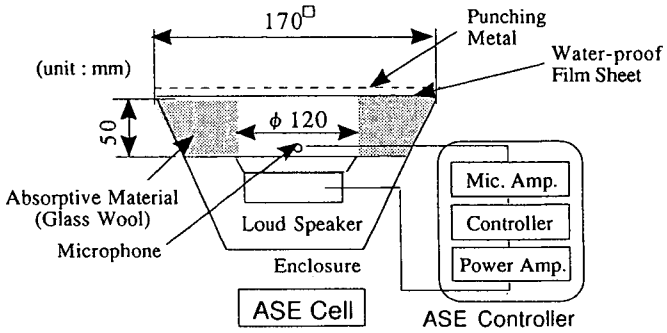


Figure 4 Dimension and Components of ASE cell

EDGE SHAPE STUDY BY 2D-BEM SIMULATION[6)]

Several patterns of ASE devices installed on the edge of the noise barrier were considered to confirm the noise attenuation performance related the number of cells in the cross section of the barrier. We use 2-dimensional Boundary Element Method (BEM) to calculate noise attenuation of each pattern. Calculation condition is shown in Figure 5. We set a point noise source, 2000mm height barrier and receiving points in the BEM simulation. The ASE installed patterns on the edge of the barrier were shown in Figure 6. Each pattern has the same height to the top of the barrier edge. The thick solid lines in Figure 6 mean the locations of three patterns of boundary conditions; ASE device installed, rigid surface or perfect absorption. Calculation frequencies were 1/3 octave-band center frequencies from 125 to 500Hz. The boundary conditions were as follows;

(1) Surface acoustic impedance = 0 (Surface sound pressure = 0) [ASE]
(2) Surface acoustic impedance = ρc [Perfect Absorption]
(3) Surface acoustic impedance = ∞ (particle velocity = 0) [Rigid Surface]

The calculation results (noise source position A, at 250Hz) are shown in Figure 7. Each result is sound pressure level attenuation normalized with "Shape 1-0(normal I-Shape barrier, rigid surface)" ; averaged at the black square receiving points in Figure 5. Sound attenuations of ASE were superior to "Perfect Absorption" or "Rigid Surface" in all cases in Figure 7. The maximum attenuation of ASE was obtained by Shape 3-1. Nevertheless, Shape 3-1 is afraid to exceed the road construction limit. The other 4 cases (Shape 2-2, 5-1, 5-2, 6-2) have 11 to 12 dB attenuation of ASE similarly. In these 4 cases, Shape 6-2 has largest attenuation performance per unit length of ASE boundary condition; corresponded to the number of ASE cells in the cross section of the barrier. Thus, Shape 6-2 can reduce cost of ASE devices per cross section of the noise barrier.

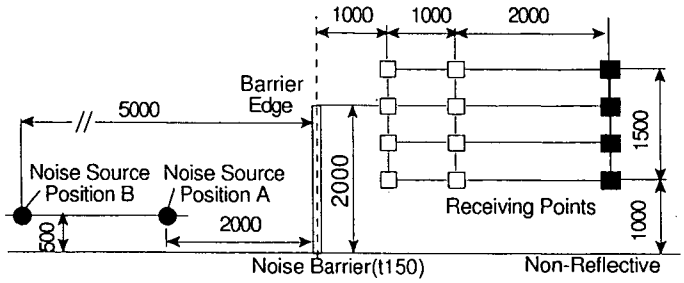


Figure 5 Calculation Condition of 2-D BEM Simulation

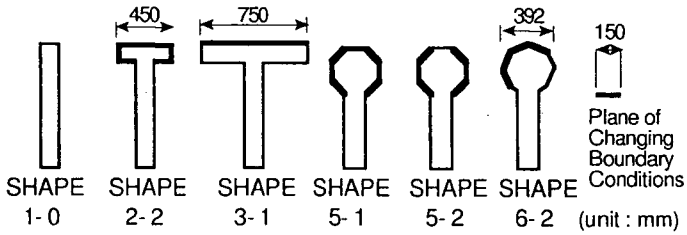


Figure 6 Edge shapes of ASE cells on the Top of Noise Barrier

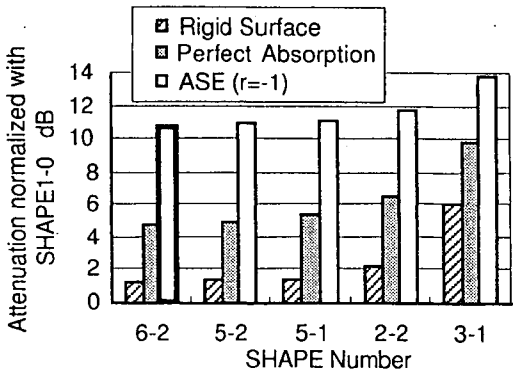


Figure 7 Noise Attenuation normalized with SHAPE 1-0 [250Hz]

2m LENGTH PROTOTYPE ASE

After we decide ASE cell dimension and the edge shape, we assembled 2m length prototype ASE unit. It is shown in Figure 8. 4-ASE cells are installed in a section of the unit, 12-rows of ASE cells in 2m length. There are total 48 ASE cells in a unit. 4-ASE cells in a section are rotated 45 degree to noise source like Shape 6-2 in Figure 6. ASE controller is included in each ASE cell. Another half side of the unit is covered by 25mm thickness glass wool. The punching metal and water-proof film sheet fully cover and seal the ASE cells and absorptive materials to avoid rain, animal or stone conflicts.

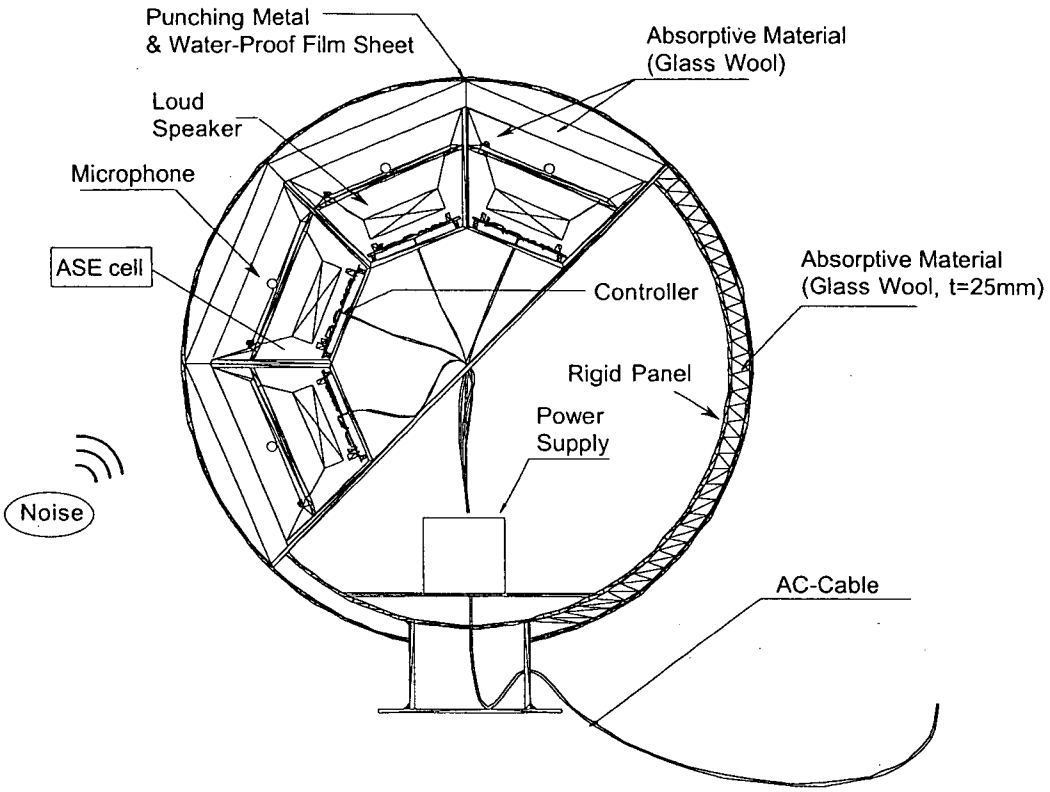


Figure 8 Cross section of 2m length prototype ASE unit (ϕ500mm)

ASE NOISE REDUCTION MEASUREMENT IN ANECHOIC ROOM[8)]

Noise reduction performance of the prototype ASE unit was measured in an anechoic room. Test setup is shown in Figure 9. The noise barrier with ASE unit(1.8m height, 2m width) is setup and the I-Shape noise barriers (2.7m height, 3m width) are placed both sides of ASE barrier to avoid sound diffraction from the sides of it. Test was performed following cases;

(1) Noise barrier with the prototype ASE unit (ϕ500mm, 2m length)
(2) Noise barrier with the absorptive cylinder (ϕ500mm, 2m length: on the market)
(3) Noise barrier (I-Shape, 2m length)

The height of the center noise barrier is same in each case; 1.8m height to the top.

Loud speaker is located 2m from noise barrier and generates 100Hz~4kHz random noise, which spectrum shape is similar to the typical road traffic noise. The 1/3 octave band noise was measured at 16 and additional 2 noise measuring points in Figure 9.

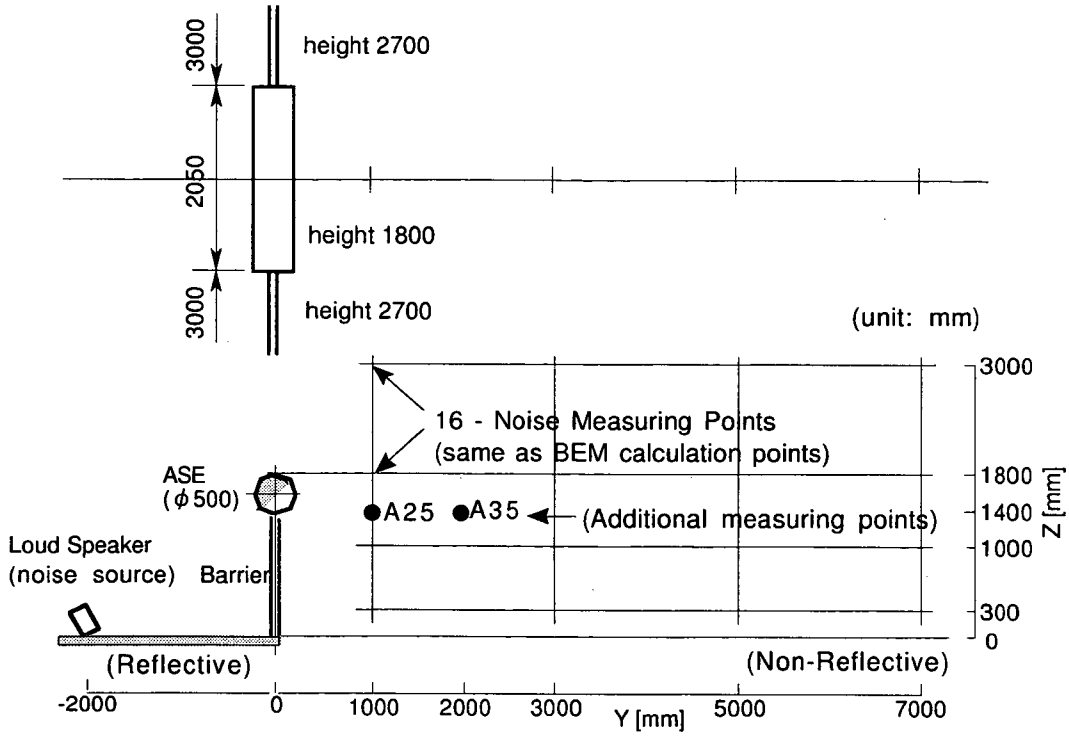
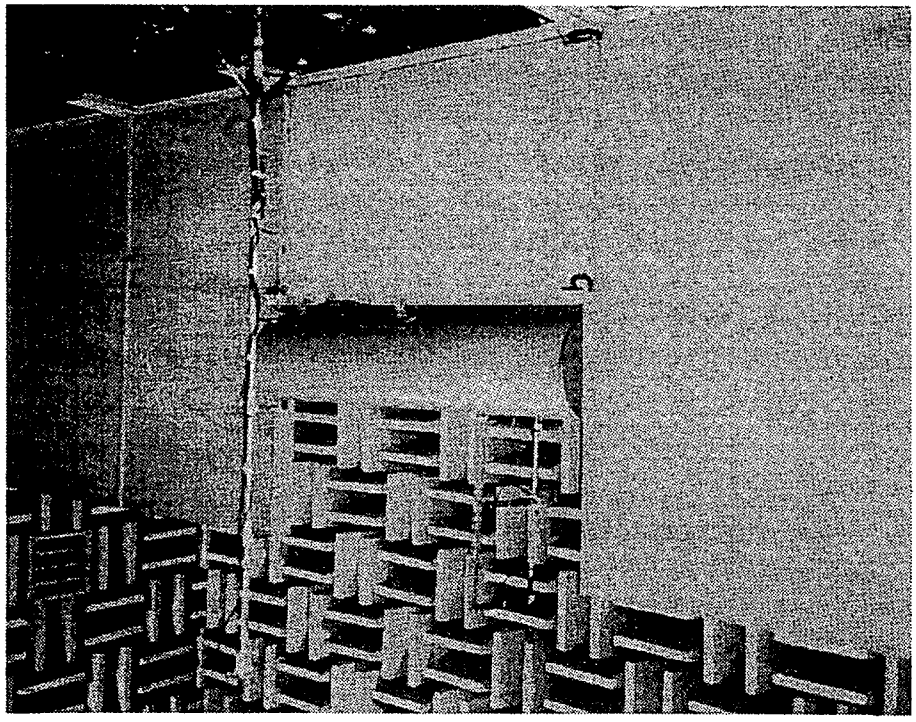


Figure 9 Test setup of ASE noise reduction measurement in an anechoic room



Picture 1 Prototype ASE cells in an anechoic room (view from measuring points)

Noise Spectrum: Measured noise spectrum at point A25 for three kinds of noise barriers (I-Shape, Absorptive cylinder and ASE) is shown in Figure 10. In the active control frequency range, noise reduction by ASE is superior to the same size absorptive cylinder by 2~5dB. On the other hand, In the passive control range (above 1kHz), ASE has generally same noise reduction effect comparing to the absorptive cylinder on the market. As shown in Figure 10, ASE has active and passive noise reduction performance in the same time.

Because of the phase mismatch of the feedback loop transfer function, ASE increases noise level at 100Hz. In this case,there is not so much effect to overall noise level.

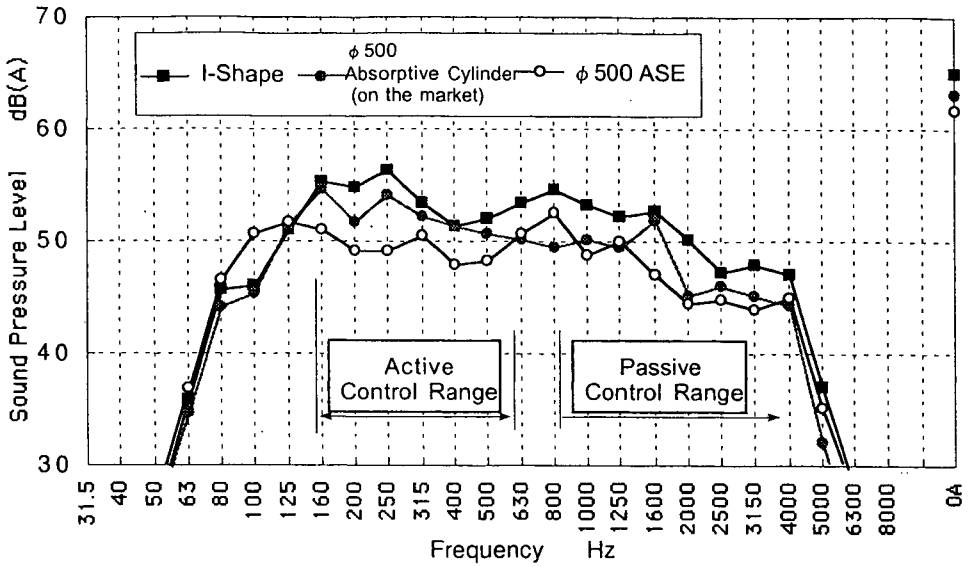


Figure 10 Comparison ASE ,Absorptive Cylinder and I-Shape (Point A25)

Next, measured noise spectrum at point A35 for ASE control-ON, -OFF and I-Shape noise barriers is shown in Figure 11. In Figure 11, almost same noise level was observed between ASE control-ON and -OFF in the frequency range over 800Hz . This fact shows ASE control has few infection to passive noise reduction in the high frequency range.

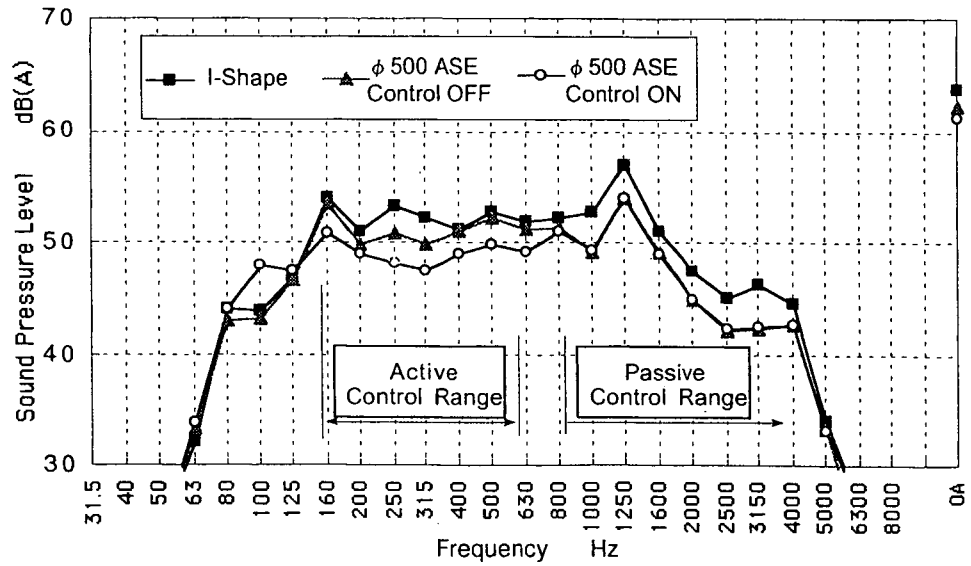


Figure 11 Comparison ASE control-ON , -OFF and I-Shape (Point A35)

Noise Attenuation Contours: The noise attenuation(ATT) contours of ASE (control-ON) and the absorptive cylinder normalized with I-Shape noise barrier effect for 200Hz and 1kHz are shown in Figure 12. The location of Figure 12 contour is correspond to the grilled measuring points in Figure 9. In Figure 12, ASE has 3~6dB noise attenuation at 200Hz normalized with I-Shape noise barrier effect as compared with the absorptive cylinder has 1~2dB. At 1kHz, ASE and the absorptive cylinder have almost same attenuation 1~4dB against I-Shape noise barrier. ASE is effective in wide area downward from noise barrier, both actively and passively.

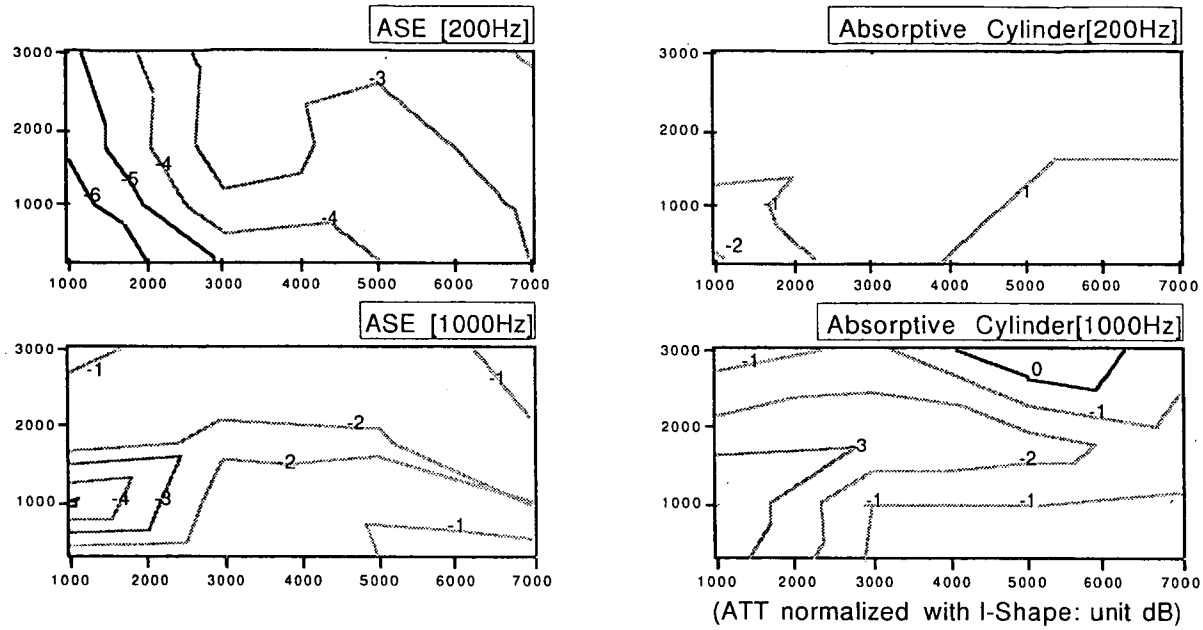


Figure 12 Comparison of Noise Attenuation Coutour normalized with I-Shape Barrier Effect

Comparison with 3D-BEM Simulation: In order to verify the measured noise attenuations of ASE, we performed 3-dimensional(3D) BEM simulation. The simulation model was composed faithfully as same size measurement setup in Figure 9. The surface acoustic impedance converted from measured sound pressure reflection coefficient of ASE cell was defined to surface boundary conditions at ASE cell surface for each frequency in BEM simulations. The surface impedance of 25mm thickness glass wool is also defined at right hand side of ASE unit in Figure 8. On the other hand, 3D-BEM model of I-Shape noise barrier is also prepared and calculated same way to normalize those results. We added each energy of calculated noise at 5 frequencies of 1/15 octave-band centered 250Hz. The comparison of noise attenuation between TEST and 3D-BEM is shown in Figure 13.

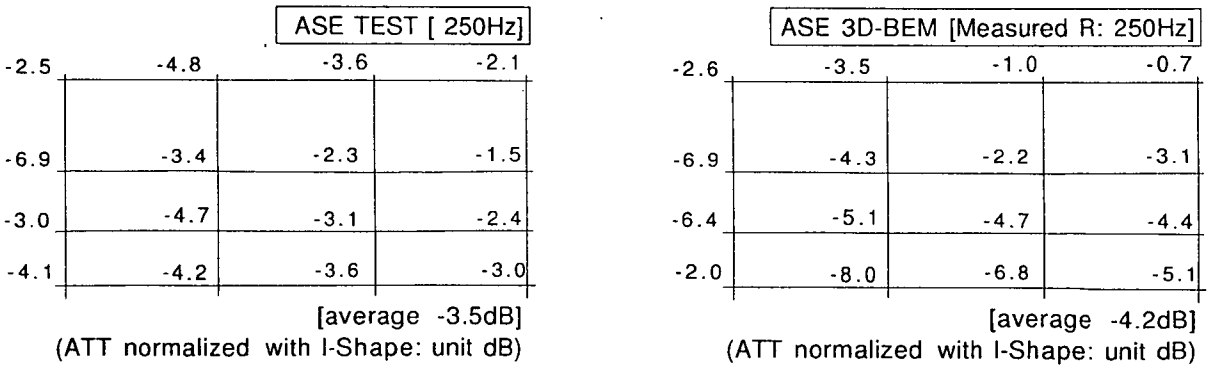


Figure 13 Comparison of Noise Attenuation of ASE normalized with I-Shape, TEST and 3-D BEM

The 16-point arithmetic average noise attenuation levels of ASE normalized with I-Shape noise barrier effect are -3.5dB for TEST and -4.2 dB for 3D-BEM. In case sound pressure reflection coefficient of ASE surface is perfectly -1(ideal), 3D-BEM simulation results become as shown in Figure 14; the 16-point arithmetic average noise attenuation level is -4.8dB. These results show the prototype ASE unit works good as well as ideal surface reflection coefficient -1 at 250Hz.

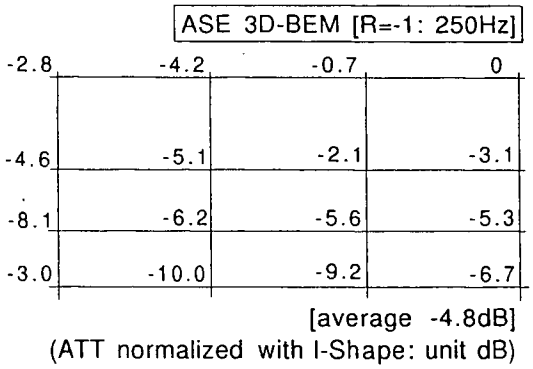


Figure 14 Noise Attenuation of ASE normalized with I-Shape [3D-BEM; ideal Reflection Coef. -1]

Since the prototype ASE unit has 2m length only, we estimated the noise attenuation of infinite length ASE by 2D-BEM simulation. Simulation condition was changed from 3-dimensional to 2-dimensional model; the former has non-reflective condition on the floor, the latter has reflective one. Calculated frequencies were same above. We calculated both ASE boundary condition and the absorptive condition (equivalent to 50mm thickness glass wool) on the cylinder surface to compare.

The results are shown in Figure 15. In contrast with the results that absorptive surface condition has only 1.2dB averaged noise attenuation normalized with I-Shape barrier effect, infinite length ASE has 7.4dB avaraged noise attenuation; this value exceeded to the 3D-BEM results. If ASE unit placed in the long distance along the road, more noise reduction effect than 2m length one would be expected.

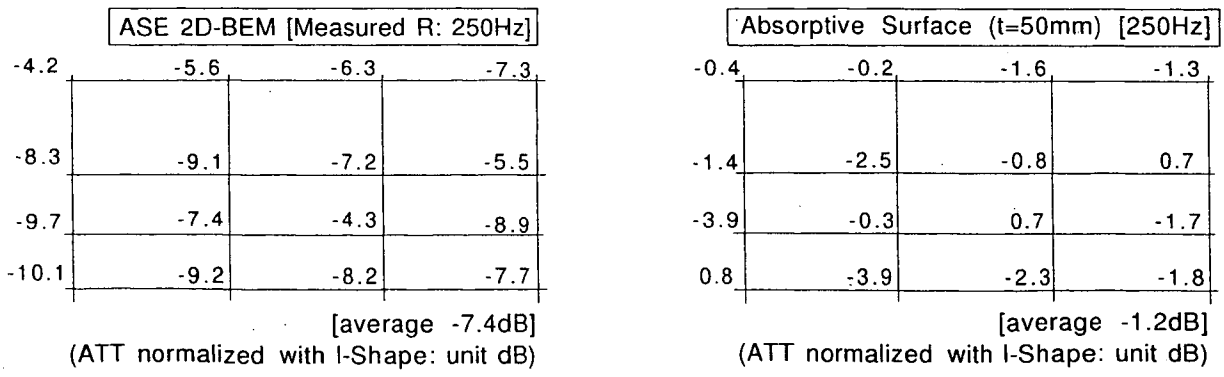


Figure 15 Comparison Noise Attenuation of ASE and Absorptive Cylinder [2D-BEM]

CONCLUSIONS

ASE, the new type noise barrier was designed; it was effective to reduce the diffracted noise for wide frequency range, consistents with active and passive performance. The assembled 2m length prototype ASE unit had good noise reduction performance. Since ASE has simple components and simple control algorithm, it could be considered to go into product phase easily.

DISCUSSION

The 40m length ASE noise barrier has been constructed beside the road and confirmed good noise reduction performance for the noise even from a high speed running truck[11]. In other words, ASE can follow the high speed moving noise source using active noise control technology.

REFERENCES

1) D. N. May, M. M. Osman, "Highway Noise Barriers: New Shapes", *Journal of Sound and Vibration*, 71(1), pp73-101 (1980)

2) H. Shima, T. Watanabe, T, Yokoi, K. Mizuno, K. Matsumoto, M. Yamamoto and T. Miyama, "Branched Noise Barriers", *Proc. of Internoise'98*, pp403-406 (1998)

3) K. Fujiwara, K. Ono, "Sound Diffraction by a Barrier with Cylindrical Edge", *Proc. of the Institute of Noise Control Eng. of Japan[in Japanese]*, pp153-156 (1976/12)

4) K. Fujiwara," Is it possible to get more attenuation by thin barrier than that predicted by Maekawa's Chart?", *Proc. of the Int. Symposium for Environmental Acoustics, pp206-209* (1989/5)

5) K. Fujiwara, D. C. Hothersall, "Noise Barriers with Reactive Surfaces", *Proc. of Internoise'96* , pp819-824 (1996/8)

6) K. Ohnishi, M. Nishimura, H. Ohnishi, K. Uesaka, "Development of the Noise Barrier using Active Controlled Acoustical Soft Edge -Phase 1: Basic Concept-", *Proc. of Internoise'98*, pp407-410 (1998)

7) K. Ohnishi, M. Nishimura, K. Uesaka, H. Ohnishi, "Development of the Noise Barrier using Active Controlled Acoustic Soft Edge -Part 2: Coexist with Active and Passive Performance-", *Proc. of the 1999 Spring Meeting of the Acoustical Society of Japan[in Japanese]*, pp693-694 (1999/3)

8) K. Uesaka, K. Hachimine, H. Ohnishi, K. Ohnishi, M. Nishimura, "Development of the Noise Barrier using Active Controlled Acoustic Soft Edge -Part 3: Measurement of the Sound Attenuation Effect of ASE in Cases of a Steady Source and a Moving Source-", *Proc. of the 1999 Spring Meeting of the Acoustical Society of Japan[in Japanese]*, pp695-696 (1999/3)

9) M. Nishimura and K. Ohnishi, W. P. Patrick, A. C. Zander, "Development of Active Acoustic Treatment Phase 1; Basic Concept and Development of AAT-Cell", *Proc. of ACTIVE'97,* pp319-330 (1997)

10) M.Nishimura, K. Fujita, "Active Adaptive Feedback Control of Sound Field", *JSME International Journal*, Series C, 37(3), pp607-611 (1994)

11) K. Uesaka, K. Hachimine, H. Ohnishi, K. Ohnishi, M. Nishimura, "Development of the Noise Barrier using Active Controlled Acoustic Soft Edge -Field Tests for Measuring the Sound Attenuation Effect of ASE Noise Barrier in Cases of a Steady Source and a Moving Source-", *Proc. of the 1999 Meeting of the Institute of Noise Control Engineering of Japan[in Japanese]* (1999/9)

(23) NOISE DIRECTIVITY OF VEHICLES ON ACTUAL ROAD

Y.MORI(1), A.FUKUSHIMA(2), K.UESAKA(3) and H.OHNISHI(3)

(1) Hanshin Expressway Public Corporation, Kyutarouchou 4-1-3, Chuouku, Osaka, 541-0056, Japan, (2) NEWS Environmental Design Inc., Mizukidori 2-2-22, Hyogoku, Kobe, 652-0802, Japan, (3) Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Asahi 1, Tukuba, Ibaragi, 305-0804, Japan.

INTRODUCTION

For the prediction of road traffic noise, the radiated noise directivity of running vehicles is very important factor to make results of measurement and calculation in good agreement. In evaluation of road traffic noise, generally, it is assumed that vehicle is omni-directional point source. However, some study shows that running vehicle is not considered omni-directional point source[1)-3)].

In this paper, by using measured data of road traffic noise level pattern of a running vehicle on actual road, we proposed the 3-dimensional and 2-dimensional relationship equation between A-weighted sound power level and radiation angle.

MEASUREMENT METHODS

The measurements were performed at Hanshin Expressway Kitakobe Route paved with dense asphalt concrete. Figure 1 shows measurement site schematically. 6 measuring points were mounted in a vertical plane perpendicular to the direction of axis on the actual road, and the intervals of adjoining points were 15 degrees. To measure the running speed and the location of vehicle, two photoelectric sensors were located.

A-weighted sound power levels were determined by two methods on the assumption of half free space on the ground. One method is the determination from the FAST peak A-weighted sound pressure levels as Eq.(1), another one is from the time-integrated value of the sound pressure as Eq.(2)-(3).

$$L_{WA,p}(\psi) = L_{pA,fast}(\psi) + 8 + 20 \cdot \log_{10} l_0(\psi) \tag{1}$$

$$L_{WA,e}(\psi) = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_{WA,e}(\theta(t),\psi)}{10}} dt \right) \tag{2}$$

$$L_{WA,e}(\theta(t),\psi) = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{\Delta t} \int_{t-\Delta t/2}^{t+\Delta t/2} \frac{p^2(\psi,t)}{{p_0}^2} dt \right) + 8 + 20 \cdot \log_{10} l(\psi,t) \tag{3}$$

where $L_{WA,p}$ is a sound power level determined by FAST peak value $L_{pA,fast}$, ψ and $\theta(t)$ are the angle defined by vehicle position and measuring point in Figure 2, l_0 is distance from center of the cruising lane to the measuring point, $L_{WA,e}$ is a sound power level determined by the squared-time integrated

value of sound pressure, $p(t)$ and $l(t)$ are sound pressure and distance from vehicle to the measuring point at time t. Δt is integration time. The sampling frequency was chosen 12kHz, and the number of samples was 128(=2^7). Then Δt is 0.0107 seconds.

RESULTS AND DISCUSSION

Regression equations between sound power levels $L_{WA,p}$ determined by FAST peak values and running speed were obtained by using the least square method. Arithmetic mean of running speeds V is 90.2km/h, and standard deviation is 14.6km/h. Results show that the gradients of the regression equations are approximately similar in every measuring point. Figure 3 shows estimated sound power levels at $V = 90$ km/h by using the regression equations at each measuring point. Sound power levels to upward are smaller than lateral ones in all kind of vehicles. The differences of sound power levels between $P_1(\psi = 75)$ and $P_6(\psi = 0)$ are about 4 to 6dB, and heavy trucks were larger than other vehicles.

Figure 4 shows the differences between $L_{WA,e}$ and $L_{WA,p}$ at point P_1. Arithmetic mean of differences is –0.07dB, and standard deviation is 1.07dB.

3-dimensional noise directivity of running vehicles was obtained by substituting measured unit pattern of sound pressure levels using Eq.(3) into Eq.(4)[3].

$$\Delta L(\theta,\psi) = a_0 + a_1\theta + a_2\theta^2 + a_3\theta^3 + a_4\theta^4 + a_5\psi + a_6\psi\theta + a_7\psi\theta^2 + a_8\psi\theta^3 + a_9\psi\theta^4 \quad (4)$$

where $\Delta L(\theta,\psi)$ is a difference between sound power level $L_{WA,e}(75)$ (Eq.(2)) and $L_{WA,e}(\psi,\theta)$ (Eq.(3)), $a_i(i = 0-9)$ are regression coefficients, ψ and θ are angle (radian., see Fig.2). Regression coefficients are shown in Table 1. Figure 5 shows contour lines of 3-dimensional noise directivity obtained by Eq.(4). Difference between $\Delta L(0,0)$ and $\Delta L(0,75)$ is –11 to –7dB.

Sound pressure levels of line source at point 1meter apart from a center of cruising lane were estimated by using Eq.(5)-(6).

$$L_{l,\psi} = L_{AE,\psi} + 10 \cdot \log l_\psi \quad (5)$$

$$L_{AE,\psi} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(\psi,t)}{p_0^{\,2}}\,dt\right) \quad (6)$$

where $L_{l,\psi}$ is estimated sound pressure level at 1meter, $L_{AE,\psi}$ is single sound exposure level, ψ is angle in vertical plane perpendicular to the direction of motion, l_ψ is distance from center of cruising lane, and T =1second. 2-dimensional noise directivity was regressed as follows.

$$\Delta L(\psi) = b_0 + b_1\psi + b_2\psi^2 + b_3\psi^3 \quad (7)$$

where $\Delta L(\psi)$ is a difference between estimated sound pressure level at 1meter $L_{l,75}$ and $L_{l,\psi}$ (Eq.(5)-(6)), and $b_i(i = 0-3)$ are regression coefficients. Regression coefficients are shown in Table 2. Figure 6 shows contour lines of 2-dimensional noise directivity obtained by Eq.(7). Difference between $\Delta L(0)$ and $\Delta L(75)$ is –5 to –3dB.

CONCLUSIONS

Noise directivity of running vehicles on actual road was measured, and relationship equation between A-weighted sound power level and radiation angle was proposed. As a result, it has been found that sound pressure levels in upward direction are smaller than lateral ones in all kinds of vehicles. Therefore, noise directivity is important factor to estimate noise level.

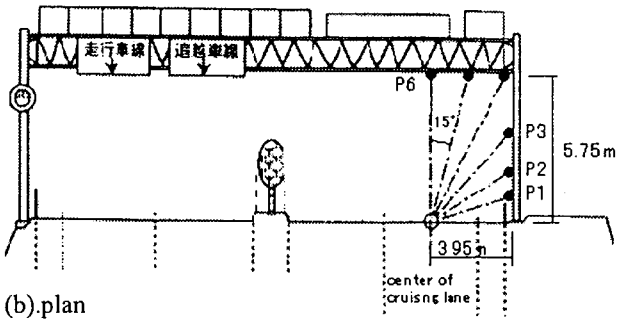
REFERENCES

1) "Measurement of power and directivity of tyre/road surface noise," J.F.Hamet, Inter-noise 88,1319-1322(1988).

2) "Noise directivity of a light running vehicle," G.Pachiaudi, Inter-noise 81,151-154(1981).

3) "Simulation method for road traffic noise taking account of vehicle noise directivity," K.Tsukui, Y.Oshino, H.Tachibana, Journal of INCE/J 22(2),108-116(1998) (in Japanese).

(a).section



(b).plan

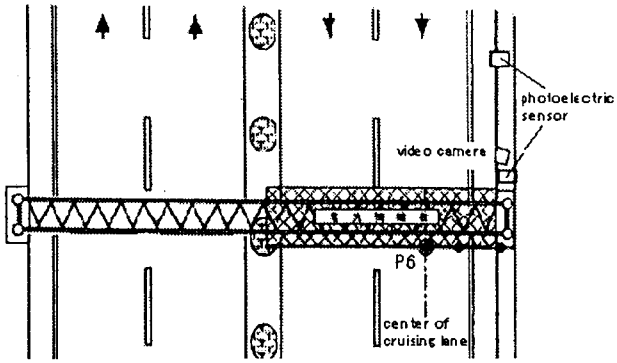


Figure 1. Measuring site.
P1-P6 are measuring point.

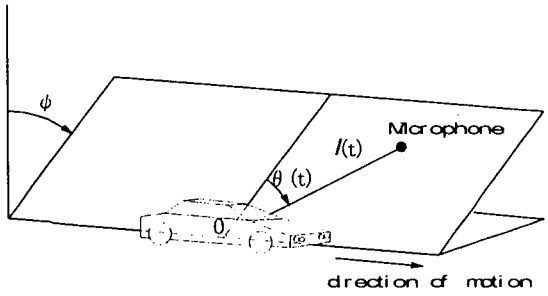


Figure 2. Definition of radiation angle.

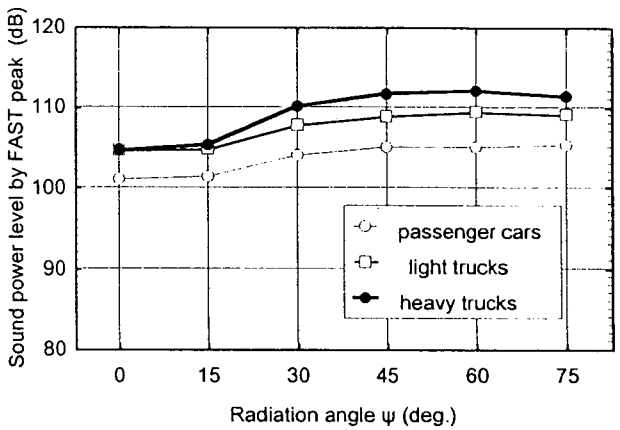


Figure 3. Sound power levels at $V = 90\ km/h$ by using the regression equations

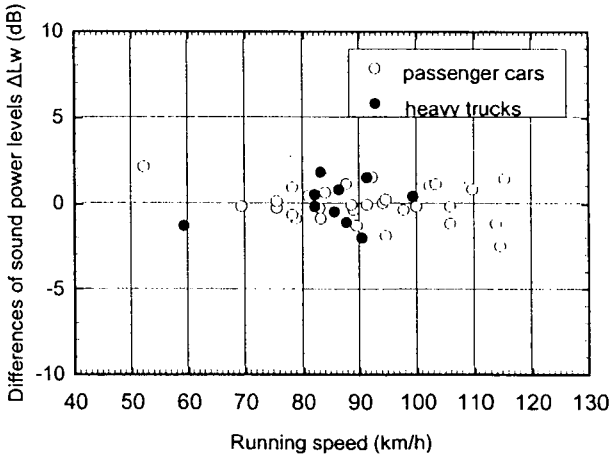


Figure 4. Differences between $L_{WA,e}$ and $L_{WA,p}$ at point P_1.

$\Delta L_W = L_{WA,e} - L_{WA,p}$, where $L_{WA,p}$ is sound power level determined by FAST peak level, and $L_{WA,e}$ is by using the squared-time integration.

Table 1. Coefficients of 3-dimensional noise directivity equation (Eq.(4))

	passenger cars	light trucks	heavy trucks	total
a_0	-7.773	-8.072	-10.577	-8.072
a_1	0.225	2.626	1.370	0.830
a_2	8.131	5.812	5.971	6.907
a_3	-0.258	-1.575	-1.237	-0.648
a_4	-2.191	-0.964	-0.634	-1.549
a_5	5.011	6.239	7.988	5.739
a_6	1.951	-0.850	-1.085	0.883
a_7	-3.954	-4.160	-3.050	-3.865
a_8	-0.890	0.683	0.874	-0.289
a_9	0.774	0.349	-0.714	0.462
R	0.753	0.772	0.808	0.719
ΔL (dB)	-6.6	-8.2	-10.5	-7.5

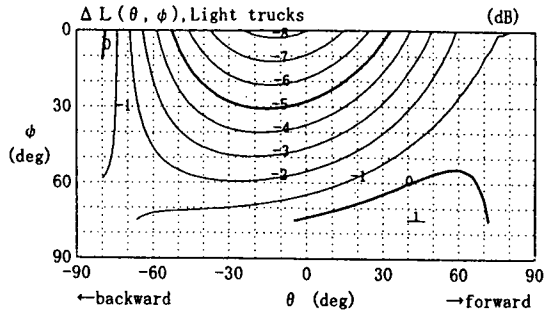
R is multiple correlation coefficient, and number of data is 50. $\Delta L = \Delta L(0,0) - \Delta L(0,75)$

Table 2. Coefficients of 2-dimensional noise directivity equation (Eq.(7))

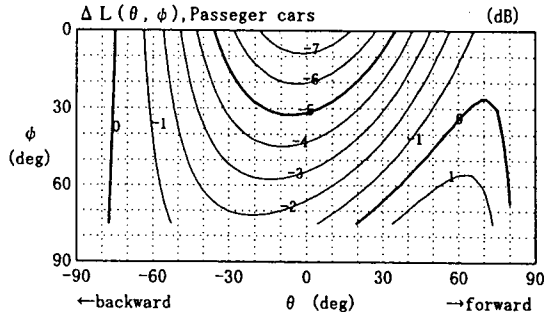
	passenger cars	light trucks	heavy trucks	total
b_0	-3.153	-3.553	-5.118	-3.598
b_1	0.701	-1.917	-0.117	0.033
b_2	7.317	13.068	14.913	9.927
b_3	-4.625	-7.308	-9.067	-6.028
R	0.895	0.941	0.982	0.895
ΔL (dB)	-3.1	-3.5	-5.1	-3.5

R is multiple correlation coefficient, and number of data is 50. $\Delta L = \Delta L(0) - \Delta L(75)$

(a).passenger cars



(b).light trucks



(c).heavy trucks

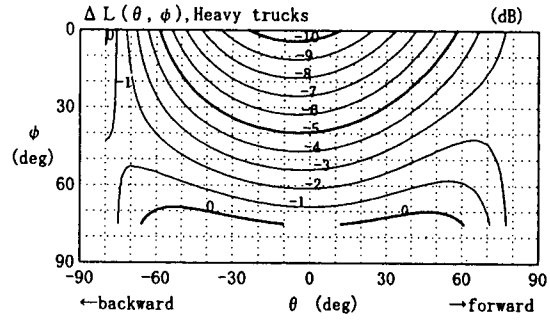


Figure 5. Contour lines of 3-dimensional noise directivity.

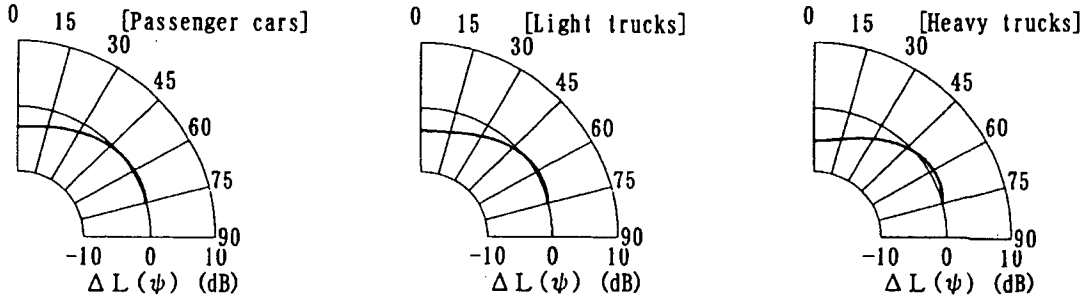


Figure 6. 2-dimensional noise directivity. ($\Delta L(75) = 0$ dB).

(24) SIMPLE METHOD FOR CALCULATING SOUND ATTENUATION BY TRIPLE NOISE BARRIERS

Katsumi Uesaka (1), Hirofumi Ohnishi (1), Tatsuo Miyake (2), Kohei Yamamoto (3), Koichi Takagi (4)

(1)Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Asahi 1, Tsukuba, IBARAKI, 305-0804 JAPAN (2)Sogo Engineering Inc. (3)Kobayashi Institute of Physical Research (4)Kyoto University

INTRODUCTION

Calculating multiple diffraction is often required to predict road traffic noise around an interchange and a road with a viaduct. Although methods for calculating double diffraction were proposed by several authors, few methods for triple diffraction have been proposed and verified yet. This paper presents a simple method for calculating sound attenuation by triple noise barriers.

CALCULATION METHOD

In calculating the sound attenuation by multiple barriers, it would be necessary to take into consideration multiple reflection between them if their intervals were narrow. But when road traffic noise is treated, the multiple reflection is negligible in the case of the intervals more than 5m[1]. As the noise barriers are usually installed with an interval of more than 5 m, the interaction between them is neglected in this paper.

Double Barriers. First, the sound attenuation by double barriers $\triangle L(\mathrm{D})_{sxyp}$ is written as follows: (see Fig.1)

$$\triangle L(\mathrm{D})_{sxyp} = \begin{cases} ① \delta_{sxp} \geqq \delta_{syp} \\ \quad \triangle L_{sxp} + \triangle L_{xyp} \\ ② \delta_{sxp} < \delta_{syp} \\ \quad \triangle L_{syp} + \triangle L_{sxy} \end{cases} \quad (1)$$

where,

δ_{sxp} (m) : path difference from Source S to Receiver P with and without a single barrier of which top edge is X.

$\triangle L_{sxp}$ (dB) : sound attenuation by the single barrier calculated by Maekawa's Chart[2]

In Eq.(1), first one calculates the sound attenuation by a single barrier with larger path difference. Next an imaginary source or receiver is located at the top of the barrier and one computes the attenuation by the other barrier. The sum of these two attenuation values represents sound attenuation by double barriers.

Theoretically, this method tends to overestimate the sound attenuation by double barriers without using Maekawa's Chart. On the other hand it is well known that the line showing noise reduction effects in Maekawa's Chart is drawn a little below the average of the various experimental data. The combined effect of overestimation and underestimation may reduce the difference between calculated and measured values.

Triple Barriers. Next, the authors would like to propose the following equation to obtain the sound attenuation by triple barriers $\triangle L(\mathrm{T})_{sxyp}$. (see Fig.2)

$$\Delta L(\mathrm{T})_{SXYZP} = \begin{cases} (\mathrm{a})\ \delta_{SYP} = \delta\max \\ \quad \Delta L_{SYP} + (\Delta L_{SXY} + \Delta L_{YZP}) \\ (\mathrm{b})\ \delta_{SXP} = \delta\max \\ \quad ①\ \delta_{XYP} \geqq \delta_{XZP} \\ \quad\quad \Delta L_{SXP} + (\Delta L_{XYP} + \Delta L_{YZP}) \\ \quad ②\ \delta_{XYP} < \delta_{XZP} \\ \quad\quad \Delta L_{SXP} + (\Delta L_{XZP} + \Delta L_{XYZ}) \\ (\mathrm{c})\ \delta_{SZP} = \delta\max \\ \quad ①\ \delta_{SXZ} \geqq \delta_{SYZ} \\ \quad\quad \Delta L_{SZP} + (\Delta L_{SXZ} + \Delta L_{XYZ}) \\ \quad ②\ \delta_{SXZ} < \delta_{SYZ} \\ \quad\quad \Delta L_{SZP} + (\Delta L_{SYZ} + \Delta L_{SXY}) \end{cases} \quad (2)$$

where $\delta\max$ means the largest one among δ_{SXP}, δ_{SYP} and δ_{SZP}.
In Eq.(2), the attenuation value by a single barrier with the largest path difference is added to those by the other two barriers. In the cases of (b) and (c), the attenuation value by the rest double barriers is calculated from Eq.(1).

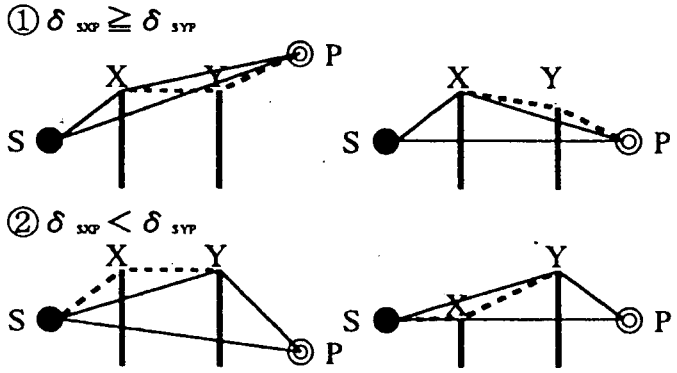


Fig.1 Calculation of $\Delta L(\mathrm{D})_{SXYP}$

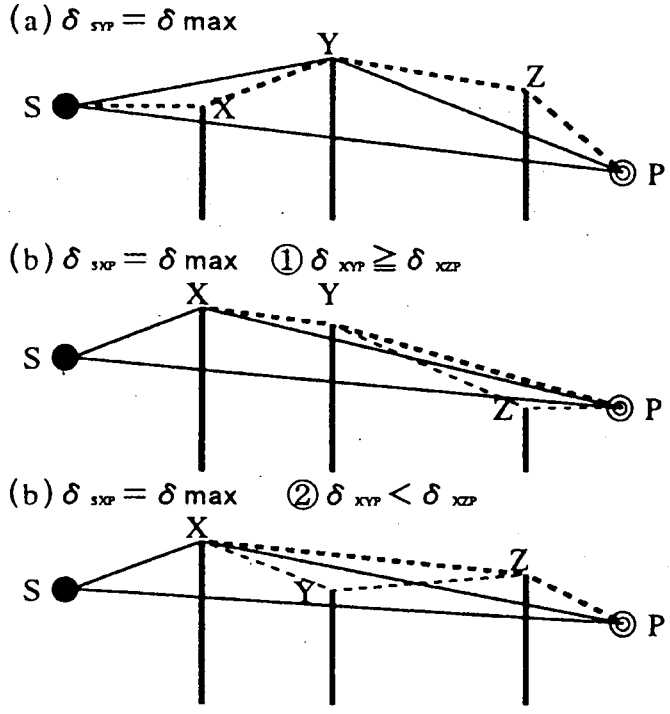


Fig.2 Calculation of $\Delta L(\mathrm{T})_{SXYZP}$

COMPARISON WITH RESULTS CALCULATED BY BEM

Results calculated by Eq.(2) are compared with those by the two-dimensional boundary element numerical modeling method (BEM). In the BEM calculation, the size of the elements was 0.02m. The thickness of each barrier was 0.01m and its surface was rigid (flow resistivity = 100,000kPas/m^2). "SYSNOISE" was applied as a program for calculation.
Fig.3 shows the cases of configuration of triple barriers, a sound source and receivers. Considering the reciprocity, these involve all the calculation conditions shown in Eq.(2). Calculation was carried out using pure tone of 500 Hz.
Fig.4 shows the comparison of values calculated by Eq.(2) and by the BEM method. There are some peaks and dips in the BEM values. However the difference in the values by the two methods are approximately less than 3 dB. Therefore the validity of Eq.(2) is considered to be verified on the whole.
In addition, it is confirmed that the values calculated by Eq.(2) have shown good accordance with experimental data.[3]

SUMMARY

This paper presents the simple method for calculating sound attenuation by the triple noise barriers. In the method, it is calculated by summing the attenuation values by the three single barriers. The positions of an imaginary source or receiver for each barrier are determined according to the proposed rules. The Maekawa's chart is applied to calculation of sound attenuation by the single barrier. The validity of the method presented here has been verified by comparing the values by the boundary element numerical modeling method.

REFERENCES

1."Experimental Study on Sound Diffraction Effects by a Wide Barriers and Double Barriers (in Japanese)", K Uesaka et al., *Journal of the INCE of Japan* **22**, 153-161(1998)
2."Expressions of Maekawa's Chart for Computation", K. Yamamoto et al., *Applied Acoustics* **37**, 75-82(1992)
3."Calculation Method for Sound Attenuation by Multiple Barriers with Wide Intervals(in Japanese)", K.Uesaka et al., *The 1999 Spring Meeting of the Acoustical Society of Japan*, 705-706(1999)

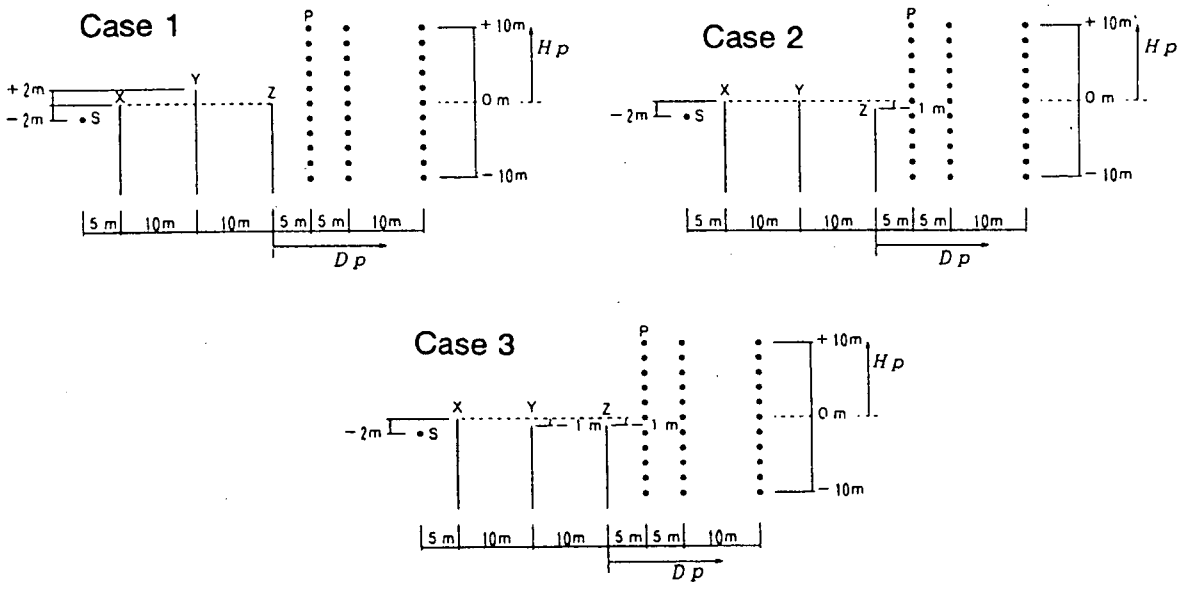


Fig.3 Configuration of Triple Barriers, a Sound Source and Receivers

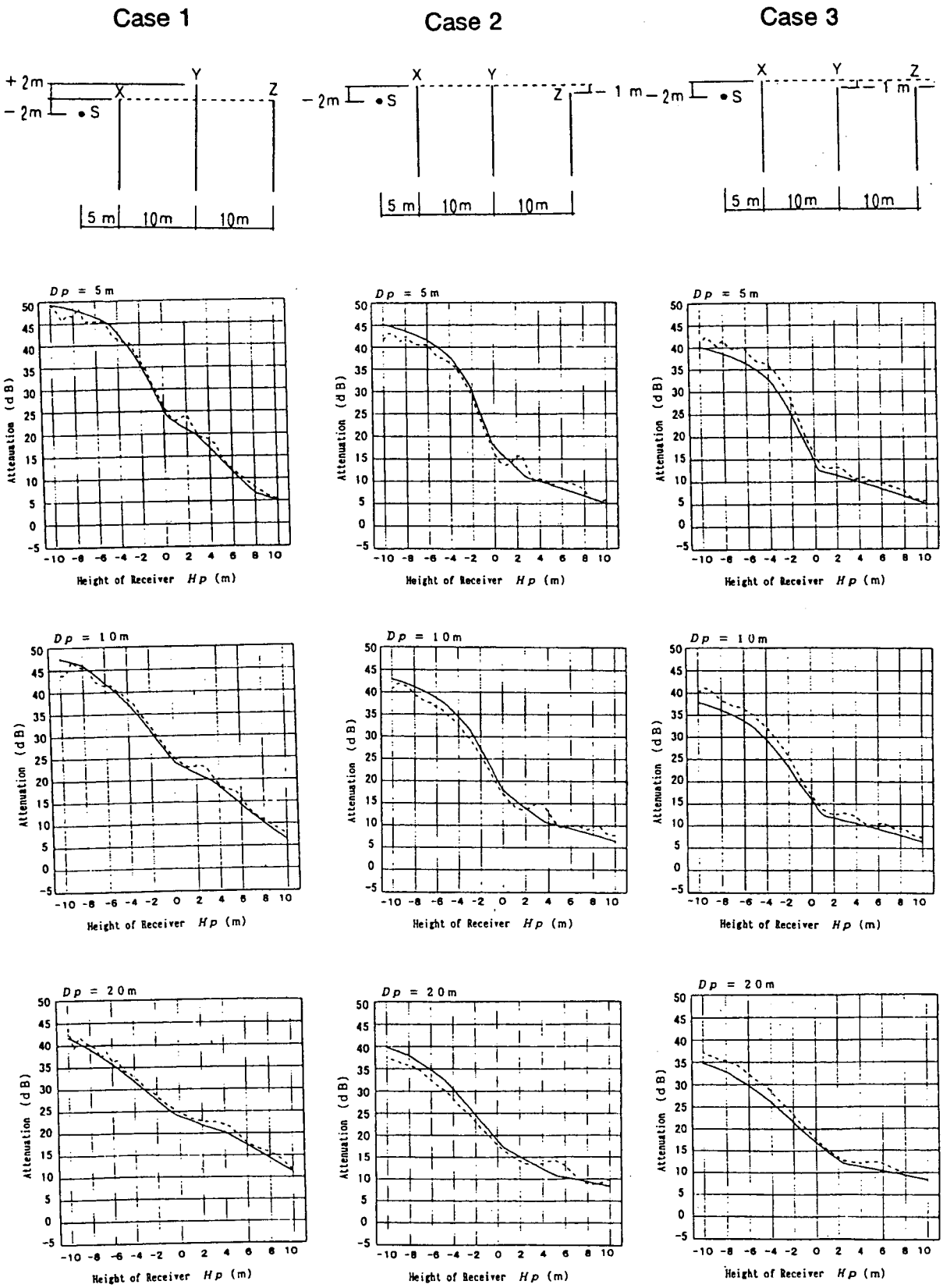


Fig.4 Comparison of Values Calculated by Eq.(2) and by BEM method

(25) NEW TYPE OF NOISE BARRIER ALONG THE EXPRESSWAY

Y. Konno, M. Yamamoto [1], H. IImori [2], K. Uesaka [3]

[1] Expressway Research Institute, Japan Highway Public Corporation, 1-4-1, Tadao, Machida, Tokyo, 194-0035, Japan

[2] Oriental Consultants Co. Ltd. , 3-5-7, Hisamoto, Takatsu-ku, Kawasaki-city, Kanagawa, 213-0011, Japan

[3] Public Works Research Institute, Ministry of Construction, 1, Asahi, Tsukuba-city, Ibaraki, 305-0804, Japan

INTRODUCTION

It is known that the multiple edge type noise barrier (Fig.1) reduces diffracted sound drastically [1][2][3]. The followings are results obtained through the experiment by comparing it with a single-straight barrier, parallel double barrier and a Y type noise barrier. And it shows the calculation method for the attenuation of multiple edge barrier.

ATTENUATION COMPARISON BETWEEN THE MULTIPLE EDGE AND OTHER TYPES

We compared the attenuation of four types of noise barriers by using 2-D BEM. The types we compared were a single-straight barrier, parallel double barriers, Y type barrier and multiple edge barrier (Fig.1). (Abs.) means that the surface of edges is absorbing, and (Rig.) means that it is rigid.

Calculation condition. Fig.2 shows the arrangement of sound source and evaluation points. Attenuation values were calculated by using one-third octave band between 50 and 2,500 Hz, and summed with weighting by standard road traffic noise spectrum [4]. Absorbing material is 40mm thick and it doesn't have air layer.

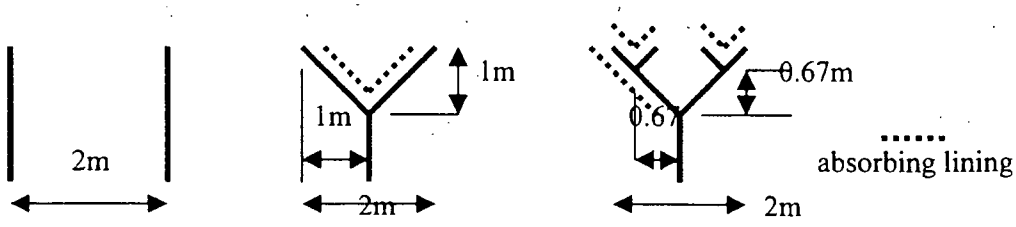


Fig. 1 : parallel double, Y type and multiple edge barriers

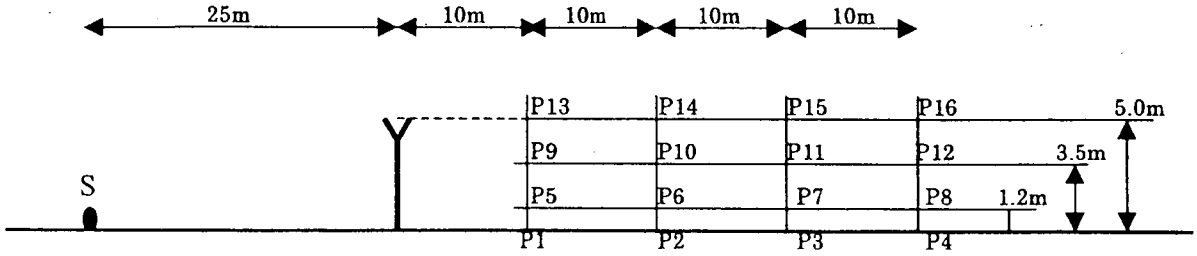


Fig.2: Sound Source and Evaluation Points

Result. Table 1 shows the comparison of the insertion losses between Y(Rig. and Abs.), multiple edge (Rid. and Abs.), and straight and parallel double noise barriers.

We compared the insertion loss in terms of the arithmetic average in whole field.

Sign + in the table means insertion loss exceeds that of straight or parallel double barriers.

Table 1.: Comparison of average insertion loss in all evaluation points.

Noise barrier	Y Type(Rid.)	Y Type(Abs.)	Multiple(Rid.)	Multiple(Abs.)
straight	+2.9	+3.4	+3.7	+4.8
Parallel double	-0.7	-0.2	+0.1	+1.2

Compared with straight barrier, the insertion loss of Y and multiple edge type were not so small. And insertion loss of multiple edge (Abs.) was about 5 dB larger than that of the straight barrier.

The insertion loss of Y (Rig.) was 0.7dB smaller than that of the parallel double barriers, but the insertion loss of Y(Abs.) and multiple edge (Rig.) was nearly same as it. Effect of the absorbing treatment on multiple edge was about 1dB.

CALCULATION METHOD OF MULTIPLE EDGE BARRIERS ATTENUATION

Field test. Fig.3 shows the field test conditions. The scale factor of the field test is 1/2. We compared the insertion loss of actual measurement with that of BEM and that of simple method for calculating four times diffraction. The insertion loss was obtained as the difference between the measured data and the theoretical values of geometrical attenuation in semi-free sound field.

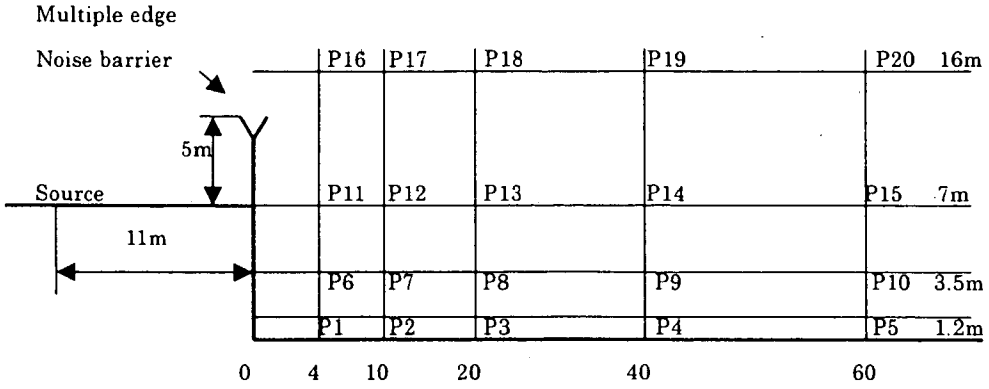


Fig. 3: Sound source and Evaluation pints of field test

Simple method for calculating four times diffraction. Imaging from the result of Table 1, the insertion loss of multiple edge noise barrier (Abs.) seems to be same as that of parallel four barriers (see Fig.4).

There is a calculation method of two times diffraction being proposed by Uesaka et al. [5]

We calculate four times diffraction ΔL_{SXYZOP} by this method.

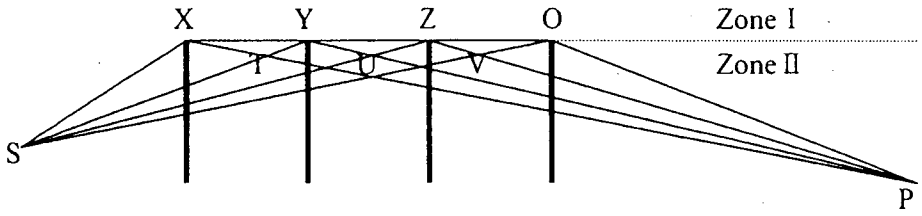


Fig. 4: four times diffraction

Following is the calculation method of four times diffraction.

[Zone I]

$$\Delta L_{SXYZOP} = \Delta L_{SXYZP} + \Delta L_{ZOP}$$
$$\ldots\ldots = \Delta L_{SXYP} + \Delta L_{YZP} + \Delta L_{ZOP}$$
$$\ldots\ldots = \Delta L_{SXP} + \Delta L_{SYP} + \Delta L_{YZP} + \Delta L_{ZOP}$$

[Zone II]

$$\Delta L_{SXYZOP} = \Delta L_{SXYZP} + \Delta L_{SOP} - \Delta L_{SYP} + \alpha$$
$$\ldots\ldots = \Delta L_{SXYP} + \Delta L_{SZP} - \Delta L_{SUP} + \alpha + \Delta L_{SOP} - \Delta L_{SYP} + \alpha$$
$$\ldots\ldots = \Delta L_{SXP} + \Delta L_{SYP} - \Delta L_{STP} + \alpha + \Delta L_{SZP} - \Delta L_{SUP} + \alpha + \Delta L_{SOP} - \Delta L_{SYP} + \alpha$$
$$\ldots\ldots = \Delta L_{SXP} + \Delta L_{SYP} + \Delta L_{SZP} + \Delta L_{SOP} - \Delta L_{STP} - \Delta L_{SUP} - \Delta L_{SYP} + 3\alpha\ldots\ldots$$

ΔL_{ABC} : sound attenuation of diffraction of a single barrier calculated by Maekawa's chart [6]

$$\alpha = 4.03\log_{10}\left(f \cdot w/170 + 1\right) \ldots\ldots\ldots\ldots for \ldots 0 \le f \cdot w/170 \le 16.4$$
$$\ldots = 5 \ldots\ldots\ldots\ldots for \ldots f \cdot w/170 \ge 16.4$$

f : frequency

w : interval of two barriers

$f \cdot w/170 = \dfrac{w}{\left(\dfrac{340}{f \times 2}\right)}$: figure that the interval is divided by half wave length

We calculated the propagation effects with this method, about every frequency on 125, 250, 500 and 1,000Hz. Ground surface is reflective, so the sound reflection of ground surface is added.

Calculations of BEM and four times diffraction comparing with the field test.

Fig. 5 shows the comparison of insertion loss on each height at the evaluation points, horizontal distance from the noise barrier is 10m and 40m. The sound source position is 11m far from noise barrier, and the figures are over all values weighted by standard traffic noise spectrum. The result shows that the insertion loss calculated by the simple method is a little bit small at the high points, and it is slightly large at the low points than the measured insertion loss. The result of BEM calculation is almost same as that of measurement.

Fig. 6 shows the comparison between measured and calculated values on all evaluation points.

[n] means number of data, [s] standard deviation, and [r] correlation coefficient. Values calculated by BEM and those by the simple method agree well with the measured one.

The average difference is 0.2 dB in the simple method and 0.4 dB in BEM.

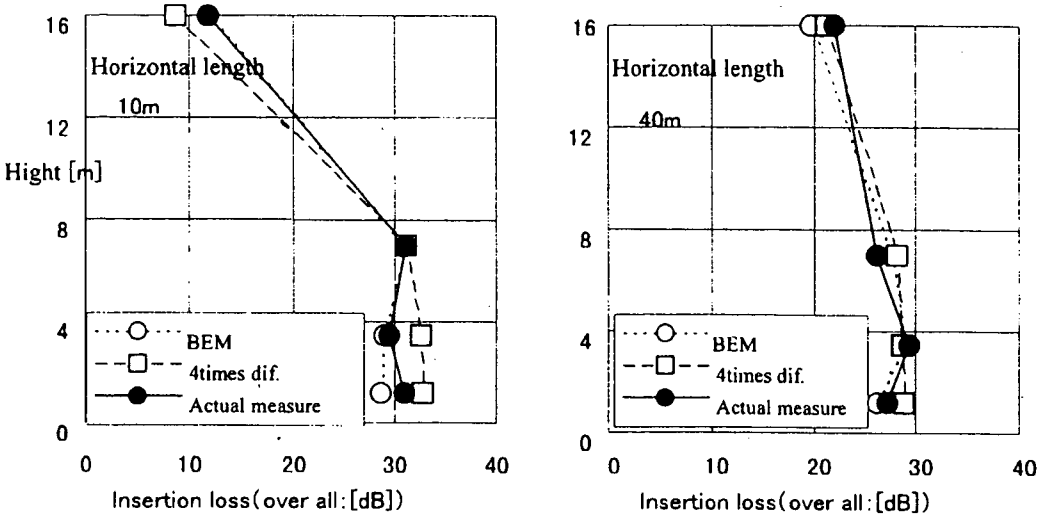


Fig. 5 : Attenuation values of actual measure, BEM and four times diffraction calculation.

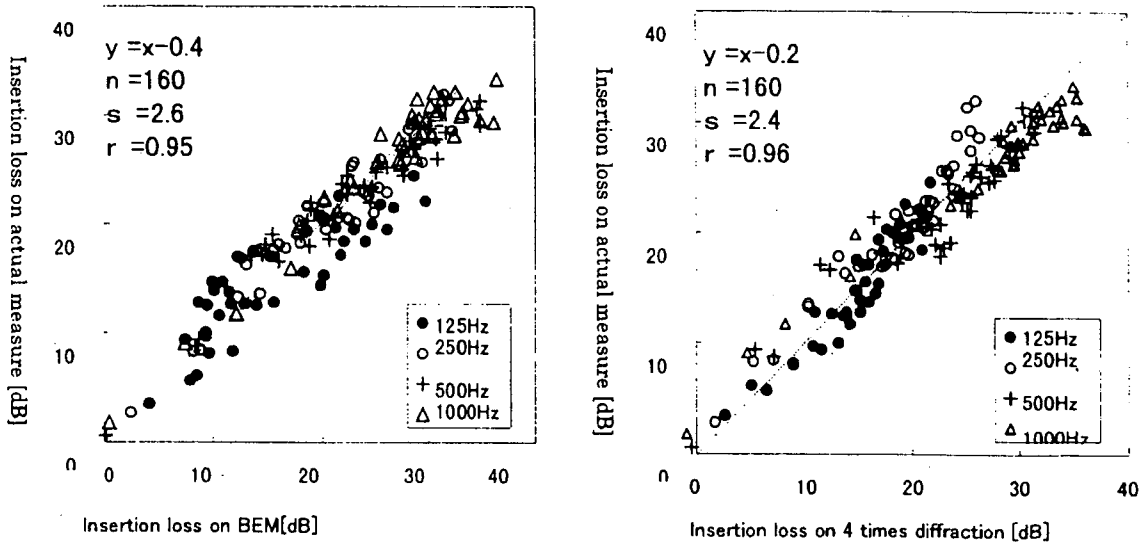


Fig. 6: Comparison between actual measure and calculated values

CONCLUSIONS

(1) The result of the BEM calculation shows that the insertion loss of multiple edge noise barrier is about 5dB larger than that of straight barrier, and that of reflective multiple edge is almost same as parallel double barrier. Insertion loss of absorptive multiple edge noise barrier is about 1dB larger than that of parallel double barrier.

(2) Attenuation effects of multiple edge noise barrier is obtained by the simple method for calculating four times diffraction.

About 1,300m multiple edge noise barriers have already been constructed along the expressway. What we have to do next is to confirm the effects of multiple edge noise barrier on the expressway field.

REFERENCES

[1] "Determination of acoustic property for improved noise barriers" Technical Committee on Noise and Vibration, *The Journal of the Acoustical Society of Japan*, vol.54, No.4, pp.333-338

[2] "Highway noise barriers in various types," K. Yamamoto, *The Journal of the Acoustical Society of Japan*, vol.54, No.4 pp.327-323

[3] "Numerical Study on the Noise Reduction Effect of Shape and Thickness of Noise Barriers," Y. Shono, H. Ochiai, K. Takagi, *The Journal of the INCE of Japan*, vol. 22, No.5,(October 98), pp. 288-298

[4] "ASJ Prediction Model 1998 for Traffic Noise (Report from Research Committee of Road Traffic Noise in Acoustical Society of Japan)," Research Committee of Road Traffic Noise in Acoustical Society of Japan, *The Journal of the Acoustical Society of Japan*, vol.55, No.4, pp.281-324

[5] "Experimental Study on Sound Diffraction Effects by a Wide Barrier and Double Barriers," K. Uesaka. H. Ohnishi, K. Hachimine, K. Ishikawa, K. Takagi, *The Journal of the INCE of Japan*, vol.22, No.3, (June 98), pp.153-161

[6] "Expressions of Maekawa's Chart for Computation," K. Yamamoto, K. Takagi, *Applied Acoustics* 37(1992), pp.75-82

(26) RELATIONSHIP OF CHANGE IN NOISE REDUCTION OF POROUS ROAD PAVEMENT AND ACCUMULATED TRAFFIC VOLUME

Noboru Kondo and Hirofumi Ohnishi

Public Works Research Institute, Ministry of Construction
1,Asahi, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0804 Japan

INTRODUCTION

To preserve a good living environment from road traffic noise, installation of a porous road pavement can be promoted since it is applied to any places. However, acoustic performance of the pavement gradually decreases as time passes. Therefore we examined some factors for the decrease of the pavement's acoustic performance. As a result of this examination, we propose the estimation model allowing us to predict the transitional power level from the relationship of the tire/road sound level and accumulated traffic volume.

TEST PROCEDURES

In order to obtain the tire/road sound level, noise measurements were carried out at 11 sites of porous road pavement, using a passenger car (displacement 1580ml). The main specification of the porous road pavements is as follows: 5 cm of surface course; 20 percent pore ratio; and 5－13 mm aggregate size.

The tire/road sound levels were measured by a microphone mounted beside one of the rear tires. The detailed position of the microphone is shown in Fig.1. The tires were steel-belted radial tires and their air pressure was 2.0 kg/cm^2. The speed of the vehicle was 50km/h and the measurements were made 3 times for each site.

L_{Aeq} (equivalent continuous A-weighted sound pressure level) was also measured at each site. The microphone was placed 7.5 m from the center of the traffic lane and 1.2 m high above the ground.

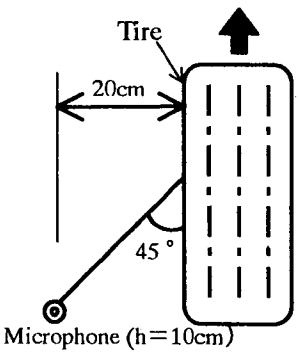


Fig.1 Microphone mounted near tire

TEST RESULTS

1. Relationship of tire/road sound level versus accumulated traffic volume, accumulated traffic volume of heavy trucks, or a lapse of time from construction

We studied the relationship of tire/road sound level versus accumulated traffic volume, accumulated traffic volume of heavy trucks, or a lapse of time from construction. Table 1 shows the correlation coefficients of each relationship.

Table 1 Comparison of correlation coefficients of each relationship

Indexes	Lapse of time	Accumulated traffic volume	Accumulated traffic volume of heavy trucks
Correlation coefficient	0.45	0.66	0.29

The result revealed that the highest correlation coefficient was obtained from the relationship of tire/road sound level and accumulated traffic volume. Fig.2 shows the relationship between the change in tire/road sound level and the accumulated traffic volume.

2. Estimation of converting method from tire/road sound level to power level of vehicle

In view of the section above, we propose a model that enables us to calculate the change in power level from the increase in accumulated traffic volume. In order to establish the estimation model, there is a need to consider the conversion method from the tire/road sound level to the power level of vehicles.

The power level of a vehicle mainly consists of the engine noise and the tire/road noise. This needs to be considered in the formulation process of the estimation model for the power level of vehicle noise. The process is shown as follows.

2.1 Calculation of power level of vehicle noise on porous road pavement

First of all, the power levels of both heavy trucks and small vehicles at a speed of 50km/h, which was the same when measuring the tire/road sound level, were calculated using the correcting equation for the porous road pavement of ASJ Model 1998(see Equations (1) [1-2] and (2) [1-2]). The calculated power levels were 101.4dB for the heavy truck and 94.9dB for the small vehicle.

$$L_{WA} = A + 30\log_{10} V \qquad (1)$$

where L_{WA} is a power level of a vehicle running on dense asphalt pavement at a constant speed. A is a constant term: 46.7dB(A) for the small vehicle; and 53.2dB(A) for the heavy truck. V is a speed of vehicle (40km/h-140km/h).

$$L_{WA,dr} = L_{WA} - 3.5\log_{10} V + 3.2 \qquad (2)$$

where $L_{WA,dr}$ is a power level of porous road pavement.

2.2 Estimation of contribution ratio of engine noise and tire/road noise

Contribution ratios of the engine noise and the tire/road noise to the power level were calculated at a speed of 50km/h. Each contribution ratio was obtained from the measurement of power levels of power-by and coast-by drivings. The power level was assumed to consist of two kinds of main factors, the engine noise and the tire/road noise. The contribution ratios of the engine noise and the tire/road noise by vehicle type are shown in Table 2.

Table 2. Contribution ratios of engine noise and tire/road noise at a speed of 50km/h

Type of car	Tire/road noise	Engine noise
Heavy truck	53.4%	46.6%
Small car	92.8%	7.2%

2.3 Estimation equation of transitional power level according to accumulated traffic volume for porous road pavement.

We estimated the transitional power level from the regression equation with regard to the relationship of tire/road sound level and accumulated traffic volume (see Fig.1) which was obtained from the data measured at the 11 sites. To obtain the transitional power level according

to the accumulated traffic volume, the power level of the porous road pavement, that was .proposed by ASJ Model1998 (see Equation (2)), is divided into the tire/road noise and the engine noise using the contribution ratios of Table-2. In that case, the tire/road noise is assumed to change according to the accumulated traffic volume, while the engine noise is assumed to be constant. The tire/road noise is assumed to be given by the tire/road sound level of Fig. 2. Therefore, the transitional power level is obtained through summing up the tire/road noise and the engine noise. The estimation result of transitional power level for heavy truck is shown in Fig. 3.

The estimation equation for the transitional power level of the porous road pavement at the speed of 50 km/h is shown below.

$$L_{WA} = A + B X \qquad (3)$$

where A is a initial power level[dB] of porous road pavement. B is a coefficient of a change in power level with a lapse of time: 0.36 for the small vehicle; and 0.26 for the heavy truck. X is the number of accumulated traffic volume (million vehicles per traffic lane).

3. Comparison of calculated L_{Aeq} considering transitional power level and measured L_{Aeq}.

Fig. 4 shows a comparison of calculated L_{Aeq} values taking into account the transitional power level given by Equation (3) and those measured at the 11 sites. The range of average vehicle speed measured at the 11 sites was from 45 to 65km/h. The initial power level according to the speed was obtained by ASJ Model 1998. The calculated L_{Aeq} was found to be larger than the measured one by 1.3dB. The standard deviation was 1.6dB. As this result suggests, the calculated L_{Aeq} considering the transitional power level was in fair agreement with the measured one.

CONCLUSIONS

We found a good relationship of the tire/road sound level on the porous road pavement and the accumulated traffic volume from the examination of factors for the decrease of the pavement's acoustic performance. Based on the relationship, we have proposed the estimation model of the transitional power level of vehicle noise on the porous road pavement. The model has been verified by the fair agreement between the measured L_{Aeq} values in the roadside areas and those calculated by the model considering the transitional power level.

REFERENCES

[1] Research Committee of Road Traffic Noise in Acoustical Society of Japan "ASJ Prediction Model 1998 for road traffic noise report from research committee of road traffic noise in Acoustical Society of Japan" J. Acoust. Soc. Jpn. (J) 55, 281-324 (1999) (in Japanese).

[2] H. Ohnishi, N. Kondo, K. Ishikawa "Noise reduction effect of drainage asphalt pavements and its application to prediction method" Proc. Spring Meet. Acoust. Soc. Jpn., 679-680(1999)(in Japanese).

