マイクロフィルム用資料

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3691号

土木研究所資料

交通環境研究室
研究成果報告書
平成10年度

平成12年3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3691号2000年3月

交通環境研究室
研究成果報告書
平成10年度

交通環境研究室　室　　長　大西　博文
主任研究員　山田　俊哉
主任研究員　上坂　克巳
主任研究員　近藤　升
研　究　員　鉢嶺　清範
研　究　員　小根山　裕之
研　究　員　大城　温
技　　官　川上　篤志
技　　官　青木　理恵
交流研究員　植村　圭司*
交流研究員　今井　亮子**
前主任研究員　江橋　英治

要旨

平成10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：環境アセスメント、道路交通騒音、大気汚染、沿道の自然環境、地球温暖化

＊　交流研究員在職期間（平成9年4月から11年3月まで）

＊＊　交流研究員在職期間（平成10年10月から11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るにつれて、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よりま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、これにもと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、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10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3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

交通環境研究室の紹介 ---------- 1

平成10年度の研究概要 ---------- 5

平成10年度の研究成果

道路交通騒音に関する研究

1．道路交通騒音対策の高度化に関する調査 ---------- （道路事業調査費） ---------- 15
2．大規模道路の騒音特性に関する調査研究 ---------- （道路事業調査費） ---------- 17
3．多孔質弾性舗装の開発に関する調査 ---------- （地方建設局等依頼経費） ------ 21
4．道路交通騒音の複合対策 ---------- （地方建設局等依頼経費） ------ 23
5．排水性舗装騒音測定データ収集 ---------- （地方建設局等依頼経費） -------- 25
6．高度騒音対策に関する開発調査 ---------- （地方建設局等依頼経費） -------- 29
7．道路交通騒音の予測手法 ---------- （地方建設局等依頼経費） -------- 31

大気汚染に関する研究

8．浮遊粒子状物質の予測評価手法の適用性に関する調査 ---------- （道路事業調査費） ---------- 33
9．大気汚染の予測・低減技術に関する試験調査 ---------- （道路事業調査費） ---------- 35
10．環境アセスメントに用いる原単位等整備調査 ---------- （地方建設局等依頼経費） ------- 37

沿道の自然環境に関する研究

11．道路における環境条件と生物相との関係の把握 ---------- （建設技術研究開発調査費） ---- 39
12．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） ---- 41
13．道路空間におけるビオトープ整備手法の開発 ---------- （建設技術研究開発調査費） ---- 45
14．道路による生息域の分断化防止対策に関する研究 ---------- （科学技術振興調整費） ---------- 47
15．沿道の自然環境保全に関する調査 ---------- （道路事業調査費） ---------- 51
16．自然環境保全措置の効果検証調査 ---------- （地方建設局等依頼経費） ------- 55
17．エコロード計画手法の検討 ---------- （地方建設局等依頼経費） ------- 57

地球環境に関する研究

18．都市域の交通部門における温暖化防止施策
　　の総合評価に関する研究 ---------- （環境研究総合推進費） ---------- 59
19．環境負荷の小さい都市交通整備手法に関する調査 ---------- （街路交通調査費） ---------- 64

道路環境影響評価に関する研究

20．道路環境影響の総合評価に関する研究 ---------- （試験研究費） ---------- 67
21．環境アセスメント技術に関する調査 ---------- （道路事業調査費） ---------- 69
22．環境アセスメント技術に関するマニュアル検討（騒音） ---------- （地方建設局等依頼経費） ------- 71
23．環境アセスメント技術に関するマニュアル検討（大気質） -------- （地方建設局等依頼経費） ------- 73
24．環境アセスメント技術に関するマニュアル検討（動物・植物・生態系）
---------- （地方建設局等依頼経費） ------- 76

道路交通振動に関する研究

25．低次交通振動の評価と制振に関する試験調査 ---------- （道路事業調査費） ---------- 79

発表論文等

Ⅰ．道路交通騒音に関する研究

Ⅰ－ 1. Attenuation factors of vehicle noise due to drainage asphalt pavement
---------- （J.Acoust.Soc.Jpn.(E)） ---------- 81
Ⅰ－ 2. Investigation into road vehicle noise reduction by drainage asphalt pavement
---------- （J.Acoust.Soc.Jpn.(E)） ---------- 91
Ⅰ－ 3. Development of the Noise Barrier using Active Controlled Acoustical Soft Edge -Phase 1:Basic Concept-
---------- （Proceedings of Internoise 98） ---101
Ⅰ－ 4. Change in noise reduction effect of drainage asphalt pavement --- （Proceedings of Internoise 98） --- 105
Ⅰ－ 5. 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
---------- （騒音・振動研究会資料） ------- 109
Ⅰ－ 6. 幹線道路に直面した建物および建物群後方における騒音レベルの簡易計算方法
---------- （騒音・振動研究会資料） ------- 121
Ⅰ－ 7. 道路環境センサスデータにおける L_{50} と L_{Aeq} の関係について
---------- （騒音・振動研究会資料） ------- 131
Ⅰ－ 8. 高架構造物音の予測方法に関する検討 ---------- （騒音・振動研究会資料） --------139
Ⅰ－ 9. 実走行車両から発生する騒音の指向性について ---------- （日本音響学会講演論文集） -----147
Ⅰ－10. 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） ----- 149
Ⅰ－11. 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） -----151
Ⅰ－12. 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） -----153
Ⅰ－13. 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
---------- （日本音響学会講演論文集） -----155
Ⅰ－14. 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） -----157

Ⅰ-15. 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BMEシミュレーション～ ---------（日本音響学会講演論文集）-----159
Ⅰ-16. 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）-----161
Ⅰ-17. 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）----163
Ⅰ-18. 幹線道路に面した単独建物周辺の騒音レベルの計算方法 -----（日本音響学会講演論文集）----165
Ⅰ-19. 自動車騒音規制を考慮した将来の走行騒音パワーレベルの推定
-----（日本音響学会講演論文集）-----167
Ⅰ-20. 屋内騒音の推定方法に関する実験的研究 ----------（日本音響学会講演論文集）-----169
Ⅰ-21. 実走行車両から発生する騒音の指向性について（第２報）-----（日本音響学会講演論文集）-----171
Ⅰ-22. 排水性舗装の減音効果と空隙閉塞 ----------（音響技術セミナー資料）--------173
Ⅰ-23. 排水性舗装の空隙率低減の主要因に関する一考察 ----------（土木技術資料）----------187
Ⅰ-24. 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）-----193
Ⅰ-25. 道路交通騒音の反射音（高架裏面反射音）計算手法について
--------（日本騒音制御工学会講演論文集）-----197
Ⅰ-26. 幹線道路に面した建物周辺における騒音レベルの計算方法～単独の建物の場合～
--------（日本騒音制御工学会講演論文集）-----201
Ⅰ-27. 単体規制を踏まえた将来の自動車走行騒音パワーレベルの推定
--------（日本騒音制御工学会講演論文集）-----205
Ⅰ-28. 新「騒音に係わる環境基準」と道路事業 ----------（日本騒音制御工学会講演論文集）-----209
Ⅰ-29. 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）----------213
Ⅰ-30. 自動車騒音の単体規制を踏まえた将来の走行騒音パワーレベルの推定
----------（騒音制御）----------223
Ⅰ-31. アクティブソフトエッジを用いた遮音壁について -----（日本機械学会総合シンポジウム）-----229

Ⅱ. 大気汚染に関する研究

Ⅱ- 1. トンネル換気ガス中のSO2濃度変化について ----------（大気環境学会講演要旨集）-----223
Ⅱ- 2. 大気拡散模型実験における自動車模型走行装置とブロワーによるトンネル坑口の噴流性状
----------（大気環境学会講演要旨集）-----225
Ⅱ- 3. 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
----------（土木計画学研究講演集）--------227
Ⅱ- 4. 大気拡散風洞模型実験におけるトンネル坑口の噴流再現に関する実験手法
----------（土木研究所発表会論文集）-----241

Ⅲ. 沿道の自然環境に関する研究

Ⅲ- 1. 道路のり面の越冬期の鳥類による利用状況 ---------- (環境工学フォーラム講演集) -- 245
Ⅲ- 2. 道路空間におけるビオトープ整備に関する研究 ---------- (交流研究員研究発表会) -------- 247
Ⅲ- 3. 生態系ネットワークの計画手順に関する一考察 ---------- (土木技術資料) ---------- 251

Ⅳ. その他の研究

Ⅳ- 1. バス乗降時間短縮によるバス運行および一般交通の改善に関する研究
---------- (都市計画論文集) ---------- 257
Ⅳ- 2. 大規模施設の利用者の変動特性について ---------- (交通工学論文報告集) ---------- 263
Ⅳ- 3. 路面排水汚濁負荷量推定を目的とした現地調査手法に関する研究
---------- (交流研究員研究発表会) -------- 267

Ⅴ. 記事等

Ⅴ- 1. 新型遮音壁とその減音効果 ---------- (音響技術) ---------- 271
Ⅴ- 2. 生態保全技術の向上を目指して ---------- (土木技術資料) ---------- 277
Ⅴ- 3. 大気汚染実験施設 ---------- (土木技術資料) ---------- 279
Ⅴ- 4. 「騒音に係わる環境基準」の改定 ---------- (土木技術資料) ---------- 281
Ⅴ- 5. 排水性舗装の現状と課題 ---------- (建設産業新聞) ---------- 283
Ⅴ- 6. 道路整備における自然環境保全の取り組み ---------- (予防時報) ---------- 285

参考

交通環境研究室における研究・活動等 ---------- 287
発表論文等一覧 ---------- 289
交通環境研究室メンバー ---------- 293

交通環境研究室の紹介

交通環境研究室

概　要

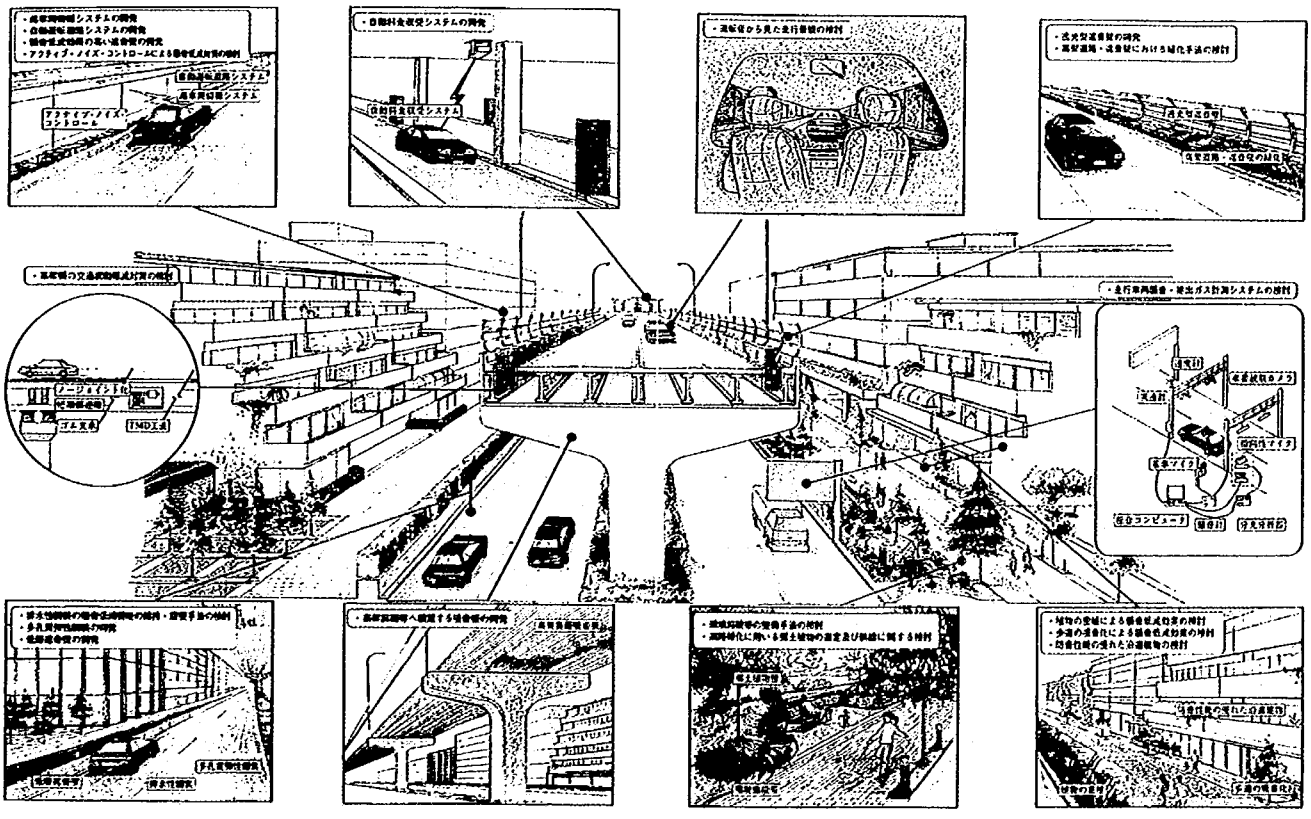
交通の視点から環境を考える場合，環境要素は大きく生活環境（騒音，大気汚染，振動等），自然環境（植物，動物，生態系等）及び地球環境（温室効果ガス，生物多様性等）に分けられます。交通環境研究室では，これら環境要素の予測・評価・対策技術に関する研究，開発を行っています。

幹線道路の沿道では騒音や大気汚染が重大な社会問題となっています。また，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，騒音等による睡眠，会話等の生活妨害が認容されました。これを契機に，沿道の生活環境の改善を一層進めるため「道路環境技術開発三箇年計画（1996～1998）」が策定され，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，エコロードの計画手法，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，1992年に締結された気候変動枠組条約の加盟国として，我が国も産業，民生，交通等の各部門において温室効果ガスの排出削減が必要とされています。交通環境研究室では，道路交通から排出される二酸化炭素を低減するための施策等に関し研究しています。

一方，我が国でもようやく環境アセスメントが法制化されます。これに伴い，環境アセスメントの実施方法が変更されますが，道路事業の環境アセスメントの技術指針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。

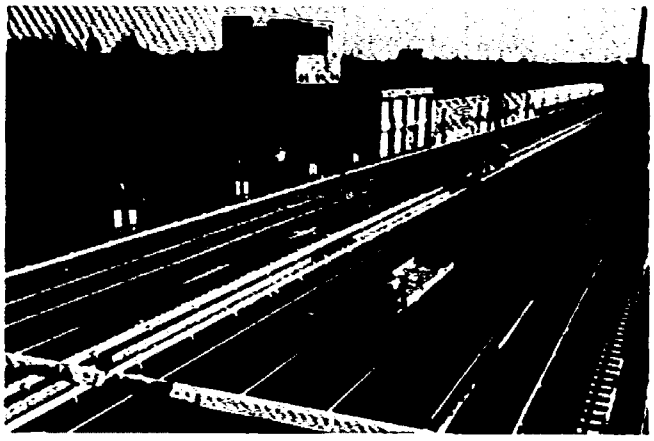


快適な生活環境をつくるための開発技術

研究内容

道路交通騒音の予測と対策に関する研究

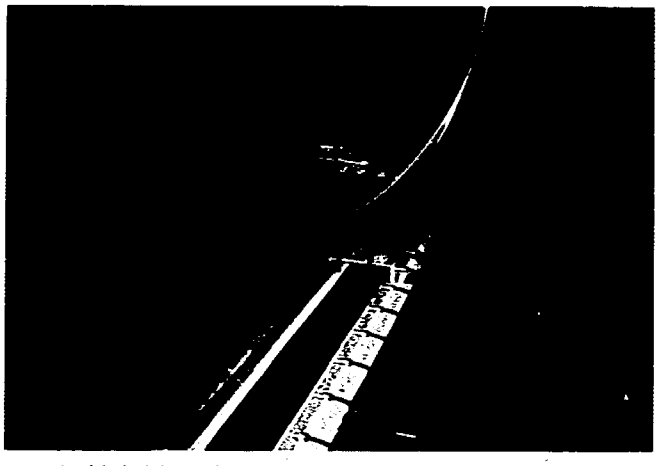
幹線道路の沿道では騒音レベルが高く，その低減対策が求められています。そこで，「多孔質弾性舗装等の低騒音舗装」，「高架裏面等に設置する吸音板」等の効果の大きい騒音対策や，「低層遮音壁」，「アクティブ・ノイズ・コントロール・システム」等の新しい対策手法について研究開発を行っています。また，道路交通騒音の予測については，「等価騒音レベル（Leq）による道路交通騒音の予測手法」及び「排水性舗装等による騒音低減効果の予測手法」に関して研究しています。



多孔質弾性舗装の騒音低減効果に関する実験

大気汚染の予測及び対策に関する研究

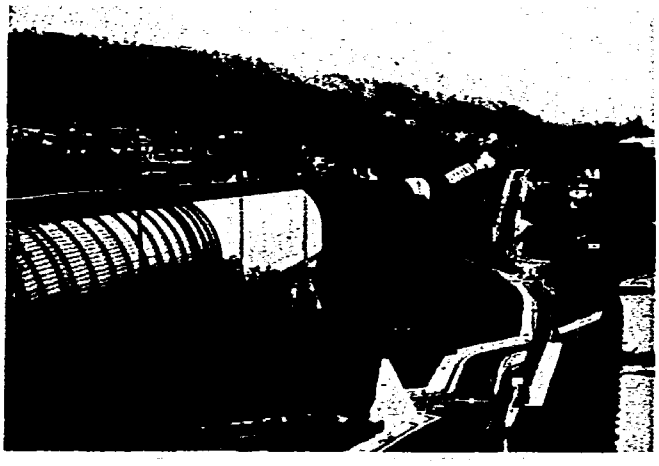
大都市圏を中心として幹線道路の沿道では，自動車の排出ガスによる大気汚染が問題となっています。そこで，道路沿道における大気汚染の予測及び対策のため，「堀割道路の大気拡散予測手法」，「浮遊粒子状物質の拡散予測手法」，「植物や微生物による大気汚染低減対策手法」，「数値シミュレーションによる大気拡散予測手法」に関する研究を行っています。



堀割道路模型を用いたガス拡散状況に関する実験

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「道路照明の生物への影響を緩和する技術」，「動物の衝突事故防止対策」，「動物の移動路を確保する対策」，「路面排水の浄化手法」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て動植物の多様な生息空間（ビオトープ）を創出する技術として「道路空間におけるビオトープの整備手法」，「道路空間を利用したビオトープネットワーク技術」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

二酸化炭素等の温室効果ガスの排出が年々増加しており，地球温暖化が世界的な問題となっています。これを防止するため，産業，民生，交通などの各部門において温室効果ガスの排出削減が求められています。そこで，道路交通により排出される温室効果ガスを削減するための施策の効果を，施策に要するコスト，利便性等も踏まえて総合的に評価する手法の研究を行っています。

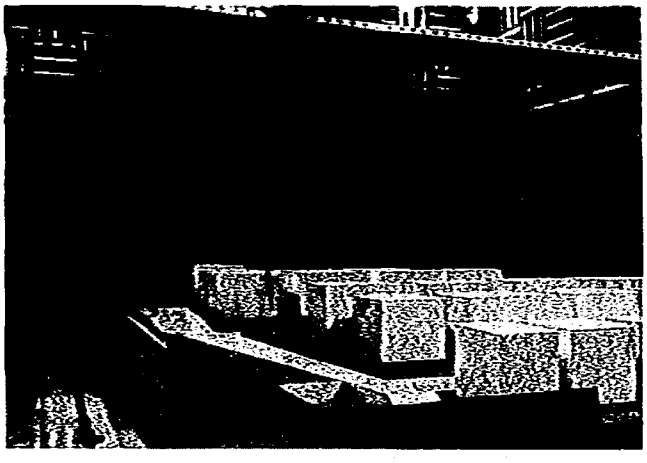
道路事業の環境アセスメント技術に関する研究

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す。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指針の改定に向け，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

騒音実験施設

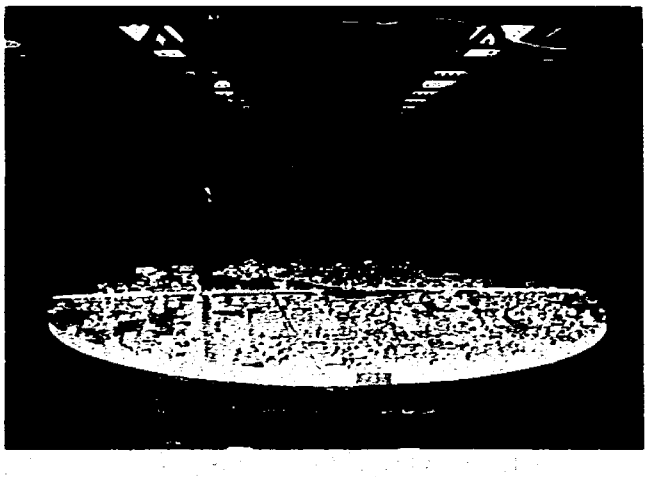
騒音実験施設は，無響室と残響室と呼ばれる音響特性の異なる２種類の実験室から構成されており，道路交通騒音の伝搬特性の測定，対策手法の開発などの調査研究に利用されています。無響室は，壁面で音を完全に吸収することにより，自由音場を室内に再現します。この部屋では道路交通騒音の予測や伝搬特性の研究のための模型実験を行います。残響室は，壁面仕上げ，不整形な室内の形状，拡散板設置などの工夫により，完全な拡散音場を再現します。この部屋では音響材料の残響室法吸音率や遮音壁の音響透過損失等の音響特性を測定します。