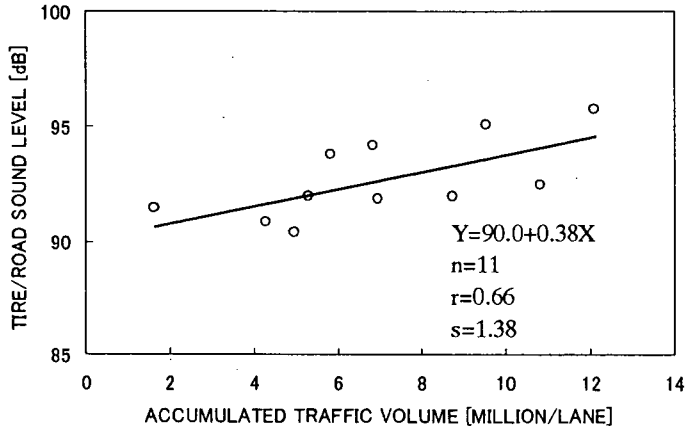


Fig .2 Relationship of tire/road sound level and accumulated traffic volume

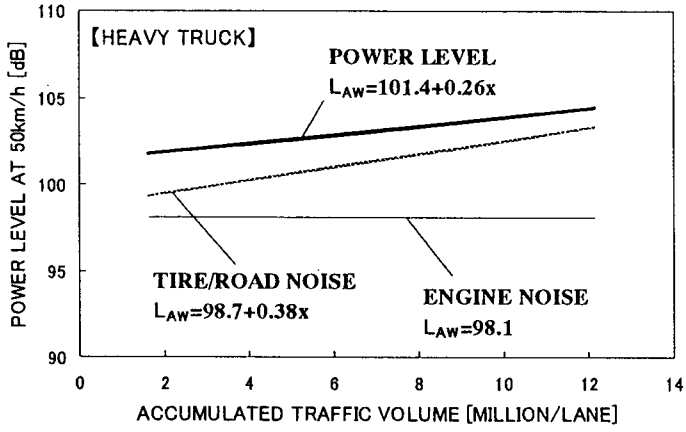


Fig .3 Transitional power level of heavy truck according to accumulated traffic volume

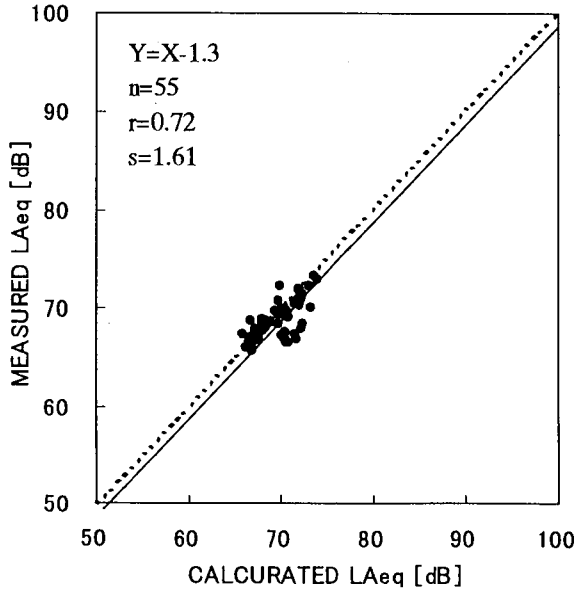


Fig.4 A comparison of calculated L_{Aeq} with measured L_{Aeq}

（２７）多孔質舗装の吸音特性と騒音低減効果

大西博文、近藤升(建設省土木研)、藤原敏彰(エスタ)、高木興一(京都大)

１．はじめに

道路交通騒音対策としての排水性舗装や多孔質弾性舗装は、多孔質な材料でできており、吸音性を有する。本稿ではこれら多孔質な舗装の空隙率と吸音特性の関係について述べるとともに、多孔質舗装の自動車走行騒音低減効果のうち舗装の吸音による効果について報告する。

２．吸音特性の測定

２．１ 測定方法

空隙率の異なる８種類の道路舗装（密粒舗装１種類、排水性舗装６種類、多孔質弾性舗装１種類）からそれぞれ５セット（１セットは直径 98mm と 28mm の供試体それぞれ１個ずつからなる。）のコアサンプルを採取し、２マイクロフォン音響管でこれらの音響インピーダンス比を測定し、舗装種類毎に５個の測定値を周波数別に算術平均し、吸音率を求めた。なお、空隙率は、舗装種類毎にノギス法により得られた測定値を算術平均して求めた。

表１ 吸音特性を測定した舗装の種類

舗装の種類	空隙率	舗装厚さ
密粒舗装	5%	
排水性舗装	12%	
(6号砕石)	15%	
	18%	5cm
	21%	
	23%	
	27%	
多孔質弾性舗装	40%	3cm

２．２ 測定結果

（１）周波数帯別の吸音率

各種舗装の周波数帯域別の吸音率を図１に示す。これによると、空隙率が 12%、15%の排水性舗装は 500Hz で吸音率が 0.30－0.39 のピーク値を示し、空隙率が 21%、23%、27%と大きくなると 800Hz で吸音率が 0.63－0.87 のピーク値を示す。さらに空隙率が 40%の多孔質弾性舗装では、吸音率は 1,250Hz でピーク値 0.94 になる。いずれの場合も吸音率の曲線はピーク値を頂点とする釣り鐘状であり、共鳴器型の吸音特性を示している。

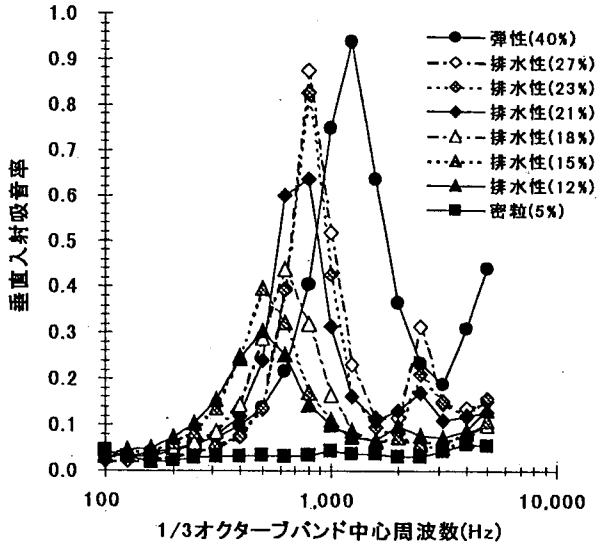


図1 各種舗装の吸音率の周波数特性

（２）道路交通騒音に対する平均吸音率

各種舗装の周波数帯域別の吸音率を道路交通騒音のパワースペクトル[1]（速度区分なし）により加重して平均吸音率を求めたものと空隙率の関係を図２に示す。これによると空隙率が 5－40%の範囲で、平均吸音率は約 0.04－0.43 であった。直線回帰分析および相関係数の有意性検定（有意水準 5%）によると、両者には相関係数が 0.990 と強い相関関係が認められる。得られた回帰式は

$$\alpha = 1.126\,u - 0.018$$

ここに、αは平均吸音率、uは空隙率である。

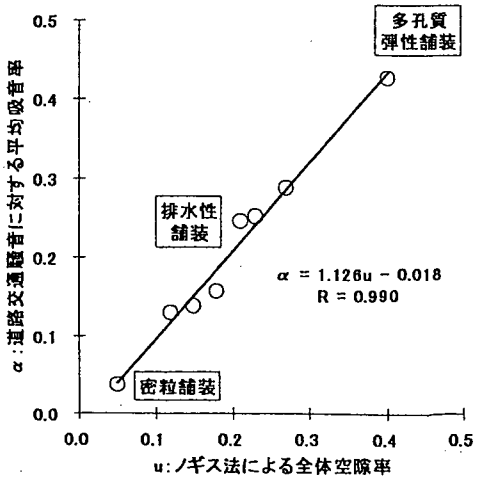


図2 舗装の空隙率と平均吸音率の関係

Noise absorption characteristics of porous pavements and their noise reduction effects, H. Ohnishi, N. Kondo (Public Works Research Institute, Ministry of Construction), T. Fujiwara (ESTA), K. Takagi (Kyoto University)

3．吸音による騒音低減効果

3．1　路面と車体下面のモデル化

上述のとおり、多孔質舗装はその空隙率に応じて密粒舗装に比べて大きな吸音率を有する。多孔質舗装による自動車走行騒音の低減効果は、その空隙によるエアポンピング音の抑制、その弾性によるタイヤ加振音の抑制（排水性舗装の場合はあまり期待できない）、その空隙による吸音により生じると考えられる。そこで、この騒音低減効果のうち吸音による寄与を、路面と車体を図３のとおりモデル化し検討してみる。

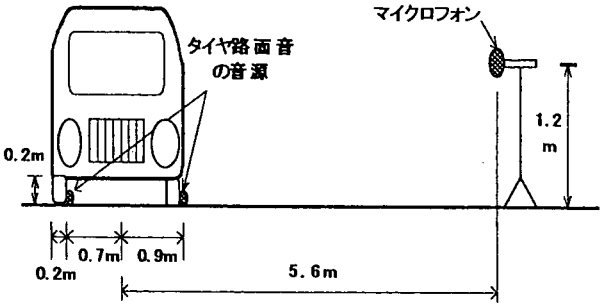


図3　路面と車体のモデル化

乗用車が 60km/h で定常走行するときを想定し、音源はタイヤと路面の接触面とし、エンジン音はタイヤ路面音に比べて非常に小さい[2]のでここでは無視した。音の伝搬は、路面と車体下面での鏡面反射を仮定し、路面と車体下面との開口部をスリットとして考慮した。このときの反射面の吸音率は、路面については２．２（２）で得られた平均吸音率、車体下面については完全反射とした。

3．2　シミュレーション結果

３．１で行った多孔質舗装の吸音による減音効果のシミュレーション結果を図４に示す。

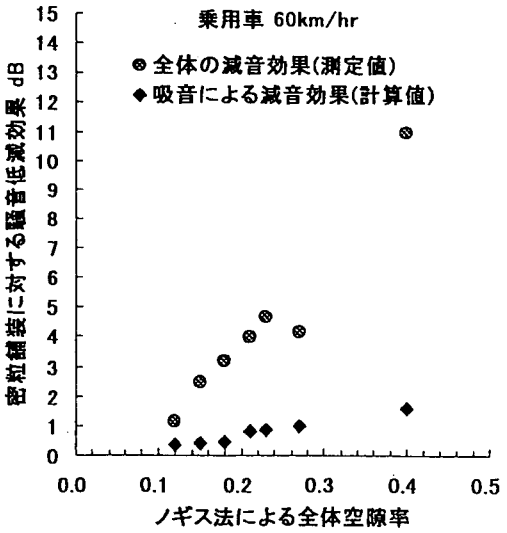


図4　多孔質舗装の減音効果

なお、空隙率別の多孔質舗装について全体の騒音低減効果の測定値[2]も同図に示す。

これによると空隙率が 12－40%において、多孔質舗装の全体の減音効果が 1.0－11.0dB であるのに対し、吸音による減音効果は 0.4－1.6dB 程度と推定される。これは、マイクロフォン側のタイヤからの直達音が卓越しており、他方反対側のタイヤ路面音が伝搬過程で路面に吸音されたり、路面と車体との開口部（スリット）で回折するものの、減音にはあまり影響していないためと考えられる。また、これは排水性舗装の要因別騒音低減効果量を推計した岩瀬らの報告[3]にも符合する。

4．おわりに

多孔質舗装の吸音特性と空隙率の関係を調査した。さらに、この関係を用いて多孔質舗装の自動車走行騒音低減効果に占める吸音の寄与を検討した。その結果次のことが分かった。

・空隙率が 12－40%の範囲で、吸音率のピーク値は 500－1,250Hz にあり、0.30－0.94 を示す。いずれの場合も吸音率の曲線はピーク値を頂点とする釣り鐘状で、これは共鳴器型の吸音特性を示している。

・空隙率が 12－40%の範囲で、平均吸音率は約 0.13－0.43 であった。この関係の回帰式は次のとおりである。

$$\alpha = 1.126\,u - 0.018$$

・乗用車に対する多孔質舗装の全体の減音効果 1.0－11.0dB のうち、吸音による効果は 0.4－1.6dB 程度であると推定される。

なお、上述の吸音による減音効果は２次反射音までを考慮したものであるため、実際の効果の下限値を与えていると思われる。

今後、大型車の場合もモデル化し、道路交通全般について吸音による減音効果を検討してみたい。

参考文献

[1] 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会，道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌 Vol.55,No.4(1999) p.291

[2] 青木理恵、近藤升、大西博文，空隙率別排水性舗装の騒音低減効果、平成 11 年度日本騒音制御工学会研究発表会講演集，1999.10

[3] T. Iwase, R. Kawabata, Measurements of basic acoustical properties of the porous pavement and their applications to the estimation of road traffic noise reduction, J. Acoustical Society of Japan, Vol.20, No.1 (1999) pp.63-74

（２８）排水性舗装における騒音低減効果*

◎青木　理恵、近藤　升、大西　博文（建設省土木研究所）

１．はじめに

近年、排水性舗装は排水機能による安全性の向上に加えて、その騒音低減効果による沿道環境の保全に資するものとして期待されている。そこで平成５年度に茨城県つくば市内の国道 408 号に敷設された排水性舗装区間において、排水性舗装の経年的な騒音低減効果を明らかにすることを目的とし、５年間にわたって定期的に騒音測定を行ってきた。本稿ではそれらの騒音測定結果を用いて、排水性舗装の騒音低減効果について述べる。

２．騒音測定の概要

騒音を測定した道路及び舗装（図―１参照）の概要を次に示す。

路線名　：一般国道４０８号

施工概要：施工時期 平成６年３月(表層の打ち替え)、施工延長 500m(５工区に分け各工区 100m)、舗装厚 5cm

交通量　：18,660 台（昼間 12 時間）うち大型車 2,423 台、なお、昼夜率は 1.34(日交通量 25,004 台)

車線数　：４車線（上り２車線が排水性舗装）

１工区	２工区	３工区	４工区	５工区
排水性舗装 単粒 10～5mm 空隙率 20%	排水性舗装 単粒 13～10mm 空隙率 25%	排水性舗装 5+6 号砕石 (20～5mm) 空隙率 25%	排水性舗装 ６号砕石 (13～5mm) 空隙率 20%	密粒度ｱｽｺﾝ
100m	100m	100m	100m	100m

図―１　舗装種類別一覧

図―１に示した区間で試験車を用いて定期的に行っている騒音測定の概要を以下に示す。

測定年月：平成６年３月（施工直後）、平成６年９月（半年後）、平成７年３月（１年後）、平成８年２月（２年後）、平成９年３月（３年後）、平成１０年３月（４年後）、平成１１年３月（５年後）

車種分類：大型車(積載重量 10ｔ、空積載、リブタイヤ)、乗用車（リブタイヤ）

走行速度：40km／h、60km／h の定常走行

測定方法は、精密騒音計の A 特性出力をデータレコーダに記録するとともに、レベルコーダを用いて動特性 fast で騒音レベル波形を記録し、上記の試験車が単独で定常走行する時のピークレベル値を読みとった。積載条件はすべて空積載とした。なお、この区間で路面の機械洗浄は一切行われていない。

３．騒音低減効果の経年変化

５工区の密粒舗装において測定されたピークレベルを基準とし、各排水性舗装において測定されたピークレベルとの差を排水性舗装の騒音低減効果と考え、走行速度が 60km／h のときのそれらを比較し、経年変化として分析したものを図―２に示す。

（１）大型車の騒音低減効果の経年変化

施工直後から４年後にかけて騒音低減効果は３工区を除いて減少傾向にあるが、５年後では全ての舗装ににおいて効果が 3.3～4dB の間で増加している。３工区は施工直後から５年後までほぼ 2～3dB の効果を維持しているが、他の工区と比較して常に小さかった。

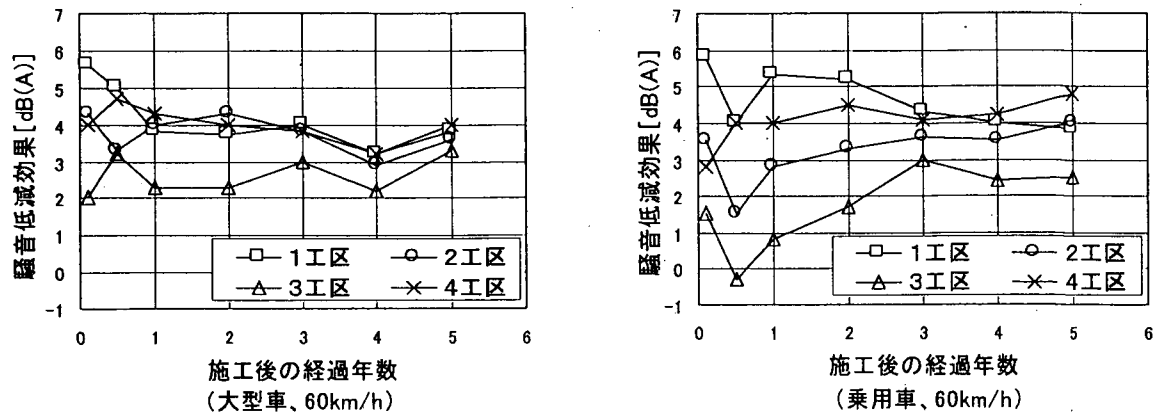
また図－２より、経年的に見て順位の変動はあるものの、ほぼ１－４－２－３工区の順で騒音低減効果が高いことが分かった。

（２）乗用車の騒音低減効果の経年変化

乗用車の場合、騒音低減効果は舗装の種類によりかなり異なり、施工５年後における騒音低減効果は１工区,２工区では約 4dB、３工区では約 2.5dB、４工区では約 5dB であった。１工区では施工直後における約 6dB の減音効果が５年後には約 4dB へと約 2dB 減少しているが、経年的に舗装全体において高い効果があった。４工区では経年的に効果が安定しており、５年後までに緩やかな効果の上昇が見られ

---

*" The transition of the noise reduction effect of the drainage asphalt pavements" by Rie Aoki, Noboru Kondo, Hirofumi Ohnishi(Public Works Research Institute ,Ministry of Construction)



図－2　密粒舗装に対する排水性舗装の騒音低減効果

表―1　各車種ごとの施工直後と５年経過後のパワーレベル

工区	大型車（dB）			乗用車（dB）		
	直後	５年後	差	直後	５年後	差
１工区	103.5	105.3	1.8	94.8	98.5	3.7
２工区	104.8	105.5	0.7	97.1	98.3	1.2
３工区	107.1	105.8	−1.3	99.1	99.8	0.7
４工区	105.1	105.1	0.0	97.8	97.5	−0.3
５工区(密粒)	109.1	109.1	0.0	100.6	102.3	1.7

た。３工区では施工直後から５年後にかけて効果が約 1dB 上昇しているが、効果は常に最も低かった。

また図－２をみると施工４年後で１工区と４工区の効果の大きさが逆転したが、全体的に見て大型車の場合と同様、１－４－２－３工区の順で騒音低減効果が高かった。これは図－１より、舗装に使用した骨材の粒径が小さいものほど、騒音低減効果が高いことがうかがえる。

（４）考察

大型車、乗用車とも、工区別の効果の差は経年的に小さくなる傾向にあるが、この調査区間では施工５年経過後も大型車で３～４dB 程度、乗用車で 2.5～５dB 程度の騒音低減効果を保持していた。また、乗用車の騒音低減効果が大型車と比べて高くなっている傾向があるのは、密粒舗装において施工直後から経年的に騒音レベルが上がっているためである（表―１参照）。さらには、排水性舗装の騒音低減効果が主として発揮されるタイヤ／路面音の寄与率が乗用車の方が大きいからである。

なお、各工区のパワーレベルの経時変化を比較すると、騒音低減効果の大きい工区ほど経時的なパワーレベルの上昇が大きい。

４．まとめ

排水性舗装に関して騒音低減効果は持続性に問題があると指摘されているが、この調査区間では施工後３年目以降から効果が安定し、施工後５年を経過した時点でもまだ十分な機能を保持していることが測定された。これは当調査区間の走行車両の走行速度が高く、タイヤのポンピング現象により空隙の閉塞物に対し吸い出し効果が働いている。そのため空隙率の低下が小さくなっていると推測される。

今回の調査区間については、今後以下の調査を追加して行っていく必要があると考えられる。

● 他の排水性舗装の施工区間と比べこの調査区間の排水性舗装は良好な状態が維持されていると考えられ、その確認のためコアを採取し、空隙率、垂直入射吸音率灯の測定を実施する。

●これらデータは試験車両単独走行時の騒音レベルのピーク値から算出したものであるため、一般車両の Leq 等で同様の効果が得られているかを確認する。

●排水性舗装は供用に伴い路面テクスチャーが荒くなり、タイヤ加振音が増大することによって騒音低減効果が低下すると考えられるため、今後確認の必要がある。

参考文献

1) 稲沢・鈴木・緑川：単粒の祖骨材を用いた排水性舗装の低騒音性について、第 22 回日本道路会議論文集(1997)

2) 大西・南里：排水性舗装の空隙率と騒音低減効果の経時変化、日本音響学会講演論文集(1997.3)

3) 近藤・大西：排水性舗装における騒音低減効果と排水機能の経年変化について、日本騒音制御工学会講演論文集(1998.9)

（２９） 排水性舗装上を走行する自動車の累積交通量とタイヤ近接音の関係について

○近藤　升、大西　博文（建設省土木研究所）
石川　賢一(㈱オリエンタルコンサルタンツ)

１．はじめに

排水性舗装を道路の交通騒音対策として確立するためには，排水性舗装の騒音低減効果の持続期間を適切な調査，予測手法を用いて推計する必要がある。しかし，騒音低減効果の持続期間を推計する場合，現在一般的に使われている等価騒音レベル（LAeq）と一般走行車両騒音のパワーレベルでは調査時の交通条件や調査箇所の平均走行速度，車種構成に影響を受けるため路面の状況を直接的に反映できない。そこで，走行車両の特性に影響を受けにくく路面の状況を直接的に反映できるタイヤ近接音と，各道路の特性である施工後の経過月数,累積交通量,大型車類累積交通量の関係を比較した。また，タイヤ近接音からパワーレベルへ変換して排水性舗装の効果の持続期間を検討した結果を報告する。

２．調査方法

調査した 11 箇所の排水性舗装は，空隙率：20%，骨材粒径：5～13mm,舗装厚：5cm で，その近傍には交通流に影響を与えるような大きな交差点がない区間とした。タイヤ近接音の測定は，試験車の排気管のない後方左側のタイヤ中心から外側後方へ45°，タイヤ表面から 20cm,路面から高さ 10cm に設置した無指向性のマイクロホンを用いて 50km/h の定常走行時に行った。試験車は 1.6L のオートマチック乗用車で，タイヤは空気圧 2.0kg/cm^2 のラジアルタイヤを使用した。また，同時に行った LAeq の測定は走行中心線から側方 7.5m，高さ 1.2m の位置で行った。

３．調査結果

調査箇所別に試験車による 50km/hの定常走行を３回行い，測定結果の算術平均値をそれぞれのタイヤ近接音として以下の検討を行った。

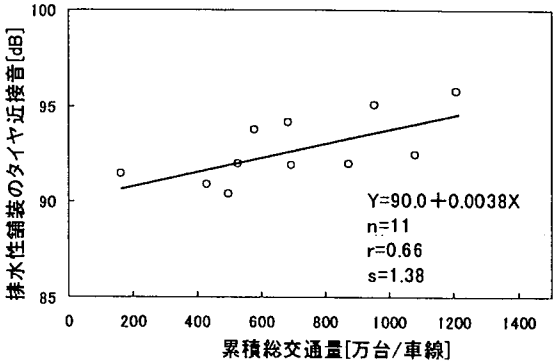
（1）タイヤ近接音と経過月数，累積交通量，大型車類累積交通量との関係

タイヤ近接音の騒音レベルと施工後の経過月数，累積交通量，大型車類累積交通量の関係を整理した。この結果得られた相関係数を表－1 に示す。

表－1 タイヤ近接音と各種指標との相関係数の比較

各種指標	経過月数	累積交通量	大型車類累積交通量
相関係数	0.45	0.66	0.29

タイヤ近接音の騒音レベルを道路の各特性で推計したところ累積交通量が最も高い相関を示した。図－1 にタイヤ近接音の変化と累積交通量との関係を示す。



図－1 タイヤ近接音の変化と累積交通量との関係

(2)タイヤ近接音を用いたパワーレベルの推定方法

前述のとおりタイヤ近接音と累積交通量との関係が，排水性舗装の騒音低減効果の経時変化を推計するのに適切であると考えられる。次にタイヤ近接音の測定結果から，排水性舗装の沿道における騒音低減効果を予測するために用いる排水性舗装における自動車の騒音パワーレベルの経時変化式を提案する。

経時変化式は，自動車のパワーレベルが主として駆動機関音(エンジン音、吸排気音等)とタイヤ/路面音から構成されるため，駆動機関音とタイヤ/路面音を加えて算出するものとする。

①排水性舗装のパワーレベルの算出

ASJ Model 1998 の排水性舗装のパワーレベル補正式[1) 2)]より，タイヤ近接音の測定時の走行速度と同じ 50km/h での大型車類，小型車類の２車種分類のパワーレベルを算出する。算出結果はそれぞれ 101.4dB，94.9dB であった。

②駆動機関音とタイヤ/路面音の寄与率の推計

50km/h で自動車が走行した場合のタイヤ/路面音と

＊Relationship of accumulated traffic volume and tire/road sound level of drainage asphalt pavement. Noboru Kondo, Hirofumi Ohnishi(Public Works Research Institute, Ministry of Construction), Kenichi Ishikawa (Oriental Consultant Inc.)

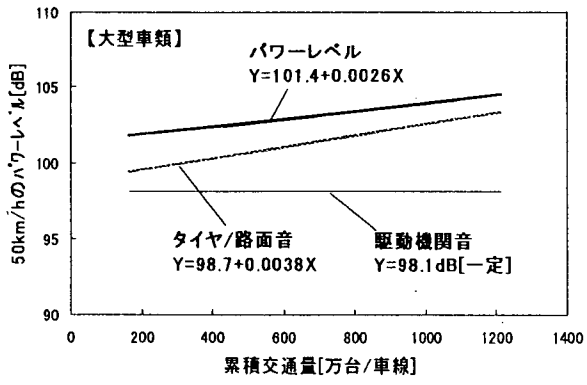
駆動機関音のパワーレベルへの寄与率を求める。それぞれの寄与率は，土木研究所試験走路で大型車と乗用車で行った定常走行時と惰性走行時のパワーレベルの測定結果から求めた。なお，パワーレベルは主な要因であるタイヤ/路面音と駆動機関音の２つの音により構成されると仮定し，空力音等は考慮しない。表－2 に車種別のタイヤ音と駆動機関音の寄与率を示す。

表―2 50km/h でのタイヤ/路面音と駆動機関音の寄与率

車種分類	タイヤ/路面音(%)	駆動機関音(%)
大型車類	53.4	46.6
小型車類	92.8	7.2

③経時変化を考慮した排水性舗装のパワーレベルの推定式

全国 11 箇所で測定されたタイヤ近接音と累積交通量の関係の回帰式から、累積交通量によるパワーレベルの経時変化の推定を行った。パワーレベルの推定式は，①の ASJ Model1998 で求めた排水性舗装のパワーレベルを表－２の寄与率でタイヤ/路面音と駆動機関音に振り分ける。タイヤ/路面音は図－１のタイヤ近接音と同じと考え，経時変化も同様とする。駆動機関音は常に一定とする。従って，累積交通量により変化するパワーレベルは経時変化するタイヤ/路面音と，常に一定な駆動機関音を合成した値として求められる。図－２に大型車類におけるパワーレベルの経時変化の推定結果を示す。



図－２大型車類のパワーレベルの経時変化の推定結果

①,②,③から排水性舗装における走行速度 50km/h の経時変化を考慮したパワーレベル式を以下に示す。

$$L_{WA}=A+BX \qquad (1)$$

ただし、A：排水性舗装の初期パワーレベル［dB］

B：タイヤ近接音から求めた経時変化の係数

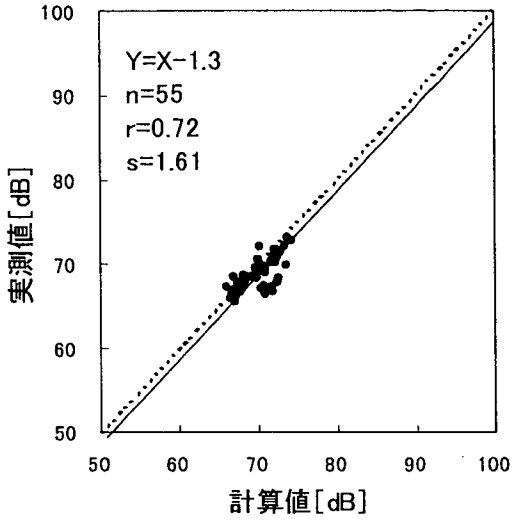
0.0036（小型車類）、0.0026（大型車類）

X：累積交通量（万台/車線）

(3) 経時変化を考慮した排水性舗装のパワーレベル推定式を用いた LAeq 計算値と実測値との比較

(2)で求めたパワーレベル推定式を用いて等価騒音レベル（ＬAeq）を計算した結果と 11 箇所の実測値（ＬAeq）を比較した結果を図－３に示す。なお，調査箇所の平均走行速度は約 45～65km/h の範囲内にあり式(1)のパワーレベル推定式の初期パワーレベル［A］は，速度別に ASJ Model 1998 により求めた。

その計算値と実測値の対応を図－３に示す。この結果より，計算値が実測値より 1.3dB 大きいこと，また標準偏差が約 1.6dB であることがわかった。



図－３ ＬAeq の計算値と実測値の比較

4.まとめ

本稿では、排水性舗装の騒音低減効果の経時変化を把握する方法を検討した。その結果，タイヤ近接音と累積交通量の関係を用いることが適切であることがわかった。また，タイヤ近接音を用いてパワーレベルを推定する方法も検討した。これはタイヤ近接音を道路交通騒音の予測に適用できる可能性を示唆したものである。

今後は走行速度 50km/h だけでなく，高速でもタイヤ近接音を測定し，推定式の精度向上を目指す。

参考文献

1)「道路交通騒音の予測モデル “ASJ Model 1998”」，日本音響学会誌 55 巻 4 号(1999),p.281-324

2)大西博文,近藤升,石川賢一,“排水性舗装の減音効果とその予測手法における取り扱い” 日本音響学会講演論文集 p.679-680 (1999.3)

（３０） ドイツの騒音予測手法RLS-90による市街地のL_{Aeq}の推計結果と実測値の比較

○太田尚、鈴木英男（オンテックＲ＆Ｄ）、上坂克巳（建設省土木研究所）

1. はじめに

平成11年4月1日に新しい「騒音に係る環境基準」が施行された。これにより評価指標がL_{50}から等価騒音レベルL_{Aeq}に変更、また「点的」な評価から「地域内の全ての住宅等のうち環境基準の基準値を超過する戸数及び超過する割合を把握する」ことになった。ここでは、ドイツ連邦共和国での沿道騒音防音指針 RLS-90 を用い日本の市街地の騒音予測を行い、実測値との比較を行った結果について報告する。その中で建物での反射回数や反射深さ（後述）、建物壁面の吸音率が計算結果に及ぼす影響を調べた。モデルとして使用した市街地は文献 1)と同じものを使用した。計算には、RLS-90 を始め、各国の予測手法が組み込まれているソフトウエア（SoundPLAN）を使用した。

2. RLS-90 の計算方法

RLS-90 の音源および伝搬計算の概要は次のようになっている。

車種分類は、大型車類（2.8ton 以上）と小型車類の2車種で、それぞれの速度範囲は、大型車類が 30～80km/h、小型車類は 30～120km/h である。音源レベルは、基本レベルとして小型車類 100km/h、大型車類 80km/h でのレベルを求め、それに交通量、大型車類の混入率、速度補正、路面補正、道路傾斜補正、複数反射補正という補正項が加わる。音源の位置は路面から 0.5m 上方に置かれている。

伝搬計算では、点音源モデルで、距離減衰、拡散と空気吸収、上方回折、反射を考慮している。回折減衰の計算に用いる行路差は多重回折経路と直達経路の差から求める。また、反射は RLS-90 では1回しか考慮しない。しかし、SoundPLAN では複数反射を計算することができるようになっている。

3. 両モデルによる道路騒音の音響パワーの比較

平坦で障害物のない単純なケースにつき、ASJ Model 1998[2]と RLS-90 で求めた等価騒音レベルの計算値を比較した。

1車線の非定常走行状態の区間について、1時間当たりの大型車類が 20 台、小型車類が 80 台、平均走行速度 40km/h の場合の車線から 20m 離れた地上 1.2m におけるL_{Aeq}について比較した。

2車線の定常走行状態の区間について、それぞれの車線に1時間当たりの大型車類が 200 台、小型車類が 800 台、平均走行速度は大型車類が 60km/h、小型車類が 80km/h の場合で、予測点は遠い方の車線から 35m、近い方の車線から 25m 離れた地点の地上 1.2m におけるL_{Aeq}について比較した。

表1に計算結果を示す。2つの例とも RLS-90 と ASJ Model 1998[2]の差は1～2dB 程度でその差は小さい。そこで、RLS-90 のパワーレベルをそのまま用いることとした。

表1　ASJ Model 1998とRLS90の比較

解析条件	等価騒音レベル	
	1車線非定常走行	2車線定常走行
ASJModel	58.6	71.2
RLS90	56.6	70.0

4. 市街地モデルでの計算

住宅密集度が違う2つの市街地モデルを対象に「壁面における反射回数」と「反射深さ」の影響を調べ、それらの適正値を求めた。その後、実測値との比較を行いながら、建物壁面の吸音率について検討した。

4.1 対象とした市街地モデルについて

表2の特徴を持った東京の都市部（B地域）および郊外部（C地域）の平面道路沿道の市街地[1]を対象に行った。表3に現地測定を行った際の交通条件を示す。

表2　解析地域の特徴

		建物密度	車線数	道路幅(m)	用途・地域
都市部	B地域	0.46～0.52	2	16	近隣商業・2種低住専
郊外部	C地域	0.27～0.38	4	23	住居地域

表3　交通条件（１０分間）

		交通量			車速
		大型	小型	計	(km/h)
B地域	上り	1	43	44	36.0
	下り	0	79	79	50.6
C地域	上り	1	27	28	46.5
	下り	3	51	54	57.4

モデル化には、市販の電子地図を使用し、建物の外形および道路のプロフィールを入力した。建物の高さは、地図に階数が記入していないもの（3階未満）は2階建てとし高さを6mとした。階数が記されている建物は、1階の高さを3mとし階数倍した。

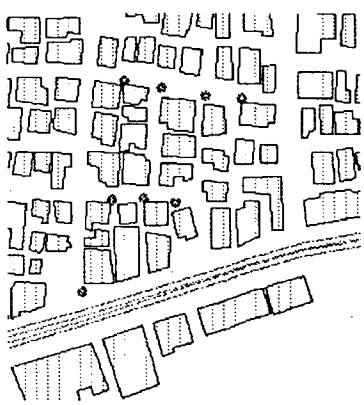


図1　B地域のモデル化

モデル化にあた

*Estimation of L_{Aeq} in built-up areas by German road noise prediction method RLS90 and its comparison with measured L_{Aeq}

By Takashi OTA, Hideo SUZUKI (ONTEK R&D Inc.), Katsumi UESAKA(Public Works Research Institute, Ministry of Construction)

り、隣接する街区の建物も入力し、幹線道路に対して反対側の建物群についても1列目は入力した。音源は、上下車線各々の中央に相当する位置に設けた。交通量は方向別に計測しているため、片側2車線道の場合はそれぞれの車線に半分ずつ割り付けた。

図1がB地域をモデル化した地形情報である。◎が予測及び測定点、小さい多角形が建物、建物群に挟まれたところにある直線が道路である。地盤は平坦とした。予測点は、測定点と同様、高さは 1.2m であり、道路端を除き直接道路が見えないところに設定されている。

4.2 反射回数の設定

建物壁面における反射回数を 1, 3, 5, 7, 10 回に設定し予測点における L_{Aeq} を求めた。解析条件として、壁面の吸音率を 0.2、次項で述べる「反射深さ」は0とした。

計算結果には、B地域もC地域も同様の傾向が見られた。道路端では反射回数3回以上では一定値になり、それ以外の予測点は回数が増す毎に、若干ではあるが、増加していた。しかしその増加量は反射回数が5回以上になると小さくなっていた。したがって、反射回数は建物の密度とはあまり関係無く、道路端の騒音レベルが一定値になり、反射回数を増やしてもその変化量が小さくなる5回が適当な反射回数であると考えられる。

なお、地表面反射の影響は考慮していない。

4.3 反射深さの設定

SoundPLAN には障害物の上方回折をした後の反射についても考慮する機能がある。その際に飛び越える障害物の数を反射深さと呼んでいる（図2参照)。反射深さを 0～9 まで変化させて計算を行った。このときの反射回数は5回を採用した。その結果、これ以上反射深さを増やしても計算値がほとんど変化しない反射深さ3が適当であると考えた。

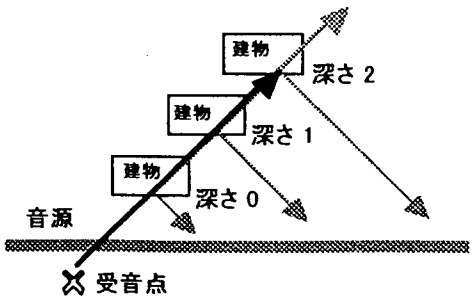


図2 反射深さの概念図

4.4 建物壁面の吸音率を変化させた場合の計算値と実測値の比較

「4.2」と「4.3」の結果から、反射回数を5回、反射深さを3とした。、これら以外の計算条件として、壁面の吸音率を 0.2、0.3、0.4 と変化させた。幹線道路以外の騒音の影響については暗騒音として一律に補正し、実測値との比較を行った。暗騒音は文献 1)と同様の 40dB とした。

B地域について解析した結果を図 3 に示す。道路端の数値を比較すると、その差は 0.3dB で非常に良く一致している。道路端からの距離が 60m 以内の範囲では、吸音率 0.3 の時に差が一番小さく±1dB 程度で良く一致している。それ以降 100m までは計算値の方が小さい。実測値の結果には、道路端からの距離が 66m 以上のところで、距離が離れるにしたがい測定値が大きくなる傾向が見られる。これは他の幹線道路からの影響と考えられる。

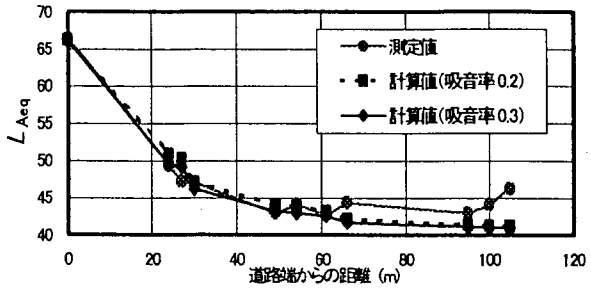


図3 実測値と計算値(暗騒音補正)の比較 (B地域)

C地域について解析した結果を図 4 に示す。道路端の数値を比較すると、その差は 0.8dB で非常に良く一致している。吸音率を 0.4 に設定したときが差が一番小さく±2dB 以内であった。最適な吸音率がB地域と異なった理由は周辺環境の違いが現れたものと考えられる。現地調査を行ったところ、沿道には 20m 位の街路樹があり、道路に面した住宅には垣根や植木、木立があり、吸音性の高い環境であった。

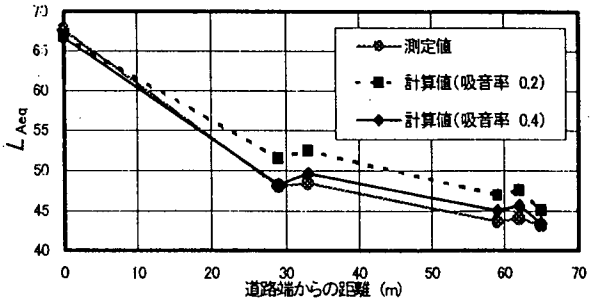


図4 実測値と計算値(暗騒音補正)の比較 (C地域)

5. まとめ

ドイツ連邦共和国で制定されている沿道騒音防音指針 RLS-90 を用い日本の市街地の騒音予測を行い、その適合性を調べた。

SoundPLAN を用いて予測する場合、反射回数は5、反射深さは3の時に、建物壁面の吸音率はB地域で 0.3、C地域で 0.4 と設定すれば実測値と良く整合した。

参考文献

1)上坂他：幹線道路に面した市街地における騒音レベルの計算方法、日本音響学会騒音・振動研究会資料 N-98-67

2)道路交通騒音の予測モデル "ASJ Model 1998" 日本音響学会誌 55.4 号 pp.281-324 (1999).

（３１） 二層式排水性舗装の騒音低減効果について

○近藤 升、大西博文（建設省土木研究所）服部利周（建設省中部技術事務所）
石川賢一、中埜智親（オリエンタルコンサルタンツ）

１．はじめに

沿道での騒音対策として排水性舗装を用いる場合の最大の課題は，空隙の閉塞に起因した騒音低減効果の低下である。騒音低減効果を持続させるためには，初期の効果を高めることと空隙が閉塞しにくい構造にすることが考えられる。この両方の面から，近年二層式排水性舗装（以後，二層式という）が注目されている。二層式[1)]は上層に比較的小粒径の骨材を，下層に比較的大粒径の骨材を使用し，上層に騒音低減効果を下層に耐久性を期待するものである。二層式の騒音低減効果を確認するため，本稿では名古屋市内の国道302号に敷設した二層式と，ほぼ同時に隣接する区間に施工された通常の排水性舗装（以後，一層式という）についての調査結果を報告する。

２．騒音測定の概要

調査した排水性舗装の概要を表－１に，調査概要を表－２に示す。なお，今回の調査は当該区間の供用前に試験車を用いて行った。

表－１ 舗装概要

項目	二層式排水性舗装		一層式排水性舗装
施工延長	１４０m		８０m
最大骨材粒径	上層	５mm	１３mm
	下層	１３mm	
空隙率	上層	２３%	２０%
	下層	２５%	
舗装厚さ	上層	２cm	５cm
	下層	３cm	

表－２調査概要

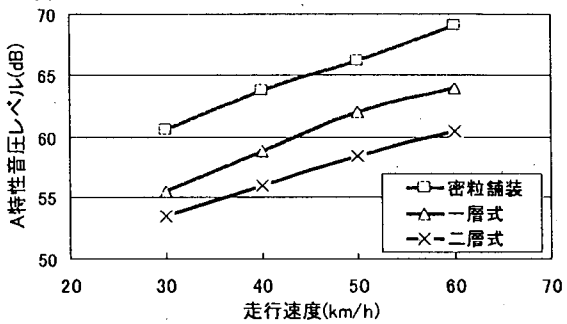
調査項目	調査方法
路側の騒音レベル調査	乗用試験車を使用 (速度：30～60km/h,10km/h 刻みの定常走行) 測定点：走行車線中心から 7.5m、高さ 1.2m
タイヤ近接音調査	乗用試験車を使用 (速度：30～60km/h,10km/h 刻みの定常走行) 後方左タイヤ中心から 45° に 20cm 外側、路面から高さ 10cm にマイクロホン設置
スピーカ伝搬調査	無指向性マイクロホンを使用 測定点：水平方向 0,5,10,15,20,30,40,50m 高さ：1.2m

３．騒音測定結果

３－１路側での騒音レベル調査結果

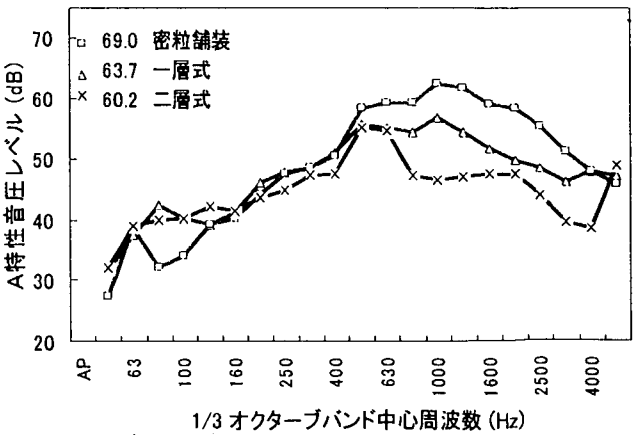
舗装種類別に路側で測定した騒音レベルを図－１に，走行速度 60km/h の時の周波数別の音圧レベルを図－２に示す。なお，密粒舗装の騒音レベルは建設省土木研究所試験走路において同一の乗用試験車を走行させた時の調査結果である。

二層式，一層式とも，走行速度が増すにつれ密粒舗装との騒音レベルの差（騒音低減効果）は広がる傾向にあった。常用試験車の騒音測定結果から求めたパワーレベル式は，一層式が 31logV+35，二層式が 27logV+31 であった (V：走行速度)。走行速度 60km/h の時の騒音低減効果は一層式では 5.2dB，二層式では 8.6dB であった。



図－１ 密粒,一層式,二層式の速度別騒音レベル

走行速度 60km/h の時の騒音低減効果は，一層式では 2kHz で 8.6dB，二層式では 1kHz で 16dB でそれぞれ最大であった。また，ピーク周波数は，一層式が 500－1kHz に対して，二層式は 500－630Hz にあった。



図－２ 密粒,一層式,二層式の周波数別音圧レベル(60km/h)

３－２タイヤ近接音調査結果

*Noise Reduction Effect of The Double-layer Porous Road Pavement,
by Noboru Kondo, Hirofumi Ohnishi, Toshichika Hattori, Kenichi Ishikawa and Tomochika Nakano

タイヤ近接音の速度毎の騒音レベルを図－3に，走行速度 60km/h の時の一層式と二層式の周波数別の騒音レベルを図－4に示す。

調査した速度範囲では、二層式と一層式の騒音レベルは走行速度の上昇とともに同様に上昇し，その差は約 2.5dB であった。

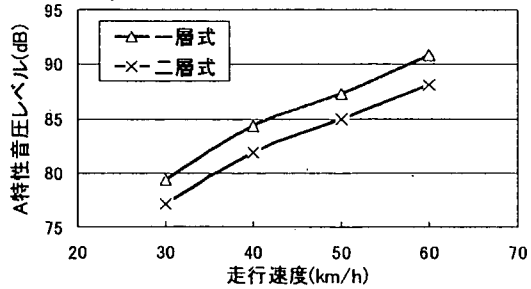


図-3 一層式,二層式の速度別タイヤ近接音

一層式と二層式の周波数特性をみると，調査した速度範囲ではほぼ全域で二層式の方が音圧レベルは小さかった。また，ピーク周波数は路側での騒音レベルとほぼ同様で一層式では 1kHz で，二層式では 630Hz であった。

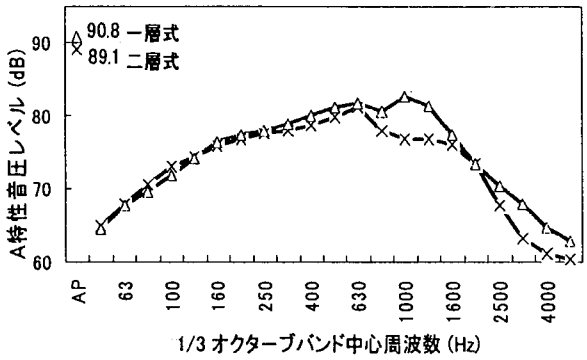


図-4 一層式,二層式のタイヤ近接音の周波数特性 (60km/h)

3－3スピーカー伝搬音調査結果

点音源の距離減衰特性(逆二乗則)と比べた一層式，二層式の騒音伝搬過程における距離減衰特性を図－5 に示す。なお，合成値はスピーカーからの伝搬音を道路交通騒音の代表スペクトル[2] により重みづけをしたものである。

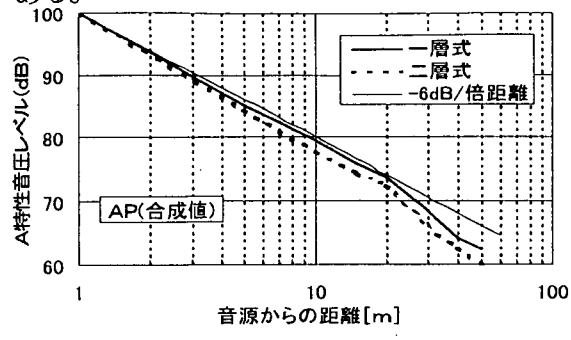


図-5 一層式,二層式の伝搬過程における減衰量比較

合成値の伝搬過程における過剰減衰量は，二層式の方が一層式より大きかった。二層式の過剰減衰量は，スピーカーから 5m の距離で 1.8dB，10m で 2.4dB であった。これに対して一層式の過剰減衰量は 5m の距離で 0.9dB，2dB 以上の過剰減衰が現れたのは 30m の距離であった。

周波数別に二層式と一層式の過剰減衰量を比べると，二層式は 2kHz で卓越して大きかった。例えば，スピーカーから 5m の距離での 2kHz の過剰減衰量は，一層式が 1.8dB であったのに対して二層式は 8.0dB であった。

4．考察

二層式は一層式に比べ，路側での騒音レベルで約 3dB の騒音低減効果があった。周波数別での二層式の一層式に対する騒音低減効果は，路側での騒音レベル，タイヤ近接音の両方とも 1kHz と 3.15kHz 付近で大きかった。これは、二層式，一層式の骨材粒径と空隙率の違いが影響していると思われる。また，二層式の騒音伝搬時の過剰減衰も一層式に比べて大きいことから，その分路側での等価騒音レベルも小さくなると考えられる。

5．今後の課題

今回の測定結果から二層式の騒音低減効果が確認されたが，今後その持続性と，粒径の小さい骨材を使用しているため耐久性を確認しなければならない。また，二層式の騒音低減効果要因として骨材粒径に起因する部分と空隙率に起因する部分を明確に分離し，より騒音低減効果の大きい構造を提案したい。なお，同じ調査地点で供用後の L_{Aeq} を測定し，これによる騒音低減効果を調査する必要がある。

参考文献

1)Ulf Sandberg「Low noise road surface－A state-of-the-art review」J. Acoust. Soc. Jpn. (E)20, 1(1999)

2)日本音響学会道路交通騒音調査研究員会「道路交通騒音の予測モデル “ASJ Model 1998”」，日本音響学会誌 55 巻 4 号(1999),p.281-324

（３２）排水性舗装の空隙率測定方法と吸音率の関係について

◎青木　理恵、近藤　升、大西　博文（建設省土木研究所）

1. はじめに

排水性舗装の騒音低減効果には舗装空隙による吸音が影響しており、空隙率が大きくなるにつれてその吸音率も大きくなることが分かっている[1]。空隙率と吸音率の間には相関関係があり、空隙のうち連続空隙が特に吸音に寄与していると考えられている。しかし舗装体における空隙率の測定方法は数種類あり、連続空隙よりも全体空隙の方が測定が容易である。

そこで本稿では、数種類の排水性舗装のコアサンプルの空隙率をさまざまな方法によって測定し、全体空隙率および連続空隙率と吸音率との相関をそれぞれ比較することにより、排水性舗装の空隙率と吸音率を検討する際の適切な空隙率及びその測定方法について考察した。

2. 空隙率と吸音率の測定

土木研究所の試験走路内に敷設された各種排水性舗装（設計空隙率：11%、14%、17%、20%、23%、26%）からコアサンプルを５個ずつ採取し、全体空隙率および連続空隙率をそれぞれ３種類の測定法により求めた。全体空隙は嵩体積（コア内の全空隙を含むコアサンプルの体積）からアスファルト混合物体積を差し引いて求め、連続空隙は嵩体積およびアスファルト混合物体積と閉塞空隙体積の和を差し引いて求められる。

また平均吸音率は、２マイクロフォン管内法を用いて測定した周波数帯別垂直入射吸音率に道路交通騒音のスペクトルで重みづけて求めた。

2.1 全体空隙率の測定

嵩体積を求める場合、ノギスによる測定法と、コアサンプルをパックで密封する真空パック法がある[2]。今回は真空パック法を用いる際、さらに次の２種類の方法で測定を行った。

1)パックに包まれたコア全体の体積を気相置換法により求めた後パックの体積を差し引くことにより求めた。

2)パックに包まれたコア全体の空中重量と水中重量との差（浮力）を求め、それから算出する方法：

嵩体積（V）
コアの空中重量（A）
真空パックしたコアの空中重量（D）
真空パックしたコアの水中重量（E）
パックの嵩比重（S）
水の密度（ρ）

$$V = [D - E - \{(D - A) / S\}] / \rho$$

1)、2)の方法とも、この嵩体積と理論最大密度と乾燥重量から求まる混合物体積との差を全体空隙とした。

2.2 連続空隙率の測定

アスファルト混合物と閉塞空隙体積の和を求める方法には、嵩体積と同様の気相置換法と、水を連続空隙内に浸透させた状態でコアの水中重量を計測する水置換法の２種類がある。ノギス法と合わせた以上３種類の方法により求められた空隙率の測定値を表-１に示す。またそれらの値は異常値を除外して平均したものである。

3. 測定法別吸音率と空隙率の相関関係

表-１の値より、各測定法による全体及び連続空隙率と平均吸音率との相関を示したものがそれぞれ図-１、図-２である。

これらの図より平均吸音率と空隙率の相関を見ると、空隙率のいずれの測定法の場合でも0.94～0.97と非常に大きい相関係数を示した。

＊" Relationship between porosities measured by some methods and absorption coefficients of the drainage asphalt pavements " by Rie Aoki, Noboru Kondo, Hirofumi Ohnishi(Public Works Research Institute , Ministry of Construction)

全体空隙率と平均吸音率の回帰式は

α_{ave}=0.0156υ_t-0.0445（ﾊﾟｯｸ水中）

α_{ave}=0.0171υ_t-0.1008（ノギス法）

α_{ave}=0.0137υ_t-0.0266（ﾊﾟｯｸ気相）

連続空隙率と平均吸音率の回帰式は

α_{ave}=0.0171υ_c-0.0344（ﾊﾟｯｸ水中＋水中）

α_{ave}=0.0191υ_c-0.025（ノギス法＋水中）

α_{ave}=0.0139υ_c-0.0374（ﾊﾟｯｸ気相＋気相）

α_{ave}：平均吸音率

υ_t：全体空隙率

υ_c：連続空隙率

となっている。

また空隙率については、連続空隙率の場合値が測定方法により大きく変わるが、全体空隙率の場合は測定方法による値の差は小さい。

4. まとめ

排水性舗装の吸音率には空隙の連続性が寄与していると考えられていることから、吸音率との相関を求める際には連続空隙率を用いる方がよいと考えられていた。しかし今回の調査結果から全体空隙率と吸音率との相関は連続空隙率と吸音率の相関と大きな差がないことが確認された。また連続空隙率はその測定方法により値が不安定であること、さらに全体空隙率は最も簡易な測定法であるノギス法だけにより求めることが出来ることを考慮すると、ノギス法により計測した全体空隙率を用いて平均吸音率を推定することが実用上からも適当であると考える。

参考文献

1）大西、近藤、藤原、高木：多孔質舗装の吸音特性と騒音低減効果、日本音響学会 1999 年秋期研究発表会講演論文集、1999.9

2）鈴木、高橋、峰岸、梶谷：開粒度アスファルト混合物の密度試験方法の提案、舗装 No.31、1996.10

表-1 排水性舗装の測定法別空隙率と平均吸音率

設計空隙率(%)	全体空隙率(%)			連続空隙率(%)			平均吸音率
	ノギス法	パック気相	パック水中	ノギス法＋水中	パック気相＋気相	パック水中＋水中	
11	12.54	9.48	10.12	7.30	10.88	4.74	0.13
14	14.20	13.60	12.08	8.61	12.82	6.36	0.14
17	18.70	17.13	16.00	12.44	17.93	9.56	0.17
20	20.22	20.36	18.50	14.37	20.16	12.52	0.27
23	20.90	20.18	19.68	14.94	21.82	13.61	0.27
26	23.92	24.52	22.94	17.47	24.80	16.41	0.31

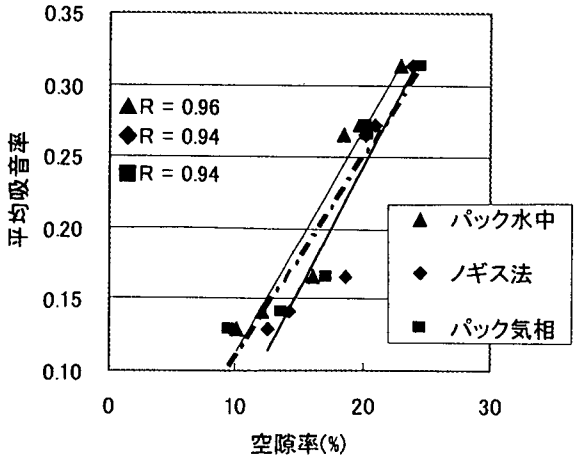


図-1 排水性舗装の測定法別全体空隙率と平均吸音率の相関

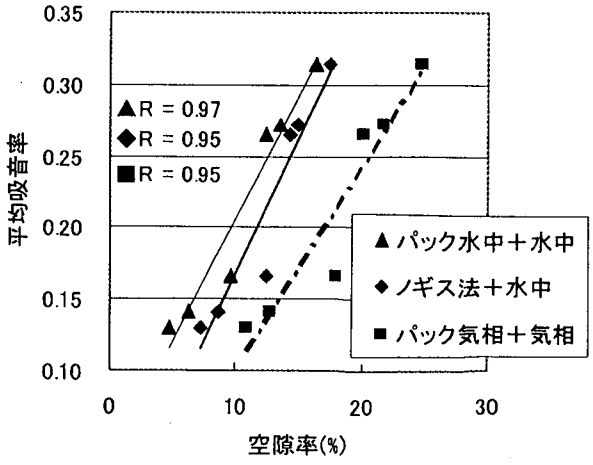


図-2 排水性舗装の測定法別連続空隙率と平均吸音率の相関

（３３）建物群背後における道路交通騒音の予測・評価*

○上坂克巳，大西博文（建設省土木研究所），千葉隆（㈱公共計画研究所），
高木興一（京都大学）

１．はじめに

新たな「騒音に係る環境基準」[1]では，「道路に面する地域」の基準値は，幹線交通を担う道路に近接する空間（以下「幹線道路近接空間」という）とその背後地（以下「背後地」という）とに区別して示された。その結果，特に背後地においては，沿道の建物群による道路交通騒音の遮蔽，散乱効果を考慮した予測・評価方法が必要となっている。

筆者らは建物群が立地する市街地における道路交通騒音の実用的な予測・評価方法を提案している[2)3)4)]。本稿では，これらの方法の概要と開発のねらいを述べる。また，幾つかの適用場面を想定し，予測方法の簡略化の例を紹介する。

２．建物群背後における区間評価のねらい

図－１①のように，地方部等において複数の建物が十分な間隔をおいて立地している場合は，原理的には特定地点での騒音予測が可能である[2)]。

しかし，図－１②のように受音点から音源を見通せないほど建物が密集すると，特定地点での L_{Aeq} 計算は事実上不可能に近い。これは第１に建物群による多重回折，散乱の影響を計算することが困難なこと，第２に計算に必要な建物の形状，表面性状を多数の建物を対象に調査，設定するのが現実的でないことによる。

一方，建物群背後の L_{Aeq} は受音点位置により複雑に変化するため，評価区間（(1)式参照）の代表地点を選定して予測・評価することが困難である。

そこで，建物群背後における騒音レベルの評価指標として区間平均等価騒音レベル[2)3)]（Section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level, $SA\cdot L_{Aeq}$ または $\overline{L_{Aeq}}$）を用いる。

$$\overline{L_{Aeq}} = 10\log_{10}\left(\frac{1}{x_2-x_1}\int_{x_1}^{x_2} 10^{L_{Aeq}(x)/10}\,dx\right) \quad (1)$$

$\overline{L_{Aeq}}$ [dB]は，道路端から一定距離隔たった一定高さの評価区間（$x_1 \sim x_2$）が一定時間に受ける音のエネルギーを，時間的かつ空間的に平均した場合の騒音レベルである。

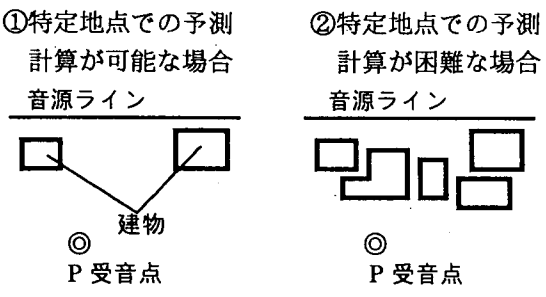
（注）騒音に係る環境基準では，道路に面する地域の環境基準の達成状況の評価は，地域内の住居等のうち基準値を超過する戸数および超過する割合を把握して行うとされている。このように環境基準の達成状況を多くの建物について面的に算出する場合，(1)式は特に有効である。

また，建物群による減音効果を表す指標として，それらの有無による $\overline{L_{Aeq}}$ の差である区間平均挿入損失[2)3)]（Section-averaged Insertion Loss, $SA\cdot IL$ または $\overline{IL_{builds.}}$）を用いる。

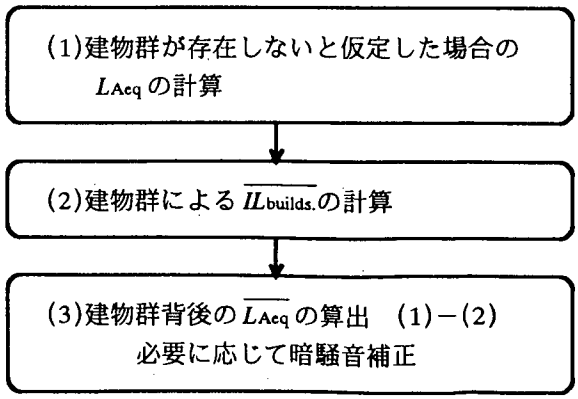
３．市街地のモデル化と基本的計算方法

3.1　計算の手順

建物群背後における評価区間の $\overline{L_{Aeq}}$ を算出する手順は図－２のとおりである。以下，この手順に沿って説明する。



図－１　建物群背後の特定地点での騒音予測[2)]



図－２　建物群背後における $\overline{L_{Aeq}}$ 計算の手順

*Prediction and Evaluation of Road Traffic Noise in Built-up Areas
By Katsumi UESAKA, Hirofumi OHNISHI (Public Works Research Institute, Ministry of Construction), Takashi CHIBA (Public Planning & Policy Studies, Inc.) and Koichi TAKAGI (Graduate School of Engineering, Kyoto University)

3.2 建物群が存在しないと仮定した場合のL_{Aeq}の計算

ここでは十分長い直線道路を対象とする。建物群が存在しないと仮定した場合，評価区間の L_{Aeq} は受音点位置にかかわらず一定とした。

(1)道路交通条件から予測する場合

環境アセスメント等において将来の騒音レベルを予測するときは次式による[3)5)]。

$$L_{Aeq} = L_{WA} - 3 - 10\log_{10}d - 10\log_{10}(1000V/N) \quad (2)$$

L_{WA}：走行車両のA特性パワーレベル[dB]

d：線音源（音源を設定する車線）から評価区間までの距離[m]，

V：車両の平均走行速度[km/時]

N：交通量[台/時]

(2)道路端などでの測定値から推計する場合

現状の騒音実態を推計する場合，道路端などでの測定値をもとに計算することもできる。

$$L_{Aeq} = L_{Aeq,0} - 10\log_{10}(d/d_0) \quad (3)$$

$L_{Aeq,0}$：測定地点での実測値[dB]

d_0：線音源から測定地点までの距離[m]

3.3 建物群による$\overline{IL_{builds.}}$の計算

3.3.1 計算方法開発のねらい

建物群による $\overline{IL_{builds.}}$ の計算方法開発にあたって留意した点は以下のとおりである。

1) 道路構造，受音点位置，建物群の高さ・立地密度に関する適用範囲が広いこと。

2) 道路に直面（一列目）した建物列（以下「道路近接建物列」という）と，その背後の建物群（以下「背後建物群」）（図－3参照）における建物密度の差異を計算に反映できること。

3) 種々の適用場面に応じた計算方法の簡略化が可能なこと。（4．参照）

4) 音源，受音点位置が変化した場合に計算値の連続性が確保されること。

3.3.2 市街地のモデル化

図－3に $\overline{IL_{builds.}}$ 計算のための市街地のモデル化を示す。ここでは，市街地を構成する建物群を道路近接建物列と背後建物群とに分類して，以下の5つのパラメータを設定した。

①道路近接建物列および背後建物群の平均高さ h [m]

②道路近接建物列の間隙率 α

③道路近接建物列の平均奥行き w_1[m]

④背後建物群の建物密度 β

⑤背後建物群の平均奥行き w_2[m]，道路近接建物列の後方壁面から，背後建物群の最後方壁面までの平均距離

α，βというパラメータを設定した理由は次のとおりである。

1) 道路近接建物列は，道路から市街地内へ伝搬する騒音を遮蔽する役割を有している。それが間隙を有する場合，市街地内へ伝搬する音のエネルギーの比率はαで表せると考えた。

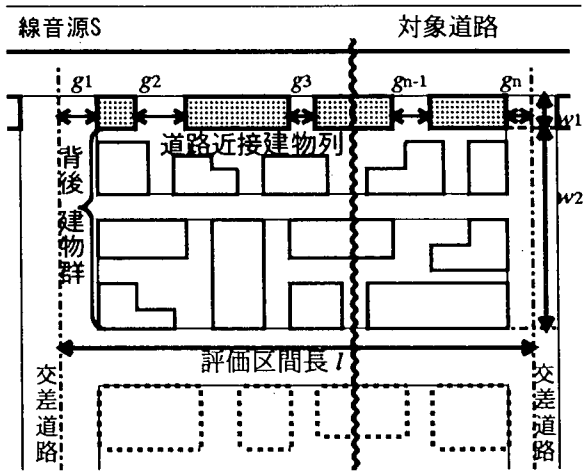
2) 背後建物群による超過減衰量の計算では，建物群による多重回折，散乱の影響を考慮する必要がある。この場合，建物密度がパラメータとして有効であることが従来の研究で明らかとなっている。

また，h というパラメータは，予測地点位置が高い場合や道路から離れている場合に，特に重要となる。

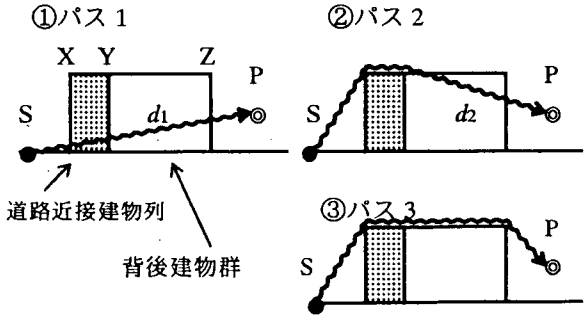
3.3.3 平面街路における一般的な計算方法

線音源 S から発生して市街地を伝搬する音の経路（パス）として，図－4の3つを考える。

ここで，パス 1，パス 2，パス 3 による音の寄与（Contribution,エネルギー量）を C_1，C_2，C_3 とし，建物群が存在しないと仮定した場合の音の寄与を C とすると，$\overline{IL_{builds.}}$ は以下の式で与えられる。



図－3　市街地のモデル化（平面図）[3)]



①パス 1：道路近接建物列の前面及び上面の間隙から入射し，背後建物群中を伝搬する音を表すパス

②パス 2：背後建物群の上面の間隙から入射し，背後建物群中を伝搬する音を表すパス

③パス 3：道路近接建物列および背後建物群の上方を伝搬する音を表すパス

図－4　市街地における音の伝搬パス

$$\overline{IL_{builds.}} = -10\log_{10}(C_1/C + C_2/C + C_3/C) \qquad (4)$$

$$\begin{cases} C_1/C = \alpha(1 - 10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10})10^{-\overline{\Delta L(\beta,\, d_1)}/10} \\ C_2/C = (1-\beta)(10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10} - 10^{-IL^{(LS)}_{SXZP}/10}) \\ \qquad \times 10^{-\overline{\Delta L(\beta,\, d_2)}/10} \\ C_3/C = 10^{-IL^{(LS)}_{SXZP}/10} \end{cases} \qquad (5)$$

$$\overline{\Delta L(\beta, di)} = 0.775\{\beta/(1-\beta)\}^{0.630} \times di^{0.859}$$

$IL^{(LS)}_{SXYP}$ および $IL^{(LS)}_{SXZP}$：線音源(Line Source)に対する無限長の連続した反射性厚み障壁（Reflective Wide Barrier）による挿入損失。これは文献 6)の点音源に対する減音量ΔL(RW)の計算式を用いて，障壁の有無によるユニットパターン[4]の積分値の差として求める。

$\overline{\Delta L(\beta,\, d_i)}$：パス i($i = 1, 2$)が背後建物群を通過する際の超過減衰量[dB]。

d_i：パス i の背後建物群中の通過距離[m][3]。

なお，α，βは次式で定義される。

$$\alpha = \left(\sum_{i=1}^{n} g_i\right)/l \quad , \quad \beta = \frac{A}{w_2 l} \qquad (6)$$

3.4 建物群背後の$\overline{L_{Aeq}}$の算出

建物群背後における評価区間の $\overline{L_{Aeq}}$ は，3.2で算出した L_{Aeq} から3.3で算出した $\overline{IL_{builds.}}$ を差し引いて求める。なお，地表面効果は無視した。

$$\overline{L_{Aeq}} = L_{Aeq} - \overline{IL_{builds.}} \qquad (7)$$

建物が密集した市街地では，騒音の距離減衰が大きいため，面的な騒音レベルの計算においては暗騒音の影響を考慮することが望ましい。暗騒音は測定することが理想であるが，一般的には騒音に係る環境基準[1]でいう昼間，夜間に対して，各々 50dB，40dB として設定すればよいと考える[3]。

4．$\overline{IL_{builds.}}$計算方法の簡略化例

4.1 受音点が低く道路端からの距離が小さい場合

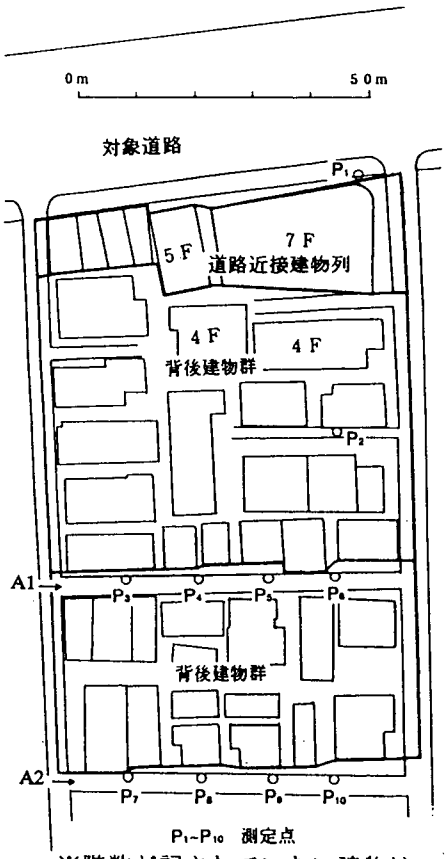
受音点が建物より低く道路端からの距離が 50m 程度以内の場合，$\overline{IL_{builds.}}$はパス 1 の寄与（図－4参照）のみを考慮し次式で計算できる[3]。

$$\overline{IL_{builds.}} = -10\log_{10}\alpha + 0.775\{\beta/(1-\beta)\}^{0.630} \times d_1^{\,0.859} \qquad (8)$$

実測値による(8)式の検証例を図－5，図－6に示す。深夜の測定なので暗騒音は 40dB と設定している。また，加来らの方法[7]や ISO 9613-2 の付録で示された方法[8]による計算結果も併せて示した。

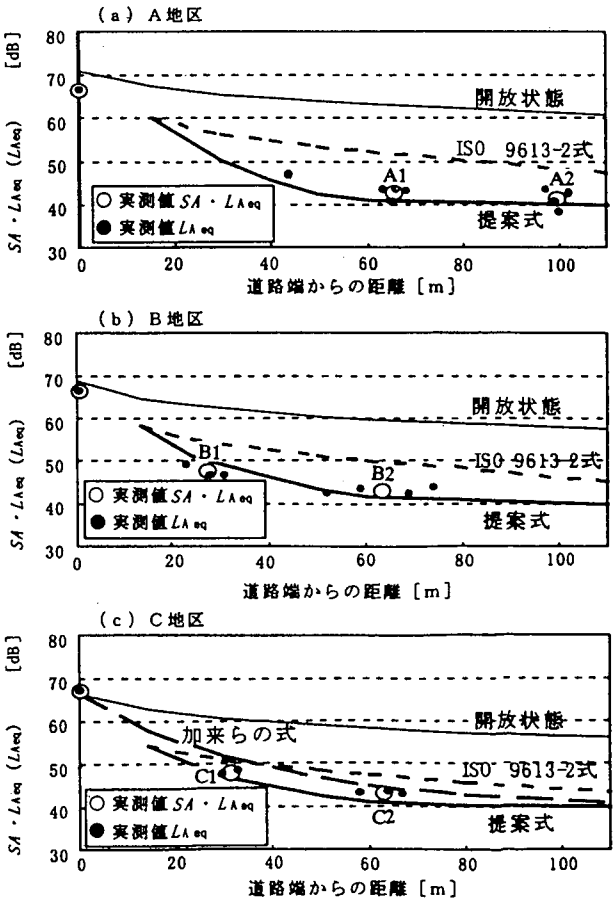
(8)式および加来らの方法による $\overline{L_{Aeq}}$ (SA･L_{Aeq}) 計算値は実測値とおおむね一致している。一方，ISO 9613-2 の方法で計算された減衰量は実測値より過小である。

なお，道路に面した丘陵地に建物群が立地する場合のように，道路から遠ざかるにつれ評価区間が高くなるときは(8)式は適用できない。



※階数が記されていない建物は
3階建て以下である。

図－5　現地実測箇所の例（A 地区）[3]



図－6　各種計算式と現地実測値との比較[3]

4.2 建物群の密度を均一とした場合のマクロ評価

幹線道路周辺の騒音レベルを全国レベル等で予測・評価する場合，特に背後地に関しては建物群のパラメータ設定が難題である。近年の GIS データの充実により，βの設定は比較的容易となりつつある。しかし，道路近接建物列と背後建物群とを分類して個別にパラメータを設定することは困難が伴う。

このような場合，対象とする建物群の密度を一様（βとする）とみなし，(8)式を近似的に改めた次式を用いて，背後地における $\overline{L_{Aeq}}$ を計算すればよいと考える。

$$\overline{IL_{builds.}} = -10\log_{10}(1-\sqrt{\beta}) + 0.775\{\beta/(1-\beta)\}^{0.630} \times (d_{road} - w_1)^{0.859} \quad (d_{road} \geqq w_1 \text{ の場合}) \quad (9)$$

d_{road}：道路端（ここでは道路近接建物列の道路側壁面位置と仮定）から評価区間までの距離[m]

ここで，w_1 は 15m 程度に設定するのが実用的と考える。その理由は以下のとおりである。

騒音に係る環境基準では，幹線道路近接空間は対象道路の車線数に応じて $d_{road} \leqq 15$ または $d_{road} \leqq 20$ の範囲とされ，背後地はそれ以遠とされている[9]。また，我が国の住宅の立地状況を考えると一戸建て住宅が多数立地する場合，w_1 はおおむね 15m 以下（10～12m 程度が多い）である。

したがって，w_1 を 15m 程度に設定すれば，第 1 に $\overline{IL_{builds.}}$を過大に見積もることをを防ぎ，第 2 に対象道路の車線数によらず背後地全域での(9)式適用が可能となると考えた。

4.3 道路近接建物列の遮蔽効果のみを考慮する場合

背後地において環境基準の達成度を評価する場合，特に幹線道路近接空間との境界（$d_{road} = 15$ or 20）付近における予測が重要となる。この場合，道路近接建物列の遮蔽効果だけを考慮して予測計算を行うことも考えられる。

このとき，(5)式に$\beta = 0$を代入すると，(4)式は以下のように簡略化できる。

$$\overline{IL_{builds.}} = -10\log_{10}\{\alpha(1 - 10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10}) + 10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10}\} \quad (10)$$

また，$IL^{(LS)}_{SXYP}$ の計算にあたっては，道路近接建物列の奥行きを無視し，建物を道路側の壁面からなる薄い障壁と考えて近似計算しても支障がない[2]。

さらに，受音点が建物より低い場合，(10)式は以下のように単純化される。

$$\overline{IL_{builds.}} = -10\log_{10}\alpha \quad (11)$$

5．おわりに

本稿では，遮音壁のない平面街路に面した市街地において，道路近接建物列と背後建物群の高さがおおむね等しい場合の計算方法を示した。遮音壁が設置された道路を対象とする場合や，道路近接建物列が背後建物群より高い場合の計算方法については，文献3)を参照されたい。

本提案式構築において，地面は完全反射とし地表面効果は無視している。また，建物壁面の吸音率は道路近接建物列で 0，背後建物群で 0.1 程度とし，完全反射に近い状態を想定している[2) 3)]。これらは計算方法を単純化するとともに，建物群による超過減衰を過大に見積もらないように配慮したものである。しかし，ドイツでは建物壁面の吸音率を 0.2 程度として予測計算する例[3)]もあり，提案式の予測精度については，今後現地実測データの蓄積により検証していく必要があると考える。

また，α，β等のパラメータの実用的な調査・設定方法も今後の課題である。

謝辞

本稿で紹介した予測計算式提案に際して有益な議論をいただいた（社）日本音響学会・道路交通騒音調査研究委員会の委員各位に感謝の意を表します。

参考文献

1)騒音に係る環境基準について，平成 10 年環境庁告示第 64 号（1998.9.30）

2)上坂克巳，大西博文，三宅龍雄，高木興一：道路に直面した単独建物および建物列後方における等価騒音レベルの簡易計算方法，騒音制御 Vol.23 No.6，pp.430～440（1999）

3)上坂克巳，大西博文，千葉隆，高木興一：道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベルの計算方法，騒音制御，Vol.23 No.6，pp.441～451（1999）

4)道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌，55 巻 4 号，pp.281～324（1999）

5)山本貢平，田近輝俊，高木興一，押野康夫，橘秀樹：ASJ Model 1998 による道路交通騒音の推計：その 1－単純モデルの検討－，日本音響学会講演論文集，pp.709～pp.710（1999.9）

6)上坂克巳，大西博文，三宅龍雄，高木興一：幹線道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法，騒音制御，Vol.23 No.3，pp.189～199（1999）

7)加来治郎，山下充康：騒音の市街地浸透に関する研究，日本音響学会誌，35 巻 5 号，pp.257～261（1979）

8)ISO9613-2，Acoustics － Attenuation of sound during propagation outdoors － Part2：General method of calculation, Annex A.3（1996-12-15）

9)騒音に係る環境基準の改正について，平成 10 年 9 月 30 日付環大企第 257 号

（３４）空隙率別排水性舗装の騒音低減効果と吸音特性

環境部　交通環境研究室
青　木　理　恵

1.まえがき

道路交通騒音対策には、道路構造にかかわるものとして、主に低騒音舗装による発生源対策と、遮音壁・高架裏面吸音板等の伝搬経路対策がある。しかし、伝搬経路対策は、その適応場所が限定される上、騒音低減効果に局地性（沿道において騒音低減効果が十分得られる場所と、ほとんど得られない場所がある）が存在する。

これと比較して低騒音舗装は、車両から発生する騒音自体を低減する発生源対策であるため、このような局地性は存在しない。また、寒冷地や高架道路における凍結などの一部の問題点を除くと、車両の走行安定性向上や、都市部におけるヒートアイランドの緩和等、様々な利点がある。

この排水性舗装では供用後経時的に空隙詰まりが進行することにより、騒音低減効果も低下する。このため、一定の騒音低減機能の保持を目的とした洗浄作業等が行われているが、顕著な機能回復は確認されていない。このため、供用後からの車両の累積台数、累積重量と空隙率の関連性、及び空隙率と騒音低減効果の関連性が検討されているところである。特に、排水性舗装の空隙率と騒音低減効果の関連性は、排水性舗装の維持・管理上明確にする必要がある。

さらに、将来的に環境影響評価等における騒音予測手法に、この排水性舗装の騒音低減効果を組み込むことを考えた場合、排水性舗装の空隙によるタイヤ・路面音の低減メカニズムと空隙率の関係、エンジン音の排水性舗装上の伝搬経路における吸音メカニズムと空隙率の関係を明確にする必要がある。

2.目的

本研究の目的は、土木研究所の試験走路に空隙率を変えた６種類の排水性舗装を敷設して空隙率の違いによる騒音低減効果を調査し、それらの騒音低減要因を把握し、道路交通騒音対策面から考慮した最適な低騒音舗装の設計に関する資料を得ることである。

3.研究方法

3.1　走行車両のパワーレベルの測定

試験走路に、密粒舗装(空隙率4%)と空隙率を11%、14%、17%、20%、23%、26%の６種類に変えた排水性舗装を敷設した。これら舗装の骨材には、６号砕石（骨材粒径5～13㎜）を使用し、舗装厚さは5cmとして、車両走行騒音のパワーレベルの測定調査を行った。

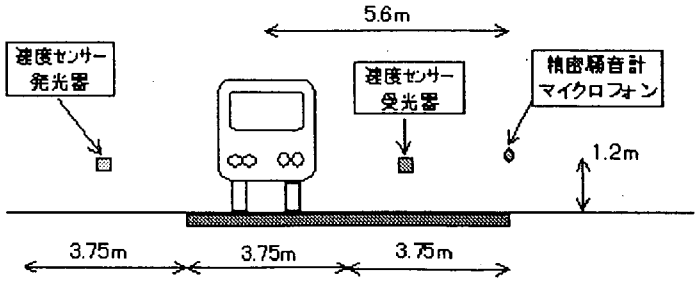


図-１　ﾏｲｸﾛﾌｫﾝ、速度ｾﾝｻｰ等の配置図（断面図）

試験車両は大型貨物車（積載重量10t・定積載）と乗用車を用いた。試験車両の走行速度は４種類（40,60,80,100km/h）とし、速度センサーによって計測した速度が目標速度の±5%以内に収まったものを速度毎に各５データ採用し、それらの算術平均値を速度毎の騒音レベルとした。走行方法は定常走行及び惰性走行の２種類とした。また騒音測定は、車両走行中心線から側方5.6m、高さ1.2mの位置で行った（図-１参照)。

3.2　吸音率の測定

各種舗装からコアを採取し、２マイクロフォンインピーダンス測定管を用いた管内法により複素音響インピーダンス比を測定し、垂直入射吸音率を求めた。

4.研究結果

4.1　空隙率の違いによる試験車走行騒音の低減効果の変化

排水性舗装の空隙率と大型車、乗用車の定常走行時における騒音低減効果の関係を図-2,3に示す。なお、ここでいう効果とは試験車が密粒舗装上を走行するときのパワーレベルから排水性舗装上を走行するときのパワーレベルを差し引いたものである。また、この場合のパワーレベルは、騒音測定上舗装体の吸音による減音も含まれているため、見かけ上のパワーレベルとなる。

4.1.1大型車の騒音低減効果

大型車の騒音低減効果は、40～100km/hの全ての速度で空隙率が23%の排水性舗装の効果が最も大きく、3.7～4.7dBであった。最も空隙率の大きい26%の効果は2.5～4.4dBと23%よりもやや小さかった。空隙率が23%から14%まで小さくなるにつれて効果も徐々に低下し、空隙率が11%になると効果は0.1～2.2dBとかなり小さくなった。また、速度が速くなるとともに効果も大きくなり、各速度の空隙率の違いによる効果の差は縮まった。その理由として、高速走行時では全体のパワーレベルに対して排水性舗装が主として減音効果を発揮するタイヤ／路面音の寄与が大きくなることが考えられる。

4.1.2乗用車の騒音低減効果

乗用車では40～100km/hの全ての速度で空隙率が23%の効果が最も大きく、3.6～5.1dBであった。最も空隙率の大きい26%の効果は3.1～4.8dBと23%よりもやや小さかった。速度の違いによる効果の差は空隙率が11%と14%ではほとんどなく、11%で約1dB、14%で約2.5dBの効果であった。しかし、空隙率が26%では速度100km/hで4.8dB、速度40km/hで3.1dBの効果であるからその差は1.7dBとなり、空隙率が大きくなるとともに速度の違いによる効果の差は広がった。

また大型車（図-２）の場合、高速域では空隙率20%と23%は同程度で最も高い効果を示したが、低速域では空隙率23%の効果が大きかった。空隙率26%のものは23%より効果が小さかった。乗用車（図-４）の低速域では空隙率20～26%まで効果はほとんど同程度で最も大きかったが、高速域では空隙率23%のものが最も効果があった。これらを考慮して総合的に判断すると、空隙率23%のものが最も効果のある排水性舗装だと考えられる。

4.2　空隙率の違いによる駆動機関音の変化

惰性走行騒音は主としてタイヤ/路面音からなっている。一方、定常走行騒音から惰性走行騒音を差し引いたものは、エンジン音や吸排気音等からなっている（以後、駆動機関音という）。また密粒舗装と３種類の空隙率（11%、20%、23%）の排水性舗装上を走行する自動車の騒音パワーレベルを上記のタイヤ/路面音と駆動機関音のパワーレベルに分けて、大型車に関して図-４～７に、乗用車に関して図８～11に示す。

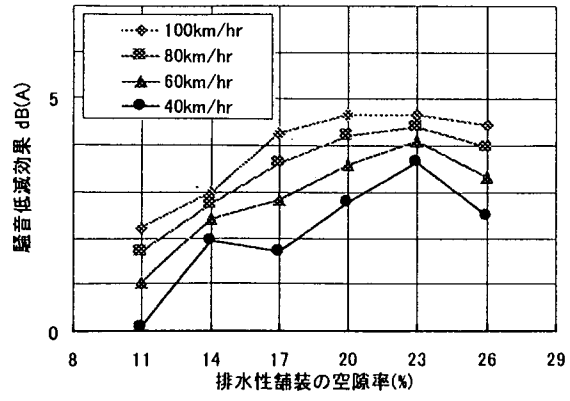


図-２　大型車の定常走行時の騒音低減効果

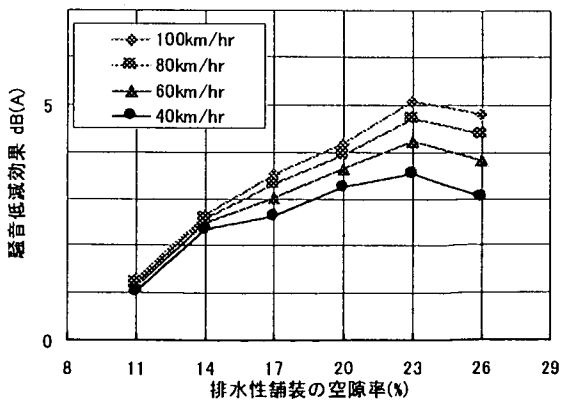
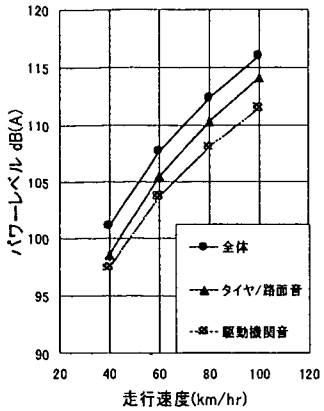
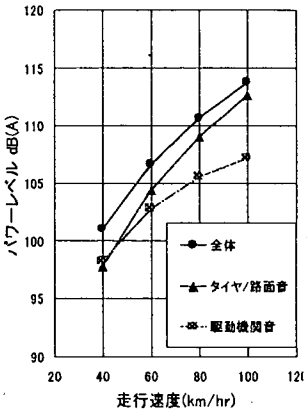


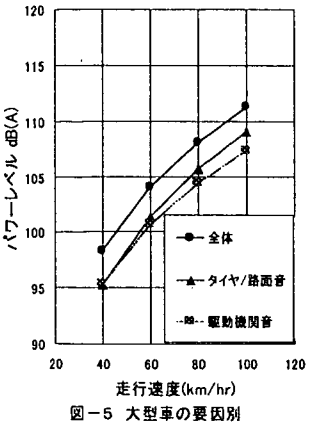
図-３　乗用車の定常走行時の騒音低減効果



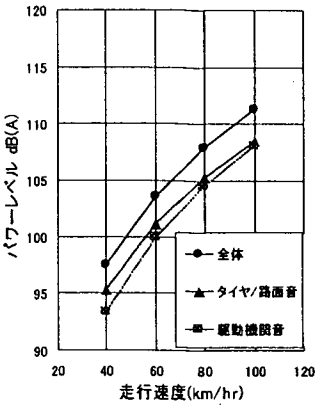
図－3 大型車の要因別パワーレベル(密粒舗装)



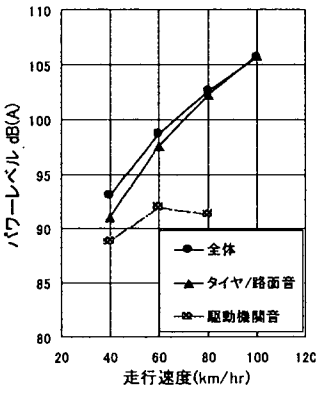
図－4 大型車の要因別パワーレベル(空隙率11%)



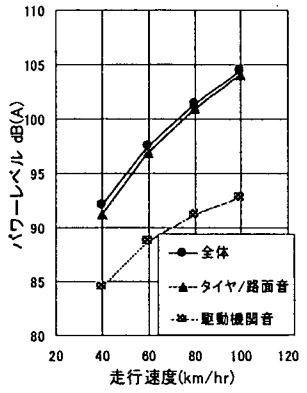
図－5 大型車の要因別パワーレベル(空隙率20%)



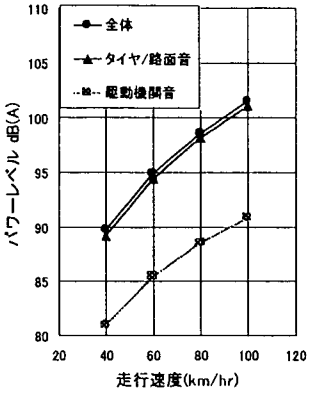
図－6 大型車の要因別パワーレベル(空隙率23%)



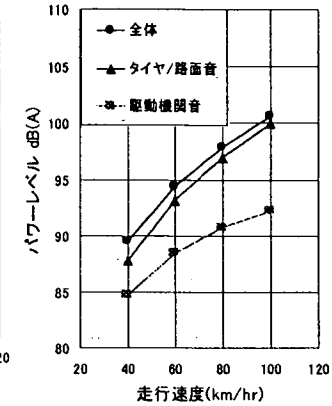
図－7 乗用車の要因別パワーレベル(密粒舗装)



図－8 乗用車の要因別パワーレベル(空隙率11%)



図－9 乗用車の要因別パワーレベル(空隙率20%)



図－10 乗用車の要因別パワーレベル(空隙率23%)

4.2.1大型車の騒音低減効果

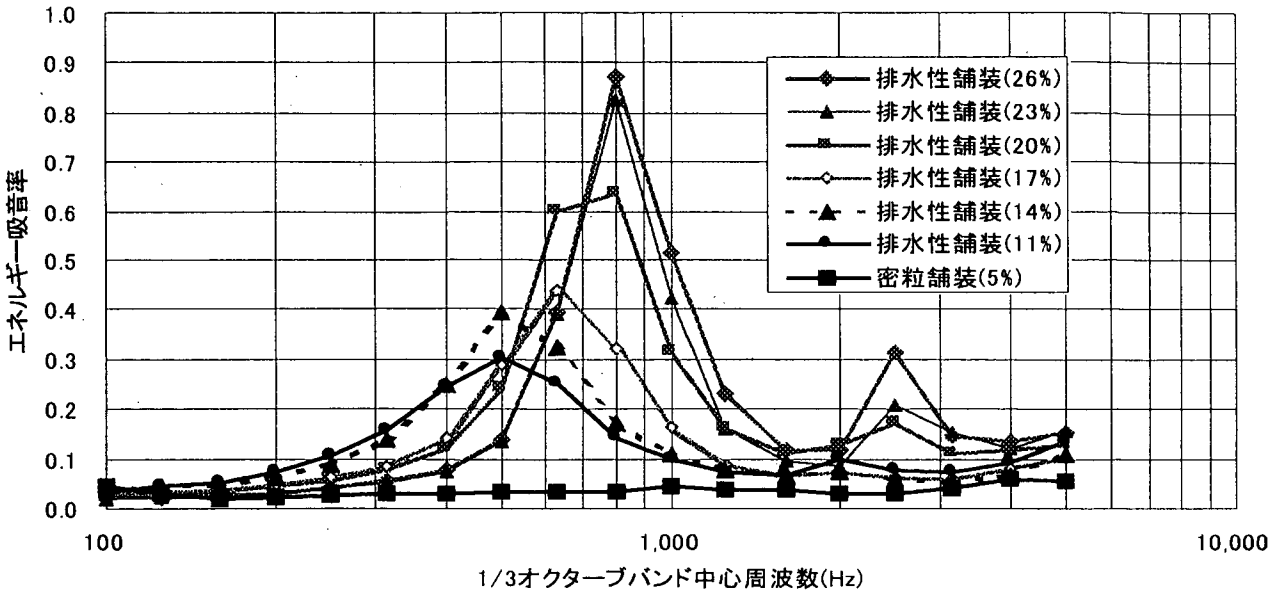
図-４～７より、大型車においては密粒舗装、排水性舗装とも全ての速度でタイヤ/路面音が駆動機関音を上回っていた。ただし、速度40km/hの時は両者とも同程度のパワーレベルであった。また、タイヤ/路面音と駆動機関音の差は、密粒舗装と空隙率11%では比較的大きかったが、速度が大きくなるにつれてその差は縮まり、空隙率の大きい20%と23%ではほぼ同程度にまで小さくなった。どの空隙率の排水性舗装の場合においても高速域での駆動機関音はあまり違わないが、空隙率が大きいものの方が空隙率が小さいものよりもタイヤ/路面音は小さくなっており、その結果空隙率が大きいものの方が全体のパワーレベルも小さくなった。

4.2.2乗用車の騒音低減効果

図-８～11より、乗用車においては密粒舗装、排水性舗装とも全ての速度でタイヤ/路面音が駆動機関音を大きく上回っていた。これは、乗用車のパワーレベルではタイヤ/路面音が支配的であり、駆動機関音があまり寄与していないためである。駆動機関音は空隙率が11%でも23%でもあまり違わないが、タイヤ/路面音は空隙率が23%の方が11%より小さくなっており、その結果全体のパワーレベルも空隙率が23%の方が小さくなった。

4.3 空隙率の違いによる吸音特性の変化

空隙率別の各種排水性舗装の垂直入射吸音率を図-12に示す。吸音率のピーク値は空隙率が大きくなるとともに約0.3から約0.9へと大きくなり、ピークを示す周波数も500Hzから800Hzへと広域へ移動した。また、空隙率が20%以上になると吸音率のピーク値は約0.3から約0.4と比較的小さかった。また、密粒舗装については、全ての周波数域で吸音率は0.1未満でありピークは認められなかった。なお、空隙率が20%以上になると第２のピークが2,500Hz辺りに現れた。



図－13 空隙率別排水性舗装の吸音特性

表-1　道路交通騒音に対する平均吸音率

空隙率	密粒舗装	11%	14%	17%	20%	23%	26%
吸音率	0.03	0.11	0.12	0.13	0.19	0.18	0.21

これによると、大きいピーク値を持つ空隙率が20%以上の排水性舗装は、平均吸音率が0.18～0.21と比較的大きな値を示した。一方、ピーク値が小さい空隙率が17%以下の排水性舗装の平均吸音率は0.11～0.13と小さかった。なお、密粒舗装の平均吸音率は0.03と非常に小さかった。

5.まとめ

大型貨物車の定常走行時は、排水性舗装の騒音低減効果と空隙率の関係では、全ての走行速度において空隙率23%のものが効果が最も大きかった。惰性走行では、空隙率23%のものと26%のものが最も騒音低減効果が大きかった。乗用車の場合は、定常走行時及び惰性走行時とも、全ての走行速度で空隙率23%のものが騒音低減効果が最も大きかった。よって、大型貨物車、乗用車を含めた評価では、排水性舗装の空隙率が23%で最も騒音低減効果が大きくなると認められる。

以上のように排水性舗装では、その騒音低減効果において空隙率の最適値の存在が示唆された。一般には空隙率が大きいほど騒音低減効果は上がると考えられてきたが、今回の結果では空隙率23%のものが最適であり、26%にまで空隙率を上げると逆に効果が低減することが分かった。一方、吸音特性では空隙率26%のものが最も高い吸音率を示した。これは、空隙率以外の要因が空隙率23%の場合にタイヤ／路面音を最も大きく抑制していることを示している。これは、空隙率が26%まで上がると路面テクスチャーが荒くなり、タイヤ加振音が増大するのが原因ではないかと考えられるが、これは今後確認する必要がある。排水性舗装は供用に伴い空隙率が徐々に低下することを考えると、空隙率が大きい方が効果の持続性は良くなるので、この視点からも排水性舗装敷設時の空隙率は23%とすることが適当であると考えられる。また空隙率14%までは2～3dBの騒音低減効果が見られるが、空隙率が11%まで下がってしまうとその効果は約1dB程度まで落ちてしまうため、空隙率が14%程度までは効果があると考えてもよいと思われる。

上記の考察は排水性舗装の敷設時に空隙率を調整した場合のものである。実際の道路では経時的に空隙率が低下するとともに舗装の表面性状も変化するわけであり、後者の騒音低減効果に対する影響も考慮して効果を検討することが望まれる。

（35）排水性舗装の自動車走行騒音低減効果

大西博文
（建設省土木研究所）

はじめに

道路交通騒音の低減対策として，現在排水性舗装が各地で施工されている。平成4年に「アスファルト舗装要綱」[1]が改訂され，排水性舗装の施工状態も一定の水準を維持できるようになってきた。さらに，その後の技術的蓄積も踏まえて，「排水性舗装技術指針(案)」[2]，「低騒音舗装の概説」[3]も発行されている。また，道路交通騒音の予測手法であるASJ Model 1998[4]が平成11年4月に日本音響学会により提案されており，この中で排水性舗装による騒音低減効果が考慮されている。一方では，排水性舗装の騒音低減効果は時間の経過とともに低下すると指摘されている。その効果の低下は，排水性舗装の空隙率が経時的に減少するためといわれているが，まだその実態は明らかにされていない。

本稿では最近の排水性舗装に関する調査研究成果を踏まえて，排水性舗装の自動車走行騒音低減効果について音源と伝搬過程に分けて述べるとともに，効果の持続性と空隙閉塞の関係についても言及する。

1. 音源における自動車走行騒音の抑制

1.1 騒音パワーレベルの低減

排水性舗装は連続した空隙を持つため，自動車走行騒音を低減させる効果を有する。この減音効果は，タイヤが路面上を転動するときタイヤのトレッドパターンの溝と路面に挟まれた空気が圧縮・膨張することにより発生するエアポンピング音を抑制すること，タイヤ路面音やエンジン音が路面と自動車の車体下面の間で多重反射するときに路面により吸音されること，さらに吸音性の路面上を自動車騒音が伝搬するときに過剰減衰が生じることによると考えられている。

本節では，道路交通騒音の予測手法であるASJ Model 1998にも述べられている排水性舗装の減音効果のうち音源における効果を騒音パワーレベルの低減として騒音測定データに基づき紹介する。同モデルでは道路舗装として密粒舗装を基本としているので，それに対する排水性舗装の補正方法を示すことになる。なお，ここでは騒音データが道路直近で測定されているため，上述の減音メカニズムのうち主として前二者による減音効果を扱うことになる。この

騒音データを分析した結果，密粒舗装に対する排水性舗装のパワーレベルの補正量を与える回帰式[5]は次のとおり得られている。

$$\Delta L_{WA,dr} = -3.5 \log_{10} V + 3.2$$

ここで，$\Delta L_{WA,dr}$：密粒舗装に対する排水性舗装のパワーレベルの補正量（dB），V：走行速度（km/h）である。なお，この式の適用できる範囲は，騒音データの得られた速度域，すなわち大型車類が40～120 km/h，小型車類が40～140 km/hである。図1[5]にこの関係を示す。

ASJ Model 1998のB法では，この式によるパワーレベルの補正に加えて，密粒舗装と排水性舗装とではパワースペクトルが異なるため密粒舗装と異なる回折補正量を用いる必要がある。そこで前川チャート[6]と排水性舗装のパワースペクトルを用いて，排水性舗装の回折補正量を計算したものを図2[5]に示す。

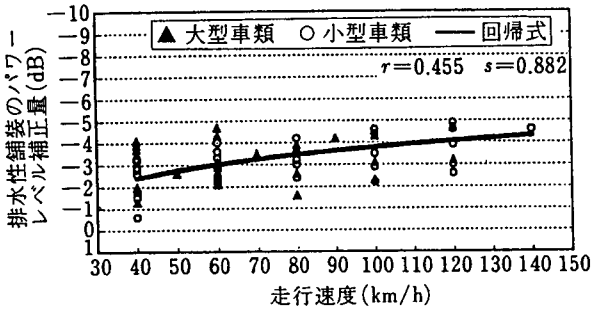


図1　排水性舗装のパワーレベル補正量

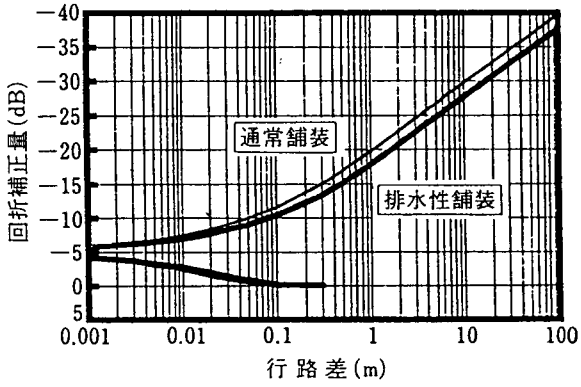


図2　排水性舗装の回折補正量

1.2　騒音パワーレベルの低減要因

次に，排水性舗装による騒音パワーレベルの低減に影響を及ぼす舗装の空隙率，厚さ，骨材粒径等の要因についてみてみよう。

(1)　空隙率

図3は厚さ5 cmの排水性舗装と密粒舗装において，小型車と大型車の騒音パワーレベルと舗装の空隙率の関係を示したものである。小型車の場合，走行速度にもよるが，空隙率が20%，25%のとき密粒舗装よりも騒音パワーレベルが約3～5 dB低くなる。空隙率が15%のときの低減量は，その半分の約1.5～2.5 dBにとどまっている。また，大型車の場合は，騒音パワーレベルの低減量は約2～3 dBで，空隙率の違いによる減音量の差はあまりみられない。これらから，騒音パワーレベルの低減量は，空隙率15%に比べ空隙率20%，25%の場

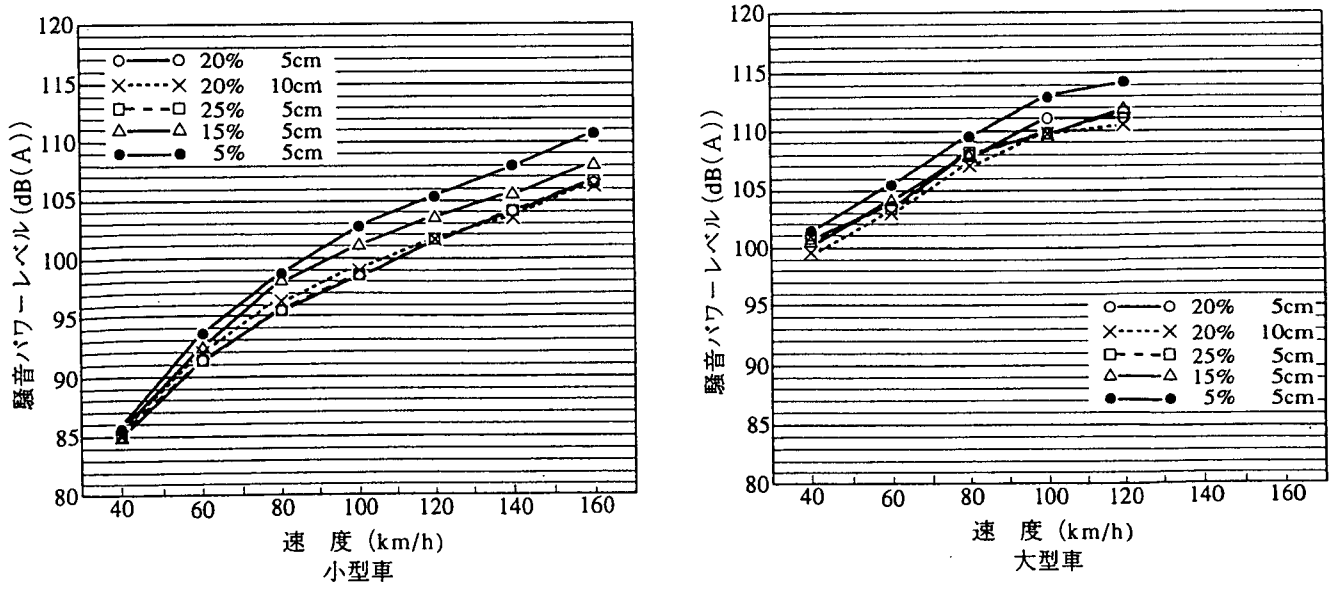


図3　各種舗装における騒音パワーレベル

合は大きいが，20%と25%では明らかな差は認められない。

(2) 舗装厚

表1は騒音パワーレベルの低減量と舗装厚の関係を示したものである。このときの空隙率は20%，最大骨材粒径は13 mmである。舗装厚が3 cm，5 cm，8 cmの場合の密粒舗装に対する排水性舗装の騒音パワーレベルの低減量を比較すると，8 cmのときがやや大きいものの，これら3者では舗装厚の違いによるパワーレベルの低減量にあまり差はみられない。したがって，舗装厚を8 cmにする必要はなく，3～5 cmの範囲で舗装設計により与えられる厚さとすればよいと考えられる。

(3) 骨材粒径

表2は騒音パワーレベルの低減量と最大骨材粒径の関係を示したものである。このときの空隙率は20%，舗装厚は5 cmである。最大骨材粒径が小さいほど密粒舗装に対する排水性舗装の騒音パワーレベルの低減量は大きくなる。これは，舗装材料として使われる骨材の粒径が小さいほど舗装の表面粗さが小さくなり，このためタイヤ路面音が低下することによると考えられる。小型車の場合，最大骨材粒径が20 mmのとき低減量は約2～3 dB，13 mmのとき約6～7 dB，10 mmのとき約9～10 dBとなっている。また，大型車の場合では，低減量はそれぞれ約4～5 dB，約5～6 dB，約6～7 dBとなっている。大型車に比べ小型車の方が，最大骨材粒径の影響が大きく現れている。これは，自動車走行騒音全体に占めるタイヤ路面音の寄与が，小型車の方が大きいためと考えられる。

表1 舗装厚と騒音低減効果

(単位：dB)

車種	速度	舗装厚		
		3 cm	5 cm	8 cm
小型車	80 km/h	4.4	4.8	5.5
	100 km/h	4.5	6.3	6.8
	120 km/h	5.1	5.6	6.2
大型車	80 km/h	5.1	5.9	6.2
	100 km/h	5.9	6.4	6.6
	120 km/h	6.2	7.1	7.2

(注) 舗装厚は20%，最大骨材粒径は13 mm。

表2 最大骨材粒径と騒音低減効果

(単位：dB)

諸元	最大粒径(mm)	10	13	20
	空隙率 (%)	20	20	20
	舗装厚さ(cm)	5	5	5
大型	80 km/h	6.2	4.8	3.5
	100 km/h	7.3	6.3	3.7
	120 km/h	6.4	5.6	4.5
小型	80 km/h	8.5	5.5	2.4
	100 km/h	9.2	6.4	3.4
	120 km/h	9.8	6.6	3.0

1.3 排水性舗装の音響特性

(1) 周波数特性

1.1で述べたように排水性舗装における自動車走行騒音の周波数特性は，密粒舗装のものと異なる。ASJ Model 1998では両者の差を排水性舗装のパワースペクトル補正量として図4[4]のとおり示している。これは，岩瀬ら[7]が排水性舗装におけるタイヤ近接騒音測定データに基づき提案しているものを，簡単化したものである。

ただし，排水性舗装によるスペクトル補正とA特性補正を行った後のパワー合成値を0 dBとするには，表3[4]に示される周波数帯域別の補正値を加える必要がある。

(2) 垂直入射吸音率

図5は密粒舗装と排水性舗装の1/3オクターブバンド別の垂直入射吸音率を示したものである。密粒舗装では3150 Hz付近で吸音率が約0.2となるだけで，その他の周波数帯域では0.1以下である。厚さ4 cmの排水性舗装では，315～800 Hz，1600 Hz，2500 Hz付近で吸音

表3 排水性舗装のA特性相対バンドパワーレベル

中心周波数 (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000
相対レベル (dB)	−26.5	−16.4	−9.0	−3.8	−6.3	−9.1	−12.3

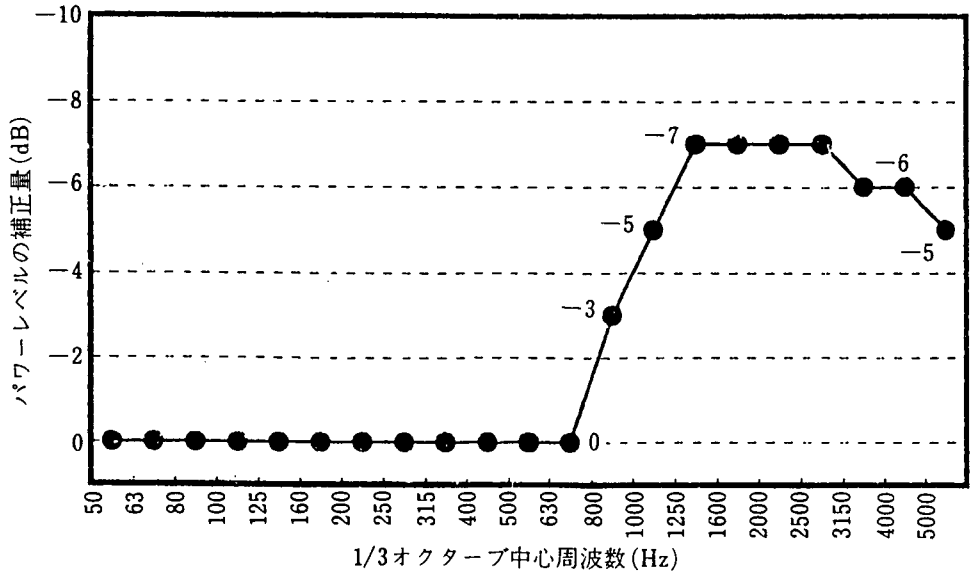


図4　排水性舗装のパワースペクトル補正量

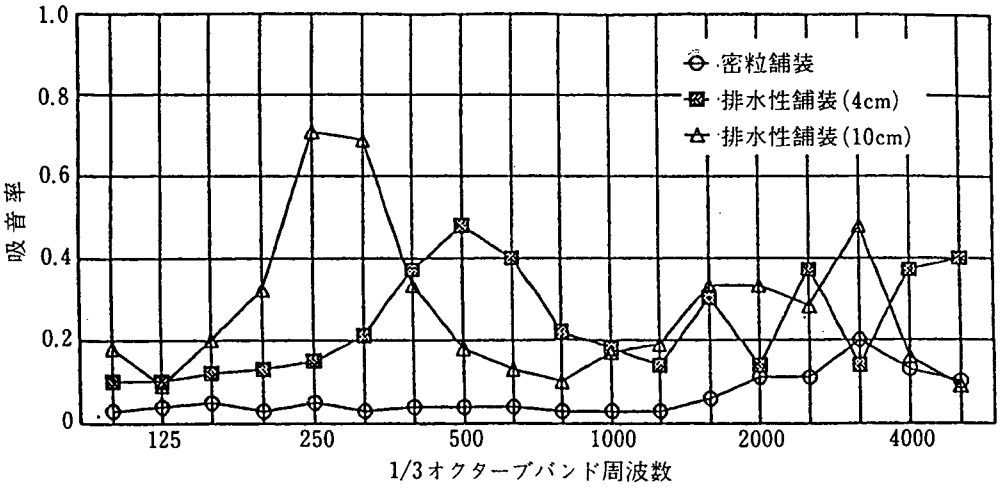


図5　各種舗装の垂直入射吸音率

率が高くなり，約0.2～0.4を示す。また，厚さ10 cmの排水性舗装では，吸音率が0.2以上の周波数帯域はさらに広がり，165～500 Hz，1250～3150 Hz付近で約0.2～0.7の吸音率を示している。

2．排水性舗装上の伝搬過程における減音

図6[8]は，排水性舗装及び密粒舗装上においてスピーカから発生する音を伝搬距離別に測定したものを，道路交通騒音スペクトル[9]により補正し，伝搬音の減衰の様子を示したものである。これによると，排水性舗装上における伝搬音の過剰減衰は，伝搬距離が5 mを超えると現れ，10 m以上では2～3 dBであった。

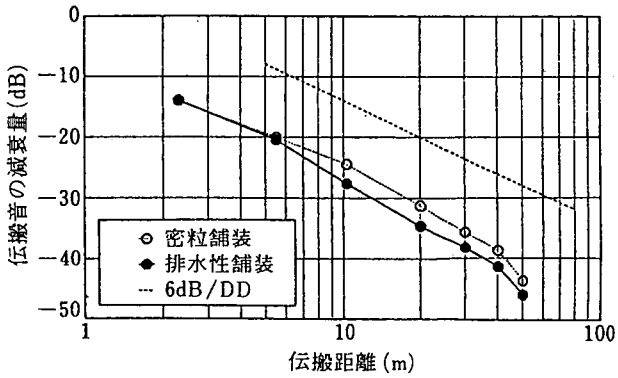


図6　舗装上における伝搬音の減衰

これを用いて排水性舗装上の伝搬過程における減音効果を計算するために必要な実効的流れ抵抗値を求める。まず，上記の実験により得られた伝搬距離別の減音量に基づきスピーカ音の

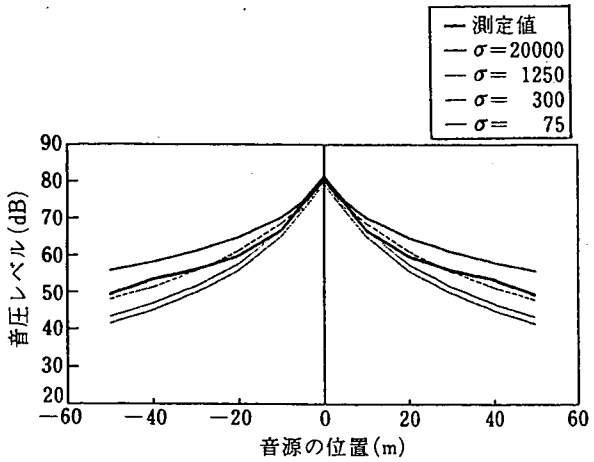


図7　排水性舗装上における伝搬音のユニットパターン

ユニットパターンを求める。次に，各舗装の実効的流れ抵抗値を仮定してASJ Model 1993のA法[10]により計算した1/3オクターブバンド別レベルにスピーカ音のパワースペクトルを加味してユニットパターンを求める。これらのユニットパターンを示したものが図7[8]である。これによると実測値によるユニットパターンと最もよく一致している計算によるユニットパターンの実効的流れ抵抗値は，排水性舗装の場合1250 kPa·s/m²，密粒舗装の場合2万kPa·s/m²である。

この排水性舗装の実効的流れ抵抗値が適切であるかどうかは，次のようにして検証された。排水性舗装が施工された道路区間において測定された等価騒音レベルと，排水性舗装の音源と伝搬過程における減音効果を考慮した計算値を比較するとよい一致がみられた。これは音源における減音効果だけを考慮した場合より整合性がよく，上記の実効的流れ抵抗値が適切であることを示している。

3. 排水性舗装の空隙閉塞と減音効果の経時変化

3.1 空隙率の経時変化

排水性舗装の空隙率の経時変化を図8に示す。これは，国道202号佐賀県西有田町及び国道208号福岡県大和町の数工区に施工された排水性舗装の空隙率を単純平均し，経時的に示したものである。これによると舗装を3層に分割

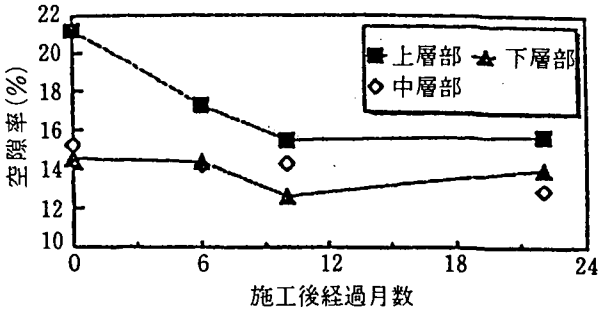


図8　空隙率の経年変化

したうちの上層部では施工後10か月までに空隙率が21.2%から15.5%へと5.7%も減少した。しかし，その後の空隙率にはあまり変化がみられない。一方，中・下層部では空隙率は施工直後の15%程度から10か月後の13～14%程度まで徐々に低下したが，その後空隙率はほぼ安定している。

これを詳細にみると，上層部における施工後10か月の空隙率の減少5.7%のうち，空隙閉塞物によるものはわずか1.1%であった。その後，空隙閉塞物は22か月後には1.7%まで徐々に増加した。すなわち，施工後10か月までは4.6%の空隙が空隙つぶれにより減少し，1.1%の空隙が空隙詰まりにより失われたと考えられる。その後は，空隙つぶれはほとんどみられないが，空隙詰まりの進行により空隙率は徐々に減少していくと考えられる。

次に，中・下層部では空隙率の減少及び空隙閉塞物の増加は，ともに1～2%程度であった。すなわち，空隙つぶれによる空隙の減少はほとんどみられず，空隙の減少は閉塞物による空隙詰まりのために引き起こされたと考えられる。

いま，施工後22か月における上・中・下層部すべての空隙率の減少量を計算すると2.7%になるが，これを空隙詰まりによるものと空隙つぶれによるものに分けて試算してみると，それぞれ1.2%及び1.5%となる。

3.2 吸音率の経時変化

図9は，国道202号佐賀県西有田町に施工された排水性舗装の吸音率を経時的に示したものである。施工直後には大きな吸音率を示していたが，時間の経過とともに吸音率のピークとなる周波数帯が低域に移動し，また吸音率自体も小さくなってきている。

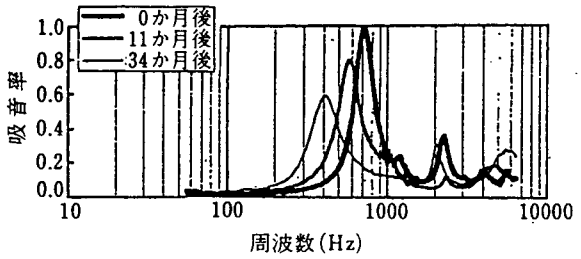


図9　吸音率の周波数特性の経時変化

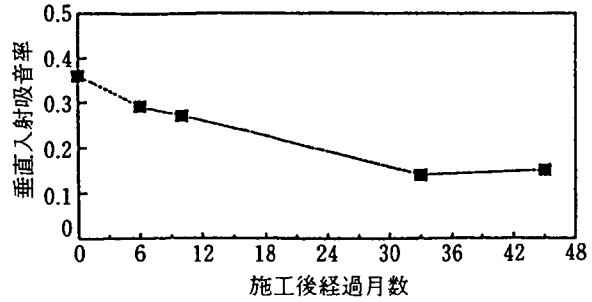


図10　垂直入射吸音率の経時変化

一方，図10は国道202号佐賀県西有田町及び国道208号福岡県大和町の5か所に施工された排水性舗装の吸音率に，道路交通騒音のスペクトルを加重平均した後，それらを単純平均して経時的に示したものである。これによると，施工直後0.36あった吸音率は3年後には0.14まで低下し，その後はあまり変化していないのが読み取れる。

3.3　減音効果の経時変化

一般道路と高速道路の17か所に施工された排水性舗装について，施工後5か月から64か月までそれらの騒音低減効果を測定し，その推移を示したものが図11，図12[11]である。これによると走行速度が100 km/hの場合，施工後半年では4～5 dBの減音効果が4年後には2～3 dBまで減少している。また，60 km/hの場合には同じ期間に2.5 dBから約1 dBに低下している。車種別には，大型車類の方が小型車類よりも騒音低減効果の持続性はよいと思われる。走行速度別には，60 km/hのときの方が100 km/hのときよりも減音効果の変化量は小さい。

おわりに

本稿では，排水性舗装の自動車走行騒音低減効果の特性や要因，その効果の騒音予測手法で

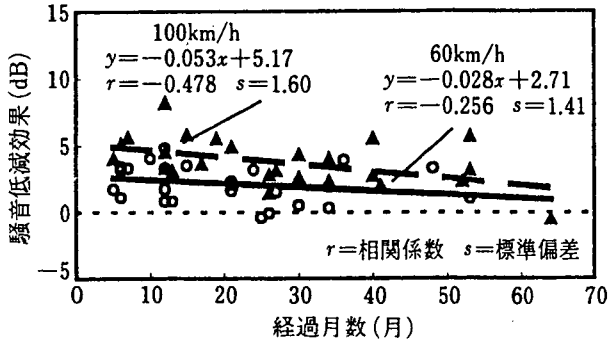


図11　大型車類の経過月数による騒音低減効果の変化

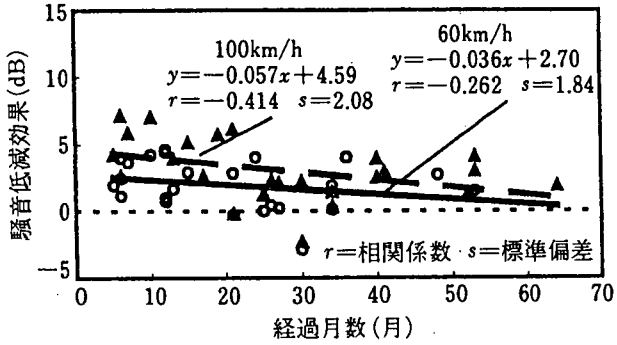


図12　小型車類の経過月数による騒音低減効果の変化

の取り扱い，さらに空隙閉塞と音響特性の変化について，同舗装が施工されている一般道路や試験走路での騒音測定，同舗装を使った音響実験及び成分分析の結果を踏まえて述べた。これらにより，排水性舗装についてかなりの部分が明らかになってきたが，まだ伝搬過程における減音効果や効果の持続性等についてさらにデータを集積して検討する必要があると思われる。一方，排水性舗装の減音効果やその効果の持続性を向上させるために，その仕様を工夫するなどの研究が行われており，今後これらの研究成果も含めて検討することが重要である。

参考文献

1)　㈳日本道路協会：アスファルト舗装要綱改訂版(1992.12)
2)　㈳日本道路協会：排水性舗装技術指針(案)(1996.11)
3)　高島一彦，大西博文，明嵐政司，ほか：低騒音舗装の概説，㈶建設物価調査会（1996.12)
4)　日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル，ASJ Model 1998，日本音響

学会誌, 55(4), (1999)
5) 大西博文, 近藤　升, 石川賢一：排水性舗装の減音効果とその予測手法における取り扱い, 日本音響学会講演論文集 (1999.3)
6) 山本貢平, 高木興一：前川チャートの数式表示について, 騒音制御, 15(4)
7) Iwase, T., Kawabata, R.: Measurements of basic acoustical properties of the porous pavement and their applications to the estimation of road traffic noise reduction, *Journal of Acoustical Society of Japan* (E), 20(1), (1999.1)
8) 大西博文, 明嵐政司, 石川賢一, ほか：排水性舗装を走行する自動車騒音の伝搬過程における低減効果, 日本音響学会講演論文集 (1998.10)
9) 曽根敏夫, 香野俊一, 岩瀬昭雄：自動車走行騒音のパワーレベルとスペクトル, 日本音響学会誌, 50(3), (1994.3)
10) 高木興一, 山本貢平, 吉久光一：道路交通騒音予測における伝搬計算方法, 日本音響学会誌, 50(3), (1994.3)
11) 近藤　升, 大西博文, 石川賢一：排水性舗装の経時および累積交通量による騒音低減効果の変化について, 日本音響学会講演論文集 (1999.3)

（３６）排水性舗装による自動車走行騒音の低減に関する検討[*1]

Investigation into Road Vehicle Noise Reduction by Drainage Asphalt Pavement

三上哲夫[*2]　大西博文[*3]
Tetsuo MIKAMI　Hirofumi OHNISHI

Abstract

Regarding the reduction of road vehicle noise by drainage asphalt pavement, two kinds of experimental investigations were performed. Firstly, sound propagation was observed on two types of drainage asphalt pavements and a dense asphalt pavement. In this experiment, an omnidirectional sound source was located under the body of a passenger car and a heavy truck. As a result, it was found that the excess noise reduction on drainage asphalt pavement can be attributed to the sound absorption during multiple reflection under the vehicle body. Secondly, pass-by tests were performed on the three kinds of pavements using the same test vehicles. In this experiment, tire/road noise was measured on each pavement and by comparing the results, the reduction of tire/road noise due to the porosity of drainage asphalt pavement was estimated. Based on the results of these investigations, a calculation model for the prediction of vehicle noise propagation on drainage asphalt pavement has been proposed.

１．まえがき

タイヤ／路面騒音は，自動車の主要な音源の一つであり，その対策は道路交通騒音の低減に効果的である．近年，排水性舗装がタイヤ／路面騒音の低減に有効な対策の一つとして高速道路や一般道路にも施工されつつある．これまでに排水性舗装の音響特性に関して多くの報告がされているが[1)~5)]，排水性舗装における道路交通騒音の予測を考える場合，騒音伝搬における超過減衰[注1)]とタイヤ／路面騒音の変化について検討する必要がある．

本報では，騒音伝搬実験と実車走行実験の結果に基づいて，超過減衰量とタイヤ／路面騒音の変化を個別に推定し，排水性舗装における自動車走行騒音の予測を試みた．

２．騒音伝搬特性と走行騒音の測定

建設省土木研究所に施工されている２種類の排水性舗装A（最大骨材粒径10 mm），B（最大骨材粒径20 mm）と密粒アスコン舗装において，騒音伝搬特性と走行騒音の測定をおこなった．

2.1　スピーカ音源による騒音伝搬特性の測定

車両周囲の騒音伝搬特性を調べるため，無指向性音源（六面体スピーカ）を車両のエンジン下と左右タイヤ接地部に置き，図１に示す前輪車軸を含

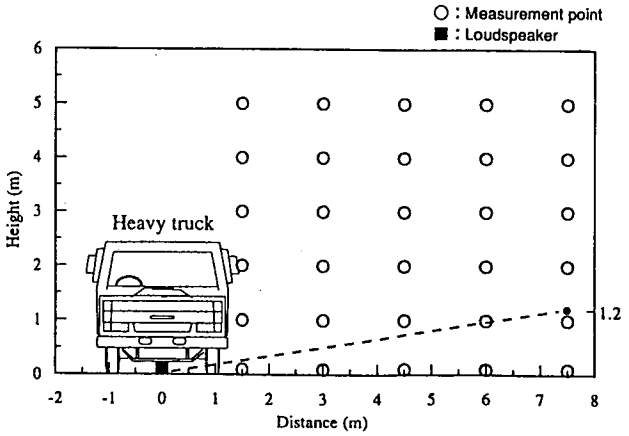
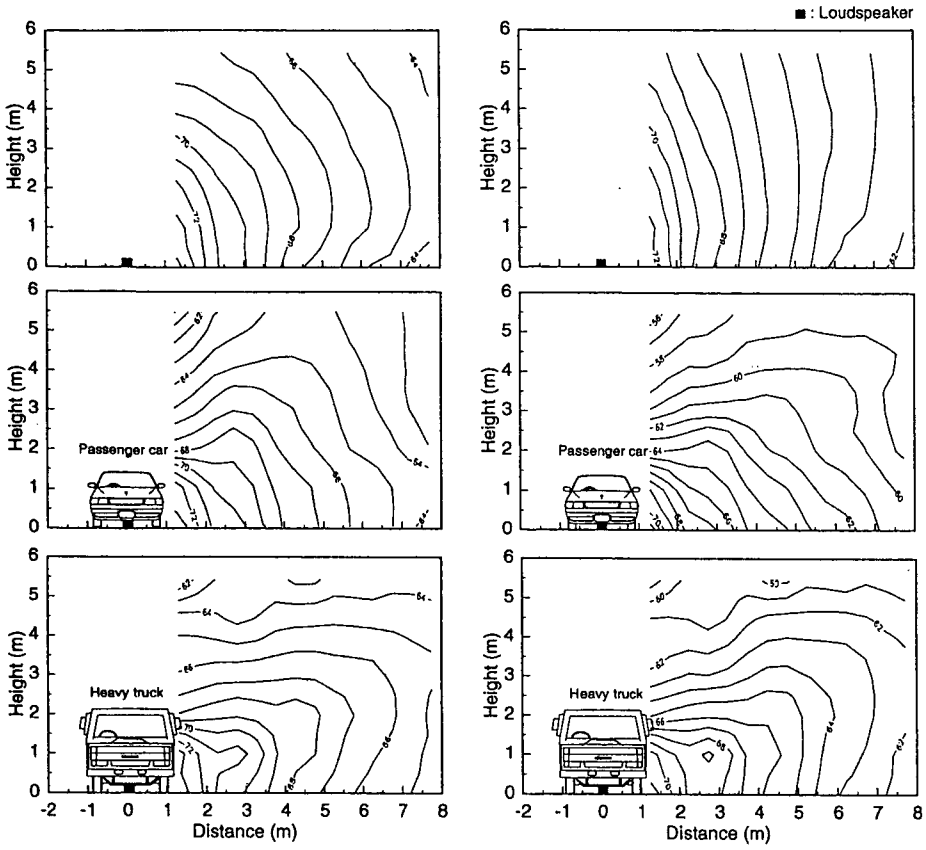


図１　騒音測定位置

＊１　原稿受理　1999年６月22日
＊２　(財)日本自動車研究所　ダイナミックス研究部
＊３　建設省　土木研究所　環境部　交通環境研究室長

注１）超過減衰：
音波が伝搬する際の幾何学的拡散以外の原因によって生じる減衰（過剰減衰ともいう）

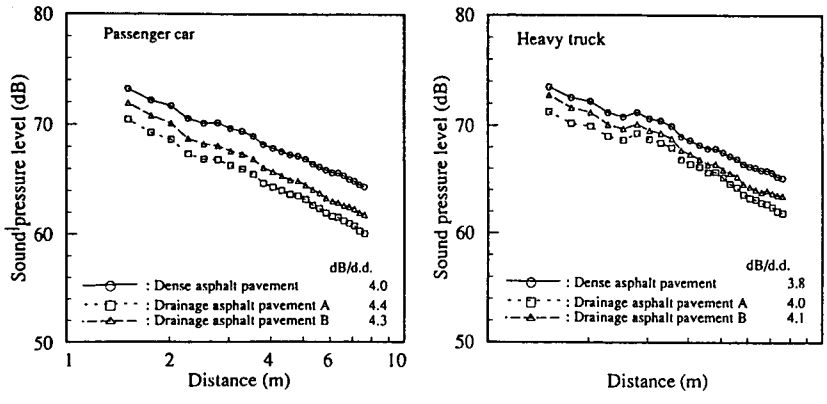


(a) Dense asphalt pavement　　(b) Drainage asphalt pavement A

図2　スピーカによる伝搬特性の測定結果
（音源位置：エンジン下，周波数：630Hz）

む平面内の計30点で音圧レベルを測定した．なお，試験車両として乗用車と大型トラックを用いた．

図2は，密粒アスコン舗装と排水性舗装Aにおいて，エンジン下に音源を置いた場合の車両周囲の音圧分布を，車両がない場合とある場合とで比較した結果排水性舗装で高い吸音率を示した(630Hzのコンターマップ)．音圧分布のパターンは路面の種類によってわずかに異なるが，両路面における車体の遮蔽効果はほぼ同等と考えられる．次に，この結果を基にして音源位置から左側方7.5 m，高さ1.2mまでの直線上（図1の破線)の距離減衰特性を調べた．図3は，3種類の路面における距離減衰特性を示している．図中のdB/d.d.（d.d.:double distance）の値は，各路面における距離減衰の傾きであり，距離が倍になるごとに減衰する量を表わしている．乗用車，大型トラックいずれの場合も，2種類の排水性舗装における距離減衰の傾きは，密粒アスコン舗装の場合に比べてわずかに大きい傾向にあるが，大きな差はみられない．また，この傾向はタイヤの接地部に音源を置いた場合もほぼ同様であった．これらの結果から，排水性舗装における超過減衰は，車体と路面間の多重反射の過程で生じる吸音によるもので，車両側面から遠音場への伝搬過程では，超過減衰は少ないことを示している．



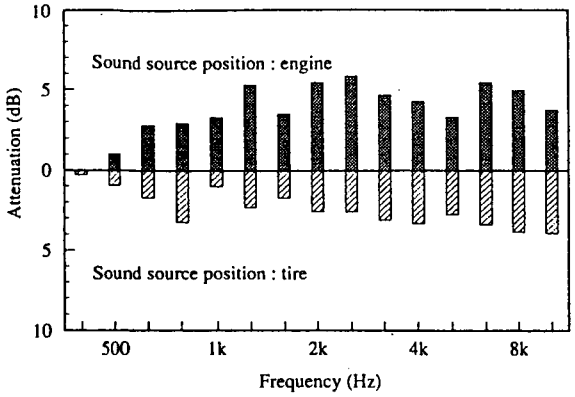
(a) Passenger car　　(b) Heavy truck

図3　距離減衰特性の測定結果（周波数：630Hz）

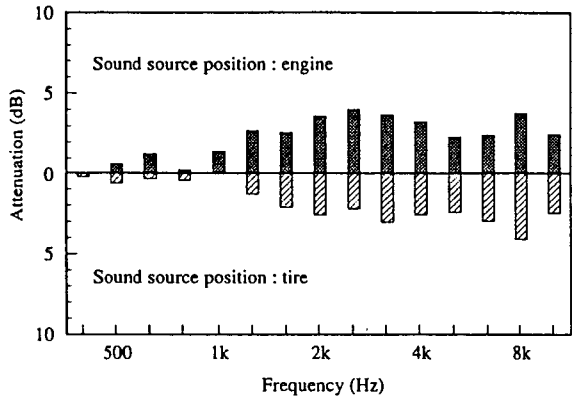
そこで，次に示す二つの仮定に基づいて，車両の近傍(車両中心から1.5 m)における密粒アスコン舗装と排水性舗装のレベル差から排水性舗装による超過減衰量を求めた．

仮定1：排水性舗装も密粒アスコン舗装も距離減衰の傾きは同じである．

仮定2：排水性舗装における超過減衰は，発生騒音が車体



(a) On the drainage asphalt pavement A



(b) On the drainage asphalt pavement B

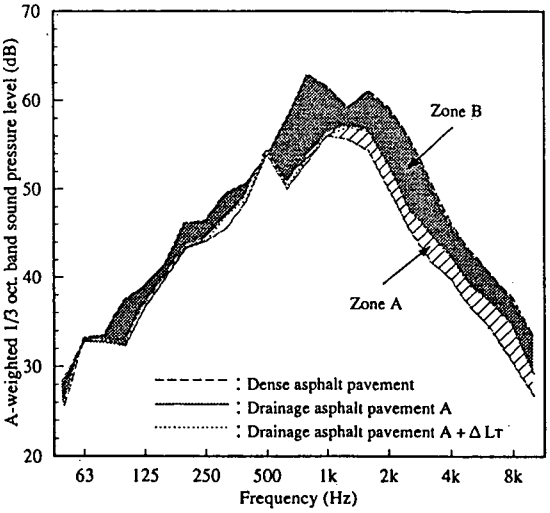
図4　音源別の超過減衰量（乗用車，定常60km/h）

と路面間の多重反射の過程で路面に吸音されることによって生じる．

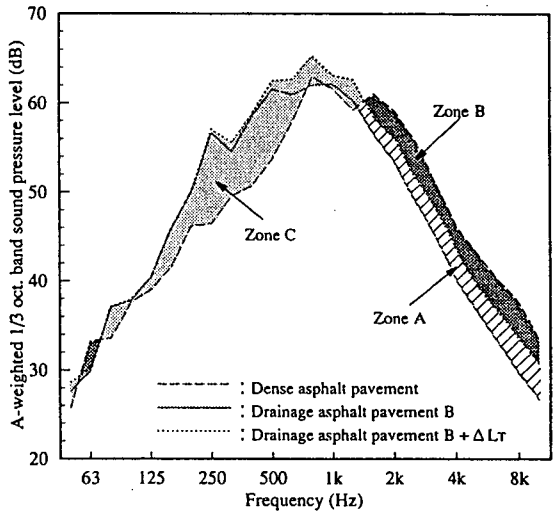
図4は，排水性舗装AとBにおける乗用車の音源別の超過減衰量である．いずれの路面の場合もタイヤ／路面騒音の超過減衰量はエンジン系騒音の場合よりも小さい．

2.2　自動車走行騒音の測定[6]

図5は，各路面で測定した乗用車のタイヤ／路面騒音（速度60km/h）の周波数特性である．排水性舗装の結果（実線）に図4に示したタイヤ／路面騒音の超過減衰量を加えると点線で示す結果になる（Zone A）．この結果は，排水性舗装における超過減衰の影響を除いたことになる．つまり，この結果（点線）と密粒アスコン舗装で測定した結果（破線）の差分が，排水性舗装のプロフィールや空隙によって生じた発生騒音パワーレベルの変化量になる．図中，Zone Bはタイヤ／路面騒音が低減する領域であり，Zone Cは増加する領域を示している．排水性舗装Aの場合は，ほぼ全周波数域でパワーレベルが低減しているが，排水性舗装Bの場合



(a) On the drainage asphalt pavement A



(b) On the drainage asphalt pavement B

図5　タイヤ／路面騒音の周波数特性
（乗用車，速度60km/h）

には，1.6 kHz以下の周波数域で増加し，それ以上の周波数域で低減している．このように使用される骨材の大きさによって周波数ごとの発生騒音が大きく変化する．

3．排水性舗装における走行騒音の推定

上記の検討結果から，排水性舗装における自動車のエンジン系騒音とタイヤ／路面騒音は次式によって推定することが可能になる．

$$L_{pE}(r) = L_{WE} - 20\log_{10} r - 8 - \Delta L_E \quad (1)$$

$$L_{pT}(r) = L_{WT} - \Delta L_{WT} - 20\log_{10} r - 8 - \Delta L_T \quad (2)$$

$L_{pE}(r)$，$L_{pT}(r)$：任意の距離 r(m)における排水

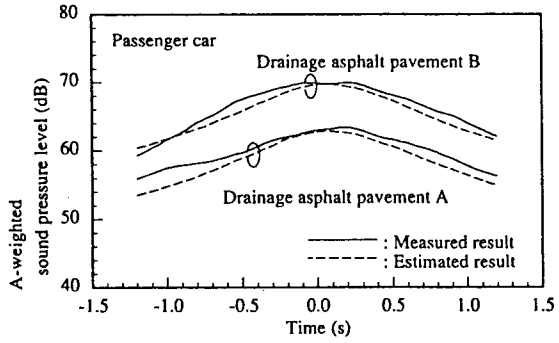
性舗装のエンジン系騒音とタイヤ／路面騒音の音圧レベル，dB(A)

L_{WE}, L_{WT}：密粒アスコンにおいて測定したエンジン系騒音とタイヤ／路面騒音のパワーレベル，dB(A)

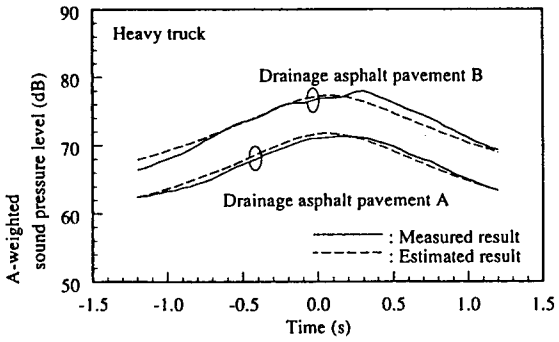
$\Delta L_E, \Delta L_T$：車体と路面間の多重反射の過程で生じるエンジン系騒音とタイヤ／路面騒音の減衰量，dB

ΔL_{WT}：排水性舗装の路面プロフィールや空隙によるタイヤ／路面騒音の変化量，dB

図6は，前述の超過減衰量とタイヤ／路面騒音の変化量を用いて，側方7.5m，高さ1.2m位置の走行騒音の推定をおこなった結果である．各路面における発生騒音の時系列波形の推定値は，実測値と良く一致している．



(a) Passenger car



(b) Heavy truck

図6　走行騒音の推定値と実測値の比較
(定常60km/h)

4．まとめ

主な結果をまとめると，以下のとおりである．

(1) 排水性舗装における超過減衰は，車体と路面間の多重反射の過程で発生騒音が吸音されるために生じる．

(2) タイヤ／路面騒音のパワーレベルは，路面のプロフィールや空隙によって大きく変化する．

(3) 上記の結果を用いて，排水性舗装における自動車走行騒音の推定をおこなった．その結果，推定値は実測値と良く一致した．

本研究は，平成9年度，新エネルギー・産業技術総合開発機構受託，リサイクル等環境技術研究開発(II)(自動車走行音低減技術)の一部として実施された．

文　献

1) A. von Meier., *Acoustically optimized porous road surfaces -Recent experiences and new developments-*, Proc. Inter-Noise 88, (1988),1323-1326.

2) J.F. Hamet, M. Berengier and M. Jacques, *Acoustic performances of pervious surfaces*, Proc. Int. Tire/road Noise Conf. 1990, (1990),345-357.

3) W. Lauriks, E. Schoubs, G.J. Hufken and J. Thoen., *Sound absorption properties of porous concrete*, Proc. Inter-Noise 93, (1993),1691-1694.

4) 山口道征・中川　博，各種多孔質材料の音響特性(第17報 排水性舗装の吸音メカニズムについて・その4)，日本音響学会講演論文集，(1998.3),719-720.

5) 岩瀬昭雄・川端亮達，透水性舗装面上の音響伝搬特性の推定その2(音源に拡がりを持たせた場合についての結果について)，日本音響学会講演論文集，(1998.)3, 721-722.

6) 押野康夫・三上哲夫・大西博文・橘　秀樹，排水性舗装路面による自動車走行騒音の低減効果(その1．数種類の路面における測定例)，日本音響学会講演論文集，(1997.9), 679-680.



三上哲夫（みかみてつお）



大西博文（おおにしひろふみ）

4.2　大気汚染に関する研究

（３７）微生物を利用した大気中の窒素酸化物除去に関する基礎実験

大城　温*　山田俊哉**　大西博文***

１．はじめに

近年、大気汚染に係る西淀川訴訟や川崎公害訴訟の和解に見られるように、自動車排出ガスによる大気汚染の対策技術の必要性が高まっているが、とりわけ窒素酸化物（以下 NO_x と表記）の除去については、大気を土壌に通して NO_x を除去する技術、酸化チタンを用いた光触媒を使い分解する技術、化学薬品に通気して吸着させる技術などの開発が実用化に向けて進められている。

しかし、それぞれの技術は効率やコスト、設置スペースなどの点でそれぞれ問題があり、それらの問題点の克服が求められている。

そのため、筆者らは土壌中から採取した微生物の働きにより、NO_x を窒素に還元して大気を浄化する技術を開発中である。NO_x を還元する細菌は「脱窒細菌」と呼ばれ、土壌中に一般的に存在する細菌である。この脱窒細菌を用いた NO_x 低減技術は、①光触媒による脱硝や土壌による脱硝のように、大気に広く接する設備が必要ない、②微生物は餌のみで育つので、餌の補充以外のメンテナンスが必要ない、③自然界に存在する微生物の働きを利用し、有害な二次生成物質を排出しないという利点を持つ可能性を秘めている。

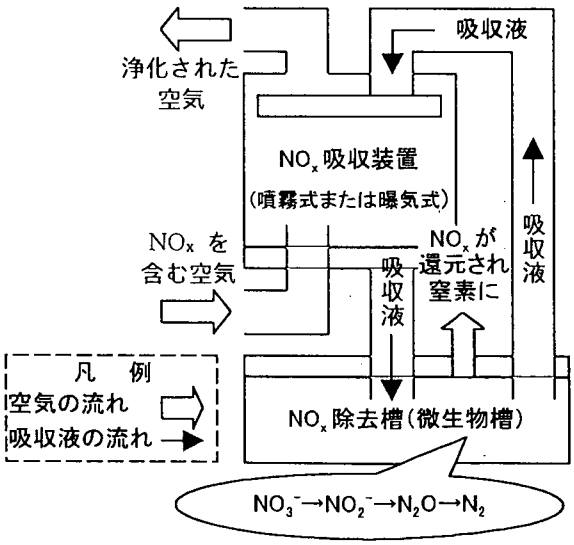
本稿では、このような可能性を秘めた、微生物を利用した NO_x 除去（以下「微生物脱硝」と表記）技術について、微生物の NO_x 還元能力と水溶液への NO_x 溶解量の向上に関する基礎的な実験とその結果を紹介する。

２．微生物脱硝システムの概要

この微生物脱硝システムは、トンネル坑口や交差点周辺など、二酸化窒素濃度の高い（0.05～0.1 ppm 程度）場所における適用を想定している。そのため、多量の自動車排出ガスを含んだ空気を処理することが可能であること、都市部など用地が限られた場所への設置が想定されることから装置の容積が小さいか、形状をある程度フレキシブルに出来ること、有害な副産物を排出しないことなどが要求され、これらの点で他の NO_x 除去技術より優れている必要があると考える。

微生物脱硝システムの概念は以下のとおりである（図－１）。まず、ブロワー等で自動車排出ガスを含んだ空気を NO_x 吸収装置に送り込み、装置内で NO_x を吸収液に NO_2^-（亜硝酸イオン）または NO_3^-（硝酸イオン）の形で溶解させる。次に、吸収液を NO_x 除去槽に流し、無酸素状態において脱窒細菌の働きにより、NO_2^- や NO_3^- を一酸化二窒素(N_2O)の状態を通り、窒素に還元する。吸収液は成分調整後、再び吸収装置に送る。

なお、脱窒細菌がその機能を発揮するためには、文献 [1] によれば、①電子受容体である窒素酸化物が存在すること、②電子供与体となる有機物が存在すること、③酸素が欠乏していること、の３条件が必要である。



図－１　微生物脱硝システムの概念図

Fundamental experiments to remove nitrogen-oxides from air by microbial activities

このシステムは大きく、①NO_x吸収装置と、②微生物によるNO_x除去槽とに分かれている。システムの実用化のためには、それぞれの効率の向上がカギとなると考えている。

微生物脱硝技術の開発フローは、以下のように想定している。まず①微生物脱硝システムの適用場所、適用条件、要求性能の基本的検討を行った後、②微生物のNO_x還元能力を測定し、基本的な特性を把握した上で、③要求性能を満たすために必要なNO_x除去効率向上のための実験・検討を行う。④③までの結果を踏まえて道路沿道に微生物脱硝システムのパイロットプラントを設置し、実際の条件下でNO_x除去実験を行い、⑤実用化に向けた課題の解決、コスト縮減等について検討を行う予定である（図－２）。

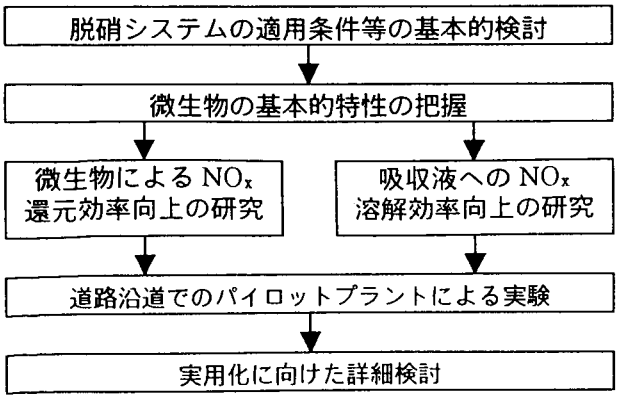
①～⑤のうち、本稿では③で行った内容を中心に述べる。

３．微生物によるNO_x還元能力

微生物脱硝技術によるNO_x還元能力を把握するために、温度・硝酸イオン(NO_3^-)濃度の条件をそれぞれ４条件ずつ設定して、微生物の NOx 還元機能の測定実験を行った。

温度条件は、5℃、10℃、20℃、30℃、NO_3^-濃度は 0.06mol/L、0.03mol/L、0.015mol/L、0.0075mol/L の４条件である。

NO_3^-濃度は 1L の吸収液に 1ppm（幹線沿道に相当）のNO_xを通気量 250L/min で１時間にわたってすべて吸収させた場合を想定したが、濃度が低すぎ脱窒速度が測定できない恐れがあったため、その 100 倍の濃度を最大値として決定した。

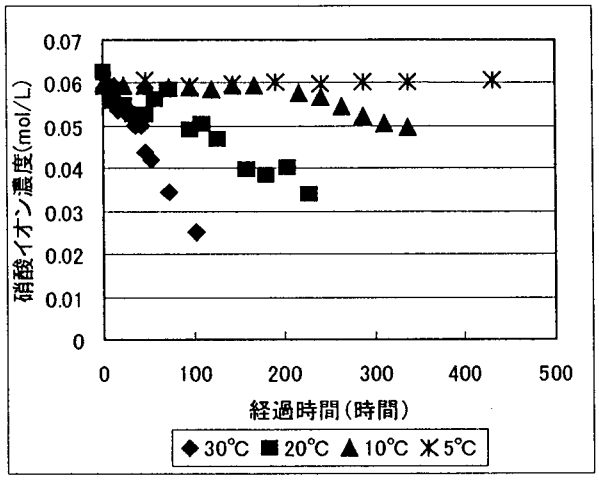


図－２　微生物脱硝技術の開発フロー

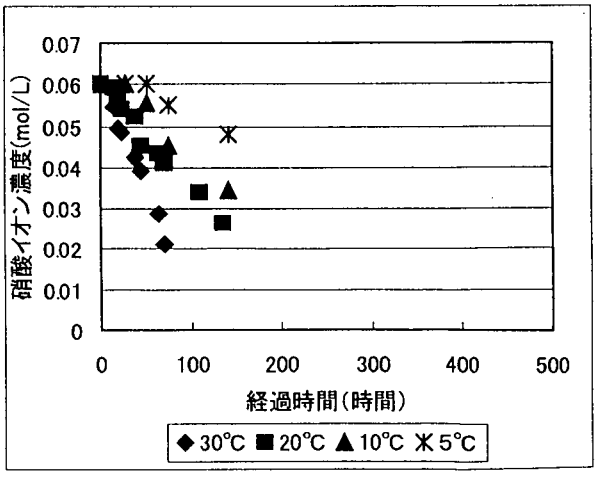
脱窒細菌培地（ﾘﾝ酸水素二ｶﾘｳﾑ(0.05mol/L)、ﾘﾝ酸二水素ｶﾘｳﾑ(0.05mol/L)、酵母ｴｷｽ(0.01%)、ｴﾀﾉｰﾙ(0.5%)、蒸留水からなる）100mL を入れた三角フラスコに、脱窒細菌の培養液 1mL を加え、さらにNO_3^-が設定濃度になるように硝酸ナトリウムを加えた後、窒素ガスを３分間通気して酸素を追い出し、それぞれの温度条件にセットした水槽に置き、実験を行った。

実験開始後は所定の時間毎に 1mL のサンプルを採取し、サンプル中の微生物数と残存NO_3^-濃度の測定することにより、微生物の脱窒速度（NO_3^-の窒素への還元速度）を求めた（図－３）。

この結果から、微生物によるNO_3^-の窒素への還元は温度が高い方が速く、30℃の場合の脱窒速度は 20℃の場合の約３倍となることがわかる。10℃の場合、当初は脱窒が起きず実験開始後 200 時間



図－３　脱窒細菌による脱窒の推移
(NO_3^-当初濃度 0.06mol/L)



図－４　脱窒細菌高濃度時の脱窒の推移
(NO_3^-当初濃度 0.06mol/L)

付近から脱窒が始まった。これは脱窒細菌が増殖し、細菌と NO_3^- が出会うのに必要な菌体濃度(10^{11}cells/L 程度)になるのに時間を要したためと考えられる。5℃の場合には、ほとんど脱窒が起こらなかった。この結果は、温度が高い方が1菌体あたりの脱窒細菌の脱窒反応が速くなること、また脱窒細菌の増殖が速くなることの2つの要因が影響しているものと思われる。

そこで、次に菌体濃度を約 30 倍に高めて、菌体濃度が高ければ 5℃程度の低温でも脱窒が可能か、実験を行った。(図－4)

この結果、菌体濃度を高めることにより、5℃程度の低温の場合でも、多少緩やかながら脱窒反応が起こることが確認された。また、他の温度(10℃～30℃)では菌体濃度を高める前と比較して脱窒速度が 1.5～2 倍大きくなった。

4．NO_x 溶解量向上のための実験概要

脱窒細菌は、直接空気中の NO_x を還元するのではなく、水溶液中に溶解した状態で還元する。そこで、いかに多くの NO_x を効率よく水溶液中に溶解させるかということがシステムとしての効率向上のために非常に重要な要因である。前項での実験では、ある程度微生物の基礎的な特性を把握できたため、次に吸収液への NO_x 溶解量について実験を行った。

4.1 NO_x 吸収方法の検討

大気中の NO_x を吸収液に吸収させる方法としては、①NO_x を含んだ空気中に吸収液をシャワー状に降らせる方法(噴霧方式)と、②吸収液中に NO_x を含んだ空気を泡状に通す方法(曝気方式)の2種類が考えられる。

噴霧方式の利点としては、単位容積あたりの大気の可能通気流量が大きいことなど、欠点としては、NO_x 吸収効率が低いことが考えられる。

表－1　基礎的な NO_x 吸収実験(実験1)

経過時間 [h]	亜硝酸イオン濃度 [mol/L]	硝酸イオン濃度 [mol/L]	NO_2 除去量 [mol]	NO_2 通気量 [mol]	NO_2 吸収率 [%]
0	0	1.25×10^{-4}	0	0	-
2	1.41×10^{-6}	1.38×10^{-4}	1.63×10^{-4}	1.02×10^{-3}	16.0
変化量	1.41×10^{-6}	1.30×10^{-5}	1.63×10^{-4}	1.02×10^{-3}	16.0

曝気方式の利点としては、逆に NO_x 吸収効率が高いことが挙げられ、欠点としては、可能通気流量が小さいこと、水圧に逆らって通気するためのエネルギーが余計に必要なことが考えられる。

いずれも一長一短があるため、この2方式の実験装置を使って実験を行い比較した。

4.2 基礎的な NO_x 吸収実験

まず、NO_x 吸収効率が高いと考えられる曝気装置を用いて、どの程度の吸収効率が得られるか、基礎的な吸収実験(実験1)を行った。

吸収液には水道水を用い、水深 50cm、内径 17cm のカラム(=水量 11.3L)に、濃度 1ppm の NO_2(二酸化窒素)を流量 190L/min で孔径 40μm のガラスフィルターを通し、回転攪拌(700rpm)を行いながら、2時間通気した(=総通気 NO_2 量 2.28×10^{-2}L)。

通気後、NO_2 が吸収されイオン化した NO_2^- および NO_3^- の吸収液中濃度を測定し、その変化量から通気した NO_2 の吸収率を求めた結果、約 16%であった(表－1)。

また、この結果から NO_2 の吸収効率は 7.2×10^{-6}[mol/L･h]となる。それに対して、図－4の脱窒効率は、最も低かった 5℃の場合でも、約 1.5×10^{-4}[mol/L･h]であることから、脱窒能力に対して吸収能力が最高でも 1/20 程度しかないことになる。ただし、計測精度の問題から NO_2 濃度 1ppm でこの実験を行ったが、これは道路沿道での最高地点の約 10 倍という高濃度であるため、道路沿道での吸収効率はさらに低下すると考えられる。

このことから、NO_x の吸収効率向上が実用化のための最優先課題であることがわかった。

4.3 吸収効率向上のための実験

NO_x 吸収基礎実験の結果を受けて、NO_x の吸収効率を向上させるために、様々な吸収効率を決定する要素について、それぞれ条件を変えて吸収実験を行い、最も吸収効率の高い条件を探ることとした。

吸収効率の決定要素としては、圧力・温度・気体と吸収液の接触面積・接触時間・吸収液の化学組成などが考えられる。ここでは、それぞれの要素について吸収効率向上のための方策を検討し、吸収効率を測定した。

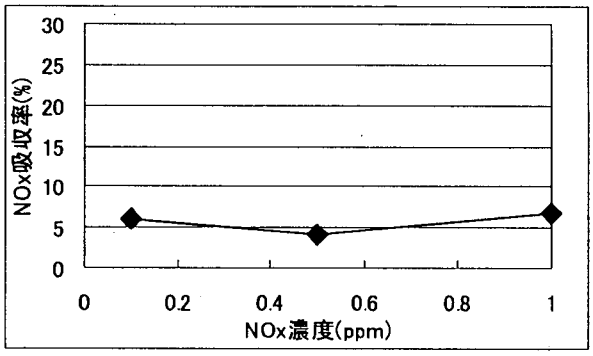
4.3.1 圧力の影響

圧力の影響は、吸収液と接触させる気体そのものの圧力（全圧）によるものと、NO および NO_2 の気体にしめる割合（分圧）によるものとが考えられる。

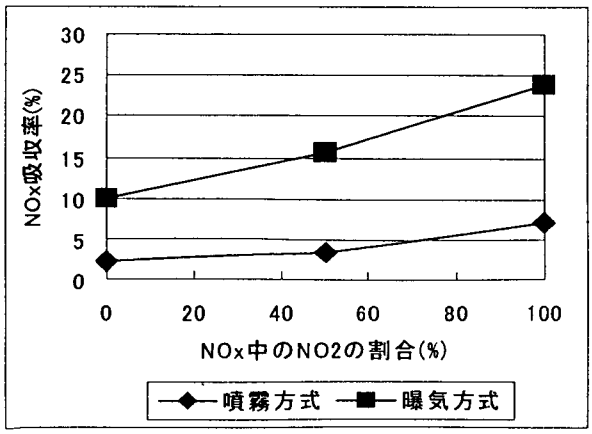
しかし、全圧の影響に関する実験は、コンプレッサーなど多くのエネルギーを使う装置が必要なこと、実験装置を高圧に耐えるものとしなければならないことから、ここでは行わないこととした。

次に分圧の影響について検討を行った。分圧の影響は、大気中に含まれる NO_x の割合によるものと、NO_x 中に含まれる NO（一酸化窒素）と NO_2（二酸化窒素）の割合によるものが考えられる。つまり、分圧の影響は NO_x 濃度による影響と NO と NO_2 の濃度比による影響と言い換えることができる。

そこで、NO_x 濃度の影響（実験２）と、NO_x 中の NO と NO_2 の比の影響（実験３）を調べるために、吸収実験を行った。実験２では、NO_x はすべて NO_2 であり、気体通気量は 250L/min、酢酸カルシウムベースの吸収液 5L を循環させ、２時間にわたって吸収させた。なお、実験２については噴霧方式のみ行った。



図－５　NO_x 濃度と吸収率の関係（実験２）
※NOx はすべて NO2、吸収液は酢酸カルシウムベース



図－６　NO_x 中の NO_2 の割合と吸収率の関係（実験３）
※吸収液は水酸化ナトリウム 1g/L 水溶液

実験２の結果から、NO_2 濃度が高くても吸収率には影響しないことがわかった(図－５)。つまり、吸収率は濃度に影響されないが、吸収量は濃度に比例して増加するということである。

また実験３の結果から、同じ NO_x 濃度でも NO_2 の割合にほぼ直線的に吸収効率が向上することがわかった（図－６）。

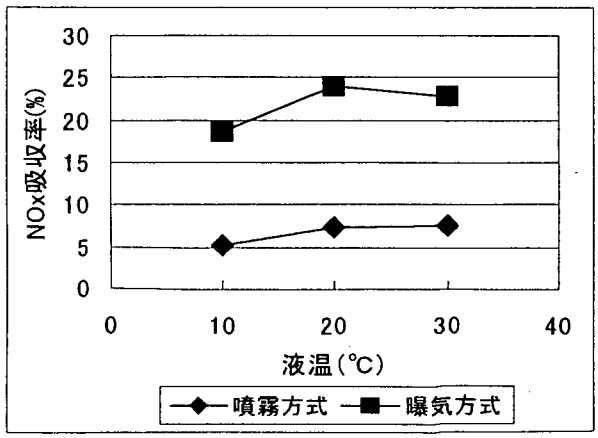
これは、NO は水に溶解しにくく、水 1L に対し約 0.003mol/L（標準状態）しか溶解しないのに対して、NO_2 は水と反応して亜硝酸と硝酸に分解するためと考えられる。ただし、NO は溶解度から予想される除去率より高い結果が得られているが、これは気体が送り込まれる過程で NO が酸化され、NO_2 となったためと考えられる。

4.3.2 温度の影響

次に、温度の影響を知るために、吸収液の液温が 10℃、20℃、30℃の３条件で曝気装置、噴霧装置を用いて吸収実験を行った（実験４）。気体通気量は 250L/min、NO_2 濃度は 1ppm である。

その結果、曝気装置・噴霧装置のどちらを用いても 30℃と 20℃ではほとんど差はなかったが、10℃ではどちらも吸収率が低かった（図－７）。

その理由としては、CO_2 の影響が考えられる。通気した空気中には NO_2 と比較して 300～400 倍の CO_2 が含まれており、液温が低いほど CO_2 のヘンリー定数が小さくなるため、気液平衡式に従



図－７　温度と NO_x 吸収率の関係（実験４）
※吸収液は水酸化ナトリウム 1g/L 水溶液

って空気中の CO_2 が多く溶解する。そのため、吸収液中の水酸化ナトリウムの多くが CO_2 と反応し、濃度が減少した水酸化ナトリウムと NO_2 の反応が起きにくくなった可能性が考えられる。

4.3.3 接触面積・時間の影響

実験装置のカラムの中を気体が通過する間の吸収液との接触面積および接触時間は、吸収率の重要な要因と考えられる。そこで、接触面積・接触時間を増加させ、NO_x 吸収率を上げるための方策を検討した。

噴霧方式では、気体流量による影響、噴霧液滴の大きさ、循環させる液流量、カラムへの充填物による影響について、曝気方式では、気体流量による影響、気泡の大きさ、通気させる吸収液の水深の影響について比較実験を行い、NO_x 吸収率の向上策を検討した。

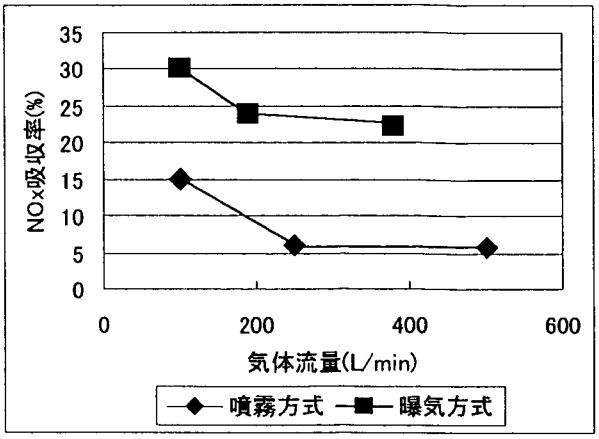
噴霧方式での実験の結果、気体流量について（実験５）は、流量を増加させると吸収液との接触体積は増加したが、接触時間が減少するため、NO_x 吸収率は低下した（図－８）。しかし、全体の NO_x 吸収量としては気体流量が大きいため、通気量によらないか、気体流量が大きい方がやや吸収量が大きい傾向にあった。

液滴の大きさについては、シャワー口径と液滴の大きさが表面張力等の影響により必ずしも一致しなかったため、明確な差は見いだせなかった。また、循環させる吸収液量についても、吸収液中の NO_2^-、NO_3^- の濃度が低いためか、明確な差が見いだせなかった。

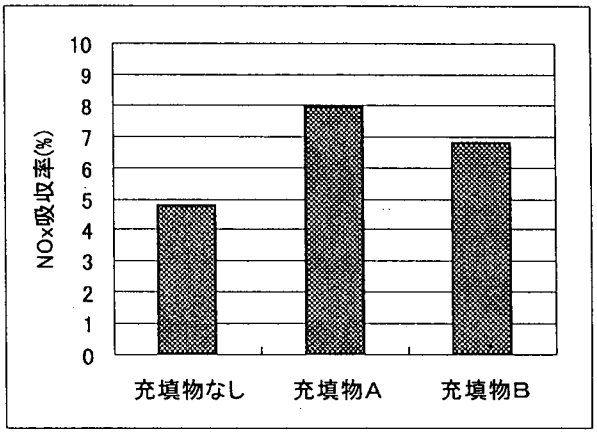
表面積の大きい充填物により気液接触面積を増加させた場合は、充填物なし・充填物Ａ・充填物Ｂ（表－２参照）の３条件で吸収実験（実験６）を行った結果、充填物のある方が吸収率は高く、また充填物Ｂより、充填物Ａの方がわずかに高かった（図－９）。比表面積は充填物Ａの方が小さいが、空隙率が大きいため、気体の流速がＢと比較して小さくなり接触時間が多いことが理由として考えられる。

曝気方式の実験では、気体流量については噴霧方式の場合と同様であった（図－８）。フィルターのメッシュによる気泡の大きさの影響については、NO_x 吸収率に明確な差は見いだせなかった。

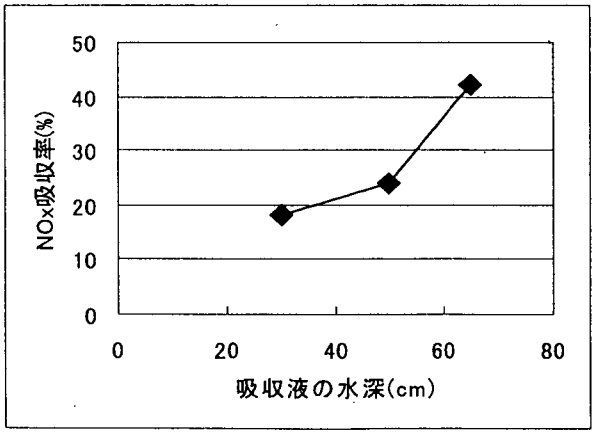
表－２　充填物の概要



図－８　気体流量と吸収率の関係（実験５）
※吸収液は酢酸カルシウムベース



図－９　充填物の種類と吸収率の関係（実験６）
※吸収液は酢酸カルシウムベースの水溶液



図－10　吸収液の水深と吸収率の関係（実験７）
※吸収液は水酸化ナトリウム 1g/L 水溶液

	充填物Ａ	充填物Ｂ
材質	塩化ビニル	ポリプロピレン
比表面積	163m²/m³	206m²/m³
空隙率	97.5%	88%

通気させる吸収液の水深については、30cm、

50cm、65cmの3条件で吸収実験（実験7）を行った。水深が深い場合には吸収液に接触する時間が長くなること、水圧が高くなるため吸収液に吸収されやすくなることから、水深が深いほど吸収率が高くなった（図－10）。ただし、水圧のために水深が深くなると曝気にエネルギーを多く消費することに注意する必要がある。

4.3.4 吸収液の化学組成の影響

NO_x吸収液の吸収率を向上させるため、吸収液の化学組成の検討を行った。吸収液の選定条件としては、なるべくコストが低く、次のNO_x除去槽に吸収液を送った際に、微生物の培養に悪影響を及ぼさないことを念頭に置いた。

実験は、500mlの三角フラスコに1%のNO_2を封入し、密栓したまま吸収液100mlを注入した後、20℃で2時間静置して行い、静置後に液中のNO_2^-濃度、NO_3^-濃度を測定し、NO_2の吸収量を求めた（実験8、図-11）。

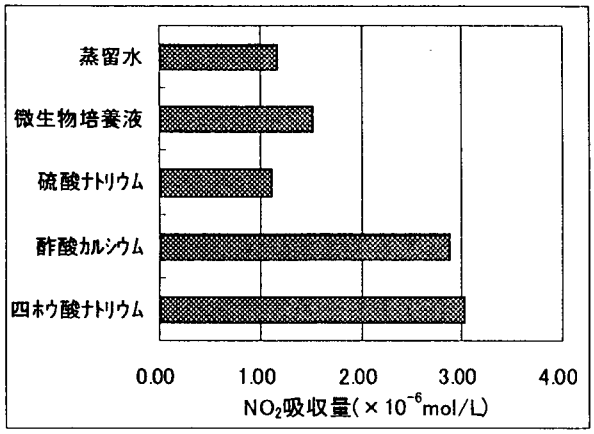


図-11　吸収液の化学組成による吸収量への影響

※硫酸ナトリウム、酢酸カルシウム、四ホウ酸ナトリウムはいずれも0.05mol/L水溶液と微生物培養液の1:1混合物。

※微生物培養液は蒸留水1Lにリン酸水素ナトリウム0.5g、塩化カルシウム二水和物0.004g、硫酸マグネシウム七水和物0.05gを加えたもの。

その結果、他の吸収液と比較して酢酸カルシウム水溶液と四ホウ酸ナトリウム水溶液の吸収量が大きいことがわかった。

この2種の溶液のうち、微生物のNO_x還元反応にメタノール等の有機物が必要であり、酢酸がその代替となりうると考えられることなどから、吸収液としては酢酸カルシウム水溶液の方がより望ましいと考えられる。

5．まとめと今後の課題

一連の実験では、微生物によるNO_xの還元効率の測定と吸収液へのNO_x吸収効率の向上方策の検討を行った。NO_xの吸収・除去ともに、特に低温での効率向上が依然として課題として残っており、また、NO_x除去効率に比べてNO_x吸収効率が依然として低いため、これらの点について、今後も改善のための検討を続けていく予定である。

NO_x吸収・除去効率については、単に通気量に対する吸収率・除去率を向上させるという観点ではなく、道路沿道での大気浄化という観点で考え、単位時間、単位容積あたりの吸収量・除去量の向上を図っていく予定である。

また、今後は実験室での実験と並行して、道路沿道にパイロットプラントを設置し、実験室と比較して厳しい条件下での連続的な運転に際しての問題点を探っていきたいと考えている。

参考文献

1）土壌微生物研究会編：新編土壌微生物実験法，pp215-216, 1992.

大城　温*



建設省土木研究所環境部
交通環境研究室　研究員
Nodoka OSHIRO

山田俊哉**



同　交通環境研究室
主任研究員
Toshiya YAMADA

大西博文***



同　交通環境研究室長
Hirofumi OHNISHI

（３８）沿道における大気汚染予測に用いる自動車の排出係数について

大城　温*　小根山裕之**　山田俊哉***　大西博文****

１．はじめに

沿道における大気汚染予測の際、小型車・大型車別の交通量と平均車速から大気汚染物質の排出量を推計するためには、台キロあたりの汚染物質排出量のデータが必要である。この台キロあたりの大気汚染物質排出量を「排出係数」と呼ぶ。

中央環境審議会の「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について」の中間答申（平成８年10月）、第二次答申（９年11月）および第三次答申（10年12月）において、自動車排出ガス中の大気汚染物質低減の新しい目標値が示されている。

しかし、従来用いられてきた排出係数[1),2)]は、昭和59年から平成元年の自動車排出ガスのデータを用いており、最新の自動車排出ガス浄化技術を反映した排出係数が必要である。

本稿では、より実際の走行状態に近い条件でのシャーシダイナモ試験を行い、最新のデータより排出係数を算出した。

２．排出係数算出の流れ

排出係数の算出は、以下の流れで行った（図-1）。

まず、シャーシダイナモ試験により実際の走行状態とほぼ同じ条件で、各試験車両から排出される大気汚染物質を測定し、各車両毎の汚染物質の排出係数原単位を求め、これを車種毎に集計する。

次に、この排出係数原単位と車種構成比、平均半積載重量を用いて、車種別（大型および小型）の排出係数を求める。

算出方法についての詳細を以下に述べる。

３．シャーシダイナモ試験

シャーシダイナモ試験とは、シャーシダイナモメーターという試験装置上で自動車に実際の走行状態と同じ負荷をかけて、大気汚染物質の排出量を測定する試験である。

実際の走行状態を再現し、かつ各試験における走行状態を同一にするためには、実走行モードの設定が必要である。実走行モードをより扱いやすく、より現実に近づけるため、平成８～９年度にかけて高速道路・一般国道等15路線において実走行調査を実施し、従来の実走行モード（建設省モード[3)]）を見直し、新しい実走行モード（土研モード[4)]）を設定した。

土研モードの特徴としては、繰り返し測定を可能にするため、モードの初速度と終速度を合わせたこと、信号の有無などの路線特性の違いを考慮して一般道路と高速道路のモードを分けて設定したことなどが挙げられる。

試験では、土研モード以外に(財)日本自動車研究所(JARI)が設定した実走行モード（JARIモード[5)]）、一定速度で走行する定常走行モード、自動車排出ガス規制モード(ディーゼル重量車はD-13モード、その他は10･15モード）を用いた。

試験を行った車両を表-1に示す。車種分類は自動車排出ガス規制値の分類を基本に、幹線道路での走行比率が小さい軽貨物車を除いており、またディーゼル乗用車については、小型車・中型車の区分を統合し、８車種分類とした。

試験実施時の走行速度はモードによって異なるが、約10～130 km/hの範囲である。積載条件は乗用車では２名乗車、貨物車では半積載を基本にモードによっては空積載、定積載でも実施した。また、勾配条件は0%を中心に2%刻みで-4～+4%

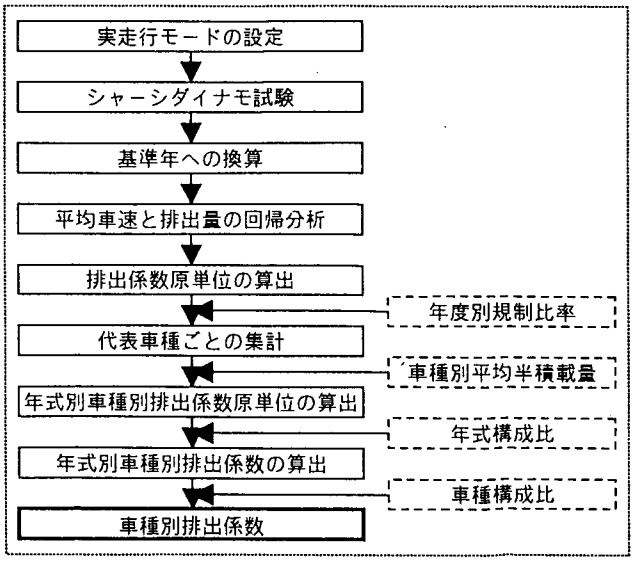


図-1　排出係数算出の流れ

Emission Factors of Vehicles for Air Pollution Prediction near Highways

表-1　シャーシダイナモ試験に使用した車両数

試験実施年度	ガソリン			ディーゼル			
	乗用車	貨物車		乗用車	貨物車		
		軽量車	中量車		軽量車	中量車	重量車
9年度	5	2	2	2	0	2	6
10年度	5	3	3	2	3	2	6
合　計	10	5	5	4	3	4	12

※ガソリン重量貨物車については、試験を行っていない。

の範囲である。

4．排出係数原単位の算出

1)車両別の排出係数原単位の算出

排出係数原単位は、窒素酸化物(NO_x)、粒子状物質(PM)、一酸化炭素(CO)については、シャーシダイナモ試験の結果から算出している。二酸化硫黄(SO_2)については、試験で測定された燃料消費量と燃料中の硫黄含有率から、燃料中の硫黄分が全てSO_2として排出されると仮定して算出した。ここで用いた硫黄含有率は平成9年3月環境庁告示の許容限度値である。

なお、乗用車では車両重量による排出量の有意な差が見られないため g/km、他の車種については等価慣性重量との比例関係があるため g/km･t（等価慣性重量あたり）で排出係数原単位を設定している。また、算出に用いた積載条件は半積載、勾配条件は0%である。

環境影響評価等で、排出係数原単位を将来の大気質予測に用いる場合には、シャーシダイナモ試験で得られた排出係数原単位をその予測年次にあわせて設定する必要がある。環境影響評価では、概ね 20 年後を想定して環境への影響を予測することが一般的であることから、ここでは平成 30

表-2　NOx の排出係数原単位（平成 30 年）

車種	燃料	ガソリン			
	車両	乗用車	貨物車		
			軽量車	中量車	重量車
区間平均走行速度(km/h)	20	0.0592	0.0538	0.0242	
	40	0.0401	0.0390	0.0205	
	60	0.0293	0.0290	0.0222	
	80	0.0319	0.0350	0.0235	
	100	0.0497	0.0591	0.0232	
	110	0.0643	0.0782	0.0226	
車種	燃料	ディーゼル			
	車両	乗用車	貨物車		
			軽量車	中量車	重量車
区間平均走行速度(km/h)	20	0.230	0.0729	0.0999	0.182
	40	0.145	0.0500	0.0571	0.118
	60	0.0929	0.0413	0.0410	0.0954
	80	0.114	0.0473	0.0502	0.122
	100	0.217	0.0682	0.0847	0.198
	110	0.300	0.0842	0.111	0.255

※単位：乗用車 g/km、貨物車 g/km･t

表-3　CO の排出係数原単位（平成 30 年）

車種	燃料	ガソリン			
	車両	乗用車	貨物車		
			軽量車	中量車	重量車
区間平均走行速度(km/h)	20	0.363	0.575	4.70	
	40	0.289	0.357	1.81	
	60	0.267	0.251	0.976	
	80	0.283	0.301	3.19	
	100	0.331	0.646	10.6	
	110	0.368	0.920	16.0	
車種	燃料	ディーゼル			
	車両	乗用車	貨物車		
			軽量車	中量車	重量車
区間平均走行速度(km/h)	20	0.234	0.0425	0.0789	0.119
	40	0.105	0.0290	0.0625	0.0827
	60	0.0649	0.0235	0.0533	0.0677
	80	0.0472	0.0208	0.0480	0.0584
	100	0.0378	0.0197	0.0460	0.0518
	110	0.0348	0.0196	0.0461	0.0490

※単位：乗用車 g/km、貨物車 g/km･t

表-4　SPM の排出係数原単位（平成 30 年）

車種	燃料	ガソリン			
	車両	乗用車	貨物車		
			軽量車	中量車	重量車
区間平均走行速度(km/h)	20	1.74×10^{-3}	1.33×10^{-3}	2.02×10^{-3}	
	40	1.50×10^{-3}	0.867×10^{-3}	0.772×10^{-3}	
	60	1.50×10^{-3}	0.588×10^{-3}	0.459×10^{-3}	
	80	1.14×10^{-3}	0.526×10^{-3}	0.774×10^{-3}	
	100	3.96×10^{-3}	0.739×10^{-3}	3.36×10^{-3}	
	110	6.02×10^{-3}	0.955×10^{-3}	5.32×10^{-3}	
車種	燃料	ディーゼル			
	車両	乗用車	貨物車		
			軽量車	中量車	重量車
区間平均走行速度(km/h)	20	0.0207	0.0141	0.0116	0.00934
	40	0.0148	0.0102	0.00729	0.00625
	60	0.0110	0.00734	0.00468	0.00477
	80	0.00962	0.00632	0.00622	0.00489
	100	0.0108	0.00730	0.0124	0.00661
	110	0.0123	0.00856	0.0173	0.00806

※単位：乗用車 g/km、貨物車 g/km･t

表-5　SO_2 の排出係数原単位（平成 30 年）

車種	燃料	ガソリン			
	車両	乗用車	貨物車		
			軽量車	中量車	重量車
区間平均走行速度(km/h)	20	0.0139	0.0107	0.0115	
	40	0.00963	0.00792	0.00854	
	60	0.00820	0.00689	0.00772	
	80	0.00824	0.00704	0.00848	
	100	0.00949	0.00824	0.0107	
	110	0.0105	0.00922	0.0124	
車種	燃料	ディーゼル			
	車両	乗用車	貨物車		
			軽量車	中量車	重量車
区間平均走行速度(km/h)	20	0.0896	0.0473	0.0454	0.0284
	40	0.0630	0.0347	0.0337	0.0211
	60	0.0524	0.0295	0.0301	0.0182
	80	0.0519	0.0288	0.0321	0.0194
	100	0.0604	0.0322	0.0392	0.0244
	110	0.0679	0.0353	0.0446	0.0283

※単位：乗用車 g/km、貨物車 g/km･t

表-6　基準年を平成30年とした場合の年式別車両構成比　（単位：%）

車種＼年式	11年以前 ～H19	10年前 H20	9年前 H21	8年前 H22	7年前 H23	6年前 H24	5年前 H25	4年前 H26	3年前 H27	2年前 H28	1年前 H29	基準年 H30
小型車類	1.03	1.84	2.93	4.46	6.06	7.63	9.17	10.60	12.10	13.40	14.79	15.99
大型車類	0.23	1.08	2.27	3.83	5.57	7.32	9.02	10.73	12.45	14.14	15.83	17.53

年の排出係数を算出する。

平成 30 年の排出係数原単位は、シャーシダイナモ試験の排出データに基準年までの規制値の低減比（平成 10 年 12 月の中央環境審議会答申による平成 19 年の長期目標値／試験車両に適用されている規制値）を乗じることにより求める。ただし、10･15 モード（ディーゼル重量車は D13 モード）での排出量が平成 19 年目標値を下回っている場合は、低減比を 1 とする。

低減後のデータから各モードの平均車速と排出量の関係をプロットし、両者の 3 次回帰式を求めた（式(1)）。

$$y = a\frac{1}{x} + bx + cx^2 + d \qquad (1)$$

x :車速(km/h)
y :排出量(g/km または g/km･t)
a,b,c,d：回帰パラメータ

なお、平成 30 年にはほとんどの自動車が、新長期目標値を達成していることが年式別車両構成比の調査から推定される（表-6）ことから、平成 30 年の全走行車両の排出係数原単位として、平成 30 年の原単位を用いることとした。

2)代表車種別排出係数原単位の算出

この回帰式から、各試験車両の 20,40,60,80,100,110km/h の NO_x,SPM,CO,SO_2 の排出係数原単位を求め、各車両毎に代表車種別、車速別に平均したものが表-2,3,4,5 である。

代表 8 車種のうちガソリン重量車については、車種構成割合が小型車類のうちの 0.8%、大型車類のうちの 0.6%と小さいため、今回試験を行っておらず、排出係数原単位は算出していない。

3)年式別車種別排出係数原単位の算出

本稿で示した平成 30 年の排出係数原単位以外の原単位を算出する場合、適用されている排出規制値の異なる年式が混在しているため、年式別に排出係数原単位を算出する必要がある。年式別の算出は、平成 30 年の原単位に規制値の低減比の逆数（求める年次に適用される規制値／平成 19 年の長期目標値）をかけることにより求める。

5．排出係数の算出

小型車類・大型車類別の排出係数の算出は、排出係数原単位の他に車種構成比および平均半積載重量を用いて以下の(2)式で行った（表-7）。

$$E = \sum_i (\alpha_i \times \frac{S_i}{100} \times W_i) \qquad (2)$$

E　：小型車類または大型車類の排出係数(g/km･台)
α_i ：車種分類 i の排出係数原単位(g/km または g/km･t)
S_i ：車種分類 i の構成比(%)
W_i ：車種分類 i の平均半積載重量(t)
（ただし、W_i は乗用車の場合には考慮しない）

車種構成比および平均半積載重量（図-2）、年式構成比のデータは、平成 9 年度の道路交通センサスおよび平成 10 年度の一般国道・高速国道・都市高速全 12 路線におけるナンバープレート読み取りによる車種構成調査の結果である。

予測年次において排出規制値が異なる年式の車両が混在している場合には、年式ごとに 4.3)で述べたように排出係数原単位を算出し、これら表-6 の年式構成比を乗じ足し合わせ、排出係数を求める必要がある。

なお、ガソリン重量車については、前述の理由で排出係数原単位が設定できないため、ここではガソリン中量車の原単位を当てはめた。

排出係数原単位の(1)式と同じ形式の回帰式により求めた、平均車速と排出係数の回帰パラメータを表-8 に示す。これを用いることにより、任意の速度の排出係数が算出可能である。

6．勾配補正係数の算出

相当長い区間縦断勾配が連続する道路では自

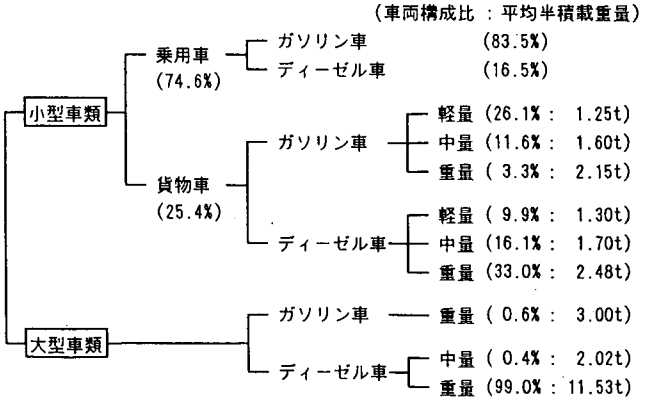


図-2　排出係数算出に用いる車両構成比・平均半積載重量

動車にかかる負荷が平坦地と異なり、排出係数も変わってくると考えられる。そこで、このような場合には勾配 0%時の排出係数に、勾配に応じた補正係数を乗じるものとした。補正係数は、シャーシダイナモ試験の結果から勾配 0%時の排出係数に対する変化率と勾配の回帰式を求めて設定した。なお、補正係数とは、この回帰式から求めた以下の(3)式の係数(1+ai)と定義する。

$$Y=(1+ai)X \qquad (3)$$

Y：勾配 i%における排出係数
X：勾配 0%における排出係数　　a：回帰係数

勾配補正係数は車速により異なってくることから、一般道路と自動車専用道路の区分を念頭に置き、60km/h 未満とそれ以上の速度に区分し、それぞれの区分の補正係数を求めた（表-9)。

7．おわりに

本稿では、平成 9，10 年度に実施したシャーシダイナモ試験の報告と、平成 8～10 年にかけての中央環境審議会の答申「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について」で示されている自動車排出ガス規制値等を用いた排出係数の算出方法について述べた。

将来、液化石油ガス(LPG)車・圧縮天然ガス(CNG)車・メタノール車などの代替燃料自動車や、電気自動車・ハイブリッド車などの低公害車の普及が進めば、それらの車種についてもシャーシダイナモ試験を実施し、排出係数を求める必要があると考えられ、今後の検討課題である。

また、今回試験を実施していない軽貨物車、ガソリン重量車については、車種構成比の上では小さいものの、今後試験の必要性について検討する必要があると考えている。

表-7　平成 30 年の排出係数　　(g/km･台)

車速	NOx		SPM		CO		SO_2	
(km/h)	小型車	大型車	小型車	大型車	小型車	大型車	小型車	大型車
20	0.118	2.08	0.007	0.107	0.636	1.45	0.032	0.325
30	0.097	1.67	0.006	0.086	0.510	1.15	0.026	0.276
40	0.077	1.35	0.005	0.071	0.368	0.975	0.023	0.241
45	0.070	1.23	0.005	0.065	0.314	0.909	0.022	0.228
50	0.064	1.15	0.004	0.060	0.275	0.856	0.021	0.219
60	0.057	1.09	0.004	0.054	0.250	0.778	0.019	0.208
70	0.059	1.16	0.003	0.053	0.304	0.733	0.019	0.209
80	0.068	1.39	0.004	0.056	0.439	0.718	0.020	0.221
90	0.086	1.75	0.005	0.063	0.659	0.731	0.021	0.244
100	0.113		0.007		0.965		0.024	
110	0.148		0.009		1.36		0.027	

表-8　平成 30 年の排出係数算出式の係数

項目	車種	a	b	c	d
NO_x	小型車類	- 0.902	-5.78×10^{-3}	$+4.39\times10^{-5}$	+0.261
	大型車類	- 7.12	-8.95×10^{-1}	$+7.35\times10^{-4}$	+3.93
SPM	小型車類	- 0.138	-4.56×10^{-4}	$+3.17\times10^{-6}$	+0.0218
	大型車類	+ 0.0318	-3.10×10^{-3}	$+2.27\times10^{-5}$	+0.158
CO	小型車類	-12.5	-5.59×10^{-2}	$+4.48\times10^{-4}$	+2.20
	大型車類	+10.9	-1.68×10^{-2}	$+1.15\times10^{-4}$	+1.19
SO_2	小型車類	+0.169	-4.69×10^{-4}	$+3.75\times10^{-6}$	+0.0313
	大型車類	+0.444	-6.91×10^{-3}	$+5.46\times10^{-5}$	+0.419

表-9　排出係数の縦断勾配による補正係数

車種	速度区分	勾配 i の適用範囲(%)	勾配補正係数 NO_x	SPM	CO	SO_2
小型車類	低～中速 (60km/h 未満)	$0<i\leqq+4$	1+0.25i	1+0.21i	1+1.04i	1+0.20i
		$-4\leqq i<0$	1+0.13i	1+0.12i	1+0.15i	1+0.13i
	中～高速 (60km/h 以上)	$0<i\leqq+4$	1+0.38i	1+0.38i	1+1.90i	1+0.24i
		$-4\leqq i<0$	1+0.19i	1+0.14i	1+0.15i	1+0.17i
大型車類	低～中速 (60km/h 未満)	$0<i\leqq+4$	1+0.29i	1+0.21i	1+0.12i	1+0.25i
		$-4\leqq i<0$	1+0.17i	1+0.11i	1+0.06i	1+0.16i
	中～高速 (60km/h 以上)	$0<i\leqq+4$	1+0.43i	1+0.30i	1+0.17i	1+0.33i
		$-4\leqq i<0$	1+0.22i	1+0.13i	1+0.13i	1+0.21i

参考文献

1) 中島威夫，山田治，石塚俊光:「自動車から排出されるガス量に関する調査」，土木技術資料 33-9, pp.47-51, 1991
2) 石田稔，西尾崇，小野田豊:「車両大型化の自動車排出ガスへの影響」，土木技術資料 37-7, pp.56-59, 1995
3) 足立義雄ほか:「一般国道における自動車の走行特性」，土木技術資料 22-3, 1980
4) 小根山裕之，大西博文，山田俊哉，平井洋:「自動車の走行特性を反映した排出係数の設定に用いる実走行モードについて」，土木計画学研究・講演集 No.22(2), pp.571-574, 1999
5) 平井，柳，土井，細井:「排出係数測定用の実走行モードの作成方法について」，自動車研究 18-12, pp.5-8, 1996