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）

大気汚染実験施設

自動車排出ガスの拡散は，道路構造・道路周辺の地形地物及び気象の影響を大きく受ける複雑な現象のため，現地実測・理論解析だけでは排出ガス拡散性状を十分把握できません。しかし，拡散風洞を用いた模型実験を行えば，様々な条件を整えることが容易となるので，拡散性状を明確に把握することが可能です。この模型実験を大気汚染実験施設で行っています。



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）

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，大気環境学会講演会，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。

- 「路側騒音の低減に関する研究」：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）
- 「寒冷地における先端道路技術に関する国際ワークショップ」：カナダ運輸省研究開発局
- 「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）
- 「低騒音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）

研究成果

発表論文

1）「アクティブ・ノイズ・コントロールの道路交通騒音対策への適用可能性」，土木技術資料，Vol.38 No.2，1996年2月
2）「多孔質弾性舗装の騒音低減特性について」，土木技術資料，Vol.38 No.1，1996年1月
3）「排水性舗装の騒音低減要因に関する考察」，日本音響学会誌，Vol.49 No.10，1993年10月
4）「都市内道路の騒音対策」，土木技術資料，Vol.35 No.11，1993年11月
5）「数値シミュレーションによる大気拡散計算」，土木技術資料，Vol.37 No.3，1995年3月
6）「堀割道路におけるガスの呼吸量」，土木技術資料，Vol.37 No.2，1995年2月
7）「環境施設帯の大気浄化機能に関する研究」，土木研究所資料第2983号，1991年3月
8）「Mitigation measures during road project in Japan」，Proceedings of International Forum for Major Works and Sustainable Development, October 1996
9）「自然環境に調和した道路整備――エコロード――」，土木技術資料，Vol.35 No.11，1993年11月

開発技術・技術指針

1）「新型遮音壁」，建設技術評価制度，1994年
2）「騒音低減効果の大きい吸音板」，建設技術評価制度，1997年
3）「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
4）「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
5）「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
6）「建設省所管道路事業環境影響評価技術指針」，建設事務次官通知，1985年4月
7）「道路環境整備マニュアル」，（社）日本道路協会，1989年1月
8）「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

平成10年度の研究概要

平成10年度の研究概要

交通環境研究室での平成10年度の研究課題は25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出来る。

・道路交通騒音に関する研究
1．道路交通騒音対策の高度化に関する調査
2．大規模道路の騒音特性に関する調査研究
3．多孔質弾性舗装の開発に関する調査
4．道路交通騒音の複合対策
5．排水性舗装騒音測定データ収集
6．高度騒音対策に関する開発調査
7．道路交通騒音の予測手法

・大気汚染に関する研究
8．浮遊粒子状物質の予測評価手法の適用性に関する調査
9．大気汚染の予測・低減技術に関する試験調査
10．環境アセスメントに用いる原単位等整備調査

沿道の自然環境に関する研究
11．道路における環境条件と生物相との関係の把握
12．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
13．道路空間におけるビオトープ整備手法の開発
14．道路による生息域の分断化防止対策に関する研究
15．沿道の自然環境保全に関する調査
16．自然環境保全措置の効果検証調査
17．エコロード計画手法の検討

・地球環境問題に関する研究
18．都市域の交通部門における温暖化防止施策の総合評価に関する研究
19．環境負荷の小さい都市交通整備手法に関する調査

・道路環境影響の評価に関する研究
20．道路環境影響の総合評価に関する研究
21．環境アセスメント技術に関する調査
22．環境アセスメント技術に関するマニュアル検討（騒音）
23．環境アセスメント技術に関するマニュアル検討（大気質）
24．環境アセスメント技術に関するマニュアル検討（動物・植物・生態系）

・道路交通振動に関する研究
25．低次交通振動の評価と制振に関する試験調査

各課題について、研究概要を次に示す。

【平成10年度　研究概要】

課　題　名	研　究　概　要
1．道路交通騒音対策の高度化に関する調査 研究期間　平6～平10 担当者　大西博文 上坂克巳 鉢嶺清範 予算科目　道路事業調査費	本研究では、道路交通騒音対策の新技術の開発およびその効果の予測手法について研究を行っている。 10年度は、平面・高架併設道路において、点音源から発生する音の騒音レベルを模型実験および予測計算により求め、比較・検討を行った。これにより、遮音壁および高架道路裏面に吸音性材料を使用した一般的な平面・高架併設道路の騒音レベルは、主要な反射経路の騒音レベルを合成することでほぼ予測できることを確認した。
2．(1)　大規模道路の騒音特性に関する調査 研究期間　平6～平10 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	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6年度から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、一般国道に試験施工された4種類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。10年度は、騒音測定に加えて振動・吸音率の測定も行った。 その結果、施工後5年の騒音低減効果は、乗用車では毎年のデータには多少の変動があるものの、全体的な効果の減少は小さく、なお3～5 dB程度と良好な効果が維持されている。
2．(2)　大規模道路の騒音特性に関する調査 研究期間　平8～平11 担当者　大西博文 近藤　升 予算科目　道路事業調査費	廃タイヤのゴムチップをウレタン樹脂で固めた多孔質弾性舗装は、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。しかし、実用化のためには湿潤時すべり摩擦抵抗の向上等安全性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、土木研究所とゴム材料に関する知識を持つゴム・タイヤメーカー12社が共同研究を行った。この中で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、密粒舗装とほぼ同等の湿潤時すべり摩擦抵抗性や、高い耐久性を持つ多孔質弾性舗装の供試体を開発した。

【平成10年度　研究概要】

課題名	研究概要
3．多孔質弾性舗装の開発に関する調査 研究期間　平10 担当者　大西博文 近藤　升 青木理恵 予算科目　地方建設局等依頼経費	多孔質弾性舗装は数年前より、騒音対策として工場製作された製品（各種空隙率の異なるもの）を土木研究所内に設置し、騒音はもとより、走行性の面からすべり摩擦係数を測定してきた。しかしプレキャストであるため路面との接着性および目地での振動等が問題となった。 そこで10年度は、つなぎ目のない現場施工型多孔質弾性舗装の車両の走行性能を把握するため、同研究所の舗装走行実験場に3種類の上記舗装を設置し、耐久性（ひび割れ、損傷、はがれ等）およびすべり摩擦係数を測定し、路面性状に関する検討資料の収集を行った。
4．道路交通騒音の複合対策 研究期間　平10 担当者　大西博文 上坂克巳 鉢嶺清範 予算科目　地方建設局等依頼経費	本研究では、道路構造に応じて複数の騒音対策を実施することで、より効果的に騒音レベルを低減させる対策手法を検討した。そのために、騒音対策の種類や道路構造別の騒音の特徴について既存資料の整理を行った。また、都市部の平面高架併設道路に対して騒音対策を講じた場合の効果をケーススタディにより計算した。
5．排水性舗装騒音測定データ収集 研究期間　平10 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、時間とともに空隙が閉塞して効果が低下する。現在、効果回復の手法も検討されているが、空隙の閉塞と効果の変化との関係が把握されていないため、効果の持続性や回復手法が十分に検討できていない。 10年度は、土木研究所の試験走路に空隙率を変えた6種類の排水性舗装敷設し、空隙率の違いによる効果と音響特性を調査した。その結果、空隙率が26%のものが伝搬による減衰量も吸音率も最も高かったが、試験車による騒音測定では空隙率が23%のものが最も効果が大きいことが分かった。
6．高度騒音対策に関する開発調査 研究期間　平10 担当者　大西博文 上坂克巳 鉢嶺清範 予算科目　地方建設局等依頼経費	遮音壁の上部に取り付けてその表面の音圧反射率を－1に制御するアクティブ・ソフト・エッジ（以下「ASE」という）のプロトタイプを土木研究所の試験走路に設置し、その減音効果を通常の遮音壁と比較した。 その結果、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の場合と同等の効果が得られた。

【平成10年度　研究概要】

課　題　名	研　究　概　要
7．道路交通騒音の予測方法 研究期間　平10 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	平成10年9月に、L_{Aeq}を評価指標とする新たな「騒音に関わる環境基準」が告知され、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「屋外へ透過する騒音に関わる基準」が定められた。従って、幹線道路に面する建物の屋内騒音レベルを推定する必要が生じた。そこで、より一般的なものとして道路に対して建物が斜めに立地している場合の屋内透過騒音レベルの推定方法を検討し、模型実験によりその妥当性を検証した。また、建物の外観により防音性能を推定する手法を検討した。その結果、主に建物の構造、窓の種類とその大きさによって建物の防音性能を推定できることが分かった。
8．浮遊粒子状物質の予測評価手法の適用性に関する調査 研究期間　平9～10 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（SPM）の平成8年度の環境基準達成率は一般局で69.8%、自排局で42.4%と低い水準であり、その予測評価手法の確立は緊急の課題であると言える。しかし、現状では道路事業におけるSPMの予測は排気管由来のみを対象として行っており、大気中で二次的に生成される浮遊粒子状物質（二次生成粒子）の道路沿道における影響はよく分かっていない。 そこで10年度は、道路沿道における浮遊粒子状物質のうち二次生成粒子の生成実体および排出量を把握することを目的として、既存資料による文献調査と道路沿道におけるSPMの実測調査を行った。 その結果、道路沿道においても二次生成粒子による濃度への寄与があることを示唆する結果が得られた。
9．大気汚染の予測・低減技術に関する試験調査 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	窒素酸化物（以下NOxと表記）を無害な窒素に還元する働きを持った微生物を用いた大気浄化技術の開発を目的として、8年度は基礎的な実験により、微生物の性質、NOxの還元能力を把握し、9年度はNOxの溶解度の影響要因を様々な条件下での溶液への吸収実験により明らかにした。10年度は引き続き条件を変えてNOx吸収実験を行い、吸収効率の向上策を検討した。 その結果、吸収効率の影響要因が明らかになり、NOx吸収液の化学組成や吸収塔への充填物などにより、吸収効率を向上させることが可能なことが分かった。

【平成10年度　研究概要】

課題名	研究概要
10. 環境アセスメントに用いる原単位等整備調査 研究期間　平10 担当者　大西博文 山田俊哉 小根山裕之 予算科目　地方建設局等依頼経費	本調査では、シャーシダイナモ測定装置を用いて自動車からの排出ガス（窒素酸化物、粒子状物質、一酸化炭素等）を測定し、これらの排出原単位を求め、これに基づき、排出係数の設定を行うものである。 10年度は、最新排出ガス規制に適合した乗用車7台、貨物車17台の系24台について排出ガス量を測定し、大気汚染物質別、車種別、走行モード別、平均走行速度別などにデータを整理し、最新の車種の排出実態を把握した。
11. 道路における環境条件と生物相との関係の把握 研究期間　平8～平10 担当者　大西博文 小根山裕之 川上篤史 予算科目　開発調査費	本研究は道路空間におけるビオトープ整備手法やビオトープネットワーク形成における道路空間利用の可能性を検討する上での基礎資料を得るため、道路空間における生物相とその生育・生息条件の関係を把握するものである。 8年度の「環境施設帯」に引き続き、9年度および10年度は「道路のり面」を対象として、鳥類による道路空間の利用状況について調査を実施した。のり面を利用する鳥類の種類は植生タイプや沿道環境の違いと明確な相関が見られず、これは道路のり面の植生が小規模であることが一因と考えられた。住宅地に囲まれた地域の道路のり面のうち、樹林の階層構造が発達し、植物の種類が多い箇所では多くの鳥類に利用されており、住宅地という狭い地域で見れば、道路のり面は重要な生息地となっていることが示唆された。
12. 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 小根山裕之 川上篤史 予算科目　開発調査費	本研究は、道路空間を活用した生態系ネットワークを具体化するための計画手法の開発を目指している。生態系ネットワークとは、コアエリア、自然環境創出地域、生態系回廊の3つの要素から構成される。 10年度は、生態系ネットワークの構成要素のひとつである生態的回廊について、道路空間、緑地等の生態的回廊としての機能に関する国内外の調査・研究文献を収集・整理した。その結果、生態的回廊の機能と役割等に関して現在の知見がとりまとめられるとともに、調査事例等により今後我が国で生態的回廊を整備する際に検討すべき項目（構造、位置、質等）や研究すべき課題が明らかになった。

課題名	研究概要
13．道路空間におけるビオトープ整備手法の開発 研究期間　平9～平12 担当者　大西博文 小根山裕之 川上篤史 予算科目　開発調査費	本研究は、今度道路事業を行う上で、道路空間を活用したビオトープ整備を進めるための手法の提案を目指している。 10年度は、道路空間の生物の生息・生育空間（ハビタット）としての機能を明らかにするため、道路構造令等設計基準による道路構造の観点と、緑地としての環境条件の観点から分類・整理し、ハビタットとしての可能性を検討した。その結果、各道路空間についてそれぞれが有する要素（形状、面積、植栽に関する制限等）と特性が整理されるとともにハビタットとしての機能をとりまとめ類型化した。
14．道路による生物域の分断化防止対策に関する研究 研究期間　平10 担当者　大西博文 小根山裕之 予算科目　試験研究費	本課題は、道路による生息域の分断化防止対策とネットワーク化技術の手法および効果について事例の蓄積を行い、当該技術の方法論の確率を図ることを目的として、オランダ国交通公共事業水管理省道路水管理技術研究所と共同研究を行ったものである。 10年度は、国レベルおよび地方レベルの生態系ネットワーク計画ならびに道路による生息域の分断影響および分断防止対策に関する日蘭両国の実施事例および研究成果に関する情報収集および意見交換を行い、分断防止対策の実施位置や構造と対策効果の関係などに関する知見を得た。
15．沿道の自然環境保全に関する調査 研究期間　平8～平10 担当者　大西博文 山田俊哉 小根山裕之 川上篤史 予算科目　道路事業調査費	本研究は、自然環境に配慮した道路整備に資する対策技術を確立するための基礎的な検討を行うものである。 10年度は、光および道路照明が動植物へ与える影響に関する国内外の論文と証明光の影響を緩和するために行った対策事例を整理し、現在の知見をとりまとめた。その結果、光および道路照明の性質、光および道路照明によって影響を受ける動植物種とその影響の程度等の現在の知見が総括された。研究対象種は主に植物では農作物、動物ではホタルやアカウミガメ等代表的な種であったが、一般的な種（普通種）は非常に少なかった。 一方、路面排水は、10年度に国道等10箇所で実施した現地調査の結果を整理し、その結果を用いて、路面排水汚濁負荷流出量の予測式を検討した。その結果、①汚濁負荷流出量は採水地点の道路構造、清掃状況、先行晴天日数と密接に関係していること、②汚濁負荷流出量を定量的に精度良く予測するには、路面排水汚濁負荷堆積量を正確に把握する必要があること、の2点が分かった。また、路面排水の対策事例を整理した結果、堆積物の除去には沈砂池等を設けること、油分の除去にはフィルター機能を有する装置の設置が考えられることが分かったが、今後さらに検討を必要とする。

課題名	研究概要
16. 自然環境保全措置の効果検証調査 研究期間　平10 担当者　大西博文 小根山裕之 川上篤史 予算科目　地方建設局等依頼経費	道路事業では、自然環境との共存を目指した道路整備手法の一つとして、沿道における生物の生息環境の保全に取り組んでいる。この際、道路事業が生物に及ぼす影響、道路空間の生物による利用状況を踏まえ、適切な保全対策、影響緩和対策を行う必要がある。 本研究は、動植物の保全対策に関して先進的なオランダを対象に、文献から得られる動物の交通事故死（ロードキル）対策の研究事例と取り組みを整理し、我が国の事業に反映させることを目的とした。文献整理の結果、オランダでは道路による生息地分断の影響緩和対策が推進されており、その一例としてハリネズミのロードキルについての調査が実施され、影響緩和対策が策定の途上にあった。これによると、文献による現状の把握、現状確認のための生態調査、道路が個体群に及ぼす影響の検証を踏まえ、ロードキル発生場所（＝影響緩和対策地点）を推定し、ロードキル防止対策の立案という手順で進められている。この調査手順・手法については、道路による分断の影響緩和手法として参考とすべき内容が多い。今後は、我が国における保全対象種の生態の解明、日本の細分化された土地利用の実状を踏まえた手法を検討していくことが課題である。
17. エコロード計画手法の検討 研究期間　平10 担当者　大西博文 小根山裕之 予算科目　地方建設局等依頼経費	道路整備に当たっては、地域の自然環境との調和を図りつつ実施することが必要となる。そのためには、道路整備の早期の計画段階から適切に自然環境を把握し、より影響の小さい路線の選定や、影響を回避・低減する保全措置を検討する必要がある。本調査は、自然環境に配慮した道路整備の計画・設計手法を検討したものである。ここでは、計画段階において検討すべき事項を、道路事業の各段階と関連付けを行いつつ整理した。また、設計手法については、保全対策手法をミティゲーションの概念により体系化するとともに、それらの設計手法を既存の知見に基づき整理した。

	研　究　概　要
18. 都市域の交通部門における温暖化防止施策の総合評価に関する研究 研究期間　平9～平11 担当者　大西博文 小根山裕之 予算科目　試験研究費	本研究では、温室効果ガスのうち二酸化炭素（CO_2）について、都市内での交通部門の CO_2 排出量の予測モデルを作成し、このモデルを使って電気自動車等次世代型の低公害車が普及した場合等を含む温室効果ガス排出量削減施策の効果を推計するとともに、これらの車を用いた新しい交通体系にこのモデルを適用してその効果を算出し、さらに新しい交通体系の実現可能性を追求するものである。 10年度は、9年度に検討した都市の交通部門における CO_2 排出量予測モデルの基本的枠組みに基づいて、モデルの詳細検討および作成を行った。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、詳細検討およ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、モデルの操作性を検討するための簡単な試算検討を行った。
19. 環境負荷の小さい都市交通整備手法に関する調査 研究期間　平9～平10 担当者　大西博文 小根山裕之 予算科目　街路交通調査費	本研究は、環境負荷の小さい都市構造・交通体系を実現するための都市交通整備手法を具体的に示すとともに、それらの整備による効果をコスト、利便性、環境負荷の観点から総合的に評価する手法を開発するものである。 10年度は、環境負荷低減施策の効果を推計するモデルの作成を行うとともに、宇都宮市を対象としたケーススタディにより施策による二酸化炭素（CO_2）の削減効果の試算を行った。
20. 道路環境影響の総合評価に関する研究 研究期間　平7～平10 担当者　大西博文 山田俊哉 大城温 予算科目　試験研究費	本研究では都市域の広域大気汚染シミュレーション手法の検討を行っている。10年度は、自動車交通による大気汚染の広域予測と、大気汚染低減対策の広域評価を目的として、大気汚染物質の広域拡散シミュレーション手法の検討を行った。 まず、類似した既存の広域拡散シミュレーションモデルについて文献調査を行い、その問題点の抽出と課題の検討を行った。次に、排出源別に適用するモデルの検討、気象条件の設定手法、交通条件の設定手法の検討等を行い、最後に広域拡散シミュレーションプログラムの基本仕様の検討を行った。

	研　究　概　要
21．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 山田俊哉 大城温 予算科目　道路事業調査費	盆や谷のような局地的に閉じた地形においては、逆転層発生時は大気汚染物質が滞留し、大気汚染の影響が顕著になるが、現在のところ環境アセスメントでは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。 そこで10年度は、逆転層の影響を考慮した大気汚染予測評価手法を確立することを目的として、逆転層の出現頻度が高い気象パターンの抽出を行い、そのパターンの気象条件において局地気象モデルによる逆転層出現時の気象上の再現計算を行うことにより、逆転層の年間出現状況の推定方法を検討した。
22．環境アセスメント技術に関するマニュアル検討（騒音） 研究期間　平10 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	道路事業環境影響評価技術指針（平成10年6月12日建設省令第10号）の適切な運用に資するため、環境アセスメント実施のためのマニュアルの作成を行った。 ここでは、自動車の走行による騒音の環境影響評価の項目ならびに調査、予測および評価の手法選定等について基本的な考え方を整理するとともに、手法の具体的な解説資料を作成した。
23．環境アセスメント技術に関するマニュアル検討（大気質） 研究期間　平9～平10 担当者　大西博文 山田俊哉 小根山裕之 大城温 予算科目　地方建設局等依頼経費	環境影響評価法（以下「法」という）は、平成9年6月13日に公布され、公布日より2年後に施工されることになっている。 本調査は、道路供用時の大気質に関して、道路事業における環境影響評価を円滑に実施するため、法公布後1年以内に定められた「道路事業に係わる環境影響評価の項目ならびに当該項目に係わる調査、予測および評価を合理的に行うための手法を選定するための指針、環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令」および技術マニュアルに反映させる技術的事項についてとりまとめるものであり、10年度は、9年度に整理した技術的事項を踏まえて、技術マニュアルに反映させる技術的事項について整理を行った。

	研　究　概　要
24．環境アセスメント技術に関するマニュアル検討（動物・植物・生態系） 研究期間　平9～平10 担当者　大西博文 小根山裕之 予算科目　地方建設局等依頼経費	環境影響評価法（以下「法」という。）が平成9年6月13日に公布され、平成11年6月に施工されることとなっている。本調査は、法で環境影響評価の対象とされている「動物」、「植物」、「生態系」の環境要素について、環境影響評価の実施手法を提案することを目的としている。9年度は、環境影響評価の調査・予測および評価等に関する技術指針について技術的事項を検討しており、その成果は建設省令第十号（以下「省令」という。）に反映されている。10年度は、法および省令に基づき、より具体的な環境影響評価が実施できるように、マニュアルに関する技術的事項を整理・検討した。
25．低次交通振動の評価と制振に関する試験調査 研究期間　平7～平10 担当者　大西博文 近藤　升 川上篤史 予算科目　道路事業費	直轄国号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。 10年度は、グループ1の測定結果を交通条件、路面および地盤性状等の別に整理し取りまとめた。測定地点139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高い傾向にあった。