大城　温*

建設省土木研究所
環境部交通環境研究室
研究員
Nodoka OSHIRO

小根山裕之**

東京大学生産技術研究所
第５部
(前 交通環境研究室 研究員)
Hiroyuki ONEYAMA

山田俊哉***

建設省土木研究所
環境部交通環境研究室
主任研究員
Toshiya YAMADA

大西博文****

同　交通環境研究室長

Hirofumi OHNISHI

（３９）道路特殊部における大気質の予測手法

山田俊哉* 大城　温** 大西博文***

1. はじめに

閣議決定に基づく環境アセスメントに代わり、平成 11 年 6 月から環境影響評価法が全面施行され、法に基づく環境アセスメントが行われることとなった。道路事業の大気質のアセスメントにおいても、最新の知見に基づく予測等の環境影響評価の手法を整理する必要がある。特に道路特殊部については、その構造に即して予測を行う必要があるとの指摘がある。

このような背景を踏まえ、土木研究所では大気質の道路特殊部における予測手法について検討した。本稿では、その検討の概要を報告する。

2. 道路特殊部における大気質の予測手法

道路供用時の大気質の一般部における予測は、これまで道路の中央に点煙源を連続して配置し、各々の点煙源から排出される物質 (窒素酸化物、浮遊粒子状物質、二酸化硫黄、一酸化炭素) の濃度を合成して求めることとしている。この場合の点煙源から排出される物質の濃度は、有風時 (風速 1m/s を超える場合) についてはプルーム式を、また、弱風時 (風速 1m/s 以下の場合) についてはパフ式を用いて予測することとしている [1]。さらに、プルーム式またはパフ式に用いる排出量の算出にあたっては、車種別の排出量を交通量及び排出係数により求め、求めた車種別の排出量を合算して求めることとしている。

今回、道路特殊部については、インターチェンジ部，トンネル坑口部，堀割部，換気塔部の 4 つの構造について検討した。いずれも拡散計算はプルーム式及びパフ式を基本とし、点煙源配置や排出量の算出等を以下のとおりとした。2.1 から 2.4 において、各構造別の予測手法の概要を述べる。

2.1 インターチェンジ部の予測手法

インターチェンジ部の予測は図-1 のフローに従い、プルーム式及びパフ式を用いて行う。点煙源は本線及びランプ部の車道の中央に沿って基本的には 10m 間隔で配置し、点煙源ごとに道路構造、車道部幅員及び路面高さを設定する。

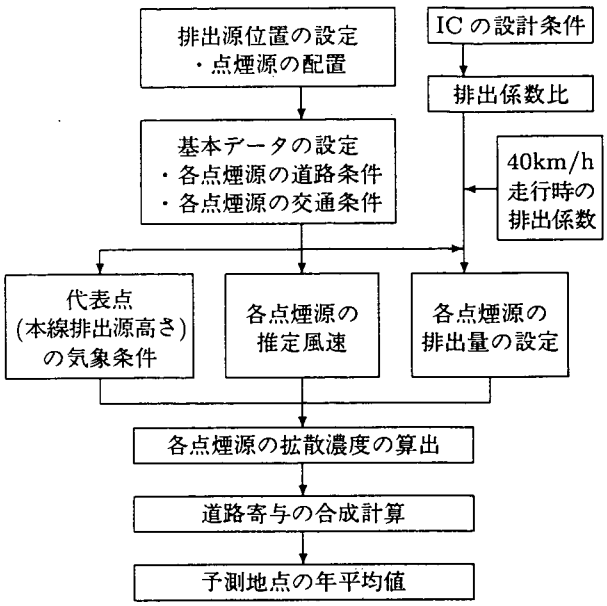


図-1 インターチェンジ部の大気質の予測手順

2.2 トンネル坑口部の予測手法

トンネル坑口部周辺の予測は図-2 のフローに従い、トンネル坑口からの排出による拡散濃度 (トンネル寄与分) と明かり部からの拡散濃度を合算して行う。トンネル寄与分は、有風時は噴流モデルと等価排出強度モデルを組み合わせ、弱風時は噴流モデルを用いて予測する。

(1) トンネル寄与分の予測手法

1) 有風時の予測

噴流モデルと等価排出強度モデルを組み合わせて、図-3 のフローに従い予測する。

①噴流モデル

噴流モデルは、「トンネル坑口からの吐出空気は噴流とみなすことができ、この噴流内の流速と濃度は噴流口からある程度離れれば正規分布する」[2](図-4) という特性に基づいて導出したモデルである。拡散式はプルーム式と同形であるが、その式は、煙流中心軸の濃度を C(x) とし、中心軸

Prediction Method of Air Pollution Concentration in Special Sections of Roads

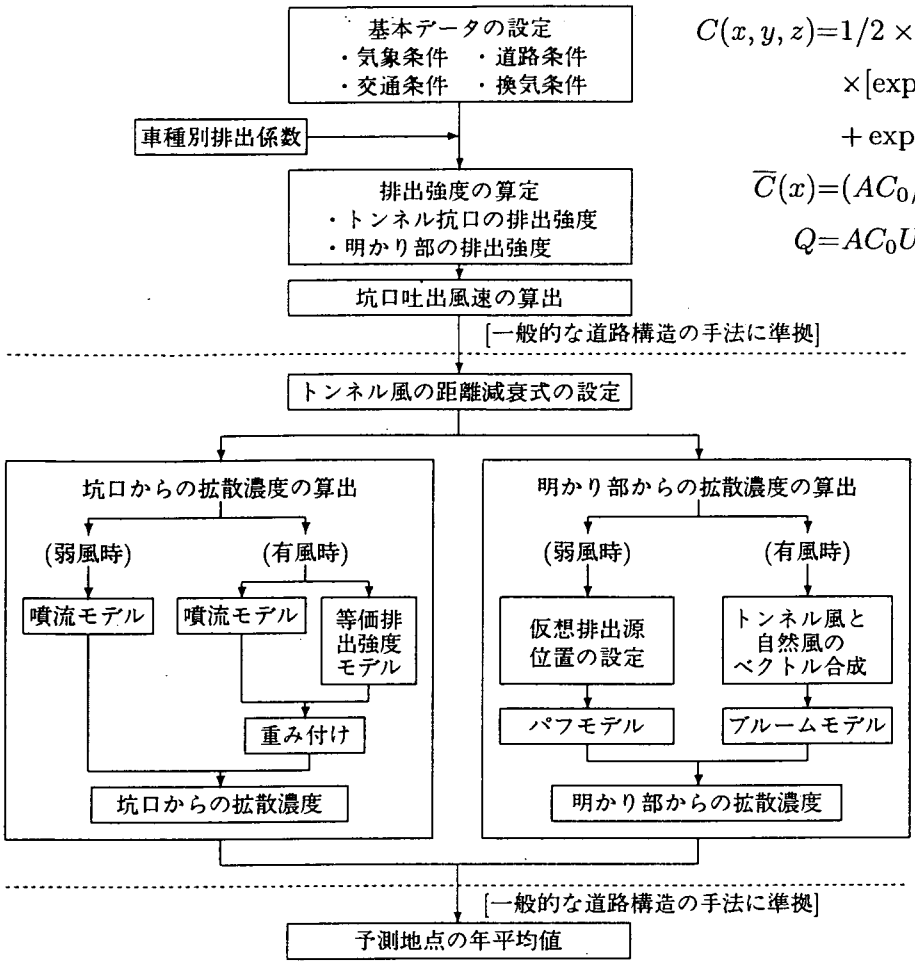


図-2　トンネル坑口部の大気質の予測手順

$$C(x,y,z)=1/2\times\overline{C}(x)\times\exp(-y^2/2{\sigma_y}^2)$$
$$\times[\exp\{-(z-H)^2/2{\sigma_z}^2\}$$
$$+\exp\{-(z+H)^2/2{\sigma_z}^2\}] \quad (1)$$
$$\overline{C}(x)=(AC_0/\pi\sigma_y\sigma_z)\times U_{T0}/U_T(x)$$
$$Q=AC_0U_{T0},\ U_{T0}/U_T(x)=\exp(kx)$$
$$\sigma_y=W/\sqrt{\pi}+\alpha x$$
$$\sigma_z=A/\sqrt{\pi}\cdot W+\beta x$$

ここで、

C_0：坑内濃度 (ppm)

U_{T0}：トンネル坑口からの吐出風速 (m/s)

$U_T(x)$：坑口から距離 x でのトンネル風の風速 (m/s)

Q：トンネル坑口からの排出量 (mℓ/s)

A：トンネル断面積 (m^2)

W：坑口での道路幅 (m)

k：トンネル風の減衰パラメータ

α,β,γ：拡散パラメータ

H：排出源高さ (m)

x：坑口を起点とする吐出方向距離 (m)

トンネル風の減衰パラメータ k 及び拡散パラメータ α,β,γ は、トンネル坑口周辺の実測データを参考に適切に設定する。

②等価排出強度モデル [3)]

等価排出強度モデルは、トンネル坑口から排出される量とその総量が等しく、かつ、ある分布をもつような排出強度を明かり部の排出源に与えるモデルである。このようにして明かり部の排出源に排出強度を与えて、この排出源からの拡散濃度をプルーム式を用いて計算する。

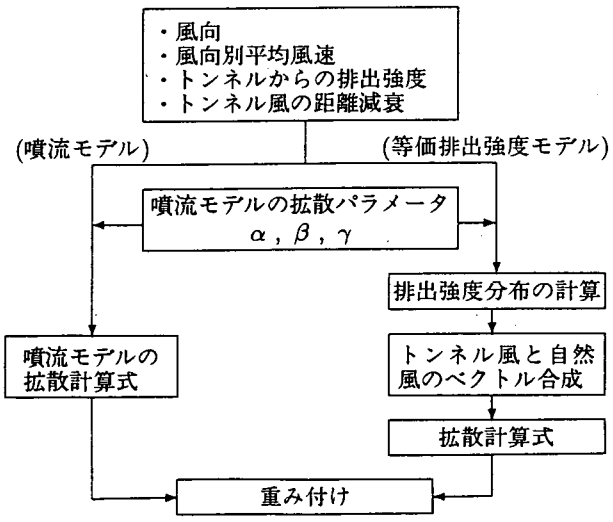


図-3　有風時の計算手順

に直角な水平及び鉛直方向に正規分布形をなして広がることを表す。坑口周辺における任意の位置の拡散濃度は、排出源をトンネル坑口の車道中央に置き、この拡散式を解くことにより求めることができる。

噴流モデルは、次の拡散計算式により表される。

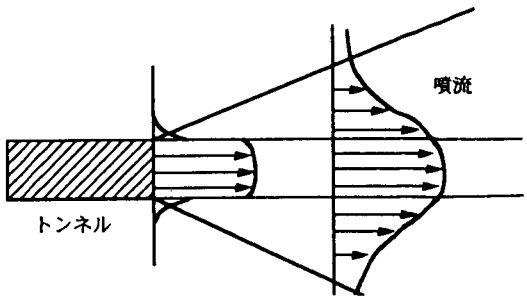


図-4 噴流モデルのイメージ

等価排出強度モデルでは、明かり部に設定した各点煙源の排出量 $q(x)$ を、次式により設定する(図-5)。

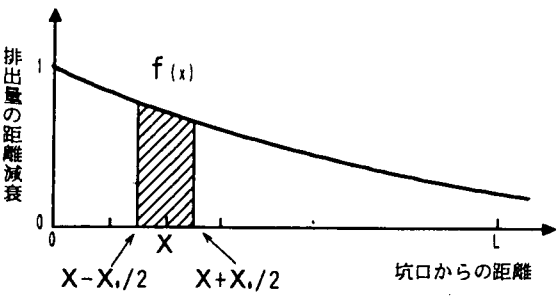


図-5 トンネル坑口周辺に設定された点煙源の排出量の与え方

$$q(x) = B \int_{x-x0/2}^{x+x0/2} f(x)dx \qquad (2)$$

ここで、

B：明かり部に設定した点煙源の総排出量と坑口からの排出量を等価とするための係数

$$B = \int_0^L f(x)dx/Q$$

Q：トンネル坑口からの排出量 (mℓ/s)

$f(x)$：濃度の距離減衰比

$$f(x) = (A/\pi\sigma_y\sigma_z) \times U_{T0}/U_T(x)$$

各点煙源から拡散する方向と風速は、自然風の風速 U_N とトンネル風の風速 U_T をベクトル合成して設定する。

予測地点の濃度は、噴流モデルと等価排出強度モデルにより算出した濃度をそれぞれ重み付けした後、これらを足し合わせて求める。重み付けの比率は、坑口からの距離に応じて次式により設定する。

噴流モデル：等価排出強度モデル

$$= (200 - R)/200 : R/200 \quad (R \leqq 200\text{m})$$

ここで、

R：$x-y$ 面における坑口から予測点までの最短距離 (m)

$$R = \sqrt{x^2 + y^2}$$

ただし、$R > 200$m においては等価排出強度モデルのみを使用する。

2) 弱風時の予測

弱風時の予測は、有風時の噴流モデルに準拠して予測する。

(2) 明かり部からの拡散濃度の予測手法

1) 有風時の予測

プルーム式により予測する。ただし、拡散計算に用いる風速は、等価排出強度モデルと同様にして算定した坑口からの吐出風速と自然風の風速のベクトル合成値を用いる。

なお、拡散幅は一般的な道路構造の予測方法と同様に設定する。

2) 弱風時の予測

パフ式により予測する。ただし、排出源の位置及び初期拡散幅に相当する時間 (t_0) は、トンネル風の影響を考慮して適切に設定する。

2.3 堀割部の予測手法

開口部からの排出が平衡状態に達している場合は、切土とみなし、一般的な道路構造の予測方法に準拠して予測する。開口部からの排出が平衡状態に達していない場合は図-6 のフローに従い、呼吸量

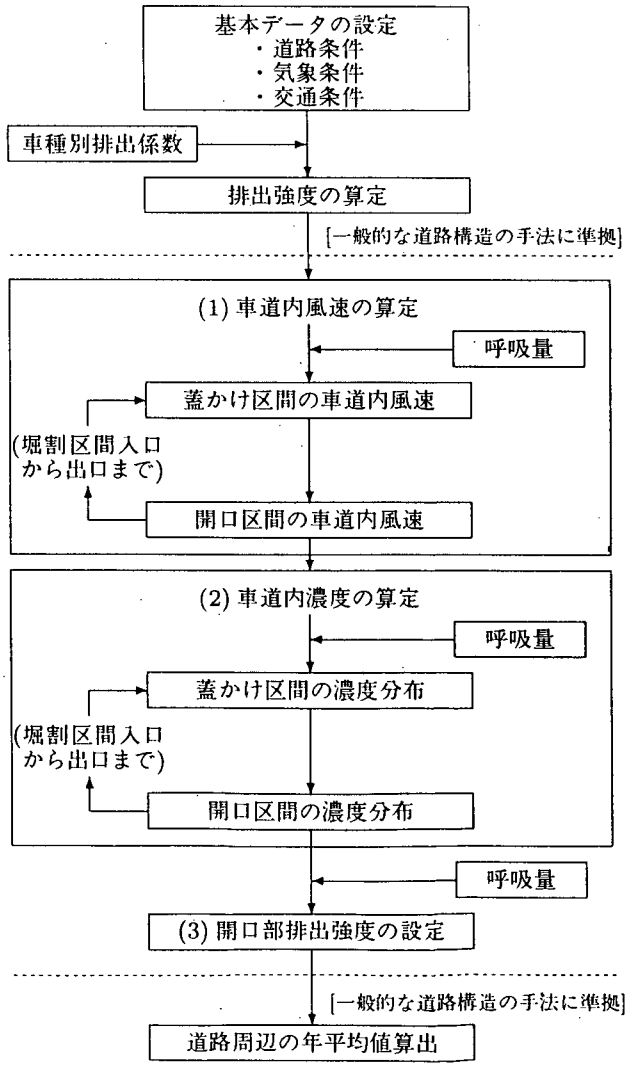


図-6 堀割部の大気質の予測手順

モデルにより車道内濃度を計算し、車道内濃度に基づき開口部の点煙源の排出量を設定して、プルーム式及びパフ式により予測する。

(1) 呼吸量モデル[4)]

堀割構造は、拡散現象からみると、車道全体が開放されている一般の道路構造より閉鎖的である。このような半閉鎖構造の道路内では、走行する自動車によって発生する交通風が道路縦断方向に生じ、道路内で発生した汚染物質が道路縦断方向に移流するとともに車道部上空の開口部からも一部排気される。この移流及び排気現象は、道路内の空気を道路縦断方向に移動させる圧力 (正圧) が走行車両の前面に発生することから起こる。一方、走行車両の後面は常に負圧で、これを大気圧に戻すため一部清浄な空気と入れ替わった外気が開口部から道路内に給気される。このように堀割構造内を車両が走行すると、開口部では排気、給気が交互に繰り返される。あたかも呼吸するかのような現象を示すので、この作用を呼吸作用と呼んでいる (図-7)。

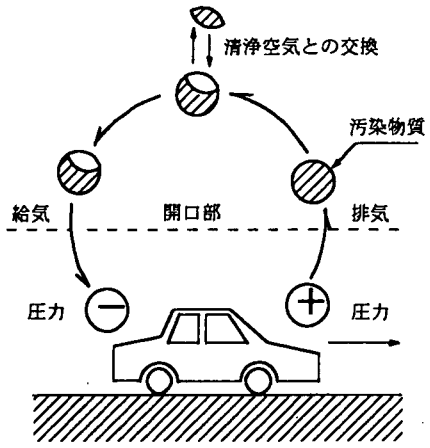


図-7 走行車両による呼吸作用の模式図

(2) 車道内濃度の計算

開口区間の車道内濃度は、呼吸量モデルに基づく次式により算出する。

$$C=Ge/qB-(Ge/qB-C_0)\times\exp\{-qB/(Ar\cdot Vr)\times x\} \quad (3)$$

ここで、

C : 堀割開口区間の車道内濃度 (ppm)
C_0 : 堀割開口区間入口の車道内濃度 (ppm)
Ge : 単位長さ当りの汚染物質の排出量 (mℓ/s·m)
x : 堀割開口区間入口からの距離 (m)
L : 堀割開口区間の距離 (m)
Ar : 堀割開口区間の車道内断面積 (m^2)
B : 開口部の開口幅 (m)
Vr : 堀割開口区間の車道内風速 (m/s)
q : 単位呼吸量 (m^3/s·m^2)

$$q=q*\times Vr$$

$q*$: 無次元化呼吸量

無次元化呼吸量は、既存資料等から適切に設定する。なお、対面通行の場合は各々の車線の車道内濃度を求め、これを平均して車道内濃度とする。

(3) 点煙源の排出量の設定

開口部の点煙源の排出量は、車道内濃度に単位呼吸量及び開口幅を乗じて設定する。この排出量を用いて、プルーム式及びパフ式による拡散計算を行う。

2.4 換気塔部の予測手法

換気塔の予測は、排気上昇高さを計算して有効排出源高さＨｅを設定した後、点煙源のプルーム式により行う。

排気口から排出される空気は、一定の排出速度を有している。このため、煙軸高さは換気塔高さより上方に出現する。またダウンウォッシュが生じた場合には換気塔高さより下方に出現する。拡散計算に当たっては、この煙軸高さの上昇又は下降を考慮して排気上昇高さを算出しなければならない。排気上昇高さ ΔH の計算式は、種々の式が提案されているが、道路の換気塔においては熱浮力を持たず排出速度のみを持った排気として、以下のように計算することができる。

換気塔の有効排出源高さ H_e は、次式を用いて算出する (図-8)。

$$H_e=H_0+\Delta H \quad (4)$$

ここで、

H_0 : 排出口の実体高さ
ΔH : 排気上昇高さ

式 (4) の排気上昇高さ ΔH は、次の Briggs の式により算出する[5)]。

$$\Delta H=3\times(V_s/u)\times D \quad (5)$$

ここで、

V_s : 換気塔吐出速度 (m/s)
u : 換気塔頭頂部における風速 (m/s)
D : 換気塔頭頂部内径 (m)

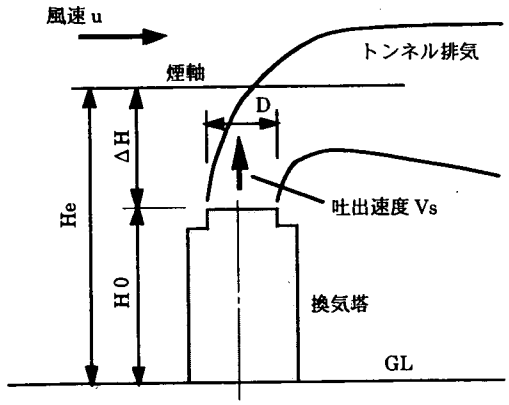


図-8 換気塔の有効排出源高さ

換気塔及び建物によりダウンウォッシュが生ずる場合は、ΔH を次式により算出する。

$$\Delta H = -2(1.5 - V_s/u) \times D \qquad (6)$$

($V_s < 1.5u$ の場合)

予測に用いる気象データは、大気安定度を考慮して適切に設定する。

予測に用いる拡散幅は、Huber の式に基づいて設定する[6]。

1) 鉛直方向拡散幅 (σ_z)

- $x < 3Lb$ $\quad \sigma_z = 0.70Lb$
- $3Lb \leqq x \leqq 10Lb$ $\quad \sigma_z = 0.70Lb + 0.067(x - 3Lb)$
- $x > 10Lb$ $\quad \sigma_z = \gamma_y (x + x_0)^{\alpha_z}$

2) 水平方向拡散幅 (σ_y)

①$H0/Hb > 1.2$ の場合

$$\sigma_y = \gamma_y \cdot x^{\alpha_y}$$

②$H_0/H_b \leqq 1.2$ の場合

- $x < 3Lb$ $\quad \sigma_y = 0.35Lb'$
- $3Lb \leqq x \leqq 10Lb$ $\quad \sigma_y = 0.35Lb' + 0.067(x - 3Lb)$
- $x > 10Lb$ $\quad \sigma_y = \gamma_y (x + x_0')^{\alpha_y}$

ここで、

Lb : 換気所建物高さ Hb と建物幅 Wb の小さい方 (m)

Lb' : $Wb < 10Hb$ ならば $Lb' = Wb$(m)
$Wb \geqq 10Hb$ ならば $Lb' = Hb$(m)

x_0 : P-G 線図で $\sigma_z = 1.17Lb$ となる風下距離と 10Hb との差

x_0' : P-G 線図で $\sigma_y = 0.35Lb' + 0.47Lb$ となる風下距離と 10Hb との差

$\alpha_z, \gamma_z, \alpha_y, \gamma_y$: P-G 線図の近似式の係数

3. 予測手法の検証

予測手法の妥当性の検証を高速道路及び一般国道における実測調査を基にインターチェンジ部 (図-9)、トンネル坑口部 (図-10)、堀割部 (図-11) において、NO_2 の月平均値を用いて実測値と計算値を比較することにより行った。また、換気塔部 (図-12) においてはトレーサーガスの 1 時間平均値を用いて検証した。結果は図-9~12 のとおりで

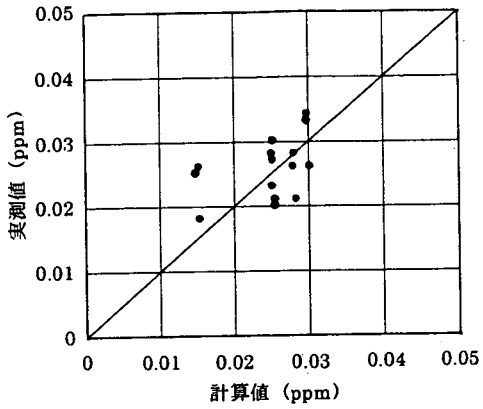


図-9 インターチェンジ部の NO_2 濃度の実測値と計算値

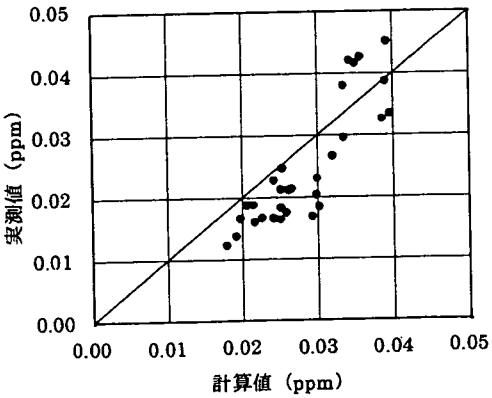


図-10 トンネル坑口部の NO_2 濃度の実測値と計算値

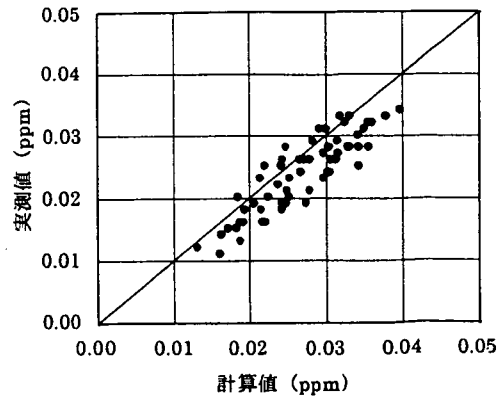


図-11 堀割部の NO_2 濃度の実測値と計算値

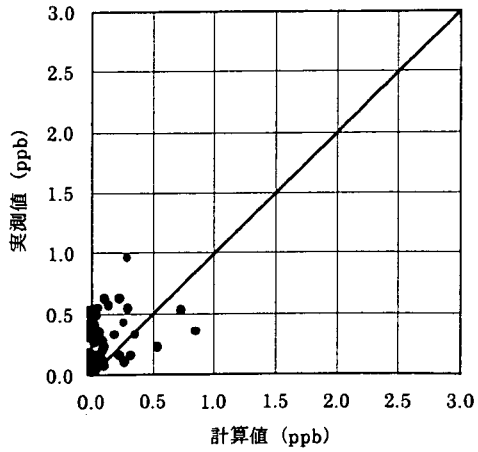


図-12 換気塔部のトレーサーガスの実測値と計算値

あり、換気塔部は1時間平均値のためややバラツキが大きいが、いずれの手法も実測値と計算値は概ね一致しており、予測手法は妥当と判断できる。

4. あとがき

ここに示した手法は、最新の科学的知見に基づいて検討し、提案されたものである。なお、今後も現場での実測に基づいた知見を集め、予測式等にフィードバックしながら、予測精度の向上を図っていきたい。

最後に、本研究の実施に当たっては、全国の地方建設局及び道路関係公団の方々に測定や資料の提供に多大なご協力をいただいた。また、検討に当たっては、「道路環境アセスメントマニュアルに関する大気環境予測評価委員会(委員長　横山長之:財団法人 日本気象協会参与)」の委員の皆様にご指導をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) 社団法人 日本道路協会：道路環境整備マニュアル, pp.44-45, 1989.

2) 高曽徹,、大橋秀雄：接地半円ジェットの乱流拡散, 日本機械学会論文集 (第2部)Vol.44, No.380, pp.1266-1274, 1978.

3) 清水博、足立義雄、辻靖三、根本守：山海堂, 道路環境, pp.180-181, 1987.

4) 石田稔、稲沢太志：堀割道路におけるガスの呼吸量, 土木技術資料, 37-2, pp.18-23, 1995.

5) Briggs, G.A. : Plume Rise,U.S.Atomic Energy Commission,Division of Technical Information,1969.

6) Huber, A.H. : Evaluation of a Method for estimating pollution concentrations downwind of influencing buildings, Atmos.Environ., Vol.18, No.11, pp.2313-2338, 1984.

山田俊哉*



建設省土木研究所環境部
交通環境研究室主任研究員
Toshiya YAMADA

大城　温**



同　交通環境研究室研究員
Nodoka OSHIRO

大西博文***



同　交通環境研究室長
Hirofumi OHNISHI

（４０）道路沿道の弱風時拡散について

○山田俊哉，大西博文，大城　温（建設省土木研究所）
百瀬成一（株式会社 環境技術研究所）

１．はじめに　道路沿道における弱風時(風速が１m/s以下)の大気拡散予測は、積分型簡易パフ式を用いて行われる。その際の拡散パラメータの既往の設定値としてα：0.3、γ：0.18(昼間),0.09(夜間)がある。我々はこの弱風時の拡散パラメータの妥当性をトレーサーガス拡散実験により検討したので、その結果を報告する。

２．実験方法　実験場所は、一般国道沿道(沿道)及び道路のない平坦地(野外)の２箇所とした(表１)。沿道実験は自動車走行に伴う曳航風の影響のある場合を、また野外実験は曳航風の影響のない場合を想定したものである。実験はトレーサーガス拡散実験を基本とし、沿道実験においてはＮＯｘ測定を併用した。また、沿道実験においては、距離減衰把握と鉛直方向の濃度分布が把握できるように、野外実験においては図１のように同心円上に測定点を配置した。沿道実験は、トレーサーガスを１週間連続放出し、得られたデータから弱風時データを抽出し、野外実験は弱風時にトレーサーガスを放出して実験データとした。

３．解析方法　拡散パラメータ(α、γ)は次のように推定した。

(1)沿道実験の解析方法：トレーサーガス及びＮＯｘの濃度データを拡散式に当てはめ、拡散パラメータα、γ、ｔ₀を変化させ、誤差の２乗和が最小になるような最適解を求める。

(2)野外実験の解析方法：弱風時の拡散パラメータは時間の関数σy＝αｔ、σz＝γｔ(ｔ：移流時間)として表されることから、水平方向の拡散パラメータαは、同心円上の測定点のデータから次式により求める。　$\alpha = \Delta\sigma y / (\Delta x / u)$(ただしｕ：風速)

上式のσyは、同心円上の測定値について、横軸に真北からの角度、縦軸に測定値をプロットし(図２)、同図を正規分布とみなして最小二乗法により正規分布曲線を描き(図３)、その標準偏差をσyとする。鉛直方向の拡散パラメータγは、鉛直方向濃度分布を正規分布とみなし、次式により求める。　$\gamma = \Delta\sigma z / (\Delta x / u)$

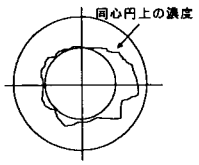


図２　平面分布概念図

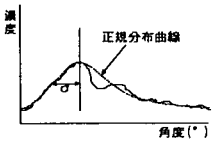


図３　ｽﾌﾟﾘｯﾄ現象の解析

４．解析結果と考察　移流時間と拡散幅の関係図(図４,図５)は既往の設定値を中心に分布している。また、図６は弱風時の全データの平均値と、既往の拡散パラメータを用いて計算した値(平均値)の距離減衰図を比較したものであり、実測値と計算値の整合性はよい。従って、道路沿道においては既往の設定値は妥当なものであると考えられる。なお、大気安定度別に拡散幅を示したものが図７であるが、昼夜別に分類したデータにおいて大気安定度による有意な差は認められなかった。

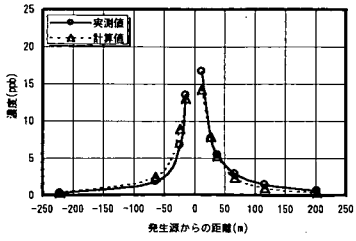


図６　実測値との整合性

表１　実験場所

種類	実験場所	実験期日	測定点数
沿道実験	一般国道２号(山口県防府市)	平成10年3月5日～11日(１週間)	48地点
野外実験	平坦地(茨城県つくば市)	平成10年8月31日～10月5日(36日間)	89地点

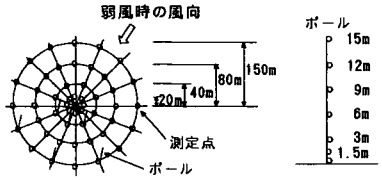
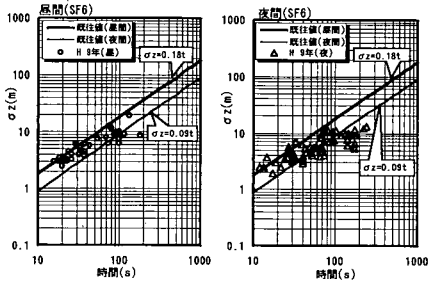


図１　野外実験の測定点の配置



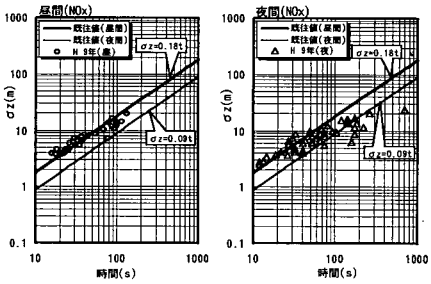


図４　σｚの推定結果

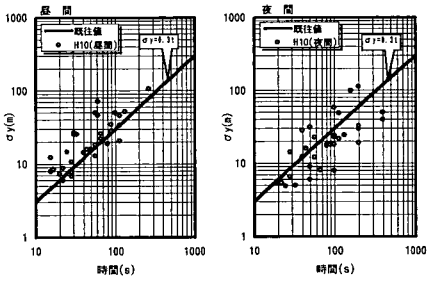


図５　σｙの推定結果

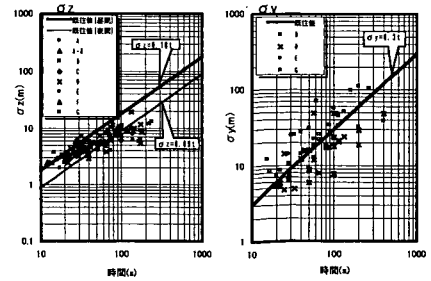


図７　大気安定度別σｚ,σｙ

（４１）道路沿道の有風時拡散について

○大城　温，大西博文，山田俊哉（建設省土木研究所）
三神泰介（株式会社 環境技術研究所）

１．はじめに

道路沿道における有風時の大気拡散予測は、正規型プルーム式を用いて行われる。その際の拡散幅として、次の既往設定値がある。

$$\sigma z = \sigma z_0 + 0.31 \cdot L^{0.83} \quad , \quad \sigma y = W/2 + 0.46 \cdot L^{0.81}$$

ただし、Ｌ：車道部端からの距離(m)，Ｗ車道部幅員(m)：，σz_0：初期拡散幅(m)＝1.5

我々は各種道路構造におけるトレーサーガス拡散実験により上記の拡散パラメータの妥当性を検討すると共に、遮音壁設置個所における排出源高さ及び拡散幅について知見を得たので報告する。

表１　実験場所

遮音壁の有無	道路構造	遮音壁高さ	実験場所	実験期日
無し	平面	－	一般国道275号(北海道)	平成9年11月
	盛土	－	一般国道２号(山口県)	平成10年12月
	切土	－	常磐自動車道(茨城県)	平成10年3月
	高架	－	一般国道２号(岡山県)	平成10年2月
有り	平面	３ｍ	知多半島道路(愛知県)	平成10年5月
	平面	５ｍ	中央自動車道(岐阜県)	平成10年5月
	盛土	３ｍ	東北自動車道(岩手県)	平成10年7月
	盛土	５ｍ	中央自動車道(長野県)	平成10年6月

２．実験方法

対象の道路構造は平面、切土、盛土、高架であり、特に平面、盛土については高さ３ｍ及び５ｍの遮音壁部も対象とした(表１)。トレーサーガスの発生位置は中央分離帯(高さ１ｍ)とし、縦断方向200ｍに5ｍ間隔で配置し、実験期間中連続放出した。また、測定点は図１のとおりであり、ＮＯｘ及びトレーサーガス濃度を測定した。

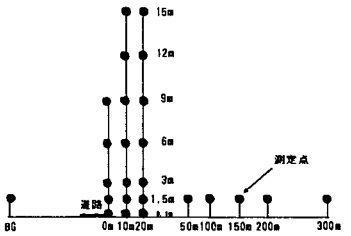


図１　測定点の配置(例：平面)

３．解析方法

拡散幅(σz、σy)の推定は、風下直角風を中心に、両側22.5°以内の風向時のデータを選別して行った。

(1)σzの推定方法：トレーサーガスの濃度分布をプルーム式に当てはめて推定した。具体的には、各鉛直測定断面の最大濃度を基準としその比(Ｒｉ)を求め、Ｒｉ及びＺｉを既知とし、未知数であるσz及びＨｅを変化させ、誤差の２乗和が最小となる最適解σz、Ｈｅを求めた。

$$R_i = C_i / C_{max} = \{\exp[-(zi+He)^2/(2\sigma_z^2)] + \exp[-(zi-He)^2/(2\sigma_z^2)]\} / \{\exp[-(zmax+He)^2/(2\sigma_z^2)] + \exp[-(zmax-He)^2/(2\sigma_z^2)]\}$$

(2)σyの推定方法：基本的にはσzの求め方と同様であり、未知数のσy及びy_0を最小２乗法により求めた。

$$R_i = C_i / C_{max} = \exp[-(yi-y_0)^2/(2\sigma_y^2)] / \exp[-(ymax-y_0)^2/(2\sigma_y^2)]$$

４．解析結果と考察

遮音壁の有無により解析結果を以下に示す。

(1)遮音壁のない場合の拡散パラメータ：σzは既往の設定値と概ね良い一致を示している(図２)。また、σyは平面で概ね良い一致をみているが、その他の構造はやや大きい値を示しており、予測値を大きめに算定するという観点から既往の設定値は妥当と考えられる(図３)。なお、図４は大気安定度別の拡散幅の一例を示したものであるが、いずれも有意な差は認められない。

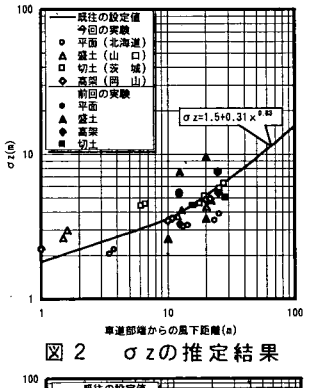


図２　σzの推定結果

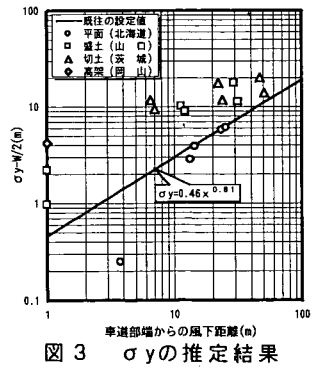


図３　σyの推定結果

(2)遮音壁のある場合の拡散パラメータ：推定したＨｅは表２のとおりであり、盛土の遮音壁設置箇所では遮音壁上端部を仮想路面としその上方１ｍをＨｅとすることが適切と考えられる。また、遮音壁設置箇所では初期拡散幅(σz_0)が大きくなり、４ｍに設定すると実測値と計算値の整合性が良くなる(図５，６)。

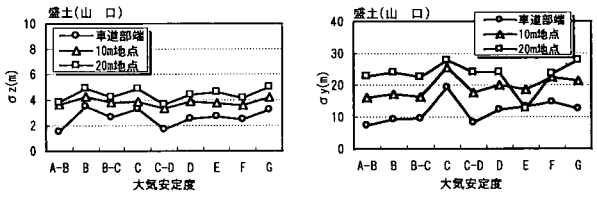


図４　大気安定度別拡散幅

表２　遮音壁部の排出源高さＨｅの推定結果

道路構造	盛土高さ	遮音壁高さ	出道部換 仮想路面＋1m	出道部換 推定値(路面基準)	データ数
平面	－	3m	4m	4.2m	35
	－	5m	6m	4.5m	6
盛土	3.6m	3m	4m	4.9m	7
	5.4m	5m	6m	7.5m	10

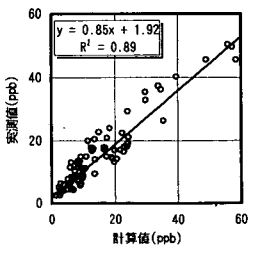


図６　計算値の整合性

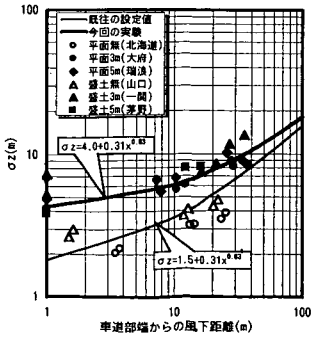


図５　遮音壁部σzの推定結果

（４２）大気質予測に用いる気象観測データの代表性について

建設省土木研究所　○大城　温
同　大西博文
㈱環境技術研究所　百瀬成一

１．はじめに

大気汚染物質濃度の年平均値の予測を行うためには、風向・風速の通年観測データが必要である。その際、近傍の既存気象観測データを利用できることが望ましい。また、近傍の既存気象観測データが存在しないため新たに通年気象観測を行う際も、必ずしも濃度予測を行う地点で気象観測ができるとは限らない。

これらのケースでは、予測地点から離れた地点での気象観測データが予測地点の気象を代表しているといえるか、代表しているならば、どの程度の距離まで予測地点から離れた気象を代表しているといえるのかが問題となるが、過去にこのような気象の代表性について分析した例は見あたらない。

そのため、AMeDAS（地域気象観測システム）の1995年の観測データを用いて、気象の代表性について分析を行った（図－１）。

２．ベクトル相関分析

風向・風速の観測データの代表性を判断する方法として、文献１）で示されているベクトル相関分析を用いた。文献１）では簡便な方法として、以下の方法が示されている。

Ａ地点とＢ地点で同時に観測された風ベクトルの時系列を$(V_{A1}, V_{A2}, \cdots, V_{AN})$, $(V_{B1}, V_{B2}, \cdots, V_{BN})$とする。各ベクトルの長さ$|V_{Ai}|$, $|V_{Bi}|$を風速の実測値、向きを風向とする。このときベクトル V_{Ai}, V_{Bi} のなす角(両地点の風向の違い)をθ_iとすれば、Ａ，Ｂ両地点の風ベクトルの相関は近似的に、

$$r(V_A, V_B) \approx \frac{\sum |V_{Ai}| \cdot |V_{Bi}| \cos\theta_i}{\sum |V_{Ai}| \cdot |V_{Bi}|}$$

※ $r(V_A, V_B)$：Ａ，Ｂ両地点間のベクトル相関係数

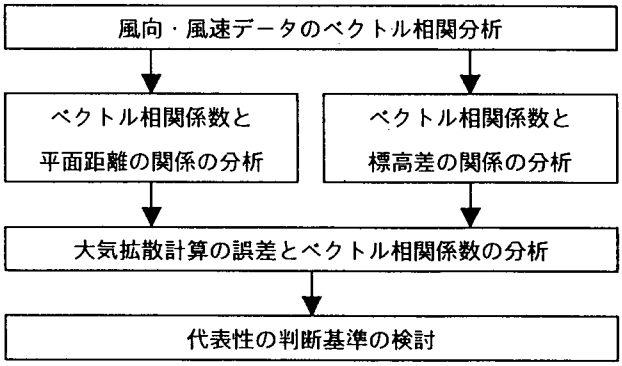
で与えられる。

（１）ベクトル相関係数と平面距離の関係

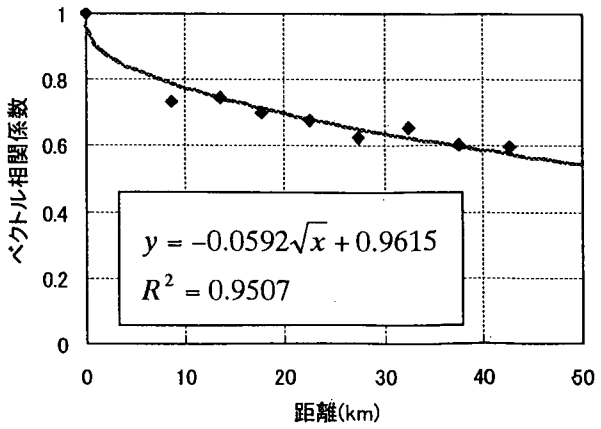
このベクトル相関分析の方法により、AMeDAS測定局間距離が 50km 以内で、かつ標高差が 50m 以内という条件に当てはまる２局の組合せの風向・風速データを用いて分析を行った。

２局の組合せのベクトル相関係数と地点間平面距離のデータを距離 5km 毎に区分し、各区分毎のベクトル相関係数の平均値を求めた。また、距離０の時に相関係数が１になることを考慮して、この平均値の回帰式を求めた（図－２）。

距離 5km 以内のデータが存在しないため不明確ではあるが、この回帰式によれば２地点間の標高差が 50m 以内で地形等による影響がない場合、距離が



図－１　分析の流れ



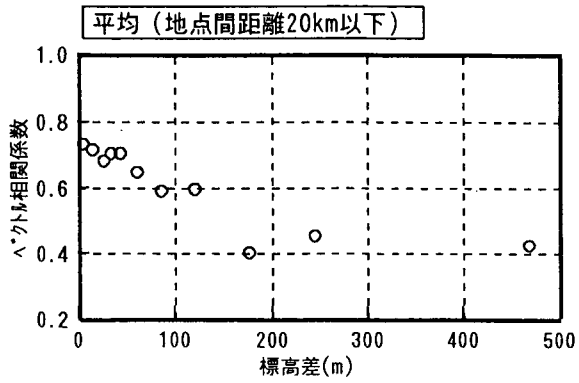
図－２　ベクトル相関係数と地点間平面距離の回帰式

約 2km 以内で相関係数が 0.9 以上、約 7km 以内で相関係数が 0.8 以上であるといえる。

（２）ベクトル相関係数と標高差の関係

（１）と同様に、AMeDAS 測定局間距離が 20km 以内の２局の風向・風速データを用いてベクトル相関分析を行った。この結果を標高差の階級毎に平均してプロットしたものが図－３である。

図－３より、標高差 50m 以内では相関係数が 0.7 前後であるが、それ以上の標高差では相関係数が低くなっていることがわかる。



図－３　ベクトル相関係数と地点間標高差の関係

３．拡散計算誤差とベクトル相関係数の関係

大気汚染物質濃度を予測するにあたって、予測地点最寄りの既存気象観測データを、予測地点を代表する気象データとして用いるためには、既存気象データを用いた大気質濃度予測結果と、予測地点の気象データを用いた大気質濃度予測結果との誤差が、許容できるほど小さくなければならない。

ここでは、隣接する２局の気象データを用いて、それぞれ同じ条件で道路から排出される大気汚染物質の拡散計算を行い、２つの計算結果の誤差とベクトル相関係数の関係を調べた（図－４）。

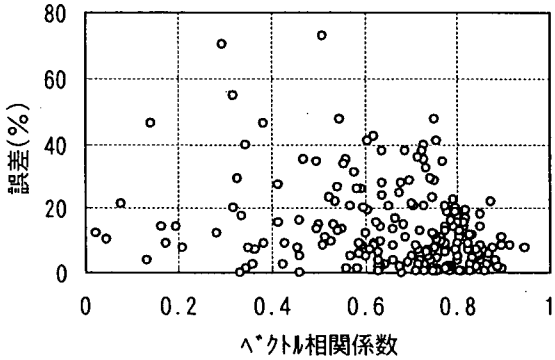
なお、ここでの誤差とは「２つの計算結果のうち低い値に対する差の割合」である。

計算条件は以下の通りである。

・道路構造　　：平面構造、道路幅員 20m
・道路方向　　：東西方向
・汚染物質の排出強度：1mL/s･m
・予測地点位置　　：南側道路端
　　（北風が道路直角風）
・拡散計算方法　　：建設省技術指針による

この結果から、道路から排出された大気汚染物質濃度の誤差は、ベクトル相関係数が 0.9 以上であれば 10%程度、0.8 以上であればほぼ 20%以内に収まるといえる。

道路の大気汚染物質の寄与濃度が比較的高い 5ppb の場合でも 20%の誤差で測定下限の 1ppb の違いにしかならないことから、著しく道路寄与濃度が高くなければ 20%程度の誤差は、実用上支障にならないと考えられる。



図－４　大気拡散計算の誤差とベクトル相関係数の関係

４．まとめ

本稿ではベクトル相関分析を用いて、大気質予測に用いる気象観測地点の代表性について分析を行った。その結果から、２つの気象観測地点の気象データを用いてベクトル相関分析を行い、相関係数が 0.9 以上であれば「気象の代表性がある」とみなし、0.8 以上であれば概ね「実用上支障はない」とみなすことが可能であると考えられる。

このことから、既存気象データの観測地点と大気質予測地点が異なる場合、標高差が小さく平面距離が 7km 以内であれば、既存気象データが予測地点の気象データとみなすことが可能であるといえる。

また、それ以上の距離であっても予測地点である程度の期間の気象観測を実施し、その結果と既存気象データとのベクトル相関分析を行い、ベクトル相関係数が 0.9 ないし 0.8 以上であれば、既存気象データを予測地点の気象データとして用いても、概ね実用上支障がないと考えられる。

【参考文献】
1）環境庁大気保全局大気規制課編：「窒素酸化物総量規制マニュアル（改訂版）」pp.179-180, 公害研究対策センター, 1993.

（４３）沿道の大気質予測における点煙源配置について

建設省土木研究所　　○山田俊哉
建設省土木研究所　　大西博文
株式会社環境技術研究所　三神泰介

１．はじめに

道路事業の環境影響評価における大気質の予測では、点煙源のプルーム式及びパフ式を基本とし、点煙源は予測点を中心として道路縦断方向400m区間に配置している。この点煙源の配置は、「計算上、無限に配置することが不可能かつ無意味なこと、また400mに配置して計算すればほぼ無限に配置した場合の結果を表しうる」ことが主な理由とされている。

この配置方法に対し、400mをさらに延長すれば予測結果が大きくなるのではないかとする指摘がある。また、現在のコンピューターの発達状況からすれば、点煙源の配置をさらに延長して計算することは十分可能であり、計算精度を高めることからも延長すべきであるとの指摘もある。ここでは、このような指摘に対し、点煙源の配置距離と予測精度の観点から、適切な点煙源の配置方法について検討したものである。

２．調査方針

検討は、様々な風向に対して通常出現する状況下（年間に出現する気象条件）における適正な配置距離を対象に行うこととした。

適正な配置距離は、配置距離を延伸させ、ほぼ一定値に達した値を無限配置相当の値とし、その値との差が極めて小さい値（表示桁と四捨五入の関係から、結果が変わらないような値）となる距離を設定することとした。

３．調査方法

予測対象を二酸化窒素（ＮＯ２）の年平均値とした。

点煙源の配置距離の影響は、道路に対して平行風が卓越する場合に特に問題となる。そこで、風配状況に合わせ、卓越風向を直角風、斜風及び平行風に合わせた場合の３ケースについて試算検討した。気象条件は、全国で一定方向の風向の出現頻度が大きいケースとして、平成８年度の全国気象官署の気象データの中から「前橋」を選定した（図１）。

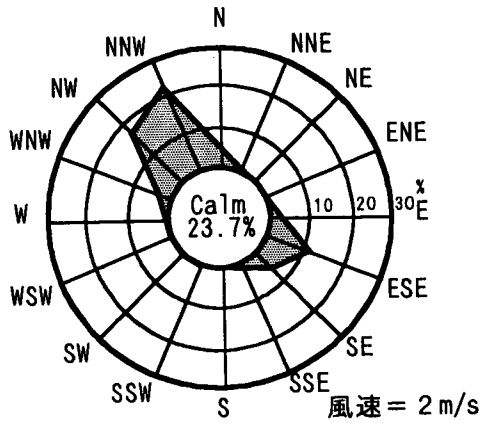


図１　「前橋」の年間風配図

また、点煙源の配置距離は100～5000mとし、5000mのときの予測値を基準（以下「基準予測値」という）として比較検討した。試算における交通条件は、日交通量：５万台、大型車混入率：20%、走行速度：小型車100km/h、大型車80km/hとし、道路条件は、道路構造：平面、車道幅員：15mとした。予測計算は「道路環境整備マニュアル」に準拠し、ＮＯｘの排出係数は小型車0.436g/(km･台)、大型車2.29g/(km･台)、ＮＯｘ変換式は次式を用いた。

$$[NO_2]=0.0801\cdot[NO_x]^{0.701}$$

４．調査結果

試算の結果、点煙源の配置距離の濃度に対する影響は、風向によらず、道路端から離れるにしたがって大きくなる。一般に大気質にかかる道路沿道の影響範囲は150～200mと考えられる。

そこで道路端から200m地点における点煙源配置距離とＮＯ２の予測濃度の基準予測値との差（以下「濃度差」という）を示すと、図２のようになる。図２は卓越風が直角風、斜め風、平行風となるときの結果であるが、直角風に比べ平行風が卓越する場合に濃度差は大きくなる。

図３は点煙源配置距離の影響が最も大きくなる平行風

時において、道路端から０m、50m、200m地点における濃度差を示したものである。平行風が卓越した場合、濃度差が0.0005ppm(0.5ppb)以下となる点煙源配置距離は、道路端で約500m、道路端から50m地点で約700m、道路端から200m地点で約800mである。

表１は、点煙源配置距離を既往の配置距離（400m）及び1000mとしたときの濃度差を示したものである。いずれの風向においても配置距離400mでは濃度差が0.001ppm以下である。しかし、実際の予測計算では、少数第４位を四捨五入して予測値とすることを考えると、既往の配置距離では平行風が卓越した場合、0.001ppmの差を生じることになる。

以上の結果から、道路縦断方向に平行風が卓越しない場合には、点煙源配置距離を400mとすれば、十分な精度で予測することができる。しかし、平行風が卓越する場合には、点煙源の配置距離を延長することが望ましい。試算結果によれば、延長距離を1000mとした場合、予測結果を四捨五入しても0.001ppmの濃度差を生じることはない。このような理由から、平行風が卓越した場合の点煙源の配置距離は1000mとすれば十分と考えられる。

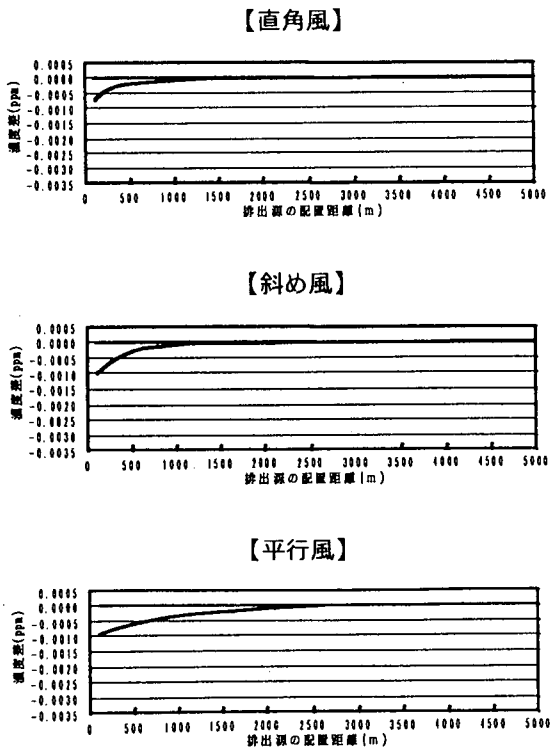


図２　道路端から200m地点における卓越風向別の配置距離5000mを基準としたときの濃度差

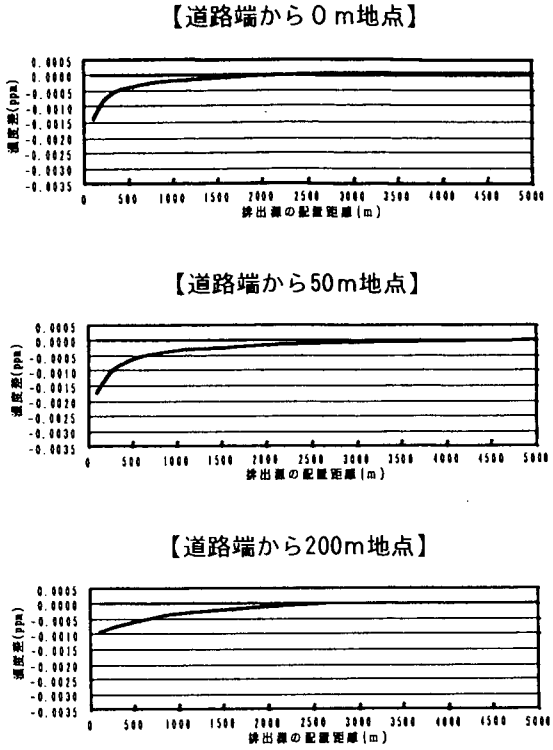


図３　平行風卓越時の配置距離5000mを基準としたときの濃度差

表１　配置距離400m及び1000mの場合の配置距離5000mを基準としたときの濃度差(ppb)

風向	平行風		斜め風		直角風	
地点位置 ＼ 距離	400m	1000m	400m	1000m	400m	1000m
道路端から0m	-0.5	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.0
〃 50m	-0.7	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.0
〃 200m	-0.7	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.1

5．おわりに

平成11年6月12日、環境影響評価法が全面施行された。本検討は、今後の道路事業におけるアセスメント手法検討の一環として行ったものである。本検討結果が今後のアセスメントに役立てば幸いである。

（４４）沿道における二酸化窒素濃度の予測に用いるＮＯｘ変換式

A NOx conversion model for estimating NO2 concentration near highways

山田俊哉※　・　大西博文※※　・　大城　温※※※
Toshiya Yamada※,Hirofumi Ohnishi※※,Nodoka Oshiro※※※
小根山裕之※※※※　・　百瀬成一※※※※※
Hiroyuki Oneyama※※※※　Seiichi Momose※※※※※

ABSTRACT : When a NO_2 concentration is estimated near highways, the first step is to estimate a NOx concentration and the second step is to convert the NOx concentration into the NO_2 concentration by a NOx conversion model. It is an issue to consider regional characteristics in the model, because the model is prepared by a regressional analysis using data throughout Japan. Then we propose a model near the highways which includes the NOx concentration of regional background as a variable in order to consider the regional characteristics related to the NOx conversion. Details are described below.

KEYWORDS : a NOx conversion model, regional characteristics,
a NOx concentration of regional background, highways

１．はじめに

二酸化窒素（NO_2）は、自動車排出ガスの一成分であり、自動車から排出されるＮＯｘの全ＮＯｘ量に占める割合が大きいことから、道路事業の環境影響評価においても予測・評価の対象とすることとされている。NO_2の予測は、当該道路を走行する自動車から排出される窒素酸化物（ＮＯｘ）総量から沿道の予測地点におけるＮＯｘの拡散濃度を予測し、このＮＯｘ濃度をNO_2濃度に変換して行う。この変換に使用する式が、ＮＯｘ変換式である。

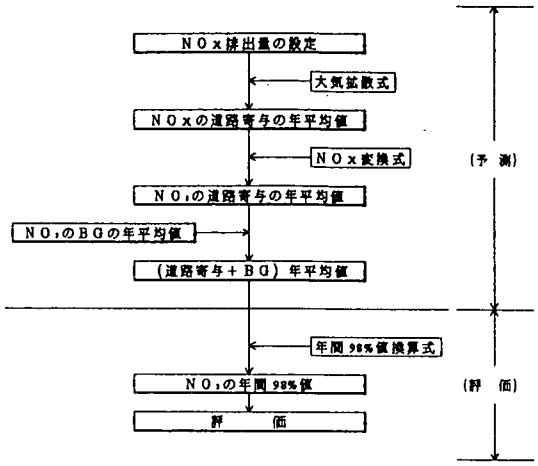
従来のＮＯｘ変換式は全国の一般大気測定局、自動車排出ガス測定局のそれぞれの年平均値データから導出された回帰式に基づいて設定されていた。しかし、全国データから求めたＮＯｘ変換式は、全国の平均的なＮＯｘ変換を示すものであることから、地域性を考慮したＮＯｘ変換式の設定が望まれてきた。

そこで、本稿ではＮＯｘのバックグラウンド濃度に着目して、当該道路を走行する自動車から排出されるＮＯｘからNO_2への変換程度について分析したところ、ＮＯｘのバックグラウンド濃度の高い地域と低い地域とでは変換に有意な差が見られた。筆者らは、このことをＮＯｘ変換式に含まれるパラメータに反映させる方法を提案する。これにより、地域のＮＯｘのバックグラウンド濃度に応じたＮＯｘからNO_2への変換が可能となり、この観点から地域性を考慮できることになる。

※　建設省土木研究所環境部交通環境研究室主任研究員
Public Works Research Institute
※※　建設省土木研究所環境部交通環境研究室室長
※※※　建設省土木研究所環境部交通環境研究室研究員
※※※※　前建設省土木研究所環境部交通環境研究室研究員
※※※※※　株式会社環境技術研究所
Environmental Technical Laboratory, Ltd

2．従来のＮＯｘ変換式と課題

道路沿道におけるＮＯ$_2$濃度の予測・評価の流れは、図-１のとおりである。自動車から排出されるＮＯｘをプルーム式・パフ式の大気拡散式により拡散計算し、ＮＯｘの道路寄与の年平均値を予測した後、ＮＯｘ変換式によりＮＯ$_2$濃度の年平均値に変換する。これにＮＯ$_2$のバックグラウンド（以下「ＢＧ」という）濃度を加算し、年間98%値に換算して評価する。



図－１　道路沿道における二酸化窒素濃度の予測・評価の流れ

従来のＮＯｘ変換式は、$Y=aX^b$という式形であり、パラメータａ及びｂは、全国の常監局データから算出している。従来のＮＯｘ変換式は道路寄与のＮＯｘをＮＯ$_2$に変換するものであることから、全国の一般監視測定局（以下「一般局」という）及び自動車排出ガス測定局（以下「自排局」という）の年平均値を用い、自排局の年平均値からその自排局と同一市町村内にある全ての一般局の年平均値の平均値を差し引き、道路の影響と考えられるＮＯｘ及びＮＯ$_2$の年平均値（以下「道路寄与分」という）を算出した後、上記式形による回帰分析を行って求める。1977年～1985年の９年間の常監局データにより求めたＮＯｘ変換式は、(1)式のとおりである。

$$[NO_2]=0.0801[NOx]^{0.701} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

ただし、[ＮＯ$_2$]：道路寄与ＮＯ$_2$の年平均値(ppm)

[ＮＯｘ]：道路寄与ＮＯｘの年平均値(ppm)

このように、従来用いてきたＮＯｘ変換式は、全国のデータを対象にして求めた式であることから、全国の平均的なＮＯｘ変換を示すものである。これまでの調査によれば、都市部と地方部ではＮＯｘ変換が異なるなど、地域性のあることが指摘されている。従来のＮＯｘ変換式は、この地域性が反映されていないことが課題とされてきた。

3．ＮＯｘ変換式の式形の検討

3．1　道路沿道のＮＯｘ変換のメカニズム

秋元(1985)[1]によれば、大気中に放出されたＮＯは、主に次の反応式によってＮＯ$_2$に変換されるとされている。（ＲＯ$_2$は有機過酸化ラジカル、ＲＯはオキシラジカル）

$NO+O_3 \rightarrow NO_2+O_2$　　$\tau i=$ 0.4(min)　　……(2)

$NO+HO_2 \rightarrow NO_2+OH$　　$\tau i=$ 80～170(min)　　……(3)

$NO+RO_2 \xrightarrow{O_2} NO_2+RO$　　$\tau i=$ 80～160(min)　　……(4)

$NO+NO \rightarrow 2NO_2$　　$\tau i=$ 7000(min)　　……(5)

一方、生成したＮＯ$_2$は、次の反応式により一部はＮＯに還元されたり、他の化合物に変化する。

$NO_2+h\nu \xrightarrow{O_2} NO+O_3$　　$\tau i=$ 2.5(min)　　……(6)

$NO_2+O_3 \rightarrow NO_3+O_2$　　$\tau i=$ 190(min)　　……(7)

$NO_2+OH \rightarrow HONO_2$　　$\tau i=$130～600(min)　　……(8)

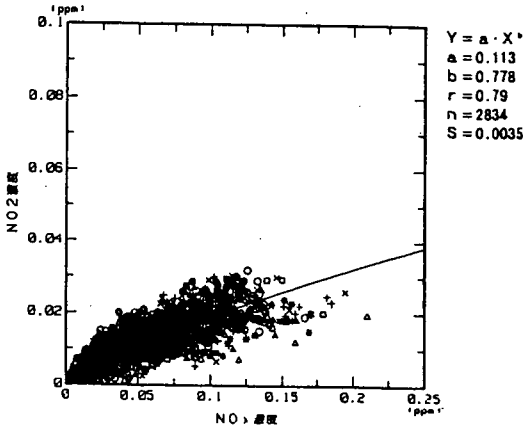
$NO_2+CH_3C(O)O_2 \rightarrow CH_3C(O)O_2NO_2$ (PAN)　　$\tau i=$240～1200(min)　　……(9)

反応式右側のτiは、ppmオーダーにおける特性時間(反応時間)である。最も早い酸化反応は、(2)式(オゾンによる酸化反応)である。他の反応は200倍以上も遅い。一方ＮＯ$_2$の分解反応で最も早い反応は(6)式の光分解反応であるが、(2)式に比べてやや遅い。

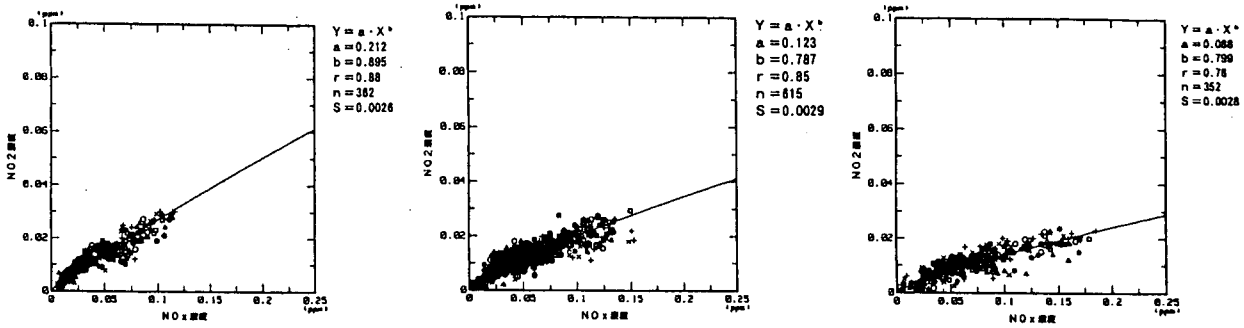
上記ＮＯの酸化反応やＮＯ$_2$の分解反応から、道路沿道では(2)式及び(6)式の反応が主であるとされている。また、発生源から遠方の一般環境においては、(2)式及び(6)式以外の反応が進むことから、道路沿道の反応とは異なるとされている。

３．２　観測データの解析

上記ＮＯｘ変換のメカニズムを念頭において、1987年～1996年（10年間）の全国の常監局データを解析した。図-２は常監局データから算出した道路寄与分のＮＯｘ年平均値とＮＯ$_2$年平均値の関係図である。バラツキが大きいことから、バラツキの原因を検討する一環として、道路寄与分のデータをＢＧのＮＯｘ濃度により分類した。図-３はＮＯｘのＢＧ濃度を　0.01ppm刻みで分類したときの道路寄与分のＮＯｘ年平均値とＮＯ$_2$年平均値の関係図である。ＢＧ濃度の低い地域では全国平均の上側に、またＢＧ濃度の高い地域では下側に分布している。このことは、ＢＧ濃度により　ＮＯｘ変換が異なることを示唆していると考えられる。



図－２　道路寄与分のＮＯｘ年平均値とＮＯ$_2$年平均値の関係



BG濃度 0～0.019ppm　　BG濃度 0.030～0.039ppm　　BG濃度 0.060ppm～

図-３ ＮＯｘのＢＧ濃度別の道路寄与ＮＯｘ年平均値と道路寄与ＮＯ$_2$年平均値の関係

前述のとおり、道路沿道におけるＮＯｘ変換は、(2)式のオゾンによるＮＯの酸化反応が支配的である。この反応に必要なオゾンは一般環境から供給され、一般環境ではＮＯ$_2$の分解反応からオゾンが生成されると考えられている[1)]。例えば、(2)式と(6)式の間には次の(10)式が介在し、

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M \quad (M\text{は第三体}) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

これらの反応を考慮した場合のオゾンの定常濃度は次式で示される[2)]。

$$[O_3]_B \fallingdotseq 1.5\times10^{-2}[NO_2]_B / [NO]_B \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

ただし、$[O_3]_B$　：オゾンのＢＧ濃度(ppm)
$[NO_2]_B$：ＮＯ$_2$のＢＧ濃度(ppm)
$[NO]_B$　：ＮＯのＢＧ濃度(ppm)

そこで、平成８年度の全国の常監局データ（年平均値）からＮＯ$_2$／ＮＯとＯｘ濃度（昼間の１時間値の年平均値）の関係を調べてみた（図４）。その結果、平均的な濃度において傾きはほぼ1.5×10^{-2}となり、式(11)は概ね成り立つ。さらに、ＮＯの代わりにＮＯｘを用い、ＮＯ$_2$／ＮＯｘとＯｘ濃度の関係を調べた結果は、図５のとおりであり、比例関係が得られた。ＮＯ$_2$／ＮＯｘを指標としてＮＯｘ濃度との関係をみた結果は図６であり、ＮＯ$_2$／ＮＯｘは、ＮＯｘ年平均値の増加に伴い減少する。したがって、図７のように、ＮＯｘの年平均値の増加に伴いＯｘ濃度も減少する。

すなわち、ＮＯｘ濃度が増加するとＮＯ$_2$／ＮＯｘは減少し、Ｏｘ濃度も減少する。このことは、図３の解析結果を裏付けるものであり、ＮＯｘのＢＧ濃度が低い地域は、オゾン濃度が高くＮＯｘ変換は促進されるが、逆の場合はオゾン濃度が低いことからＮＯｘ変換が抑制されていると考えられる。

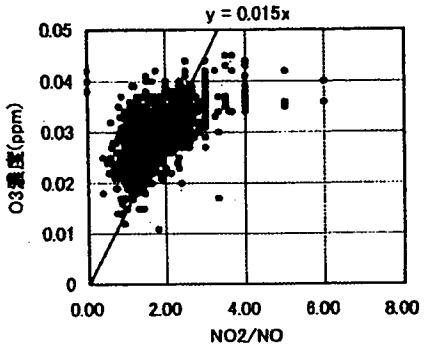


図-4　一般局のＯｘとNO₂/NOの関係

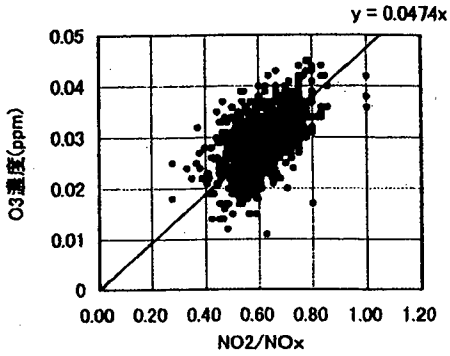


図-5　一般局のＯｘとNO₂/NOxの関係

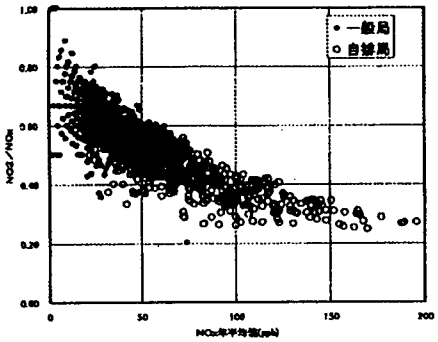


図-6　常監局のＮＯｘとNO₂/NOxの関係

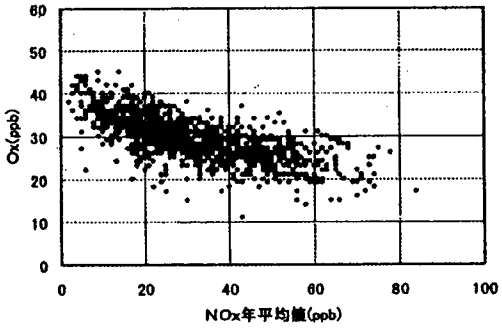


図-7　一般局のＮＯｘとＯｘの関係

３．３　式形の検討

図-３のＮＯｘのＢＧ濃度別散布図において、$Y=aX^b$の式形の係数ａ及びｂを求めた結果は表-１のとおりである。係数ｂはほぼ一定であるが、係数ａはＮＯｘのＢＧ濃度が高くなるにつれ、暫時減少の傾向にある。

表-１　ＮＯｘのＢＧ濃度ランク別の回帰式

ＮＯｘのＢＧ濃度	回帰式：[NO2]=a[NOx]^b	
	係数ａ	係数ｂ
～0.019ppm	0.212	0.895
0.020～0.029ppm	0.146	0.813
0.030～0.039ppm	0.123	0.787
0.040～0.049ppm	0.116	0.798
0.050～0.059ppm	0.114	0.842
0.060ppm～	0.088	0.799
全データ	0.113	0.778

そこで、式形としては$Y=\alpha X^b$を採用することとし、ＮＯｘ変換がＢＧ濃度により異なることを踏まえ、係数αをＮＯｘあるいはNO_2のＢＧ濃度による関数として与えることとした。検討の結果、相関の高い関数形は次の５種類である。

①　$\alpha=a[NOx]_{BG}^{c}$
②　$\alpha=a\{1-[NOx]_{BG}\}^{c}$
③　$\alpha=a[NO_2]_{BG}^{c}$
④　$\alpha=a\{1-[NO_2]_{BG}\}^{c}$
⑤　$\alpha=a\{1-[NOx]_{BG}/[NOx]_{T}\}^{c}$

注）添え字ＴはＢＧ濃度と道路寄与分濃度を合わせた全体の濃度をあらわす。

相関の検討は、1987年～1996年（10年間）の常監局データから道路寄与分の年平均値を算出し、上記関数形の係数ａ，ｂ，ｃ、相関係数及び標準誤差を求めた。結果は表-２となり、いずれも従来の式形より精度は向上するが、検討した関数形間では大きな差は認められない。

そこで、10年間の常監局データを用いて①～⑤の関数形の各々についてパラメーターを設定し、その関数形を用いた変換式について計算値と実測値により検証を行った。結果は表-３となり、計算値と実測値の回帰直線（[実測値]＝Ａ×[計算値]＋Ｂ）について検討したところ、⑤の関数形において最も係数Ａが１に近く、係数Ｂが０に近くなり、⑤の関数形の再現性が高いことが確認された。

このことから、ＮＯｘ変換式の式形としては、次式の式形を提案する。

$$[NO_2]=a[NOx]^b\{1-[NOx]_{BG}/[NOx]_T\}^c \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

ただし、$[NO_2]$　：道路寄与分の年平均NO_2濃度(ppm)
$[NOx]$　：道路寄与分の年平均ＮＯｘ濃度(ppm)
$[NOx]_{BG}$：ＮＯｘの年平均ＢＧ濃度(ppm)
$[NOx]_T$　：道路寄与分とＢＧの年平均濃度の合算値(ppm)
a，b，c　：係数(a=0.0613,b=0.425,c=0.750)

表-2　検討した関数形の係数及び精度

変換式式形$Y=\alpha X^b$のαの関数形	係数ａ	係数ｂ	係数ｃ	相関係数	標準誤差
従来形：$\alpha=a$	0.1132	0.7780	-	0.79	0.0035
① $\alpha=a[NOx]_{BG}^c$	0.0373	0.8077	-0.3590	0.87	0.0028
② $\alpha=a\{1-[NOx]_{BG}\}^c$	0.1908	0.8102	10.647	0.87	0.0028
③ $\alpha=a[NO_2]_{BG}^c$	0.0248	0.8077	-0.4143	0.86	0.0029
④ $\alpha=a\{1-[NO_2]_{BG}\}^c$	0.2051	0.8105	22.200	0.87	0.0028
⑤ $\alpha=a\{1-[NOx]_{BG}/[NOx]_T\}^c$	0.0613	0.4249	0.7504	0.87	0.0028

表-3　計算値と実測値との関係

変換式式形$Y=\alpha X^b$のαの関数形	[実測値]＝A[計算値]＋B	
	係数Ａ	係数Ｂ
① $\alpha=a[NOx]_{BG}^c$	0.898	0.00144
② $\alpha=a\{1-[NOx]_{BG}\}^c$	0.900	0.00142
③ $\alpha=a[NO]_{BG}^c$	0.893	0.00150
④ $\alpha=a\{1-[NO]_{BG}\}^c$	0.894	0.00147
⑤ $\alpha=a\{1-[NOx]_{BG}/[NOx]_T\}^c$	1.007	0.00037

３．４　提案するＮＯｘ変換式の特性

提案した式形と解析から求めた係数(a, b,c)に基づいてＮＯｘのＢＧ濃度別にＮＯｘ年平均値とNO_2年平均値の関係曲線を描くと、図-８となる。

この曲線は、図-３における全国平均の回帰曲線に対して上下に分散しており、ＮＯｘのＢＧ濃度の低い地域においては変換が促進され、高い地域においては変換が抑制される現象を反映した結果を与えている。このことから、提案するＮＯｘ変換式は、ＮＯｘのＢＧ濃度の観点から地域性が考慮された式になっていると考える。

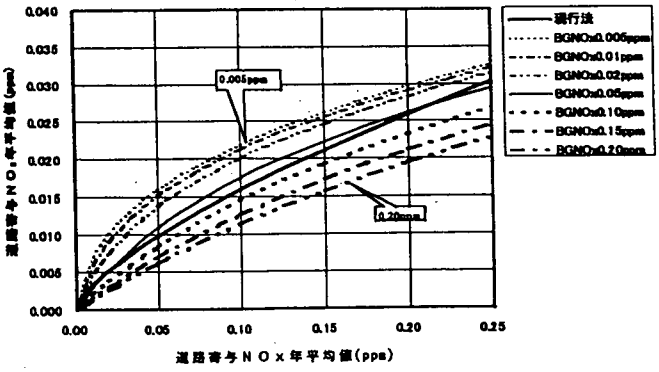


図-８　提案するＮＯｘ変換式の曲線

４．提案するＮＯｘ変換式の整合性の検討

提案するＮＯｘ変換式の実測値との整合性を検討した。検討に先立ち、比較対象として従来用いてきた$Y=aX^b$の式形によるＮＯｘ変換式を1987年～1996年の10年間の常監局データから次式のとおり求めた。

$$[NO_2]=0.113[NOx]^{0.778} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

ただし、$[NO_2]$：道路寄与NO_2の年平均値(ppm)
$[NOx]$：道路寄与ＮＯｘの年平均値(ppm)

表-４は、従来のＮＯｘ変換式：式(13)と今回提案するＮＯｘ変換式：式(12)による計算値と実測値の回帰式、相関係数、標準誤差を比較したものである。この結果によると、提案したＮＯｘ変換式は、従来の変換式に比べて回帰式において傾きがやや高くなり、切片がやや低くなることから、45度の直線により近づいている。また、相関係数及び標準誤差はわずかではあるが改善され、精度の向上が認められる。

表－４　従来のＮＯｘ変換式との比較　　注）回帰式のＸは計算値、Ｙは実測値。

式形	ＮＯｘ変換式	回帰式	相関係数	標準誤差
従来形	$[NO2]=0.113[NOx]^{0.778}$	Y=0.932X+0.0026	0.94	±0.0030
提案形	$[NO2]=0.0587[NOx]^{0.416} \times(1-[NOx]_{BG}/[NOx]_T)^{0.630}$	Y=0.962X+0.0016	0.95	±0.0029

５．提案するＮＯｘ変換式の経年変化

提案するＮＯｘ変換式は、1987年～1996年の10年間の常監局データから求めていることから、経年変化について検討した。まず年度別のデータにより回帰分析を行い、各年度毎にＮＯｘ変換式を求めた。

次に、各年度のＮＯｘ変換式を用いて、ＮＯｘのＢＧ濃度：0.01、0.03、0.05ppm、ＮＯｘの道路寄与濃度：0.02、0.05、0.10ppmにおけるＮＯ$_2$の計算値の経年変化を検討した。試算結果は図-９のとおりであり、年度によって多少の変化はみられるものの、試算結果はほぼ横ばい傾向にあり、大きな経年変化は認められない。

６．おわりに

本稿では、地域性を考慮したＮＯｘ変換式の確立を目指して検討を進めてきた。観測データを解析した結果、ＮＯｘ変換の状況がＮＯｘのＢＧ濃度に影響されていること、ＮＯｘのＢＧ濃度の高い地域はオゾン濃度が低く、このことによって変換が抑制されているのではないかと考えられた。

そこで、ＮＯｘのＢＧ濃度を考慮した式形を検討し、不都合の生じない式形をＮＯｘ変換式として提案した。この結果、従来のＮＯｘ変換式に比べ精度が向上するのみならず、ＮＯｘのＢＧ濃度の観点から地域性の反映されたＮＯｘ変換式を提案することができたと考える。

最後に、本研究の実施に当たって、「道路環境アセスメントマニュアルに関する大気環境予測評価委員会（委員長　横山長之）」の委員の皆様にご指導をいただいた。ここに記して謝意を表します。

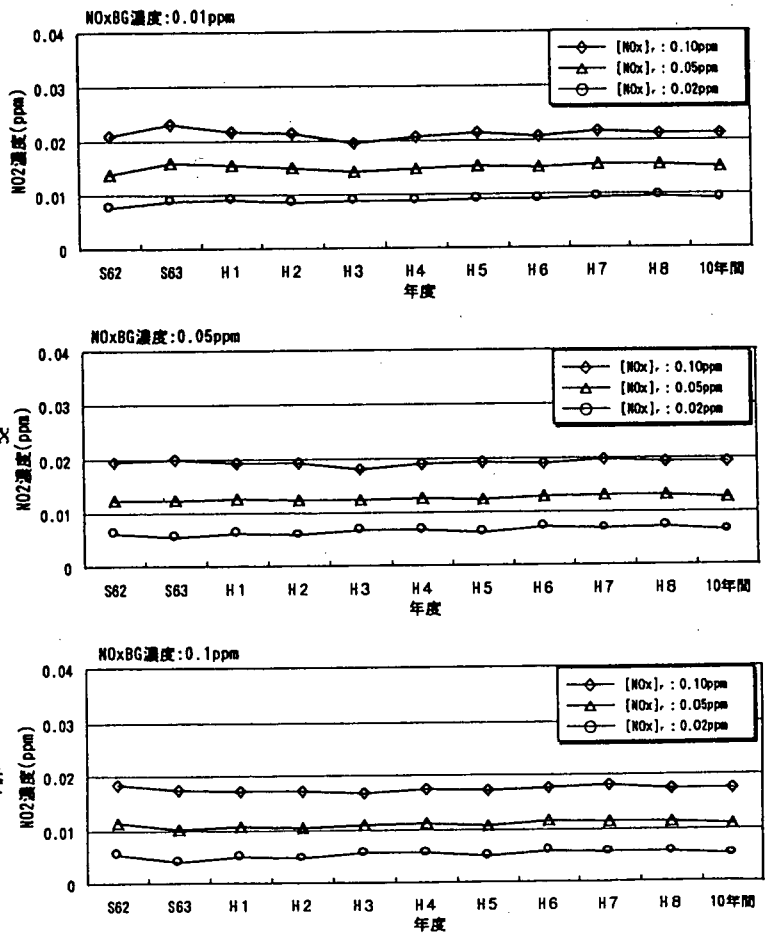


図-９　試算によるＮＯ$_2$の道路寄与濃度の経年変化

参考文献

1)秋元肇：大気中における窒素酸化物の化学的挙動,第26回大気汚染学会講演要旨集,P91-99(1985)

2)日本化学会：窒素酸化物,丸善,p76(1977)

(45)沿道における二酸化窒素濃度の予測に用いる年間98%値等の換算式

Model for Estimating Annual 98th Percentiles of Daily Mean Nitrogen Dioxide Concentrations from Annual Mean Concentrations near Highways.

大城　温*　　大西博文*　　山田俊哉*　　小根山裕之**　　三神泰介***
Nodoka OSHIRO*, Hirofumi OHNISHI*, Toshiya YAMADA*, Hiroyuki ONEYAMA** and Taisuke MIKAMI***

ABSTRACT: This paper focuses on the method of estimating the annual 98th percentiles of daily mean nitrogen dioxide (NO_2) concentrations from the annual mean concentrations, as an index of environmental quality standard. In the past, the linear regression model based on old observed data has been used as a model for estimating the annual 98th percentiles of daily mean concentrations. But, it is pointed out that the model does not take into consideration characteristics of observing areas. We propose herein the modified model, which includes the exponential function of ratio of NO_2 concentrations originated from highways and NO_2 background concentrations as the regression parameter. Values estimated by the modified model are almost same as the observed values, and this shows modified model is more accurate than the present one.

KEYWORDS: Air Pollution, Daily Mean Concentrations, Annual Mean Concentrations, Annual 98th Percentiles, Regression Model

1．はじめに

幹線沿道における大気汚染物質濃度の予測を行う際に、プルーム式及びパフ式による大気拡散式を用いて年平均値を算出することが一般的に行われている。この予測値が環境基準を達成するか評価するためには、環境基準が日平均値で示されていることから、年平均値を日平均値に換算する必要がある。

この日平均値に相当する値として、二酸化窒素(NO_2)の場合には日平均値の年間98%値を用いて換算する手法が使われている。現在一般的に使われている NO_2 濃度の年平均値を年間98%値に換算する式（以下、年間98%値換算式）は、全国の観測データを用いて一律に設定しており、道路による NO_2 濃度寄与の割合などの地域特性が考慮されていないことなどから、改良の余地がある。

また、浮遊粒子状物質(SPM)や一酸化炭素(CO)、二酸化硫黄(SO_2)の場合についても、NO_2 の場合と同様の考え方で、年平均値を日平均値の年間2%除外値を用いて換算する式（以下、年間2%除外値換算式）を設定する必要があると考える。

そこで本稿では、従来の換算式において、地域特性を考慮できるように見直し、また式のパラメータ設定の基礎となる最新の大気汚染物質濃度の常時観測データを用いることにより設定した、新しい NO_2 濃度の年間98%値換算式および SPM、CO、SO_2 の年間2%除外値換算式を提案する。

*建設省土木研究所　Public Works Research Institute, Ministry of Construction
**東京大学生産技術研究所　Institute of Industrial Science, University of Tokyo
***㈱環境技術研究所　Environmental Technical Laboratory, Ltd.

2．従来の年間98%値換算式とその課題

沿道におけるNO_2の予測・評価の一般的な流れを図－1に示す。自動車から排出されるNO_xをプルーム式・パフ式の大気拡散式により計算し、NO_xの道路寄与濃度の年平均値を予測した後、NO_2濃度の年平均値に変換する。これにNO_2のバックグラウンド（以下「BG」という）濃度を加算し、換算式を用いて年間98%値に換算して評価する。SPM、CO、SO_2は年平均値をそのまま年間2%除外値に換算して評価する。

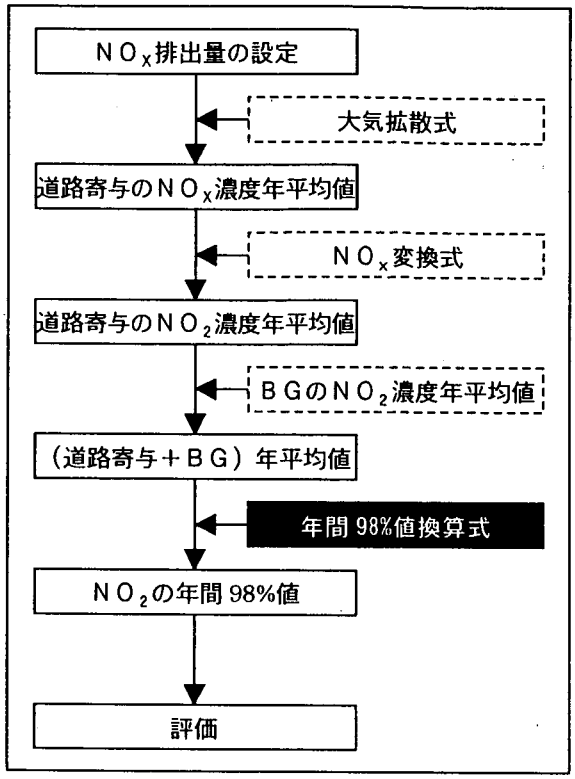
従来一般的に用いられてきた年間98%値換算式では、NO_2濃度の年平均値と年間98%値の間に比例関係があることから、単相関分析により得られた直線回帰式Y＝aX＋bを換算式として用いている。1977年～1985年（9年間）の全国の自動車排出ガス測定局（以下「自排局」）の常時観測データに基づいて設定した従来の換算式が、(1)式である。

$$Y = 1.48X + 0.0064 \quad \cdots\cdots(1)$$

ただし、Y：NO_2濃度の年間98%値(ppm)

X：NO_2濃度の年平均値(ppm)

最新の自排局データ（1987年～1996年）に基づき地域別に回帰分析を行い、年間98%値換算式を求めた。その結果、地域差が認められ、大都市を抱える関東・中部・近畿地方では回帰係数が大きく、その他の地方では概ね小さいという傾向があった（表－1）。このような地域差を考慮した換算式の設定が課題として挙げられる。



図－1　NO_2濃度の予測・評価の流れ

表－1　地域別の年間98%値換算式（従来式）

地域	換算式
北海道	Y＝1．23X＋0．0150
東北	Y＝1．18X＋0．0117
関東	Y＝1．42X＋0．0105
北陸	Y＝1．08X＋0．0141
中部	Y＝1．39X＋0．0075
近畿	Y＝1．34X＋0．0118
中国四国	Y＝1．24X＋0．0101
九州沖縄	Y＝1．25X＋0．0099

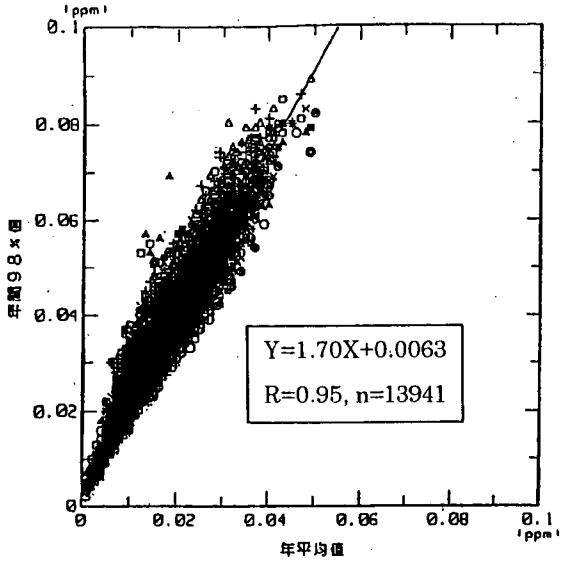
3．式形の検討

1）観測データに基づく考察

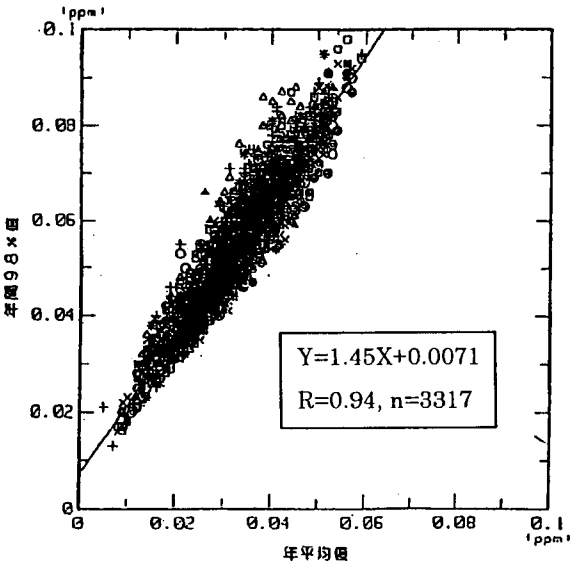
図－2～4は1987年～1996年（10年間）の全国の一般環境大気測定局（以下「一般局」）と自排局の常時観測データ及び道路寄与分におけるNO_2濃度の年平均値と年間98%値の関係を示したものである。なお、「道路寄与分」とは、自排局データからその自排局と同一市町村内にある一般局データの平均値を差し引いた濃度と定義している。

これらの図から分かることは、自排局より一般局の回帰係数が大きいことである。また道路寄与分の回帰係数が最も小さい。すなわち、自排局では年平均値に対する年間98%値の比率が小さい。この傾向はSPM、CO、SO_2においても同様である。

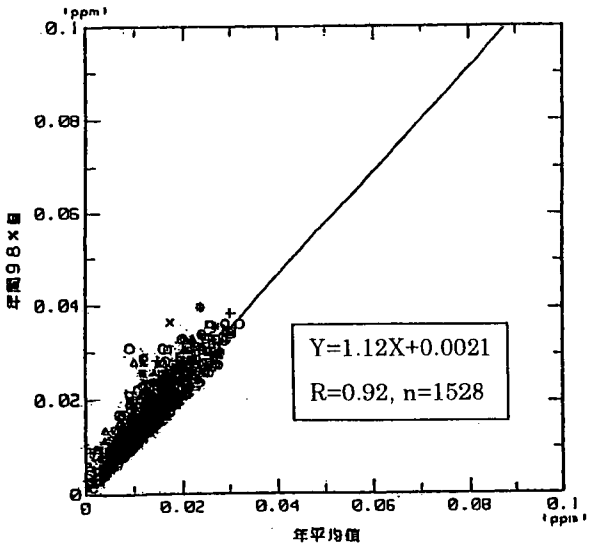
一般に大気質の濃度は、排出源からの排出による変動と気象条件の変動を受け、時々刻々変化している。一般局では主な排出源から遠方にあり、観測されたデータはこれらの変動の影響を強く受けていると考えら



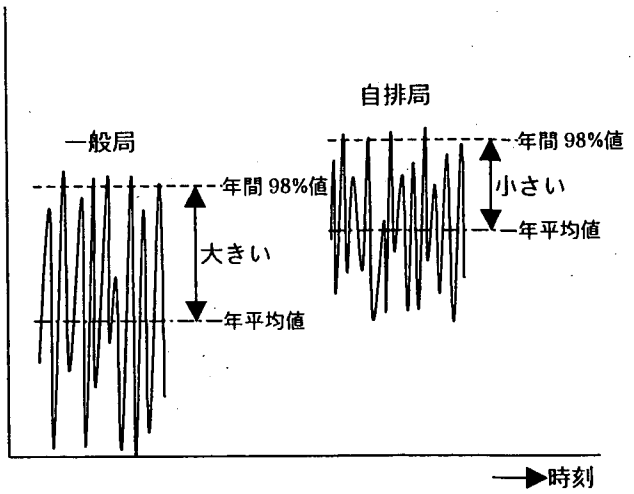
図－２　一般局の NO_2 年平均値と年間 98%値の関係



図－３　自排局の NO_2 年平均値と年間 98%値の関係



図－４　道路寄与分 NO_2 年平均値と年間 98%値の関係



図－５　一般局と自排局における濃度変動の模式図

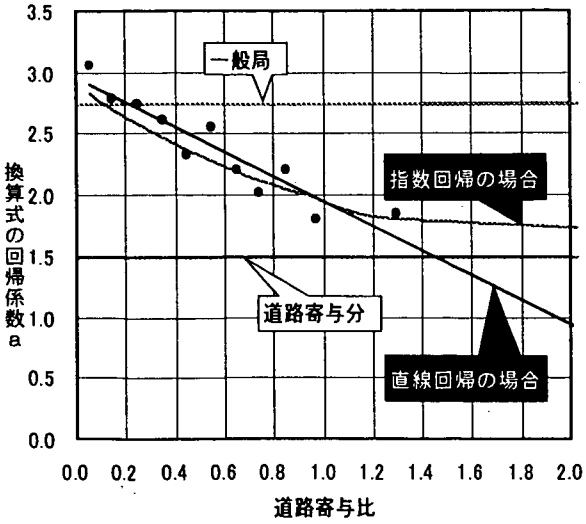
れる。一方、自排局はNO_2、ＳＰＭ、ＣＯ、SO_2などの大気汚染物質の排出源である道路沿道に設置されていることから濃度は高く、発生源に近いことから一般環境に比べてこれらの変動の影響は小さい（図－５）。一般局と自排局の回帰係数の違いは、このような状況から生じているものと考える。

２）式形の検討

前述の大気汚染物質濃度の年平均値と年間98%値の関係に関する一般局と自排局の違いを換算式に反映させるため、式形の検討を浮遊粒子状物質（ＳＰＭ）を対象として行った。

常時観測データに基づく考察から、対象道路以外を発生源とするＢＧ濃度寄与が主である場合には一般局の回帰式に近く、発生源の濃度寄与が主である場合には自排局回帰式に近くなると考えた。そこで、「道路寄与分とバックグラウンドの比」（以下「道路寄与比」）の大きさ0.1ごとにＳＰＭの観測データを分類し、それぞれに回帰分析により換算式を求めることにより、道路寄与比によって換算式の回帰係数がどのように変化するかを検討した。その結果、道路寄与比が小さいほど一般局の回帰係数に近づき、反対に道路寄与比が大きいほど道路寄与分の回帰係数に近づくことがわかった（図－６）。

この結果を受けて、道路寄与比を換算式に反映させるため、換算式の式形は従来の換算式「Ｙ＝ａＸ＋ｂ」を基本とし、回帰パラメータａ，ｂを



図－6　道路寄与比と回帰係数の関係

注）図中の点は、道路寄与比 0.1 毎に SPM の観測データを分類し、回帰分析により求めた場合の換算式の回帰係数ａである。

道路寄与比の関数として与えることとした。

回帰係数ａの関数形としては、まず最も単純な直線回帰が考えられるが、定数項を一般局の回帰係数とすると、道路寄与比が大きい場合、道路寄与分の回帰係数よりも小さくなることになり、実際の現象に合わなくなる。道路寄与比が無限大になると道路寄与分の回帰係数に近づく関数は幾つか考えられるが、最も簡単な関数は指数関数である。そこで下記の式形を考える。

$$Y = aX + b \qquad \cdots\cdots(2)$$

ここで、$a = \gamma \exp(-Z)$

$$b = \delta \exp(-Z) \qquad \cdots\cdots(3)$$

ただし、Ｘ：年平均値

Ｙ：年間98％値又は年間2％除外値

Ｚ：道路寄与比＝道路寄与分／ＢＧ

γ，δ：係数

ここで、一般局の回帰式をＹ＝ＡＸ＋Ｂとし、道路寄与分の回帰式をＹ＝αＸ＋βとする。道路寄与比が０（道路寄与が0%）のとき、ａ＝Ａ、ｂ＝Ｂになり、道路寄与比が∞（道路寄与が100%）のとき、ａ＝α、ｂ＝βになるように(3)式を変形すると、下記の(4)式となる。

$$\left.\begin{aligned} a &= \alpha + (A - \alpha)\exp(-Z) \\ b &= \beta + (B - \beta)\exp(-Z) \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(4)$$

(4)式により求まるパラメータａ，ｂを換算式(2)に代入することにより、道路寄与の割合に応じた換算が一つの式で行えることになる。地域特性の主な要因がＢＧ濃度に対する道路寄与の濃度の割合だとすれば、(2)式および(4)式で表される式は地域特性を考慮した換算式と言える。

1987 年～1996 年（10 年間）の全国の一般局及び自排局の常時観測データを用いて、NO_2の年間 98％値換算式及びＳＰＭ、ＣＯ、SO_2の年間 2％除外値の新しい換算式のパラメータを求めると、表－２のとおりとなる。

表－２　新しい年間 98％値および年間 2％除外値換算式

項　　目	換　　算　　式
二酸化窒素（NO_2）	［年間 98％値］＝a［年平均値］+b ただし、$a=1.12+0.58\cdot\exp(-[NO2]_R/[NO2]_{BG})$ $b=0.0112-0.0049\cdot\exp(-[NO2]_R/[NO2]_{BG})$
浮遊粒子状物質（ＳＰＭ）	［年間 2％除外値］＝a［年平均値］+b ただし、$a=1.87+0.86\cdot\exp(-[SPM]_R/[SPM]_{BG})$ $b=0.0081-0.0174\cdot\exp(-[SPM]_R/[SPM]_{BG})$
一酸化炭素（ＣＯ）	［年間 2％除外値］＝a［年平均値］+b ただし、$a=1.65+0.73\cdot\exp(-[CO]_R/[CO]_{BG})$ $b=0.01-0.07\cdot\exp(-[CO]_R/[CO]_{BG})$
二酸化硫黄（SO_2）	［年間 2％除外値］＝a［年平均値］+b ただし、$a=1.71+0.32\cdot\exp(-[SO_2]_R/[SO_2]_{BG})$ $b=0.0011-0.0005\cdot\exp(-[SO_2]_R/[SO_2]_{BG})$

注）$[M]_R$は道路寄与濃度、$[M]_{BG}$はＢＧ濃度、［年平均値］$=[M]_R+[M]_{BG}$

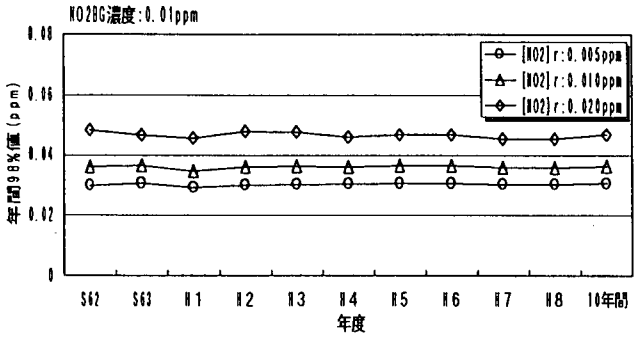
4．整合性の検討

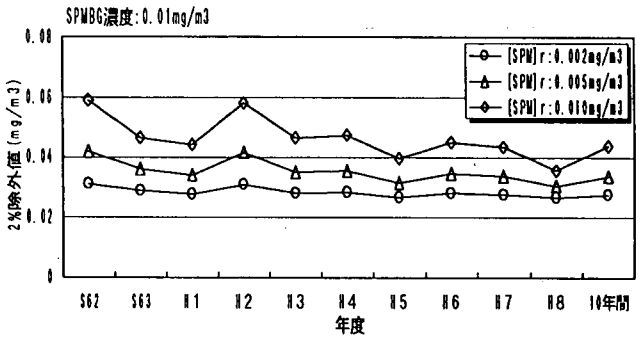
新しい換算式が、従来の換算式より精度が向上したことを確認するため、1987年～1996年（10年間）の全国の一般局及び自排局の常時観測データを用いて、従来の換算式の計算値および新しい換算式の計算値と実測値との整合性の検討を行った。検討対象とした大気汚染物質はNO_2及びSPMの２種類とした。これらの検討結果は表－３のとおりである。新しい換算式は、従来式と比較して相関係数が向上する一方、標準誤差が減少していることから、精度が向上しているといえる。

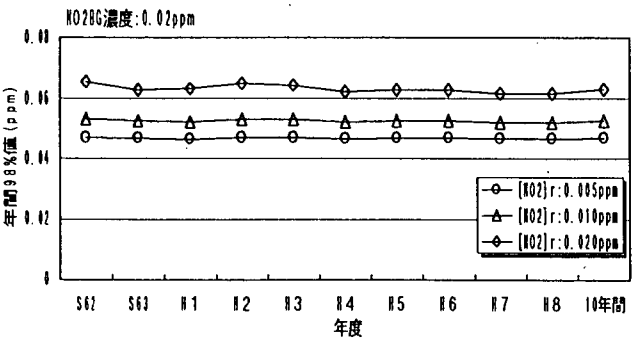
表－３　従来式と新換算式の実測値との整合性

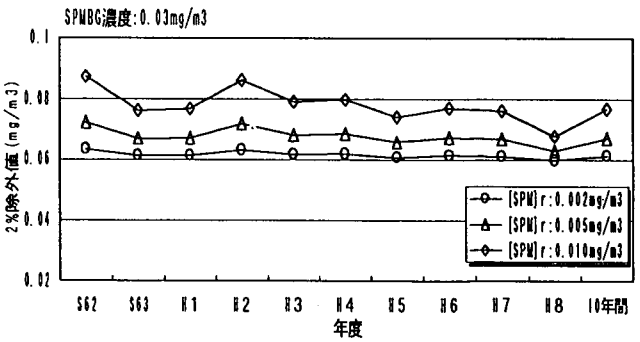
項目	式形	回帰式	相関係数	標準誤差
NO_2	従来式	y=1.007x＋0.0004	0.93	0.0051
	新換算式	y=0.993x＋0.0003	0.95	0.0043
SPM	従来式	y=1.01x＋0.0028	0.89	0.0163
	新換算式	y=1.03x＋0.0033	0.91	0.0148

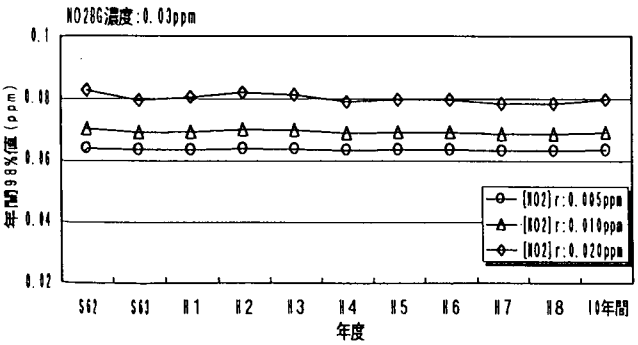
注）ここで、ｘ：計算値、ｙ：実測値

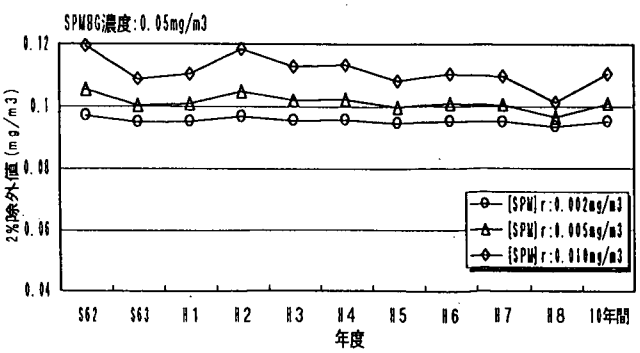












図―７　年度別のNO_2年間98%換算値の試算結果　図―８　年度別のSPM2%除外値換算値の試算結果

5．新換算式のパラメータの変動

新しい換算式は、1987年～1996年の10年間にわたる全国の一般局及び自排局観測データを用いて設定したため、換算式のパラメータは10年間の平均値となっている。そこで、経年的に精度が大きく悪化しないことを確認するため、この10年間で年ごとに予測値が大きく変動しないかどうか、NO_2及びSPMを対象に検討を行った。

バックグラウンド濃度の年平均値はNO_2については0.01、0.02、0.03ppm、SPMについては0.01、0.03、0.05mg/m^{3}に設定し、道路寄与濃度の年平均値はNO_2については0.005、0.01、0.02ppm、SPMについては0.002、0.005、0.01 mg/m^{3}に設定して試算を行った。

その結果、いずれも換算式の回帰係数は年度によってある程度の変化はみられるものの、試算結果はほぼ横ばい傾向にあり、大きな経年変化は認められなかった（図－7、図－8）。

6．おわりに

本稿では、地域特性を考慮した大気質濃度の年間98%値及び年間2%除外値換算式について検討を行った。一般局及び自排局の実測データの分析から、自排局の回帰式の回帰係数が一般局の回帰係数と比較して小さい理由は、自排局が排出源である道路に近接しているためであることが示唆された。この分析結果から、道路から排出される大気汚染物質の寄与の程度を表す変数を換算式に取り込むことにより、地域特性を反映した換算式を設定できると考えた。

この考え方に基づき式形を検討し、従来の回帰式$Y=aX+b$の回帰係数a，bを道路寄与比の指数関数で表すことにより、道路寄与の大きい場合には自排局のデータに基づく回帰式、道路寄与の小さい場合には一般局のデータに基づく回帰式に近くなるような新しい換算式を設定した。実測値との整合性を検討した結果、この新しい換算式では従来の換算式に比べ精度が向上していることが確認された。また、経年的に予測値の精度が大きく変動しないことも確認された。

例えば自動車排ガス規制の一層の強化等により道路寄与分が減少し、それに伴い道路沿道の大気汚染物質濃度が減少した場合、道路寄与比が小さくなる。この場合、従来式を適用すると道路寄与比が小さくなっても本来大きくなるべき換算式の回帰係数aは変わらないため、換算値が過小評価になると考えられる。しかし、新しい換算式では道路寄与の割合により回帰係数aが決まるため、このような問題点も解決されると考える。

参考文献

1)社団法人日本道路協会：「道路環境整備マニュアル」, p31-86, 1989.

（４６）沿道の浮遊粒子状物質濃度の予測手法

建設省土木研究所　　○山田俊哉
建設省土木研究所　　大西博文
建設省土木研究所　　大城　温
株式会社環境技術研究所　三神泰介

１．はじめに

浮遊粒子状物質（ＳＰＭ）の大気拡散予測は、一般に、プルーム式を基本とし、重力沈降により煙流主軸を下方に修正する方法が知られている。そこで、我々は、道路沿道という発生源近傍の狭い拡散場におけるＳＰＭの沈降現象を考慮する必要性について検討した。検討の結果、ＳＰＭ濃度の道路沿道における予測においては、沈降現象を考慮する必要はなく、ガス状物質と同様の予測が可能であるとの結論を得たので、ここに報告する。

２．トレーサー実験によるＳＰＭ濃度予測手法の検証

2.1 トレーサー実験結果

高速道路（平面構造は東名高速道路の静岡県袋井市、盛土構造は東北自動車道の栃木県氏家町）において、道路上に以下の異なるトレーサー粒子（２種類）とトレーサーガスを噴霧し、道路沿道における拡散性状を比較検討した。

○トレーサー粒子　：　Ｅｕ（ユウロピウム）……　中央粒径　２．８μｍ
　　Ｄｙ（ジスプロシウム）……　中央粒径１１．８μｍ

Ｅｕ、Ｄｙ、トレーサーガスとＮＯｘの車道部端濃度を基準とした濃度比（以下「車道部端濃度比」という）の距離減衰（水平方向、鉛直方向）は、図１～図４のとおりである。なお、現地において車道部端での測定が困難なことから、車道部端から2mの地点の濃度を車道部端濃度比の基準とした。

特に盛土構造の距離減衰において粒径が１０μｍを超えるＤｙは減衰傾向が大きいが、粒径が１０μｍ以下のＥｕはガス状物質（トレーサーガスとＮＯｘ）とほぼ一致した結果となった。

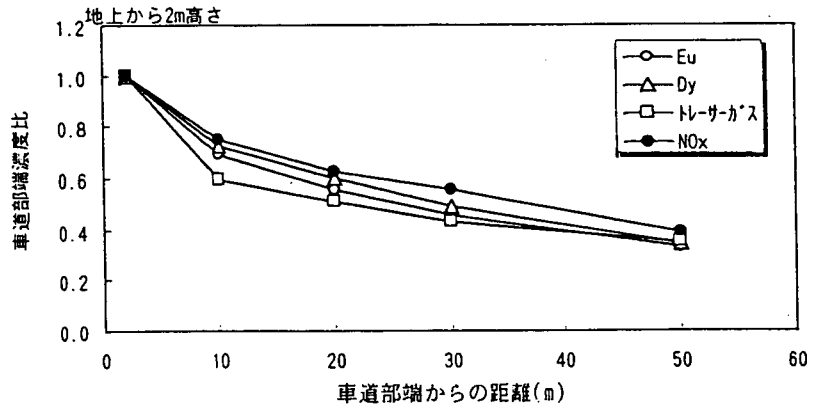


図１　　ＳＰＭ等濃度の水平方向の距離減衰(東名高速道路、静岡県袋井市、平面構造)

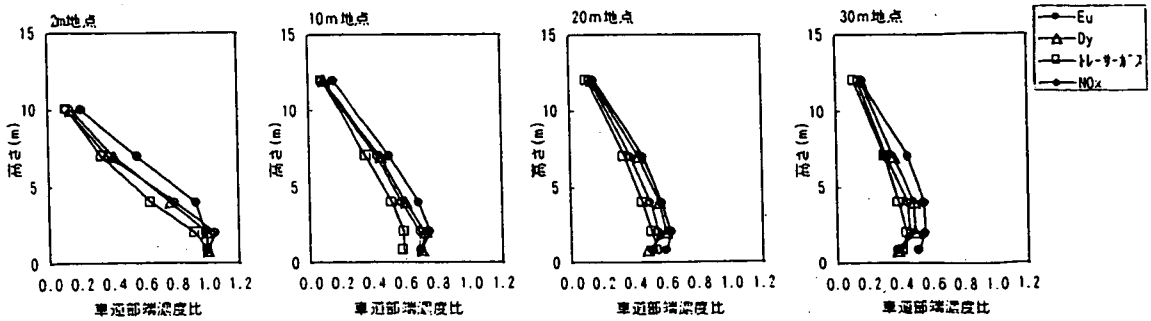


図２　ＳＰＭ等濃度の鉛直方向の距離減衰(東名高速道路、静岡県袋井市、平面構造)

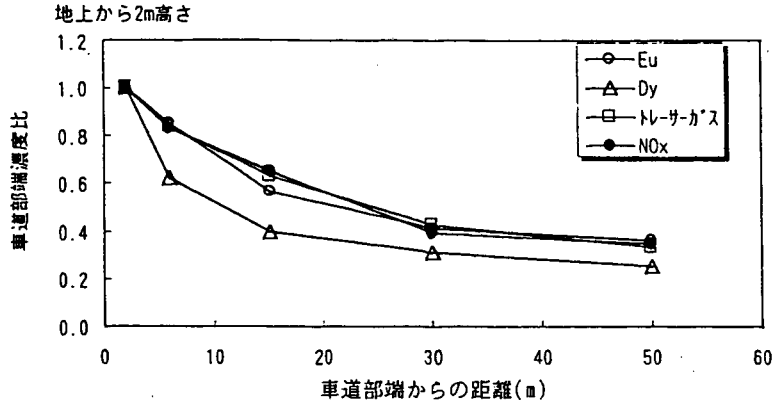


図３　ＳＰＭ等濃度の水平方向の距離減衰（東北自動車道、栃木県氏家町、盛土構造）

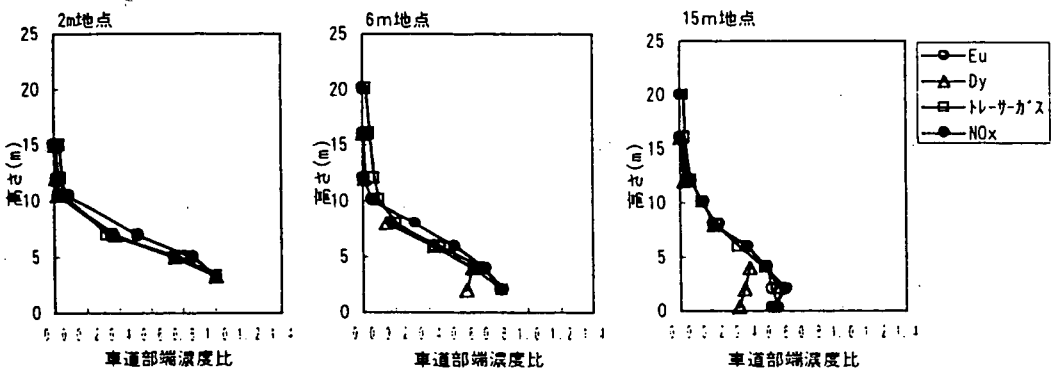


図４　ＳＰＭ等濃度の鉛直方向の距離減衰（東北自動車道、栃木県氏家町、盛土構造）

2.2 トレーサー実験結果に基づくＳＰＭ濃度の試算結果

Ｅｕ及びＤｙについて、ダストジャーの捕集量から沈着速度を求め（表１）、この沈着速度を用いて、沈着を考慮した拡散計算を行うと、図５のようになる。試算結果においても、１０μｍを超えるＤｙは減衰傾向が大きいが、粒径が１０μｍ以下のＥｕは、沈着を考慮しない場合の結果とほぼ一致する。

表１　ダストジャーより求めたトレーサー粒子の沈着速度

トレーサー ＼ 車道部端からの距離	沈着速度(cm/s)				
	1～6ｍ	6～16ｍ	16～30ｍ	30～50ｍ	50ｍ以上
Ｅｕ	0.14	0.12	0.15	0.18	0.18
Ｄｙ	7.39	5.24	3.53	1.99	1.51

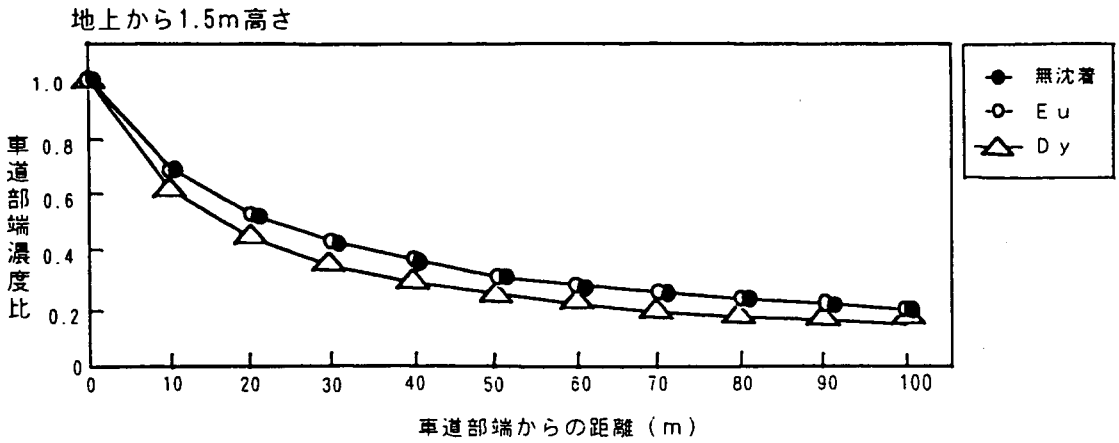


図５　沈着速度に基づく試算結果

3．ＳＰＭ濃度の実測による予測手法の検証

平面構造の一般国道（２箇所）において、沿道のＳＰＭとＮＯxの濃度を測定した。ＳＰＭとＮＯxの車道部端濃度比の距離減衰(水平方向)は図６、７のとおりであり、ＳＰＭとＮＯxの拡散性状はほぼ一致した結果となった。

○調査箇所

・国道１２５号（茨城県つくば市）

・国道８号　　（滋賀県彦根市）

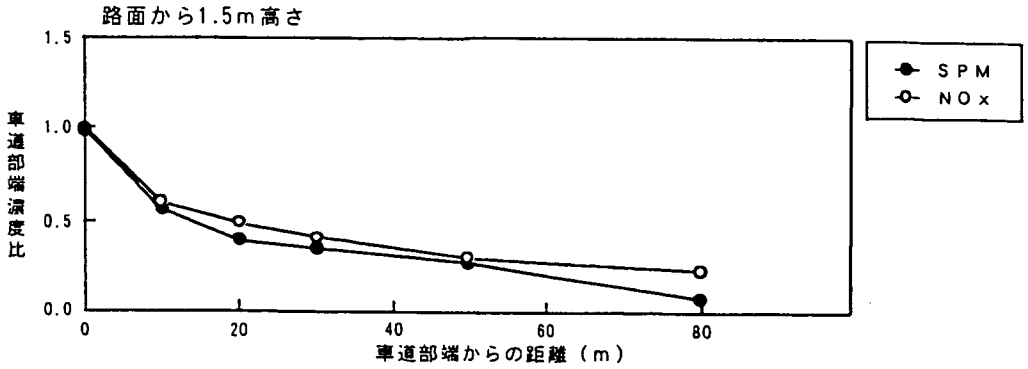


図６　SPMとNOx濃度の水平方向の距離減衰（国道125号、茨城県つくば市、平面構造）

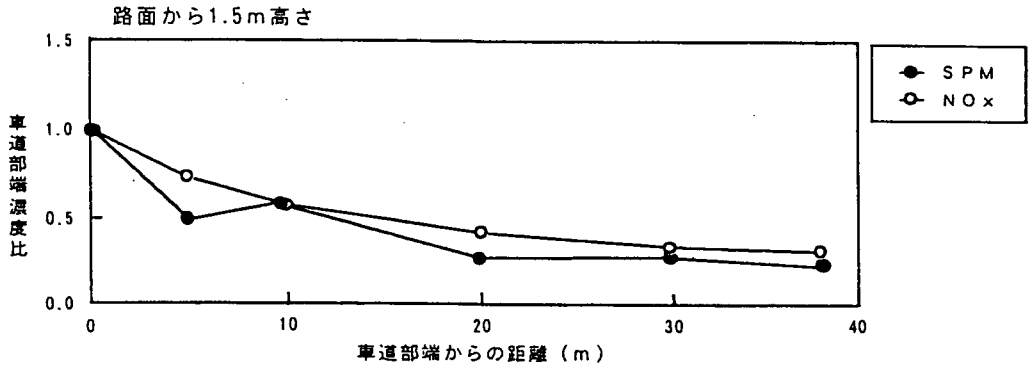


図７　SPMとNOx濃度の水平方向の距離減衰（国道８号、滋賀県彦根市、平面構造）

４．おわりに

本稿では、ＳＰＭ濃度の予測に関して道路沿道という発生源近傍の狭い拡散場におけるＳＰＭの沈降現象を考慮する必要性について検討した。まず高速道路(平面及び盛土構造)において、道路上に粒径の異なるトレーサー粒子（２種類）及びトレーサーガスを噴霧し、道路沿道における拡散性状を比較検討した。その結果、トレーサーガスに比べ、粒径が１０μｍを超えるトレーサー粒子の場合には距離減衰傾向が大きいが、１０μｍ以下の場合はほぼ一致した距離減衰を示した。また、一般国道の平面構造道路においてＳＰＭと窒素酸化物の濃度を実測・解析した結果、車道部端濃度を基準とした濃度比による距離減衰はほぼ一致した。

このことから、ＳＰＭの道路沿道における予測においては、沈降現象を考慮する必要はなく、ガス状物質と同様に大気拡散式（プルーム・パフ式）に基づく予測が可能であるとの結論を得た。

（４７）沿道における大気質予測のための現地調査時期および期間

建設省土木研究所　○大城　温、大西博文、山田俊哉
㈱環境技術研究所　　百瀬成一

１．はじめに

沿道における大気汚染物質濃度の予測を行うためには、バックグラウンド濃度や風向・風速等の気象データが必要である。この際、近傍に予測地点とほぼ同じ条件にあると考えられる一般環境大気測定局や気象観測局が存在する場合には、これらの測定データを利用すれば良い。しかし、そのような条件にない場合、予測地点近傍で現地調査を行う必要がある。

この場合でも、大気質濃度は年平均値で予測するため、年間を通じた大気質の状況が把握できれば、必ずしも通年観測を行う必要はないと考えられる。そこで、必要とする精度のデータを得るためには、どの程度の期間の現地調査を行う必要があるか、実際の観測データを基に考察した。

２．大気質濃度の調査時期・期間

２．１　既往の研究と本研究での方針

大気質濃度の調査はバックグラウンド濃度を把握するために必要である。土木研究所の研究[1]によれば、二季の短期調査により二酸化窒素濃度の年平均値を推定することを想定すると、夏季と秋季、春期と秋季の組合せで１週間の測定を行った場合、誤差が 10%以下になるケースが７割程度になるとされている。

しかし、年間を通じた大気質の状況を把握するためには、一季、二季の測定では不十分なケースがあると考えられる。そこで、本研究ではより測定回数・期間の多いケースも想定し、実測データの分析により誤差の検討を行い、予測に必要な測定回数・期間がどの程度かを明らかにすることとした。

２．２　分析方法

測定時季、測定回数、測定期間の３つの要因に着目し、測定時季は春(3～5 月)・夏(6～8 月)・秋(9～11 月)・冬(12～2 月)、測定回数は 1～4 季節、測定期間は 1,2,4 週間の組合せで分析するケースをそれぞれ設定した。

分析に用いたデータは、平成８年３月～平成９年２月に千葉県柏市内の常時監視測定局の７局で測定されたものである。このデータから測定期間分のデータを短期調査に相当するものとして抽出し、このデータから推定された年平均値と実際の年平均値との誤差がどの程度になるか分析を行った。

２．３　分析結果

分析の結果から、誤差の許容範囲を 10%、20%に設定した時に、その範囲内に収まるケースの割合と標準偏差をグラフ化したものが図-1～3 である。

季節の組み合わせによりかなりばらつきがあるため一概には言えないものの、一季の測定ではばらつきが大きく、二季の測定でも春と秋、夏と冬の組み合わせは比較的誤差が少ないが、平均するとばらつきが大きいことがわかった。四季の測定の場合は、１週間の測定でも精度は高く、95%以上のケースが誤差 20%以下であり、標準偏差は約 2ppb であった。また、４週間の測定では 95%以上が誤差 10%以下であり、標準偏差は約 1ppb であった。

この結果から、バックグラウンド濃度が±2ppb の精度で十分であれば各１週間程度の四季観測で十分であり、±1ppb の精度が必要であれば各４週間程度の四季観測が必要であると言える。

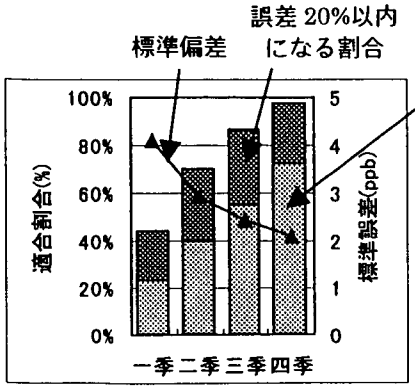


図-1 許容範囲内に誤差が収まる割合及び標準偏差（1週間測定時）

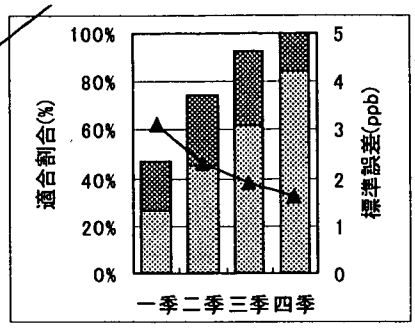


図-2 許容範囲内に誤差が収まる割合及び標準偏差（2週間測定時）

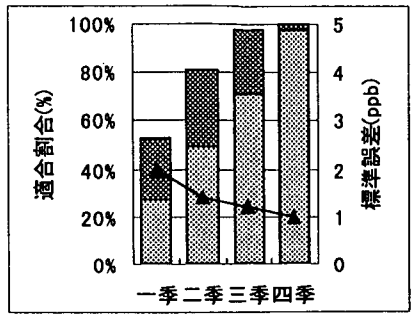


図-3 許容範囲内に誤差が収まる割合及び標準偏差（4週間測定時）

3．風向・風速の調査時期・期間

3．1 分析方法

次に、道路から発生する大気汚染物質の拡散計算を行う際に必要な年間の風向･風速データを十分な精度で得るために、2章と同様にどの程度の測定期間・回数が必要か分析を行った。分析の流れを図-4に示す。

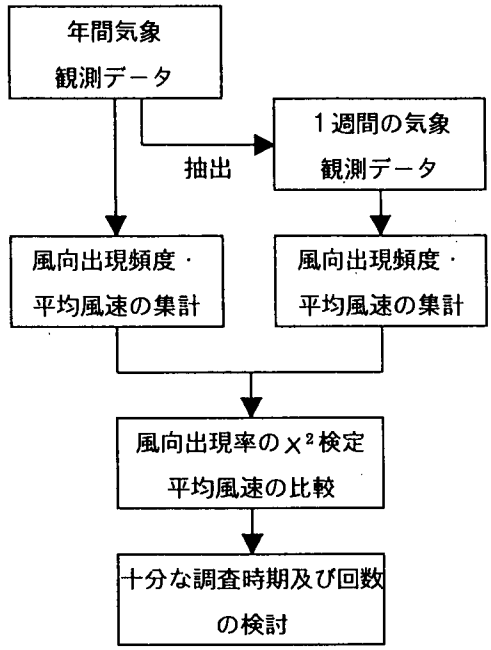


図-4 分析の流れ

分析に用いたデータは、平成7年の全国の気象台及び測候所153箇所のうち、島嶼部を除く140箇所の風向出現頻度及び有風時平均風速のデータ（1時間値）である。なお、風向出現頻度には風速 1m/s 以下の静穏も含んでいる。このデータから、1季節3ヶ月のうち1日ずつ測定時期をずらして、連続1週間84ケースの風向出現頻度び有風時平均風速を抽出した。

このデータを用いて、1季のみ、2季の平均、3季の平均、4季の平均を計算し、その値を短期調査に相当するデータとして、年間の風向出現頻度及び有風時平均風速との比較を行った。比較の方法は、風向出現率については χ^2 乗検定、有風時平均風速については大気質濃度の場合と同じ手法で行った。

3．2 分析結果

風向・風速についても各1週間の四季観測の場合、風向出現率においては有意水準5%では86%、有意水準1%では92%のケースについて適合しており、平均風速においても87%が誤差20%以内、99%が誤差

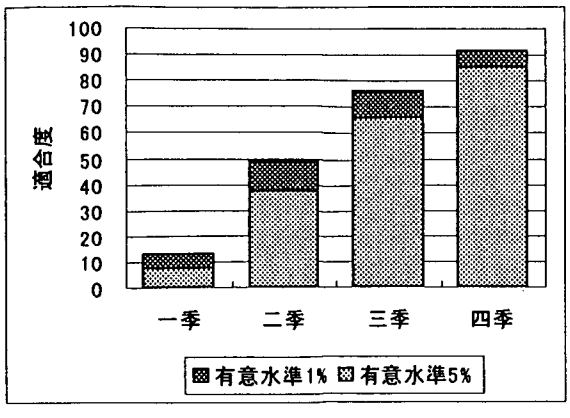


図-5 風向出現率の適合度

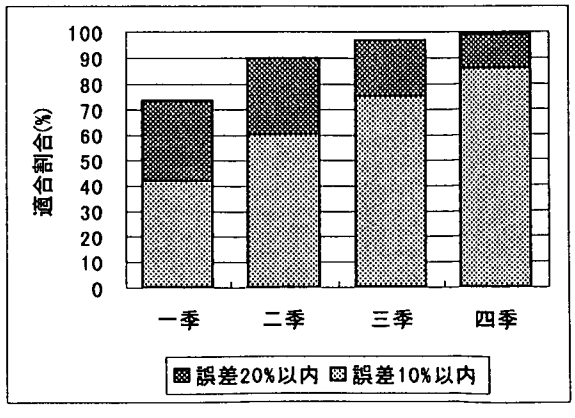


図-6 平均風速の適合割合

10%以内である。この結果から、この程度の期間・回数の調査により年間の気象状況を推定しても、十分な精度が得られると言える（図-5、6）。

4．短期調査データによる大気拡散計算の精度

4．1　計算方法

最後に3章と同様の短期調査相当（1季、2季、3季及び4季の各1週間）の風向風速データを用いて、二酸化窒素(NO_2)の大気拡散計算を行い、通年気象観測データを用いた大気拡散計算の結果と比較し、短期気象観測による年平均値の予測値が十分な精度が得られるかを検討した。

大気拡散計算は以下に示す条件で行った。

- ・道路構造　　：平面構造
- ・道路幅員　　：20m
- ・道路方向　　：東西方向
- ・交通量　　：50,000台／日
- ・大型車混入率　：20%
- ・平均走行速度　：60km/h
- ・NOx排出係数　：大型車1.90g/km、小型車0.226g/km
- ・予測点位置　　：南側道路端、道路端より50m地点、100m地点の3地点

なお、大気拡散計算は「道路環境整備マニュアル[2)]」に基づく方法で行った。

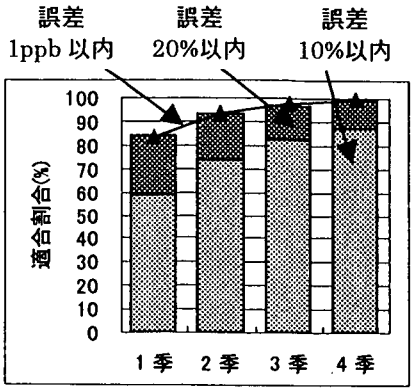


図-7　道路端における予測値の適合性

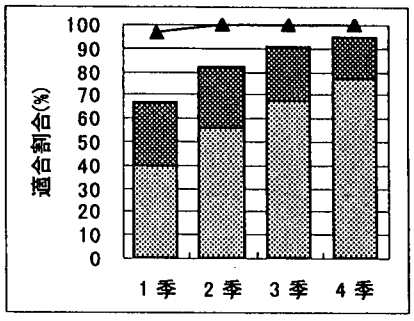


図-8　道路端から50m地点における予測値の適合性

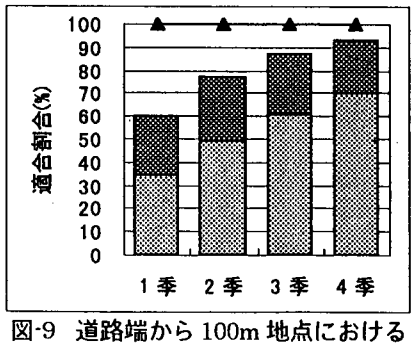


図-9　道路端から100m地点における予測値の適合性

4．2　計算結果

通年調査により得られた気象データによる大気拡散計算結果を真の値として考えた場合に、短期調査による拡散計算結果の誤差が±10%以内、±20%以内、1ppb以内となるケースの割合を求めた(図-7～9)。

その結果、通年調査による拡散計算値と、短期調査による値の濃度差は1ppb以内であることがわかった。この結果から、各1週間の四季観測により得られた気象データにより予測した大気質濃度は十分な精度があると考えられる。

5．まとめ

沿道における大気質濃度予測を行う際に、十分な精度を得るために必要な大気質濃度・風向・風速の調査時期・期間はどの程度か、実測データを基に分析を行った。その結果、大気質濃度・風向・風速のいずれについても、1週間ずつの四季観測によりほぼ十分な精度が得られるという結論を得た。

【参考文献】

1）建設省土木研究所道路部交通環境研究室：「土木研究所資料 第2178号　大気汚染物質の年平均濃度予測手法」, p64, 1985.

2）社団法人日本道路協会：「道路環境整備マニュアル」, pp-44-82, 1989.

4.3　沿道の自然環境に関する研究

(48) A POSSIBILITY OF ESTABLISHING THE ECOLOGICAL NETWORK USING ROAD SPACE

Hiroyuki ONEYAMA, Atsushi KAWAKAMI*, Ryoko IMAI**, and Toshihiro KOSUGE***.

* Public Works Research Institute, Ministry of Construction
** Asia Air Survey Co.,Ltd.
*** Karter Art Landscape Consultant Co.,Ltd

1. INTRODUCTION

1.1 Background

The rich natural environment of Japan, that used to exist in the proximity of urban areas, has been disappearing due to rapid urbanization. The conservation of the natural environment is an urgent challenge that we face today. On the other hand, we face the important task of constructing road network to cater for an increase of traffic demand and the expansion of urban areas. Steady road developments will be needed into the future as well.

However, in many suburban areas, the conflict between development and conservation of natural environment is a serious issue. It is important to resolve this conflict, and promote the development of roads in balance with the conservation of the ecosystem that exists in our immediate environment. To attain this goal, we should promote a comprehensive approach to land use that strategically takes into account the conservation of the ecosystem, in addition to land use planning from the human perspective such as urban planning. The ecological network concept, which is recently attracting much attention, is premised on such a perspective and aims to strategically conserve the ecosystem for an entire region by linking the remaining wildlife core habitats (see Figure 1). In this paper, a term of "habitat" is used as a area or environment where species or a group of species live.

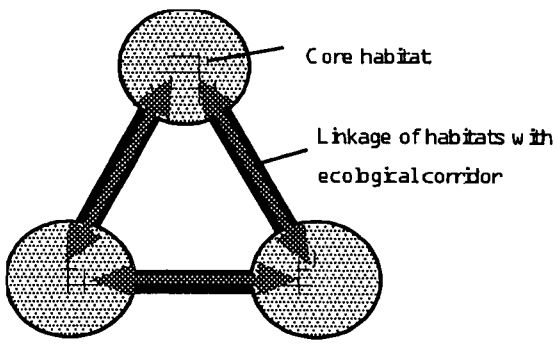
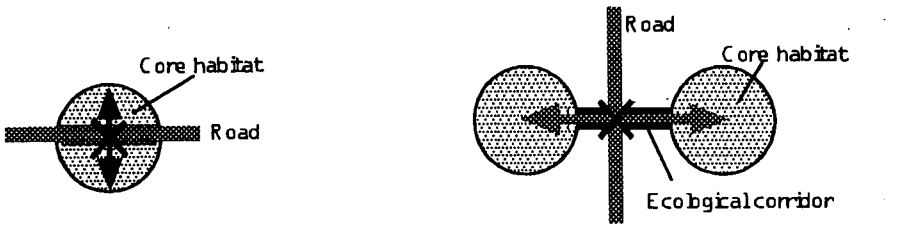


Figure 1 Image of Ecological Network



a) Disappearance and division of core habitat

b) Impediment of connectivity between habitats by cutting ecological corridor

Figure 2 Negative Impact of Road on Ecological Network

It is necessary to promote road projects in balance with the conservation of the regional ecosystem. The method for achieving this goal is to form an ecological network and to implement road projects harmony with the ecological network in.

1.2 The Goal of This Paper

The goal of this paper is to clarify the relationship between the formation of an ecological network and road development from the perspective explained above. We propose a road development method that is well balanced with the conservation of the regional natural environment for the next century.

Roads cause various impacts on the natural environment. However, from the perspective of forming an ecological network, the impact on core wildlife habitats, such as disappearance of habitat, division of habitat and others by roads, is a serious problem (Figure 2-a). Another serious problem is an impediment in connectivity between the core habitats by cutting ecological corridors by the road (Figure 2-b). So it is important to conserve the core habitats and to secure the connectivity between the habitats mitigating an impediment in animal's mobility through the ecological corridors.

On the other hand, there are various green spaces in the roads, many different species utilize them. In urban and suburban areas where the natural environment is decreasing, a substantial amount of green spaces is provided by road space. Considering this road space as part of the ecological network, we think that the road development can contribute to the formation of an ecological network (Figure 3).

In this paper we will examine the potential for utilizing green spaces in roads as wildlife habitats. By further expanding on the idea of the road space as part of the ecological network, we propose that roads possess a function of "creation of ecosystem". An "ecological buffer zone", related to the road development, will be proposed as a measure to contribute to creating the ecosystem.

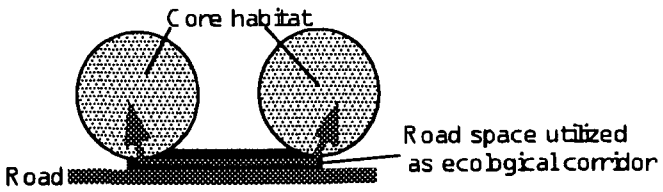


Figure 3 Positive Effect of Road on Ecological Network

The contents of the paper will be as follows: Chapter 2 will present a detailed view of the current status of natural environment and road development in Japan. In Chapter 3,an overview of the ecological network and its planning method will be presented, with particular reference to a role of road projects. In Chapter 4, we will explain impacts and remedial measures against an impediment in forming the ecological network, which we first have to consider from the viewpoint of relationship between roads and the natural environment. In Chapter 5, the potential for utilizing the green space of roads as wildlife habitat will be explained. Further in Chapter 6, these concepts will be expanded as the function of creation of ecosystem, and the ecological buffer zone will be proposed as a road-related measure, with a discussion of the specific challenges that must be resolved for realizing the measure.

2. NATURAL ENVIRONMENT AND ROAD DEVELOPMENT IN JAPAN

2.1 Natural Environment in Japan

Japan has diverse and complex natural environment. The Japanese archipelago stretches for a long distance from north to south, with climatic conditions ranging from the subarctic to the sub-tropical. The backbone of the archipelago is formed by a series of steep mountain ranges that soar more than 3,000 meters, with topography that is varied and complex. Diverse fauna and flora exist in this environment of Japan.

However, starting from the Japanese high economic growth period of the sixties, much of Japan's rich natural environment has been exposed to rapid urbanization. Lack of appropriate urban planning led to uncontrolled urban sprawl as people migrated from rural areas to several large cities such as Tokyo Metropolitan Area. For example, the Tokyo Metropolitan Area has densely inhabited districts with a radius of 50 to 60 km, and developed areas continue beyond the districts intermittently.

Due to the urban sprawl and rapid urbanization, land is being developed in areas that still retain their natural environment. Though the natural environment is disappearing, very little effort has been expended to conserve what little remains. Thus, the remaining natural areas are always exposed to the threat of extinction by urban development.

Under the background above, public needs for conservation of the immediate natural environment is recently growing up in proportion to increasing awareness of natural environment by the people.

2.2 Road Development in Japan

Next, let's look at the road development situation in Japan. Road conditions continued to deteriorate for some years in the aftermath of World War II, but under the First Five-Year Road Improvement Plan established in 1954, full-fledged construction of roads was launched as basic infrastructure to support the high economic growth era. From 1963, construction of expressways was commenced, and about 7,000 km of expressways will be in service by the end of 1999.

Despite these efforts, however, road construction could not keep up with the rapid urbanization and urban sprawl, resulting in severe road congestion and other problems from the viewpoint of urban planning. Especially a main reason of these problems is the lack of inter-urban roads connecting one urban area to another, and ring roads in metropolitan areas, and demands for construction of these roads are very high. To alleviate these traffic problems, many kilometers of roads, including high-standard ones, will be developed in suburban areas in the near future.

2.3 Conflict between Road Projects and Environmental Conservation

It is important to conserve the ecosystem and ecological diversity in the urban areas and suburbs since these are the foundations of our own existence. Much of the remaining natural environment is valuable from the viewpoint of ecological rarity or diversity. In order to nurture an appreciation of our natural environment, it is important for people to have the opportunity to come into contact with nature in their immediate environment.

However, in many suburban areas, the conflict between development and environmental conservation is a serious issue. The natural environment found today in the suburbs is in a sense ubiquitous, and thus cannot be protected under current systems that focus only on rare species. Today there is no consensus on how to strike a balance between the development and the conservation of the natural environment. Meanwhile, pressures for development are strong in these areas, and road and other development plans are now proceeding. Due to this reason, we see much animosity and conflict between the development of suburban areas and environmental conservation. Road projects also meet much resistance from local communities and environmental protection groups, resulting in severe delays of road construction plans.

To strike a balance between the road development and the need to conserve the natural environment in our immediate environs, a comprehensive and strategic approach to land use that takes into account the need to conserve the ecosystem should be promoted, in addition to urban planning and land use planning for the human beings. "The ecological network concept", that will be explained in the next chapter, would be premised on such a comprehensive approach to the land use.

3. ECOLOGICAL NETWORK AND ROAD DEVELOPMENT PLANS

3.1 Ecological Network

As mentioned above, the ecological network is based on the understanding that it is important for conserving the ecosystem to provide and protect habitats for wildlife, and to link individual habitats by ensuring mobility and dispersion of wildlife. Definitely, the regional ecosystem can be conserved by preserving indispensable core habitats and by linking the habitats with ecological corridors.

A specific example can be found in the Nature Policy Plan of the Netherlands which proposes the zoning of such areas into 1) core areas, 2) nature development areas, and 3) ecological corridors [1]. These are defined as follows:

1) Core areas: Areas which contain core habitats that should be preserved because they are indispensable for preserving the regional biota;

2) Nature development areas: Areas surrounding the core areas selected, the quality of which must be improved to preserve or expand the core areas, and which will be integrated into the core areas in the future; and

3) Ecological corridors: A space to provide mobility between the core areas and/or the nature development areas that are fragmented, and to be developed for the purpose of facilitating new migration or dispersion routes for animal and plant species.

3.2 Goals of Ecological Network Plan

In areas where the habitats are fragmented, reduced or are threatened with extinction due to human activity in urban areas, in order to conserve the wildlife, we must not only preserve discrete habitats,

but must rebuild corridors that would ensure mobility between the habitats by reconnecting them into the ecological network. The goal of the ecological network plan is to designate the core areas, nature development areas and ecological corridors taking into consideration their intended functions, in order to efficiently recover the functions of habitats that have shrunk in land area or are fragmented, and thus to preserve the regional ecological diversity. Stated in another way, the ecological network plan is a measure to channel infrastructure development strategically and intentionally towards land use that takes into account the perspective of ecosystem conservation.

3.3 Overview of Ecological Network Planning Process

An ecological network planning process has not been established though the planning is now ongoing in several regions in Japan. This paper will present the concept, underlying the formation of the ecological network plan, which the authors studied, based on the current status of the natural environment, social conditions and accuracy of information in Japan [2]. A precedent example from the Netherlands is referenced as well.

The first step for forming the ecological network plan is to survey the planning area to collect information on the natural and social environment (i.e. restrictions on the land use, infrastructure development plan, etc.). However, in Japan, we still lack a database of information about the natural environment. Information that is provided on a nationwide basis includes vegetation maps at the scale of 1/50,000 and information of flora and fauna distribution at the prefectural level. Since a comprehensive ecological network plan has never been formed, the specific methods for coordinating road, river, and park projects that directly impact the development of the ecological network have not been developed yet.

In this situation, we propose a planning process that would follow three stages as explained below in order to promote the efficient collection of information regarding the natural environment and to coordinate different project plans.

(1) Ecological Network Grand Design

Based on publications regarding the natural and social environment, first we should plan the layout of the core areas, the nature development areas, and the ecological corridors. When selecting the core areas and the nature development areas, in addition to analyzing the value of existing habitats, we should assess the potential for creating new habitats based on existing urban and other land use plans.

(2) Ecological Network Basic Plan

Within the region which is the focus of the ecological network plan, specific areas for implementation should be selected, field surveys should be conducted to collect information on the natural environment, and adjustment should be made with other related land use plans, in order to finalize the selection of the core areas, the nature development areas and the ecological corridors.

Public works projects in Japan tend to be implemented separately from each other based on discrete development plans. The ecological network, however, cannot be created disparately and in total isolation. They cannot be limited to particular areas either, because the ultimate goal is to promote land use that also supports the conservation of the regional ecosystem. Therefore, it will be necessary to make adjustments between different public works projects at the time when the Ecological Network Basic Plan is formed. Conversely, it will not be possible to form the ecological network unless the different public works projects are well coordinated.

(3) Ecological Network Development Plan

A content of each project, included in the development plan of the specific infrastructure like roads and rivers, is to be examined from a viewpoint of developing the core areas, the nature development areas and the ecological corridors selected in (2) above. In Japan, projects such as "Eco-road" projects and the ecological river improvement projects have been promoted in order to aim at conserving the natural environment. Through the implementation of the projects, technologies for conserving the natural environment have been accumulated. To realize the ecological network, we will make the most of these technologies.

3.4 Case Study for Ecological Network Grand Design

We conducted a case study on the ecological network grand design to understand problems of the proposed method on the ecological network grand design and to clarify function of road projects from the viewpoint of the ecological network.

The case study was conducted in the northern part of Yokohama City, Kanagawa Prefecture (an area that spans 9 wards out of the 18 wards in Yokohama City). Yokohama City lies 20 to 30 km south of Tokyo and has a land area of 434 square km. (the case study was undertaken in an area of 247 square km). Yokohama has the largest port in Japan, while its interior is quite hilly with the natural environment remaining. Since the economic high growth era in the 1960's, the area has lost much of its green space due to residential development, etc. The green space which used to account for 9,740 ha in 1965 was reduced to 5,115 ha in 1980, and to 3,759 ha by 1995.

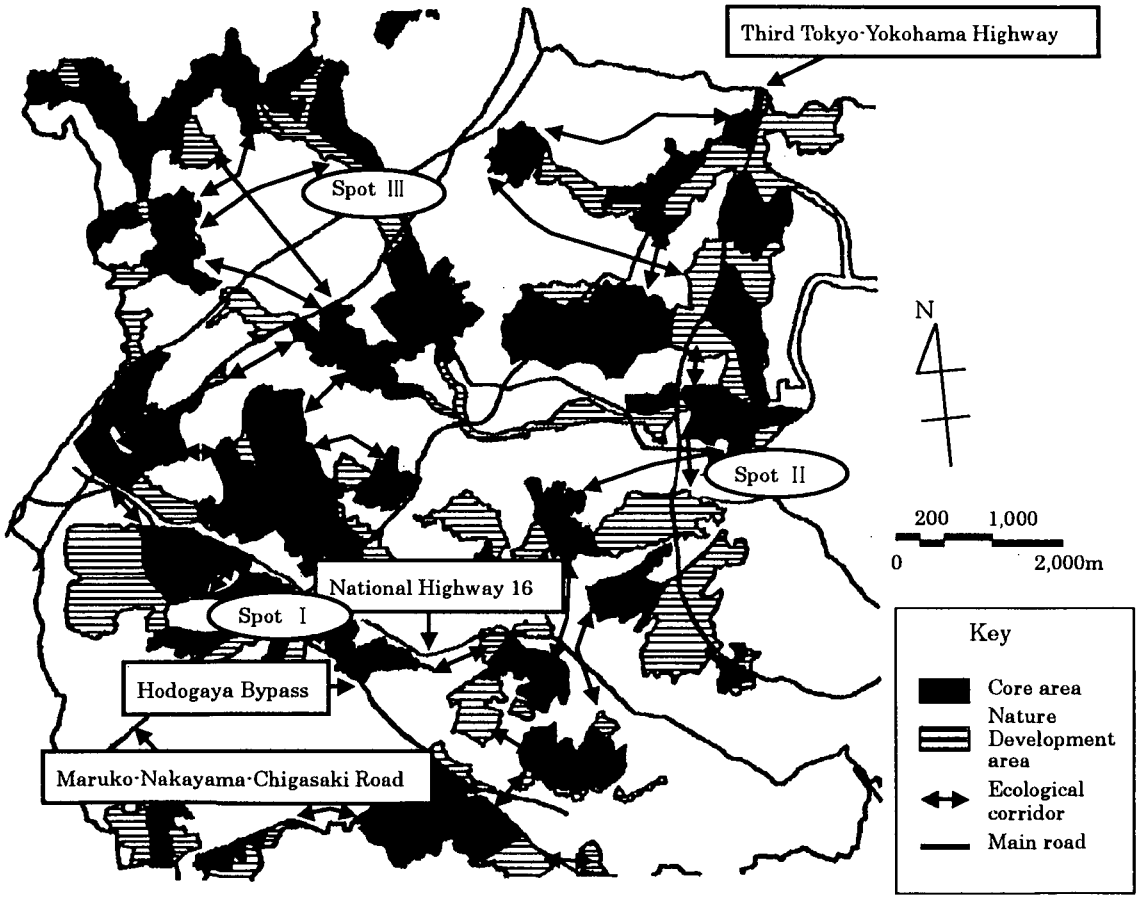


Figure 4 Ecological Network Grand Design (Case Study in Yokohama City)

It will be noted that this paper will be presenting an initial proposal for integrating the ecological network within the study area with road development plans, as an exercise to study how the ecological network plan can be applied in the future. Thus the plan referred to in this paper is not considered to be implemented by the City of Yokohama.

Figure 4 is a schematic drawing of the ecological network plan formed for the case study area. In this example, the core areas are spaces that contain biotopes of given land areas, the nature development areas lies in land where development is restricted mainly for agricultural use. Other areas have already been urbanized. The map shows that even if the core areas were to be combined with the nature development areas, much of the habitats are fragmented. Thus in order to develop the ecological network, it is necessary to create the ecological corridors in areas that include residential and other development. The area selected for the study is already considerably developed, and even if this example may seem to represent an extreme case, habitats are fragmented in most suburban areas in Japan. It is a fact that this is very common when studying the formation of ecological network.

3.5 Role of Road Projects from Viewpoint of Ecological Network

Here, we will discuss a role of road projects based on the ecological network grand design prepared in the case study above. When a new road project is planned, the ecological network plan can be taken into account when selecting a route so that the new road will not pass through core areas. Also, for existing roads that are in service, locations where the roads impede the formation of ecological network, and areas that can be utilized for the development of ecological network can be identified by assessing current roads from the perspective of the ecological network plan.

For example, Spot I shown in Figure 4 could be a core area, that has been divided by the Hodogaya Bypass. The number of animals that are killed on the road should be surveyed and appropriate measures should be studied to rebuild, and link the divided habitats.

In Spot II shown in Figure 4, the core areas are fragmented by residential areas. The behavior of species should be surveyed in this case, and if necessary, the slopes and green space along the Third Keihin Expressway need to be integrated into the ecological network to facilitate mobility of species between the core areas.

In Spot III, though this is not illustrated in Figure 4, street trees and parks provide green space within the urban area. Here the habitat of birds should be surveyed and if necessary the potential for creating ecological corridors consisting of trees that are planted along roads should be studied as a means to facilitate the mobility of birds within the urban area.

As discussed, roads may have two aspects from the viewpoint of the formation of ecological network: one is a negative impact by dividing a habitat or cutting a ecological corridor, and the other is a positive effect by integrating the green space along roads available to develop ecological corridors.

However, as Figure 4 created in the case study shows, it is difficult to coordinate development plans including road projects with the ecological network plan due to insufficient information and immaturity of the ecological network plan at this stage. A practical study of an ecological network will have to wait until the next stage when the ecological network basic plan has been formed.

3.6 Problems that must be Overcome to Form an Ecological Network Plan in Japan

The impediments to form the ecological network plan in Japan, as illustrated above, and special issues to be noted can be summarized as follows: The first impediment is the lack of a database of information on the natural environment. Thus the plan must be formed from a little information

available from the publications, supplemented by field surveys as the details of the plan are finalized. Secondly, since most wildlife habitats are fragmented in the plains in Japan, difficulties will be encountered when attempting to form the ecological network. On the other hand, this fact may give significance to the utilization of road space to develop the ecological network. However, a scale of an ecological network grand design is too small to clarify a role of roads as an ecological corridor. Thus, utilization plan for the roads as the ecological network will require detailed analysis of the position and potential of individual road areas.

In addition, we have to overcome any other problems, such as adjustment between different development projects, adjustment with the current land use plan and so on to form the ecological network plan.

4. MITIGATION FOR IMPACTS OF FRAGMENTATION OF ECOLOGICAL NETWORK BY ROADS

Roads cause various impacts on the ecosystem, such as a disappearance of habitats by road construction, changes of micrometeorological phenomena, and so on. However, an impediment in animal's movement by roads has the most characteristic and serious impacts on the ecosystem, because of their artificial, linear structure.

From the viewpoint of relationship between roads and the ecological network, we first have to consider how to mitigate the impediment in animal's mobility and fragmentation of ecological network. Here we explain impacts and remedial measures of the impediment in animal's mobility with data of our field surveys.

4.1 Impact of Fragmentation of Ecological Network by Roads

Roads prevent animals from moving between their habitats when the roads divide the habitats. It causes fragmentation of ecological network, which incurs division of core habitats (i.e. "core areas" and "nature development areas" in terms of the ecological network mentioned in Chapter 3) and an impediment in animal's mobility through ecological corridors. It will become obstacles against formation of ecological network.

If the movement between habitats is impeded by roads etc. the number of species may decrease because animals cannot access their drinking and feeding areas. Furthermore, if the movement for breeding or expansion of their territory is impeded, it may result in prevention of breeding and genetic weakening due to severance of mating, which may lead to endangering species.

The fragmentation of ecological network by roads often causes traffic accidents of animals, which we call "road-kill". To secure the movement of animals to their living environment, they attempt to cross the roads, increasing the potential of road-kill. A large number of road-kills seem to be occurring in urban and suburban areas where the habitats have been fragmented and connectivity between them has been prevented by the roads with heavy traffic. Though there are insufficient data regarding the road-kill, a survey in Kawasaki City, which is in the outskirts of the Tokyo Metropolitan area, shows that 75% of raccoon dogs (*Nyctereutes procyonoides*) deaths are caused by the road-kills [3].

4.2 Mitigation Measures for Impacts of Fragmentation of Ecological Network by Roads

The first measure to avoid the impact of fragmentation of an ecological network by roads is to select an appropriate road route that does not pass through core habitats. If the road inevitably passes through a core habitat or the road cut an ecological corridor, an alteration area of land should be minimal and an appropriate road structure should be adopted to ensure the mobility of animals. In

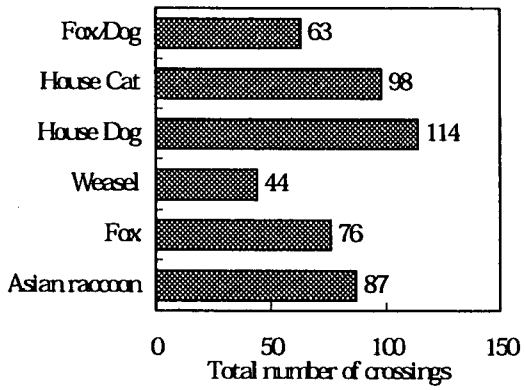
such cases, tunnels or elevated roads are favorable compared to embankments or cuts.

In the interest of preventing the fragmentation of the ecological network, it is most effective to select appropriate routes and road structures as shown above.
However, as mentioned at Chapter 2, since the developed areas and the natural areas are mixed complexly in the suburbs in Japan, it would be difficult to choose road routes that would entirely prevent the small habitats from becoming fragmented. It is also not feasible to make all roads tunnels, or to elevate them because of economical or other reasons.

When the impact on the natural environment cannot be prevented through route selection or road structures, or when the existing roads have an impact on mobility of animals, it is necessary to install artificial corridors that will allow animals to cross roads in safety in order to mitigate the impact. Such animal's corridors could be installed above roads as over-bridges, under roads as tunnels and pipes for waterway. These facilities are usually installed in order to cater for the existing road traffic, and to allow waterways and streams to flow when roads are constructed, and therefore the facilities are not installed primarily to promote the mobility of animals.

Figure 5 shows the results of our survey on animals usage of box culverts, corrugated pipes, and over bridges which were installed across expressways. According to the survey, even though these facilities were not installed primarily for wild animals crossing the road, their usage by raccoon dogs, weasels (*Mustela itatsi*) and foxes (*Vulpes vulpes*) has been observed. By effectively installing these structures, the impact of impediment in mobility of animals can be mitigated to a certain extent.

However, their effectiveness will depend on the structure of these facilities, the natural environment around the facilities and the characteristics of the animals. For example, raccoon dogs are exceedingly timid animals, and show a preference for moving through ditches in tunnels and narrow pipes of about 50 to 60 cm in diameter. If there is a potential use for such road facilities, it is necessary to build the facilities that suit the particular characteristic of the animal species intended.
Attention must be paid to the needs of animals such as installing berm inside pipes so that animals can go through them, and planting shrubs near an entrance of along over-bridges so that animals can hide behind them. This will increase the efficiency of the measures.



Surveyed road:
Chugoku Expressway
(Niimi IC to Toujou IC about 5 km)
Facilities:Box culverts: 20 places
Corrugated pipes: 6 places
Others: 5 places
Number of days surveyed:
7 days in winter time

Note: 'Fox/Dog' refers to cases where it could not be determined whether the animal was a fox or a dog.

Figure 5 Survey Results of Expressway

Many road-crossing facilities for the sake of animals have been installed in mountainous regions where much of the natural environment remains intact. One of such facilities, named Eco-box, installed on National Highway 108 is shown in Figure 6. It has proven to be effective in facilitating the mobility of a Japanese serow (*Capricornis crispus*) living in habitats divided by the road.

5. UTILIZATION OF ROAD SPACE AS WILDLIFE HABITAT

Many green spaces exist and trees and shrubs have been planted in the roads, aiming at the conservation of the roadside environment, improvement of the roadside landscape, and promotion of traffic safety. At the same time, the green spaces have provided habitats for animals and plants. Since roads are linear in shape, there is a potential for utilizing the green spaces within the roads as an ecological corridor. In this section, we will explain the potential for using the green spaces as habitats and the functions as a habitat, referring to the survey results obtained.

5.1 Green Space within Roads

There are street trees in green belts and buffer zones in the urban areas, and trees and bushes on surfaces of embankments slope and cuts, and at interchanges and junctions as green space in the right-of -ways.

The Road Structure Ordinance of Japan stipulates the green belt along major trunk roads in urban areas and particularly in scenic areas with the goal of developing a good road environment and to secure a high quality roadside living environment. Adequate width is provided to the green belt along roads, with the standard width of 1.5 meters. Though the buffer zone is not mandated by the Road Structure Ordinance, the administrative notice has been issued to secure 10 to 20 meters of buffer zone along major arterial roads that pass through residential areas for the purpose of conserving the roadside environment. A part of the zone is planted with trees.

Slopes are generated when embankments and cuts are adopted as road structure to adjust it to hilly terrain. In particular, expressways are usually elevated or depressed by embankments or cuts to avoid plain crossings with ordinary roads. In Japan due to the high cost of land acquisition and to promote effective land use, the roads tend to be narrow, resulting in steep slopes to be constructed. The surfaces of embankment slopes are constructed to a gradient of about 30 degrees, while the gradient of cut slopes is 40 to 50 degrees. Though the slopes have steep gradients, most of them are forested, which is out of the features of road construction in Japan. Forestation has been promoted to provide a scenic landscape, to maintain the roadside environment and for road maintenance purposes. Recently forestation is also being promoted in order to fix carbon dioxide in the trees.

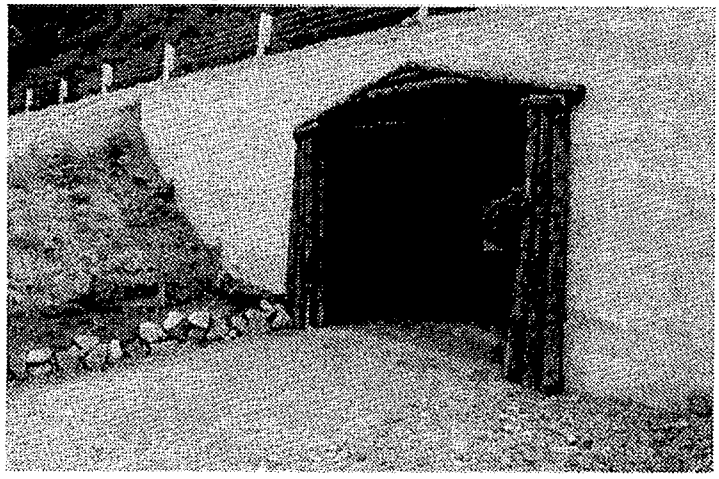


Figure 6 Example of Road-Crossing Facility for Animals
(Eco-Box, Onikobe-Road, National Highway 108)

5.2 Ecological Function of Green Space within Roads

Since such many kinds of green spaces exist in the right-of-way, there may be potential for creating linear ecological corridors that link the habitats existing along roads from the viewpoint of formation of ecological network. The green spaces would differ from usual wildlife habitats. Much cost is invested in the maintenance of such green spaces, with much spraying of herbicides, pesticides and other chemicals in some locations. The green spaces are also affected by the heat generated from the road surface, dust, water drainage from the road surface and traffic noise [5]. Green belts, surfaces of slopes and other green spaces are not usually very spacious. According to our field survey, most green belts in buffer zones and surfaces of slopes are only 10 meters wide and 100 to 250 meters long, and all are fragmented.

The green spaces that are small in size and fragmented, and which are subject to the influence of the surrounding environment cannot be expected to function as habitats that can sustain rare species, endangered species and other interior species [6]. However, these green spaces can be habitats for edge species which utilize the boundaries of different environs and for generalists [6]. They may provide valuable habitats in heavily urbanized areas where habitats are rapidly disappearing. Even though the green spaces might be small in space, they may be contributing to the survival of such species, and thus serving biological diversity. Also, yet thought these green spaces appear to be disconnected and fragmented, they may provide a corridor of migration for species that can fly.

Since there is insufficient information regarding how road space is used as habitats, in the next section we will present knowledge about the ecological function of green spaces within roads, including the results of a field survey conducted by the authors.

5.3 Examples of Utilization of Road Space as Habitat

(1) Green belt in buffer zone

1) Vegetation of green belt in buffer zone

A buffer zone is installed along expressways that pass through residential areas as a barrier for conserving living environment from traffic noise and air pollution, and for improving landscape and so on. At the green belt in the buffer zone, high, medium height and low height trees are planted. Figure 7 shows an example of buffer zone and its green belt.

The authors surveyed a sample of locations where forestation had occurred in varying periods. In locations where the trees and plants had been planted more than 10 years ago, mature evergreens stood tall with abundant branches and leaves, and the woods were comprised of well developed stratification. The falling leaves settled on the ground and developed rich soil. Also seedlings from seeds that had been carried by birds from other green areas were observed. The vegetation of the green belt in the buffer zone was beginning to resemble those in the immediate environs [7][8].

2) Insects at green belt in buffer zone

The authors conducted a field survey during the spring and autumn seasons, in which about 300 insects were observed at the green belts in the buffer zone that were mainly comprised of evergreens [7][8]. The observations indicated that a larger variety of insects could be observed in green belts than in surrounding parks which contained woods. This shows that even if the green belt is limited in space, it sufficiently functions as a habitat for insects.

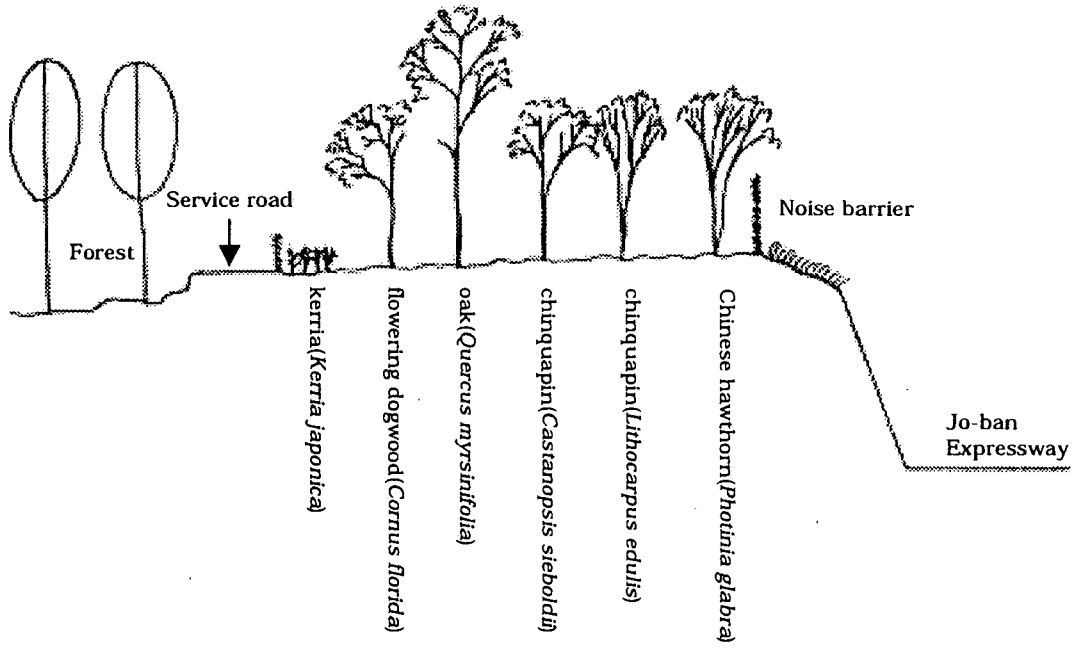


Figure 7 Example of Usual Buffer Zone (Jo-ban Expressway)

3) Birds using green belt in buffer zone

The results of field surveys show that many birds including forest birds use the green belts in the buffer zone, though green belts vary in size and the surrounding environment differs from location to location [7][8]. Green belts which had been constructed many years ago and contained mature trees were utilized by many different types of species which occupied different layers of vegetation. Many species were observed during the breeding period, using the woods as feeding grounds, thus illustrating that these green belts in the buffer zone were important habitats for birds.

4) Green belts in buffer zone as habitat

Many of the insects observed at the green belts in the buffer zone including those that have limited mobility were identical to those found in the areas adjacent to the green belt. In one location, a comparison of insects contained in green belts lying on opposite side of the road showed that the green belts contained the same insects that were found in green areas on the same side of the road, which showed that the green belts functioned to expand the distribution of insects. This illustrates that the green belts in the buffer zone, connected to the surrounding environment, are functioning as an ecological corridor.

For birds, though we could not confirm that birds migrated along the green belts in the buffer zone, we were able to observe birds frequently flying between the green belts and the surrounding environment. The result illustrates that the green belts in the buffer zone serve as stepping stones, providing pathways for migrating birds from surrounding woods and meadows.

(2) Living Things on Slope

1) Vegetation on slope

Slopes that are created as a result of road construction can be categorized into embankment slopes or cut slopes. The cut slopes are usually steep in gradient, with poorer soil to sustain vegetation than that of embankment. To secure traffic safety, tall and medium height trees are not planted on the cut slopes. The authors surveyed the vegetation within an expressway, which had been constructed more than 10 years ago. The results showed that 85% of the vegetation that had been planted on the cut slopes consisted of Japanese pampas grass (*Misconthus sinensis*) and bamboo grass (*Pleioblastus chino* var. *chino*). On the other hand, on the embankment slopes, oaks (*Quorcus mysrsinifolia*) and other evergreen broad-leaved trees, and deciduous trees such as the Japanese genus Zelkova (*Zelkova serrata*) were planted. When other types of trees are added, about 50% of the green space were wooded. 36% was grassland. Figure 8 shows an example of wooded embankment slopes. Our survey illustrated that the embankment slopes can be planted with trees and a variety of vegetation.

In the forest floor on the wooded embankment slopes where tall trees had been planted, many saplings of trees and vegetation which had been carried by the birds were observed. Many of the saplings were identical to the trees that were planted on the slopes, but others were identical to the trees found in the immediate environment, which illustrates the role of birds as carriers of plants and

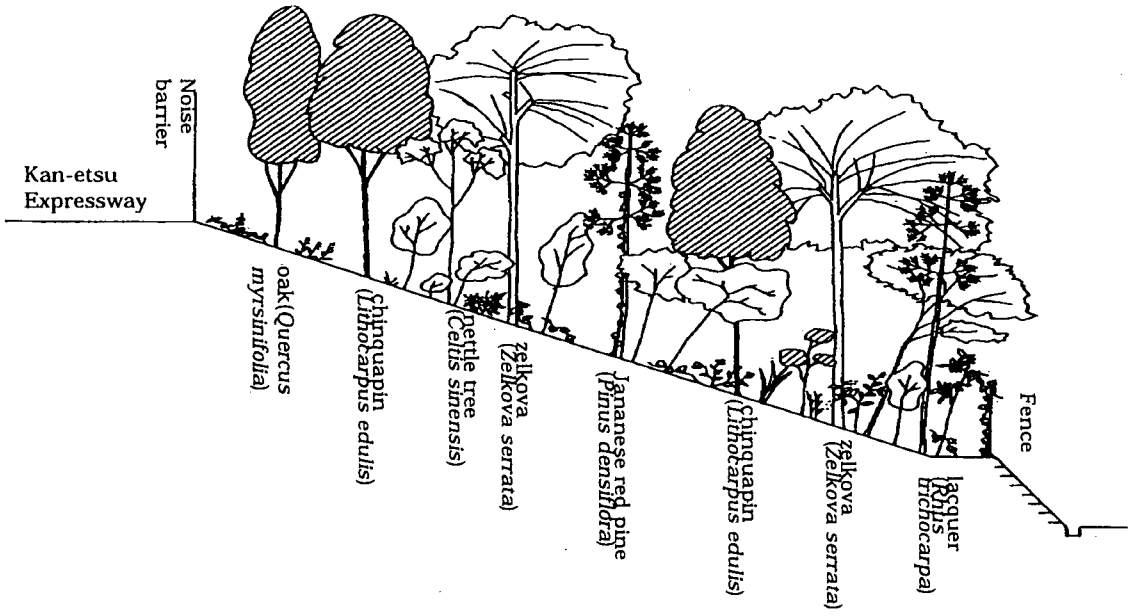


Figure 8: Example of Embankment Slope (Kan-etsu Expressway)

vegetation. Since almost all plants which had been carried by the birds are eaten by forest birds and those plants usually compose a sub-tree layer or a shrub layer [9], eventually the embankment slopes could grow into woods that are composed of well developed stratification. When the saplings distributed onto the slopes grow, they in turn provide seeds to be spread to the surrounding areas. Generally speaking, the distance over which seeds are carried by birds is determined by flight speed and how long the seeds remain in the bird's body (usually a few minutes to a few 10 minutes). It is rare for seeds to be carried for more than 1000 meters [9]. Thus, even though the green spaces on the embankment slopes may be small in area, it is thought to be possible for birds to carry tree and plant seeds via the embankment slopes because they are dotted along roads linearly. In other words, the embankment slopes function as a corridor for native plants to disperse.

2.) Soil animals on slopes

Surveys of soil animals on the slopes [10] show that whereas there was not much difference between new and old cut slopes, older embankment slopes tend to contain more variety of soil animals than new ones. Compared to slopes that are covered with grass such as the Japanese pampas grass, wooded slopes tended to have a larger variety of soil animal species. Furthermore, the wooded slopes were found to be much richer than the grass slopes according to an index which indicate degree of naturalness using soil animals. The index of wooded slopes is close to that of the forest area located around the road.

80% of soil animals live in the leaf mold layer which has a rich organic sediment. Therefore, the survey results show that if the soil is rich in organic substances, the slopes could provide a habitat to wildlife.

3) Birds using slopes

Our survey results show that if the slope of embankments is wooded, Japanese tits (*Parus major*) and Japanese white-eye (*Zosterops japonica*) can be seen, while if the slope is covered with grass, Japanese skylarks (*Alauda arvensis*) and Japanese bunting (*Emberiza cioides*) can be seen. Though the slopes may be limited in space, birds that cater to these different types of vegetation were observed [11].

We also observed some birds on the slopes which were not observed in areas adjacent to roads (within 250 meters on one side of the road). These birds either preferred wooded areas or thickets. Observations seem to indicate that these birds do not fly between the adjacent areas and the slopes, but rather fly between the slopes and the wooded areas that are located far away from the road. This would indicate that the slopes are functioning as stepping stones that link different bird habitats.

4) Slopes as habitats

As we have seen that the road slopes have the potential for functioning as wildlife habitats depending on the quality of the soil and vegetation. From the survey of birds it was observed that the slopes as stepping stones are functioning as a part of an ecological network.

6. DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL NETWORK UTILIZING ROAD SPACE - PROPOSAL FOR THE NEXT CENTURY -

6.1 "Creating an Ecosystem" as one of the Goals of Road Projects

As stated in Chapter 5, we believe that it is possible to utilize current green spaces in roads as wildlife habitats. However this is only based on the evaluation of the current status of the green spaces in roads, and therefore it will be limited to consider the current green spaces in roads as part of an ecological network within this evaluation. As discussed in 5.2, it cannot provide a high quality habitat because the green space in roads is narrow in space and fragmented.

However, if road spaces are clearly set aside for the purpose of creating ecological corridors, and if the spaces are developed as widened and better linked green spaces to improve the quality of the habitat, we believe that the road spaces will be utilized to conserve the ecosystem. To achieve this objective, it will be necessary to regard the creation of ecosystem as one of the major goals for road projects, and to implement aggressive measures, such as acquisition of sufficient space as part of road for the specific purpose of creating habitats.

The primary objectives of developing roads have been to cope with traffic demand, to accommodate other infrastructures and to form urban structure so far. In addition, the functions of roads have been diversified nowadays to include the creation of amenity space and an information communication facility. For a goal of achieving the sustainable development, toward the next century when coexistence and harmonization with the natural environment will become a great challenge, we propose that "the creation of ecosystem" be set as one of the major goals of road projects. Rather than limiting the efforts to planting in green spaces of roads such as green belts and slopes and letting living things utilize these green spaces as habitat, we propose that the road space be strategically regarded as space to contribute to the creation of ecological network. If it is necessary for creating the ecological network, we also propose that additional land be appropriately acquired as part of the right-of-way so that it can be developed as an ecological corridor in an integrated manner. Proceeding further, it will be possible to set up a road route in an area that requires the creation of an ecological corridor and to create the habitat within the road space when selecting a route for a new road.

However, this approach is effective in urban and suburban areas where the natural environment is disappearing rapidly. In mountainous and other areas where rich nature still remains, the most important is an effort to conserve the valuable natural environment and to mitigate the impact on it.

6.2 Concept of "Ecological Buffer Zone"

In this section, based on the concept explained above, we propose the installation of an "ecological buffer zone" to realize the creation of ecosystem be one of the major goals of road projects. This concept has been derived by developing a concept of usual buffer zones, which are installed to conserve the roadside environment, along the trunk roads that pass through residential areas. The installation of ecological buffer zones forms ecological corridors that are a part of the ecological network in order to conserve the regional ecosystem.

The ecological buffer zone with sufficient width needs to be installed along a road expected to function as an ecological corridor. Though there is insufficient knowledge and observation about the width required from a viewpoint of ecosystem, the width should be set at 50 to 100 meters, if possible, rather than rigidly applying the 10 to 20 meter currently stipulated for the usual buffer zone.

The interior of the ecological buffer zone must contain appropriate ecological structure such as trees, grass and wetlands, which are based on the surrounding natural environment, target species and habitats. The green space should be adequately maintained so that better quality vegetation will develop, considering that the new developed habitat will be coherent with the regional natural environment by transplanting existing species from the immediate surroundings. Service roads, which are currently installed in the usual buffer zone, should not be installed in the ecological buffer zone in principle. However, in order to provide the local community with an opportunity to come into contact with the natural environment, walkways may be installed.

The significance of creating the ecological corridors by installing the ecological buffer zones is accounted for from the concept of "no net loss" in the natural environment. The no net loss concept attempts to mitigate the loss of the natural environment due to development by compensating the same level of natural environment. To elaborate, road projects cause various impacts on the natural environment such as the disappearance of habitats, division of habitats and so on. By creating the ecological corridor as part of the ecological network within the framework of road projects, the nature lost as a result of road projects can be compensated for and return to the same level of nature as before.

On the other hand, the ecological buffer zone will also enhance the numerous conventional benefits

of usual buffer zones as a barrier, and as an improvement to the landscape. The ecological buffer zone can also be considered to be space where forestation will contribute to fixing carbon dioxide, which incurs the global warming.

As we have seen above, the ecological buffer zone will not only be installed with the objective of creating the ecological corridor, but will also simultaneously contribute to resolving many roadside environmental issues. Thus it will be beneficial to integrate such initiatives with the road projects. By integrating this concept with the road projects, we believe that it will be easier to establish a consensus when compared to a case in which green belts of the same level as the ecological buffer zone proposed above are established in isolation.

6.3 Issues for Developing Ecological Buffer Zone

There are many issues that must be overcome to develop the ecological buffer zone. Firstly, how to secure adequate land is a problem. In Japan, the natural environment remaining in the suburbs is interwoven in a complex manner with areas that are used for human activities. High land prices also impede the acquisition of necessary land. Lack of sufficient information about needed width for the ecological corridor must make it difficult to explain the necessity of the land for the ecological buffer zone. We believe that the only way to clarify this issue is to conduct pilot projects and to accumulate data.

On the other hand, we must also consider the negative aspects of creating such ecological corridors along roads. Because the roadside environment is not often appropriate for the wildlife habitats because of traffic noise, air pollution, light and so on, only plants and animals that can withstand extreme environments may live in the roadside areas. This may cause an imbalance in the types of species that will occupy road space could impede the effective utilization of ecological corridors. By attracting animals to the vicinity of roads, the instances of road-kill might increase. This is another point to be considered though the installation of barriers and fences might help prevent this problem.

As mentioned above, another serious problem is the insufficiency of basic survey data on the ecological network. As we discussed in Chapter 5, it is necessary to accumulate the basic data by surveying the development of green spaces in the existing road space. We hope that the ecological buffer zone will be built on a pilot basis, its effects will be verified and the zone itself will be improved through follow-up survey results.

7. CONCLUSIONS

By clarifying a role of road projects in forming the ecological network, we have studied the method for promoting the road projects in balance with the conservation of the regional natural environment for the next century. Strategic initiatives such as the ecological network are particularly important for suburban areas in Japan where serious problems have occurred due to the conflict between development and conservation of the natural environment. From this perspective, we first discussed the method for forming an ecological network plan. The concept of the plan was discussed, based on the situation in Japan and the specific case study, in order to clarify the relationship between the road projects and the ecological network. We also explained the impact of roads on the fragmentation of ecological network and the mitigation measures to reduce the impact.

Furthermore, based on the surveys, we showed the potential for utilizing green spaces in roads as wildlife habitats. We discussed that the road projects could contribute to the creation of ecological corridors by regarding these green spaces as part of the ecological network. We proposed that roads should be considered as a means to "create the ecosystem" by expanding the concept above. As a specific measure, we proposed the installation of an ecological buffer zone. However, we have also

acknowledged that there are many issues that must be resolved before the proposals can be implemented.

Many problems must be overcome before the concept can be implemented because this initiative is still developing with insufficient information available. The concept is also impeded by the current systems of road projects. Through trial and error, however, by incorporating this concept into the road projects, we believe that regional development can be promoted in harmony with the conservation of the regional ecosystem.

Finally, we hope that this paper will contribute to other countries which will be facing the same environmental issues as they promote road development.

ACKNOWLEDGMENT

Authors wish to thank Mr. Asao Yamakawa, a chairman of the Committee for PIARC essay contest, Mr. Sinri Sone, a member of the Committee and Mr. Hirofumi Ohnishi, head of traffic environment division of PWRI for their helpful comments and suggestions.