平成10年度の研究成果

（平成10年度の研究成果）

道路交通騒音に関する研究

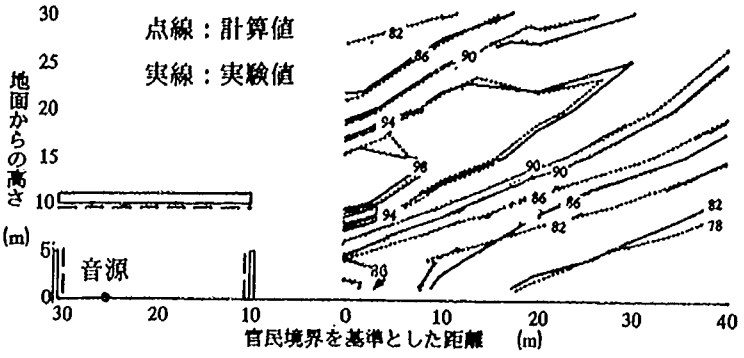
1.　道路交通騒音対策の高度化に関する研究

研究期間：　平６～平１０
担　　当：交通環境研究室

【要旨】

本研究では、道路交通騒音対策の新技術の開発及びその効果の予測手法について研究を行っている。

１０年度は、平面・高架併設道路において、点音源から発生する音の騒音レベルを模型実験及び予測計算により求め、比較・検討を行った。これにより、遮音壁及び高架道路裏面に吸音性材料を使用した一般的な平面・高架併設道路の騒音レベルは、主要な反射経路の騒音レベルを合成することでほぼ予測できることを確認した。

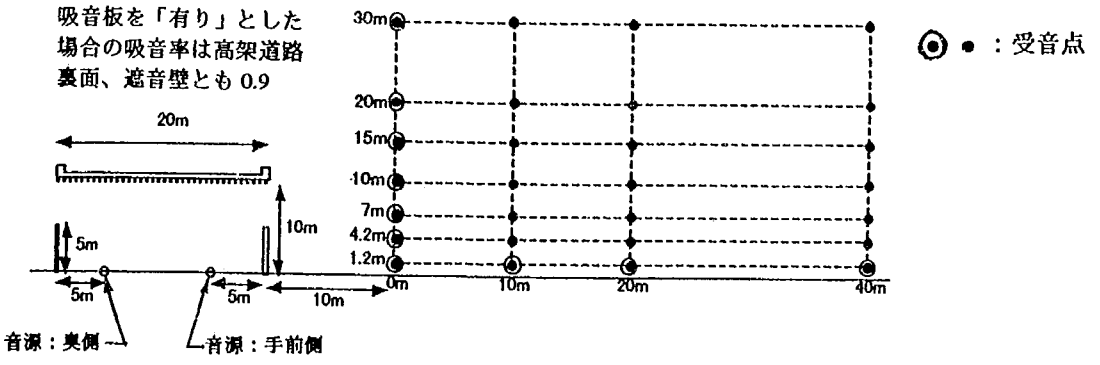


Case2 におけるコンター(音源：奥側)

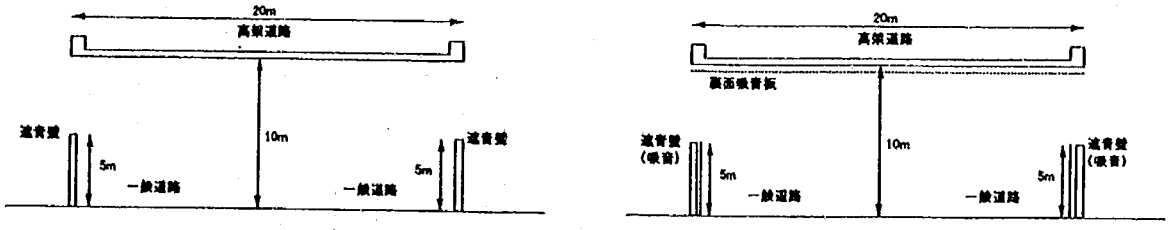
１．研究方法

１．１　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・高架併設道路を想定する。この道路について、吸音板の有無により図－２に示す２ケースの条件を設定した。それぞれのケースにおいて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、測定周波数範囲は実物換算で 100Hz ～ 2500Hz、音源は点音源とし、音源の設置場所は遮音壁から５m内側とした。



図－１　道路断面及び音源と受音点の配置（寸法は実物換算）



Case1　高架道路裏面（反射性）
遮音壁（反射性）

Case2　高架道路裏面（吸音性）
遮音壁（吸音性）

図－２　検討対象とする道路断面のケース

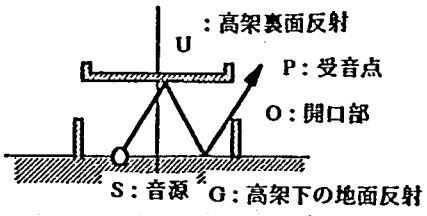
１．２　計算値と実験値の比較

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、主要と思われる音の反射経路から順に計算を行い、この値を合成することにより算出した。この場合、反射音の計算はスリット法で行った。Case1 及び Case2 の予測計算で主要な反射経路として計算で考慮したものを表－２及び図－３に示す。さらに、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	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



図－3　主要な反射経路（経路④：SUGOP）

2　研究結果

2．1　計算値と実験値の比較

Case1 及び Case2 において音源を奥側に設定した場合の「計算値－実験値」のグラフを図－4に示す。この図から次のようなことが考察される。

（1）高架道路裏面及び遮音壁に反射性材料を用いた場合、多重反射音の影響が大きく、表－1に示した経路以外の経路で受音点に達する音響エネルギーが大きい。このため、計算値と実験値の差が大きい。

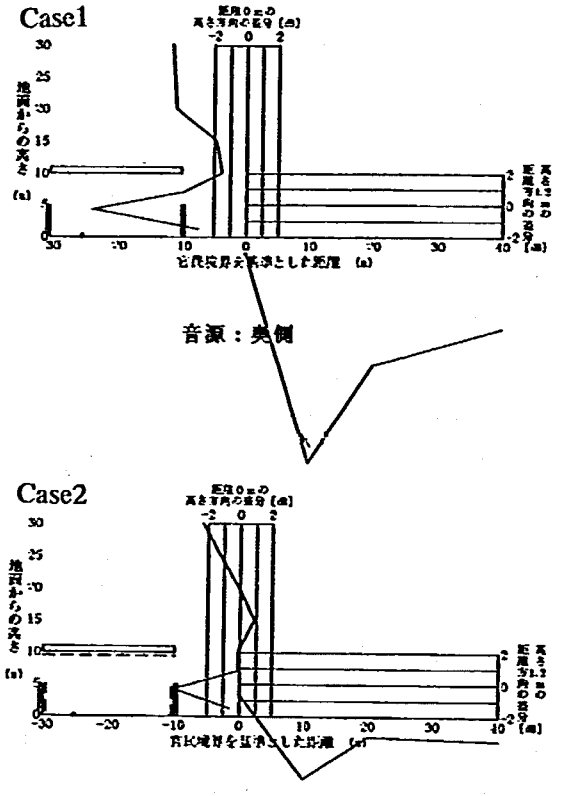
（2）一方、高架道路裏面及び遮音壁に吸音性材料を用いた場合は、多重反射音の影響が小さく、表－1に示した経路でほぼ受音点に達する音響エネルギーを説明できる。このため、計算値と実験値の差が小さい。

また、Case2 で音源を奥側に設定した場合の騒音レベルのコンターを要旨の図に示す。このコンターから実験値と計算値の騒音レベルは同じような傾向を示すことがわかる。

次に Case2 で音源を奥側及び手前側に設置した条件で、官民境界での高さ方向と地上 1.2m の水平方向において、それぞれ計算値と実験値との差分の絶対値を平均したものの一覧表を表－2に示す。この表から次のことが言える。

（1）表－1に示す8番目の経路までを考慮すると、騒音レベルの計算値がほぼ収束する。

（2）8番目の経路まで考慮した数値を見ると、官民境界での高さ方向では 1.2dB 及び 1.6dB、また地上 1.2m の水平方向では 3.3dB 及び 2.9dB であり、おおむね整合がとれている。



図－4　計算値－実験値のグラフ(音源：奥側)

表－2　差分の絶対値の平均値

Case2		差分の絶対値の平均値			
		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	+SU(G)P	1.7	4.1	1.6	2.9
⑥	+SUO(G)P	1.2	3.4	1.6	2.9
⑦	+SUO(G)P	1.2	3.3	1.6	2.9
⑧	+SUGO(G)P	1.2	3.3	1.6	2.9

これらのことから、高架道路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、主要な8つ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。ただし、高さ方向に比べ水平方向の差はやや大きくなっており、この原因については、直接音と反射音の干渉の影響や、二重回折の計算方法の誤差等が考えられる。

3　今後の課題

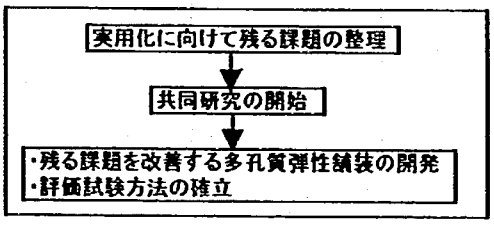
今回は音源が点音源のものについて検討を行ったが、今後は実際の交通状態に近い線音源について調査を行う必要がある。

（大西，上坂，鉢嶺，木村）

2．(1) 大規模道路の騒音特性に関する調査

研究期間：平 8～平 11
担　当：交通環境研究室

【要旨】



廃タイヤのゴムチップをウレタン樹脂で固めた多孔質弾性舗装は、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。しかし、実用化のためには湿潤時すべり摩擦抵抗の向上等安全性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、土木研究所とゴム材料に関する知識を持つゴム・タイヤメーカー 12 社が共同研究を行った。この中で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、密粒舗装とほぼ同等の湿潤時すべり摩擦抵抗性や、高い耐久性を持つ多孔質弾性舗装の供試体を開発した。

1．研究方法

1．1　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使えない。そのため、多孔質弾性舗装独自の性能評価試験方法を検討した。

1．2　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 種類の供試体を作成した。それら供試体を、1.1 で検討された多孔質弾性舗装の評価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方法により異なるが、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。

2．研究結果

2．1　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

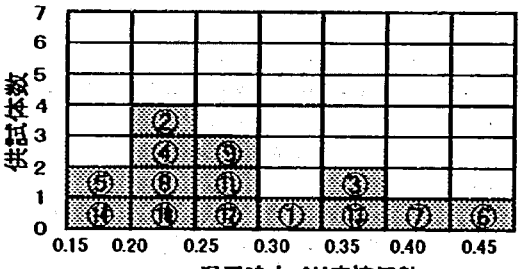
評価項目	評価基準	評価試験方法	試験方法の概要
多孔質構造	多孔質構造であること	連続空隙率測定試験	供試体の体積と質量を測定する。その後、資料をつり線で吊り下げ一定温度のメタノール液中に入れ、約 10 秒程度ゆすって気泡が出なくなったことを確認し、メタノール中の供試体質量を測定することにより算出する。
耐久性	車両の走行により著しい摩耗が生じないこと	摩耗性試験	試験機に取り付けられた供試体上で、スパイクタイヤを 30,000 回転走行させる。その後、供試体断面の平均摩耗深さからすり減り量を算出する。
	気象条件等による劣化を生じないこと	湿熱劣化試験 (引っ張り強さ) (伸び) (硬さ)	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、硬さを測定する。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	排水性舗装よりも高い騒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オーバーオールの吸音率を算出する。
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、現場透水試験器をセットし、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。また、乾燥した供試体でも同様に行う。
	降雨後に保水し難いこと	保水試験	供試体質量を測定する。その後、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測定する必

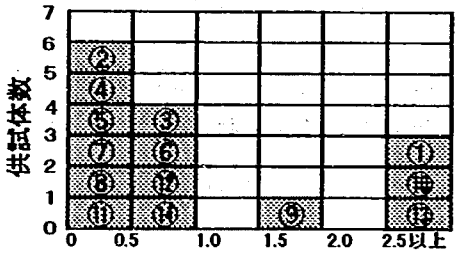
要がある。

2．2　多孔質弾性舗装の試作品の性能評価結果

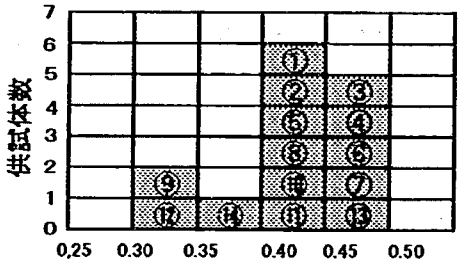
試作された 14 種類の供試体で表－1 の評価試験方法の内、湿潤時すべり抵抗性試験、摩耗試験、吸音率測定試験および現場透水試験の結果を図－1～4 に示す。なお、図中には各供試体に付された番号も表示している。



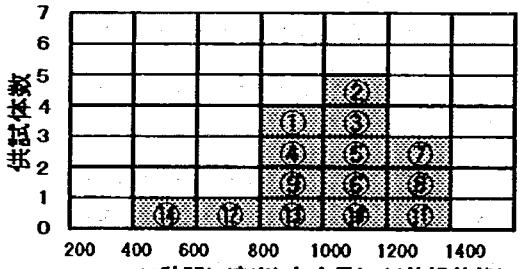
図－1 湿潤時すべり抵抗性試験結果(線速度:60km/h)



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の測定値より 0.1 程度少なくなっている。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⑦、⑥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 種全ての供試体がこれを下回っり、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 種の供試体が平均吸音率 0.4 以上であった。排水性舗装の平均吸音率が 0.2 程度であるのに比べ、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の小ささにより雨水はほとんど舗装体内に浸透しない。

3．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は全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、一般道における試験施工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。

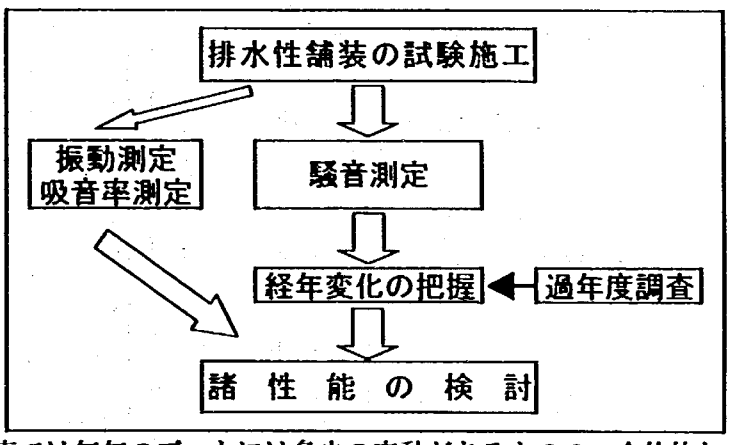
③湿熱劣化試験後に、湿潤時すべり抵抗性試験、摩耗性試験等を行い、それぞれの特性の経時変化を確認。

排水性については今後更に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。　（大西，近藤）

2．(2) 大規模道路の騒音特性に関する調査

研究期間：平6～平10
担当：交通環境研究室

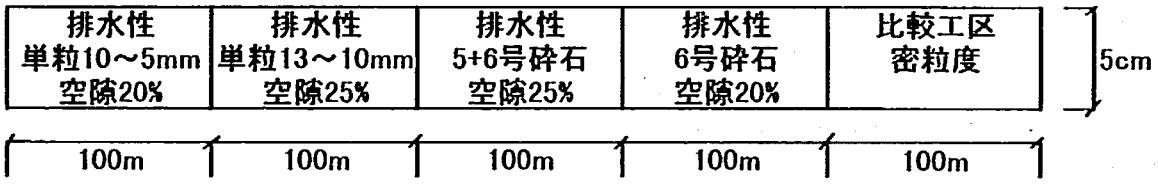
【要旨】
近年、排水性舗装は排水機能による安全性の向上に加えて、その騒音低減効果による沿道環境の保全に資するものとして期待されている。そこで平成6年度から排水性舗装の経年的な騒音低減効果を明らかにすることを目的とし、一般国道に試験施工された4種の排水性舗装および密粒舗装の区間において騒音測定を行ってきた。今年度は、騒音測定に加えて振動・吸音率の測定も行った。



その結果、施工後5年の騒音低減効果は、乗用車では毎年のデータには多少の変動があるものの、全体的な効果の減少は小さく、なお3～5dB程度と良好な効果が維持されている。

1．研究方法

試験車両として大型貨物車（積載量10t）と乗用車を用い、空積載（大型貨物車のみ）の定常走行で40km/h、60km/hの2種類の速度で測定を行った。また、測定対象となった舗装区間の仕様を下に示す。



1．1 試験車両走行騒音測定

動特性 FAST で単独走行時の騒音レベル波形を記録し、ピークレベル値を読みとり、パワーレベルを算出する。騒音計のマイクロフォンは、原則として各舗装区間の中央で、縁石等の障害物の影響を避けるため車道部端の地上 1.2m に設置する。

1．2 試験車両走行振動測定

振動レベル特性出力（VL）をデータレコーダに記録するとともに、レベルレコーダを用いて振動レベルのピーク値を読みとる。振動レベル計のピックアップは、各舗装区間における接地面の状態を統一するため、車道部端の縁石上に設置する。

1．3 舗装の吸音率測定

今回試験車両走行騒音・振動の測定対象とした5種類の舗装のうち、密粒舗装と一般的な排水性舗装（6号砕石、空隙20%）の2カ所から採取されたコアサンプルを用いて垂直入射吸音率の測定を行った。

2．研究結果

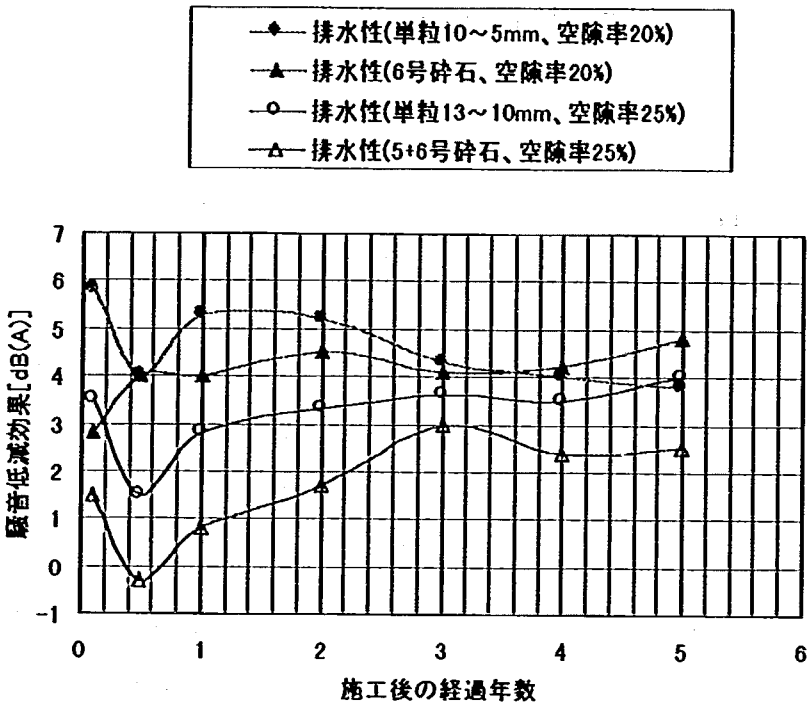
2．1 試験車両走行騒音測定

排水性舗装区間における試験車両走行騒音は、主として舗装の空隙詰まりやテクスチャの変化により経時的に上昇するが、一方、密粒舗装区間における車両走行騒音も路面の轍掘れ等により経時的に上昇すると考えられる。従って、排水性舗装の騒音低減効果は同時期に施工され、かつ同一交通条件下にある密粒舗装との比較によって評価すべきである。ここでは、上記の考え方に基づき、排水性舗装の騒音低減効果のまとめとして、大型貨物車

の場合での走行速度 60km/h における排水性舗装の騒音低減効果の経年変化を例として右に示す。

施工後５年間における排水性舗装の騒音低減効果は、乗用車で全体的な経年変化は小さく、施工後５年が経過してもなお３～５dB と良好な状態が維持されている。

また、各試験車両の騒音パワーレベルと、道路交通騒音の予測式に用いられる第２段階規制後の平均パワーレベルを比較すると、密粒舗装では乗用車の走行速度 40km/h を除いて第２段階規制後のパワーレベルを上回っており、排水性舗装では全ての車種・走行速度で第２段階規制後のパワーレベルを下回っている。



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/時)

２．２　試験車両走行振動測定

密粒舗装に比べて排水性舗装の沿道の振動レベルに影響を及ぼす主な要因としては、次に示す舗装状態の差異が考えられる。

①排水性舗装の微細な路面凹凸による振動増加

②排水性舗装の路面の不陸による振動増加

③密粒舗装の路面の不陸による振動増加

10 年度（施工５年後）の調査では、大型貨物車の場合、各排水性舗装の鉛直方向の振動レベルは密粒舗装の約 58dB よりも３～６dB 低くなっている。一方、試験走路の舗装では施工直後に測定された排水性舗装の振動レベルの方が密粒舗装の約 50dB より 3～12dB 高くなっており、これは①の要因によるものと考えられる。

従って施工５年後では、上記のうちの①に比べ③の要因が大きく寄与した可能性がある。

また、この測定結果より、施工直後の密粒舗装は経時的に振動増加が進行していき、施工５年後には密粒舗装の方が大きい振動レベルを示している。両舗装の経時的な路面の不陸の進行を考慮すると、この後密粒舗装と排水性舗装の差は次第に大きくなると考えられ、舗装のライフスパン全体でみると排水性舗装の方が振動に関して優れていると推測される。なお密粒舗装の振動増加の変遷が不明のため、施工直後から施工５年後のどの時点で両舗装の振動レベルが逆転するのか確認することが求められる。

２．３　舗装の吸音率測定

今回の吸音率測定の結果をまとめると、以下の通りとなる。

1)密粒舗装の垂直入射吸音率の周波数特性は、平坦でほぼ０であり、完全反射に近い。

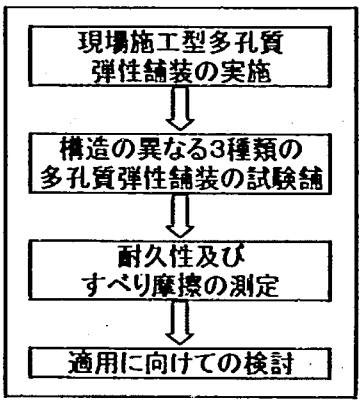
2)排水性舗装（６号砕石,空隙率 20%）の垂直入射吸音率の周波数特性は、単一の極大値（500Hz で約 0.3）を持つ釣り鐘型である。

3)道路交通騒音のスペクトルを加味した平均吸音率は、密粒舗装でほぼ０、排水性舗装（６号砕石,空隙率 20%）で約 0.1 である。

（大西、近藤、青木）

3．多孔質弾性舗装の開発に関する調査

研究期間：平 10
担当：交通環境研究室



【要旨】

多孔質弾性舗装は数年前より、騒音対策として工場製作された製品（各種空隙率の異なるもの）を土木研究所内に設置し、騒音はもとより、走行性の面からすべり摩擦係数を測定してきた。しかしプレキャストであるため路面との接着性及び目地での振動等が問題となった。そこで今年度は、つなぎ目のない現場施工型多孔質弾性舗装の車両の走行性能を把握するため、同研究所の舗装走行実験場に３種類の上記舗装を設置し、耐久性（ひび割れ、損傷、はがれ等）及びすべり摩擦係数を測定し、路面性状に関する検討資料の収集を行った。

１．研究方法

１．１現場施工型多孔質弾性舗装材

Ａ工区）過剰な樹脂だれ防止と強度を出すために上・下層の２層施工とし、下地及び下層（20mm）上層（10mm）間にはウレタン系プライマーを使用している。また、時間的制約から湿潤時すべり摩擦抵抗の改善検討が不十分であった。

Ｂ工区）上層（15mm）、下層（15mm）の２段階で施工し、物性向上のため粒状ゴムは２種類のチップを併用した。また上層にはすべり摩擦係数向上のためセラミック系骨材を使用し、下層は骨材を用いずに施工した。

Ｃ工区）上層・下層ともに 15mm の２層施工。下地との接着剤としてウレタン系のものを使用したが、十分な強度を維持できる設計とした。時間的制約から、湿潤時すべりの検討が不十分であった。

１．２耐久性に関する調査

耐久性に関する調査は、実験区間において速度 40km/h の荷重車（軸重 14t）が所定回数である施工直後、２万回（D 交通換算 0.25 ヶ月）、４万回（D 交通換算 0.5 ヶ月）の走行をした後に各種路面の変化状況を調査した。

(1)ひび割れ：１区間（50m²）を 0.5m×0.5m のブロック状にわけて、ひび割れ状況をスケッチした。データ整理方法は以下の通り。

Ⅰ.線状のひび割れが１本だけあるます目と、２本以上あるます目に分け、それぞれの数を数えた。

Ⅱ.各ます目のひび割れ面積を、線状ひび割れが１本だけある場合は 0.15m²、２本以上ある場合は 0.25 m² のひび割れが生じているものとして、ひび割れ面積を計算した。

Ⅲ.以下に示す式により、ひび割れ率を算出した。

ひび割れ率（%）＝ひび割れ面積（m²）／調査対象区間面積（m²）×100

(2)損傷：軽度（表面にゴム粒子の飛散が見受けられる）、中度（表面からゴム粒子が著しく飛散している）、重度（欠け、くぼみ等の損傷が認められる）の３レベル別に分類してスケッチした損傷状況について、それぞれのレベルのます目が全体ます目数に占める割合を損傷率とした。

(3)はがれ：１区間（50m²）を 1.0m×1.0m のブロック状にわけて、ます目の全面積に占めるはがれた面積の率を以下の４レベルに分割し、それぞれのレベルのます目数が全体ます目数に占める割合をはがれ率とした。

ランクA	ます目の面積の12.5%未満	ランクC	25%以上50%未満
ランクB	12.5%以上25%未満	ランクD	50%以上

１．３　すべり摩擦係数に関する調査

すべり摩擦係数調査は、路面すべり測定車のフロント部分に搭載している建設省型すべり測定装置を用い、試験車が実験区間を定常走行しているとき（20km/h、30km/h、40km/h）試験車本体の走行とは関係ない測定輪のみにブレーキをかける。その時、路面とタイヤ間に生ずるすべり摩擦係数力をロードセルによって検出し、増幅器を介して記録器に記録させる。本調査は、舗装施工直後、荷重車の２万回及び４万回走行後に行った。

2．研究結果

2．1　耐久性に関する調査

(1)ひびわれ：使用材料の主成分がゴムであるため、ひび割れが発生にしくく、今回の実験ではひび割れの発生は見られなかった。また、比較対象路面であるプレキャストタイプの多孔質弾性舗装及び密粒アスコン面上においても、ひび割れが発生していないことを確認した。

(2)損傷　：施工直後はいずれの舗装にも損傷は見られないが、2万回の走行後は損傷度合いは軽度であるがA～C工区においてそれぞれ6.5%、54.0%、1.5%の損傷が見られた。また、さらに走行を重ねた合計4万回時の損傷は、10.0%,66.0%、1.5%とかなり損傷率が高くなっている。しかしB工区の舗装については、すべり摩擦係数を増加させるために舗装（ゴム）内に添加剤を混入していることから、その骨材が剥離し舗装と分離したものである。従って他の路面と同じ状況で評価すると、4万回走行時の損傷率が2.5%となった。

(3)はがれ　：現場施工型多孔質弾性舗装は基層となるアスファルト路面に接着されているため、はがれの状況は目視と、拳によって叩いてその感触及び音で判断する方法によって評価した。その結果、はがれているような部分は見られなかった。

一方、比較対象路面とした工場製作型の多孔質弾性舗装材はアスファルト舗装との接着面が少なく、さらにタイヤと接する断面が多いことから、舗装板の隅からはがれが生じているのが見られた。従って、現場での使用を考える場合は、現場施工型のほうが維持管理がしやすいと言える。しかし、現場施工型は施工時、一般交通に解放するまでに時間がかかるという欠点もある。

2．2　すべり摩擦係数に関する調査

図1によると、舗装施工直後、走行速度20～40km/hの範囲で湿潤時すべり摩擦係数は、B工区で0.48～0.39、A工区で0.35～0.27、C工区で0.27～0.22と、セラミック系骨材が混合されたB工区がもっとも大きかった。密粒舗装の0.69～0.59と比べると小さいものになっている。また、走行速度の増加とともに、係数は小さくなっている。図2によると、荷重車の4万回走行後では走行速度20～40km/hの範囲で、湿潤時すべり摩擦係数は、B工区で0.27～0.19、A工区で0.23～0.16、C工区で0.21～0.12となり、それぞれ施工直後に比べて減少した。特にB工区、A工区の係数の減少が大きく、C工区と同じくらいの係数となった。また、走行速度の増加とともに係数が小さくなる傾向は、施工直後と同様であった。

実験場の関係で走行速度が20～40km/hと低い範囲ではあるが、湿潤時のすべり摩擦係数が各工区とも概ね0.2であり、密粒舗装の0.5～0.7に比べ大幅に小さかった。実用化のためにはこの湿潤時すべり摩擦係数の改善が必要である。

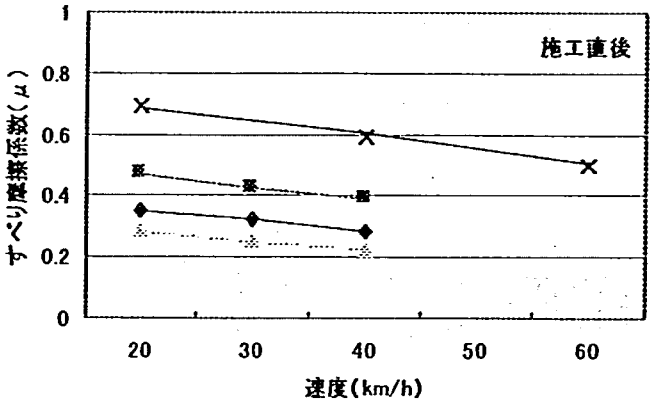


図1　舗装別の走行速度と湿潤時すべり摩擦係数の関係（施工直後）

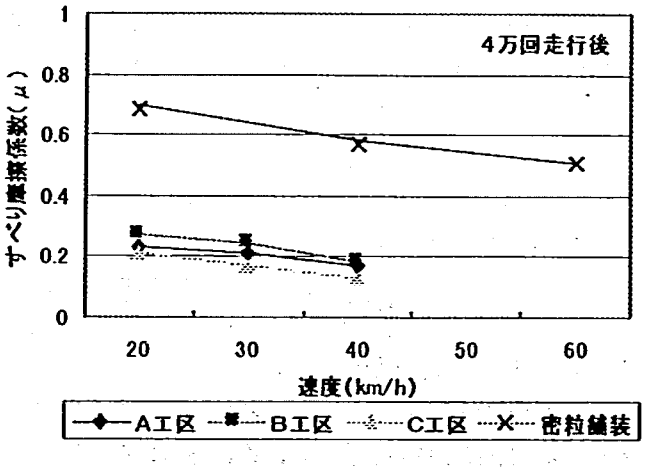


図2　舗装別の走行速度と湿潤時すべり摩擦係数の関係（4万回走行後）

（近藤、青木）

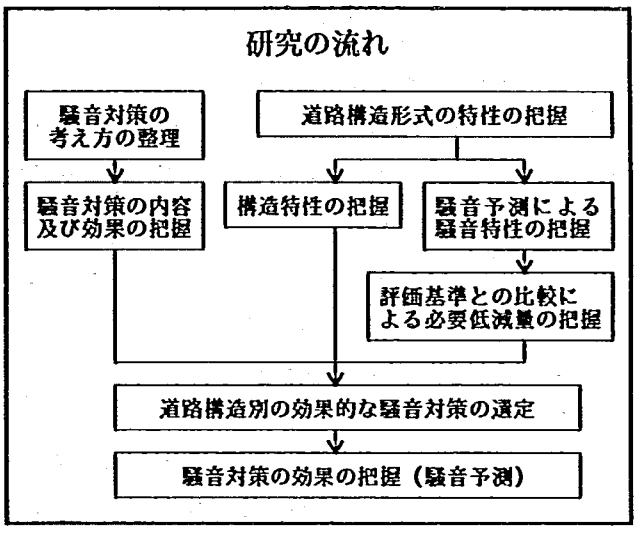
4．道路交通騒音の複合対策

研究期間：　平 10

担　　当：交通環境研究室

【要旨】

本研究では、道路構造に応じて複数の騒音対策を実施することで、より効果的に騒音レベルを低減させる対策手法を検討する。そのために、騒音対策の種類や道路構造別の騒音の特徴について既存資料の整理を行った。また、都市部の平面高架併設道路に対して騒音対策を講じた場合の効果をケーススタディにより計算した。



1．研究方法

1．1　騒音対策に関する資料整理

主な騒音対策について、その効果の内容や他の環境要素への影響を既存資料により整理した。

1．2　騒音の特徴に関する資料整理

効果の高い騒音対策を検討するために、既存資料により道路構造別の騒音の特徴を整理した。

1．3　ケーススタディ

都市部の平面高架併設道路において複数の騒音対策を実施した場合の効果を計算した。これにより沿道地域において環境基準を満たす範囲がどのように変化するかを明らかにした。

2．研究結果

2．1　騒音対策に関する資料整理

主な騒音対策を表－1に示す。

表－1　主な騒音対策

騒音対策の種類	効果の内容	他の環境要素への影響（＋，－の効果の内容）
通常遮音壁	遮へい効果による低減効果が見込まれる。	景観・日照への影響がある。(－)
先端改良型遮音壁	遮音壁の先端に吸音体を設置したり、先端形状を変形させることにより、同じ高さで通常遮音壁よりも大きな減音量が得られる。	景観・日照への影響は通常遮音壁よりも小さい。(－)
低層遮音壁	高さ1m程度の遮音壁であり、都市部の一般道路に設置するため、沿道アクセスのための開口部が存在する。	他の環境要素への影響はない。
遮音築堤	遮へい効果による低減効果が見込まれる。	景観・日照への影響がある。(－)
排水性舗装	タイヤ／路面騒音の減音効果と共に、伝播過程における吸音効果が見込まれる。機能の持続性に問題がある。	他の環境要素への影響はない。
吸音処理	高架裏面反射音対策等、反射音の寄与が大きい時に有効である。	他の環境要素への影響はない。
環境施設帯	距離減衰による減音効果が見込まれる。大きな遮音効果を得るためには、遮音壁、遮音築堤の併用が必要である。	他の環境要素への影響はない。
植物の密植	主に環境施設帯設置時に行い、心理的効果がある。定量的な把握には至っていない。	NO_2 等の吸収、拡散効果。良好な環境の形成。(＋)
建物の防音対策	建物の防音性能の向上により、屋内での騒音レベルを低減させる。	他の環境要素への影響はない。
緩衝建築物の配置	沿道に中高層建築物を配置することにより、背後地への騒音の伝播を遮断する。	景観・日照への影響がある。(－)

表－2　道路構造別の騒音の特徴

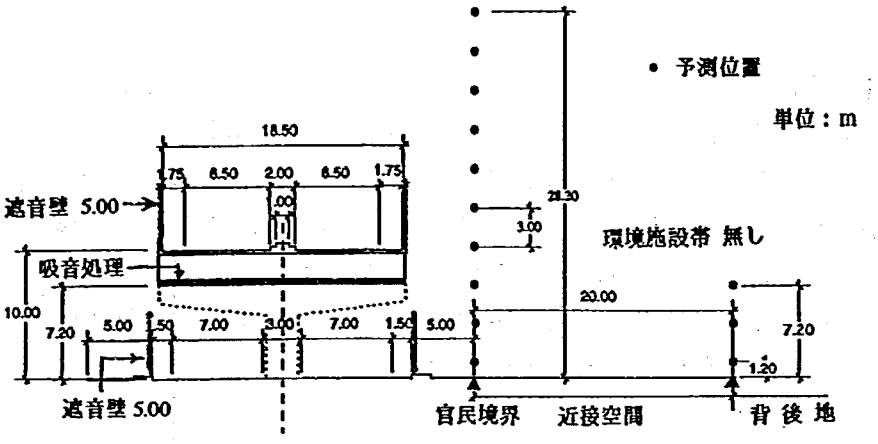
道路構造	騒音の特徴	その他の特徴
平面構造	・道路端での騒音レベルが高い。 ・距離減衰効果が大きい。	
高架構造	・道路端では、回折減衰が大きいため騒音レベルが低い。 ・高架構造物音による影響がある。	景観、日照阻害への影響が考えられる。
平面構造＋高架構造	・平面道路からの直接音及び高架裏面反射音の影響がある。	景観、日照阻害への影響が考えられる。
盛土構造	・道路端では、回折減衰が大きいため騒音レベルが低い。	のり面への植栽が可能である。
切土構造	・道路端の騒音レベルは平面構造と同程度であるが、平面構造よりも減衰効果は大きい。	のり面への植栽が可能である。
掘割構造	・道路端の騒音レベルは平面構造と同程度であるが、平面構造よりも減衰効果は大きい。 ・オーバーハングを有する場合は、道路端付近での減音効果が大きくなる。 ・側壁の吸音処理による効果は大きい。	
トンネル構造	・トンネル坑口部で、坑口からの音により騒音レベルが高くなる場合がある ・トンネル内の吸音処理による効果は大きい。	

２．２　騒音の特徴に関する資料整理

道路構造別の騒音の特徴を表－２に示す。

２．３　ケーススタディ

都市部の平面高架併設道路の想定される基本断面を図－１に示す。この道路について、表－３の条件により騒音レベルの予測を行った。なお予測においては自動車走行騒音の指向特性[1]を考慮した。この結果を表－４に示す。これより次のことが明らかとなった。



図－１　平面高架併設道路の基本断面(Case1)

① Case2 では、騒音レベルは近接空間の３階を除いたすべての階で環境基準を満足した。しかし背後地においては、これらの対策を実施しても環境基準を超過する。

② Case2 でも、沿道建物の遮音効果が期待できる場合（間隙率 20％）では、背後地のすべての位置で環境基準を満足する。

③ Case3 では、近接空間及び背後地のすべての位置で環境基準を満足する。

環境施設帯を設置すると、設置しない場合に比べ環境基準を満たす範囲が増加する。これは、環境施設帯を設置すると、距離による減衰効果と平面道路の遮音壁の連続化による遮音効果が向上することで、平面道路の騒音の影響が減少するためである。しかし、都市部での環境施設帯の設置は用地買収等の問題もあり困難なことが多い。このような場合、遮音効果の期待できる緩衝建築物を沿道に計画的に設置する等、複合的な対策により騒音を低減させることが必要と思われる。

表－３　騒音レベルの予測のための条件

(1)道路構造

	平面道路	高架道路		環境
	遮音壁	排水性舗装	遮音壁	施設帯
Case1	5m（開口率 30％）	無	5m	無
Case2	5m（開口率 30％）	有	5m+折曲げ 3m	無
Case3	5m （連続設置）	有	5m	有

注)遮音壁及び高架裏面には吸音処理を行うものとし、吸音率は遮音壁が 0.8、高架裏面が 0.9 とする。

(以下、Case1 ～ Case3 の共通条件)
(2)予測位置（図－１参照）

予測位置	予測高さ
官民境界～20m（以下「近接空間」という）	地上 1.2m ～ 28.2m（10 階相当高さ）
20m 以遠（以下「背後地」という）	地上 1.2m、4.2m、7.2m（３階相当高さ）

(3)予測時間帯　夜間
(4)時間交通量及び大型車混入率

対象道路	夜間の時間平均交通量(台)	夜間の時間平均大型車混入率(%)
高架道路	2,200	30
平面道路	1,100	25

(H9 道路交通センサス一般交通量調査結果の全国平均をもとに設定)
(5)走行速度　高架道路、平面道路共に 60km/h とする。
(6)指向特性　それぞれ指向特性について考慮する。

表－４　騒音レベルの予測結果　　単位：ｄＢ

			高架道路と平面道路の騒音の合成値(最大) Case1	Case2	Case3	環境基準
近接空間（官民境界～20m）		10階(28.2m)	69 : ×	64 : ○	64 : ○	65
		9階(25.2m)	70 : ×	64 : ○	64 : ○	
		8階(22.2m)	70 : ×	61 : ○	62 : ○	
		7階(19.2m)	69 : ×	59 : ○	60 : ○	
		6階(16.2m)	63 : ○	60 : ○	60 : ○	
		5階(13.2m)	64 : ○	63 : ○	62 : ○	
		4階(10.2m)	65 : ○	65 : ○	60 : ○	
		3階(7.2m)	66 : ×	66 : ×	57 : ○	
		2階(4.2m)	65 : ○	65 : ○	54 : ○	
		1階(1.2m)	65 : ○	65 : ○	53 : ○	
背後地（20m 以遠）	建物補正無し	3階(7.2m)	61 : ×	61 : ×	53 : ○	55（A地域）
		2階(4.2m)	61 : ×	61 : ×	51 : ○	
		1階(1.2m)	61 : ×	61 : ×	51 : ○	
	建物補正有り	3階(7.2m)	54 : ○	54 : ○	46 : ○	
		2階(4.2m)	54 : ○	54 : ○	44 : ○	
		1階(1.2m)	54 : ○	54 : ○	44 : ○	

注１)騒音レベルの合成値が環境基準を達成する場合は○、達成しない場合は×を記入している。
注２)「建物補正 有り」としたときの建物の間隙率は２０％とする。

３．参考文献

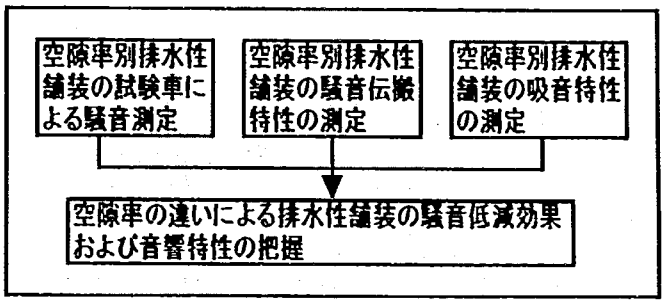
1)森、福島、上坂、大西：「実走行車輌から発生する騒音の指向性について(第２報)」　日本音響学会講演論文集　P691 ～ P692　1999 年３月