REFERENCES

[1] Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries of Netherlands: "Nature Conservation Policy in the Netherlands" (1996)
[2] Ohnishi H., Uesaka K., Oneyama H., Kawakami A. and Kosuge T.: "A Study on Planning Methods for Ecological Network - From the Viewpoint of Road Projects -", Civil Engineering Journal 40-5, pp.32-37 (l998, in Japanese)
[3] Yamamoto Y., Uchida A., Yamane M., Kinoshita A. and Takahashi S.: "Mortality and life Table of a Raccoon dog (*Nyctereutes procyonoides viverrinus*) Population in Kawasaki, 1992-1996", Bulletin of the Kawasaki Municipal Science Museum for Youth (9), pp.7-14 (1998, in Japanese)
[4] Nishio T., Onoda Y. and Ishida M.: "The Trends in the use of fauna passages by animals", Proceedings of the 50th Annual Conference of the Japan Society of Civil Engineers,4, pp.163-164 (1995, in Japanese)
[5] Forman, R.T.T.: "Road ecology; A solution for the giant embracing us", Landscape Ecology 13, pp.iii-v (1998)
[6] Froman, R.T.T.: "Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions", Cambridge Univ. Pres. Cambridge. pp.145-178 (1995)
[7] Kosuge T., Ohnishi H. and Oneyama H.: "The Use of Roadside Buffer Zones as Habitats by Living Organism", Environmental Engineering Research Vol.34, Committee on Environmental Engineering, Japan Society of Civil Engineers, pp.121-123 (l997, in Japanese)
[8] Kosuge T., Ohnishi H. and Oneyama H.: "The Use of Roadside Buffer Zone by Birds", The 22nd Japan Road Conference (A), pp.108-109 (1997, in Japanese)
[9] Nakanishi H.: "Seeds are distributed. - The ecology of seed dispersion -", Heibonsha (1994, in Japanese)
[10] Yamabe S.: "Assessing the recovery of nature of road green space", The 22nd Japan Road Conference (A), pp.178-179 (1997, in Japanese)
[11] Imai R., Ohnishi H., Oneyama H. and Kawakami A.: "Bird use of road surfaces of slope during winter", Environmental Engineering Research Vol.35, Committee on Environmental Engineering, Japan Society of Civil Engineers, pp.102-103 (1998, in Japanese)

RETOUR

(49) PLANNING METHOD OF ECOLOGICAL NETWORK AND ROAD PROJECTS

Hirofumi OHNISHI, Head
Katsumi UESAKA, Senior Researcher
Hiroyuki ONEYAMA, Researcher
Atsushi KAWAKAMI, Technical Assistant
Traffic Environment Division
Environment Department
Public Works Research Institute
Ministry of Construction
1, Asahi, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken
305-0804 Japan
Fax: +81-298-64-2274
E-mail: ohnishi@pwri.go.jp

Toshihiro KOSUGE, Researcher
Karter Art Landscape Consultant Co., Ltd.
1-21-10,Yebisu, Shibuya-ku, Tokyo
150-0013 Japan
Fax:+81-3-3443-6686
E-mail:kosuge@kalc.co.jp

Abstract: The importance of a linkage among wildlife habitats has been emphasized nowadays in order the ecosystem to be sustainable in a national/regional level. The local ecosystems are conserved and restored even in the urban areas by creating the ecological network in some European countries. In this paper we have proposed a planning method of the ecological network from the viewpoint of road projects in the surroundings of Japan. Firstly, we have outlined the planning process to conserve and restore the ecological network in a district. Secondly, we have analyzed the actual planning method at the grand design stage, which is the first of three stages for the planning process. Finally, we looked at the roles of roads in a context of the ecological network.

Key words: Ecological network, Road project, Habitat, Planning method

1. INTRODUCTION

The Ministry of Construction, Japan, has implemented the "Eco-road Projects" introducing the concept of mitigation to avoid, minimize and restore effects on the natural environment caused by road projects since early '90s[1]. Under the Projects an attempt is made to minimize the impacts on the natural environment from the planning stage to the maintenance stage of the road projects. It has lately been considered important not only to reduce the effects of the development projects on the natural environment but also to closely connect wildlife habitats to each other aiming at the conservation of a regional ecosystem[2]. However the actual method is not established for this purpose.

In this regard they have actively taken action to conserve and restore the regional ecosystem even in the urban areas as ecological network in Europe, etc[3]. Some instances of the planning method of the ecological network have been shown in Japan by Hioki[4, 5]. It is considered difficult to directly apply this method to our cases in Japan because of difference in climate, topographical features, social conditions and information related to the regional ecosystem. In this paper we present a planning process to conserve and restore the ecological network in urban areas in the context of the current situation of Japan. At the grand design stage of the ecological network in particular, we present a case study in the northern part of Yokohama city mainly considering terrestrial organisms. Moreover, we have shown the direction of roads' contribution to the ecological network plan and several examples of related mitigation measures. This is only related to the planning process of the ecological network from a viewpoint of the road projects and therefore further discussion would be required from other sectors.

2. PROPOSED PLANNING METHOD OF ECOLOGICAL NETWORK

2.1 Significance of Ecological Network

The concept of the ecological network was first introduced in Europe. It emphasizes the importance of securing the habitats necessary for the survival of species, and of connecting them to each other for dispersion and movement of the species[3]. We recognize the habitat as place and environment where a biological community lives[6]. In the Netherlands they have proposed to arrange the following structural elements of the ecological network: i) core areas; ii) nature development areas; and iii) ecological corridors, under the Nature Policy Plan which is the national policy to conserve the natural environment[7]. We define the above structural elements as follows:

i) Core areas: Areas which are important and are to be conserved in order to secure the regional biota;

ii) Nature development areas: Areas which are next to the core areas and to be improved qualitatively so as to enlarge the core areas; and

iii) Ecological corridors: Spaces which connect the fragmented core areas and the nature development areas to the other for animals to move among them.

2.2 Objectives of Ecological Network Plan

It is required to restore the ecological network for animals to move from one habitat to another as well as to conserve each of the habitats for the survival of living things in an area where the habitats are being fragmented, reduced and disappearing by land development in urban areas[8]. The objectives of the ecological network plan are to conserve and enhance the bio-diversity through restoring the fragmented and reduced habitats in line with conservation and improvement of the core areas, the nature development areas and the ecological corridors arranged[9].

2.3 Planning Process of Ecological Network

To prepare a plan of ecological network, there is the need to collect and sort information and data for the natural and social environment of the region, including land use regulations, infrastructure plans, etc. However there is generally insufficient information for the natural environment of the region in Japan. Further since there is no comprehensive plan like the ecological network plan, there is no manner well set up to coordinate several sector projects, relevant to formation of the ecological network, such as road projects, river projects, park projects etc. Nevertheless there is "the Greenery Master Plan" in Japan, which wraps up policies related to conservation and creation of urban plants. This gives a good reference when we prepare the ecological network plan in the urban areas.

In view of the aforementioned, we propose the following three stage planning process to collect the information on the natural environment and to effectively coordinate the relevant sector plans.

(1) Grand design of ecological network

In this stage we mainly prepare a rough arrangement plan of the core areas, the nature development areas and the ecological corridors throughout the target area with the information and data of the natural and social environment obtained from the existing materials. We do not have any detailed plan yet at this stage; and therefore coordination is not to be made between the ecological network plan and the related sector plans like the road projects.

(2) Master plan of ecological network

In this stage we specify the planning areas and collect information on the natural

environment mainly by site visits and field surveys. We also coordinate the ecological network plan and the other related plans, and decide on which project sites are to be core areas, nature development areas and ecological corridors to be included in the ecological network plan.

(3) Implementation plan of ecological network
Actual project contents are studied for each of the core areas, the nature development areas and the ecological corridors established in the previous stage (2).

3. A PROPOSAL OF PLANNING METHOD FOR GRAND DESIGN OF ECOLOGICAL NETWORK AND A CASE STUDY

We have outlined the planning process of the ecological network in Section 2.3. We now present a planning method of the grand design of the ecological network and make a proposal for it. Based on this planning method, we carry out a case study for the preparation of the grand design of ecological network mainly considering the terrestrial organisms in the northern part of Yokohama city.

3.1 A Proposal of Planning Method of Grand Design of Ecological Network

The grand design is to be examined all over the planning area mainly based on the existing information. We use maps of a scale from 1/25,000 to 1/50,000 which are compatible with the accuracy of the existing information and the size of planning area. Figure 1 shows the planning method of the grand design of the ecological network, and the details of it are as follows:

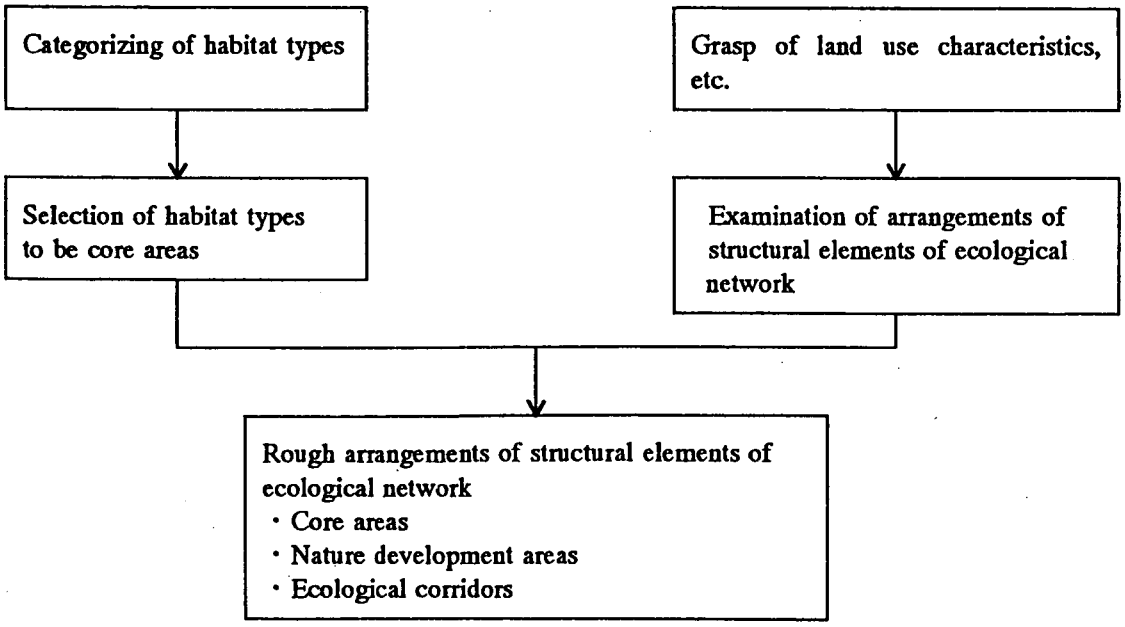


Figure 1 Planning process of grand design of ecological network

(1) Categorizing of habitat type
Types of habitats existing in the region are categorized on a basis of combination of basic features such as topographical and geological features, soils, water system and vegetation.

(2) Selection of habitat types as core area
Habitats where rare species of national value and regional value inhabit and various types of species to characterize the regions inhabit are selected as candidate of core area based on the categorizing of habitat types as mentioned in (1) above.

(3) Characteristics of land use in the region
It is required to know the existing land use like the position of forests, lakes and ponds, urban areas, roads, the regulations of land use, the regional development plans, etc. Furthermore, information of the history of the land use, especially green areas, and of the status of road kills need to be collected as much as possible.

(4) Study of possibility as structural elements of ecological network
Selected candidates of core area are to be examined from a viewpoint of sustainability of habitat value as core area based on the information of the land use, etc. obtained in (3) above. On the other hand the candidates of nature development areas and ecological corridors are to be studied from a viewpoint of possibility of improvement as those.

(5) Rough arrangement of structural elements of ecological network
The followings need to be considered when we prepare an arrangement plan of the ecological network structures based on the outputs of (2) and (4) above.

i) Core area: We should choose the candidates of core area of which the existing habitat quality can be secured considering the characteristics of the land use as core area.

ii) Nature development area: We can choose the land neighboring the core area, of which quality can be improved to enlarge the core area, as nature development area.

iii) Ecological corridor: We can select the areas, which connect the core areas and the nature development areas and in which animals move, as ecological corridor taking into account fragmentation situation of them by roads, urban areas, etc. Potential of the areas as ecological corridor is to be judged from viewpoints of similarity of habitat types of core areas to be connected, historical transition of the regional land use, occurrence of road kills, etc. Green areas being located between fragmented core areas are a factor to be considered when judging the potential of the ecological corridors.

3.2 Case study in the field of Yokohama city
We have carried out a case study for the grand design of the ecological network in the northern part of Yokohama city based on the planning method mentioned in 3.1 above. We conduct the study considering the terrestrial organisms in particular, prepare the grand design of the ecological network, and state the relationship between the ecological network and the road projects on a basis of the grand design. We used only existing open data and materials for the case study.

3.2.1 Sorting of habitat types
We sorted habitat types in the study area utilizing the existing data. At first, we sorted the current habitat types in Yokohama city, using information related to the organisms including the actual vegetation maps[10], [11], [12], [13]. As a result, we categorized a number of habitats into "forest type" and "river type" where substitution forests dominantly grow and forestry organisms live, "wetland type" which includes ponds, marsh and padi fields, "grassland type" including farms and "marine type" including river mouths and bay areas. Out of the total study area of 24,699 ha, there are 2,321 ha (9.4%) of "forest type," 500 ha (2.0%) of "river type," 234 ha (0.9%) of "wetland type," 2,440 ha (9.9%) of "grassland type" and 10 ha (0.04%) of "marine type."

3.2.2 Selection of habitat types to be core areas
We set up criteria to select core areas as follows: i) habitats where rare species live; and ii) habitats where various species characterizing the region live. Firstly, we have selected the habitats, where "threatened species" and "decreasers" stipulated in the red data book of Kanagawa prefecture and the habitats where fireflies designated as natural monument of Yokohama city live, as core area from the first viewpoint above[12], [14]. For instance, the red data book includes a fox (Vulpes japonica), an Indian moorhen

(Gallinula chloropus) and a painted snipe (Rostratula benghalensis) for animals, and a dogtooth violet (Erythronium japonicum), a calanthe (Calanthe discolor) and a valerian (Valeriana fauriei) for plants. Secondly, we chose the habitats, of which species are diversified, as core area as below. We calculated the ratios of the numbers of species, such as birds, amphibians, reptiles and insects observed in each of habitats against those recorded throughout Yokohama city. The ratios of each category are summed up and the habitats of which ratio summed is the greatest are selected as core area. Forest type of habitat is selected under this procedure, and it includes the habitats selected from the viewpoint of rare species.

3.2.3 Study of possibility as structural elements of ecological network

We observe a complexed mosaic pattern of land use consisting of urbanization promotion areas, which are a majority of the city area, and urbanization control areas in Yokohama city[15]. We have public parks, small forests on slopes and street trees as well as artificial land use like commercial and residential areas in the urbanization promotion areas. On the other hand the urbanization control areas are almost occupied by farms and forests designated as large scale of public parks. In view of the above, the green areas even in the urbanization promotion areas need to be utilized for the ecological network, and the possibilities of the structural elements are considered as follows: Scenic zones in the urbanization promotion areas can be converted to the core areas since the planted spaces can be secured in the future. The planted spaces in the urban areas can also be converted to the ecological corridors, while the core areas, the nature development areas and the ecological corridors can be arranged in the urbanization control areas.

3.2.4 Rough arrangement of structural elements of ecological network.

The study results of Sections 3.2.2 and 3.2.3, and basic ideas about the arrangements of

Table 1 Ideas for arrangement of structural elements for case study

	Habitat types to be core area	Green spaces to be structural elements	Ideas for arrangement of structural elements	Examples of arrangements
Core area	Habitats for rare species • Areas where species stipulated in the red data book of Kanagawa prefecture live. • Areas where natural monuments of Yokohama city live.	Secured green spaces • Public park of large scale Green spaces highly possible to exist long • Scenic zones in urbanization promotion areas • Green spaces in urbanization control areas	To select existing habitats of high quality highly possible to be maintained in future. As a consequence, the habitats of rare species have been covered under this idea.	① Natural park for children • Habitat of fireflies ② Kawai-Yashi scenic zone • Seya citizen forest • Yashi citizen forest ③ Forest on slope near Ikebe-cho
	Habitats of regional importance Forest types of habitats where various species observed in Yokohama city live.			
Nature development area		Green spaces possible to convert to core areas • Scenic zones except core areas in urbanization promotion areas • Green spaces except core areas in urbanization control areas	To select green spaces, next to core areas, which can be improved to enlarge the core areas.	④ Farms neighboring Kawai-Yashi scenic zone.
Ecological corridor		Small green spaces in urbanization promotion areas • Small neighbor parks • Forest on small slope • Roadside trees • Rivers	To select spaces where trees can continue between core areas fragmented from a viewpoint of landscape.	⑤ Spot in Kawai-Yashi scenic zone divided by Hodogaya bypass. ⑥ Roadside trees and park in residential area in Aoba-ward.

structural elements of the ecological network are shown in Table 1. Figure 2 shows a result of the arrangement of structural elements in the northern part of Yokohama city. The core areas and the nature development areas have been arranged on a basis of administration units taking account of areas stipulated by the laws and the regulations. Further, the ecological corridors have been arranged particularly considering a degree of habitat fragmentation by roads and possibility of animal passage through the existing green spaces like spotted planted areas, slopes of roads, etc. Areas numbered ①～⑥ in Figure 2 correspond to those in Table 1 respectively.

3.2.5 Grand design of ecological network and direction of road projects

It is difficult to clarify what is done under the road projects to conserve and build the ecological network in the planning process of its grand design. However we provide an overview of the direction of the road projects for this purpose in Figure 2. For instance, the core area may be fragmented at Spot I in Figure 2 by the Hodogaya bypass. It is desired to look into the situation of road kills there and to study how to remove the fragmentation if necessary. At Spot II of Figure 2 the core areas are divided by the urbanization. It is needed to survey movements of animals there and to study the provision of an ecological corridor utilizing slopes and roadside green spaces of the Third Keihin Expressway to connect the core areas. Further, roadside trees and neighbor parks, not shown in Figure 2, are distributed at Spot III of Figure 2. It is desired to survey the living situation of birds, etc. and to consider the provision of the ecological corridor by planting along the roads there to enhance the movements of birds in the urban areas.

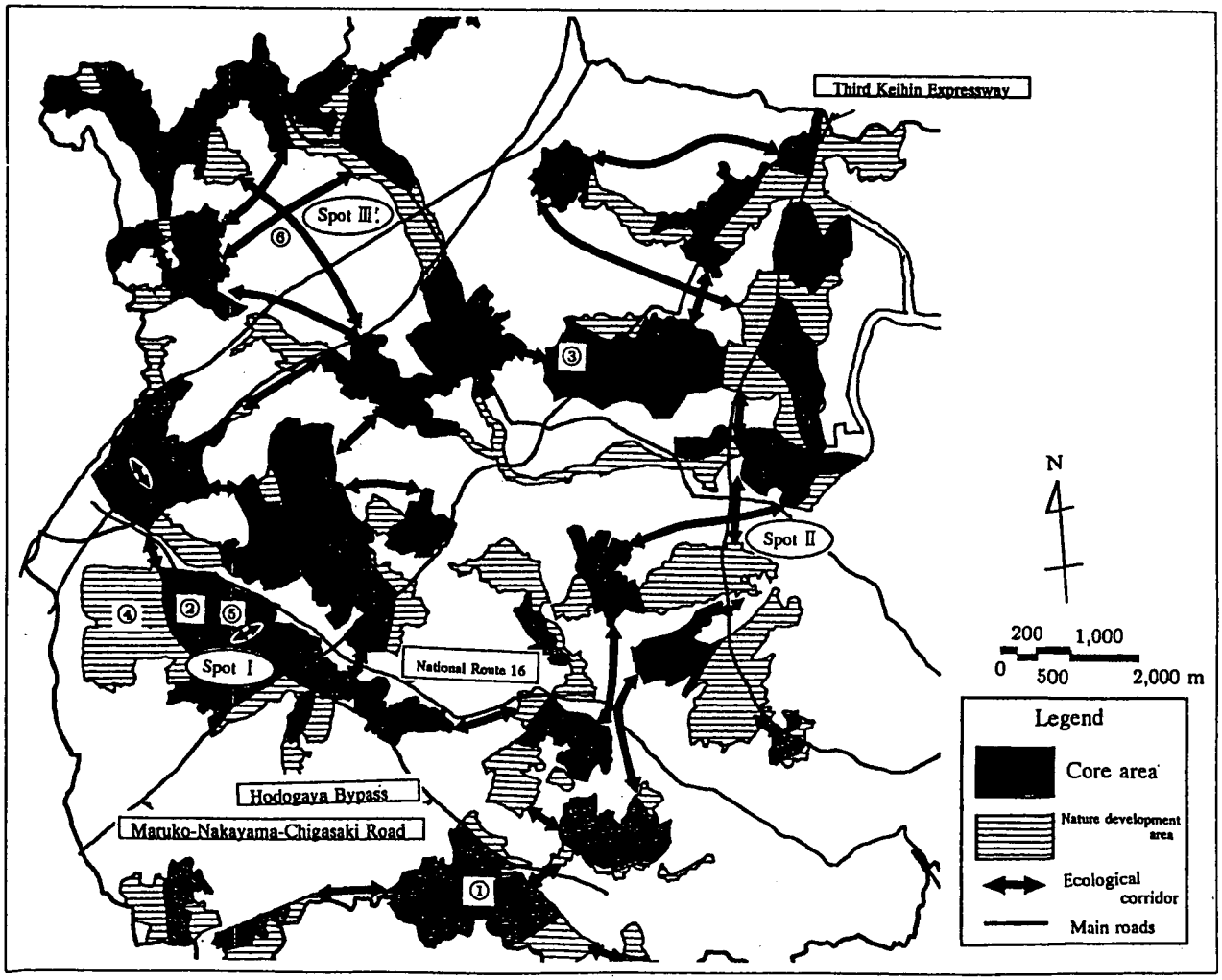


Figure 2 Grand design of ecological network in northern part of Yokohama city
Note 1) This figure has been prepared through a case study using the existing open data.
Note 2) Spots I, II, III are explained in 3.2.5 of the text. ①～⑥ are stated in Table 1.

4. ECOLOGICAL NETWORK PLAN AND ROAD PROJECTS

We can know only the direction of the road projects which take into consideration the ecological network at the grand design of the network. On the other hand, the actual construction plan of the core areas, the nature development areas and the ecological corridors is prepared at the stages of the master plan and the implementation plan of the ecological network. Their planning process is now being studied. The basic idea of the plans is to minimize the adverse effects on the ecological network due to the road projects and to maximize the benefits of the road projects.

4.1 Adverse Effects of Road Projects

The adverse effects of the roads on the habitats are generally considered as below: The fragmentation of the habitats makes it difficult for the animals to make daily movements to their hunting areas and seasonal moves to their breeding areas. Disappearance and reduction of their living areas cause a decrease in population. Furthermore, climatic changes in humidity, wind, sunshine, etc. along the roads alters the living environment of flora and fauna.

4.2 Benefits of Road Projects

As far as the relationship between the natural environment and the roads is concerned, the negative aspects tend to be emphasized so far. Positive aspects, however, are being known through the research results of the status of the living organisms in the road space. For instance, creation of habitats in the road spaces, provision of paths for animals to shift along the roads, and areas for birds' rest like stepping stones taking advantage of green spaces inside the roads and those in their vicinity[16), 17)].

4.3 Direction of Roads' Contribution to Ecological Network Plan

Table 2 shows the direction of roads' contribution to the enhancement of the ecological network plan and the several examples for it. We need to study the location of road routes and the basic road structures to be adopted such as tunnels, bridges, etc. as avoidance and mitigation measures against the adverse effects of road construction at the road planning stage. Further, we are required to study the installation of devices for animals' crossing of roads like a box culvert and an overbridge at the spots where animal passage is interfered. On the other hand, we can study the conversion of road spaces available in road stations, interchanges, road slopes, environmental buffer zones to the habitats.

Table 2 Direction of Roads' Contribution to Ecological Network

	Direction of Roads' Contribution to Ecological Network		Examples
Mitigation of effects due to roads	To avoid alteration of habitats to be conserved.		· Selection of road route location and alignments · Adoption of tunnel and bridge structures.
	To mitigate interference of animal passage caused by roads.		· Road crossing facilities such as box culverts and overbridges. · Installation of fences and covered side ditches.
Creation of habitats and moving paths for living things	Provision of habitats using available road spaces.	· Creation of habitats using only road spaces. · Enlargement of habitats by combining neighboring habitats.	· Interchanges. · Parking areas such as road stations. · Environmental buffer zones. · Road slopes. · Roadside trees.
	Provision of moving spaces for animals using available road spaces.	· Provision of continuous moving paths for animals. · Provision of moving paths like stepping stones.	· Environmental buffer zones. · Road slopes. · Roadside trees.

5. CONCLUSIONS

We have proposed the three stages of the grand design, the master plan and the implementation plan as planning process of the ecological network in this paper and particularly the actual preparation process of the grand design based on the case study conducted in the northern part of Yokohama city. Further, we have also shown the direction of roads' contribution to the enhancement of the ecological network when preparing the master plan and the implementation plan of the ecological network. We still have remaining issues to consider involving the planning process of the basic plan and the implementation plan for the ecological network. As stated earlier, this paper shows our proposal for the ecological network plan from the viewpoint of the road projects. We think further discussion including participants from other sectors is needed to set up the planning method of the ecological network.

REFERENCES

1) Eco-road Study Committee (1995) Road projects in harmony with nature -Eco-road handbook-. Taisei Publishing Co., Ltd. Tokyo.
2) Handa, M. (1998) Creation and conservation of environment and national land management -Formation of national ecological network-. **Proceedings of Annual Meeting of Public Works Research Institute**, Tokyo, 23 January 1998.
3) Bennett, G. (1991) Towards a European Ecological Network. Institute for European Environmental Policy. Arnhem, The Netherlands.
4) Hioki, Y. (1996) National ecological network plan in the Netherlands and its implementation strategy. **Journal of Japan Landscape Society, Vol. 59, No. 5.** p.205-208
5) Hioki, Y. and Ide, K. (1997) Comparison of three ecological network plans in the Netherlands and their planning process. **Journal of Japan Landscape Society, Vol. 60, No. 5.** p.501-506
6) Numata, M. (1974) Dictionary of ecology. Tsukiji Publishing Co., Ltd., Tokyo
7) Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries of Netherlands (1996) Nature conservation policy in the Netherlands. The Netherlands.
8) Higuchi, H. (1996) Conservation ecology. Press of University of Tokyo. Tokyo
9) Decision of Ministers related to global environment conservation (1995) National strategy of bio-diversity. Tokyo
10) Department of Pollution Control, Yokohama City (1991) Report on terrestrial biota and ecosystem. Yokohama, Japan.
11) Environment Department, Kanagawa Prefecture (1992) Birds and animals in Kanagawa. Yokohama, Japan.
12) Department of Environment Conservation, Yokohama City (1993) Map of transition of land use and vegetation, and historical heritages. Yokohama, Japan.
13) Department of Environment Conservation, Yokohama City (1993) Actual vegetation maps. Yokohama, Japan.
14) Survey Team of Red Data Species, Kanagawa Prefecture (1995) Report on survey results of red data species in Kanagawa. Earth Museum of Kanagawa Prefecture, Yokohama, Japan.
15) Department of Parks and Landscape, Yokohama City (1996) Arrangement map of parks and green spaces. Yokohama, Japan.
16) Kameyama, A. (1997) Eco-road. Soft Science Publishing Co., Ltd., Tokyo.
17) Ministry of Transport, Public Works and Water Management (1995) Nature across motorways. Delft, The Netherlands.

（５０）道路照明が動植物に与える影響

建設省土木研究所　○川　上　篤　史
同　小根山　裕　之
同　大　西　博　文

１．はじめに

道路が自然環境へ及ぼす影響の一つとして、道路からの人工光が動植物へ与える影響がある。道路に関する人工光の種類としては、道路照明、休憩施設の照明、自動車前照灯が挙げられる。これらによる影響を緩和するにあたっては、まず光が動植物に与える影響の要因と影響の程度を把握する必要がある。本稿では、光が動植物に与える影響に関する知見の中から、道路に多く設置されている道路照明に関するものを整理した。

２．道路照明が動植物に与える影響

２．１　自然光と道路照明光

まず、自然光と道路照明光の特性を比較した。ここで、自然光を昼間は太陽光、夜間は月光とすると、昼間太陽が放射している光(電磁波)の中で、地上に届く部分は 290nm ～ 3,200nm の広い波長域であり、放射エネルギーでは可視域にあたる 300 ～ 700nm が約 40 %、赤外線が 55 %、紫外線が約 5 %を占めている。また、一般に真夏の晴天時の地上照度は 10 万 lx、最大 1,000W/m^2 に対し、夜間の満月時の地上照度は約 0.2lx である。それに比べ、道路照明の光源による明るさは、照明灯直下の路面で 100lx 以下、道路外になると 10lx 以下と太陽光に比べれば低い値であるが、月光よりは明るい。また、放射エネルギーの大半は光源の種類にもよるが 400 ～ 700nm と狭い波長域にある。

このことから、自然光と道路照明光の大きな違いを挙げると①波長域が異なる、②終夜点灯されている、③道路照明はその周辺では夜間の自然光である月光と比べ明るい、などが挙げられる。この違いが動植物に与えると考えられる影響を次に挙げた。

２．２　植物

表１ 植物の光形態形成反応

①花芽の形成
②花・果実の着色
③落ち葉・冬芽の形成
④茎・葉の伸長成長
⑤種子の発芽
⑥茎の屈曲
⑦気孔反応

植物が光合成を行い、エネルギーを得ることができるのは、光が光合成の補償点以上の明るさの時であり、補償点は植物の種類、温度などで変化するが、一般に陽性植物で 1,000 ～ 2,000lx、陰性植物で 100 ～ 500lx といわれている。道路照明の光の強度と光質(波長)から考えて、照明灯の直近を除き、植物の光合成に直接影響を及ぼす可能性は少ないと考えられる。しかし、表１に示すような植物の光形態形成反応は、光合成の光エネルギーの 1/100 以下といった非常に弱い光強度で生じる。たとえば植物の光周性に関わる暗期を中断するための光エネルギーは、100 ～ 1,000kerg/cm^2(蛍光ランプで 10lx の光を 1,000 秒照射するのに相当するエネルギー)程度である [1]。よって、多くの道路照明は終夜照明であるので日長時間の変化として主に光周性に影響し、道路照明により長日性植物(明期が一定時間以上になると花芽形成・開花する植物⇔短日性植物)の開花の促進や短日性植物の開花遅延や花の矮小化を引き起こしたり、落葉や休眠の遅延をもたらすおそれがあると考えられる。これらの影響が確認されているものとしては、照明灯のすぐ近くにある一部の農作物(イネ、ホウレンソウ、花卉類など)および樹木(主に落葉広葉樹の街路樹)が挙げられ [2),3)]、農作物に関しては影響を与える光の照度、波長が大体わかってきている。また一方で、現地観察より他の街路樹の影響が認められた条件下でもケヤキ、イチョウ、アカマツ、クロマツに影響が認められなかったという報告もある [4),5)]が、このように影響が認められないことを明ら

かにした事例は少ない。

2．3　動物

動物は植物と異なり、光合成のように光をエネルギー源として利用するための生体内の反応をもたない。しかし、光は日長時間の変化として動物のホルモン分泌などの生理反応や活動時間の延長に影響を与えたり、夜間に光があることで動物が直接的に誘引や忌避行動を引き起こしたりする。

植物と同様に、動物にも長日性動物(ウマなど)と短日性動物(ヒツジ、ヤギなど)がおり、動物の繁殖活動に日長時間が深く関わっている。光の生理反応に対する作用としては、哺乳類、鳥類、魚類、昆虫類の性成熟への影響や、産卵(魚類)、休眠(昆虫類)への影響が確認されている[1),6),7),8)]。しかし、道路照明のような低い照度・特定の波長との関係について、一部の動物への影響(アカウミガメ[9),10)]やホタル類[11),12)]の繁殖活動の阻害等)に関する知見はあるが、ほとんどの野生動物については明らかになっていないのが現状である。

動物の中には光に対して直接的な行動(誘引行動や忌避行動)をとるものもいる。誘引行動をとる動物としては、夜行性の昆虫類が知られている[13),14),15)]。特にガ類に関する研究は多く、種類による活動時間と光(照度、波長)への誘引のされやすさが数十種類について明らかにされている[16)]。一方、哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類などは、光に単純に反応して引き寄せられる事例は少ない。しかし、昆虫類が光に集まるため、それらを餌とする動物が２次的に光に誘引され、夜間照明灯周辺に出現すること(活動時間の延長)が知られている。代表的なものとして、コウモリ類(哺乳類)、アオバズク(鳥類)などがある[17),18)]。この他、都市部に生息する鳥類(カラス、ドバト、ツバメ、ムクドリなど)では、自然条件下では活動しない夜間に照明灯の周辺で活動している様子が観察されている[19),20)]。一方、光に対する忌避行動については、一般的に哺乳類は光に慣れると言われているが、夜行性の哺乳類のムササビなどで夜間明るい範囲を避けて活動するという報告もある[21)]。

3．まとめ

光が動植物に与える影響に対する研究は農作物、家畜や家禽を中心に多岐に渡り行われているが、道路照明のように低い照度・特定の波長の光との関係を明らかにした知見は少ない。その中で道路照明光との関係が明らかになっているのは、植物では農作物、動物ではホタルやアカウミガメ等代表的な種であり、普通の種についてほとんど明らかになっていない。しかし、普通種においても影響の要因やその程度が不明であっても、明らかに光が影響していると考えられるものがあり、今後、道路沿道に生息する個々の動植物種と光の影響との関係を明らかにすることは非常に長期間を要すると思われる。これらの対策にあたっては、まず道路照明からの漏れ光を防ぐことを優先的に行うことが望ましいと考えられる。

[参考文献]

1)森田，光環境と生物,光学　4巻1号，1975
2)照明学会，農作物に対する夜間照明の影響研究調査，委員会報告書 JIER-003，1985
3)養原，植物の照明影響，照明学会誌 Vol.80 No.10，1996
4)三沢，夜間照明による街路樹の落葉に及ぼす影響，照明学会全国大会 平成5年度，1993
5)養原ら，夜間照明が松の生育に及ぼす影響，照明学会全国大会 平成5年度，1993
6)山田，動物と照明，照明学会誌 Vol.80 No.10，1996
7)宍戸ら，光の家畜、家禽に及ぼす影響，照明学会誌 Vol.53 No.3，1969
8)正木ら，蝶の季節適応と光周性，蝶類学の最近の進歩6号，1988
9)Blair E.Witherington et al., Influences of Artificial Lighting on the Seaward Orientation of Hatchling Loggerhead Turtles Caretta, Biological Conservation 55, 1991
10)時政ら，アカウミガメにやさしい道づくり，日本道路会議論文集 第21回，1997
11)大場ら，北海道釧路湿原と厚岸のヘイケボタルの生態，横須賀市博物館研究報告書 11月号，1993
12)小林ら，生活光とホタルの共生に関する研究(第２報)，新潟ホタルの会会報 No.8，1997
13)藤山，灯火による昆虫の誘引の問題点と対策，道路と自然 13巻1号，1985
14)松本，光と昆虫の生活，照明学会誌 Vol.80 No.1，1996
15)小野，昆虫におよぼす屋外照明等の影響ことにタガメ、スズメガ類およびコウチュウ類について，ｱﾙﾃｽ ﾘﾍﾞﾗﾚｽ 57号，1995
16)八木ら，複眼の構造によるガ類の活動性の評価，日本応用動物昆虫学会誌7巻4号，1963
17)「アオバズク　大木の林あれば市街地にも」，読売新聞朝刊(東京)，1997年6月22日
18)「天神の街角にコウモリが飛ぶ、環境浄化の現れ？」，西日本新聞朝刊，1991年6月6日
19)Steven M.Speich, Nocturnal Foraging of the Rock Wren Under Artificial Illumination, Western Birds13, 1982
20)越川，都市鳥と照明との関係，Urban Birds8(1)，1991
21)曽根ら，多摩森林科学園におけるムササビの食性の季節変化および夜間灯の設置が採餌に及ぼす影響，日林誌，1996

（５１）道路のり面の鳥類による利用状況

建設省土木研究所　○今堀　るみ子
同　　小根山　裕之
同　　大西　博文

１．はじめに

現在道路事業では、自然環境との調和を重視した道づくりとして「エコロード事業」に取り組んでいる。エコロードでは、道路事業が自然環境に与える影響を最小限に留め、地域の生態系を考慮しながら道路空間を動植物の生息空間（ハビタット）としてレベルアップする方法を模索している。しかし、現段階では、道路空間の緑地における生物の生息状況は十分に把握されていない。

本稿では、生息空間としての現状把握の一環として、道路の盛土のり面の鳥類による利用状況について報告する。

２．方　法

（１）調査対象地

図１に示す、関越自動車道川越ＩＣ～本状児玉ＩＣ間（約50km）の８地点の盛土のり面を対象とした。調査地点の概況は表１のとおりである。

盛土のり面は比較的植栽が容易で、のり面外の環境に接し、周辺環境との連続性を保つことができると考えられる沿道緑地である。

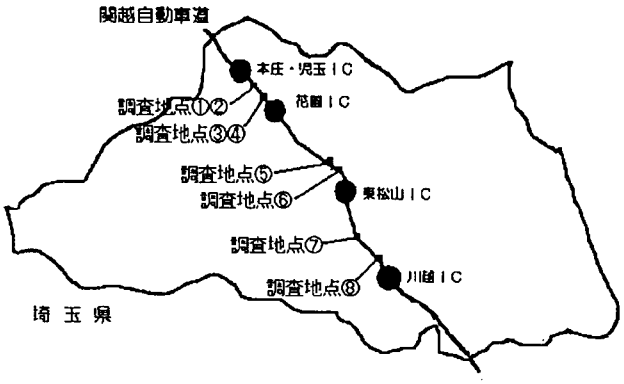


図１　調査地点位置

表１　調査地点の概況

調査地点位置	のり面内環境	隣接*1環境	周辺環境(%)*2 樹林	住宅	農地	その他
① 66.5kp付近	樹林	農地	3	22	72	3
② 65.6kp付近	草地	農地	6	15	77	1
③ 60.0kp付近	草地	農地	4	11	85	0
④ 59.0kp付近	樹林	農地	5	21	73	1
⑤ 43.8kp付近	草地・疎林	樹林	20	15	61	4
⑥ 43.1kp付近	樹林	樹林	11	26	58	5
⑦ 30.5kp付近	草地・疎林	住宅	4	83	9	4
⑧ 24.6kp付近	樹林	住宅	7	58	26	9

＊１　のり面の測道を挟んで道路外側の隣接した環境を指す。
＊２　半径500m内の土地利用状況を樹林、農地、住宅地、その他（開放水面地域・裸地など）の４種に区分し、割合を求めた。

（２）調査方法

調査対象のり面および周辺地域に出現した鳥類を、ルートセンサス法・定点調査法・任意調査法により、種・行動・位置を記録した。

（３）調査時期

現地調査は下記の通り実施した。

1998年７月 9,10,11日、１月20,21,22日
1999年６月23,24,29日

鳥類の生活史からみると、７月は繁殖期の後半にあたり、巣立ちした幼鳥により個体数が増加する。１月は冬鳥が越冬地に定着している時期である。６月は多くの小型鳥類の繁殖期にあたる。

３．研究結果

（１）のり面内を利用する鳥類

調査の結果、のり面を利用した鳥類は、全調査地点あわせて、20種であった（表２）。植生は、樹林（疎林を含む）の方が草地よりも利用種が多く、樹林の８～11種に対し草地は４種であった。

また、のり面内の植生（樹林・草地）に関わらず、各地点共通して夏季（繁殖期後半）に比べ冬季（越冬

期）の利用種が多い傾向が見られた。

調査のり面と隣接環境との組合せの違いによる鳥類相の差はみられなかった。

のり面内で確認した種は、農村・都市部の周辺環境に関わらず共通していた。主な利用種は、キジバト、ヒヨドリ、ウグイス（冬期のみ）、シジュウカラ、ホオジロ（都市部では冬のみ）スズメ、メジロで、いわゆる「都市鳥」や、林縁・小規模な樹林にも適応できる種であった。

表2　鳥類ののり面利用確認種

確認種	調査地点・調査時期															
	①		②		③		④		⑤		⑥		⑦		⑧	
	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬
ｷｼﾞﾊﾞﾄ	○	○											○			○
ｺｹﾞﾗ							○									
ﾋﾖﾄﾞﾘ		○		○		○	○	○	○		○	○	○	○	○	○
ﾓｽﾞ		○						○								
ﾙﾘﾋﾞﾀｷ												○				
ｼﾞｮｳﾋﾞﾀｷ										○						
ｼﾛﾊﾗ		○								○						
ﾂｸﾞﾐ																○
ｳｸﾞｲｽ		○		○				○		○		○		○		
ｼｼﾞｭｳｶﾗ		○					○	○		○				○	○	
ﾒｼﾞﾛ		○								○	○	○		○		○
ﾎｵｼﾞﾛ	○			○	○	○	○	○			○			○		
ｶｼﾗﾀﾞｶ						○		○								
ｱｵｼﾞ										○		○				
ｶﾜﾗﾋﾜ												○	○			
ｽｽﾞﾒ	○				○	○	○		○		○		○		○	
ﾑｸﾄﾞﾘ											○					○
ｵﾅｶﾞ		○											○		○	
ﾊｼﾎﾞｿｶﾞﾗｽ													○		○	○
ﾊｼﾌﾞﾄｶﾞﾗｽ			○											○		○
合計　20種	3	8	1	3	2	4	5	6	2	6	5	6	6	6	5	7
	10		4		4		8		8		10		11		9	

：主要なのり面利用種

（２）のり面を積極的に利用する鳥類

積極的に利用していた例として、営巣の可能性が高い種、採餌や休息の場として利用する種を確認した。コゲラは古巣を確認し、ヒヨドリはほぼ営巣が確実である情報が得られた。スズメ、シジュウカラ、キジバトは採餌や休息の場として利用していた。特にスズメとシジュウカラは巣立ち直後の幼鳥を連れ、のり面内の樹木で得た餌を給餌するなど、育雛の場として利用していた。一方、冬期に利用を確認したホオジロやウグイスは、繁殖の場としての利用が期待されたが、このような利用は確認できなかった。

（３）周辺環境との関わり

周辺環境およびのり面内で確認した利用種数を図２に示す。一般に、鳥類相は郊外から都心に近づくにつれ貧弱になる。本調査地点においても市街地の割合が増すにつれて出現種数は減少した。しかし、植生が樹林であるのり面（のり面②③を除く）では、表１にも示したとおり、のり面内利用種は、10種前後と一定しており、確認種に対するのり面利用種の割合は、郊外に位置する地点①の40%、④の35%、⑤の40%、⑥の43%と比較して、⑦で61%、⑧では77%と高く、都市部ほど割合が増していた。このことから、生物の生息空間としてみた場合、都市部ののり面は郊外ののり面と比較して、相対的に重要な空間であることが示唆された。

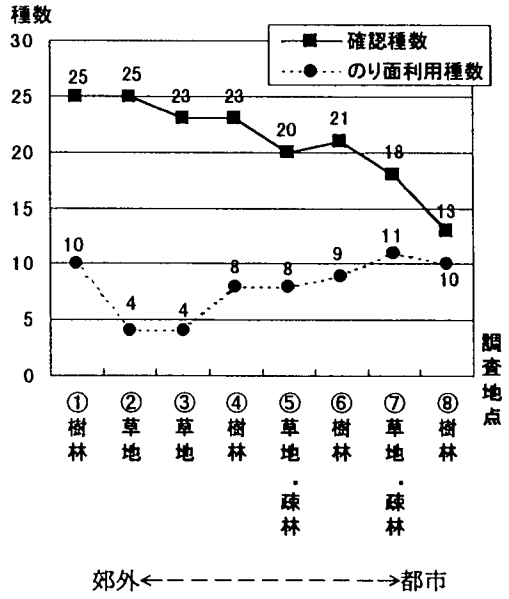


図２　調査地点別確認種数とのり面利用種数

４．おわりに

調査地域では、のり面を恒常的に利用する種は、周辺の生息種・環境に関わらず一定であった。これらの種の多くは、林縁的環境を好む種で、行動圏の一部として利用するケースが多い。したがって、のり面を周辺環境と親和性ある樹林として整備することは、林縁性の鳥類のハビタットを増大させる効果があると考えられた。しかし、本研究では定量的なデータが不足しており、都市部と郊外ののり面の質的な比較（鳥類にとっての重要性）はできなかった。また、渡り移動の時期における、季節的・一時的な利用についても明らかにされておらず、これらの解明は今後の課題である。

（５２）植物の生育場所としてみた道路のり面とビオトープネットワークについて

建設省土木研究所　環境部　交通環境研究室
○川上篤史　小根山裕之　今井亮子　今堀るみ子　大西博文

１　はじめに

野生生物の減少や絶滅を回避するためには、野生動植物の生息生育空間（ビオトープ）が連携しビオトープ間に生物の移動や交流が必要であるとする「ビオトープネットワーク」の考え方がある。これに基づき、野生生物が生息生育する緑地を「核」として保全し、核を結ぶ道路や河川沿いの緑地を「移動路－線－」と位置づけネットワーク化を図るという構想が提案されている。道路緑地の中でのり面は、線状に長く分布するため、生物の移動路としての機能をもつと期待される空間である。

本稿は、道路のり面が生物の移動路として担える機能の一端の解明を目的として、のり面を植物の生育空間として捉え、周辺から植物が移動（侵入）・定着している現況を把握したものである。

２　研究内容

２．１　調査対象区間：関越自動車道 川越ＩＣ～本庄・児玉ＩＣ間の 48km（埼玉県）の範囲内で実施した（図１）。

２．２　調査地点：調査地点は 図１，表１に示す９地点を選定した。選定地点は、全て幅約 10 mの盛り土のり面である。地点１～７は施工後 18 年、地点８、９は施工後 23 年が経過している。地点１，５，９は、ケヤキ、ソメイヨシノ、シラカシ等の高木が植栽されており、地点７は、高木層にクリが優占していた。その他の地点は牧草吹付から遷移が進み低木が侵入していた。地点６はアズマネザサ・ススキに、アカマツ・アカメガシワなどの陽性の木本が混生する低木林で、地点８はススキやアズマネザサの草地にアカマツの高木が点在する。



図１．調査対象区間と調査地点位置

表１　調査地点の状況

地点	植生の相観	隣接環境	調査枠(m)	施工年
1	常緑樹優先の高木林	農耕地	5 × 20	1980
2	ススキ草地		4 × 4	
3	ササ草地		4 × 4	
4	ススキ草地		4 × 4	
5	落葉樹優先の高木林		5 × 20	
6	低木林	高木樹林	4 × 15	
7	落葉樹優先の高木林		5 × 20	
8	ススキ草地	住宅地	5 × 20	1975
9	常緑樹優先の高木林		5 × 20	

２．３　研究方法

（１）　植物相と植生の把握：選定したのり面内に表１に示した大きさの調査枠を設定し、植物社会学的手法に基づき植生調査を実施した。一定面積に生育する植物を高木層、草本層などの階層に区分し、各階層毎に、出現種、種ごとの被度（生育量）、群度（集合状態）を記録した。なお、現地調査は 1998 年７月に行った。

（２）　遷移状況の把握（林床植物の帰化率）：道路のり面内は通常草刈りは実施されておらず、周辺地域から植物が侵入、遷移が進み在来植物へと置き換わりつつある場合が多い。のり面の遷移状況を把握するため、近年のり面に侵入した可能性の高い草本・低木層を対象として帰化率および被度を算出した。帰化率は、確認種から、鷲谷・森本(1993)の帰化植物リストを参考として帰化種を抽出し、生育種に対する帰化種の割合を求めた。被度は、（１）の結果から帰化種のみの値を求めた。

（３）　鳥による植物の侵入：植物の種子散布形態は、風および鳥によるものが多い。風散布は植物種子の

分散距離が種によって異なるため、進入経路・供給源の特定が難しいものが多い。鳥による散布の距離は、鳥の移動速度と体内滞留時間（普通数分から数十分）に関係し、通常数百m程度であるとの知見がある8)。分散距離が限定される鳥による散布植物は、のり面と近隣地域とのつながりを把握するために適した指標であると考えられる。ここでは、周辺環境からののり面への植物の移入状況を把握するため、近年侵入した可能性の高い林床植物の低木層と草本層の種を対象として、鳥による散布植物の割合とその被度を求めた。鳥による散布であるか否かの判断は文献[7]と種子形態を参考とした。

3　調査結果および考察

3．1　植物相と植生

（1）　調査結果：確認種数は図2に示す。確認種には植栽種も含む。生育種は、高木・亜高木層が充実したのり面において多いという結果が得られた。また、高木が植栽された地点同志（地点1,5,7,9)、吹き付けのり面同志（地点 2,3,4,6,8)を比較した場合、供用後の年数の長い地点（地点8,9)、供給源となる地域が近い地点（地点 6)において確認種が多いという結果が得られた。

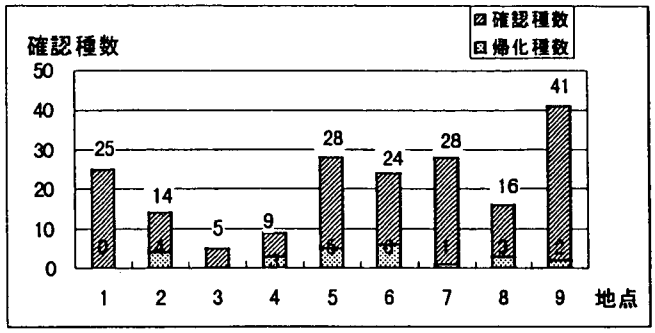


図2　植物確認種数と帰化種*数
*帰化種＝外来牧草＋周辺から侵入した帰化植物

3．2　遷移状況の把握（林床植物の帰化率）

（1）　調査結果：確認した帰化種数を図2に、生育種に対する帰化種の割合（帰化率)、林床植物中の被度を図3に示した。帰化率は、樹林ののり面では低く（地点 1,5,7,9)草本ののり面（地点2,4,8）では高い傾向を示した。地点3は、アズマネザサに覆われた偏向遷移が進んでおり、帰化種の侵入は確認できなかった。また、草本のり面の場合は、全地点で帰化率が高い傾向がみられたが（地点2,4,6)、隣接地域が農耕地（地点2,4）より樹林である場合（地点 6）の方が帰化種の被度は低かった。

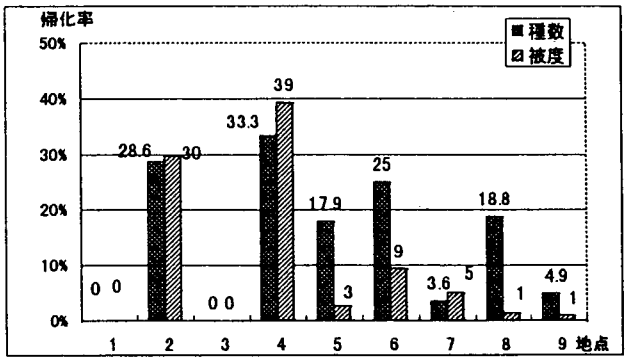


図3　帰化植物の帰化率と被度

（2）　考　察：通常帰化率は、河原や休耕田畑では 20%以上となり、雑木林や自然林では 0 または2％以下であると報告されている[4)5)6)]。調査のり面では、草地地点は高い帰化率を示すが、高木植栽地点では 1～ 3%と、雑木林や自然林と同等の値を示した。草地より樹林における帰化率・被度が少ないこと、同じ草地でも木本の侵入が進んだ地点の方が帰化率・被度が低いことから、今後年数を経るにつれてその値は低下し、在来植物生育地として安定するものと考えられた。

3．3　鳥による植物の侵入

（1）　調査結果：鳥による散布植物は、多い場所では生育種の 64%を占め、その割合は高木植栽のり面（地点 1,5,7,9）で草地より高かった。元来草地であった地点（地点 2,3,4,6,8,）同志では、遷移が進み高木・亜高木層が多い地点（地点 8)が、少ない地点（地点 2,3,4）より高い値を示した。

被度は、高木層・亜高木層の植被率が少なく、林床への日照量が多いと思われる地点において比較的高い値が得られた（本研究では照度の測定は実施していないため、推定である)。鳥による散布植物は、同じのり面の植栽種（ネズミモチなど)、雑木林の林縁や明るい林内にみられる種（ヌルデ、アカメガシワなど）が多くを占めた。なお参考までに、調査のり面で確認された鳥類で、鳥による散布植物の分散に寄与してい

ることが予想される種は、ヒヨドリ、ツグミ、キジバト、シロハラなどである（1999.7,1999.1月確認）。

（2） 考 察：高木・亜高木層が充実したのり面には、鳥によって散布された植物が生育していることが明らかとなった。近隣に種の供給源があり、のり面に鳥類の利用の場が存在する地域では、遷移が早く進むことを示すと考えられる。これは、のり面を利用する鳥類の止まり場、休息の場として利用可能な樹木を植栽することにより、周辺環境と調和した、在来植物からなる樹林の形成が可能であると考えられた。なお、のり面に生育する鳥による散布植物の供給源の証明は今後の課題である。

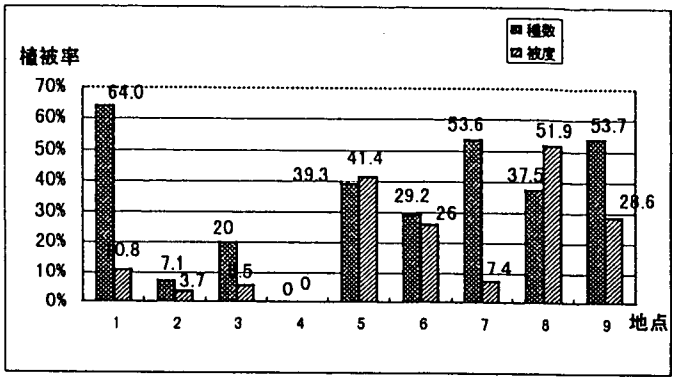


図3 鳥散布植物の割合と被度

鳥による散布植物の中には、トウネズミモチ、シュロなど周辺に自生しない植栽種や園芸種由来の植物も含まれていた。これは、孤立した樹林の林床においても生育することがあると指摘されている[7]。鳥によって、在来種以外の種の分散が行われていることは確実であるため、道路植栽樹種には在来種を使用することが望ましいと考えられる。また、鳥類による種子散布の割合が高いことが明らかであるため、鳥類を誘引するために特定の植物を植栽する際には、周辺地域の状況を踏まえ留意して行う必要があると考えられる。

4 おわりに

植物は動物の生活の基盤となる、生息場所、繁殖の場などを提供することから、植生とその多様性の保全は、生物多様性全般の保全にとって、最も重要な意味をもつ[9][5]。ビオトープネットワークの考え方では、動物の移動に主眼がおかれることが多いが、個体が自由に移動することのできない植物にとって、分布拡大の経路を確保することは動物より切実であると考えられる。

道路のり面は、幅が狭く常に周辺からの影響をうける林縁的な環境であり、湿潤な林内環境に生育する植物が生育できる可能性は少ない[3]。しかし、本調査により、林縁を好む種の分散経路・生育地としての役割を担える可能性があることが示唆された。

道路のり面は、年数を経るにつれ帰化植物が少なくなり、徐々に在来植物の生育空間になることが伺えた。また、のり面の植生が在来種の生息空間へと遷移していく際、鳥によって散布された可能性のある種の割合・被度が高く、遷移の促進に大きく寄与していることが示唆された。証明すべき多くの課題が残されているものの、道路のり面の緑地が一部の在来植物の移動経路として、ビオトープネットワーク機能の一端を担う可能性を示唆する結果である考えられた。

〈参考文献〉

1)盛岡通・藤田壮・後藤忍・角谷昇(1998)郊外の都市開発における緑地の生態ネットワーク特性の評価システムに関する研究、環境システム研究 vol.26, 13-20
2)小菅敏裕・大西博文・小根山裕之(1997)道路を含めたビオトープネットワーク計画の策定方法に関する研究、土木計画学研究講演集 No.20(1)、383-386
3)Forman, R. T. T.(1995)Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge Univ. Pres, Cambridge.145-178
4)鷲谷いづみ・森本信生(1993)日本の帰化生物、保育社
5)浜口哲一(1994)帰化植物、指標生物－自然をみるものさし、(財) 日本自然保護協会
6)宮脇昭(1977)日本の植生、学研
7)井手任・原田直國・守山弘(1994)孤立二次林における種子供給が下層植生に与える影響、造園雑誌 57(5)、199-204
8)中西弘樹(1994)種子は広がる-種子散布の生態学- 平凡社
9)鷲谷いづみ・矢原徹一(1996)保全生態学入門-遺伝子から景観まで-文一総合出版
10)勝野武彦(1981)道路のり面植生の遷移と管理について、造園雑誌 45(1),34-36

（５３）道路事業における生態系の評価手法

上坂克巳* 大西博文** 藤原宣夫***小根山裕之**** 森崎耕一*****

1. はじめに

従来の閣議決定に基づく環境アセスメント (以下、「閣議アセス」という) において、「動物」、「植物」の評価は貴重種のみが保全対象とされていた。これに対し、環境影響評価法に基づくアセスメント (以下、「法アセス」という) では、地域の「生態系」の体系的保全という視点が新たに追加された。

本稿では、道路事業における「生態系」のアセスメント手法について紹介する。なお、紙面の都合上、道路の存在による影響のみを取り上げ、工事中の扱いについては割愛する。

2. 閣議アセスから法アセスへの変更点

現在、建設省では、法アセス実施の具体的手順を示した環境アセスメントマニュアルを作成中である。図-1 に「動物」、「植物」、「生態系」に関する手順を示す。ここで閣議アセスからの主な変更点を整理すると、以下のとおりである。

(a) 「生態系」が評価項目として追加されたこと。
(b) スコーピング手続きが追加されたこと。
(c) 環境保全措置の検討において、ミティゲーション (回避・低減、代償措置) の考え方が明確に位置づけられたこと。さらに、必要に応じ事後調査計画を立案すべきとされたこと。

以下、これらのポイントも踏まえて解説する。

3. 「動物」「植物」と「生態系」アセスメントの相違点

「動物」「植物」と「生態系」のアセスメントの違いは以下に要約できる (図-1 参照)。

(1) 「動物」「植物」では、学術上又は希少性の観点から重要な種を保全対象としている。一方「生態系」では普通種も保全対象に含まれる。
(2) 「動物」「植物」では、個体に対する道路事業の影響を予測・評価する。一方「生態系」では、ある生態系を代表する複数の注目種・群集への影響が、最終的にその生態系全体へどのように影響するかまでを含めて予測・評価する。

4. 「生態系」のアセスメント手法

図-1 の手順に沿って、「生態系」のアセスメント手法について解説する。

4.1 スコーピング

評価項目及び調査・予測手法の選定過程のことをスコーピングという。アセスメント実施方針の検討段階にあたり、「生態系」では評価対象とする生態系及びそれを代表する注目種・群集の抽出が鍵となる。

4.1.1 地域特性の把握

「生態系」評価へのアプローチの第一歩は、計画路線周辺の地域特性の概要を把握することから始まる。この段階では、文献調査や学識経験者へのヒアリング調査が中心となる。

(1) 自然環境の類型区分

計画路線から片側 3km 程度 (移動能力の高い動物の行動圏を考慮) の自然環境を植生、地質等から大まかに類型区分する。図-2 の例では、「山地の人工林」と「低地の水田」が混在する地域 (以下「里山」という) を計画路線が通過している。

(2) 地域の生態系の概要把握

「動物」「植物」等の調査結果を、上記類型区分毎に整理し、地域の生態系の概要を把握する。

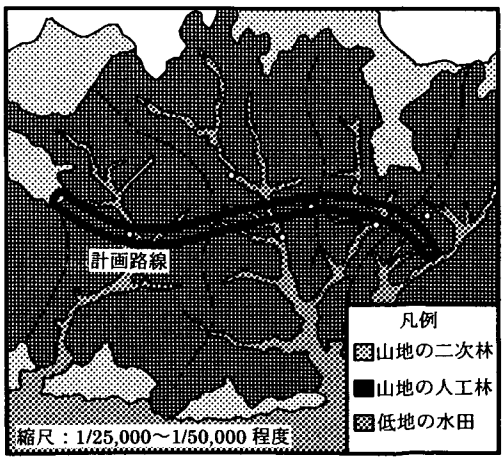


図-2 自然環境の類型区分の例

Assessment Method of Ecosystem for Road Projects

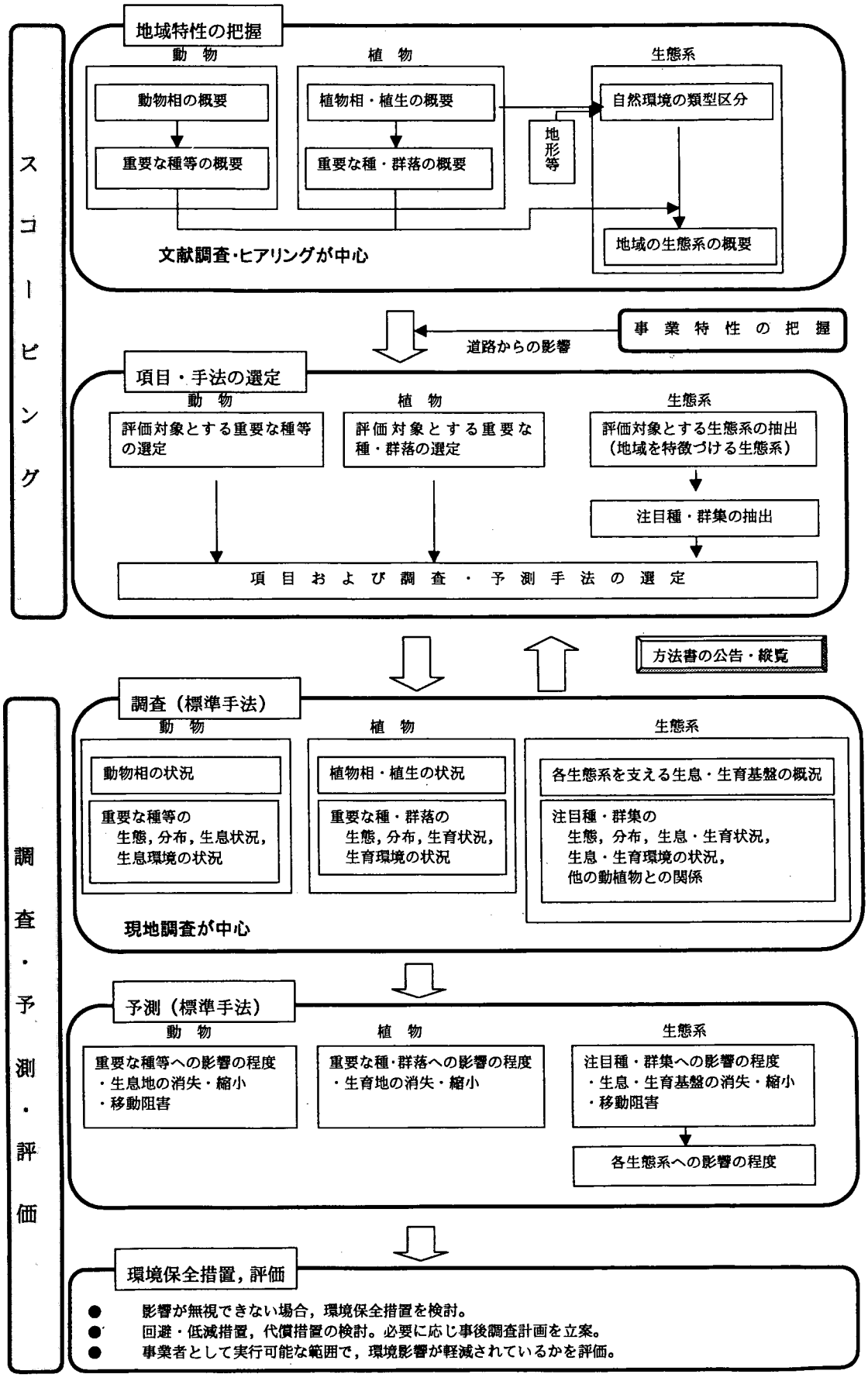


図-1 動物、植物、生態系の環境アセスメントの手順

4.1.2 項目・手法の選定

(1) 評価対象とする生態系の抽出

まず事業特性 (計画路線の位置等) を考慮し、対象事業の影響を受けるおそれがある地域において、自然環境の類型区分を抽出する。次に抽出された類型区分を基本として、評価対象とする生態系 (以下、省令にならい「地域を特徴づける生態系」という) を設定する。

図-3 のように、二以上の類型区分にまたがる生態系 (里山の生態系) や、類型区分の一部の特殊な環境に対応する生態系 (ため池の生態系) を設定することもある。このように地域を特徴づける生態系は、複数設定されることもあり、また必ずしも類型区分と一対一で対応するとは限らない。

(2) 注目種・群集の抽出

まず、(1) で抽出された各生態系を支える生息・生育基盤 (図-4 参照) に対応する主な動植物及びそれらの生態的関係を整理する。

次に、上位性 (生態系の上位に位置する)、典型性 (広く分布する環境に生息・生育する)、特殊性 (特殊な環境に生息・生育する) の視点に合致する注目種・群集を、各生息・生育基盤を代表するものとして複数抽出する。

また、注目種・群集の抽出にあたっては、対象事業からの影響の程度が大きいと考えられるものを抽出することが重要である。

(3) 項目および調査・予測手法の選定

普通種も含めた「生態系」が評価項目から削除されることは稀だと考えられる。一方、調査・予測手法は、(2) で抽出された注目種・群集の生態的特性にしたがい、適切な手法を選定することになる。

(4) 調査結果からのフィードバック

我が国では自然環境のデータが十分整備されていないため、スコーピング作業を既存文献により行うには困難が伴う。したがって、調査段階での現地踏査の結果に基づき、随時スコーピングの結果を見直す必要がある。

4.2 調査と予測

道路事業が及ぼす主な影響としては、

(1) 生息・生育基盤の消失・縮小

(2) 動物の移動阻害

(3) 生育・生息環境を構成する大気環境や水環境等の質的な変化

が挙げられる。

(c) に関しては、知見が少なく、その影響の予測が困難であるため、標準的には (a)、(b) の影響を予測する。なお、(c) についても、その著しい影響が懸念される場合は、重点化手法として取り上げることになる。

4.2.1 調査 (標準手法)

(1) 生息・生育基盤の概況

現地踏査 (既存事例等を参考に、計画路線から片側 250m の範囲を目安とする) により、地域を特徴づける生態系を支える生息・生育基盤の概況を再整理する (図-4 参照)。

(2) 注目種・群集の生態、生息・生育状況等

注目種・群集の生態や他の動植物との食物連鎖等の関係を文献調査により再整理する。また、それらの生息・生育状況及び生息・生育環境を現地踏査により明らかにする。

4.2.2 予測 (標準手法)

(1) 注目種・群集への影響の程度

道路事業による生息・生育基盤の消失・縮小、動物の移動阻害に伴い、注目種・群集へ及ぼす影響の程度を、定性的に予測する (図-5 参照)。

(2) 地域を特徴づける生態系への影響の程度

各注目種・群集への影響が生態系全体に及ぼす影響の程度を定性的に予測する。図-5 では、少し

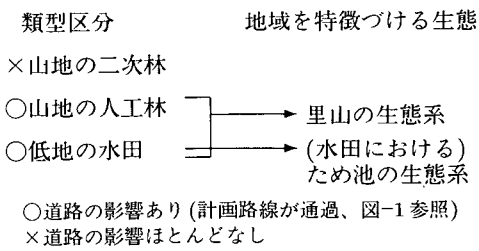


図-3 地域を特徴づける生態系の設定例

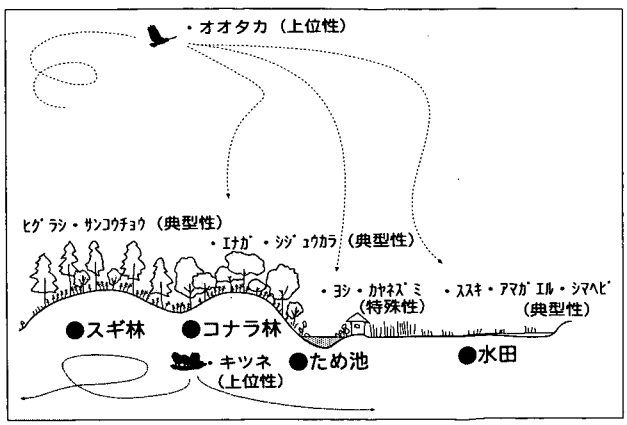


図-4 里山の生態系を支える生息・生育基盤と注目種・群集

極端だがため池のヨシ群落が消失する例を考えてみた。この場合、ため池の生態系に甚大な影響が及ぶだけでなく、里山の生態系にも影響が及ぶことがありうる。

なお、影響の「程度」の予測では、少なくとも環境保全措置を講じる必要があるかどうかを判断する必要がある。

4.3 環境保全措置と評価

予測の結果、地域を特徴づける生態系への影響が無視できない場合は、環境保全措置を検討する。表-1 に保全措置の代表例を示す。回避・低減措置が代償措置に優先する。

図-5 の場合はコルゲートパイプ等の設置によるイタチ等の移動経路の確保や、ヨシ群落の移植という環境保全措置が考えられる。

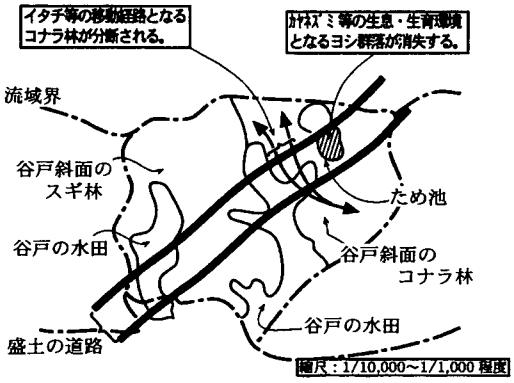


図-5 イタチ及びため池の注目群集に対する影響の予測

表-1 環境保全措置の代表例

影響の種類	環境保全措置の例	
生息・生育地の消失・縮小	回避・低減	・のり面勾配の修正による地形改変の低減 ・既存種及び表土の再利用による改変部位の修復
	代償	・代替生息・生育基盤の創出
移動阻害	回避・低減	・移動経路の確保

ここで、予測結果や環境保全措置の効果の不確実性が大きく、かつ生態系へ及ぼす影響が著しくなるおそれがある場合は、事後調査計画を立案する必要がある。上例のヨシ群落の移植は、移植の効果が不確実で、その成否がため池生態系に与える影響も大きいことから、この場合に該当するであろう。

評価では、事業者が実行可能な範囲内で、環境影響を軽減する措置を講じているかどうかを評価する。

5. おわりに

本稿では、道路事業における「生態系」アセスメントの実施手順を示した。しかし、評価すべき生態系や注目種・群集の抽出方法並びに対象事業が生態系へ及ぼす影響の予測手法など、未解明な点が数多く残されている。

したがって、実際のアセスメントの実施に際しては、学識経験者等の意見を参考とすることが必要不可欠と考える。また、今後、アセスメント等を通じた情報の蓄積や新たな知見を踏まえて、本提案手法を随時見直すことも必要と考える。

謝　辞

本稿で示した生態系アセスメントの評価手法は、(財) 道路環境研究所の「道路環境アセスメントに関する自然環境検討委員会 (亀山章委員長)」での検討結果を踏まえたものである。委員各位および本稿作成においてご協力頂いた (株) カーター・アート環境計画に謝意を表します。

上坂克巳*



建設省土木研究所環境部交通環境研究室主任研究員、工博
Dr.Katsumi UESAKA

大西博文**



同　交通環境研究室長
Hirofumi OHNISHI

藤原宣夫***



同　緑化生態研究室長
Nobuo FUJIWARA

小根山裕之****



東京大学生産技術研究所
(前　交通環境研究室研究員)
Hiroyuki ONEYAMA

森崎耕一*****



日本道路公団東京建設局八王子工事事務所・技術課長
(前　緑化生態研究室主任研究員)
Koichi MORISAKI

（５４）道路空間を利用した生態系ネットワークの構築の可能性

A possibility of establishing the Ecological Network using road space

大西　博文[1]
建設省土木研究所
環境部交通環境研究室 室長
305-0804 茨城県つくば市大字旭 1
Fax: 81-298-64-7183
E-mail: ohnishi@pwri.go.jp

小根山　裕之[2]
東京大学生産技術研究所

1. はじめに

近年、道路整備をすすめる際には身近な生態系の保全を図ることが重要な課題となっている。生態系ネットワークとは、残されたハビタット（本稿では、生物種や生物群集が生活している場所または環境を表す）を連結し、地域全体の生態系の保全を図ることを目指したものである（図１）。

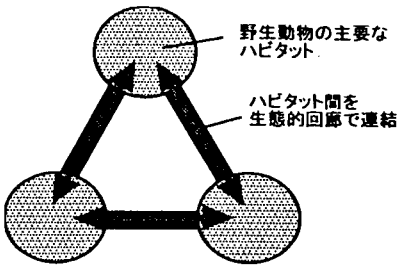
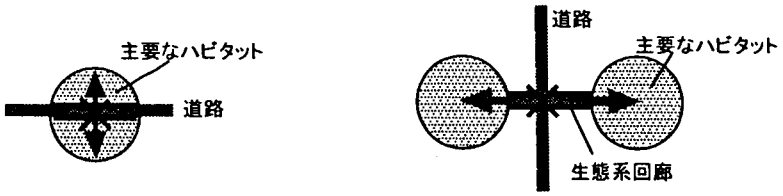


図１．生態系ネットワーク概念図

道路は生態系に対して、ハビタットの消失や分断（図２-ａ）及び、ハビタット間の連結性の阻害（図２-ｂ）を引き起こすと考えられ、これらの影響を回避・低減する必要がある。

一方、道路空間には様々な緑地がある。自然の減少が著しい都市地域では道路空間の緑地も無視できない量になるため、道路緑地が生態系ネットワークの構築に貢献できると考えられる（図３）。

本稿では、生態系ネットワークと道路の関係を明らかにするとともに、これを踏まえて地域の自然環境保全と調和し、生態系ネットワークの構築に寄与する道路整備のあり方を考察する。



a) 道路による主要なハビタットの消失、分断等の影響　　b) 道路が生態的回廊を分断することによるハビタット間の移動性の阻害

図２．道路が生態系ネットワークに与える影響

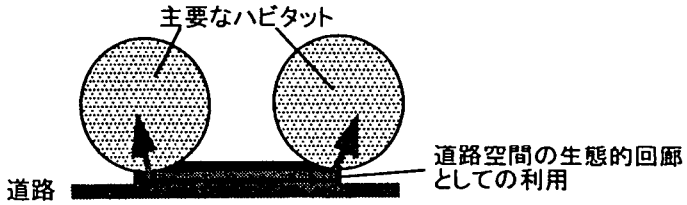


図３．道路空間を利用した生態系ネットワークの構築

---

[1] おおにし　ひろふみ　Hirofumi Ohnishi
Head, Traffic Environment Division, Public Works Research Institute, Ministry of Construction
1 Asahi, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-0804 Japan

[2] おねやま　ひろゆき　Hiroyuki Oneyama　Institute of Industrial Science, University of Tokyo

2. 日本の自然環境と道路整備の現状

2.1 都市化の進展と自然環境

日本では、1960 年代から急速な都市化が進み、東京など一部の巨大都市圏では産業・人口が集積し、十分な土地利用の整合性がないまま都市域が拡大した。例えば、東京圏はＤＩＤ連担地域が半径約 50～60ｋｍにわたって続いており、その周囲にも開発された地域が断続的に広がっている。

このように、都市の郊外部には自然環境と開発の進んでいる地域が混在し、残された自然環境も十分に保全の位置づけがなく、常に開発の危険にさらされている。また、近年では自然環境の保全に対する社会的要請も高まってきている。

2.2 道路整備の現状

日本の道路事情は、1963 年から高速道路の整備が始まり、1999 年までに約 7,000km が供用された。一方、急激な都市圏の膨張に道路整備が追いつかず、交通渋滞など様々な問題が生じている。特に交通需要の高い都市圏の環状道路などの整備が遅れている。高規格道路を含む多くの道路が今後、郊外地域に整備される予定である。

2.3 開発事業と自然環境保全

都市から郊外にかけて、生態系の希少性や多様性といった観点から、残された自然の重要性は高いものが多い。また、自然との触れ合いの場が身近に存在することも必要である。都市やその郊外の自然は、かつては身近にあった二次的な環境であるため、保全のコンセンサスが得られていない。一方で、様々な開発計画が進んでいる。

保全・開発のバランスを保ちながら事業を進めるには、人間の視点から見た土地利用計画に加え、生態系の保全を図るための視点が必要となる。これが次章で説明する生態系ネットワークの考え方である。

3. 生態系ネットワークと道路

3.1 生態系ネットワークとは

生態系ネットワークの概念は、生態系の保全を図る上で重要な区域を保全し、生態的回廊により結合し、地域の生態系全体としての保全を図ろうとするものである。

一例として、オランダでは、国の自然保護施策である「自然政策計画(Nature Policy Plan)」において①コアエリア(core areas)、②自然環境創出地域(nature development areas) 、③生態的回廊(ecological corridors)などの構成要素の設定を提案している [1]。この構成要素は以下のように定義されている。

①コアエリア：地域の生物相の生存を確保のため重要であり、保全すべきハビタットを含む地域。

②自然環境創出地域：選定されたコアエリアの周辺地域で、コアエリアの保全及び拡大のために現況のハビタットの質的な改善を行い、将来的にコアエリアとして組み込むべき地域。

③生態的回廊：分断されたコアエリア又は自然環境創出地域間の移動を可能にするため、新たに生物の移動・分散経路として整備する空間。

3.2 生態系ネットワークの計画プロセス

生態系ネットワーク計画は、地域の生態系の保全を目指し、そのために各種社会資本の整

備を戦略的、計画的に誘導する手段であると考えることができる。日本でも生態系ネットワーク計画の策定の動きがあるが、その手法は十分に確立されていない。そこで、オランダ等の事例を参考に、日本の状況・情報の精度等を踏まえ、筆者らが検討した計画策定の考え方を示す[2)]。

計画策定に際しては、計画立案に必要な地域の自然環境情報や社会環境情報（土地利用規制、社会資本の整備計画等）を整理する必要がある。しかし、日本では、特に自然環境に関する情報の収集・整理が遅れている。全国規模で整備されているものは1/50,000の現存植生図と、都道府県レベルで整理された主な動植物の分布状況程度である。また、生態系ネットワーク計画に類するような総合的な計画はなく、道路、河川、公園等、各種の事業計画との調整方法も確立されていない。

このような状況を考慮して、自然環境情報の収集及び各種事業計画間の調整を効率的に行うため、以下の(1)(2)(3)の順に検討を進める計画プロセスを考えた。

(1)生態系ネットワーク構想

既存の文献資料から得られる自然および社会環境情報から、対象地域のコアエリア、自然環境創出地域、生態的回廊の配置を計画する。なお、コアエリア、自然環境創出地域の設定にあたっては、現状のハビタットの価値に加えて既存の土地利用計画に基づく自然環境創出の可能性を評価して設定する。

(2)生態系ネットワーク基本計画

主として現地調査による自然環境情報の収集を行うとともに、各種の関連事業計画との調整を行い、コアエリアや自然環境創出地域として整備する地域または生態的回廊として整備する場所の具体化を図る。

(3)生態系ネットワーク整備計画

(2)の基本計画で設定した地域に関して、事業毎に具体的整備内容を検討する。我が国では、自然環境に配慮した事業として、「エコロード」、「多自然型川づくり」が進められている。この分野では、自然環境の保全のための技術の蓄積が進んでおり、生態系ネットワークの具現化に際しては、既存の情報を活用するものとする。

3.3 生態系ネットワーク構想のケーススタディ

生態系ネットワークにおける道路事業の位置づけを明らかにするため、神奈川県横浜市北部地域において生態系ネットワーク構想のケーススタディを実施した。

横浜市は、東京から約 20～30km 南に位置し、市の面積は 434km^2（うちケーススタディ対象地域の面積は 247km^2）で、日本最大の貿易港を擁する都市である。かつて内陸部は緑豊かな丘陵地であったが、高度経済成長以後の開発により 1965 年に 9,740ha あった緑地が、1995 年には 3,759ha と大幅に減少した地域である。

なお、本構想は、実際に横浜市に適用されているものではない。筆者らが道路整備における生態系ネットワーク計画のあり方を検討するために試作したものである。

図4は、ケーススタディの中で作成した生態系ネットワーク構想図である。コアエリアとしてまとまった緑地を、自然環境創出地域としては主に農用地を選定した。その他は主に市街化された地域である。横浜市では都市化が進み、ハビタットが細分化されているため、ネットワークを構築する際には、生態的回廊の形成が重要である。生態的回廊の検討は、ハビタットの細分化が見られる日本の多くの地域で、必要性が高いと考えられる。

3.4 生態系ネットワークから見た道路の位置づけ

作成された生態系ネットワーク構想図（以下構想図という）の中では道路の位置づけは次のとおりである。当該地域に新設道路を計画する場合、構想図を参考に、コアエリアを通過しないルート選定が可能である。また、既に供用中の路線では、生態系ネットワークの分断等障害箇所や活用を図るべき道路空間を検討する際に利用できる。

例えば、図4の"Ⅰ地域"は保土ヶ谷バイパスによってコアエリアが分断されている可能性がある。ここではロードキルの発生状況等を調査し、分断解消の措置を検討することが考えら

れる。また、図４の"Ⅱ地域"は、コアエリアが市街化により分断されている。ここでは、生物の行動状況等を調査し、第三京浜道路ののり面や沿道の緑地等を生態的回廊として整備することが考えられる。さらに図４の"Ⅲ地域"は、市街地内に街路樹や公園等緑地空間が散在した場所である。ここでは鳥類等の生息状況を調査し、道路空間に植栽等を行い、鳥類等の移動を促進する生態的回廊を整備することが考えられる。

このように、生態系ネットワークにおける道路の位置づけでは、①生態系ネットワークの分断という観点と、②道路緑地を利用した生態的回廊の整備という観点が考えられる。

しかし、この段階では各種情報が十分ではなく、計画熟度も低いため、道路計画等の各種事業計画との調整は難しい。従って、具体的な検討は、次の段階の生態ネットワーク基本計画以降で行われることになる。

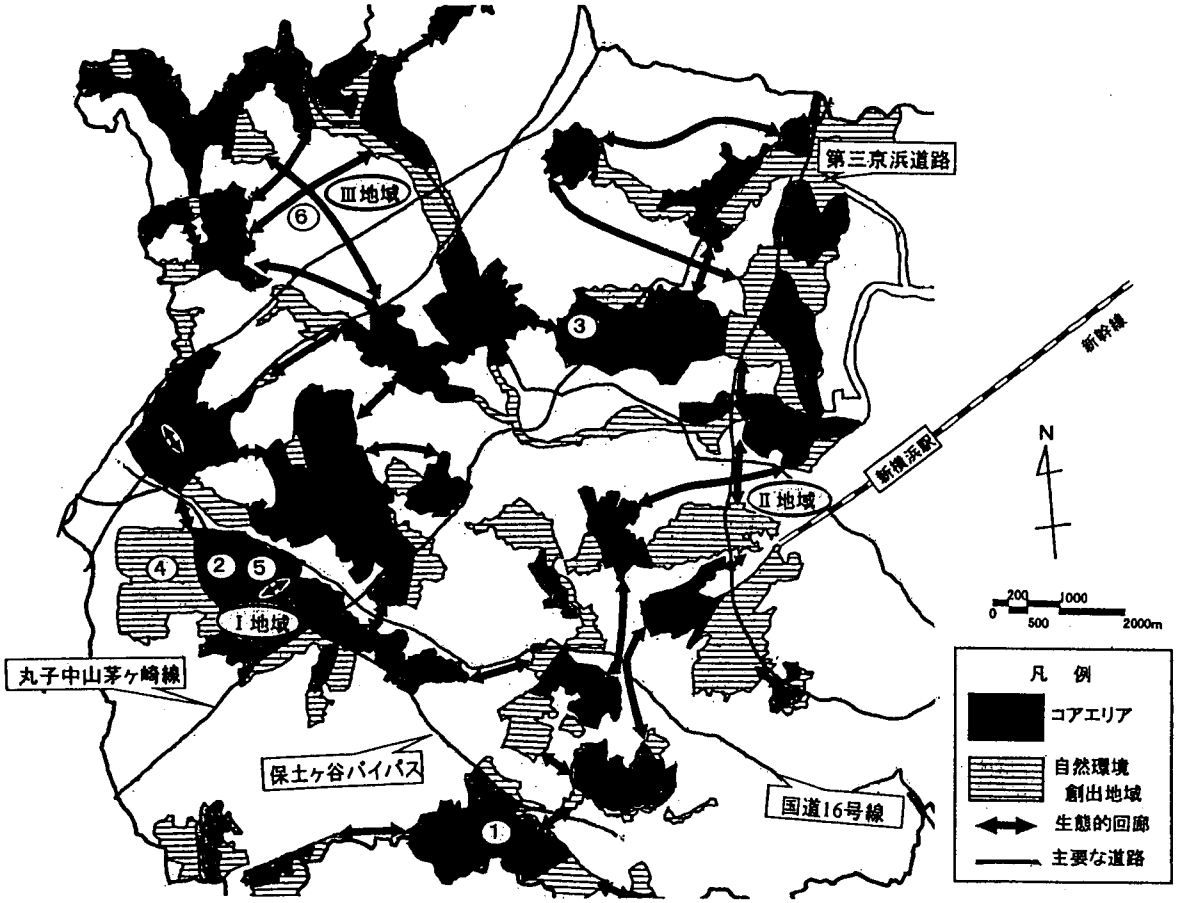


図４．生態系ネットワーク構想図（試案）[2)]

4.道路による生態系ネットワークの分断影響の軽減

道路が生態系に与える影響は、地形改変によるハビタットの消失、微気象の変化など様々であるが、特に問題となるのは、道路による生物の移動阻害とそれによる生態系ネットワークの分断である。ここでは、道路による生物の移動阻害の影響と対策を調査事例等を交えて解説する。

4.1 道路による生態系ネットワークの分断の影響

ハビタット間の移動が阻害されると、動物の水場・餌場など生活圏内での移動が阻害され、個体の生存を脅かす場合がある。また、繁殖やテリトリー拡大のための移動が困難になると、繁殖阻害や種内の交流の断絶による近交弱勢を招き、種の生存を脅かす場合もある。

道路による生態系ネットワークの分断の影響は、自動車との衝突事故（ロードキル）として

顕著に現れる。ロードキルの影響は、動物が生息環境を確保するため、危険を冒して道路を横断する場合に起こる。ロードキルの影響は、ハビタットの分断が進み、それらの連結性が阻害されている都市から郊外部にかけて大きいと考えられる。

参考までに日本道路公団における、ロードキルの集計結果を図５，６に示す。

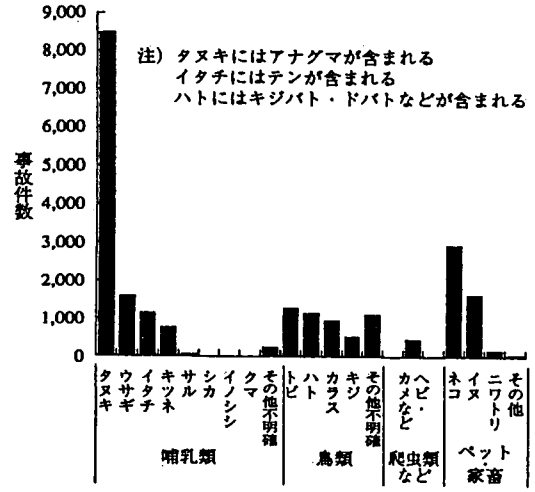


図５．動物の種別事故発生件数(1993)[3]

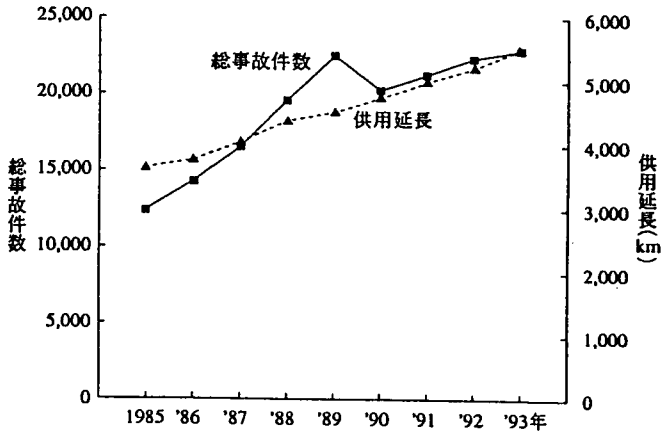


図６．高速道路供用延長と動物事故発生件数の推移

4.2 道路による生態系ネットワークの分断影響の軽減対策

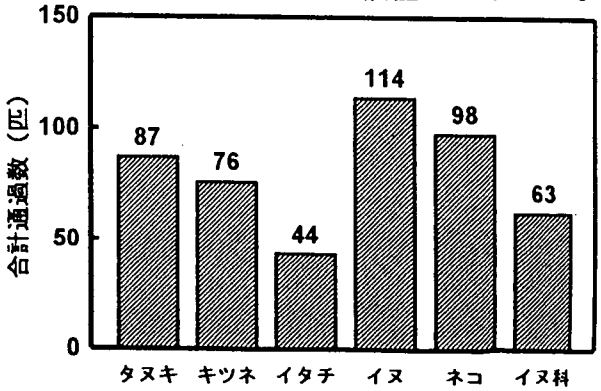
道路による生態系ネットワークの分断影響を軽減するには、道路計画のルート選定の段階でコアとなるハビタットを通過しないことが肝要である。また、コアとなるハビタットを通過する場合や、生態的回廊を道路が分断する場合は、改変量を少なくし、生物の移動性を確保できるような道路構造にすることも必要である。このような道路構造としては、盛土、切土等の構造の採用を極力避け、トンネル、橋梁等の構造を採用することが考えられる。

生態系ネットワークの分断防止の観点からは、ルート選定や道路構造の工夫がもっとも効果的である。しかし、日本の郊外部では、自然の残された地域と、人間が生活を営む地域が複雑に入り組んでおり、ハビタット間の分断を完全に避けるルート選定は困難である。

また、経済性等の観点からもトンネル、橋梁等の構造を多用することは現実的ではない。

ルート選定や道路構造の工夫で自然環境への影響が回避できない場合、影響を軽減するために動物の道路横断施設を設置するなどの対策が必要となる。動物横断施設には、道路上の橋梁（オーバーブリッジ）、道路下のトンネル（ボックスカルバート）、水路用のパイプ（コルゲートパイプ）などがある。これらの施設は道路を整備する際、既存の道路交通を確保したり、水路を確保するために設置されるものであり、必ずしも動物のために設置したものでなくてもよい。

ここで、高速道路に設置されたボックスカルバート、コルゲートパイプ及びオーバーブリッジを対象として実施した、動物の移動に関する調査の結果を図７に示す。これによると、特別に動物用に設置した施設でなくても、タヌキ、イタチ、キツネなど動物の利用が確認されており、横断施設を効果的に設置することにより分断の影響がある程度軽減されるものと考えられる。また、横断施設の利用状況は横断施設の構造、地域の自然環境の状況、動物の性質によっても異なる。対象となる動物種の特性を考慮して横断施設の構造を工夫することが必要である。パイプ中に動物が移動するための小段を設けたり、橋梁の脇に植栽を施すなどの細かい配慮を行うことで効果



注：「イヌ科」はキツネあるいはイヌと断定できないもの

図７．高速道路における調査結果[4]

対象道路：中国自動車道（新見 IC-東城 IC, 約 5km）
対象施設：ﾎﾞｯｸｽｶﾙﾊﾞｰﾄ 20 箇所, ｺﾙｹﾞｰﾄﾊﾟｲﾌﾟ 6 箇所, その他 5 箇所
調査日数：冬季７日間

を向上させることができる。

動物の移動経路を確保するために、動物専用の横断施設を設置することもある。日本では特に自然の豊かな山間部などを中心にこのような事例が見られる。その中の一つである国道 108 号鬼首道路においては、図 8 に示すような動物専用の横断施設（エコボックス）を設置している。カモシカなどの移動が見られ、移動阻害の軽減効果が確認されている。