（大西，上坂，鉢嶺，木村）

5．排水性舗装騒音測定データ収集

研究期間：平１０
担当：交通環境研究室

【要旨】



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、時間とともに空隙が閉塞して効果が低下する。現在、効果回復の手法も検討されているが、空隙の閉塞と効果の変化との関係が把握されていないため、効果の持続性や回復手法が十分に検討できていない。10年度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、空隙率の違いによる効果と音響特性を調査した。その結果、空隙率が 26%のものが伝搬による減衰量も吸音率も最も高かったが、試験車による騒音測定では空隙率が23%のものが最も効果が大きいことがわかった。

１．研究方法

試験走路に、密粒舗装と空隙率を違えた（11,14,17,20,23,26%）6 種類の排水性舗装を敷設した。これら舗装の骨材には6号砕石（5～13mm）を使用し、舗装厚さは 5cm として下記の調査を行った。

１．１　走行車両のパワーレベルの測定

各種舗装路面上において大型車と乗用車を 4 種類の速度(40,60,80,100km/h)で定常走行及び惰性走行させ、パワーレベルを測定した。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。

１．２　伝搬音の測定

各種舗装路面上においてスピーカーから騒音を発生させ、マイクロフォンを地上高さ 0.5,1.0,1.5,2.0m に設置して騒音レベルを測定した。音源からマイクロフォンまでの距離は 1,2,4,8,16,32m とした。また、使用した音は、速度 60km/h で密粒舗装上を定常走行する大型車の騒音を近傍点(走行車線中心から側方 2.4m)で録音したものである。なお、騒音レベルは密粒舗装と排水性舗装で測定された騒音レベルを道路交通騒音のスペクトルで補正して算出した。

１．３　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。

２．研究結果

２．１　空隙率の違いによる試験車走行騒音の低減効果の変化

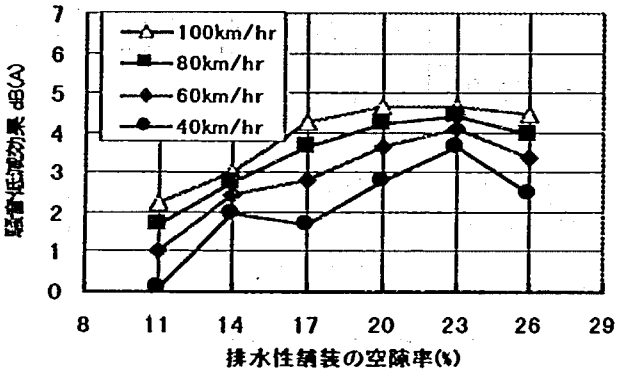
排水性舗装の空隙率と大型車,乗用車の定常走行時における効果の関係を図－1,2 に示す。なお、ここでいう効果とは試験車が密粒舗装上を走行する時のパワーレベルから排水性舗装上を走行する時のパワーレベルを差し引いたものである。

(1)大型車の定常走行の場合、40～100km/h の全ての速度で空隙率が 23%の効果が最も大きく、3.7～4.7dB 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%まで効果は徐々に低下し、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各速度の空隙率の違いによる効果の差は縮まった。

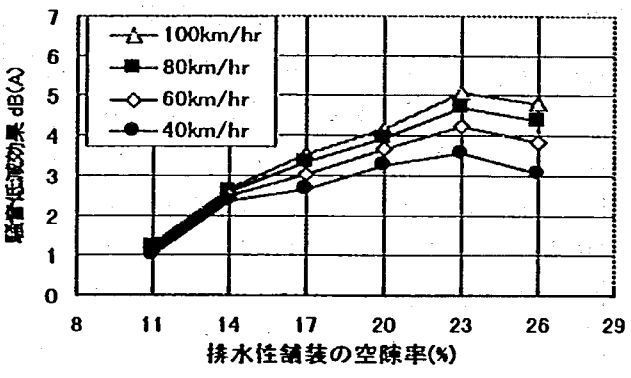
(2)乗用車の定常走行の場合、40～100km/h の全ての速度で空隙率が 23%の効果が最も大きく、3.6～5.1dB であった。最も空隙率の大きい 26%の効果は 3.1～4.8dB と 23%よりもやや小さかった。速度の違いによる効果

の差は空隙率が 11%と 14%ではほとんど無く、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 となり 1.7dB の差となり、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拡がった

大型車も乗用車も、最も効果が大きい空隙率は 23%であり、また全ての空隙率で速度が高いほど効果は大きかった。



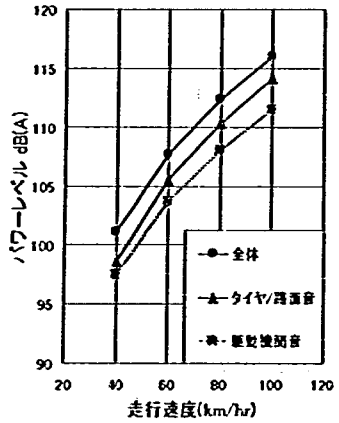
図－1 大型車の定常走行時の騒音低減効果



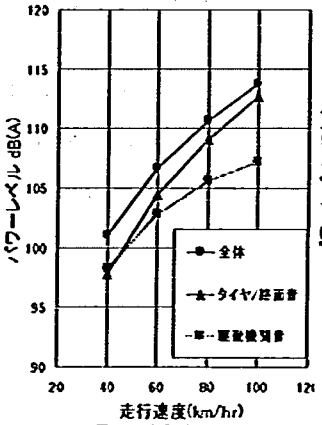
図－2 乗用車の定常走行時の騒音低減効果

2．2　空隙率の違いによる駆動機関音の変化

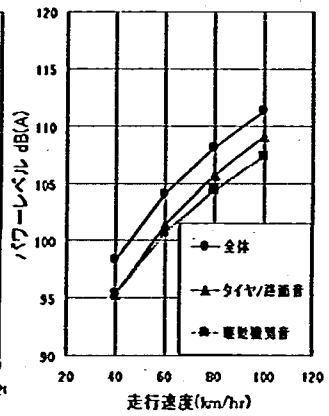
惰性走行騒音は主としてタイヤ/路面音からなっている。一方、定常走行騒音から惰性走行騒音を差し引いたものは、エンジン音や吸排気音等からなっている（以後、駆動機関音という）。密粒舗装と３種類の空隙率（11%、20%、23%)の排水性舗装上を走行する自動車の騒音パワーレベルを上記のタイヤ/路面音と駆動機関音のパワーレベルに分けて、大型車に関して図－3～6に、乗用車に関して図－7～10に示す。



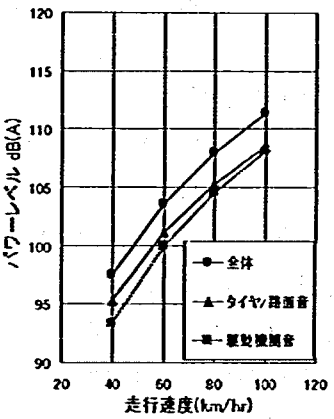
図－3 大型車の要因別パワーレベル(密粒舗装)



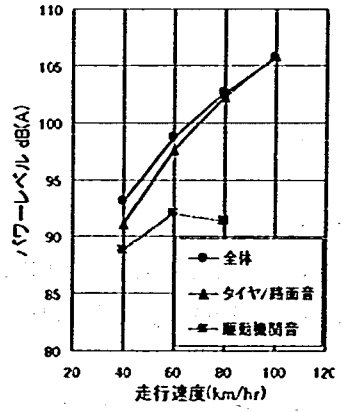
図－4 大型車の要因別パワーレベル(空隙率11%)



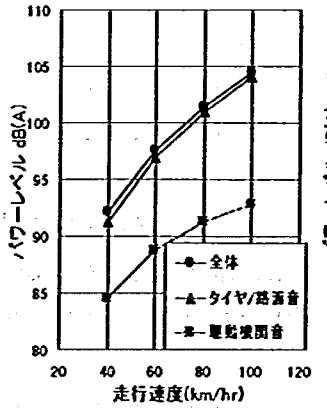
図－5 大型車の要因別パワーレベル(空隙率20%)



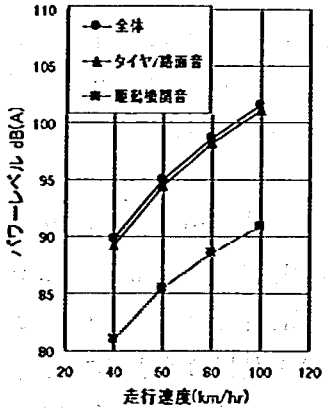
図－6 大型車の要因別パワーレベル(空隙率23%)



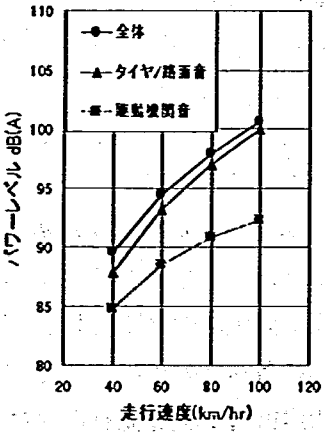
図－7 乗用車の要因別パワーレベル(密粒舗装)



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%)

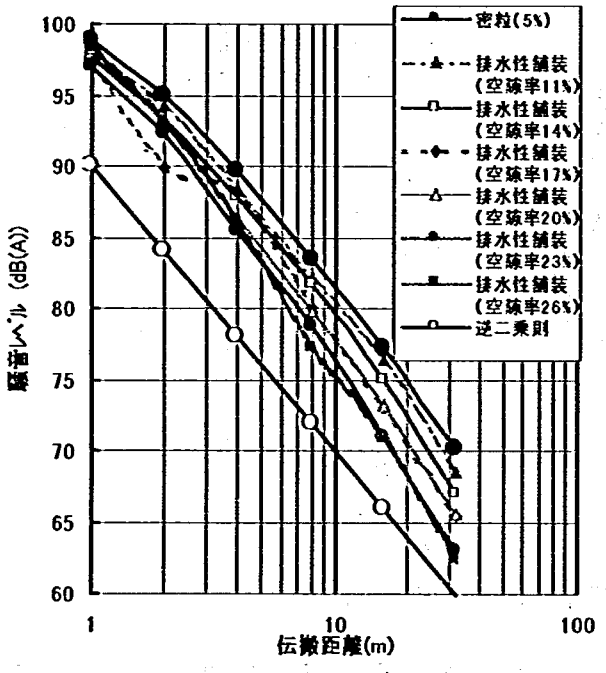


図－10 乗用車の要因別パワーレベル(空隙率23%)

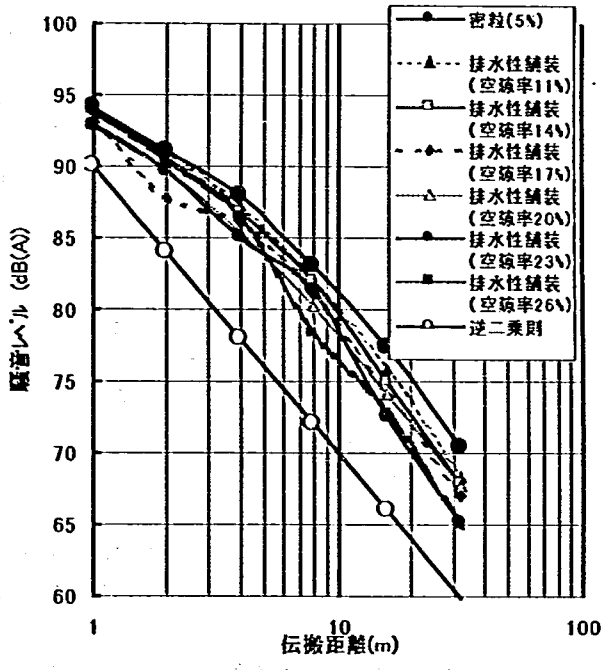
(1) 大型車に関しては、密粒舗装、排水性舗装とも全ての速度でタイヤ/路面音が駆動機関音を上回っていた。ただし、速度 40km/h の時は両者とも同程度のパワーレベルであった。また、タイヤ/路面音と駆動機関音の差は、密粒舗装と空隙率 11%では比較的大きかったが、空隙率の大きい 20%と 23%では小さかった。図－4、図－5、図－6 をみると、空隙率が 11%、20%、23%とも高速域での駆動機関音はあまり違わないが、タイヤ/路面音は 20%や 23%の方が 11%の方より小さくなっており、その結果全体のパワーレベルも 20%、23%は小さくなった。

(2)乗用車に関しては、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、駆動機関音がほとんど寄与していないためである。図－8、図－10 をみると、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 23%の方が 11%の方より小さくなっており、その結果全体のパワーレベルも 23%が小さくなった。

大型車も乗用車も排水性舗装の空隙率が大きくなると、駆動機関音は同程度だがタイヤ/路面音の寄与分が低下するため、全体のパワーレベルは小さくなった。



図－11 各種舗装上の騒音伝搬特性
(マイク高さ 0.5m)



図－12 各種舗装上の騒音伝搬特性
(マイク高さ 1.5m)

2．3 空隙率の違いによる伝搬特性の変化

舗装面上における騒音伝搬特性について、舗装面に最も近い高さ 0.5m と通常の騒音測定高さの範囲にある高さ 1.5m の場合を図－11,12 に示す。また、点音源からの距離減衰（逆二乗則(－6dB/D.D.)）の傾斜を図中に表示した。なお、逆二乗則については測定値でなく傾斜を比較するために表示したもので、ここでは減衰量以外の騒音レベルは意味をもたない。

(1) マイク高さ 0.5m の場合、空隙率が 20%以上のものは騒音伝搬距離が 4m 以上になると逆二乗則より傾斜が急となり過剰減衰がみられ、騒音伝搬距離が長くなるとともにさらに傾斜は大きくなった。特に空隙率が 23%と 26%はその傾向が顕著であった。その他の排水性舗装については、騒音伝搬距離が 16m 以上になると過剰減衰がみられた。また、密粒舗装については逆二乗則とほぼ同じ傾斜を示し、過剰減衰はほとんど認められなかった。

(2)マイク高さ 1.5m の場合、密粒舗装を除く全ての舗装で騒音伝搬距離 8m 以上になると逆二乗則より傾斜が急となり過剰減衰がみられ、空隙率の大きいものほど過剰減衰は大きくなった。また、密粒舗装については逆二乗

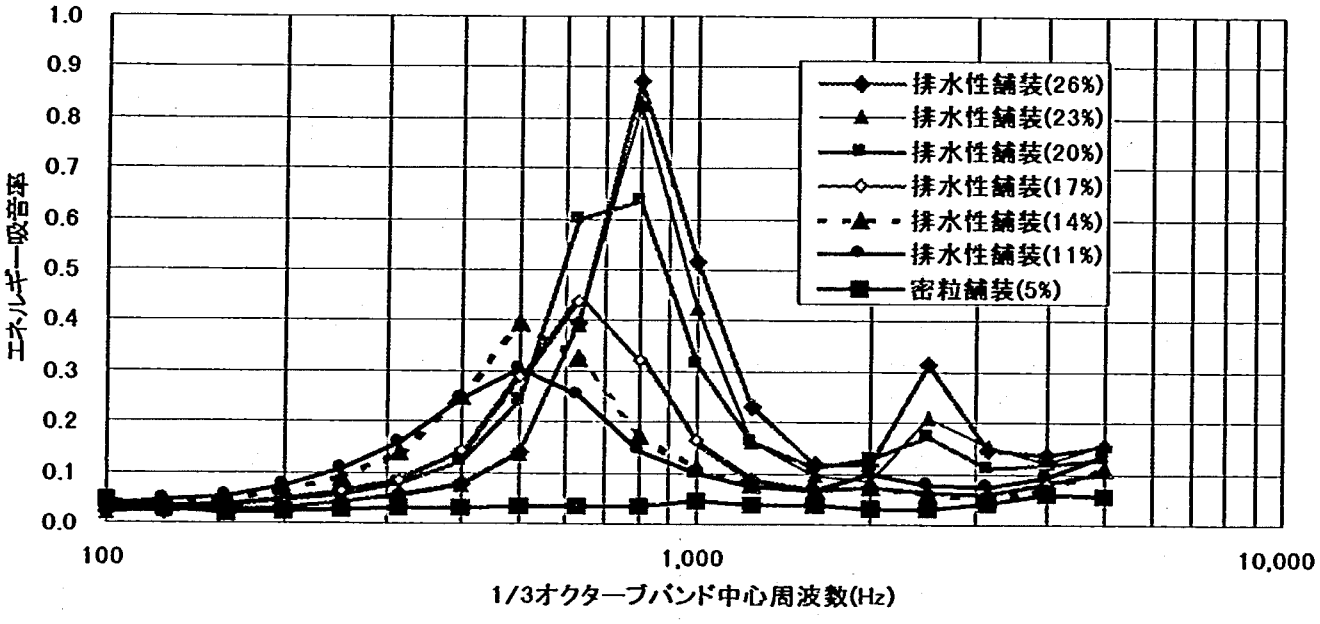
則とほぼ同じ傾斜を示し、過剰減衰はほとんど認められなかった。

マイク高さの違いによる騒音伝搬特性は、マイク(受音点)の高さが低いほど路面の影響を強く受け空隙率が高く吸音性のある排水性舗装の場合は過剰減衰が大きくなった。なお、空隙率が大きい 26%と 23%の場合は、騒音伝搬距離が 16m 以上では高さに無関係に同様の減衰特性を示した。

2．4　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－13 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 へと高域へ移動した。また、空隙率が 20%以上になると吸音率のピーク値は約 0.6 から約 0.9 と大きいが、空隙率が 11%から 17%のときはピーク値は約 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

次に、これらの舗装について道路交通騒音のスペクトルで重みづけをしたオーバーオールの平均吸音率を表－1 に示す。

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、大きいピーク値をもつ空隙率が 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。

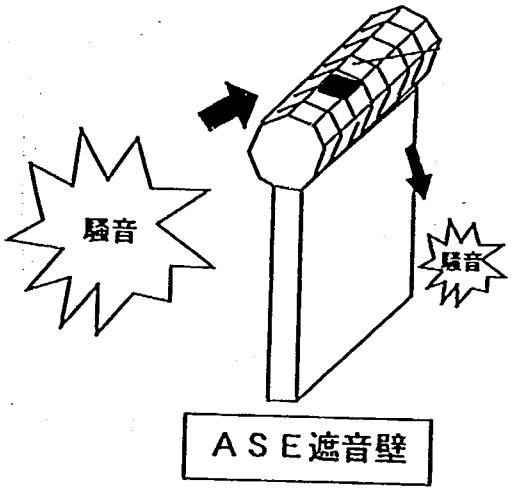
3．今後の課題

今回の調査では、空隙率が 11%から 26%の範囲で 23%の排水性舗装が最も大きい効果を有することがわかった。一方、騒音伝搬特性及び吸音特性では空隙率 26%が最も高い効果を示した。これは、空隙率以外の要因が空隙率 23%の場合のタイヤ/路面音を最も大きく抑制していることを示している。今後はこの要因を解明するために、路面のテクスチャーと効果の関係を調査していく必要がある。　　(大西，近藤)

6．高度騒音対策に関する開発調査

研究期間：　平　１０
担　　当：交通環境研究室

【要旨】
遮音壁の上部に取り付けてその表面の音圧反射率を－１に制御するアクティブ・ソフト・エッジ(以下「ASE」という)のプロトタイプを土木研究所の試験走路に設置し，その減音効果を通常の遮音壁と比較した。
その結果，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の場合と同等の効果が得られた。



1 研究方法

1.1 ASE遮音壁の設計

(a) ASEユニットの構造の設計

9年度に設計した屋内実験用のASEユニット（延長2m）を基本とし，更なる耐候性の付与（高湿度，結露対策，耐候性フィルムの装備方法），保守性向上のための検討を行い，屋外に設置可能なASEユニットの構造を設計した。

(b) 制御回路の設計

屋外への設置に対応する温度耐力の向上，温度変化に対する性能保持を意図した機能部品の選定を行った。

(c) 遮音壁への取り付け構造の設計

既設および新設の通常遮音壁に対し，取り付け，取り外し工事が容易でかつ十分な強度を具備する取り付け構造を検討した。

(d) 立ち上げ時発振回避機能の設計

ＡＳＥ装置の一括電源投入時における制御回路の過渡的な特性変動による好ましくない発振現象を回避するための制御方式および回路を設計した。

(e) ユニットの連結構造の設計

隣り合うＡＳＥユニットとの連続設置を考慮し，取り付け，取り外し工事が容易で，かつ音響特性の劣化を最小としたＡＳＥユニット端部の連結構造を検討した。

1.2 ASEユニットの製作およびASE遮音壁の設置工事

1.1で設計したASEユニットを製作し，ASE遮音壁（高さ2.8m，延長40m）を土木研究所の試験走路に設置した。また，ASEセルを作動させるための配電工事を行った。

1.3 ASE遮音壁の減音効果の測定

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。

2 研究結果

2.1　ASE遮音壁の設計

製作したASEユニットの断面図および正面図を図－２に示す。

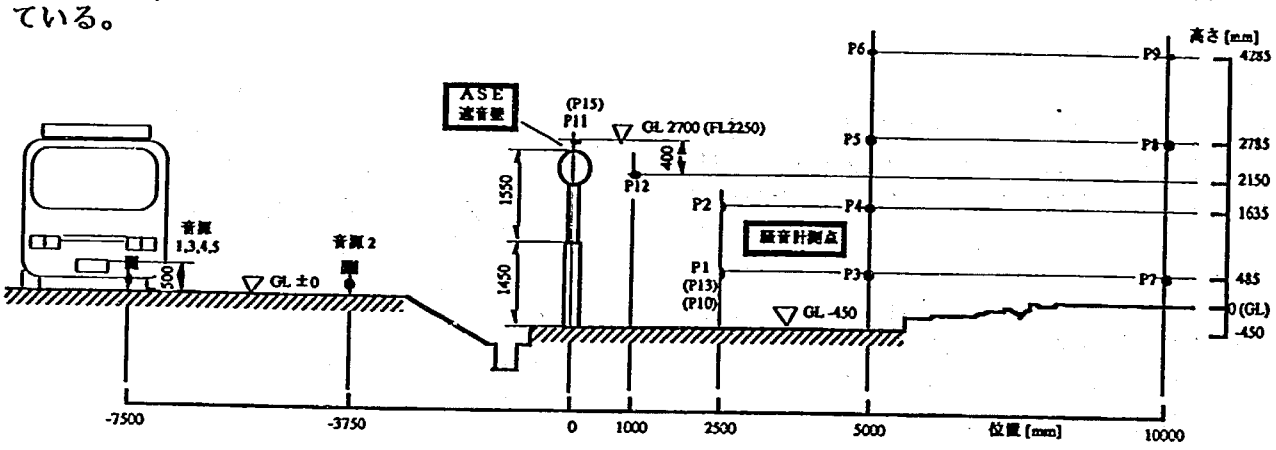
2.2　減音効果の測定結果

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を示す。ASE遮音壁は制御帯域内(200～600Hz)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。

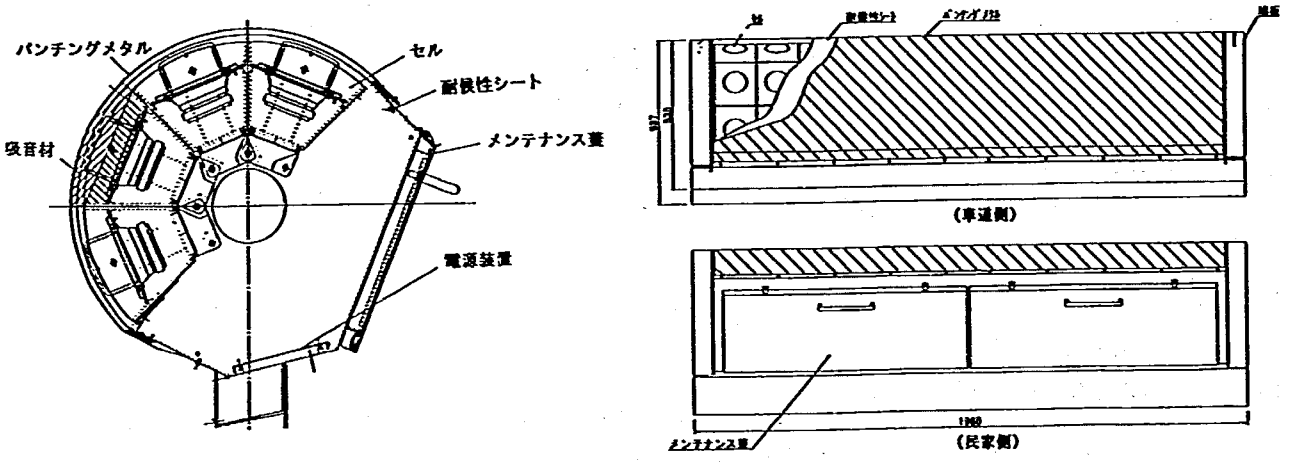
また，遮音壁をはさんで，音源が受音点の斜め方向にある場合は，音源が受音点の正面にある場合と同様もしくはやや大きい減音効果が得られることが確認された。

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

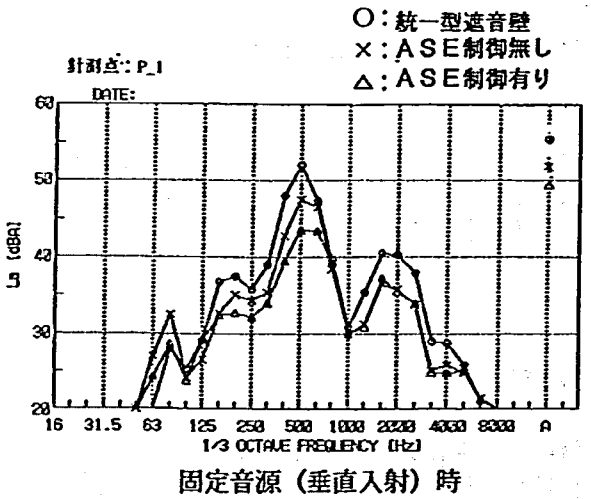
－４は，40km/hおよび80km/h走行時の250Hzにおける騒音測定結果を示す。この図は4回の測定値の算術平均値であるが，ASE遮音壁は通常遮音壁に比べ，ピーク値で5dB程度の減音効果が得られている。



図－１　土木研究所試験走路での実験配置

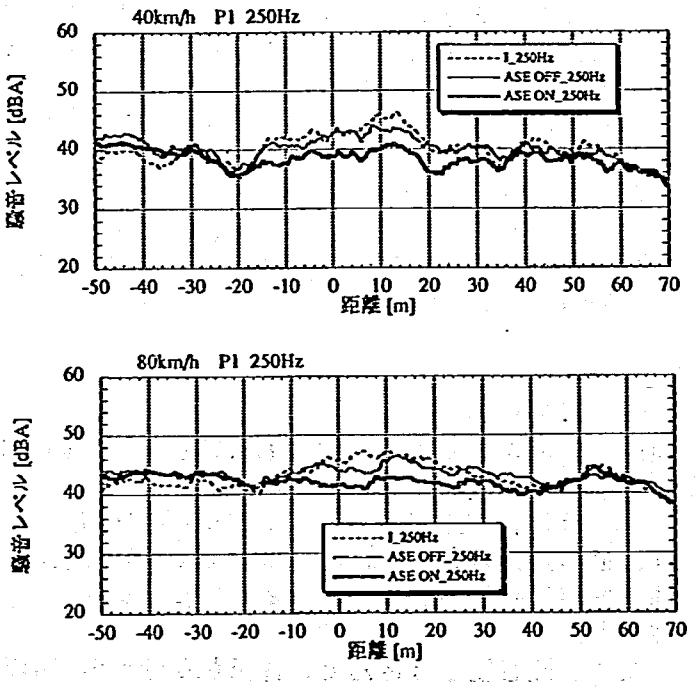


図－２　ASEユニットの断面図および正面図



固定音源（垂直入射）時

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

（大西，上坂，鉢嶺）

7．道路交通騒音の予測手法

研究期間：平成１０
担　　当：交通環境研究室

【要旨】

平成10年9月に、L_{Aeq}を評価指標とする新たな「騒音に係る環境基準」が告示され、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」が定められた。従って、幹線道路に面する建物の屋内騒音レベルを推定する必要が生じた。そこで、より一般的なものとして道路に対して建物が斜めに立地している場合の屋内透過騒音レベルの推定方法を検討し、模型実験によりその妥当性を検証した。また、建物の外観により建物の防音性能を推定する手法を検討した。その結果、主に建物の構造、窓の種類とその大きさによって建物の防音性能を推定することができることが分かった。

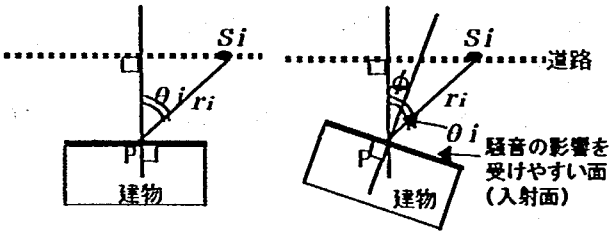
新しい「騒音に係る環境基準」の告示
↓
屋内透過騒音レベルの予測手法の検討
↓
道路に対して斜めに立地した建物の屋内透過騒音レベル予測手法検討
建物の防音性能の推定方法検討

1. 研究方法

1. 1　道路に対して斜めに立地した建物の屋内透過騒音予測方法

建物の騒音の影響を受けやすい(壁)面（以下、「入射面」という）と道路のなす角度をϕ[°]（図－1(b)参照）とする。$\phi=0$[°]のときの入射面での入射音の騒音レベルを基準にして、$\phi\neq0$[°]のときの入射面での入射音の平均的な等価騒音レベルの補正量を以下のように定義する。

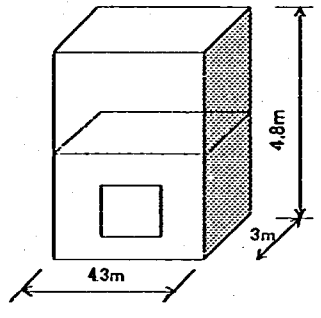
$$\triangle L(\phi)=10\log_{10}\frac{\sum_i\{\cos(\theta_i-\phi)/r_i^2\}}{\sum_i(\cos\theta_i/r_i^2)} \qquad (1)$$



（a）平行立地　　（b）斜め立地

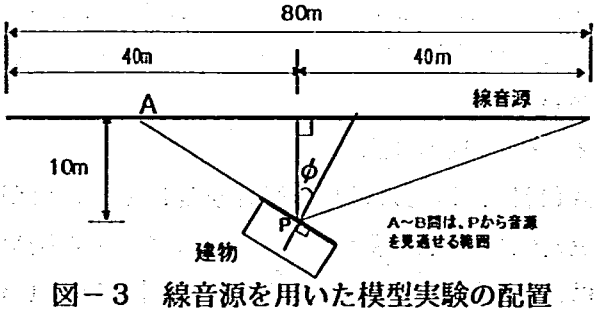
図－1　入射基準点と入射角の関係

式(1)を検証するため、無響室で建物模型を用いた縮尺比 1/10 の模型実験を行った。実験に用いた建物模型を図－2に示す。建物模型において、入射面中央の点を入射基準点Pとし、Pの周辺に開口部を設けた。受音点は、建物模型の中に「JIS A 1417 建築物の現場における音圧レベル差の測定方法」を参考として5点配置した。各受音点の測定データは自動車走行騒音の代表パワースペクトルで重み付けしたオーバーオール値で整理した。そして、そのエネルギー平均値を室内平均騒音レベルとして、ϕ が変化した場合の入射音の騒音レベルの変化を相対的に把握した。この模型実験では、図－3に示すような中心高さ 0.1m（実物換算）のジェットノイズ式の線音源を用い、建物を点Pを中心として回転させることによりϕを変化させた。



建物寸法：（実物換算）
高さ：4.8m
幅　：4.3m
奥行：3.0m(八畳間相当)
開口部：1.8 m × 1.8 m
（掃き出し窓相当）

図－2　建物模型とその諸元



図－3　線音源を用いた模型実験の配置

1.2 建物の防音性能の推定

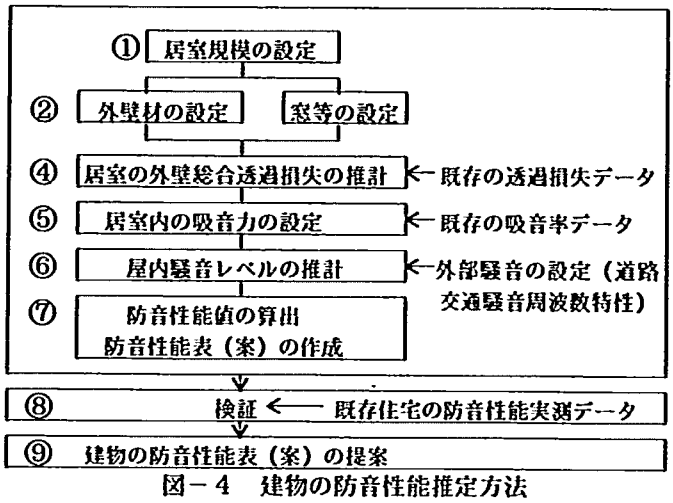
沿道に立地した建物の防音性能を推定するため、目視可能な情報から建物の外観上の特徴を整理した。また、その特徴のうち、建物の防音性能に大きい影響を与える項目について、図－4に示すフローに従い検討し、建物の防音性能を推定した。

①8畳間を想定した。

②外壁の種類別の透過損失データの平均値を利用。

③窓の種類別の透過損失データの平均値を利用。

④居室規模に応じた、外壁の総合透過損失を周波数別に求めた。



図－4　建物の防音性能推定方法

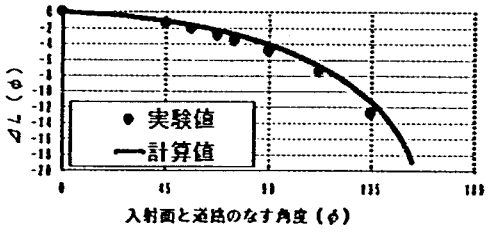
⑤吸音力は、既存住宅の実験値を参考に0.25に設定した。

⑥①～⑤の条件に、道路交通騒音の周波数特性を考慮して、建物の外壁と窓の組み合わせ別の屋内透過騒音レベルを計算した。

⑦⑥の結果から、建物の外壁の種類と窓の種類に関して建物の防音性能が同じ程度になるグループを大別し、統合整理した。

⑧既存の屋内外の騒音レベルを測定した現地調査データを利用して検証を行った。

⑨建物外壁のひび割れ、窓の大きさ等も考慮し防音性能表を作成した。



図－5　$\Delta L(\phi)$の計算値と実験値の比較

2. 研究結果

2－1　道路に対して斜めに立地した建物の屋内透過騒音予測方法

図－5に、入射面と道路のなす角ϕと防音性能$\Delta L(\phi)$の関係を示す。計算値と実験値は$0^\circ \leqq \phi \leqq 135^\circ$の範囲で非常によく一致している。この結果から式(1)の妥当性が検証されたと考える。

2－2　建物の防音性能の推定

沿道に立地する一般的な建物の防音性能を表－1に示す。建物の防音性能は、主に建物の外壁の種類、窓の種類やその大きさによって決定される。現地調査によってそれらを把握し、表－1に従って建物の防音性能を推定することができる。また、現地調査を行う際は建物の防音性能に影響を与える窓と外壁との隙間、外壁の劣化状況、換気口の有無・種類などにも着目する必要がある。

表－1　建物の防音性能の推定値

（調査対象面の窓の面積の総和が1間の掃き出し窓相当以下の場合）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、固定窓	35／30[注2]	30[注3]
防音型サッシ	30[注4]	25[注3]
普及型サッシ	25	20
スチールサッシ、木製サッシ	20	20

（調査対象面の窓の面積の総和が1間の掃き出し窓相当より大きい場合）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]
普及型サッシ	20	20
スチールサッシ、木製サッシ	15	15

防音型サッシ：防音型一重引き違いサッシの他、気密型の開き窓、回転式の窓も含む。

普及型サッシ：アルミ製普及型一重引違いサッシ。

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場合については在来型木造として扱う。

注2）二重窓のうち、調査対象面積の窓の総和が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）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間を越える場合は防音性能値は25とする。

2－3　今後の課題

式(1)は、建物の騒音の影響を受けやすい面が道路と反対側の場合は適用できない。また、窓を閉めた場合は、入射面と道路のなす角ϕと防音性能$\Delta L(\phi)$の関係の検討がさらに必要である。　（大西；上坂）

（平成10年度の研究成果）

大気汚染に関する研究

8． 浮遊粒子状物質の予測評価手法の適用性に関する調査

研究期間：平 9～平 10
担当：交通環境研究室

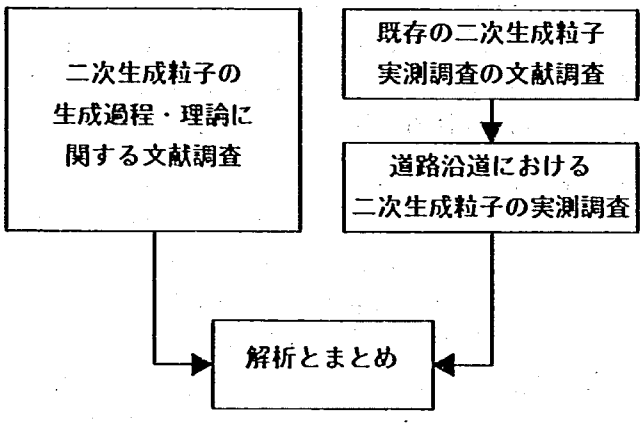
【要旨】

浮遊粒子状物質(SPM)の平成 8 年度の環境基準達成率は一般局で 69.8%、自排局で 42.4%と低い水準であり、その予測評価手法の確立は緊急の課題であると言える。しかし、現状では道路事業における SPM の予測は排気管由来のみを対象として行っており、大気中で二次的に生成される浮遊粒子状物質（二次生成粒子）の道路沿道における影響はよくわかっていない。

そこで 10 年度は、道路沿道における浮遊粒子状物質のうち二次生成粒子の生成実態および排出量を把握することを目的として、既存資料による文献調査と道路沿道における SPM の実測調査を行った。

その結果、道路沿道においても二次生成粒子による濃度への寄与があることを示唆する結果が得られた。

研究の流れ



表－1 調査地点の概要

	路線名	調査地点	日交通量※	大型車※混入率
都市部	国道 463 号 浦和所沢ﾊﾞｲﾊﾟｽ	埼玉県富士見市 下南畑	33,738 台／日	23.3%
地方部	国道 50 号 岩舟小山ﾊﾞｲﾊﾟｽ	栃木県小山市 小袋	29,362 台／日	37.3%

※平成９年度道路交通センサスによる

表－2 データ点数一覧表

		都市部	地方部	備考
浮遊粒子状物質濃度	微小粒子	24	24	8地点×3日
	粗大粒子	24	24	
窒素酸化物濃度	一酸化窒素	576	576	8地点×24時間×3日
	二酸化窒素	576	576	
成分分析	有機性炭素	48	48	8地点×3日×2粒径
	元素状炭素	48	48	
	ｱﾝﾓﾆｳﾑｲｵﾝ	48	48	
	ｶﾙｼｳﾑｲｵﾝ	48	48	
	硫酸イオン	48	48	
	硝酸イオン	48	48	
	塩素イオン	48	48	
アンモニア濃度		24	24	8地点×3日
風向・風速		72	72	1地点×24時間×3日
温度・湿度		72	72	1地点×24時間×3日
交通量	小型車	72	72	1地点×24時間×3日
	大型車	72	72	
平均車速		72	72	1地点×24時間×3日

1． 研究方法

1．1 調査場所

調査箇所は２箇所とし、１箇所は都市部、もう１箇所は地方部から選定した。都市部については SPM 濃度とアンモニア濃度が高く日交通量が２万台以上の地点、地方部については、SPM とアンモニア濃度が低く日交通量が２万台以上の地点から選定することとした。調査地点の概要を表－１に示す。

1．2 調査項目

調査項目と採取データ数を表－２に示す。

1．3 測定方法

浮遊粒子状物質濃度は、ニールフィルターホルダーを用いたろ紙採取により、アンモニア濃度はホウ酸吸収－イオンクロマトグラフ法により、連続 24 時間で 3 日間測定した。また、窒素酸化物濃度は化学発光法により、1 時間値を連続で 3 日間測定した。なお、試料採取高さは地上 1.5m とし、採取位置は卓越風風下方向に路肩近傍、20m～150m の 6 地点、風上方向のバックグラウンド地点の合計 8 地点とした。

風向・風速は地上 10m で微風向風速計を用いて、気温・湿度は地上 1.5m でサーミスタ式温湿度計を用いて、1 時間値を連続で 3 日間測定した。交通量・平均車速はビデオ撮影により求めた（図－１）。

2． 研究結果

2．1　SPMの成分分析

炭素成分は微小粒子(2.5μm 以下)では 2～4 割、粗大粒子では 1～3 割を占めており、元素状炭素と有機性炭素はほぼ同程度か元素状がやや多かった。

イオン成分は、都市部では硝酸イオンが、地方部では硫酸イオンの割合がやや高く、これはディーゼル車の多い大型車混入率の違いによるものと考えられる（図－2，3）。

2．2　二次生成粒子による距離減衰への影響

道路から離れるに従い、道路上の自動車から発生する大気汚染物質は減衰していくが、SPMの場合は、移流・拡散過程において化学反応が起こり二次粒子が生成するため、窒素酸化物と異なる距離減衰を示した（図－4）。この NO_x と SPM の減衰の違いが二次生成粒子によるものであると考えられる。

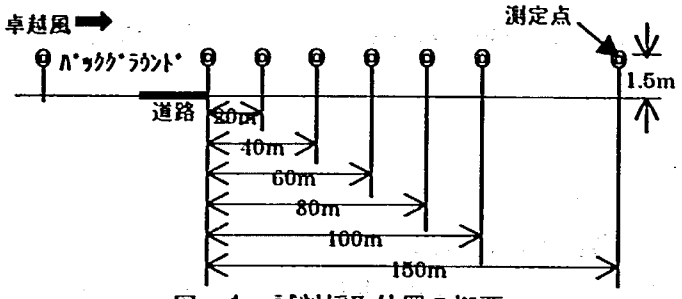
距離減衰を成分別に分析した結果、元素状炭素は NO_x と同様であったが、有機性炭素は横這いか NO_x より緩い減衰であった。有機性炭素については、自動車から炭化水素として排出されるが、拡散過程で粒子化しているのではないかと推測される。