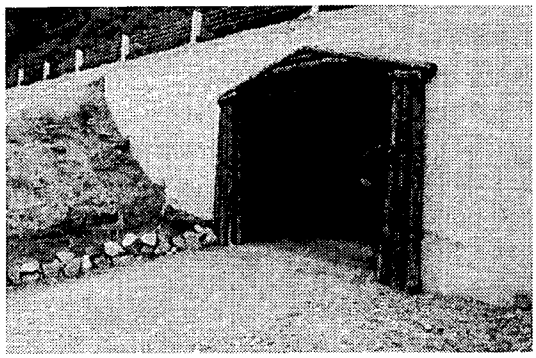


図 8．動物専用の横断施設（ｴｺﾎﾞｯｸｽ）
ー国道 108 号鬼首道路ー

5. 生物のハビタットとしての道路空間の利用

道路空間に存在する緑地は、動植物のハビタットとなりうる空間を提供しており、その道路に沿った細長い形状から、生態系回廊としての機能が期待できる。

ここでは、現存する道路空間の緑地について、動植物のハビタットとしての機能及び利用の可能性について調査事例等を交えて説明する。

5.1 道路空間に存在する緑地

道路空間に存在する緑地は、環境施設帯や盛土、切土などの道路のり面、中央分離帯、インターチェンジ、ジャンクションの植栽などが挙げられる。

日本の道路構造令では、都市部の幹線街路や景勝地の道路を中心として、植樹帯の設置が定められており、幅員 1.5m を標準として適切な幅の植樹を行うこととなっている。

環境施設帯は、騒音、大気汚染等の緩和、景観向上などの沿道環境保全のための緩衝帯として、住宅地を通過する幹線道路等に設置されている。環境施設帯としては 10～20m の幅を確保することが通達で定められており、その中に側道、遮音壁・植樹帯等が設けられている。

高速道路では、一般道路との平面交差を避けるため、盛土、切土が多用される。日本では土地の有効活用及びコスト削減のため、必要最小限の道路用地幅に抑えるため、盛土のり面では約 30 度、切土のり面では 40～50 度の急勾配であることが多い。従って、切り土法面は盛り土と比較して土壌の発達が悪く、交通安全上高木の植栽は行われない場合が多い。法面の植栽は、景観、沿道環境又は維持管理上の観点から行われるが、近年では、地球温暖化防止のため二酸化炭素の固定という観点からも樹林化が始められている。

5.2 道路空間の緑地の生態的機能

道路空間は、その細長い形態から、生態系ネットワークの一要素で、生息地間を連結する「回廊」としての機能が期待される。道路緑地は通常の生物の生息・生育地とは異なった条件のもとに成立している。除草や樹木の剪定などの維持管理がなされていること、道路路面からの熱、粉じん、路面排水、騒音などの影響があること、などである[5]。また、日本の道路緑地は狭小なものが多く、広いものでも幅 10m、また延長は 100～250m と断片的な形状であった。このような小規模で断片的な緑地は、周辺環境の影響を受けやすく、林内型の種(interior species)の生息生育地としては期待できない[6]。

しかし、異なる環境の境界部を利用するような種（edge species）等は生息・生育できる[6]ことから、ハビタットに乏しい都市域においては、個体群の存続や生物多様性の維持に貢献できる貴重な空間であると考えられる。

5.3 道路空間のハビタットとしての利用事例

道路空間の生物のハビタットとしての利用については、まだ、十分な情報が得られていないが、本節では、筆者らの調査の結果を含め、既存の知見をまとめた。

(1) 環境施設帯の植樹帯

①生息基盤としての植生

筆者らは、植栽後経過年数が異なる数地点の環境施設帯の植樹帯を調査した。平均的な環境施設帯の断面図を図9に示す。植栽から十数年以上の時間が経過した環境施設帯では、低木から高木まで、階層構造が発達したものもみられ、落葉が林床に堆積し土壌が発達しつつあった。また、周辺の緑地から鳥類の糞に混じって運ばれたと考えられる樹木の種子から発生した実生（芽生え）も観察され、周辺から在来の種の進出がみられた[7)8)]。

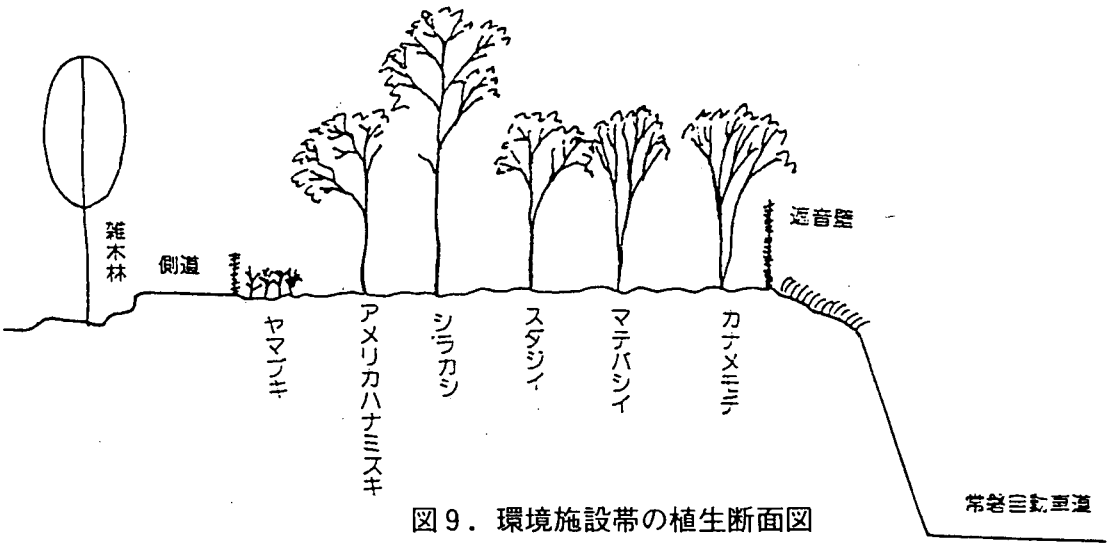


図9．環境施設帯の植生断面図

②昆虫類

筆者らが実施した春と秋の現地調査[7)8)]により、常緑樹主体の環境施設帯内の植樹帯で約300種の昆虫類が確認された。また、ある環境施設帯では近傍の公園の樹林地より多くの種が確認された。これは、道路緑地という限られた空間が、昆虫類のハビタットとして機能していることを示している。

③鳥　類

鳥類の生息調査結果[7)8)]から、環境施設帯の規模、周辺の環境により出現状況はさまざまであるが、環境施設帯を利用する鳥類を確認した。特に、植樹帯造成から年月が経過し、樹林の構造が発達した場所では多くの種が利用し、繁殖期には植樹帯を採餌場所として利用した例も確認した。

④生息空間としての環境施設帯

昆虫類は、植樹帯と隣接地域間の生息種に多くの共通種が確認された[7)8)]。また、ある地域では道路の両側の植樹帯で、連続する緑ごとに共通種が多く、植樹帯が昆虫類の分布拡大に寄与していることが示唆された。植樹帯と周辺環境が連結して生態的回廊として機能していることがうかがえた。

鳥類では、帯状の環境施設帯に沿って移動する個体は少ないが、植樹帯と周辺環境を頻繁に往来する個体が確認され、植樹帯が、飛び石的な生息環境として機能していることがうかがえた。

(2) 緑化されたのり面

①植　生

筆者らは、施工後十数年が経過した高速道路ののり面の植生タイプを区分した[7)8)]。切土の

り面の植生は、85%がススキとアズマネザサが生育する草地型の植生であった。一方、盛土のり面は、シラカシなどの常緑広葉樹やケヤキなどの落葉広葉樹が生育しているものが多く、その他の樹種も含めると樹林型の植生が約 50%、草地型の植生は 36%であった。樹林型のり面の一例を図 10 に示す。

また、高木が植栽されたのり面の林床には、鳥により被食され、鳥の糞によって散布される植物（鳥散布植物）が多く生育していた。鳥散布植物には、近隣の樹林に由来すると思われる実生が多く、道路供用後約 20 年を経て亜高木・低木にまで成長し、多様な階層構造をもつ樹林の形成に寄与したと考えられる。将来、のり面で生育した植物が種子の供給源となることも可能である。鳥による種子の散布距離は、鳥の移動速度と体内滞留時間（普通数分から数十分）に関係し、通常数百m程度運ばれる[9]。従って、道路空間内の緑地が小規模で断続的でも、植物分散の中継地としての役割を担うことが可能である。

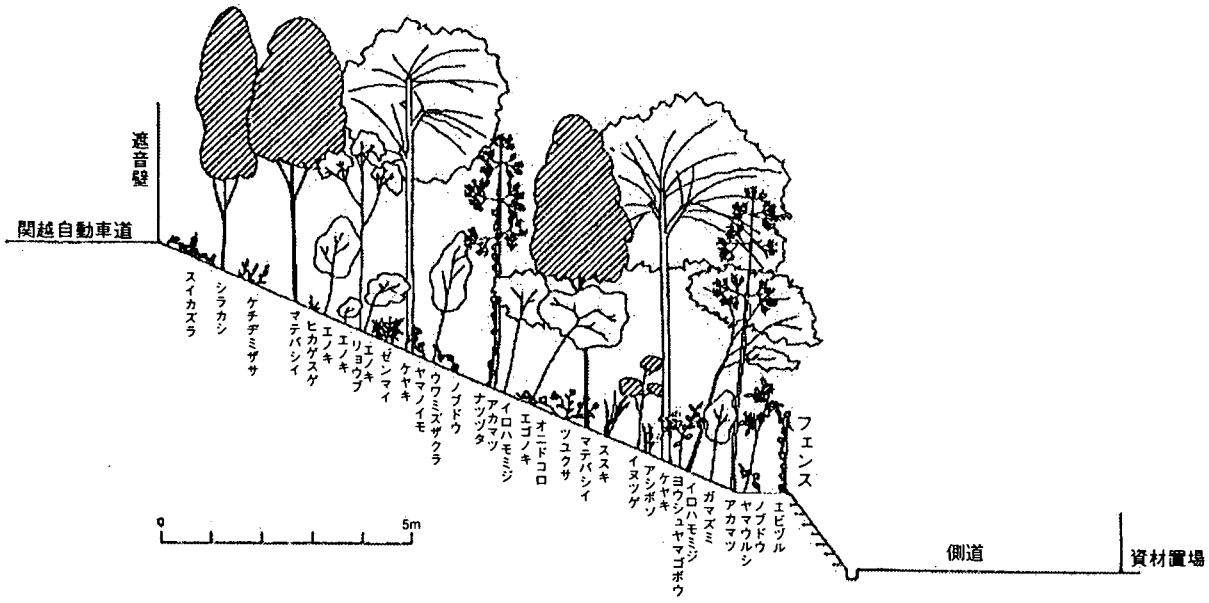


図 10. 盛土のり面の植生断面図

②土壌動物

道路のり面に生息する土壌動物の調査結果[10]を下記に示す。草地型の切土のり面では施工直後と、施工後十数年が経過した場所の差はみられなかった。しかし、盛土では年月を経たのり面の方が、草地型より樹林型植生の方が土壌動物相が豊かであった。土壌動物を用いた自然度の指標によると、樹林型は草地型のり面よりも自然度が高く、道路周辺の樹林に近い値を示したと報告されている。

土壌動物は一般に、有機物が多く堆積している表層に、その多くが生息する。有機物を含む豊かな土壌は、在来生物の生息基盤として有用であると考えられる。

③鳥　類

盛土のり面が樹林的環境の場合、シジュウカラやメジロなどの樹林性（林縁性）の鳥類が利用し、草地的環境にはホオジロなどの草地性鳥類の利用が確認され、植生に応じた利用がなされていることを確認した[11]。

また、沿道地域（道路の片側 250mの範囲）では確認されず、道路のり面でのみ確認された種もあった。これらの種は、離れた樹林地から飛来したと考えられるが、道路のり面が鳥類の飛び石的な生息地として利用されていることを示していると考えられる。

④生息場所としてののり面

道路のり面は、土壌基盤や植生の質により、生物のハビタットとして充分に機能する要素を備えている。また、鳥類の調査結果から、道路のり面が鳥類の飛び石的な生息地として、生態系ネットワークの一端を担っていることが示唆された。

6. まとめ

本稿では、生態系ネットワークの自然環境保全とバランスのとれた道路整備のあり方について検討した。このような取り組みは、日本の郊外に多い、開発と保全の狭間にある地域では特に重要である。よって、生態系ネットワーク計画の策定手法を、日本の事情を踏まえたケーススタディにより検討した。また、道路整備による生態系ネットワークの分断の影響と、対策手法について示した。さらに、道路緑地における生物の利用状況を例示し、道路緑地が生態系ネットワークの構築に貢献しうるという考えを示した。一方で、多くの課題があることも示した。

この分野の取り組みは発展途上で、知見が十分ではないが、積極的に生物の生息空間を整備することにより、道路空間にも自然環境と調和のとれた道路整備を図ることができると考える。

参考文献

1)Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries of Netherlands : Nature Conservation Policy in the Netherlands,1996

2)大西博文・上坂克巳・小根山裕之・川上篤史・小菅敏裕：生態系ネットワークの計画手順に関する一考察　－特に道路整備の視点から－,土木技術資料 Vol40,No.5,pp.32-37,1998

3)大泰司紀之・井部真理子・増田泰：野生動物の交通事故対策－エコロード事始め－,pp.75,1998

4)西尾崇・小野田豊・石田稔：動物の道路横断施設利用の傾向：土木学会第 50 回年次学術講演会講演集,pp.163-164,1995

5)Forman, R.T.T. : Road ecology: A solution for the giant embracing us, Landscape Ecology 13,pp.iii-v,1998

6)Forman, R.T.T. : Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge Univ. Pres, Cambridge.pp.145-178 ,1995

7)小菅敏裕・大西博文・小根山裕之：生物のハビタットとしての環境施設帯の利用に関する研究,土木学会　第 34 回環境工学フォーラム講演集,pp.121-123,1997

8)小菅敏裕・大西博文・小根山裕之：環境施設帯の鳥類による利用状況,第 22 回日本道路会議一般論文集(A),pp.108-109,1997

9)中西弘樹：種子は広がる-種子散布の生態学-　平凡社,1994

10)山辺正司：道路緑地の自然回復度の評価について,第 22 回日本道路会議一般論文集(A),pp.178-179,1997

11)今井亮子・大西博文・小根山裕之・川上篤史：道路のり面の越冬期の鳥類による利用状況,第 35 回環境工学フォーラム講演集,pp.102-103,1998

（５５）道路空間を活用したビオトープ整備手法に関する研究

-地表徘徊性昆虫の周辺緑地から道路の盛土のり面への侵入可能性の検討-

研究室名　交通環境研究室
氏　　名　今堀　るみ子

１．　はじめに

都市化により分断された生物の生息地を連結し、生息地間の交流を促進する生態系ネットワークを整備する必要性が指摘されている。生息地の分断による影響の程度は、保全対象となる生物の移動能力に依存するため、生態系ネットワークの整備にあたっては、この点をふまえた検討が必要である。

道路の盛土のり面は、都市部及び郊外部においては生物の生息空間として重要である。しかし、盛土のり面の脇には管理道（側道）が付随することが多く、幹線道路が併設されることもある。鳥類など移動能力の高い生物では、盛土のり面の利用が確認されており、側道による周辺緑地からのり面への移動阻害の影響は少ないと考えられる。しかし、移動能力の低い動物に対しては、側道が侵入の妨げになっている可能性がある。

当研究室では前年度、関越道の盛土のり面において、鳥類が盛土のり面を利用し、同時に鳥散布植物が侵入する状況について論じた[1]。しかし、沿道の最も近接した緑地から、移動能力の低い小動物が道路の盛土のり面へ侵入するかどうかについては検討しておらず、既存の知見も少ない。

そこで、本稿では、側道による分断の影響を受けやすい地表徘徊性の昆虫類を対象として、周辺緑地から盛土のり面へ侵入する可能性を検討した。

２．　調査内容・方法

２．１　調査対象

調査対象は、地表徘徊性の昆虫類とした。地表徘徊性昆虫とは、飛翔能力がない又は低く、通常地上を歩いて移動する昆虫類を指す。これには、オサムシ科が多く含まれる。

２．２　調査区間

調査区間は、茨城県内の常磐自動車道、那珂ＩＣ～土浦北ＩＣ間とした。この区間は、平地や丘陵地で農耕地としての利用が多い。土地利用の割合は、樹林が 13~30 %、農耕地が 38~67 %であった。

２．３　調査箇所の選定

調査箇所の選定は以下の順序で行った。常磐道の盛土のり面では、スギの植栽、沿道にはスギ・ヒノキ植林が多くみられるため、植生をスギまたはヒノキ植林に統一することとした。次に、調査区間の盛土のり面のうち側道を挟んで両側（盛土のり面・近接緑地）に樹林が形成されている場所を空中写真から抽出したのち、現地確認により植生の相観が類似した場所を 10 箇所抽出した。抽出箇所は、側道の幅員が、0m(なし)を２箇所、４ｍを６箇所、10ｍ以上を２箇所とした。 選定した調査箇所の

概況は表－１に示す。

表－1　調査箇所の概況

調査箇所	植生(植林)		側道幅員(m)	側溝数*1	面積(ha)		側道の交通量(台/h) *2	施工年
	のり面	近接緑地			のり面(斜幅 m)	近接緑地		
1	スギ	スギ	4	2	0.05(8.5)	11.3	3.0	
2	スギ	スギ	12.5	2	0.30(18.0)	5.4	606.7	
3	スギ	スギ	10	1	0.21(10)	2.9	1179.7	
4	スギ	スギ	4	2	0.16(17)	12.7	39.7	
5	スギ	スギ	4	1	0.18(16)	12.7	39.7	1984
6	スギ	ヒノキ	4	2	0.20(9)	2.5	6.7	
7	スギ	スギ	0	1	0.79(8)	20.7	0	
8	スギ	ヒノキ	4	1	0.74(13)	4	19.7	
9	スギ	ヒノキ	4	1	0.31(12)	3.8	22	
10	スギ	スギ	0	1	0.70(9)	0.4	0	

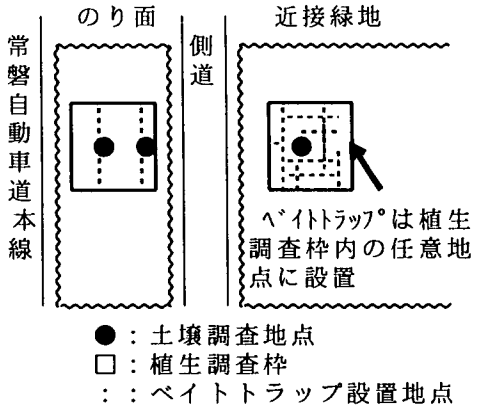
*1　片側のみ設置されている＝１,両側に設置されている＝２,
　蓋がある場合は、側溝は無いとみなした。
*2　平日 7:00 ～ 9:00 の任意の 90 分間調査。ﾊﾞｲｸは 0.5 台として加算。

２．４　地表徘徊性昆虫類の生息環境の把握

１）調査箇所の植物相と植生

昆虫類にとって植生は、住みかや餌の確保に関わる重要な要因である。よって、調査対象の生息環境を把握するために植生調査を行った。

調査は、植物社会学的手法 [2]に基づき実施した。植物社会学的手法とは、一定面積に生育する植物を高木層、草本層などの階層に区分し、各階層毎に、出現種、種ごとの被度（生育量）、群度（集合状態）を記録する方法である。階層は通常百分率であらわし、被度・群度は、生育・集合の割合に応じて５段階評価であらわす。



図－1　各調査箇所の地点位置

調査は、選定した調査箇所ののり面と近接緑地において、原則として群落高をを一辺とする（５×８～10 × 15m）調査枠を図－１のように設置して実施した。現地調査は 1999 年９月に実施した。

２）調査箇所の土壌

土壌条件は、生育する植物相に関係し、地表徘徊性昆虫の生息環境の要素のひとつである。

調査では、土壌硬度と乾湿、有機物（腐植）の堆積状況、土色、土性を記録した。

調査地点は、調査箇所毎にのり面２地点（のり尻、のり面中央付近）、近接緑地１地点を設置した（図－１）。土壌硬度は長谷川式土壌貫入計 [3]を用いて深さ約 60cm までを測定、その他の項目は深さ 20cm まで掘り下げて概要をその場で判定した。現地調査は 1999 年９月に実施した。

2.５　地表徘徊性昆虫類の生息状況の把握

調査対象とする昆虫類は、酢酸を用いたベイトトラップ（餌で誘引する落とし穴式の罠）[2]で捕獲し、種まで同定した。調査地点は、調査箇所ののり面内と近接緑地の両側に配置した。各調査地点においてベイトトラップをのり面内２地点（のり尻、のり面中央部）に各 10 個、近接緑地に 20 個を設

置した。設置範囲は、おおよそ植生調査の調査枠内とした（図－１）。現地調査は 1999 年９,10 月の２季、各季２晩連続して実施した。

２．６　のり面と近接緑地間の種の共通性

１）共通係数とは

共通係数は類似度指数ともいう。本報では Jaccard の共通係数[4]を用いた。Jaccard の共通係数は、２地点間の種構成について、共通の出現種数に基づき類似性を比較するためのものである。通常、ある地域の動物層の由来や、特徴を分析するために用いる[4]。２地点間の出現種が全て共通しているとき、共通係数の値は 1.0 で最大となる。

$$c.c = c/(a + b - c)$$

c.c　：Jaccard の共通係数（Coefficient community）
a , b ：比較する２地点各々の出現種数
c　　：共通出現種数

２）共通係数を用いた移動阻害の影響検証

本報では、地表徘徊性昆虫は周辺の樹林（近接緑地）からのり面に侵入し、定着していくと仮定した。のり面と近接緑地間を自由に往来できる場合には、両地点の共通種は増加するはずである。そこで、のり面内と近接緑地の各地点で、捕獲した昆虫類の共通係数を求め、側道の幅員と関連があるかを検討した。

ただし、捕獲した地表徘徊性昆虫類の中には飛翔可能な種も含まれる。したがって、飛翔能力がなく、移動・分散距離が限られているために、側道による分断の影響が顕著に現れると考えられるオサムシ科のみを抽出した検討もおこなった。

３．　調査結果および考察

３．１　地表性昆虫の生息環環境

１）調査箇所の植生

植生調査結果の概要を表－２に示す。のり面の植生は、群落高８～ 11m のスギ植林で、階層構造は２～３層であった。高木層の植被率は 60 ～ 80 %であり、亜高木・低木層は欠く地点が多かった。草本層の植被率は 20 ～ 80 %で、多くの地点でアズマネザサが優先していた。

近接緑地の植生は、群落高５～ 20 mのスギ植林またはヒノキ植林で、階層構造は３～４層であった。高木層の植被率は、80 ～ 90 %、低木層には森林性の木本が生育していた。草本層は植被率 30 ～ 80 %で、のり面と同様にアズマネザサが優先する箇所が多かった。

２）調査箇所の土壌環境

土壌調査結果を表－２に示す。土壌硬度は概ね柔らかい方から近接緑地、のり尻、のり面中央部の順であった。土壌水分は乾～湿の状態であった。腐植の含有量は、「富」の地点が多かった。

表－2　調査箇所の環境

調査箇所		群落名	植生環境 群落高(m)	植被率(%) 高木	亜高木	低木	草本	草本層主要種*1	出現種数	土壌環境*5 硬度*2	乾湿*3	腐植*4
1	のり面	スギ植林	9	70		5	60	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ、ｾｲﾀｶｱﾜﾀﾞﾁｿｳ	29	42/24	乾/乾	富/富
	近接緑地	スギ植林	18	80		5	80	ﾓﾐｼﾞｲﾁｺﾞ、ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ	34	18	半湿	富
2	のり面	スギ植林	8	70			50	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ	24	21/21	半湿/半湿	富/富
	近接緑地	スギ植林	20	80		30	40	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ、ﾊﾘｶﾞﾈﾜﾗﾋﾞ、ｷｻﾞﾀ	30	17	半湿	富
3	のり面	スギ植林	10	80			30	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ、ｽｽｷ、ﾍｸｿｶｽﾞﾗ	25	46/21	半湿/半湿	富/富
	近接緑地	スギ植林	20	80	20	5	60	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ	25	17	半湿	富
4	のり面	スギ植林	10	60		10	80	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ、ｾｲﾀｶｱﾜﾀﾞﾁｿｳ、ﾔﾌﾞｶﾗｼ、ﾋｶｹﾞｲﾉｺｽﾞﾁ、ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ	30	14/31	半湿/半湿	含/富
	近接緑地	スギ植林	20	90		5	80	ﾋﾅﾀｲﾉｺｽﾞﾁ	19	15	半湿	富
5	のり面	スギ植林	11	60		10	50	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ、ﾍﾞﾆｼﾝｸﾞ、ﾊﾘｶﾞﾈﾜﾗﾋﾞ	24	28/54	半湿/湿	含/富
	近接緑地	スギ植林	20	80		20	40	ﾈｽﾞﾐﾓﾁ、ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ	23	16	半湿	富
6	のり面	スギ植林	10	80		10	80	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ、ﾍﾞﾆｼﾝｸﾞ、ﾊﾘｶﾞﾈﾜﾗﾋﾞ、ｺﾁﾁﾞﾐｻﾞｻ	20	22/16	半湿/半湿	富/含
	近接緑地	ヒノキ植林	17	80		5	50	ｺﾁﾁﾞﾐｻﾞｻ	33	35	半湿	富
7	のり面	スギ植林	10	70		20	70	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ、ﾖｳｼｭﾔﾏｺﾞﾎﾞｳ、ｺﾁﾁﾞﾐｻﾞｻ	27	96/26	乾/乾	富/富
	近接緑地	スギ植林	15	80	5	20	50	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ	21	21	乾～半湿	富
8	のり面	スギ植林	10	80		10	60	ﾊﾘｶﾞﾈﾜﾗﾋﾞ、ﾋﾅﾀｲﾉｺｽﾞﾁ、ﾋｶｹﾞｲﾉｺｿｽﾞﾁ、ｺﾁﾁﾞﾐｻﾞｻ、ｽｽｷ	26	49/30	乾/半湿	富/富
	近接緑地	ヒノキ植林	15	80		30	50	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ、ﾊﾘｶﾞﾈﾜﾗﾋﾞ	23	17	半湿	富/富
9	のり面	スギ植林	10	80		50	40	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ	23	76/36	乾/乾	富/富
	近接緑地	ヒノキ植林	15	80	5	20	60	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ	14	31	乾	富
10	のり面	スギ植林	9	80		10	20	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ	31	53/15	乾/乾	富/富
	近接緑地	スギ植林	20	80	40	5	30	ｱｽﾞﾏﾈｻﾞｻ	25	34	乾	富

*1 草本層主要種：層本層被度1以上で出現した種

*2 土壌硬度：長谷川式土壌貫入計での積算貫入量がになるまでの打撃回数．値が大きい程硬い．

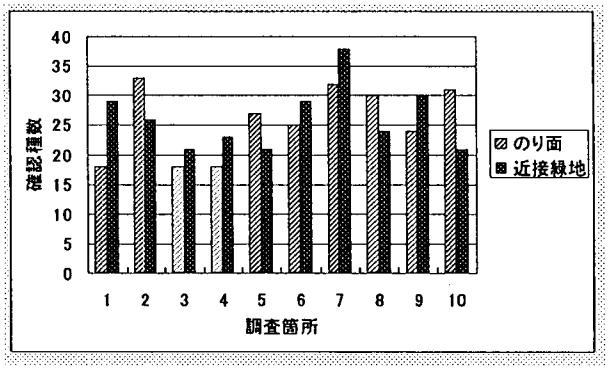
*3 乾湿：乾　土塊を強く握っても、手のひらに全然湿り気が残らない。
半湿　土塊を強く握ると手のひらに湿り気が残る。
湿　土塊を強く握ると手のひらは濡れるが、水滴は落ちない。

*4 腐植：腐植含量＝含む(2～5%)、富む5～10%
土色(明度)＝やや暗色(4～5)　黒色(2～3)

*5 土壌は、のり面では中央部とのり尻部で調査．表中の表示は、中央部/下部

3．2　地表徘徊性昆虫類の生息状況

ベイトトラップにより、各調査箇所で捕獲した種数を、図－2に示す。のり面では 18 ～ 32 種、近接緑地では 21 ～ 38 種を確認した。調査箇所中、No. 2，5，8，10 では、隣接緑地の確認を上回る種数を確認した。本調査で捕獲した昆虫類の優先種を表－3に示す優占種は、一般に樹林の林床に生息する種[5)6)7)]が大半を占めた。



図－2　地表徘徊性昆虫類の確認状況

表－3 昆虫類確認種(優占種)

調査箇所	*1	*2	のり面	*1	*2	近接緑地
1			なし	○	安	クロツヤヒラタゴミムシ
				○	森	マルガタツヤヒラタゴミムシ
2	○	安	マルガタツヤヒラタゴミムシ	○		トウホククロナガオサムシ
				△		オオヒラタシデムシ
3	○		モリオカメコオロギ	○		クロナガオサムシ
				○		トウホククロナガオサムシ
				○		アズマオオアリ
4			なし	○		トウホククロナガオサムシ
				○		モリオカメコオロギ
				○		アズマオオアリ
5	○		モリオカメコオロギ	○		エサキオサムシ
	○		エサキオサムシ			クチキムシ
6	○		クロナガオサムシ			クロナガオサムシ
	○		マルキマダラケシキスイ	○		クチキムシ
						アズマオオアリ
7	○	森	オオクロツヤヒラタゴミムシ	○	森	オオクロツヤヒラタゴミムシ
	○		ツヅレサセコオロギ	○		クロナガオサムシ
8	○		クロナガオサムシ	○	森	オオクロツヤヒラタゴミムシ
	○	森	オオクロツヤヒラタゴミムシ	○		クロナガオサムシ
9	△		スズムシ	○		クロナガオサムシ
	○		クロナガオサムシ	○	森	オオクロツヤヒラタゴミムシ
10	○		モリオカメコオロギ	○		モリオカメコオロギ
	○	森	オオクロツヤヒラタゴミムシ	○	森	クロツヤヒラタゴミムシ

*1　○：樹林性　△：草地性

*2　安：安定環境の指標種、森：森林性生息種（石谷 1996）[8)]

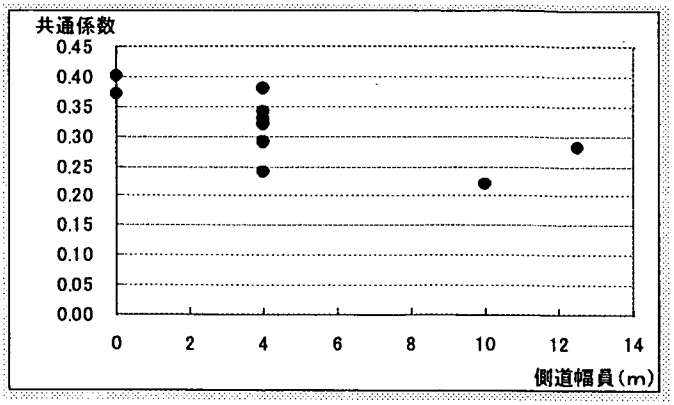
オサムシ科甲虫の環境指標性については、石谷による広島県における研究[8)]が知られている。これを引用すると、本調査で確認したマルガタツヤヒラタゴミムシ、クロツヤヒラタゴミムシ、オオクロツヤヒラタゴミムシは攪乱から時間の経過した安定環境の指標種であり、マルガタツヤヒラタゴミムシ、クロツヤヒラタゴミムシ、オオクロツヤヒラタゴミムシは森林性生息種であるとの結論である。本調査のり面では、一般に森林性とされる種が多いこと、森林性指標種が優先種として出現していることから、のり面の生息環境は比較的安定しており、

森林性の種の生息空間としても機能していることを確認した。

３．３　のり面と近接緑地間の共通性と側道による移動の阻害

１）地表徘徊性昆虫類の側道による分断の影響

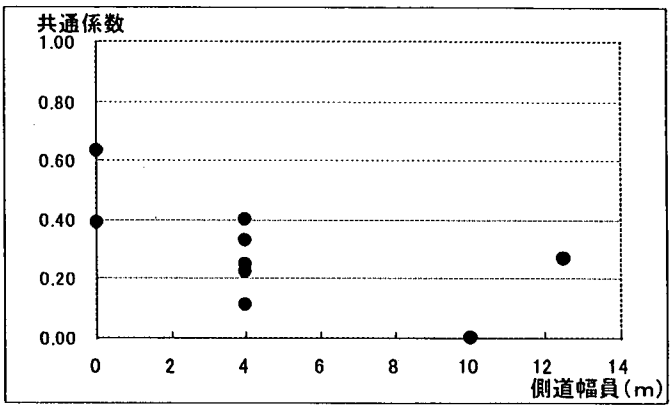
捕獲した全昆虫類について、共通係数を求め、側道の幅員との関係を整理した結果を図－３に示す。側道の幅員が大きくなるにつれ、共通係数の値は低下した。側道の幅員が増すに連れて昆虫の移動が阻害されているといえる。地表徘徊性昆虫類全般では、飛翔能力のある種が含まれていることは留意しなければならない。



図－３　地表徘徊性昆虫類の共通係数と側道の幅員との関係

２）オサムシ科昆虫の側道による分断影響

捕獲した昆虫類のうち、オサムシ科のみの共通係数を側道の幅員ごとに整理した（図－４）。側道の幅員が増すに連れ共通係数が低下し、図－３と比較して減少の勾配が急であることがわかった。特に、幅員 10m 超えると移動は困難であるが、幅員４ｍではのり面への侵入は可能であることがわかった。これらのことから、道路の盛土のり面をオサ

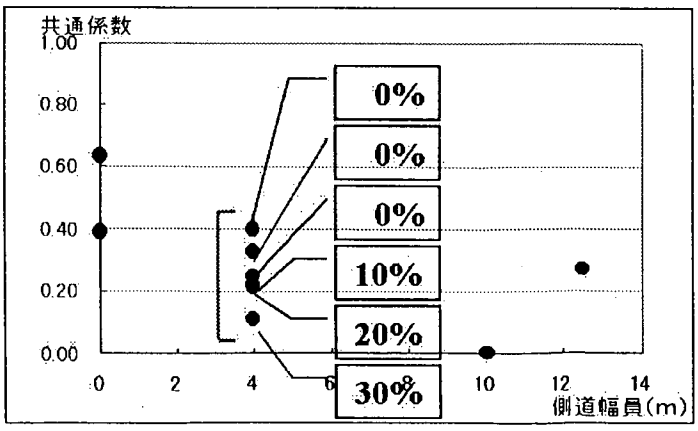


図－４　オサムシ科昆虫の共通係数と側道の幅員との関係

盛土のり面をオサムシ科昆虫類の生息空間や生態的回廊として利用する場合、側道の幅員によって整備が困難になると考えられる。

４．　高木層の植被率が共通係数におよぼす影響と盛土のり面整備の方向性

オサムシ科昆虫類の通係数をみると、幅員４ｍの側道がある調査地点において、のり面と近接緑地間の共通係数にばらつきがあることがわかる（図－５）。この原因を植生や土壌環境などの生息環境に由来するものと考え整理した。その結果、盛土のり面と近接緑地の高木層の植被率の差（近接緑地の高木植被率－盛土のり面の高木植被率）が小さいほど共通係数が高くなる傾向がみられた。この理由の一つとして、近接緑地と同質な生息環境を持つ盛土のり面へ侵入したオサムシ科の昆虫が、そこに定着する可能性が考えられる。



図－５　高木植被率と共通係数との関係（幅員4mの側道の場合）

□：高木層植被率の差(%)＝近接緑地－盛土のり面

なお本調査結果からは草本相の植被率と共通係数との間には関係は認められなかった。

5．　おわりに

本研究は、側道が移動能力の低い地表徘徊性昆虫類の移動阻害の要因となるかを確認することを目的とた。道路の盛土のり面と近接緑地間の生息種を共通係数を用いて分析することにより、側道による分断の影響を把握した。その結果明らかになったことは以下のとおりである。

(1) 地表徘徊性昆虫類全般、オサムシ科昆虫類共に、側道の幅員が増すにつれ種の共通性が低下し、側道が移動阻害の要因となっていた。この傾向は、飛翔能力の無いオサムシ科の昆虫類で顕著になる。

(2) ４m幅員の道路であれば、オサムシ科の昆虫類が盛土のり面に侵入する可能性が高い。また、植生を同質にすることにより、のり面に移動してきた地表徘徊性昆虫類の定着率を高められる可能性がある。

(3)交通量も多い 10m 幅員の道路では、オサムシ科昆虫の侵入は困難になる傾向がある。

謝　辞

本研究の遂行にあたり、交通環境研究室の大西博文室長、上坂主任研究員、小根山裕之元研究員には終始丁寧なご指導をいただき、川上篤史技官ならびに交通環境研究室の皆様には多大なるご支援をいただきました。緑化生態研究室の須田真一研究員にはオサムシ科昆虫の生態に関する知見をご教示いただきました。また、調査フィールドを提供いただいた日本道路公団水戸・谷和原管理事務所の皆様、調査解析にご協力いただいた関係者の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

1)川上篤史、小根山裕之他　植物の生育場所としてみた道路のり面ろビオトープネットワークについて(1999)　環境工学研究フフォーラム講演集　pp103-105

2)自然環境アセスメント研究会(1995)　自然環境アセスメントマニュアル pp187-194,308

3)長谷川秀三他(1984)　土壌貫入計による緑化地土壌の三次元的把握法造園雑誌47(5),pp85-89

4)財団法人 自然環境研究センター編(1996)野生生物調査法ハンドブック

5)原色日本甲虫図鑑(Ⅰ～Ⅳ)(1986)保育社

6)原色日本昆虫図鑑(下)(1977)保育社

7)原色昆虫大図鑑　第3巻　(1965)北隆館

8)石谷正宇(1996)環境指標としてのゴミムシ類(甲虫目:オサムシ科、ホソクビゴミムシ科)に関する生態学的研究　比和科学博物館研究報告　第34号

（５６）路面排水が公共用水域に及ぼす影響

（凍結防止剤の散布による水質変化と水生生物への影響）

研究室名　交通環境研究室
氏　　名　大　野　順　通

１．はじめに

道路交通の安全を確保するため、路面凍結のおそれがある箇所では凍結防止剤が散布される。この凍結防止剤は、路面上の水分に溶解することで、凝固点降下により凍結することを防止している。道路管理に用いる凍結防止剤としては数種のものがあるが、安価で入手しやすい塩化ナトリウムや塩化カルシウムが多く用いられている。

散布した凍結防止剤は、溶解した後、路面の水分とともに道路外に流出し、下水道が整備されていない箇所では直接公共用水域へ流入する。塩化物イオン濃度は、一般的に毒物的な働きをしないことから、公共用水域の水質基準や排水基準等で規定されてはいない。しかし、淡水域の水生生物は塩化物イオンの濃度が高くなると、影響が生ずることが報告されている。[1) 2)]

本研究では、凍結防止剤が流入する公共用水域及びその周辺において、塩化物イオン濃度を調査し、凍結防止剤が水生生物に及ぼす影響について検討した。

２．調査方法

凍結防止剤の流入による公共用水域の水質変化を把握するため、凍結防止剤が散布される道路近傍の河川で、凍結防止剤の主成分である塩化物イオン濃度を測定した。調査は、凍結防止剤の流入によって塩化物イオン濃度が変化しやすいと考えられる小河川で行った。調査箇所は表１に示すとおりである。

各河川における測定地点は図１に示すとおり、流入地点上流（地点Ａ）、流入地点近傍（地点Ｂ）、流入地点下流（地点Ｃ）の３箇所で行った。測定は２カ月間行い、調査期間中に塩化物イオン濃度の分析を各地点で５回ずつ行った。また、塩化物イオン濃度の分析を行った地点で電気伝導率を期間中連続して測定し、同じ時間に分析した塩化物イオン濃度との関係から、塩化物イオン濃度の経時変化を算出した。

表１　調査箇所

番号	市町村名	河　川　名
1	新潟県湯沢町	信濃川水系　魚野川
2	宮城県仙台市	名取川水系　広瀬川
3	新潟県朝日村	大須戸川水系米ヶ沢
4	北海道札幌市	石狩川水系　清田川

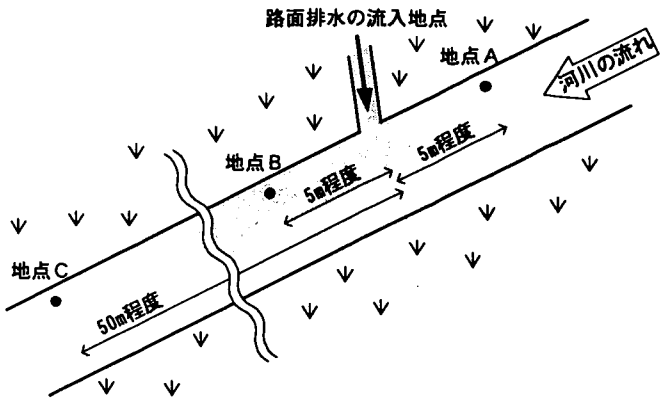


図１　塩化物イオン濃度及び電気伝導率測定地点

3．調査結果及び考察

3．1　塩化物イオン濃度と電気伝導率との関係

いずれの河川でも、電気伝導率と塩化物イオン濃度とは図２に示すような比例関係であることが確認された。また、近似式との相関係数は４河川とも0.95以上で、対象とした河川では塩化物イオン及びそれと対をなすナトリウムイオン以外のイオン濃度変化は小さいと考えられる。

よって以降の検討では、各河川における塩化物イオン濃度と電気伝導率との関係から、連続調査で得られた電気伝導率を塩化物イオン濃度へ換算した値を示す。

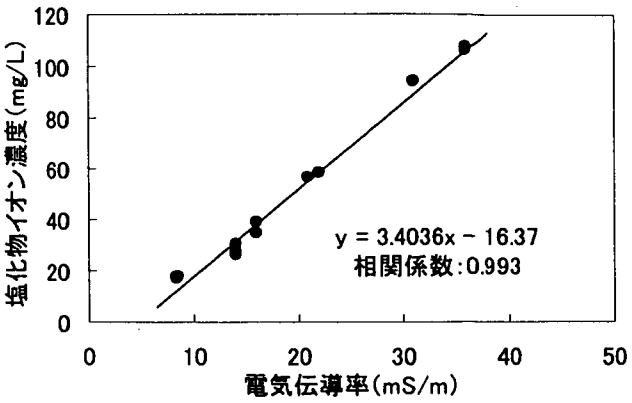
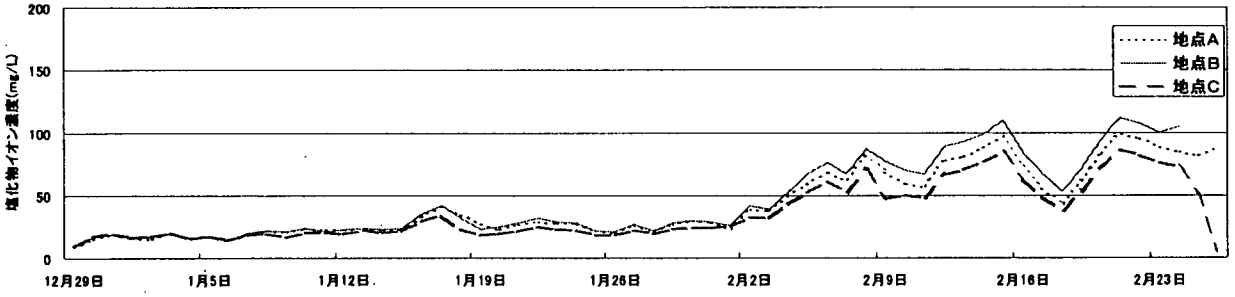


図２　電気伝導率と塩化物イオン濃度との関係（調査箇所２）

3．2　連続調査結果

電気伝導率から算出した塩化物イオン濃度の経時変化を図３に示す。塩化物イオン濃度は、上流の地点Ａより流入地点近傍の地点Ｂのほうが濃度が高く、凍結防止剤の流入による塩化物イオン濃度の上昇が認められた。しかしながら、下流の地点Ｃでは、濃度は低下しており、流入した塩化物イオンは速やかに拡散・希釈されることが明らかになった。

調査箇所１



調査箇所２

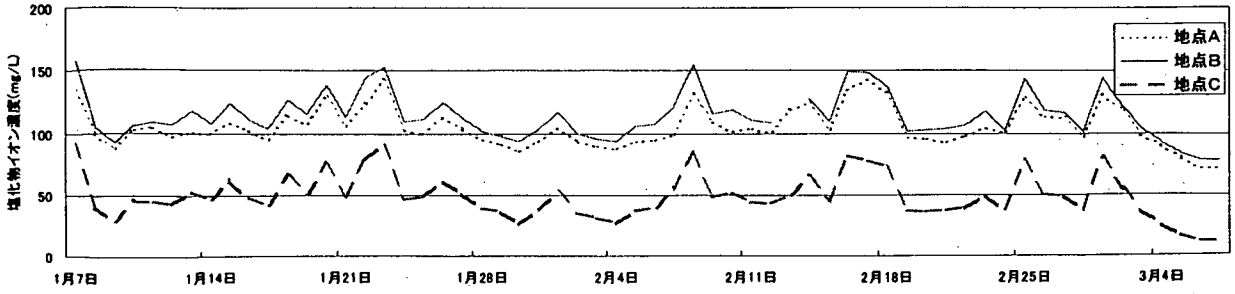


図３　凍結防止剤流入地点近傍とその上流及び下流における塩化物イオン濃度の経時変化

調査箇所２の地点Ｂで行った横断方向の測定結果から右式に基づき、塩化物イオン濃度分布の変化を算出した。

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{4\pi Kx} exp\left[-\frac{U(y^2+z^2)}{4Kx}\right]$$

ここで、
C：拡散物質の濃度
Q：単位時間当たりに放出される物質量
U：流速
K：拡散係数
x：流下方向の距離
y：横断方向の距離
z：水深方向の距離

流入地点から５ｍ下流の地点Ｂで測定した塩化物イオン濃度は、凍結防止剤が流入する側と対岸側とで大きな差が生じている。計算値は、この傾向を再現しており、値もほぼ一致している。また、下流側では、流下するとともに横断方向の濃度差が減少し、流入地点から50m下流の地点Ｃ付近に至ると流入した塩化物イオンは希釈・拡散が進み、概ね均一となる結果が得られた。

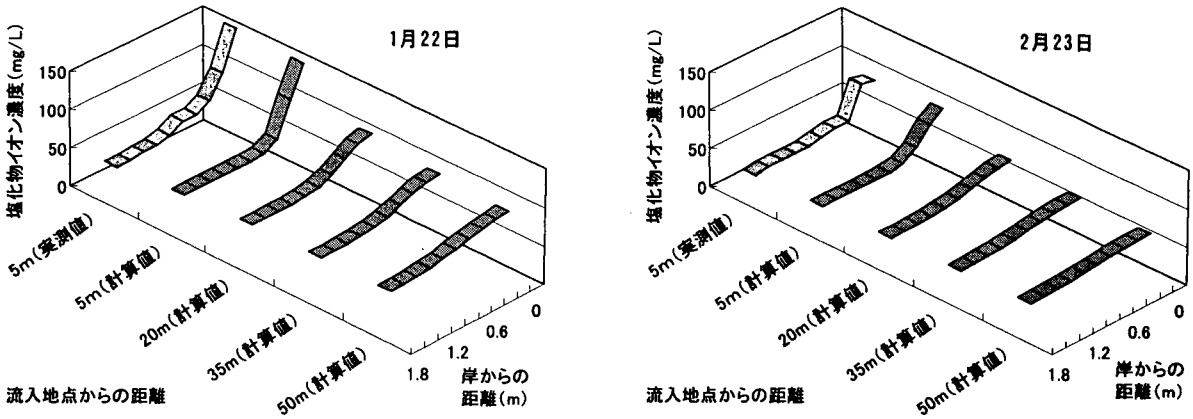


図４　塩化物イオン濃度分布算出結果（調査箇所２）

３．３　水生生物への影響

水生生物への影響を検討するため、既往の研究から得られた、水生生物の塩化物イオン濃度に対する許容濃度を整理した。なお、以下に示した許容濃度は、50％致死濃度の1/10の濃度で３週間飼育した限りでは異常な所見が全くみられなかったとの報告があることから[1]、塩化ナトリウムの50％致死濃度の1/10として算出した。

表２　水生生物の塩化物イオン濃度に対する許容限度等

水生生物	許容濃度（Cl^-）	50％致死濃度(NaCl)	参考文献
ニジマス	1,060 mg/L	17,500 mg/L	1)
コイ、ドジョウ	850 mg/L	14,000 mg/L	2)
ヒメダカ	1,150 mg/L	19,000 mg/L	
ミジンコ類	350 mg/L	5,700 mg/L	

連続調査で最も高い濃度が得られた流入地点近傍のＢ地点における塩化物イオン濃度の出現時間割合を図５に示す。なお、ミジンコ類は水温が低下すると耐久卵となるが、文献から得られた許容限度が最も低いため参考値として図中に記載してある。

流末近傍の塩化物イオン濃度でも、ほとんどは100mg/L以下の範囲内にあり、水生生物の許容濃度と比べ小さい値であることがわかる。今回の４河川で行った60日間の調査では、ミジンコ類の許容限度である350mg/Lを超えたのは１河川のわずか10時間（総測定時間が全河川で約5570時間）で、それらも瞬間的に出現するだけであった。

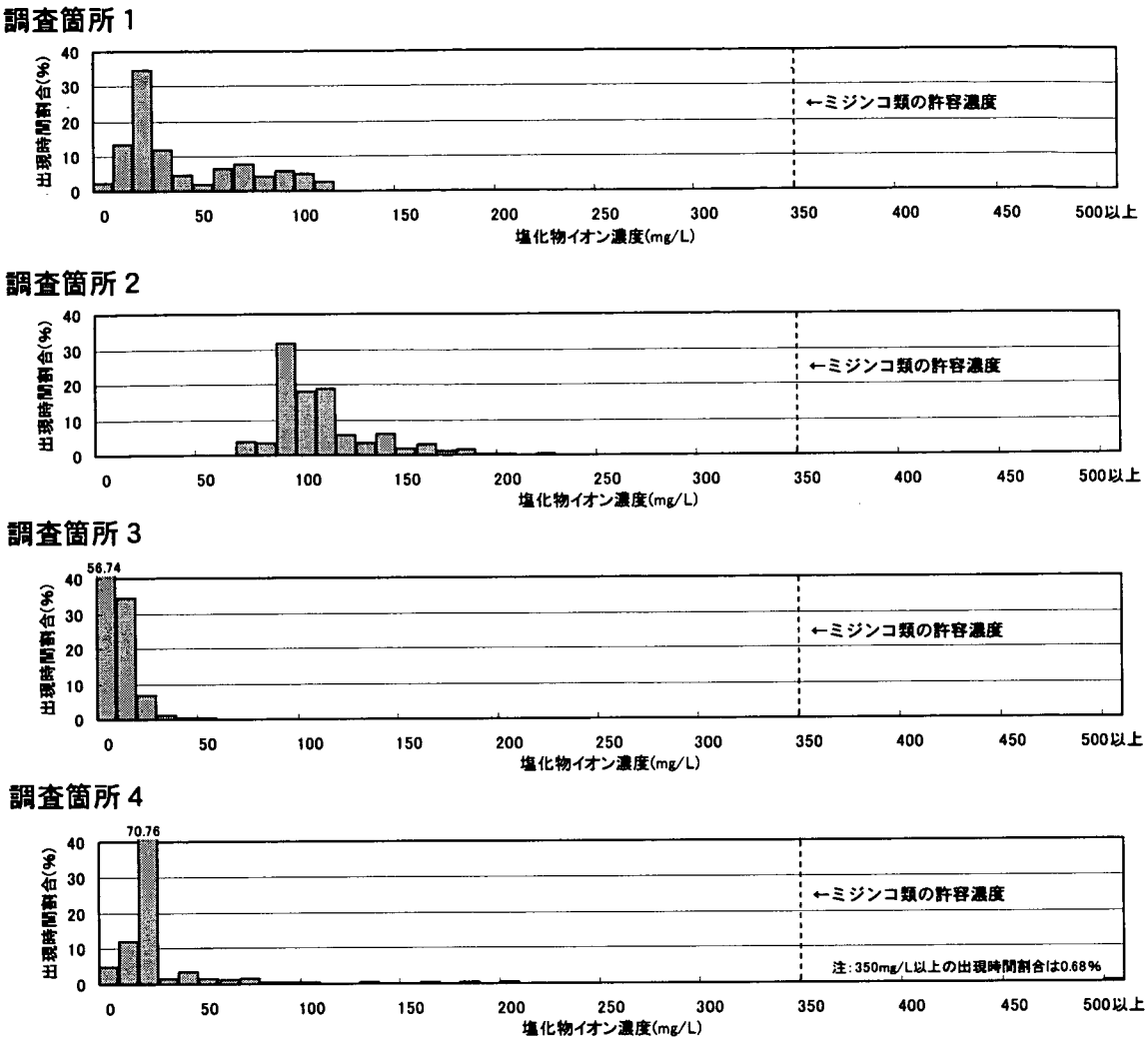


図５　凍結防止剤流入地点近傍における塩化物イオン濃度の出現時間割合

４．おわりに

本調査の結果、凍結防止剤の主成分である塩化物イオンは、河川に流入すると速やかに拡散・希釈することが確認された。また、河川中の濃度は、調査を行った小河川の凍結防止剤流入地点近傍においても、水生生物の許容濃度を超過するような値はほとんどみられなかった。

ただし、本調査は４河川での単年度調査であることから、水生生物への影響を検討するため、より多くの知見を収集することが望まれる。

５．謝　辞

本研究の遂行にあたり、多大なるご指導、ご支援を頂いた交通環境研究室の大西博文室長、山田俊哉主任研究員並びに交通環境研究室の皆様と、調査解析にご協力いただいた関係者の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

1.凍結防止剤の魚類ニジマスに対する影響報告書（1985年　日本道路公団試験所）

2.水生生物と農薬 急性毒性編（1978年　田中二良編集）

4.4　その他の研究

（５７）都市域における路面排水汚濁負荷流出量

建設省土木研究所　○大野順通　山田俊哉　大西博文
新日本気象海洋株式会社　植村圭司

1 はじめに

道路路面には、降下したばいじんの他、走行する自動車の排気ガスに含まれる粒子状物質やタイヤ及び舗装の摩耗くずなどが堆積している。路面排水とは、道路に降った雨水が、公共用水域や下水道に流出したもので、堆積物を洗い流すため、路面排水の汚濁物質濃度は雨水より高くなる。特に、路面排水の濃度は降雨初期に高くなることが知られており、排水基準の適応を受けるものではないものの、浮遊物質量濃度などは基準値を上回ることもある。

近年、工場などポイント汚染源からの汚濁負荷は、規制や対策技術の進歩により減少傾向にある。よって、路面排水などノンポイント汚染源による汚濁負荷の、汚濁負荷全体に占める比重が高まっていると考えられる。公共用水域の水質を改善するためには、路面排水についても、何らかの対策を講じることも考えられるが、路面排水の汚濁負荷を、定量的に把握した現地調査の事例は少ない。本研究では、国道及び高速道路において路面排水実態調査を実施し、得られたデータから、流域全体に占める路面排水の汚濁負荷の割合について試算した。

2 路面排水実態調査

2.1 調査方法

雨水ますに流入する直前の路面排水を、所定の時間間隔で採水し、汚濁物質濃度を分析した。分析項目は、鉛及びその化合物、生物化学的酸素要求量、化学的酸素要求量、浮遊物質量、ノルマルヘキサン抽出物質とした。

調査時間は、路面排水の流出開始時から2時間とし、採水を1時間以内が10分間隔で、以降が20分間隔で行った。同時に、降雨開始からの採水終了までの降雨強度を、10分間隔で測定した。調査は、5地点で行い、1地点につき2降雨を対象とした。調査地点の概要は表-1に示す通りである。

表-1　路面排水実態調査地点の概要

地点	構造	車線数	集水面積	日交通量	大型車混入率	舗　装
Ⅰ	平面	6車線	249 ㎡	70094 台	16.9 %	排水性舗装
Ⅱ	盛土	6車線	1728 ㎡	120719 台	32.2 %	密粒ｱｽﾌｧﾙﾄ
Ⅲ	盛土	4車線	351 ㎡	61272 台	47.5 %	排水性舗装
Ⅳ	高架	4車線	2222 ㎡	98231 台	30.3 %	排水性舗装
Ⅴ	切土	2車線	1625 ㎡	22310 台	16.8 %	密粒ｱｽﾌｧﾙﾄ

2.2 調査結果

項目別水質の経時変化は、図-1に示す通りである。

調査の結果、いずれの項目の濃度も、ほとんどが参考値とした排水基準値を大きく下回っていた。鉛及びその化合物、浮遊物質量、ノルマルヘキサン抽出物質含有量については排水基準を上回る値も見られたが、これは一部の地域の降雨初期のみに限定されていた。

また、汚濁物質の濃度は、総じて降雨初期に高く、時間の経過に伴って減少する傾向がみられ、路面の堆積物が降雨開始とともに速やかに洗い流されるファーストフラッシュ現象が確認された。

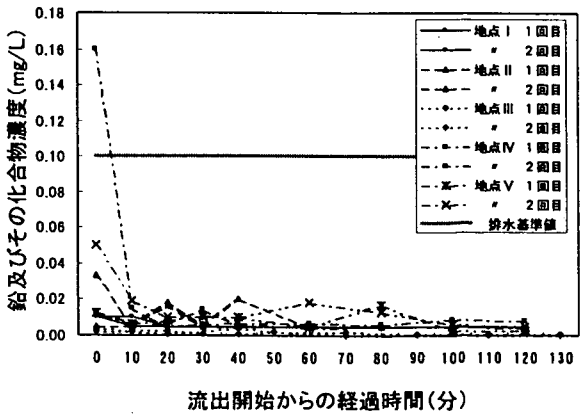


図-1(1)　項目別水質経時変化（鉛及びその化合物）

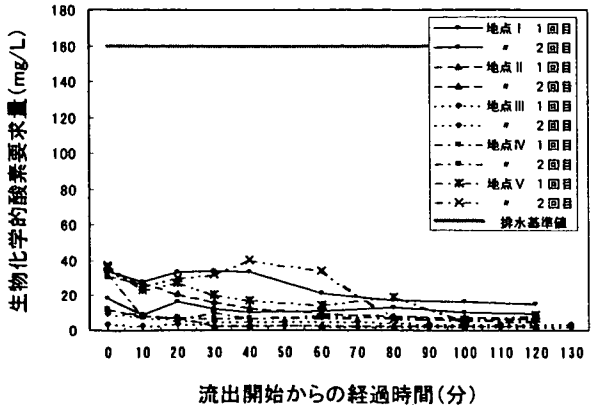


図-1(2) 項目別水質経時変化（生物化学的要求量）

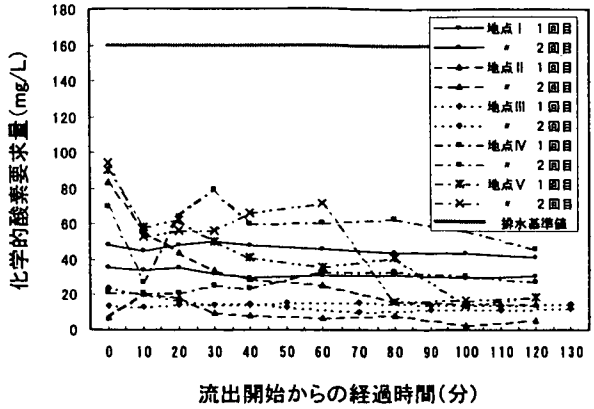


図-1(3) 項目別水質経時変化（化学的酸素要求量）

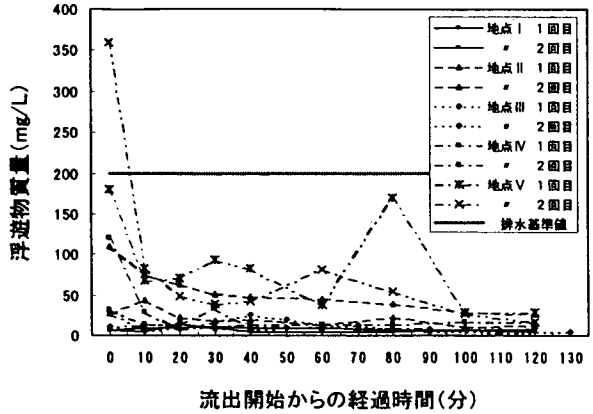


図-1(4) 項目別水質経時変化（浮遊物質量）

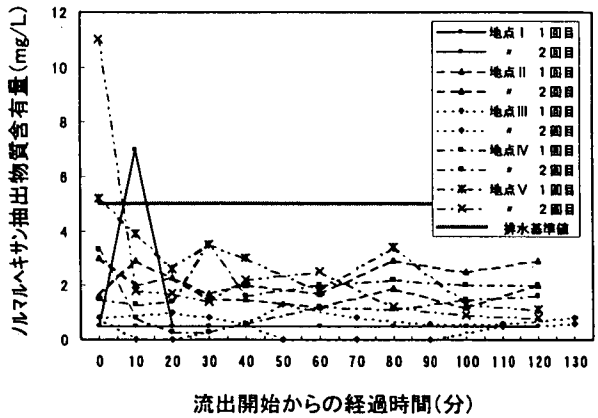


図-1(5) 項目別水質経時変化（ﾉﾙﾏﾙﾍｷｻﾝ抽出物）

3 流域全体に占める路面排水の汚濁負荷の割合の試算

3.1 試算方法

汚濁負荷量割合の試算は、東京23区の下水処理場に流入する地域を対象とし、下水処理場に流入する汚濁負荷量と、実態調査から得た路面排水による汚濁負荷量とを比較することで行った。

路面排水の汚濁負荷量は、実態調査を基に決定した汚濁負荷流出係数および汚濁物質堆積量と、東京管区気象台における平成8年のアメダスデータから求めた。

汚濁負荷流出係数及び汚濁物質堆積量は、汚濁負荷流出係数が汚濁物質堆積量および降雨流出係数に比例するとした式1と、汚濁物質堆積量と汚濁負荷流出量とのマスバランスが保たれるとした式2に従うと仮定し、実態調査の結果から最小二乗法を用いて決定した。

各調査毎に、汚濁負荷流出係数および汚濁物質堆積量と東京管区気象台のアメダスデータから、式1および式2を用いて、地点毎の年間汚濁負荷量を算出した。各調査の年間汚濁負荷量の平均値と、東京23区の下水処理場に流入する地域の道路面積との積を、路面排水による汚濁負荷量とした。なお、路面排水の降雨流出係数は、0.8とした。

下水処理場に流入する汚濁負荷量は、「東京都下水事業年報」（東京都下水道局）記載の処理場に流入する下水の水質濃度と、年間処理水量の積とした。

$$L_t = k \cdot S_t \cdot r \cdot I_t \quad \cdots\cdots\cdots \quad 式1$$

$$S_t = S_0 - \int L_t \, dt \quad \cdots\cdots\cdots \quad 式2$$

L_t：汚濁負荷流出量（g/m²·10min）
k ：汚濁負荷流出係数（1/mm）
S_t：汚濁物質堆積量（g/m²）
r ：降雨流出係数（-）
I_t：降雨量（mm/10min）
（添え字は降雨開始からの時間を表す。）

3.2 試算結果

路面排水と、東京23区下水処理区域の下水処理場における処理前後の下水の平均汚濁物質濃度との比較は表-2に示す通りである。

路面排水の平均汚濁物質濃度は、下水処理場に流入する処理前濃度と処理後濃度との間にあるが、処理前の濃度より、処理後の濃度に近い値であった。

路面排水の汚濁負荷量と流域全体に占める路面排水の汚濁負荷割合の試算結果は、表-3に示す通りである。

路面排水の単位面積あたりの汚濁負荷量は、東京23区下水処理区域の単位面積あたりの汚濁負荷量と比較すると、10分の1から100分の1程度であった。路面排水による総負荷量は東京23区の下水処理場に流入する総負荷量の1％前後であった。

表-2　路面排水と下水処理前後の汚濁物質濃度比較

単位：mg/l

項目	路面排水	東京23区下水処理区域	
		処理前	処理後
鉛及びその化合物	0.011 (0.001～0.017)	0.01 (0.01～0.04)	0.01 (0.01～0.01)
生物化学的酸素要求量	13.6 (2.8～31.0)	163 (101～295)	3 (1～ 5)
化学的酸素要求量	31.9 (7.4～62.1)	464 (226～825)	12 (8～16)
浮遊物質量	53.5 (6.0～93.2)	131 (68～164)	3 (1～ 7)
ﾉﾙﾏﾙﾍｷｻﾝ抽出物資	2.17 (0.53～3.28)	27 (17～42)	1 (1～ 1)

注：括弧内に、路面排水の調査地点別または下水処理場別の最小値から最大値までの範囲を記載した。

表-3　路面排水の負荷量と流域全体に占める路面排水の汚濁負荷割合

項目	単位面積負荷量（g/m²/year）注1		総負荷量（t/year）注2		路面負荷率（%）	道路面積率（%）
	東京23区下水処理区域	路面排水	東京23区下水処理区域	路面排水		
鉛及びその化合物	0.04 (0.01～0.11)	0.0040 (0.0004～0.0118)	24.14	0.38	1.6	16
生物化学的酸素要求量	463 (226～825)	5.87 (1.41～11.11)	276575	552	0.2	
化学的酸素要求量	239 (128～582)	24.4 (7.1～65.9)	142317	2294	1.6	
浮遊物質量	373 (197～851)	14.5 (2.5～51.5)	222371	1363	0.6	
ﾉﾙﾏﾙﾍｷｻﾝ抽出物資	77 (37～173)	1.18 (0.04～2.90)	45854	111	0.2	

注1：単位面積負荷量の括弧内に、下水処理場別または路面排水調査地点別の最小値及び最大値を記載した。
注2：総負荷量は、単位面積負荷量に下水処理区域面積（596.170km²）または道路面積（94.015km²）を乗じた値である。

4 おわりに

本研究では、路面排水による汚濁負荷量が、下水処理場に流入する総負荷量の1％前後であるとの結果が得られた。この値は、総負荷量の3割程度が面源からのノンポイント汚染によるものとの報告があることや、対象とした地域の面積のうち約16％が道路であることを考慮すると小さい値と考えられる。調査対象とした降雨の多くは1mm/h前後と降雨強度が弱く、負荷流出係数が低く見積もられていることも考えられる。路面排水による汚濁負荷を、より高い精度で把握するためには、今後より多くの知見を収集する必要がある。

5 参考文献

1)　岡田光正：非特定汚染源による水質汚濁の現状，用水と排水，Vol.32，pp.857-863，1990

（５８）路面排水実態調査の結果について

建設省土木研究所　○植村圭司
同　山田俊哉
同　大西博文

１．はじめに

雨天時の道路からの排水は、路面排水と呼ばれている。この路面排水は、自動車の排ガス成分やタイヤの摩耗屑、アスファルト由来の汚濁物質を含んでおりこの汚濁物質が公共用水域に流入すると、生活環境や自然環境へ影響を与えることが懸念されている。そこで、平成１０年度に、主な国道等で路面排水の汚濁物質濃度の実態を把握する現地調査を実施した。本稿では、この現地調査結果を示し、路面排水の環境へ及ぼす影響を検討したので報告する。

２．路面排水実態調査方法

(1)調査項目及び調査方法

調査は、路面排水を採水しその水質濃度を測定する現地調査と、測定地点や測定時点の状況を把握する関連情報調査の２つから構成されている。それぞれの調査項目及び調査方法を表－１に示した。現地調査は、排水基準及び環境基準等が指定されている項目（45 項目）について調査を実施する一般調査と、比較的高い濃度になると考えられている項目（７項目）について調査を実施する重点調査とした。

表－１　路面排水実態調査の項目と方法

調査の種類	調査項目			調査方法
水質調査	一般調査	①路面排水の水質測定（４５項目）* ②雨水の水質測定	採水回数 ２回	採水：集水域からの路面排水が雨水桝に流入する直前。 る総理府令の規定に基づく環境庁長官が定める排水基準に係る検定方法」に準拠。その他の項目については「工場排水試験方法」及び「工業用水試方法」に準拠。
	重点調査	①路面排水の水質測定（　７項目）** ②雨水の水質測定 ③１０分間降水量の測定	採水回数 ９回	
関連情報調査	④気象　⑥沿道の状況 ⑤道路の状況　⑦交通量			

* 水質分析は、排水基準及び環境基準に指定のある項目。
** 鉛及びその化合物、水素イオン濃度、ＢＯＤ、ＣＯＤ、ＳＳ、ｎ－ヘキサン抽出物質、溶解性鉄含有量

一般調査は、路面排水流出開始から 2 時間以内に２回採水を行う。 重点調査は、路面排水流出開始から２時間以内に９回（降雨開始１時間以内は、10 分毎に採水し、その後は 20 分毎）とした。両調査ともファーストフラッシュと言われる高濃度の初期排水も採水するようにした。

(2)現地調査地点の選定

現地調査地点は、道路構造、舗装の種類、沿道の土地利用を考慮して、８点選定した。表－２に調査地点の道路条件と沿道状況を示した。

表－２　調査地点の道路条件

地点	調査方法	道路条件					交通量（台／日）	採水地点周辺の状況
		道路種別	道路構造	車線数	舗装種類	遮音壁の有無		
A	一般調査	高速道路	高架	4	密粒舗装	有り	96,067	人口集中地区
B		一般国道	盛土	4	密粒舗装	無し	31,935	山地部
C		一般国道	平面	3	密粒舗装	無し	15,735	平地部
D	重点調査	一般国道	平面	6	排水性舗装	無し	70,094	人口集中地区
E		高速道路	盛土	6	密粒舗装	無し	120,719	平地部
F		一般国道	盛土	4	排水性舗装	有り	61,272	山地部
G		高速道路	高架	4	排水性舗装	無し	98,231	人口集中地区
H		一般国道	切土	2	密粒舗装	無し	22,310	平地部

３．実態調査結果

路面排水は、水質汚濁防止法（昭和 45 年 12 月 24 日法律第 138 号）に定められる排水基準で規制される

ものではないが、ここでは参考として排水基準と比較した。

(1)一般調査の結果

４５の一般調査項目のうち人の健康に係る有害物質（重金属類及び有機塩素系化合物）は、鉛及びその化合物を除いて３地点とも定量下限値以下の濃度であった。また、鉛及びその化合物は、参考とする排水基準を下回っていた。一方、比較的高い濃度となった項目とその濃度を表－３に示す。ＢＯＤ、ＣＯＤはＡ地点でやや高い濃度となったが、いずれも排水基準を下回っていた。また、ＳＳは、Ｂ地点で排水基準をわずかに上回る値であった。ｎ－ヘキサン抽出物質は、Ａ地点の路面排水の流出開始後 60 分以降に、排水基準をわずかに上回っていた。

以上より、人の健康に係る有害物質及び生活環境に係る指標となる物質は、定量下限値以下または排水基準より低い濃度であり、環境に影響を及ぼすほどの濃度を示す汚濁物質はないと考えられる。しかし、ＳＳ、ｎ－ヘキサン抽出物質が、一部の地点で若干高い濃度を示しており、さらにデータを蓄積して検討することが望まれる。

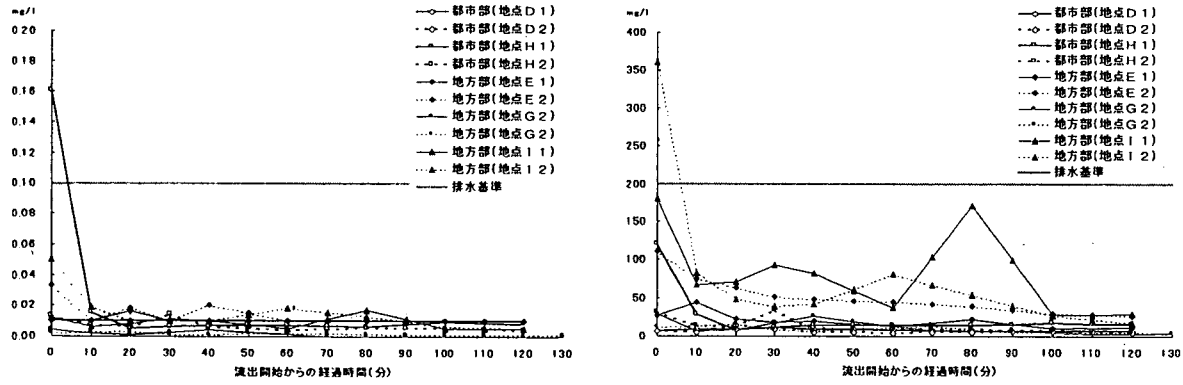
表－３　一般調査で高濃度となった項目とその濃度

項　　目	単　位	Ａ地点		Ｂ地点		Ｃ地点		排水基準
		流出開始後３０分以内	流出開始後６０分以降	流出開始後３０分以内	流出開始後６０分以降	流出開始後３０分以内	流出開始後６０分以降	
鉛及びその化合物	mg／L	0.02	0.02	0.05	0.04	0.07	0.01	0.1
ＢＯＤ	mg／L	67	20	11	9.0	7.4	1.1	160
ＣＯＤ	mg／L	70	81	47	44	49	4.0	160
ＳＳ	mg／L	78	150	230	210	142	17	200
ｎ－ヘキサン抽出物質	mg／L	<1.0	5.1	<1.0	1.0	<1.0	<1.0	5

(2)重点調査の結果

重点調査項目の７項目のうち高い濃度となった項目の経時変化を図－１に示す。

排水基準を上回るような高い値を示す項目は、鉛及びその化合物（Pb)、浮遊物質量（SS)、ｎ-ﾍｷｻﾝ抽出物質含有量であった。これら３項目とも排水基準を上回るのは流出初期の一時的なもので、路面排水流出開始から 10 分或いは 20 分後には大きく減少し、その後低い値で推移している。SS については、Ｈ地点で流出開始から 80 分後に一時的にやや高くなっているが、このとき降雨が一時的に強くなったことによるものと考えられる。



（１）鉛及びその化合物　　（２）浮遊粒子状物質（ＳＳ）

図－１　重点調査で高濃度となった項目の経時変化

４．まとめ

路面排水の環境へ及ぼす影響の実態を把握するため、主要な国道等で現地調査を実施した。その結果、路面排水の水質は、ほとんどの地点のほぼ全ての項目で低い濃度を示している。しかし、一部の地点で流出初期に比較的高い濃度となる項目もある。これも一時的で時間の経過とともに速やかに低い値を示すようになり、低濃度で推移することから、路面排水が著しく環境へ影響を与えることはないと考える。ただし、一部ではあるが比較的高濃度の汚濁物質が流出することもあり、今後も路面排水実態調査を実施しデータを蓄積することが望まれる。

(59)自動車のＣＯ２排出量と旅行速度の関係

建設省土木研究所　○小根山　裕之
同　大西博文

1. まえがき

地球温暖化防止の観点から、道路交通においても二酸化炭素（ＣＯ２）排出の削減を図ることが大きな課題となっている。一般に、交通渋滞による旅行速度の低下は、自動車１台当たりのＣＯ２排出量を増加させる。従って、交通の円滑化による旅行速度の改善は、ＣＯ２の削減施策としても効果的なものと考えられる。

本報告は、このような施策の前提となるＣＯ２排出量と旅行速度の関係を、都道府県レベルのマクロな観点から把握するため、自動車輸送統計年報や道路交通センサスなどの集計データを用いて都道府県別、車種別に自動車１台当たり単位走行距離当たりのＣＯ２排出量（排出係数）を算出し、これと旅行速度の関係について検討を行ったものである。

2. 都道府県別、車種別のＣＯ２排出係数の算出

本報告では、都道府県別、車種別のＣＯ２排出係数の算出を以下の方法により行った。対象とした車種は、乗用車、バス、普通貨物車、小型貨物車、軽自動車の５区分とした。まず、自動車輸送統計年報により、地方運輸局別車種区分別の燃料消費量（軽油、ガソリン、ＬＰＧ）、走行台キロを算出した。

次に、これらから都道府県別の燃料消費量、走行台キロを以下の方法により算出した。燃料消費量は、地方運輸局別データを都道府県別の石油製品販売量で比例配分した。また、走行台キロは、地方運輸局別データを道路交通センサスの都道府県別車種別１２時間平均走行台キロで比例配分した。なお、軽自動車については都道府県別の軽自動車保有台数を用いて比例配分した。

これらの都道府県別車種別の燃料消費量に、単位燃料当たりの平均発熱量と単位熱量当たりのＣＯ２排出量（表１）を乗じて都道府県別車種別ＣＯ２排出量を算出し、これを都道府県別車種別の走行台キロで割ることにより、都道府県別車種別のＣＯ２排出係数を算出した。

本報告では、道路交通センサス実施年度である平成６年と９年の２カ年について都道府県別車種別のＣＯ２排出係数を算出した。

表１　燃料別ＣＯ２排出原単位

	単位燃料当たり平均発熱量[1] (kcal/リットル)	単位熱量当たりCO2排出量[1] (g-C/Mcal)
ガソリン	8,400	0.07658
軽油	9,200	0.07839
LPG	6,720	0.06833

3. 都道府県別車種別ＣＯ２排出係数と旅行速度の関係

２．で示した方法により算出した都道府県別、車種別ＣＯ２排出係数と、道路交通センサスにより得られた都道府県別の混雑時旅行速度との関係をプロットしたものを図１の(a)～(f)に示す。併せて、２次の回帰曲線も示した。どれもばらつきがみられるものの、旅行速度の上昇によりＣＯ２排出係数が低減することを示している。なお、一般的に最もＣＯ２排出係数が小さくなるのは概ね平均旅行速度が60km/h程度であるといわれている[1]が、今回のデータでは35km/h～45km/h程度で最も小さくなる傾向がみられる。これは、ここで用いている平均旅行速度のデータが混雑時の旅行速度の平均値であり、全時間帯を通した平均旅行速度ではないためである。実際の平均旅

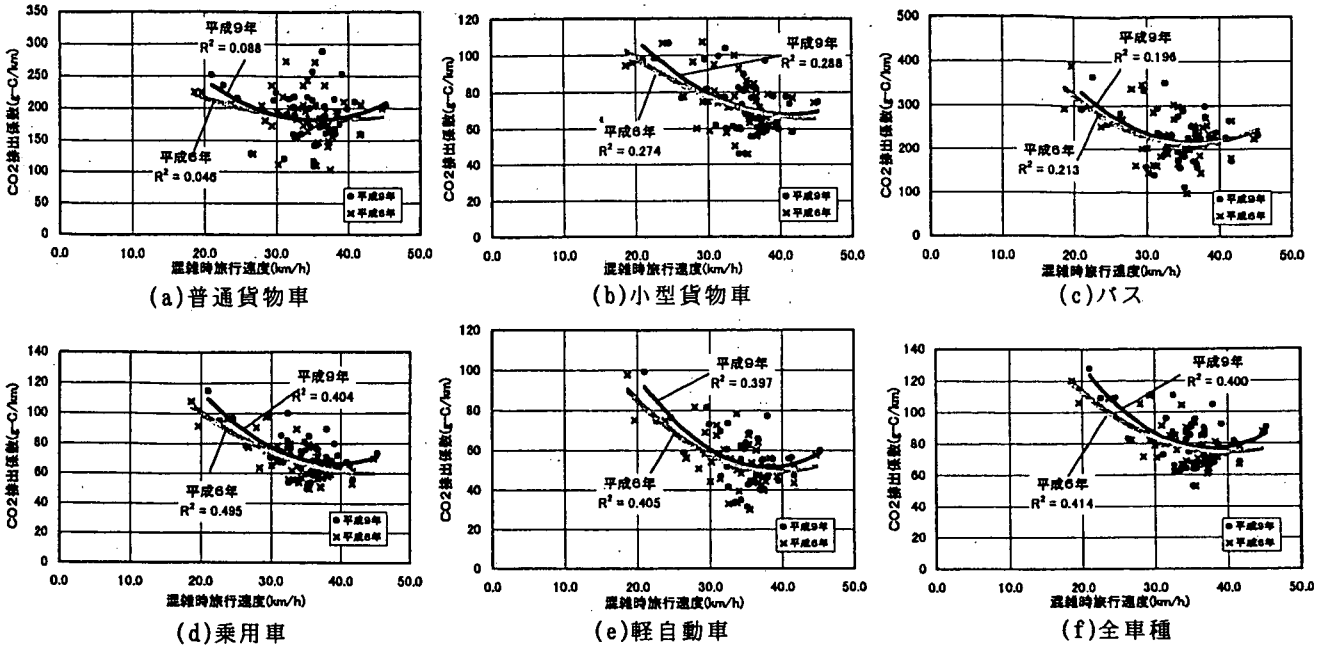


図１　ＣＯ２排出係数と混雑時旅行速度の関係

行速度は混雑時旅行速度より高くなることから、概ね妥当な結果であると考えられる。

データのばらつきの原因としては、算出過程における統計上の誤差の他に、都道府県別の車種構成や輸送実態の違いが挙げられる。特に、普通貨物車ではカテゴリーに含まれる車両の規模にばらつきが大きく、車両規模によるＣＯ２排出係数の違いが大きい。そのため、回帰曲線の相関係数も小さくなっていると考えられる。

また、平成６年から９年の変化をみると、旅行速度の向上がみられるにもかかわらずＣＯ２排出係数は大きくなる傾向がみられる。例えば、道路交通センサスによると、全国の混雑時旅行速度は平成６年の34.1km/hから平成９年の35.2km/hに向上している。これを平成６年の全車種のＣＯ２排出係数の回帰式に当てはめると、ＣＯ２排出係数は1.2g-C/km（約1.6%）の低減に相当する。しかし、実際にはＣＯ２排出係数は85.3g-C/kmから87.1g-C/kmと、約2.1%増加している。都道府県別にみても、同様の傾向がみられる。これは、交通状況や自動車単体の燃費改善にも係わらず、車種構成の変化、車両の大型化などにより実態としてはＣＯ２の排出係数が大きくなっていることを示している。

4.　まとめ

本研究では、都道府県別車種別にＣＯ２排出係数を算出し、これらと平均旅行速度の関係を把握した。これらのデータでも、平均旅行速度の向上によりＣＯ２排出係数が減少することが示された。ただ、２カ年の比較では交通状況や自動車単体の燃費改善がＣＯ２排出係数の減少としては現れていない。これは車種構成の変化等による平均的なＣＯ２排出係数の増加によるものであると考えられる。今後、これらの要因の解析が必要である。

5.　参考文献

1)環境庁、地球温暖化対策技術評価調査報告書、平成８年３月

2)例えば、建設省道路局監修”Next Way” pp.91など

(60) 沿道生活環境の保全技術の研究開発

建設省土木研究所交通環境研究室

はじめに

都市部の幹線道路の周辺地域を中心として，自動車の排出ガスによる大気汚染，騒音等の状況が厳しい状況にある。本稿では，沿道の生活環境を保全・改善する技術の最近の研究開発状況について述べる。

1. 大気質改善に関する技術開発

自動車から排出される大気汚染物質の一つに，窒素酸化物がある。現在，種々の窒素酸化物を除去する技術が研究され，いくつかは実際の道路沿道で実験が行われている。その主なものとしては，光触媒脱硝，土壌脱硝，吸着剤による脱硝技術などがある。

光触媒は，太陽光中の紫外線エネルギーを受けると，活性酸素を生成し，窒素酸化物を硝酸に酸化する。紫外線を受けると活性酸素を生成する物質はいくつかあるが，除去作用の強さと化学的安定性から，二酸化チタンが用いられている。他の窒素酸化物除去技術と比較すると，処理風量が小さいなどの課題もあるが，設置費が安価であること，設置後に電力などのエネルギーを供給しなくてもいいなどの利点がある。また，設置スペースを必要としないことから，建築物が密集しているような場所では，有効な方法であると考えられる。

土壌脱硝システムは送風機，通気部，土壌層により構成されている。吸気口から流入した大気は，通気部から土壌層に送られ，ここで大気中から窒素酸化物が除去される（図-1）。このシステムでは，オゾン添加により通気した窒素酸化物の約9割を除去するとの実験結果が報告されている[1]。しかし，設置スペースを必要とするため沿道に建築物が密集している場所には不向きだが，植樹帯が設けられている道路では有効な方法であると考えられる。

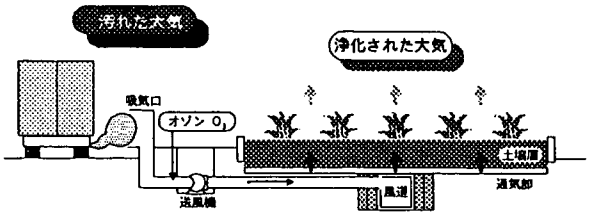


図-1 土壌脱硝システムの概要

吸着剤による脱硝システムは，換気ガス中の窒素酸化物を吸着剤に吸着する工程と，吸着した窒素酸化物を窒素に還元し，吸着剤を再生する工程とに分かれている。このシステムは換気所から排出される窒素酸化物の約9割を除去するとの実験結果が報告されている。ただし，本システムには，装置のコンパクト化，消費エネルギーの削減等の課題が残されている。

2. 道路交通騒音に関する技術開発

(1) 低騒音舗装の開発

自動車のタイヤ路面騒音はタイヤと路面の間に挟まれる空気の圧縮，膨張により生じるエアポンピング音，タイヤのトレッドパターンの加振による音等からなっており，各々の騒音量はタイヤの種類やトレッドパターンにも依存するが，舗装路面の性状にもよる。

排水性舗装は，路面の滞水を防ぐため舗装体内に空隙を有した舗装であるが，その空隙によりエアポンピング音を抑制できる（図-2）。また，騒音伝搬時に吸音し，路面での反射音も低減できる。騒音低減効果は60 km/hで3 dB程度だが，走行速度が高くなると騒音低減効果も大きくなり100 km/hでは4 dB程度となる[2]。これは，走行速度が高くなるとタイヤ路面騒音の騒音全体に占める寄与が増加するためである。しかし，空隙詰まりにより騒音低減効果が小さくなるため，その持続性の向上が課題である。

多孔質弾性舗装は，廃タイヤを細断したゴムチップをウレタン樹脂で固めたもので，空隙率は約40％あり，弾性も有している。この舗装は排水性舗装と同様減音効果を有するが，さらに材料が弾性体であるためタイヤに加わる衝撃力が小さくなり，タイヤ加振音も減少する（図-2）。騒音低減効果は乗用車で9～11 dB，大型車で4～6 dBと排水性舗装に比べはるかに大きい。現在，実用化のため走行安全性，施工性，耐久性等に関して検討，確認が行われている。

（2） 新型遮音壁の開発

① 先端改良型遮音壁

大きな減音量を得るため遮音壁の高さを高くすると，日照阻害，電波障害，景観への影響等の問題が生じる。そこで，同じ高さで効果の大きい遮音壁の開発が産学官で競って進められている。現在，普及しているのは，遮音壁の先端部に吸音体を設置したタイプである。しかし，最近では，先端形状を変形させたタイプ（図-3）の開発に焦点が移っている。これらのタイプでは，通常の遮音壁を3～5 dB程度上回る減音効果が見込まれている[3]。今後，実交通を対象とした場合の減音効果測定が急務で，その普及が望まれる。

② アクティブソフトエッジ（ASE）遮音壁

上記の先端改良型遮音壁の一種に，アクティブ・ノイズ・コントロール技術を用いたASE遮音壁がある。写真-1は，建設省土木研究所に設置した高さ3 m，延長40 mの ASE遮音壁のプロ

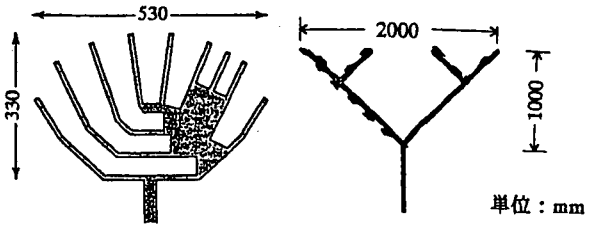


図-3 先端改良型遮音壁の例

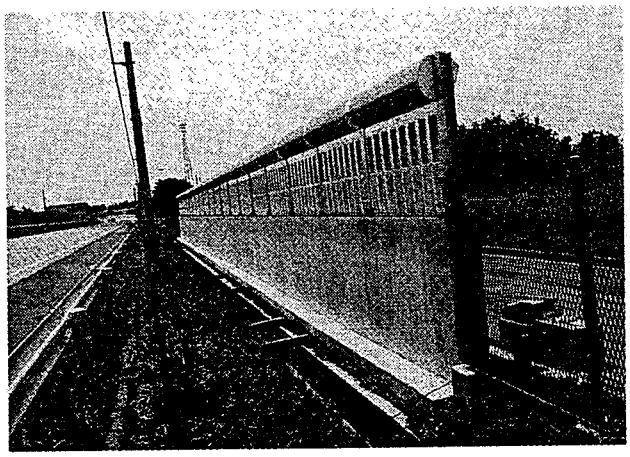
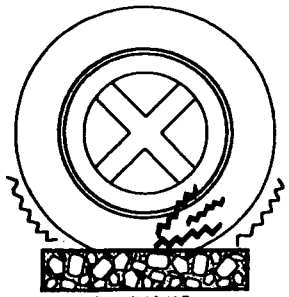
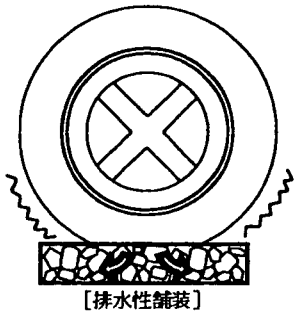


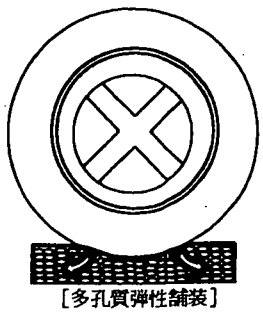
写真-1 ASE遮音壁のプロトタイプ



【通常舗装】
タイヤ溝と舗装面の間に挟まれた空気の逃げ道がなく、エアポンピング音が発生する。また、路面が硬いため衝撃によりタイヤ加振音も発生する。



[排水性舗装]
空隙に空気が逃げ、エアポンピング音は低減するが、タイヤ加振音は抑制できない。



[多孔質弾性舗装]
空隙に空気が逃げることと弾性体であるため、タイヤ騒音は大幅に低減する。

図-2 低騒音舗装の騒音低減メカニズム

トタイプである。この遮音壁は，630 Hz以下ではASE制御の効果により，それ以上では表面の吸音材の効果により，通常遮音壁を約6 dB上回る減音効果を有している。なお，大型車走行時（40 km/h，80 km/h）でも同等の効果が得られることが確認されている[4]。

③ 低層遮音壁

低層遮音壁とは，都市内の一般道路に設置する高さ1 m程度の低い遮音壁である（図-4）。開口部を有する場合の予測・評価の考え方が提案されているが[5]，今後は，デザイン面の検討が必要である。

（3） 高性能吸音板の開発

高架道路の裏面や，堀割壁面，トンネル坑口では，自動車騒音の反射音が沿道の騒音レベルを上昇させている場合がある。このため，建設技術評価制度により「騒音低減効果の大きい吸音板の開発」が公募され，平成9年6月に評価書が57製品に対して交付された。その結果，0.95以上と予想を上回る高い吸音率をもつ製品も開発され，近年，その普及が進んでいる。

おわりに

以上のとおり，沿道の大気質，道路交通騒音の対策技術について研究開発の状況を紹介した。これらの技術が早く実用化されることを期待するとともに，実用化された技術については積極的に現場において活用され，沿道の生活環境が改善されることを願う次第である。

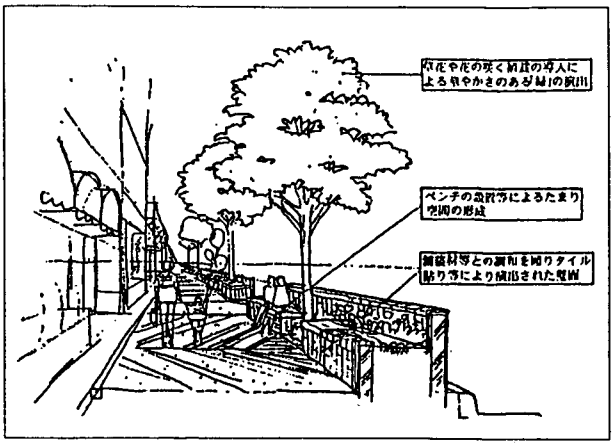


図-4 低層遮音壁のイメージ図

参考文献

1) 公害健康被害補償予防協会：土壌を用いた大気浄化システムの実用性に関する調査，1998.3
2) 大西外：排水性舗装の減音効果とその予測手法における取り扱い，日本音響学会講演論文集，1999.3
3) 紺野外：先端を分岐させた遮音壁の減音効果の計算方法について，日本音響学会講演論文集，1999.3
4) 上坂外：アクティブソフトエッジ遮音壁の開発，日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集，1999
5) 上坂外：種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究，騒音制御，Vol. 23，No. 2，1999

（文責：建設省土木研究所交通環境研究室長 大西博文）

4.5　記事等

（61）オランダの環境NGO

筆者らは98年9月にオランダに出張した際に、当地の自然環境NGOを訪れる機会を得ました。彼らの活動が非常に印象に残っており、是非これを皆様にお伝えしたく本稿を起こす次第です。

ナチュール・モニュメンテン

まず最初に訪れたのは、オランダ全土に活動を繰り広げるナチュール・モニュメンテン(Natuurmonumenten)です。このNGOは全国的なNGOで、その会員数は約90万人、会員の家族も含めるとオランダの人口の1割を超える非常に大きな組織です。彼らが言うには、世界最大の環境NGOの一つだそうです。

このNGOは、1905年にティッセ氏(Jac. P. Thijsse)によって設立されました。当時アムステルダム市議会は、郊外にあるナーデル湖をゴミ処分所とすることを決定しました。これを憂慮した彼を含む何人かの人たちは、市民のリクレーションの場としてナーデル湖を守るためナチュール・モニュメンテンを設立し、ナーデル湖を買い取ることにしました。首尾良く、翌年にはナーデル湖を買い取り、これを守ることができました。これがこのNGOの設立の経緯です。その後、ナチュール・モニュメンテンは自然保護のため土地の取得を続け、今では約760km^{2}の土地を保有しています。

ナーデル湖自然回復計画

次に、このNGOが行っている事業の一つを紹介しましょう。筆者らはアムステルダム郊外のグレーブランドにある地域事務所を訪れました。ここでナーデル湖自然回復計画の話を伺いました。この計画は、先程のナーデル湖周辺の自然回復を図り、さらにその南西にあるアンケヴィーン湖と生態系として連絡しようとするものです。この計画の中では色々なことが考えられています。その一つに、ナーデル湖とアンケヴィーン湖の間を通っている州道の高架化事業があります。ちょうど高架化が考えられている区間は、交通事故がよく発生するところで州政府は道路の線形を改良しようと計画している場所です(写真-1参照)。これにナチュール・モニュメンテンは目を付けて、この線形改良事業に合わせてナーデル湖とアンケヴィーン湖周辺における動物の生息域の分断を緩和するために州道の先程の区間を高架にしようと計画し、州政府と協議しているとのことです。事業費は約1,500万ギルダー(約8億円)です。その資金源は、州政府の道路事業費、国及びEC(European Community)からナチュール・モニュメンテンへのこの事業に対する補助金、ナチュール・モニュメンテン独自の資金(会員からの会費、資産からの収入)です。NGOがこのような事業を計画しているのです。日本ではまだここまでNGOは育っていません。

この他に伺った事業には、エコダクトの維持管理事業がありました。これは、切土構造の高速道路により分断された森林地帯において動物の生息域を繋ぐために作られたエコダクトを国から委託され、その維持管理を行うというものです(写真-2参照)。

ホーイ・ナチュール・リザバート

次に訪れたのは、アムステルダム郊外のヒル



写真-1 動物の生息域分断を緩和するために、道路の線形改良とともに高架化が計画されている州道。道路の右側のナーデル湖地域と左側のアンケヴィーン湖地域の生息域の連絡を強化します。

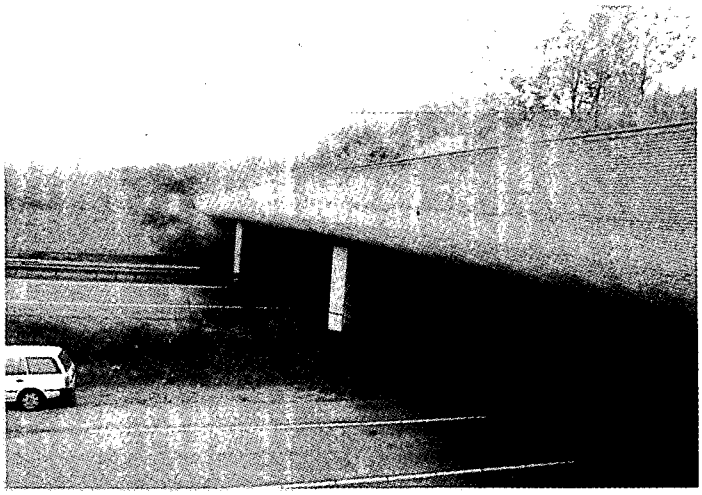


写真-2 切土構造の高速道路により分断された樹林地に架けられた動物用のオーバーブリッジ（エコダクト）。この維持管理が国からNGOに委託されています。



写真-3 州道と鉄道を跨ぐエコダクトの建設が環境NGOによって進められています。写真左端から4分の1の所までにエコダクトの盛土工事部分が見えます。さらに、写真の中程に見える樹林とその背後を通過している州道と鉄道を跨いでエコダクトの高架部分が建設される予定です。

バーサムにあるホーイ・ナチュール・リザバート(Goois Natuurreservaat)という地方の環境NGOです。先述のナチュール・モニュメンテンと比べると、会員数は約6千人と小さなNGOです。

このNGOの設立経緯は次のとおりです。アムステルダムの郊外では、住宅開発を始めとする都市化が進展しています。ヒルバーサムに移り住んだ人々や地元の地方公共団体も、これ以上の開発は居住環境を悪化させると考え、望まなくなりました。そこで、ヒルバーサムを始めとする地元の六つの市町村と、自然環境を保全する目的で協定を結び、このNGOは設立されました。もちろん、この地方の市民も会員として加わっています。

エコダクト建設事業

このホーイ・ナチュール・リザバートも規模は小さいけれども、自然環境保全のために様々な活動を行っています。その一つを紹介しましょう。ヒルバーサムの北部で州道と鉄道を跨いで両側に広がる草地を繋ぐエコダクトを建設する事業です。州道と鉄道を跨ぐオーバーブリッジ部分は約300m、それに繋がるアプローチ部分は片側約200m、合わせて約700mあります(写真-3参照)。事業費は約600万ギルダー(約3億円)とのことです。このエコダクトはオランダの国土生態系ネットワーク計画の中に位置づけられており、国や州政府から補助金が提供されています。事業はアプローチ部の盛土工事が行われていました。完成までには後、数年掛かるとのことです。小さなNGOがこんな大きな事業をやっているのには驚かされました。

この他に、この地方にある教会が近くその所有している牧草地を手放すそうで、住宅開発などがされないようこのNGOが購入し、自然の草地に戻すため、教会と交渉している件も紹介してもらいました。

以上のとおりオランダの環境NGOの活動を紹介しました。これら環境NGOは国土そして地域の自然環境を保全するという公共的な意義を持つ活動を行っています。公的機関が行ってもいいような活動ですが、現在の制度では中央政府、地方公共団体がなかなか取り組みにくい活動も含まれています。今後、我が国でも公的機関が環境NGOと連携して自然環境の保全に取り組んでいくことが求められると思います。

建設省土木研究所環境部交通環境研究室長　大西博文

（62）沿道における窒素酸化物除去技術について

【質　問】

沿道において窒素酸化物を除去する技術が検討され、いくつかの除去技術の実験を行っていると聞きます。どの様な技術がありますか。また、各技術の特徴は?