また、イオン成分やアンモニアについては、横這いかむしろ増加傾向を示した。これは、二次生成粒子の大部分がイオン由来であることを示唆している（図－5）。

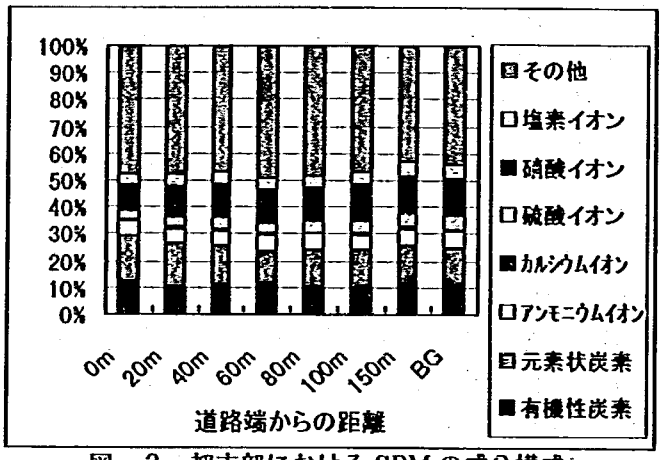
2．3　二次生成粒子の生成量

イオンの分析結果から試算を行った結果、都市部では硝酸アンモニウム、塩化アンモニウム、硫酸アンモニウムの順に生成量が多く、地方部では硫酸アンモニウム、塩化アンモニウム、硝酸アンモニウムの順であった。硝酸アンモニウムの違いについては、都市部では窒素酸化物濃度が高く、硝酸イオン濃度が高いためであると考えられる。一方、硫酸アンモニウムの違いは大型車混入率の違いの他、肥料や農薬などの寄与が考えられる。

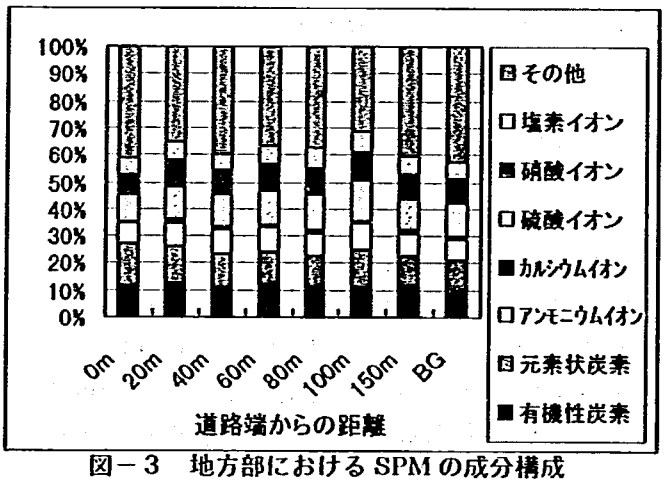
（大西、山田、大城）



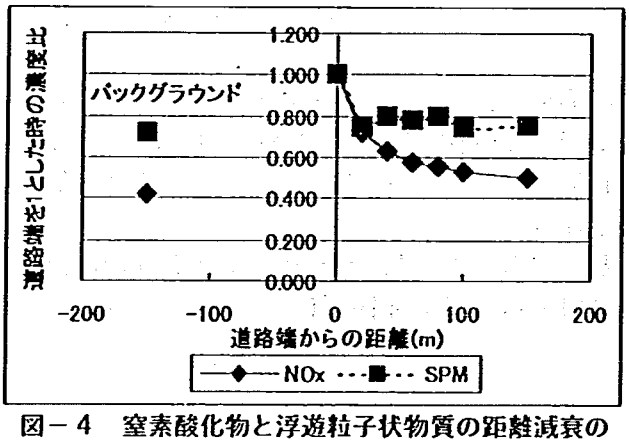
図－1　試料採取位置の概要



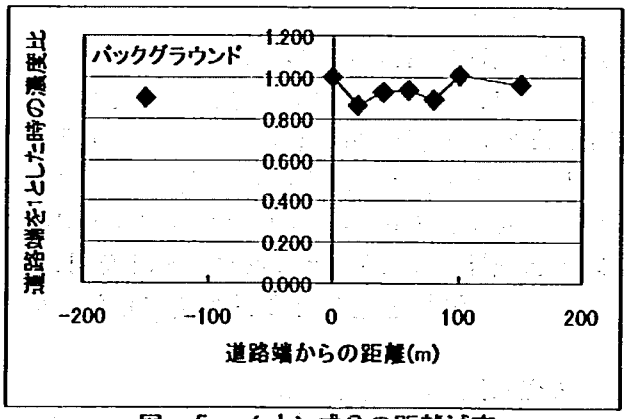
図－2　都市部における SPM の成分構成



図－3　地方部における SPM の成分構成



図－4　窒素酸化物と浮遊粒子状物質の距離減衰の



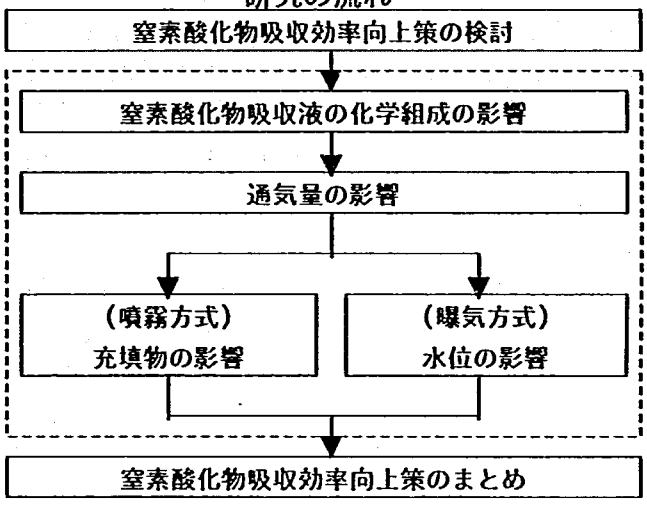
図－5　イオン成分の距離減衰

9．　大気汚染の予測・低減技術に関する試験調査

研究期間：平 7～平 11
担当：交通環境研究室

【要旨】
窒素酸化物（以下 NO_x と表記）を無害な窒素に還元する働きを持った微生物を用いた大気浄化技術の開発を目的として、８年度は基礎的な実験により、微生物の性質、NO_x の還元能力を把握し、９年度は NO_x の溶解度の影響要因を様々な条件下での溶液への吸収実験により明らかにした。１０年度は引き続き条件を変えて NO_x 吸収実験を行い、吸収効率の向上策を検討した。
その結果、吸収効率の影響要因が明らかになり、NO_x 吸収液の化学組成や吸収塔への充填物などにより、吸収効率を向上させることが可能なことがわかった。

研究の流れ



1．　研究方法

1．1　NO_x 吸収液の化学組成の影響

化学組成を変えることにより NO_x の吸収効率を向上することを目的として、1%の二酸化窒素（以下 NO_2 と表記）ガスを封入した 500ml の三角フラスコに、表－１に示す吸収液 100ml を密栓したまま注入した。20℃で 2 時間静置した後、吸収液中の亜硝酸イオン濃度と硝酸イオン濃度の変化量を測定し、NO_2 吸収量を計算で求めた。

表－１　実験に用いた吸収液

	吸収液
1	蒸留水
2	微生物培養液※
3	硫酸ナトリウム水溶液　0.05mol/L
4	酢酸カルシウム水溶液　0.05mol/L
5	四ホウ酸ナトリウム水溶液　0.05mol/L

※微生物培養液の組成は、リン酸水素ナトリウム 0.5g/L、塩化カルシウム二水和物 0.004g/L、硫酸マグネシウム七水和物 0.05g/L

1．2　通気量の影響

NO_x 吸収装置への単位時間あたり通気量は、吸収装置内の気液接触時間に影響する。そこで、吸収効率の最適な通気量を求めることを目的として、吸収装置への通気量を変えて２時間通気した後、吸収液中の亜硝酸イオン濃度と硝酸イオン濃度の変化量を測定し、NO_2 吸収量を計算で求めた。
なお吸収実験は、通気する吸収塔内に吸収液をシャワー状に噴霧する方式（噴霧方式）と、吸収塔内に貯めた吸収液中を通気する方式（曝気方式）の２方式で行った。

1．3　充填物の影響

噴霧方式の吸収装置において、充填物により気液接触面積を増加させることによる吸収効率の向上度を検討した。実験は２種類の充填物と充填物のない場合の３ケースで行い、２時間通気した後 NO_2 吸収量を求めた。

1．4　水位の影響

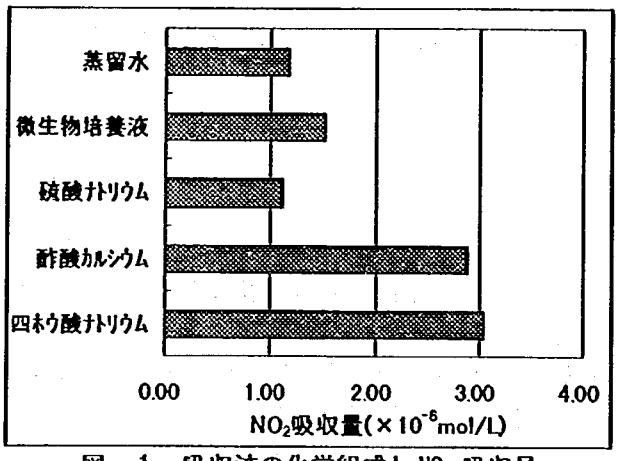
曝気方式の吸収装置において、吸収液の水位を増加させることによる吸収効率の向上度を検討した。実験は水位を変えて２時間通気した後、NO_2 吸収量を計算で求めた。

2．　研究結果

2．1　NO_x吸収液の化学組成の影響

検討を行った吸収液の候補のうち、最終的に残った5種類について吸収実験を行った結果、酢酸カルシウム水溶液と四ホウ酸ナトリウム水溶液の NO_x 吸収量が他と比較して明らかに高かった（図－1）。

吸収液に NO_x を吸収させた後に微生物に NO_x を分解させるためにはメタノール等の有機物が必要なため、酢酸がその代替となる可能性があることなどから、以降の吸収実験を酢酸カルシウム水溶液で行うこととした。

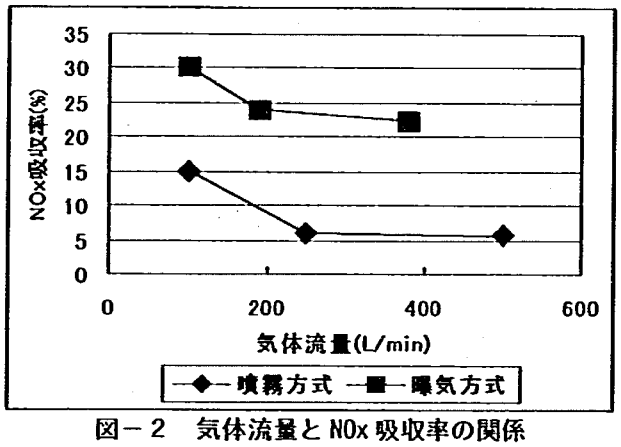


図－1　吸収液の化学組成とNOx吸収量

2．2　通気量の影響

噴霧方式の場合は、気体流量の増加に伴う気液の接触時間の減少により、NOx 吸収率は減少した。しかし、全体の吸収量で見ると気体流量が増加してもほぼ横這いであった。このことから、通気量の増加は、NOx 吸収量の向上にはあまり貢献しないことがわかった（図－2）。

曝気方式の場合は、吸収液を通る気体流量の増加に伴い水面が上昇するので、噴霧方式ほど気液接触時間が減少しないため、吸収率は減少するものの吸収量は増加した。

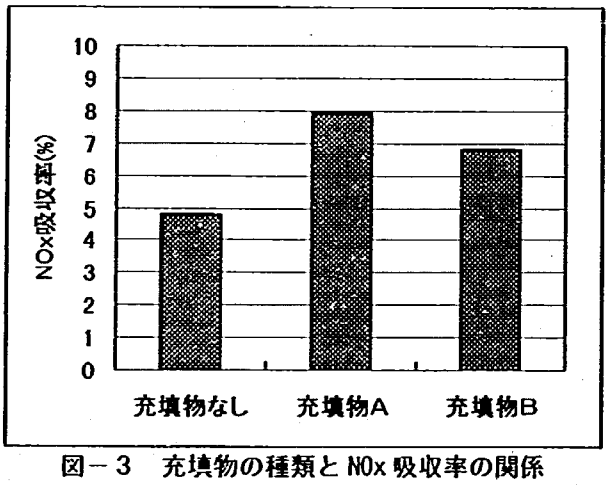


図－2　気体流量とNOx吸収率の関係

2．3　充填物の影響

吸収塔への充填物による気液接触面積の増大によって、充填物のない場合よりも NOx 吸収率は向上することがわかった（図－3）。

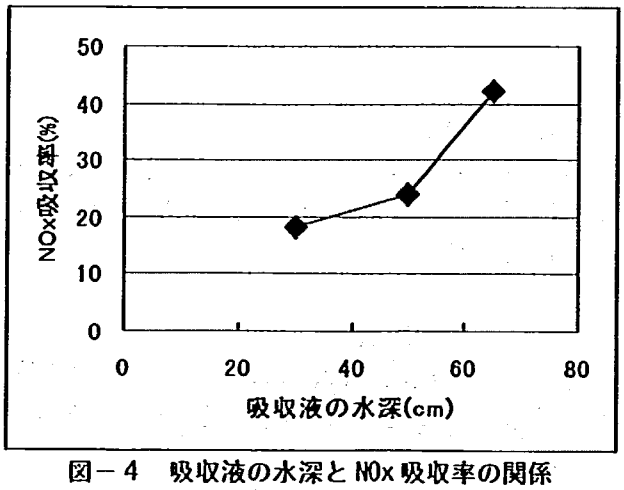
また、充填物の表面積が大きい充填物Bより充填物Aの方が吸収率は高く、これはAの方がBよりも空隙率が高く、同じ通気量では空隙率の高いAの方の流速が低くなり、気液接触時間が長くなったことが原因として考えられる（表－2）。



図－3　充填物の種類とNOx吸収率の関係

2．4　水位の影響

吸収液の水深を増加させることにより、吸収率はかなり増加し、水深 65cm では 40%を超えた。しかし、水深の増加により水圧が増加し、曝気に必要なエネルギーがその分増加し、この点に配慮する必要がある（図－4）。



図－4　吸収液の水深とNOx吸収率の関係

表－2　充填物の概要

	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%

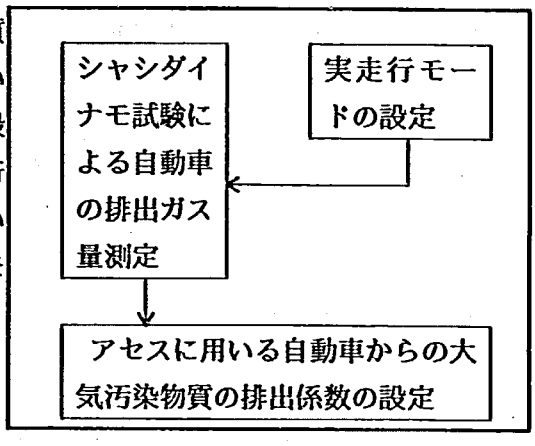
（大西、山田、大城）

１０．環境アセスメントに用いる原単位等整備調査

研究期間：平９～１０
担　　当：交通環境研究室

【要旨】

本調査は、環境影響評価に用いる自動車からの大気汚染物質の排出係数を設定するため、シャーシダイナモ測定装置を用いた大気汚染物質の排出ガス量の測定に用いる実走行モードの設定を行うものである。１０年度は、９年度までに実施した走行実態調査の結果を用いて、車種及び路線による走行特性の違いを把握するとともに、それらの違いを踏まえた新たな実走行モードの設定を行った。



１．調査方法

１．１　路線別の走行特性の比較

実車を用いた走行実態調査により得られた走行パターンデータを用いて、路線別の走行特性の比較を行った。さらに、路線及び車種の違いにより、上記データの走行特性が異なるかどうかを調べ、実走行モードの設定の考え方を検討した。対象路線は関東、中部、近畿の各地方に存在する一般道路１５路線、自動車専用道路３路線の計１８路線である。調査は平成６～９年に行われており、乗用車（ガソリン、2,000cc クラス）と大型貨物車（ディーゼル、最大積載量１０ｔクラス、半積載状態）の車種別に、車速、エンジン回転数などのデータを得た。

１．２　実走行モードの設定

１．１の調査結果に基づき、実走行モード（以後、土研モードという）を路線別（一般道路、自専道）、車種別（乗用車、大型貨物車）に設定した。設定に当たっては、１．１に示した走行実態調査のデータから得られる排出ガス量に関係する因子が適切に実走行モードに反映されるように設定した。

２．調査結果

２．１　車種別、路線別の走行特性の比較

車種、路線別の走行特性の相違を把握するため、実走行パターンデータを２ｋｍ単位の小区間に分割し、この小区間における平均速度別の４モード（アイドリング、加速、定速、減速）の時間比率、平均加速度を算出し、車種別、路線別に比較した。この結果、４モードの時間比率は、車種による顕著な差異は見られなかったが、アイドル時間比率については、乗用車、大型貨物車とも自専道の値が一般道路よりも小さかった。なお、一般道路間での顕著な差異は見られなかった。一例として、乗用車のアイドル時間比率のグラフを図１に示す。

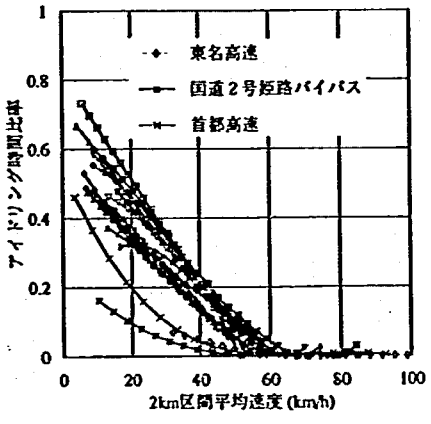
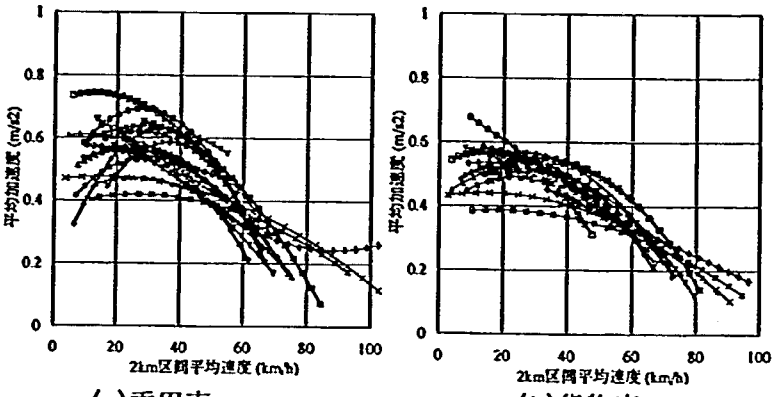


図１　アイドル時間比率（乗用車）

一方、平均加速度については、図２に示すように、乗用車は大型貨物車よりも大きい値を示す傾向が見られた。また、乗用車では、路線間のばらつきが大きいのに対し、貨物車では路線間のばらつきは比較的小さ

かった。この理由は以下のように考えられる。乗用車ではパワーウエイトレシオが小さく、車両の走行を周囲の車の流れに柔軟に対応させるように加速度を変化させることができるため、路線間の加速度の変化が大きい。一方、大型貨物車ではパワーウエイトレシオが大きく余裕馬力が小さいことから、加速度が周囲の車の流れよりもむしろエンジンの能力に依存して決まってくるため、路線間の加速度の変化が小さい。



(a)乗用車　(b)貨物車

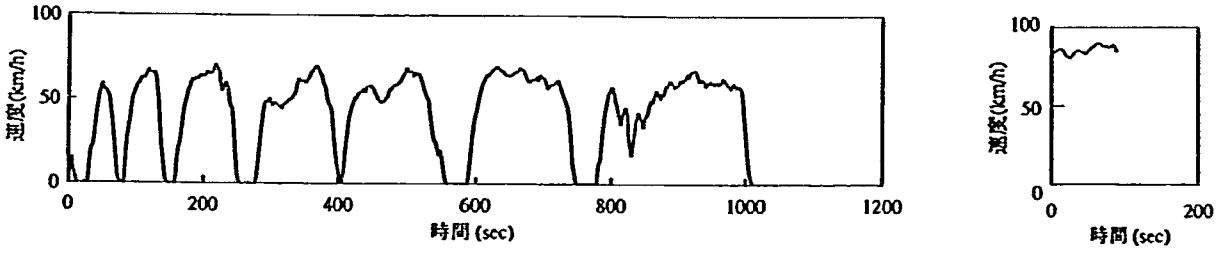
図２　平均加速度

これらの結果より、一般道路と自専道でアイドル時間比率などの走行特性が異なること、また乗用車（軽量車：パワーウエイトレシオの小さい車両）と大型貨物車（重量車：パワーウエイトレシオの大きい車両）で特に加速度などが異なることがわかった。これらは排出ガスの特性に影響を与えるものと考えられるため、車種別、路線別にモードを設定する必要があるものと考えられる。

２．２　実走行モードの設定

２．１の結果を踏まえて、路線別（一般道路、自専道）、車種別（軽量車、重量車）の計４種類の実走行モードを速度別に設定することとした。実走行モードは、排出ガスに影響を及ぼす因子（影響因子）の分布が、路線別、車種別の実走行調査データと、作成した走行モードで一致するように実走行データの中から走行パターンを抽出し、適切に組み合わせることにより作成した。影響因子としてはアイドル時間比率、速度－加速度分布、定速走行中の速度分布、ショートトリップの長さ、平均速度、最高速度及び最高加速度を抽出した。