【回　答】

1. はじめに

自動車エンジンの燃焼室内では、窒素と酸素が高温になることで、一部が窒素酸化物となります。排気ガス中の窒素酸化物は、そのほとんどが一酸化窒素で、大気中で不安定な一酸化窒素は、二酸化窒素に変化します。二酸化窒素は、通常の大気中では安定な物質で、大気中に長く滞留します。

二酸化窒素は、酸性雨や光化学スモッグの要因となるほか、呼吸器系に影響を及ぼす物質の一つであることが知られています。環境基準では、「1時間値の1日平均値を、0.04ppmから0.06ppmまでのゾーン内又はそれ以下であること。」と定めています。

近年、自動車単体からの排出量は、規制や技術開発により削減が図られています。また、渋滞の緩和や交通流の改善、交通需要マネジメント施策等による排出総量の低減や、環境施設帯の設置などの対策が行われています。

しかしながら、自動車排出ガス測定局の測定結果をみると、沿道の二酸化窒素濃度は、ほぼ横這い傾向にあり、平成9年度に環境基準を達成していない自動車排出ガス測定局が、全体の約3分の1もあります。

このため、高濃度となる地域では、従来までの対策に加え、大気中の窒素酸化物を除去する技術の開発が望まれています。

2. 窒素酸化物除去技術

工場や発電所など固定発生源での窒素酸化物除去技術は、技術開発が進み、高い除去効率のものが広く実用化されています。これに対し、沿道での除去技術は、広域で低濃度の窒素酸化物が排出されることが問題となり、普及されるまでには至っていません。

現在、これらの問題を解決するため、種々の窒素酸化物除去技術が検討され、いくつかは実際の沿道で実験が行われています。その主なものとしては、光触媒脱硝、土壌脱硝、吸着剤を用いた脱硝などがあります。

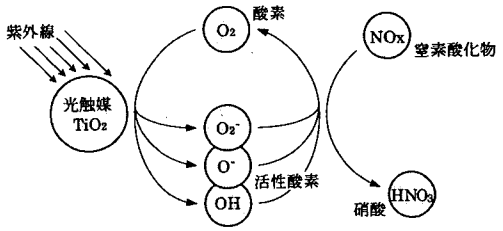


図-1 光触媒による窒素酸化物の除去機構

3. 光触媒脱硝

光触媒は、太陽光中の紫外線エネルギーを受けると、空気中の酸素を酸化力の強い活性酸素にします。活性酸素と窒素酸化物が反応すると、窒素酸化物は硝酸になり、大気中から除去されます[1)]。

紫外線を受けると活性酸素を生成する物質はいくつかありますが、除去作用の強さと化学的安定性から、二酸化チタンが用いられています。

二酸化チタンは、樹脂材などの固定化物質とともに、様々な場所に塗布することができ、設置スペースを必要としません。このため、遮音壁やガードレールのほか、沿道の建築物壁面に塗布することが可能です。コンクリートに混合した光触媒を、舗装面に吹き付ける試みもなされています。

ただし、光触媒の表面に生成する硝酸が付着し、除去効率が低下することや、降雨により硝酸が洗い流されるときに固定材などの腐食が生ずること、紫外線量の少ない日陰や夜間は除去効率が低下することなどの課題もあります。

光触媒による窒素酸化物の除去量は、1日あたり約3mmol/m^{2}という実験結果があります[1)]。他の窒素酸化物除去技術と比較すると、除去効率は高くありませんが、設置費が安価であること、設置後に電力などのエネルギーを供給しなくてもいいなどの利点があります。設置スペースを必要

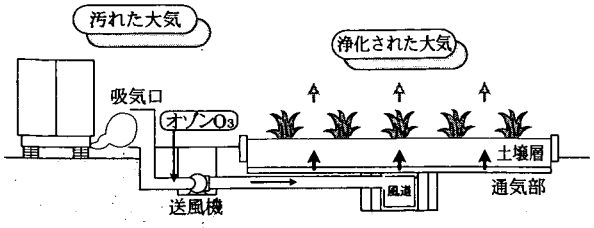


図-2 土壌脱硝システムの概要

としないことからも、建築物が密集しているような場所では、有効な方法であると考えられます。

4. 土壌脱硝

東大阪市荒本北の大阪中央環状線沿道に、平成5年度から、土壌脱硝システムが設置され、環境改善効果などが検討されました。

土壌脱硝システムは、土壌層、通気部、送風機により構成されています。吸気口から流入した大気に、オゾンを添加し、窒素酸化物のうち一酸化窒素を二酸化窒素に酸化します。通気部から土壌層に送られ、大気中から窒素酸化物が除去されます。土壌層での除去メカニズムは、二酸化窒素が土壌粒子や水分に吸着し、硝酸イオンや亜硝酸イオンとなり微生物や植物に消費されていると報告されています[2)]。

この土壌脱硝システムは、通気した窒素酸化物の9割程度を除去するとともに、浮遊粒子状物質や一酸化炭素も9割程度除去します。土壌面積1m^{2}あたり、1時間で40～100m^{3}の汚染された大気を処理することができます。日交通量が約10万台ある道路の中央分離帯に、幅約10mの土壌脱硝システムを設置すると、発生する窒素酸化物の約1割が除去できるとの試算結果があります[2)]。

土壌脱硝システムは、設置スペースを必要とするため、沿道に建築物が密集している場所には不向きですが、植樹帯が設けられているまたは設ける予定がある道路では、有効な方法であると考えられます。

また、土壌脱硝は、沿道に設置するばかりでなく、トンネル換気施設に応用することも可能です。第二阪奈道路中央換気所敷地内では、換気ガスを分岐吸引し、土壌層へ送気するシステムが設置され、除去性能の長期安定性、運転管理法などに関する知見の収集が現在行われています。

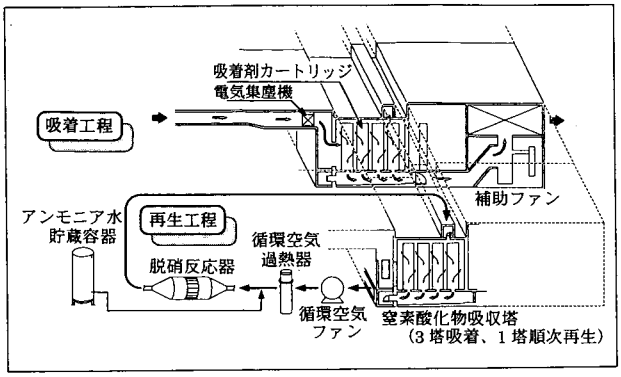


図-3 吸着剤を用いた脱硝システムの概要

5. 吸着剤を用いた脱硝

トンネル換気ガスの窒素酸化物濃度等を低減するため、建設省及び日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団が、吸着剤を用いた脱硝システムを設置し、環境改善効果などを検討しています。吸着剤を用いた脱硝システムは、首都高速道路湾岸線空港北トンネル京浜島換気所に設置され、平成9年から実験を行っています。

吸着剤を用いた脱硝システムは、換気ガス中の窒素酸化物を吸着剤カートリッジに吸着させる行程と、吸着させた窒素酸化物を窒素に還元し、カートリッジを再生させる行程とに分かれています。

吸着行程では、電気集塵機で除塵した換気ガスを吸着塔に送り、吸着剤カートリッジで窒素酸化物を除去します。吸着塔は全部で4塔あり、3塔で吸着工程を行い、残り1塔で再生行程が行われます。再生行程では、吸着剤カートリッジに加熱した空気を送り窒素酸化物を脱着し、脱硝反応器で窒素酸化物、アンモニア、酸素から、窒素と水に還元します。

設置したシステムは、換気所から排出される窒素酸化物の9割程度を除去するとともに、浮遊粒子状物質も8～9割程度除去します。

ただし、本システムでは、消費エネルギー、設置スペース、コストなどの面で課題を残しています。

参考文献

1) 竹内浩士：光エネルギーによる大気浄化，資源環境技術総合研究所NIREニュース，1995年8月
2) 公害健康被害補償予防協会：土壌を用いた大気浄化システムの実用性に関する調査，1998年3月

建設省土木研究所環境部交通環境研究室長　大西博文
同　交通環境研究室主任研究員　山田俊哉

(63)「道路と生態系ネットワーク」に関する日蘭ワークショップが開催される

はじめに

去る平成11年11月8日から12日にかけて「道路と生態系ネットワーク」に関する日蘭ワークショップがつくば市等で開催されました。このワークショップは、日本とオランダ両国の当該分野の研究成果及び今後の研究の方向性に関する情報交換、ディスカッションを行い、両国における当該研究の進展に寄与すること、また、当該分野に関する一般への啓発を図り、日本における生態系ネットワークの実現及び技術的発展に寄与することを目的としています。なお、本ワークショップは、日蘭科学技術協定に基づき実施されている建設省土木研究所とオランダ運輸・公共事業・水管理省道路水理技術研究所の共同研究の一環となるもので、土木研究所では交通環境研究室と緑化生態研究室が担当しています。

ワークショップの概要

本ワークショップにはオランダ側からHans Bekker氏、Hans de Vreis氏、Paul Aukes氏、Wim Geraedts氏の4名(所属については表-1参照)、土木研究所からは北川環境部長をはじめ、大西交通環境研究室長、藤原緑化生態研究室長等が参加し、土木研究所での意見交換、現地への視察、シンポジウム等を行いました。

11月8日は土木研究所においてオランダからの参加者を招いて、交通環境研究室・緑化生態研究室より道路による生息域の分断防止対策および生態系ネットワークの形成に関する日本の現状・研究状況について説明をし、具体的な整備方針や対策技術についてディスカッションを行いました。

つぎに、日本の実際の対策事例を知っていただくため、9日に日光宇都宮道路、10日、11日には国道108号鬼首道路を視察しました。現地では、対策箇所の改善についての指摘等もあり、技術的な意見交換が活発に行われました。

12日は東京において、「道路による生息域の分断防止と生態系ネットワークの形成に向けて」と題した日蘭シンポジウムを両研究所の共催、(社)道路緑化保全協会の後援で開催しました。ここでは、表-1に示す環境にかかる行政、研究所、NGOの実務担当者、研究者による講演、および勝野武彦教授(日本大学 生物資源科学部)をコーディネーターとした講演者7名によるパネルディスカッションによりそれぞれの立場からの意見交換を行うことが出来ました。また、本シンポジウムには国、地方公共団体、公団、学界、民間企業等から道路事業担当者、研究者、コンサルタント及びNGOの皆さんの約150人の参加者がありました。

表-1 講演者および講演題目

講演題目	講演者・所属
オランダの自然と自然保護の現状、オランダの自然保護政策における生態系ネットワーク	Paul Aukes 農業・自然管理・水産省 自然管理情報センター自然環境部生態系専門官
環境庁における生物多様性保全の取り組み	中島慶二 環境庁自然保護局計画課課長補佐
生息環境の分析とその解消：インフラによる生息環境分断への対策の経緯、成果、及び事業化手法	Hans Bekker 運輸・公共事業・水管理省 道路水理技術研究所プログラムマネージャー
オランダの自然環境保全における路傍空間の重要性	Hans de Vries 運輸・公共事業・水管理省 道路水理技術研究所環境部プロジェクトマネージャー
道路空間を利用した生態系ネットワークの構築の可能性	大西博文 建設省土木研究所環境部交通環境研究室長
自然環境保全、特に生態系ネットワークの実現におけるNGOの役割と重要性	Wim Geraedts 自然保護団体連合シニア職員
環境の時代を迎えるミティゲーションのあり方	池谷奉文 財団法人 日本生態系協会 会長

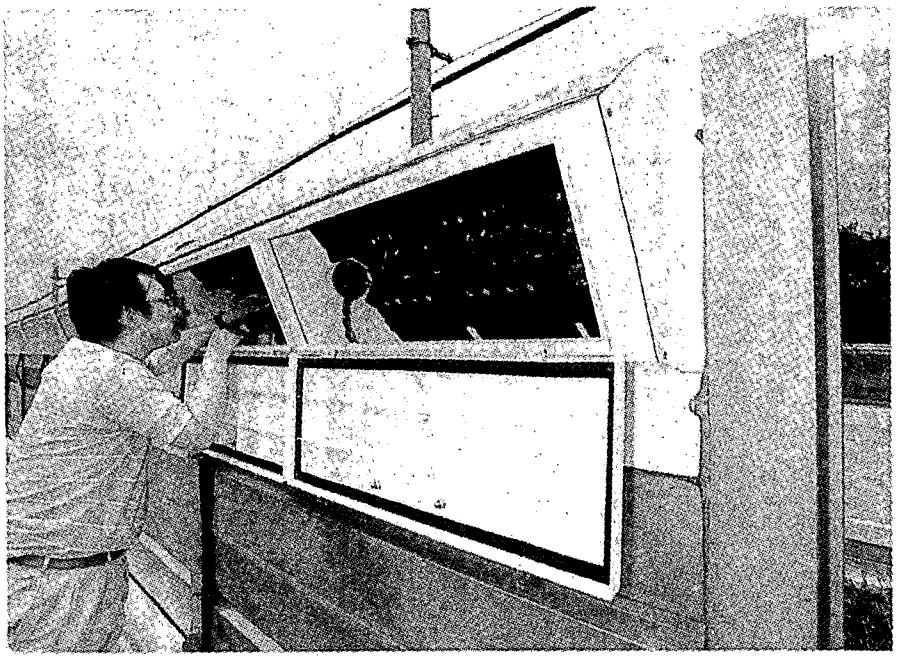


日蘭シンポジウム「道路による生息域の分断防止と生態系ネットワークの形成にむけて」におけるパネルディスカッション

建設省土木研究所環境部交通環境研究室　川上篤史

おわりに

都市近郊では都市化の進展にともない、地域の自然環境の縮小、分断が進行しています。このような地域では自然環境を面的に増加させることは、なかなか難しいことです。そこで、分断された動植物の生息生育空間(ハビタット)を連結してネットワーク化することにより自然環境の質を向上させ、生物の生息しやすい自然環境とすることが考えられています。これが生態系ネットワークの基本的な考え方です。本ワークショップがこの考え方の理解の一助となり、さらに生態系ネットワークの整備の推進により都市近郊でも豊かな自然を取り戻し、多様な生物種に身近に接することが可能となるよう願う次第です。今後もオランダ側の研究者、実務担当者と情報交換を続け、共同研究を進めていく予定です。



㊤アクティブ・ノイズ・コントロールと呼ばれる騒音低減装置を備えた防音壁（つくば市の建設省土木研究所で）
㊦クシ形の反射装置から逆位相の音波を流し騒音の低減を図る防音壁（東京製綱土浦工場で）＝宮崎真撮影

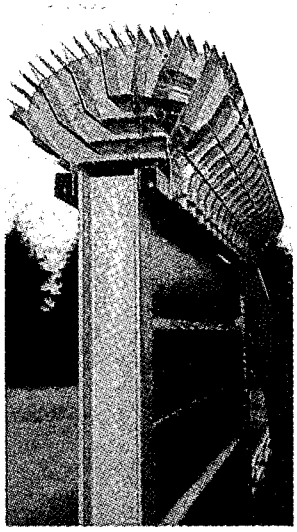
（64）

騒音は音で制す

防音壁に減少装置　反対の波形で吸収

道路や鉄道の騒音を減らす防音壁の〝てっぺん〟で今、次世代技術の開発が進んでいる。これまで防音壁を飛び越えて外側に逃げ出していた音を、音響工学を駆使して吸収しようという試みで、いわば「音をもって音を制する」作戦だ。（科学部　松井　正）

茨城県つくば市の建設省土木研究所。テストコースの外で職員がスイッチを入れると、やや間を置いて音わきの長さ四十㍍の防音壁がスッと柔らかくなった。のへりに沿って、直径五十㌢ほどの銀色の円筒が乗っている。走行コース上に設置したスピーカーから、自動車騒音と同じ「ゴーッ」という騒音が飛び出す。壁音壁の実験だ。円筒内に電子回路が組み込まれ、マイクで拾った自動車騒音を瞬時に計算し、音波の形が正反対の「逆位相波」をスピーカーから発射する。音を音で打ち消す仕組みで、すでに飛行機内のヘッドホンなどに使われている原理を、防音壁に応用したものだ。



「アクティブ・ノイズ・コントロール」（ANC）という音響技術を使った防

道路騒音は、防音壁の陰にも一部が回りこむ「回折現象」を起こす。これまでは壁を高くして解消してきたが、回折音を防ぐには、壁の頂上で音を吸収する方が効果的であることがわかり、首都高速の一部では、吸音材入り円筒を乗せた防音壁をすでに導入している。ANCは、この回折音対策の第二世代技術だ。吸音材では達成できなかった5㌈前後の騒音低減を実現した。大西博文・交通環境研究室長は「将来は10㌈近く下げられるはず」と期待する。

一方、九州芸術工科大学の藤原恭司教授（音響設計学）らは、ウチワのような音響管を壁の上に設置するタイプを考案した。クシの歯状の管の中に入った音は、管の長さに応じて、特定の波長の音の逆位相波を返し、騒音を打ち消す。これで電気を使わずに5㌈ほどの改善効果があるという。

（６５）

逆位相波で騒音低減

ＡＮＣ技術を応用

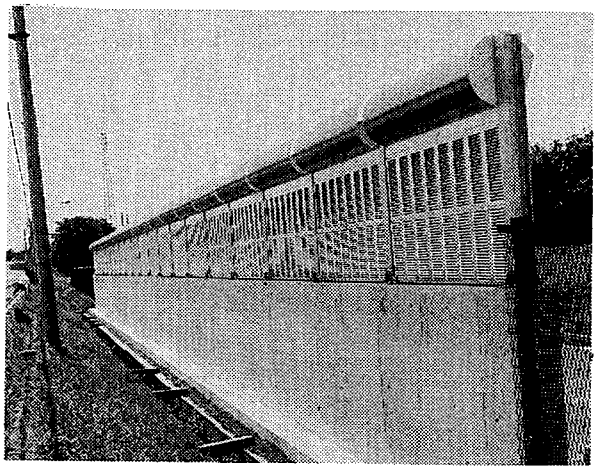
建設省土木研究所は、アクティブソフトエッジ（ＡＳＥ）遮音壁を開発、性能測定結果をまとめた。同遮音壁はアクティブノイズコントロール（ＡＮＣ）技術を応用、遮音壁の上方を回り込む騒音を、音響技術で消音するというもの。

基本原理は、遮音壁の先端に円筒状に設置した複数のＡＳＥセルを電気で稼働、遮音壁頂部に音圧ゼロの空間を作り、ここを通過する回折音を低減する仕組みだ。この時ＡＳＥセルでは、マイクで拾った自動車騒音を電子回路で計算、音波の形が正反対の「逆位相波」を発射し、表面にアクティブな吸音面を形成する。

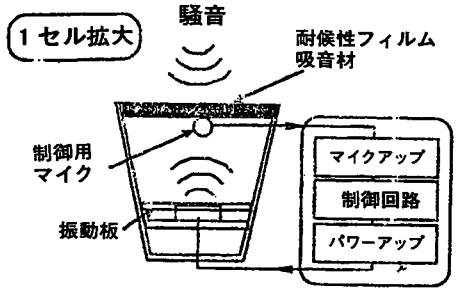
減音性能と効果は、吸音円筒型遮音壁（相当品）に対し、従来効果が薄かった六三〇Ｈｚ以下の帯域で、最大四・三ｄＢの付加騒音低減効果が得られる。高速で移動車両からの発生音についても同様という。

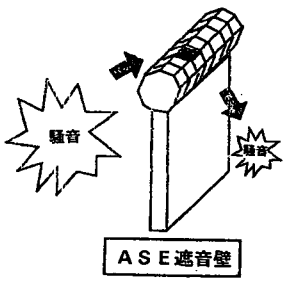
同研究所では、大型車の重低音など従来は防音が難しかった低い音に対して、平成七年度から研究を進めてきた。

今年二月からは、所内試験走行路に同遮音壁を四〇㍍設置、性能測定を重ねている。日照阻害、電波障害による影響範囲や費用負担を最小限にとどめ、景観面でも圧迫感の低減に有効としている。



設置されたＡＳＥ遮音壁





(66) Active Control of Road Traffic Noise

Active noise control (ANC) is a technique for canceling a sound wave by emitting an inverted replica of it. The PWRI has been doing research on a new countermeasure against road traffic noise that combines the technique with a noise barrier. The following is an overview of the results obtained so far.

At the start of the research, we analyzed the sound reduction effect of the basic ANC system illustrated in Fig.1. In this system, the monitoring microphone detects the sound propagating from a car as a sound source to a receiver. Next, its controller predicts the amplitude and the phase of the detected sound when it reaches the error microphone. Finally, the loudspeaker emits a sound to cancel the detected sound at the position of the error microphone. This system utilizes advanced feedforward control. But it has been experimentally proved that the present system cannot control noises coming from cars, etc., running at high speed.

Therefore, we are now developing the Active Soft Edge (ASE) noise barrier for practical use. It has ASE cells on top as shown in Fig.2. "Soft" means that sound pressure is zero. Each ASE cell, applying the ANC technique, always keeps sound pressure nearly zero at the error microphone on its surface.

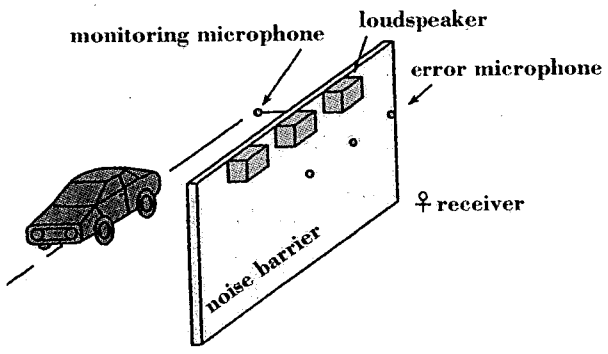


Fig.1 Basic ANC system

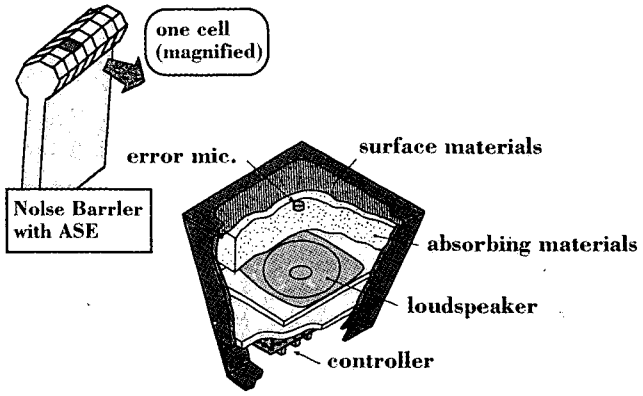


Fig.2 Composition of the ASE noise barrier

We have noticed that sound diffracting over the barrier passes by its edge, so the ASE noise barrier was designed to cancel sound only at the local space around this edge. Simple feedback control is available for the sound cancellation at a local space, such as the headphones of a helicopter crew. As a result, this system can cancel sound emitted from a running car regardless of its speed. This is the most important feature of the system.

Though the controlled frequency range of ANC is limited to 200-600 Hz, the higher range is covered with absorbing materials, attached to the surface of the cell, which also reduce the diffraction sound. Therefore the ASE noise barrier is considered to be a hybrid system with both active and passive functions. This is another important feature.

Fig.3 shows a prototype of the ASE cells of 2 m in length. We installed a barrier with them of 1.8 meter in height in an anechoic chamber. The sound reduction effect of the barrier was compared with that of a barrier with a sound absorption cylinder and that of a usual barrier (I-shaped barrier) of the same height. In the experiment, a sound source was placed in a set location on the floor, then a barrier was 2 m away from it (one barrier at a time). Then the sound pressure levels were measured from a position one meter behind the barrier and 1.4 m above the floor. The results are shown in Fig.4. The ASE noise barrier showed an approximately 3 dB improvement over the I-shaped barrier. Compared with the barrier with the absorptive cylinder, it had the same effect at 630 Hz and over due to the absorbing material, and a more than 2 dB improvement up to 500 Hz due to the active control. Similar results have been obtained from a moving source.

The longer the ASE noise barrier is, the greater the noise reduction effect can be expected. Thus, we are going to erect ASE barriers of 40m in length at the test track of the PWRI to measure the effect on noise emitted from a running car.

(Traffic Environment Division)

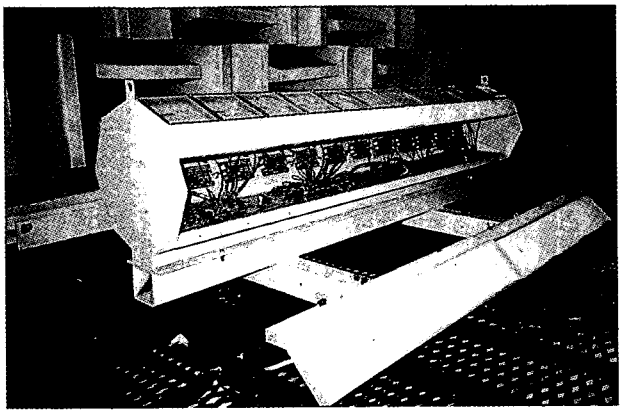


Fig.3 Prototype of the ASE cells

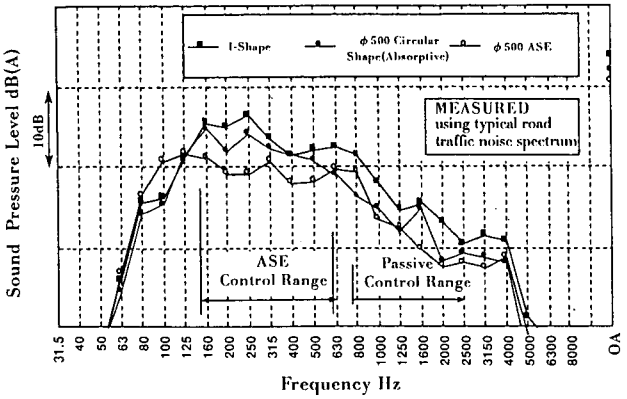


Fig.4 Comparison of sound reduction effects between the ASE noise barrier and the others

建設省土木研究所では，去る平成11年11月12日にオランダ運輸・公共事業・水管理省道路水理技術研究所と共催で「道路による生息域の分断防止と生態系ネットワークの形成に向けて」と題したシンポジウムを開催いたしました。その概要を紹介いたします。

（67）道路による生息域の分断防止と生態系ネットワークの形成に向けて

——日蘭シンポジウム——

建設省土木研究所環境部交通環境研究室

はじめに

建設省土木研究所では，去る平成11年11月12日に「道路による生息域の分断防止と生態系ネットワークの形成に向けて」と題した日蘭シンポジウムを開催いたしました。このシンポジウムは，日蘭科学技術協定に基づき実施されている建設省土木研究所とオランダ運輸・公共事業・水管理省道路水理技術研究所の共同研究の一環として両研究所の共催，㈱道路緑化保全協会の後援で東京都千代田区で行われました。

本シンポジウムは，日本とオランダ両国の研究者，実務担当者による講演およびパネルディスカッションによって情報交換を行い，両国における当該研究の進展に寄与すること，また，当該分野に関する一般への啓発を図り，日本における生態系ネットワークの実現および技術的発展に寄与することを目的としました。

シンポジウムには，主に国，地方公共団体，公団，学界，民間企業等から道路事業担当者，研究者，コンサルタントおよびNGOの皆さんの約150人の参加者がありました。

1．講　演

(1)「オランダの自然と自然保護の現状」

パウル・アウケス氏（オランダ農業・自然管理・水産省自然管理情報センター自然環境部生態系専門官）

オランダの国土面積は，約4万㎢，人口は約1,500万



写真―1　基調講演をされるパウル・アウケス氏

人ほどである。国土を形成する主要な生態系としては，丘陵地，干拓地，河川，海岸域が挙げられる。オランダは最も高いところで標高300m程度であり，丘陵地には自然保護区が多く分布している。また，干拓地は農地や牧草地として利用されており，水鳥や草地の鳥にとって国際的に重要な生息地となっている。また，ライン川，ミューズ川，シェルト川等国際河川の河口域があり，海岸域は海獣，海鳥の他，北海漁場における重要な産卵地である。

オランダに生息する動植物の種数は合計約36,000種，固有種約700種であり，多様性の減少が問題となっている。たとえば，蝶類の種数でみると1990年は72種なのに対し，1999年では63種である。オランダでのおもな環境影響要因としては，経済活動を目的とした土地利用面積の拡大による自然地の減少，道路や水路による生息環境の分断，土壌の富栄養化・酸性化，地下水位の低下等である。

(2)「オランダの自然保護政策における生態系ネットワーク」

パウル・アウケス氏

1990年に策定された自然政策計画は，自然と景観を持続的に保全し，回復し，創出することを目的として，国土生態系ネットワークを2020年までに形成することを提言した。ネットワークに位置づけられた区域のうち，自然環境保全を主目的とする面積は，計画立案時点で45万haであったが，計画ではこれを70万haまで拡大することとしている。計画では，保全・回復を目指すべき5タイプの生態系とそれぞれの生息目標種を明らかにしている。

全国レベルの計画策定後，これまでに，70%の区域について州政府により詳細な計画が策定されたため，中央政府としては残り30%の実現に力を注いでいる。

(3)「環境庁における生物多様性保全の取り組み」

中島慶二氏（環境庁自然保護局計画課課長補佐）

わが国では，生物多様性条約に基づき1995年に生物多様性国家戦略を決定し，21世紀半ばまでに達成すべき長期目標に向けての取り組みを進めている。環境庁においては，国土レベルの施策として，「生物多様性保全のための国土区分および区域ごとの重要地域情報」の試案の取りまとめや，国土レベルの生態系ネットワークの形成に向けた「緑の回廊構想」の策定等を行っているところである。

(4)「生息環境の分断とその解消：インフラによる生息環境分断への対策の経緯，成果，および事業化手法」

ハンス・ベッカー氏（オランダ運輸・公共事業・水管理省道路水理技術研究所プログラムマネージャー）

オランダは高密度で人口が分布しており，高度な土地利用が行われ，都市もいまだに拡大傾向にある。このため，広大な道路ネットワークがランドスケープを細かく分断するに至った。

交通インフラによる自然環境の分断は，動植物をはじめとする生態的な価値を低下させる。こうした分断化が徐々に問題として認識されてきており，道路事業においてさまざまな動物用の道路横断施設を設置してきている。さらに，自然環境の保全手法の1つである生態系ネットワークの理念が，インフラによる生息環境の分断化を防止するための施策に展開されてきている。動物用の道路横断施設であるエコダクト等は，野生動物と自動車運転者の双方の安全性向上のために重要な手法である。自然環境の分断化防止の歴史，過程を顧みると，分野を異にする専門家が，互いの手助けを必要としていることがわかる。分断化防止の過程では，意見交換・意志の疎通，協力および関係者全員に情報が行きわたるような配慮が不可欠である。

(5)「オランダの自然環境保全における路傍空間の重要性」

ハンス・ド・フリース氏（オランダ運輸・公共事業・水管理省道路水理技術研究所環境部プロジェクトマネジャー）

オランダの道路延長は12万4,530km，陸地面積あた

り道路延長は3,700 m/㎢である。自動車専用道路の延長は3,143 kmで，その24時間交通量は，2万台から16万台の間である。

オランダには，約1,590万人の人口，約1,350万頭の豚，約420万頭の牛，約1億羽のニワトリがいて，自然保護区は国土の3.4%にすぎない。中でも，自然草地および二次的草地は3,000 haに満たない状況で，貧栄養の草地を生息環境とする動植物は，1950年代から最も強く環境改変の影響を受けてきた。一方では，道路路傍の面積を合計すると5万9,000 haに上り，路傍延長と水路の水際延長を合計すると，オランダには延長40万kmの緑のネットワークが存在することになる。特に，自動車専用道路の路傍は，幅が10～50 m，合計面積が1万2,000 haある。自動車専用道路の路傍に対して，動植物の生態を考慮に入れた設計，施工，および維持管理を行うことで，植物種と昆虫類・鳥類・小型ほ乳類などにとって，これらの空間が重要な生息環境として機能することが確認されている。

(6) 「道路空間を利用した生態系ネットワークの構築の可能性」

大西博文（建設省土木研究所環境部交通環境研究室室長）

日本での道路整備においても，身近な生態系の保全を図りつつ道路整備をバランスよく行っていくことが求められている。その方法論として生態系ネットワークの構築とそれに調和した道路整備の実施が重要であると考えられる。そこでまず，生態系ネットワークの計画手法について，日本の実状をふまえつつケーススタディを行った。また，生態系ネットワークにおける道路事業の位置づけとして，道路による生態系ネットワークの分断防止，およびハビタットとしての道路空間の利用という2点を示した。

次に，生態系ネットワーク構築という観点から道路事業で実施すべき施策としては，道路による生態系ネットワークの分断を防止し，ハビタット間の連結性を保つことが重要であると考えられる。そこで，生態系ネットワークの分断について，その影響および回避・軽減する対策を日本の調査事例を踏まえて説明した。

一方，道路空間には環境施設帯，のり面等のさまざまな緑地があり，さまざまな生物に利用されている。自然の減少が著しい都市部から郊外部では道路もその中の緑地により生態系ネットワークの構築に貢献できると考えられる。そこで，ハビタットとしての道路空間利用という観点から，道路空間における緑地の生物のハビタットとしての利用可能性を環境施設帯とのり面の調査事例により示した。

(7) 「自然環境保全，特に生態系ネットワークの実現におけるNGOの役割と重要性」

ヴィム・ヘラツ氏（オランダ自然保護団体連合シニア職員）

オランダの自然環境NGOは，土地所有者，市民活動およびデータ収集の3つの機能において重要な役割を果たしている。オランダの自然環境保全を主目的とする土地所有者のうち大きなものは，国家森林局(1999年に独立組織化。22万haの土地を所有)，ナチュール・モニュメンテン(全国に会員を持つNGOで，7.9万haの土地を所有)，州別自然保護団体(12州の各州を活動範囲とするNGOで12団体合計で8.1万haの土地を所有)の3つがある。また，市民活動としては，特定の開発に反対するためのグループから，地域の博物誌を研究するグループまでさまざまであり，植物，ほ乳類，昆虫類，両生類等，生物種群ごとに研究グループもあり，データ収集を行っている。鳥類および両生類・は虫類については1970年代から種の分布図が作られ，その後のフォローアップが行われている。調査に当たっては，モニタリングルートが設定されており，一定ルート上を場合によっては毎週，あるいは毎月調査している。こうした調査を趣味としているボランティアは，現在では5万人を超えていると思われる。こうした情報を権威ある機関の専門家が，確認して統合し，毎年公表している。

以上のほかに，生態系ネットワーク実現の過程において自然環境NGOが，①国および各州の生態系ネッ

トワーク計画に関して，当初から政府の計画立案担当者とともに計画立案に加わったこと，②州内の地域別計画の立案にあたって，1/25,000の図上で生態系ネットワークのための区域および用地取得予定者（先述の「土地所有者」3団体のいずれか）を明記し，農業者団体との綿密な協議に参加したこと，③地域別計画に基づき，農家，道路・水路管理者，州政府等と生態系ネットワークの実現に関する事業の調整を行う場に参加し，一体的な事業を進めることといった活動も行っている。

(8) 「環境の時代を迎えるミティゲーションのあり方」
池谷奉文氏（㈶日本生態系協会会長）

野生生物が絶滅の危機に瀕する主な原因は，生息環境の悪化によるものである。このため今後の開発事業には，自然生態系への悪影響を回避・最小化・代償するための「ミティゲーション」の検討が必要になる。現在わが国で行われているエコロードなどの道路における環境対策は，「軽減」や「代償」のミティゲーションが中心である。これからは，貴重な動植物の生息場所などには基本的に道路をつくらないことを原則として，どうしても道路を建設しなくてはならないところでは，人間のためだけでなく自然にもプラスに働く道づくりを推進し，場所によっては道路の再自然化の検討を行っていくことも重要である。

2．パネルディスカッション

パネルディスカッションでは，勝野武彦氏（日本大学生物資源科学部教授）をコーディネーターとして講演者7名によって講演内容をふまえた意見が交わされました。ディスカッションは主に，生息域の分断と防止に関する調査・研究，生息域の分断防止に関する対策と効果，対策の事業化とモニタリングの実施体制，道路空間の生態的回廊としての利用可能性，生物多様性保全戦略と道路計画の整合，関係者間のパートナーシップの形成の6つの話題について，日本とオランダの生態系ネットワークの計画者，道路事業者，NGOのそれぞれの立場から発言がありました。



写真－2　勝野武彦氏をコーディネーターとしてのパネルディスカッション

最後に，コーディネーターの勝野氏がこのパネルディスカッションにおける各パネリストの発言を次の5つにまとめられました。

①生物生息情報の収集の重要性
②生態系ネットワークのマスタープランの重要性
③分断防止施設の普及とその利用状況のモニタリングの推進
④路傍空間の生物生息空間としての積極的な利用
⑤関係者間のパートナーシップ構築の重要性

おわりに

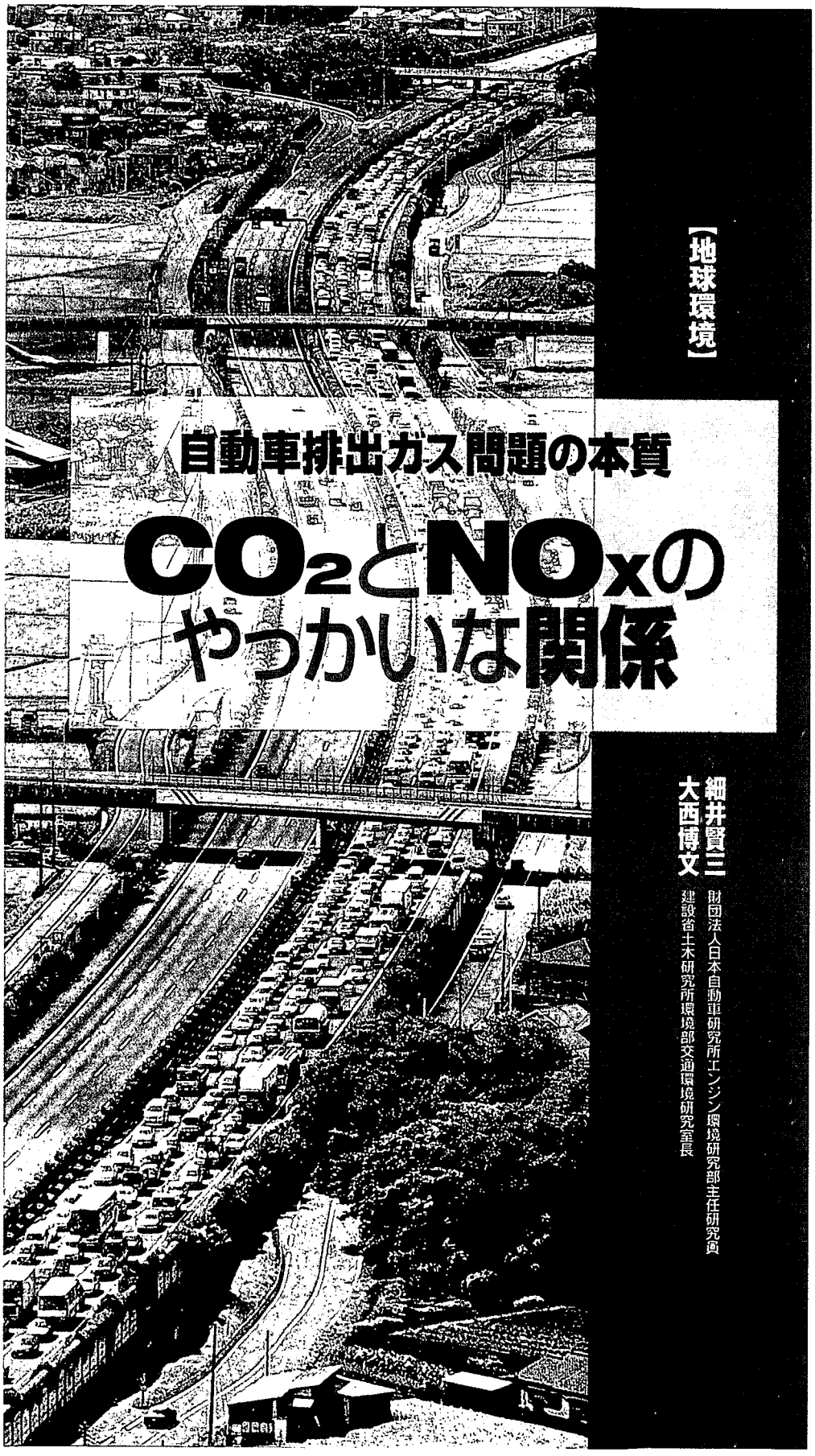
1999年6月に環境影響評価法が施行され，新しく生態系の保全の観点が盛り込まれました。日本の現状では，生態系ネットワークという概念はまだ十分に広まっておりませんが，いつの日かその理念を各種事業に適用する日がくると思われます。そのためにも土木研究所では，今後も生態系ネットワークに関する研究を進めていく予定です。

なお，西暦2000年はわが国とオランダの交流が始まってから400周年にあたる年です。本シンポジウムが両国のますます盛んな交流にも寄与できたのであれば幸いです。

【地球環境】

自動車排出ガス問題の本質
CO_2とNOxのやっかいな関係

細井賢三
財団法人日本自動車研究所エンジン環境研究部主任研究員
大西博文
建設省土木研究所環境部交通環境研究室長



環境庁がこのほど明らかにした98年度の大気汚染調査によると、二酸化窒素（NO_2）や浮遊粒子状物質（SPM）の値は、ほとんど改善をみておらず、とくに首都圏や近畿圏の大都市地域において環境基準の達成が依然として厳しい状況にある。一方地球環境への関心が高まるとともに、地球温暖化物質である二酸化炭素（CO_2）の排出量の少ない車が求められるようになってきた。CO_2を出さない車とは、基本的には燃費の良い車のことである。だが、ここに1つの落とし穴がある。エンジンの基本的な特性からいうと、燃費を良くしようとすると、窒素酸化物（NO_x）の排出量が増え、沿道環境にはむしろ悪影響を及ぼすのである。

強制着火のガソリン 自己着火のディーゼル

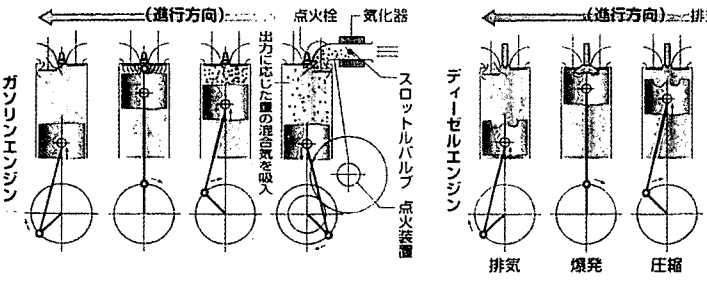
排出ガスのない電気自動車、燃料電池自動車、あるいはそれらと従来のエンジンを組み合わせたハイブリッドカーなどの模索も始まっている。だが、性能や至便性の点でエンジン搭載車に追い付くまでにはいたらず、なかなか大きな流れとはならないのが現実である。われわれはまだ当面の間は、ガソリンエンジンやディーゼルエンジンとつきあっていかざるを得ないのである。

こうしたCO_2とNO_xの微妙な関係については、これまであまり積極的に論じられてこなかった。エンジンの基本的な原理にまで立ち返ることから始めて、難題を乗り越え、地球環境と沿道環境の保全という二律背反的な目標を2つながら達成するた

めの道を探ってみたい。

この問題を考えるには、まず、さまざまなエンジンの原理を知っておく必要がある。現在使われている代表的エンジンはガソリンエンジンとディーゼルエンジンの2つだが、その主な相違点は燃焼方式にある。

ガソリンエンジンでは、あらかじめ燃料（ガソリン）と空気を1対15（空燃比15）程度で混合し、混合気をシリンダー内に吸入してシリンダー内容積を10分の1（圧縮比10）程度に圧縮し、電気で強制点火する。これに対し、ディーゼルエンジンは、空気のみをシリンダー内に吸入、20分の1程度に圧縮して数百度の高温圧縮空気を生成させ、ここに燃料（軽油）を噴射して自己着火させる。



1ガソリンエンジンとディーゼルエンジンの行程分解図＝杉木和俊『ディーゼル自動車の本』から

簡単にいえば、「空気と燃料の混合気の吸入圧縮→強制点火」で燃やすのがガソリンエンジン、「空気の吸入圧縮→シリンダー内燃料噴射→自己着火」で燃やすのがディーゼルエンジンということになる。

当然、エンジン構造も異なってくる。ガソリンエンジンは、吸気系統に混合気を作るためのキャブレターまたはガソリン噴射装置が必要である。

ディーゼルエンジンの場合は、シリンダー内に燃料を送り込むための燃料噴射ポンプがあってエンジンで駆動され、シリンダーヘッドには燃料噴射ノズルがある。また、吸入空気を20分の1程度まで圧縮するため、ピストン頂面には燃焼室（燃焼に適した凹みを設けた室）が必要になってくる（1）。

NOxは空気中の窒素から

こうした違いは、燃料の違いからくるものである。いうまでもなく、ガソリンエンジンはガソリンを、ディーゼルエンジンは軽油を燃料とする。いずれも原油を分溜することにより得られるが、沸点に差があり、ガソリンは30～200度C、軽油は150～350度Cである。

ガソリンと軽油の性質は表の通り（2）。ガソリンは引火点（炎を近づけたときに引火する温度）が低く、着火点（炎がない状態で自然に発火する温度）が高いという特徴がある。軽油はガソリンよりも引火点が高く、着火点が低い。

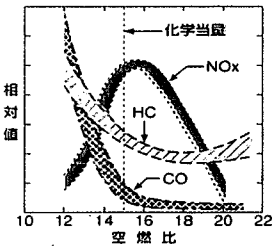
ガソリンエンジンが混合気を圧縮して強制着火する方式を採用しているのは、引火点が低いからである。ガソリンの性質を示す指標としてはオクタン価（イソオクタンを100、n－ヘプタンを0として設定された値で、アンチノック性の尺度）があり、高いほど自然着火しにくくなる。

といっても、オクタン価が低くなると、点火後の火炎面の伝搬中に、末端ガスが自然着火し急速に燃える現象が生じる。いわゆるノッキングである。

2ガソリンと軽油の物性値
＝「第5版化学便覧応用化学編」から作成

種類	ガソリン	軽油
沸点(℃)	30～200	150～350
引火点(℃)	−20～−40	50～70
着火点(℃)	約300	250～260
理論空燃比	14.5～14.7	14.6
オクタン価※	84～94	−
セタン価	−	45～60

※JIS K2202の規定を記載



3空燃比とNOxなどの排出量
＝鳴村晴夫他「自動車排ガス公害」から

着火点の低い軽油を使うディーゼルエンジンは、自己着火に頼ることができる。ディーゼルエンジンの燃料の適正さを示すのがセタン価（セタンを100、ヘプタメチルナノンを15として設定された値で自己着火性を示す）という指数で、この値が大きくなるほど、着火性がよくなる。

さて、問題の自動車排出ガス（CO_2、CO、HC、NO_x）は、燃料の爆発的燃焼のエネルギーを運動エネルギーとして利用する過程で生じる。CO_2は燃料中の炭素が酸化物として生成され、燃焼反応が不十分だと、未酸化の一酸化炭素（CO）や、未燃燃料の炭化水素（HC）ができる。

その中にあって、NO_xだけは燃料に起因するものではなく、空気中の窒素の酸化により生成されることが、ここからの議論では重要になる。この反応は1000度C以上の高温で起こり、温度が高いほどNO_x濃度は増加するという性質がある。

ガソリンエンジンの場合、理論空燃比は約15であるが、実際にはこれよりやや空気過剰側（理論空燃比の約1・1倍）で完全燃焼させると、CO、HCの排出を小さくすることができることがわかっている。ところが、燃焼温度が高くなるので、N_2とO_2の反応が進み、NO_xの濃度は最大になる（3）。

空気をさらに増加させ混合気を希薄状態（lean）にしていくと、燃焼反応は低下、燃焼温度も低くなって、NO_xの発生が減少する。もっとも、この状態では出力が低下してしまって、通常は運転に適さない。

空燃比がガソリンエンジンよりも高いディーゼルエンジンでは、原理的にCOやHCの発生が少ない。しかし、高温で、しかも空気が過剰となっているためNO_xはきわめて発生しやすい状態になる。

わが国でNO_x規制が始まる1973（昭和48）年4月以前の車種別のNO_x排出量を比較してみた。

直噴ディーゼル車は高いが、予燃焼室式や渦室式のディーゼル車は、ガソリン車とほぼ同程

$$C_mH_n+\left(m+\frac{n}{4}\right)O_2 \longrightarrow mCO_2+\frac{n}{2}H_2O$$
$$N_2+O_2 \longrightarrow 2NO$$
（排出ガス中の窒素酸化物の90%以上はNOとして生成される）

度またはそれ以下となっていることが注目される。にもかかわらず、ディーゼル車の台数は自動車全体の18％でしかないのに、NO_x排出量は総量の75％を占めるとして、今日、社会問題とまでなっているのはどうしたことなのだろうか（4 5）。

まだ課題山積のNO_x低減技術

その理由は、この間ガソリン車のNO_x低減技術が大きく進んだのに対し、ディーゼル車では画期的な進展がなかったことにある。

ガソリン車では現在、三元触媒や排気ガス再循環（EGR）という技術が主に用いられるようになっている。三元触媒は、空燃比を理論空燃比に制御すると、白金－ロジウム系触媒上でCO、HCの酸化とNO_xの還元が同時に行われ、無害のCO_2、H_2O、N_2に変換される。CO、HC、NO_xの3成分を除去することから、その名がある。EGRは排出ガスの一部を再び吸気に環流させるもので、混合気中に比熱の大きいCO_2が増加するため、燃焼時の温度が下がり、これによってNO_xが低減される。

ディーゼル車のNO_xの低減技術としては、燃料噴射時期の遅延、インタークーラー付きターボ過給などを挙げることができる。いずれも燃焼温度を下げることによりNO_xを低減しようというものだが、効果には限界がある。ガソリン車に使われるEGRも乗用車用の小型ディーゼルエンジンに一部実用化されているが、排気中の黒煙や硫黄酸化物までエンジン内部に再吸入されることになり、ピストンやシリンダーまわりの摩耗耐久性や、エンジンオイルの寿命への影響が大きすぎ、さらなる発展を遂げる見込みは薄い。

三元触媒は、空気が過剰であるので有効に働かない。代わってNO_xを直接分解するSCR（Selective Catalytic Reduction）式の触媒（ゼオライトに銅イオンを担持したもの）が研究されているが、NO_xの変換効率が低いこと、硫黄分や水分によって変換効率が低下するといった根本的な問題を解決できていないのが実情である。結局、ディーゼル車に対する有効なNO_xの低減技術は、まだ存在しない。

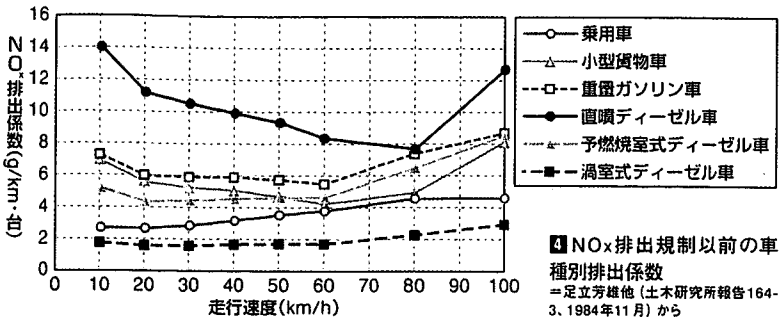
粒子状物質（PM）の発生というディーゼルエンジンに特有の問題もある。不均一混合気の燃焼であるディーゼルエンジンでは、もともと局部的に酸素不足の部分を生じやすいうえ、NO_x低減のため燃焼温度を下げるとさらに燃焼が不完全になって、燃え残ったPMが発生してしまう。

これが、そのまま大気中の浮遊粒子状物質（SPM）となって問題をひき起こすのはもちろん、せっかくの触媒層の目詰まりの原因にもなって、なかなかやっかいである。DPF（Diesel Particulate Filter）といったPM除去技術のアイデアがあるが、まだ開発段階である。

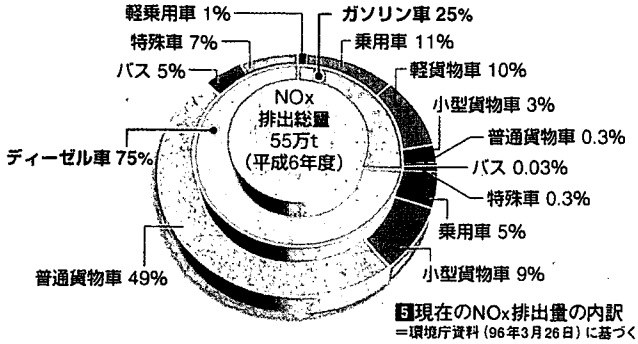
あちら立てればこちらが立たず

自動車排出ガスにおける、CO_2とNO_xのように、あちらを立てれば、こちらが立たなくなる関係を「トレードオフ」と呼ぶ。確かに、ディーゼルエンジンは燃費が良くCO_2の発生が少ないのだが、その代償として、空燃比が高くなることなどでNO_xの発生を抑えることができなくなる。

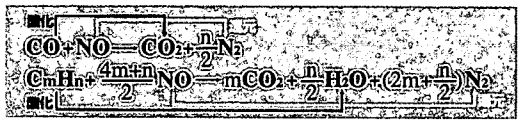
最近になって、地球温暖化対策として低燃費ガソリン車開発が精力的に進められるようになっている。リーンバーンエンジンや直噴エンジンがその代表である。ガソリンエンジンは、理論空燃比を境に、それより燃料過剰にすると高出力が得られ、空気過剰にすると低燃費が得られるが、この2つのエンジンは、低出力ですむ定常走行時に混合気の希薄状態でエンジンを

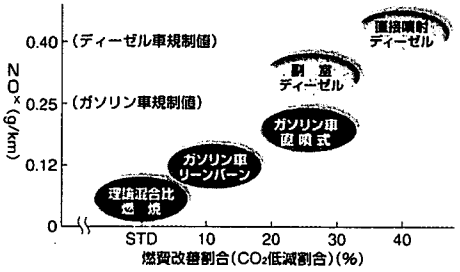


4 NOx排出規制以前の車種別排出係数
＝足立芳雄他（土木研究所報告164-3、1984年11月）から

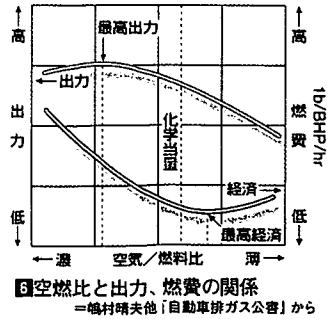


5 現在のNOx排出量の内訳
＝環境庁資料（96年3月26日）に基づく





7 CO2排出量とNOx排出量の関係
＝大聖泰弘（自動車技術、1998）から作成



6 空燃比と出力、燃費の関係
＝鴇村晴夫他「自動車排ガス公害」から

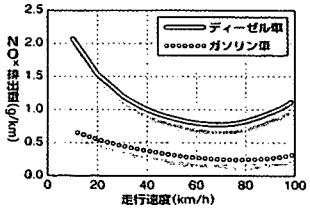
稼働することで、燃費を低くすることを狙っている（6）。

しかし、混合気を希薄にすれば、着火が難しくなる。そのために、いろいろな工夫が必要になってくる。

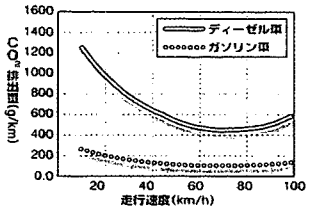
リーンバーンエンジンは、混合気をシリンダー内に噴射する際、スワール（縦渦）を発生させ、着火しやすくし、空燃比24程度での稼働を可能にしている。直噴エンジンは、燃料を直接シリンダー内に噴射する方式で、空燃比は40～50。通常ならとても着火しない濃度であるが、ピストン頂部に工夫を凝らし、点火プラグの周りに着火しやすい混合気を形成するようにしてある（成層燃焼）。

このように混合気を希薄状態でエンジンを稼働させることで、確かに燃費は低くなり、CO_2の発生も少なくすることができる。だが、ここにディーゼルエンジンの場合とよく似た問題が起きてくる（7）。

シリンダー内が高温になり、窒素と酸素から生ずるNO_xの発生を止めることができないのである。三元触媒が使用できないのもディーゼルエンジンと同じである。三元触媒は、発生するCOとHCをNO_xの還元剤として使用するのが基本的発想だが、希薄な混合気の場合、CO、HCに比べてO_2が圧倒的に多い。このO_2によってCOやHCが酸化され、NO_xの還元に回る分がないのだ。

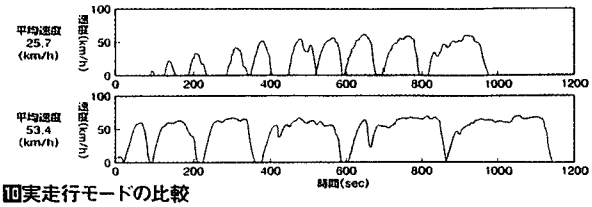


3 走行速度とNOx排出量の関係



9 走行速度とCO_2排出量の関係

この問題を解決するため、NO_xを一時触媒内に吸着し、通常運転時に移行したとき（理論空燃比の状態になったとき）に、発生するCOとHCで吸着したNO_xを還元するというNO_x吸着型三元触媒の試みがある。触媒の細孔にHCを捕集し、触媒表面にはNO_xを吸着させて、これらを触媒反応によって分解させるという方式も開発が進められている。これらの実用化が待たれるところである。



10 実走行モードの比較

11 車の走らせ方と燃費の関係

資料	A	B	C
急発進	120cc／10回	170cc／10回	15～20%の悪化
急加速	120cc／10回	110cc／10回	15～20%の悪化
空ぶかし	60cc／10回	60cc／10回	大型車：10～12cc／回 中型車：5～7cc／回 小型車：3～5cc／回
アイドリング	140cc／10分間	65cc／5分間	大型車：25～35cc／分 中型車：14～16cc／分

A：財省エネルギーセンター資料　B：㈳日本自動車工業会資料　C：㈳全日本トラック協会

12 巡航速度時速40kmでの車種別走行モード別のNOx排出係数（mℓ/秒）
＝横田久司、飯田靖雄（東京都環境科学研究所年報、1997）から

	軽乗用車	乗用車*	バス	軽貨物車	小型貨物車	普通貨物車	特殊車	乗用車（LPG）
アイドリング	0.011	0.025	2.922	0.031	0.591	0.075	2.758	2.013	0.022
加速	1.641	1.220	36.778	4.385	13.200	4.022	33.238	26.113	1.073
定速	0.892	1.209	20.079	2.448	7.821	4.198	19.851	17.602	1.063
減速	0.060	0.097	1.689	0.162	0.855	0.269	1.778	1.784	0.085

*LPG車を除く

最善の策は60キロで車を流すこと

少し視点を変えて、車の走行速度と排出ガスの関係を調べてみよう。

ガソリン車とディーゼル車のそれぞれについて、走行速度に対するNO_x排出量の変化と、走行速度に対するCO_2排出量（走行速度と燃費の関係式から計算）を見ると、いずれも時速60～80キロで最低を示し、60キロ以下では増加していくことがわかる（8）（9）。

このような現象が起こるのは、低速域においては加速モードやアイドリングモードが増加することによるものであることは、一般道路での大型車の平均速度25・7キロと53・4キロの実走行モードを比較すれば一目瞭然である（10）。

加速時には、アクセルを踏み込み、回転数を上げる。この操作は、多くの燃料を供給して燃費を増加させる。排気管からの排気量も多くなるのはもちろんである。NO_x濃度を多少低減したとしても、排気のボリューム自体が増加するのであるから、総量でみると少しも減っていないことになる。

ディーゼル車は加速時にはエンジン負荷が大きくなり燃焼温度が上がるので、ガソリン車に比べてさらにNO_x排出量が増加する。また、アイドリングが多いと、単位距離を走行するために時間を要する。すなわち、単位距離当たりの燃費（CO_2排出量）やNO_x排出量は多くなる（11）（12）。

現在、道路における朝夕の走行速度は三大都市圏の人口集中地区で時速21キロ、地方都市でも24キロにとどまっている。

走行速度とCO_2、NO_x排出量にはトレードオフの関係は存在しない。かりに、車の流れを時速60キロに近づけられたら、CO_2とNO_xの排出量は手を携えるように減少し、地球温暖化防止と道路沿道の環境対策の双方に大きく寄与することができるはずだ。

エンジンの改良や有効な触媒の開発はもちろんであるが、自動車排出ガス問題の根本的解決には、道路の渋滞を解消し、走行速度を上げてやることが極めて重要である、というのが平凡ながらここでの結論である。

1人1人がエコドライブの心がけを

急発進、急加速、空ぶかし、アイドリングの抑制などを中心に、最近ではエコドライブの実践が提唱されるようになった。不必要な燃料消費や、不必要なNO_xの排出の防止、もちろん、このことはドライバー1人1人が常々から心がけなければならない。

参　　考

交通環境研究室における研究活動

1．環境に関する横断的な研究

項　目	課　題　名	期　間	研　究　室	備　考
総合技術開発プロジェクト	生態系の保全･生息空間の創出技術の開発	H8～12	◎緑化生態 環境計画 交通環境 河川環境 水質 水工水資源	◎は幹事研究室

2．共同研究

課　題　名	研究室	期　間	共同研究者	備　考
低騒音舗装に関する研究	交通環境	H8～12	（財）日本自動車研究所	指定共同研究
多孔質弾性舗装の開発に関する共同研究	交通環境	H10	アサヒゴム㈱、オカモト㈱、住友ゴム工業㈱、ディスカバリー、東海ゴム㈱、東洋ゴム㈱、日東化工㈱、バンドー化学㈱、藤本産業㈱、㈱ブリヂストン、横浜ゴム㈱	
多孔質弾性舗装の研究	交通環境	H9～13	スウェーデン国立道路交通研究所	
道路による生息域分断防止技術の研究	交通環境	H10～14	オランダ運輸・公共事業・水管理省道路水理技術研究所	
道路交通から排出される温室効果ガスに関する研究	交通環境	H11～12	経済協力開発機構（OECD）の加盟国	課題の略号はERS5

3．指針・マニュアル等の作成（過去４年）

名　称	作成主体	時　期	担当	備　考
低騒音舗装の概説	低騒音舗装研究会	平成８年12月	大西博文 明嵐政司 南里吉輝	高島一彦（総合交通安全研究官） 池田拓也（舗装研究室室長） 久保和幸（舗装研究室主任研究員） と共同
道路環境技術開発の新たな展開	（編著）道路環境技術研究会	平成９年３月	交通環境研究室	
道路事業に係る環境影響評価技術指針省令	建設省道路局	平成10年６月	交通環境研究室 緑化生態研究室 地質研究室 構造研究室 機械研究室 土質研究室 施工研究室	左記省令の原案を土木研究所が作成
障壁による道路交通騒音低減効果の予測･評価方法に関する研究	土木研究所	平成11年10月	交通環境研究室	土木研究所資料第3654号
多孔質弾性舗装の開発に関する共同研究報告書	土木研究所	平成12年１月	交通環境研究室	土木研究所資料第237号
低騒音舗装の自動車走行騒音低減効果とそのメカニズムに関する研究	土木研究所	平成12年３月	交通環境研究室	土木研究所資料第3677号
低層遮音壁の設計方法に関する研究	土木研究所	平成12年３月	交通環境研究室	土木研究所資料第3705号

発表論文等一覧（１）

【平成11年度　公表論文】

No.	論文名	執筆者名	書籍名	発行所	巻号	発行年月
（1）	種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究	上坂克巳 大西博文 鉢峰清範 石川賢一 高木興一	騒音制御	(社)日本騒音制御工学会	Vol.23 No.2	1999.4
（8）	道路橋から発生する低周波音の実態と予測方法	村井逸朗 竹田和信 大西博文 上坂克巳 那須猛士 石渡俊吾	日本音響学会騒音振動研究会資料	(社)日本音響学会	N-99-34	1999.5
（9）	沿道建物の一般的な防音性能について	植村圭司 上坂克巳 大西博文 岩瀬照雄	日本音響学会騒音振動研究会資料	(社)日本音響学会	N-99-46	1999.6
（2）	道路交通騒音の現状と対策	大西博文	騒音制御	(社)日本騒音制御工学会	Vol.23 No.3	1999.6
（3）	これからの低層遮音壁	鉢峰清範 上坂克巳	騒音制御	(社)日本騒音制御工学会	Vol.23 No.3	1999.6
（4）	幹線道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法	上坂克巳 大西博文 三宅龍雄 高木興一	騒音制御	(社)日本騒音制御工学会	Vol.23 No.3	1999.6
（35）	排水性舗装の自動車走行騒音低減効果	大西博文	環境管理	(社)産業環境管理協会	Vol.35 No.7	1999.7
（36）	排水性舗装による自動車走行騒音の低減に関する検討	三上哲夫 大西博文	自動車研究	(財)日本自動車研究所	Vol.21 No.7	1999.7
（37）	微生物を利用した大気中の窒素酸化物除去に関する基礎実験	大城温 山田俊哉 大西博文	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.41 No.8	1999.8
（11）	低層遮音壁の騒音低減効果とその設計	鉢峰清範 上坂克巳 大西博文	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.41 No.8	1999.8
（12）	道路環境センサスデータによる幹線道路沿道の騒音実態	植村圭司 上坂克巳 大西博文	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.41 No.8	1999.8
（40）	道路沿道の弱風時拡散について	山田俊哉 大西博文 大城温 三上泰介	大気環境学会年会講演要旨集	(社)大気環境学会	第40回	1999.9
（41）	道路沿道における有風時拡散について	大城温 大西博文 山田俊哉 百瀬成一	大気環境学会年会講演要旨集	(社)大気環境学会	第40回	1999.9

発表論文等一覧（２）

【平成 11 年度　公表論文】

No.	論文名	執筆者名	書籍名	発行所	巻号	発行年月
（４９）	PLANNING METHOD OF ECOLOGICAL NETWORK AND ROAD PROJECTS	H.Ohnishi K.Uesaka H.Oneyama A.Kawakami T.Kosuge	Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies		Vol.33 No.1	1999.9
（１４）	空隙率別排水性舗装の騒音低減効果	青木理恵 近藤升 大西博文	日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集	(社)日本騒音制御工学会		1999.9
（１５）	アクティブソフトエッジ遮音壁の開発－固定音源及び移動音源に対する屋外実験結果－	上坂克巳 大西博文 鉢峰清範 大西慶三 西村正治	日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集	(社)日本騒音制御工学会		1999.9
（１６）	平面・高架併設道路の騒音予測手法	木村健治 上坂克巳 大西博文 鉢峰清範 堀田竜太	日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集	(社)日本騒音制御工学会		1999.9
（２７）	多孔質舗装の吸音特性と騒音低減効果	大西博文 近藤升 藤原敏彰 高木興一	日本音響学会講演論文集	(社)日本音響学会	秋季，II	1999.9
（２８）	排水性舗装における騒音低減効果	青木理恵 近藤升 大西博文	日本音響学会講演論文集	(社)日本音響学会	秋季，II	1999.9
（２９）	排水性舗装上を走行する自動車の累積交通量とタイヤ近接音の関係について	近藤升 大西博文 石川賢一	日本音響学会講演論文集	(社)日本音響学会	秋季，II	1999.9
（３０）	ドイツ騒音予測手法 RLS－90による市街地のLAeqの推計結果と実測値の比較	太田尚 鈴木英男 上坂克巳	日本音響学会講演論文集	(社)日本音響学会	秋季，II	1999.9
（４２）	大気質予測に用いる気象データの代表性について	大城温 大西博文 百瀬成一	日本道路会議一般論文集（A）	(社)日本道路協会	第 23 回	1999.10
（４３）	沿道の大気質予測における点煙源配置について	山田俊哉 大西博文 三上泰介	日本道路会議一般論文集（A）	(社)日本道路協会	第 23 回	1999.10
（５９）	自動車の CO2 排出量と旅行速度との関係	小根山裕之 大西博文	日本道路会議一般論文集（A）	(社)日本道路協会	第 23 回	1999.10
（４４）	沿道における二酸化窒素濃度の予測に用いる NOx 変換式	山田俊哉 大西博文 大城温 小根山裕之 百瀬成一	環境システム研究	(社)土木学会環境システム委員会	Vol.27	1999.10

発表論文等一覧（３）

【平成 11 年度　公表論文】

No.	論文名	執筆者名	書籍名	発行所	巻号	発行年月
（４５）	沿道における二酸化窒素濃度の予測に用いる年間９８%値等の換算式	大城温 大西博文 山田俊哉 小根山裕之 三神泰介	環境システム研究	(社)土木学会環境システム委員会	Vol.27	1999.10
（４８）	A POSSIBILITY OF ESTABLISHING THE ECOLOGICAL NETWORK USING ROAD SPACE	H.Oneyama A.Kawakami R.Imai T.Kosuge	World Road Congress	PIARC(世界道路協会)	21st	1999.10
（５０）	道路照明が動植物に与える影響	川上篤史 小根山裕之 大西博文	日本道路会議一般論文集（A）	(社)日本道路協会	第 23 回	1999.10
（５１）	道路のり面の鳥類による利用状況	今堀るみ子 小根山裕之 大西博文	日本道路会議一般論文集（A）	(社)日本道路協会	第 23 回	1999.10
（１７）	低層遮音壁の設計方法について	木村健治 上坂克巳 大西博文	日本道路会議一般論文集（A）	(社)日本道路協会	第 23 回	1999.10
（１８）	アクティブソフトエッジ遮音壁の開発－屋外実験結果－	上坂克巳 大西博文 鉢峰清範	日本道路会議一般論文集（A）	(社)日本道路協会	第 23 回	1999.10
（１９）	多孔質弾性舗装の排水機能について	近藤升 大西博文 南里吉輝	日本道路会議一般論文集（A）	(社)日本道路協会	第 23 回	1999.10
（２０）	多孔質弾性舗装の耐火性に関する調査	青木理恵 近藤升 大西博文	日本道路会議一般論文集（A）	(社)日本道路協会	第 23 回	1999.10
（２１）	多孔質弾性舗装の開発に関する共同研究について	近藤升 大西博文 青木理恵	日本道路会議一般論文集（A）	(社)日本道路協会	第 23 回	1999.10
（５８）	路面排水実態調査の結果について	植村圭司 山田俊哉 大西博文	日本道路会議一般論文集（A）	(社)日本道路協会	第 23 回	1999.10
（６０）	沿道生活環境の保全技術の研究開発	大西博文	道路	(社)日本道路協会	第 23 回	1999.10
（５４）	道路空間を利用した生態系ネットワークの構築の可能性	大西博文 小根山裕之	日蘭シンポジウム講演資料集	土木研究所		1999.11
（４６）	沿道の浮遊粒子状物質濃度の予測手法	山田俊哉 大西博文 大城温 三神泰介	環境工学研究フォーラム論文集	(社)土木学会環境工学委員会	第 36 回	1999.12
（４７）	沿道における大気質予測のための現地調査時期および期間	大城温 大西博文 山田俊哉 百瀬成一	環境工学研究フォーラム論文集	(社)土木学会環境工学委員会	第 36 回	1999.12

発表論文等一覧（4）

【平成11年度　公表論文】

No.	論文名	執筆者名	書籍名	発行所	巻号	発行年月
（57）	都市域における路面排水汚濁負荷流出量	大野順通 山田俊哉 大西博文 植村圭司	環境工学研究フォーラム講演集	(社)土木学会環境工学委員会	第36回	1999.12
（52）	植物の生息場所としてみた道路のり面とビオトープネットワークについて	川上篤史 小根山裕之 今井亮子 今堀るみ子 大西博文	環境工学研究フォーラム講演集	(社)土木学会環境工学委員会	第36回	1999.12
（5）	道路に直面した単独建物および建物列後方における等価騒音レベルの簡易計算方法	上坂克巳 大西博文 三宅龍雄 高木興一	騒音制御	(社)日本騒音制御工学会	Vol.23 No.6	1999.12
（6）	道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベルの計算方法	上坂克巳 大西博文 千葉隆 高木興一	騒音制御	(社)日本騒音制御工学会	Vol.23 No.6	1999.12
（22）	Development of the Noise Barrier using Active Controlled Acoustical Soft Edge –Part1:Control Algorithm, Consistency with Active and Passive Performance and 2m Length Prototype Test in Anechoic Room	K.Ohnishi S.Teranishi M.Nishimura K.Uesaka K.Hachimine H.Ohnishi	ACTIVE99 Proceedings	I-INCE,INCE/USA		1999.12
（23）	NOISE DIRECTIVITY VEHICLES ON ACTUAL ROAD	Y.Mori A.Fukusima K.Uesaka H.Ohnishi	Proceedings of inter-noise 99	I-INCE,INCE/USA		1999.12
（24）	SIMPLE METHOD FOR CALCULATING SOUND ATTENUATION BY TRIPLE NOISE BARRIERS	K.Uesaka H.Ohnishi T.Miyake K.Yamamoto K.Takagi	Proceedings of inter-noise 99	I-INCE,INCE/USA		1999.12
（25）	NEW TYPE OF NOISE BARRIERS ALONG THE EXPRESSWAY	Y.Konno M.Yamamoto H.Iimori K.Uesaka	Proceedings of inter-noise 99	I-INCE,INCE/USA		1999.12
（26）	RELATIONSHIP OF CHANGE IN NOISE REDUCTION OF POROUS ROAD PAVEMENT AND ACCUMULATED TRAFFIC VOLUME	N.Kondo H.Ohnishi K.Ishikawa	Proceedings of inter-noise 99	I-INCE,INCE/USA		1999.12
（34）	空隙率別排水性舗装の騒音低減効果と吸音特性	青木理恵	土木研究所研究発表会論文集	土木研究所	第38回	1999.12
（38）	沿道における大気汚染予測に用いる自動車の排出係数について	大城温 小根山裕之 山田俊哉 大西博文	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.41 No.1	2000.1

発表論文等一覧（５）

【平成 11 年度　公表論文】

No.	論文名	執筆者名	書籍名	発行所	巻号	発行年月
（３９）	道路特殊部における大気質の予測手法	山田俊哉 大城温 大西博文	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.42 No.1	2000.1
（５３）	道路事業における生態系の評価手法	上坂克巳 大西博文 藤原宣夫 小根山裕之 森崎耕一	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.42 No.1	2000.1
（１３）	高架道路の裏面反射音の予測計算方法	木村健治 上坂克巳 大西博文	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.42 No.1	2000.1
（７）	多孔質弾性舗装の自動車走行騒音低減効果	大西博文 明嵐政司 南里吉輝 高木興一	騒音制御	(社)日本騒音制御工学会	Vol.24 No.1	2000.2
（５５）	道路空間を活用したビオトープ整備手法に関する研究 －地表徘徊性昆虫の周辺緑地から道路の盛土のり面への侵入可能性の検討－	今堀るみ子	環境部交流研究員研究発表会論文集	土木研究所	第５回	2000.3
（５６）	路面排水が公共用水域に及ぼす影響（凍結防止剤の散布による水質変化と水生生物への影響）	大野順通	環境部交流研究員研究発表会論文集	土木研究所	第５回	2000.3
（３１）	二層式排水性舗装の騒音低減効果について	近藤升 大西博文 服部利周 石川賢一 中埜智親	日本音響学会講演論文集	(社)日本音響学会	春季、II	2000.3
（３３）	建物郡背後における道路交通騒音の予測・評価	上坂克巳 大西博文 千葉隆 高木興一	日本音響学会講演論文集	(社)日本音響学会	春季、II	2000.3
（３２）	排水性舗装の空隙率測定方法と吸音率の関係について	青木理恵 近藤升 大西博文	日本音響学会講演論文集	(社)日本音響学会	春季、II	2000.3
（１０）	全国の直轄国道沿道における騒音実態について－平成１０年度道路環境センサスの調査結果より－	木村健治 上坂克巳 大西博文 植村圭司	日本音響学会騒音振動研究会資料	(社)日本音響学会	N-2000-14	2000.3

発表論文等一覧（６）

【平成 11 年度　投稿記事】

No.	論文名	執筆者名	書籍名	発行所	巻号	発行年月
（６６）	Active Control of Road Traffic Noise		PWRI NEWS LETTER	土木研究所	No.77	1999.7
（６４）	騒音は音で制す（ANC）		読売新聞	読売新聞社	第 44304 号	1999.8.19
（６５）	逆位相波で騒音低減（ANC）		橋梁新聞	㈱テクノパック	第 680 号	1999.9.21
（６１）	オランダの環境ＮＧＯ	大西博文	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.41 No.12	1999.12
（６８）	自動車排出ガス問題の本質 CO2 と NOx のやっかいな関係	細井賢三 大西博文	サイアス	朝日新聞社	Dec.1999	1999.12
（６２）	沿道における窒素酸化物除去技術について	大西博文 山田俊哉	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.42 No.2	2000.2
（６７）	道路による生息域の分断防止と生態系ネットワークの形成に向けて	川上篤史	高速道路と自動車	(財)高速道路調査会	Vol.43 No.2	2000.2
（６３）	「道路と生態系ネットワーク」に関する日蘭ワークショップが開催される	川上篤史	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.42 No.3	2000.3

出典一覧表

No.	書　籍　名	掲　載　頁
(1)	騒音制御　Vol.23，No.2	pp.99-109
(2)	騒音制御　Vol.23，No.3	pp.128-129
(3)	騒音制御　Vol.23，No.3	pp.148-152
(4)	騒音制御　Vol.23，No.3	pp.189-199
(5)	騒音制御　Vol.23，No.6	pp.430-440
(6)	騒音制御　Vol.23，No.6	pp.441-451
(7)	騒音制御　Vol.24，No.1	pp.68-76
(8)	日本音響学会騒音振動研究会資料　N－99－34	pp.25-32
(9)	日本音響学会騒音振動研究会資料　N－99－46	pp.1-11
(10)	日本音響学会騒音振動研究会資料　N－2000－14	pp.1-4
(11)	土木技術資料　Vol.41，No.8	pp.20-25
(12)	土木技術資料　Vol.41，No.8	pp.32-35
(13)	土木技術資料　Vol.42，No.1	pp.56-59
(14)	日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集	pp.13-16
(15)	日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集	pp.113-116
(16)	日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集	pp.121-124
(17)	日本道路会議一般論文集（A）　第23回	pp.54-55
(18)	日本道路会議一般論文集（A）　第23回	pp.56-57
(19)	日本道路会議一般論文集（A）　第23回	pp.62-63
(20)	日本道路会議一般論文集（A）　第23回	pp.64-65
(21)	日本道路会議一般論文集（A）　第23回	pp.68-69
(22)	ACTIVE 99 Proceedings	pp.595-606
(23)	Proceedings of inter-noise 99	pp.209-212
(24)	Proceedings of inter-noise 99	pp.467-470
(25)	Proceedings of inter-noise 99	pp.481-486
(26)	Proceedings of inter-noise 99	p.609
(27)	日本音響学会論文集　秋季，II	pp.699-700
(28)	日本音響学会論文集　秋季，II	pp.703-704
(29)	日本音響学会論文集　秋季，II	pp.705-706
(30)	日本音響学会論文集　秋季，II	pp.723-724
(31)	日本音響学会論文集　秋季，II	pp.607-608

No.	書 籍 名	掲 載 頁
(32)	日本音響学会論文集 秋季，II	pp.609-610
(33)	日本音響学会論文集 秋季，II	pp.623-626
(34)	土木研究所研究発表会論文集 第38回	p.41
(35)	環境管理 Vol.35，No.7	pp.41-47
(36)	自動車研究 Vol.21，No.7	pp.351-353
(37)	土木技術資料 Vol.41，No.8	pp.26-31
(38)	土木技術資料 Vol.41，No.8	pp.60-63
(39)	土木技術資料 Vol.41，No.8	pp.64-69
(40)	大気環境学会年会講演要旨集 第40回	p.360
(41)	大気環境学会年会講演要旨集 第40回	p.556
(42)	日本道路会議一般論文集（A）第23回	pp.74-75
(43)	日本道路会議一般論文集（A）第23回	pp.76-77
(44)	環境システム研究 Vol.27	pp.649-654
(45)	環境システム研究 Vol.27	pp.655-660
(46)	環境工学研究フォーラム講演集 第36回	pp.97-99
(47)	環境工学研究フォーラム講演集 第36回	pp.100-102
(48)	World Road Congress 21st	CD-ROM
(49)	Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol.3 No.1	pp.56-59
(50)	日本道路会議一般論文集（A）第23回	pp.106-107
(51)	日本道路会議一般論文集（A）第23回	pp.108-109
(52)	環境工学研究フォーラム講演集 第36回	pp.103-105
(53)	土木技術資料 Vol.42，No.1	pp.24-27
(54)	日蘭シンポジウム講演資料集	pp.69-77
(55)	環境部交流研究員研究発表会論文集 第5回	8-1～8-6
(56)	環境部交流研究員研究発表会論文集 第5回	9-1～9-4
(57)	環境工学研究フォーラム講演集 第36回	pp.85-87
(58)	日本道路会議一般論文集（A）第23回	pp.84-85
(59)	日本道路会議一般論文集（A）第23回	pp.78-79
(60)	道路 Vol.702	pp.30-32
(61)	土木技術資料 Vol.41，No.12	pp.12-13
(62)	土木技術資料 Vol.42，No.2	pp.14-15
(63)	土木技術資料 Vol.42，No.3	p.5

No.	書　籍　名	掲　載　頁
(64)	読売新聞　第44304号	p.1
(65)	橋梁新聞　第680号	p.6
(66)	PWRI NEWS LETTER　No.77	pp.2-3
(67)	高速道路と自動車　Vol43，No.2	pp.56-59
(68)	サイアス　Dec.1999	pp.20-23

交通環境研究室メンバー

（平成11年度）

氏　名		役　職	研究内容
	大西博文	室　長	道路環境保全 環境アセスメント 地球環境
	山田俊哉	主任研究員	環境アセスメント 大気汚染の予測と対策
	上坂克巳	主任研究員	環境アセスメント 騒音の予測と対策
	近藤　升	主任研究員	環境アセスメント 低騒音舗装
	木村健治	研究員	騒音の予測と対策 低層遮音壁
	大城　温	研究員	大気汚染の予測と対策 地球環境
	川上篤史	技　官	エコロード
	青木理恵	技　官	低騒音舗装
	今堀るみ子	交流研究員	エコロード
	大野順通	交流研究員	路面排水