このようにして作成したモードは、一般道路の軽量車モードが６（5.8km/h ～ 52.8km/h）、一般道路の重量車モードが６（6.2km/h ～ 53.4km/h）、自専道の軽量車モードが１２（7.8km/h ～ 101.6km/h）、自専道の重量車モードが１０（5.9km/h ～ 94.7km/h）の計３４モードである。一般道路のモードは信号等による発進停止のあるモードとなっている。その一例を図３(a)に示す。一方、自専道モードは、概ね 55km/h 以下では渋滞等による発進停止のあるモード、55km/h 以上では発進停止のないモードとなっている。発進停止のないモードの一例を図３(b)に示す。



(a)一般道路、軽量車、平均速度 42.9km/h

(b)自専道、軽量車
平均速度 85.5km/h

図３　設定した実走行モードの例

（大西、小根山）

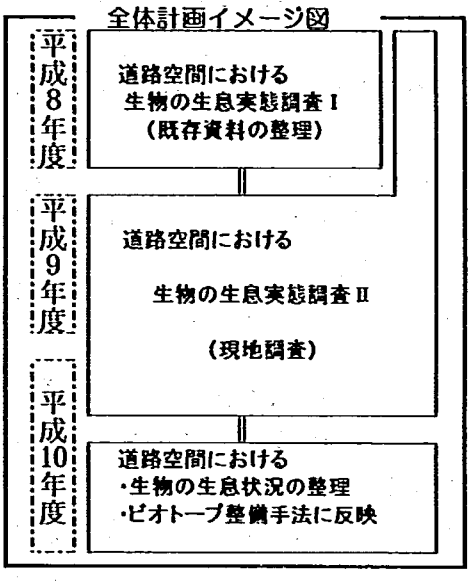
（平成10年度の研究成果）

沿道の自然環境に関する研究

１１．　道路における環境条件と生物相との関係の把握

研究期間：平８～平10
担　　当：交通環境研究室

【要旨】
本研究は道路空間におけるビオトープ整備手法やビオトープネットワーク形成における道路空間利用の可能性を検討する上での基礎資料を得るため、道路空間における生物相とその生育・生息条件の関係を把握するものである。８年度の「環境施設帯」に引き続き、９年度及び１０年度は「道路のり面」を対象として、鳥類による道路空間の利用状況について調査を実施した。のり面を利用する鳥類の種類は植生タイプや沿道環境の違いと明確な相関がみられず、これは道路のり面の植生が小規模であることが一因と考えられた。住宅地に囲まれた地域の道路のり面のうち、樹林の階層構造が発達し、植物の種類が多い箇所では多くの鳥類に利用されており、住宅地という狭い地域でみれば、道路のり面は重要な生息地となっていることが示唆された。



１．研究方法

１．１　調査目的

道路のり面の動植物の生息・生育空間としての条件を把握するため、９年度に調査対象区間ののり面を生物の生息空間の観点から類型化した。平成１０年度は、沿道環境とのり面植生の相観の組み合わせから代表的な地点を選定し、植生と鳥類の利用状況を把握することを目的とした。

１．２　調査方法

(1)植生調査

選定したのり面内の典型的な植生の存在する場所に調査枠を設定し、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、各階層の植被率、各階層毎の出現種、種ごとの被度（生育量）、群度（集合状態）を記録した。調査は 1998 年７月27日に実施した。

(2)鳥類利用状況調査

選定したのり面について、沿道状況及びのり面の植生の違いによる鳥類ののり面の利用状況に対する影響を調べた。各のり面毎に長さ30mの観察範囲を原則として30m以上の間隔をあけて３箇所設定し、各範囲内ののり面を利用する種類、個体数、行動を記録した。１範囲１０分間観察をおこない、１日２回、３日間連続して実施した。調査は平成11年１月20～22日に実施した。

２．結果

２．１　のり面を利用する鳥類とのり面の植生、沿道環境の関係

表１に、調査対象のり面の概要と確認種数、記録回数（観察回数のべ18回(3箇所×2回/日×3日間)中に１種以上の記録があった回数）を示す。表２には、のり面を利用した鳥類の種類についてその類似性を比較するため、共通の出現種数に基づいて算出した共通係数（Jaccardの共通係数　C.C：Coefficient community）と共通してみられた種数を示す。なお、共通係数は次のように算出した。

$$C.C=c/(a+b-c)$$　　(a,b：比較する２地点各々の出現種数、c：共通出現種数)

のり面を利用する鳥類に関する共通係数を比較した結果、草地タイプ（②③）間では比較的類似性が高い

ものの、樹林タイプ、疎林タイプなどでは、必ずしも同一タイプ間の類似性は高くない。一方では異なるタイプ間の類似性が高い（例えば、草地タイプ②③と樹林タイプ④など）といった傾向もあり、類似性の高いのり面とその植生には明確な相関はみられなかった。沿道環境タイプの比較では、樹林地地域と住宅地地域ののり面では、植生のタイプが違っていても、沿道環境が同じであれば、類似性が高い傾向があったが、農耕地地域では、明確な相関がみられなかった。

のり面を利用する種類は、越冬期では、少ない箇所で３種、多い箇所で８種と周辺環境での確認種（19～22種）と比較して少なかった。

樹林タイプ（①④⑥⑧）と草地タイプ（②③）、疎林タイプ（⑤⑦）での種数を比較した結果、概して草地タイプでは種数が少なかった。樹林タイプと疎林タイプでは明確な違いはなかった。

鳥類の行動を観察した結果、のり面の緑地に沿って移動する行動は少なく、のり面と沿道環境を行き来する行動が多かった。

表1　各のり面の確認種数と記録回数

調査地点	のり面①	のり面②	のり面③	のり面④	のり面⑤	のり面⑥	のり面⑦	のり面⑧
植生タイプ	落葉樹・常緑樹	ススキ・アズマネザサ	ススキ・アズマネザサ	落葉樹・若干の常緑樹	ススキ・アズマネザサ	落葉樹・アズマネザサ	ススキ・若干のアカマツ	落葉樹・常緑樹
沿道環境タイプ	農耕地	農耕地	農耕地	農耕地	樹林地	樹林地	住宅地	住宅地
確認種数	8	3	4	6	6	6	6	7
記録回数	14	2	5	9	11	12	7	13

表2　のり面利用種の類似性－のり面間の共通係数と共通種数－

調査地点	のり面①	のり面②	のり面③	のり面④	のり面⑤	のり面⑥	のり面⑦	のり面⑧
確認種数	8	3	4	6	6	6	6	7
のり面①		0.22	0.09	0.40	0.40	0.27	0.40	0.25
のり面②	2		0.40	0.50	0.13	0.29	0.50	0.11
のり面③	1	2		0.43	0.00	0.11	0.25	0.10
のり面④	4	3	3		0.20	0.20	0.50	0.08
のり面⑤	4	1	0	2		0.33	0.20	0.08
のり面⑥	3	2	1	2	3		0.20	0.18
のり面⑦	4	3	2	4	2	2		0.30
のり面⑧	3	1	1	1	1	2	3	

＊下線部は共通係数が0.3以上。

以上の結果は、のり面の植生が緑地として幅10m程度と狭く、縦断方向の延長が100～250mと短いことが一因と考えられた。

２．２　住宅地における道路のり面の利用状況

周辺が住宅地である樹林タイプののり面⑧に注目すると記録回数が１３回と比較的多く、同じ樹林タイプの④以上に高頻度に利用されていた。

植生調査結果から、のり面⑧は、発達して高木林となった植栽林を６mの高さで切りそろえたもので、各樹林の階層で出現する植物の種類が多く、階層構造の発達した樹林であった。

多くの鳥類にとって利用しにくい環境である住宅地では、のり面⑧のように小規模なのり面であっても階層構造が発達した樹林であると多くの鳥類に利用され、住宅地という狭い地域でみれば、重要な生息地となっていると考えられた。

３．主な研究成果物

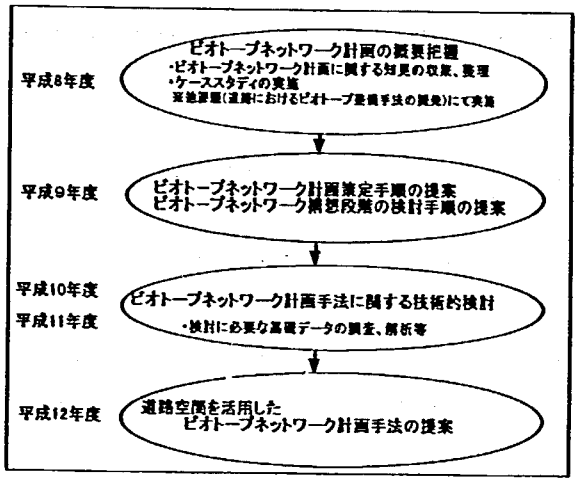
・小菅敏裕・大西博文・小根山裕之，生物のハビタットとしての環境施設帯の利用に関する研究，第34回環境工学フォーラム講演集(社)土木学会環境工学委員会，pp.121-123，1997.11
・小菅敏裕・大西博文・小根山裕之，環境施設帯の鳥類による利用状況，第22回日本道路会議(社)日本道路協会，一般論文集(A)，pp.108-109，1997.12
・今井亮子、大西博文、小根山裕之、川上篤史、道路のり面の越冬期の鳥類による利用状況、第35回環境工学フォーラム講演集(社)土木学会環境工学委員会，pp.102-103，1998.11

（大西、小根山、川上）

１２．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生態系ネットワークを具体化するための計画手法の開発を目指している。生態系ネットワークとは、コアエリア、自然環境創出地域、生態的回廊の３つの要素から構成される。１０年度は、生態系ネットワークの構成要素の一つである生態的回廊について、道路空間、緑地等の生態的回廊としての機能に関する国内外の調査・研究文献を収集・整理した。その結果、生態的回廊の機能と役割等に関して現在の知見がとりまとめられるとともに、調査事例等により今後我が国で生態的回廊を整備する際に検討すべき項目(構造、位置、質等)や研究すべき課題が明らかになった。



研究の全体計画

１．研究方法

１０年度は、生態的回廊に関する国内外(主に国外)の既存の調査・研究文献を表１の視点により収集し、既存の知見をとりまとめた。収集した文献は、文献名、著者名、掲載誌名、掲載頁、発表年度、キーワード、概要等について整理した。次に一覧表にした文献の中から、さらに生態的回廊の機能と役割、構造と質等に関係する文献を選定し、対象動植物種、具体的調査方法、調査結果、考察、結論等についてより詳細に整理した。

表１　生態的回廊に係わる収集文献の視点

①機能・構造に関するもの
②現地調査・実験に基づく連続性に関するもの
③現地調査・実験に基づく分断に関するもの
④形成事例に関するもの
⑤理論的根拠となるもの
⑥その他の関連するもの

２．研究結果

表１の視点に基づき収集した調査・研究文献は235編であった。その中から、65編選定し対象動植物、具体的調査手法(研究タイプ)等について詳細に整理した。選定した65編の中では、哺乳類について研究されているものが一番多く、次いで鳥類、植物、昆虫類、両生類、爬虫類となった。

調査の結果得られた生態的回廊に関する既存の知見を項目毎に以下に示す。

２．１　生態的回廊の機能と役割

ここでは、主に生態的回廊の機能や役割など、生態的な意義について整理した。

(1)自然ランドスケープ・伝統的ランドスケープにおける回廊

自然のランドスケープは相互に連絡されており、その連続性は人間活動の増加と共に分断される。自然ランドスケープにおける回廊については、河川及び野生生物の季節移動ルートを対象とした研究が行われている。また、伝統的ランドスケープにおける回廊については、農地のヘッジロウ、フェンスロウ、防風林のほか、国有林における列状林が研究対象となっている。これらの研究は、ほとんどが野外観察によるもので、対象種の移動状況、繁殖状況の他、植物群落構造などが調べられている。一方、野外実験を行ったものとしては、人為的な局所絶滅を起こしたもの、人工的にギャップを形成したもの、遠隔地で捕獲した対象動物を

分散個体のモデルとして放逐したものがあった。

これらの研究の研究対象は、ほとんどが小型の哺乳類である。

(2)回廊の機能

Land Mosaics(R.T.T.Forman,1995,Canbridge University Press)では、ランドスケープ内の線状・帯状の構造を「回廊」として認識し、表2に示す5種類の機能を持つことを述べている。

表2　回廊の機能実証例

機　能	実　証　例
①ハビタット	河川及びヘッジロウにおいて、周辺マトリックス※2よりも多くの種の生息が確認されている。
②移動路	植物・動物が、帯状の回廊内を移動する様子が報告されていると同時に、マトリックス内の移動も観察・報告されている。
③フィルター※1	本調査対象文献には見られなかった。
④種の供給源	防風林から谷へのランドスケープレベルでの移動及び、回廊を伝って移動しマトリックスで採食する様子が、鳥類において報告されている。
⑤種の吸収先(シンク)	本調査対象文献には見られなかった。

※1：回廊内の横断や移動の容易さが種によって異なるという機能　　※2：個々の生態系を取り巻く空間

(3)回廊の移動路としての役割

保全生態学では、地域的な生物多様性の存続、すなわち地域における個体群の持続的な維持を目的として、回廊(線・帯状の構造)の持つ機能のうち、表2の「②移動路」の機能に着目し、パッチ上のハビタット間を回廊で連結することにより、ハビタットの分断・縮小に伴う種の絶滅を緩和することをねらう生態的回廊(ecological corridors)を提案している。ここでは、生態的回廊があることにより、動物の日常生活圏が維持されると共に、季節的な移動、若年個体の新生活圏への分散が安全に行われることが期待されている。

(4)ハビタットの分断による影響を受けやすい種

ハビタットの分断・縮小により、当該ハビタットに生息している種は、表3に示す影響を受けると考えられる。

表3　ハビタットに生息している種への影響

影響の種類	影　響　の　程　度
①エリア効果	群集の種構成(種数平衡説)：面積の大きな島ほど生息種数は大きく、ハビタットが減少すると生息可能な種数が減少する。
②人工学的変動の発現	希少種では、個体数が少ない場合、増殖率が確率的に揺ぎ、絶滅の可能性が確率論的にも高くなる。
③メタ個体群の規模の縮小による種の絶滅	野外では局所個体群が頻繁に絶滅し、その後他の個体群から再侵入して回復するということが繰り返して生じている。コア個体群の分断や縮小は、こういった不安定な局所個体群が絶滅して回復できなくなることにつながる。
④近親交配による個体数減少	個体数の減少にともない、両親から受け継いだ有害な遺伝子が表現されることにより、生活力の弱い子孫や繁殖能力のない子孫を生み出す近交弱勢を発現しやすくなる。
⑤なわばり等における移動阻害	広いなわばりにおいて採餌する動物は、なわばり内を安全に移動するための好適ハビタットが連続していることが必要であり、それらがなくなると移動できなくなる。
⑥エッジ効果	ハビタットが縮小されるほど、全体面積に占めるエッジの割合が増加し、これによってメリットを受ける種もあるが、均質的な環境の内部を利用する種は個体数が減少する。
⑦距離効果	残存するハビタット間の距離が大きくなるほど、以上に挙げた各種の効果がより強力に発現し、ハビタット内の種数が減少する。

ここで、ハビタットの分断により影響を受けやすい種は、次のような条件に該当するといわれている。

①必要最小面積が大きいもの(きわめて広い生活圏を持つクーガー及びタンザニアの野生生物など)

②ハビタット外での移動能力の低いもの(道路を横断できずに個体群構成に変異が起きたオポッサム、既存の生息地から500～750mの範囲内に分散すると言われるアマガエルなど)

③連続して存在するハビタットに依存するもの(線状の生息環境の指向性が高いコウモリ類、開けた環境を好んで移動するツバメ類(樹木の生長により移動ルートを失う)など)

④インナー種

(5)回廊の整備による悪影響

一方で、回廊によりパッチを連続することにより生物多様性に対して次のような悪影響が懸念される。

①遺伝子の均一化・異系交配による遺伝的弱勢の発現
②火災・病気・外来種等の広がり
③エッジ種・導入種の回廊からパッチへの拡散
④コリドーがシンク(トラップ)として機能しマトリックスに分布するメタ個体群規模を縮小させる

また、モデル実験を行った結果、質の低い回廊を他とつなぐこと及び質の低いパッチを他とつなぐことのいずれによってもメタ個体群の規模の縮小につながることが報告された。

２．２　生態的回廊の構造と質

ここでは、主に生態的回廊の構造的な項目について整理した。

(1)回廊の構造

回廊の構造は、物理的には以下のような要素により把握できる。

①縦断形状　　延長、出入り口の形状、中間部分の植生、分断状況
②横断形状　　幅、高さ、水平断面構造、垂直断面構造、マトリックスとの接し方

ここで、回廊を利用する動物については、表４のような項目について特性を把握し、回廊の構造に反映させる必要がある。

表４　回廊を利用する動物の特性

特性の種類	特性の内容
①利用環境特性	利用する環境によって動物種が異なる(インナー種、エッジ種)
②雄雌の移動特性	一般に雄の方が移動距離が長く、雌は母親の生活圏にとどまる種があることが知られている。
③交配時の移動特性	一般に雄の方が長距離を移動し雌を探す。一方、妊娠中の雌が分散すると分散先の個体群多様性に大きく貢献できるとした文献もある。
④若年時の分散特性	なわばりを持たない種でも、若年個体は親の生活圏を離れて独自の生活圏を形成するまで分散することが多い。
⑤食物連鎖における地位	一般に捕食者は同種が分布していない生息適地が見つかるまで移動を続けるが、被食者は同種のグループ間を素早く移動する。
⑥なわばりの有無	なわばりを持つ種では、分散中の若年個体が他個体のなわばりを避けて比較的質の低い生息環境中を移動する可能性が、クーガーの分散経路の観察により示唆されている。

(2)回廊の位置

回廊の配置については、以下のように種の特性を調査し、設定する必要がある。

①台地上の防風林内で見られる鳥類のうち、長い距離を移動するものは少なかったが、こうした個体は、防風林を伝いながら樹木の茂った谷へ向かうものが多かった
②クーガーは、自然保護区の中で、河川流水部及び尾根筋を移動路としていることが確認された

(3)回廊の質の指標

生態的回廊の質を評価するための、安全な移動、生活圏の確保といった指標は、それを表す個々の条件において明らかに生物種によって異なる。従って、最も普遍性がある質の指標として、コリドーにおける生存率・死亡率と一般的な生活圏におけるそれぞれの質との比較を用いることは、妥当な考えであるといえる。

よって、コリドーの質として測定・設定されている項目には、以下の２つが報告されている。

①モデルによるもの　回廊内の生存率、回廊内の良質パッチ率(高い再生産率を実現できるパッチ面積の比率)
②観測によるもの　生活圏内の道路密度、野生生物の食物の質及び量、家畜・他の生物との競合の強度、人間との競合の強度(人口)

(4)回廊の分断

河川、尾根筋、防風林帯等の、自然的・伝統的回廊は、道路、道路沿いの市街地、送電線、用水路等、人為的な線的要素によって分断されやすいため、「回廊はどれだけ分断されていても機能するか」という課題に対する検討が重要である。しかし、調査対象生物も、カエル類、ネズミ類といった極めて小型の生物であり、ランドスケープスケールの観察・実験とは言い難い。

(5)回廊のつなぎ方

生態的回廊は、単一の回廊の目標生物による利用状況だけから評価されるのではなく、当該生物のメタ個体群全体におけるプラスの影響の有無によって評価されるべきであろう。また、回廊はたくさんあればよいのではなく、質の低い回廊がネットワークに含まれるとメタ個体群規模は衰退することが示された。

2．3　研究方針の提案

ここでは、今後生態的回廊について調査及び研究するときの留意すべき点について整理した。

(1)調査対象生物の提案

調査対象文献では、次のような生物種について、今後特に研究が必要であると述べられている。

①回廊がなければ(マトリックス内では)移動が頻繁に起こらない種やインテリア種
②希少種や絶滅危惧種など保全対象と判断される種
③回廊の構造、質に対応した種
④必要最小面積が大きい種
⑤連続して存在するハビタットに依存する種

(2)研究テーマ

調査対象文献の中では表５のような研究テーマが今後の課題として提案されている。

表５　課題とする今後の研究テーマ

分　類	研究テーマ
①回廊の構造	効果的な回廊の最小幅（なわばりの最小幅との関係）
	人間活動や道路・開発地等からの距離
	動物による移動距離の長さと移出個体の生存率の関係
	パッチ間の連続性
②回廊の質	ハビタットタイプや地形の特徴、同種のなわばりの存在が回廊内を移動中の動物に与える影響
	パッチ占有率
③回廊の評価	特定種の生態的影響(繁殖率、分散率、移入率、個体生存率)
	種構成(種の多様性、外来種比率、個体群構造)
	外部からの影響（感染率、撹乱強度）

2．4　まとめ

今回の文献調査の結果、生態的回廊の機能と役割、構造と質等に関する既存の知見がとりまとめられた。これらは主に国外の知見であり、日本における生態的回廊の設定に適用するには、日本に生息する種を対象として同様の調査を行う必要があると考えられる。例えば、ハビタットの分断により影響を受けやすい種、生態的回廊を必要とする(利用する)動物種等の抽出、生態的回廊の構造(幅、長さ等)や質(植生等)の検討である。特に、構造の面では、道路構造令等各種の規定により整備可能な道路敷地内の緑地の幅や長さが制限される場合がある。このように今後は実際に適用するときの問題点の抽出とその対策方法を検討するとともに、２．３で提案されているように知見が不十分な点の解明も行う必要があると考えられる。

（大　西、小根山、川　上）

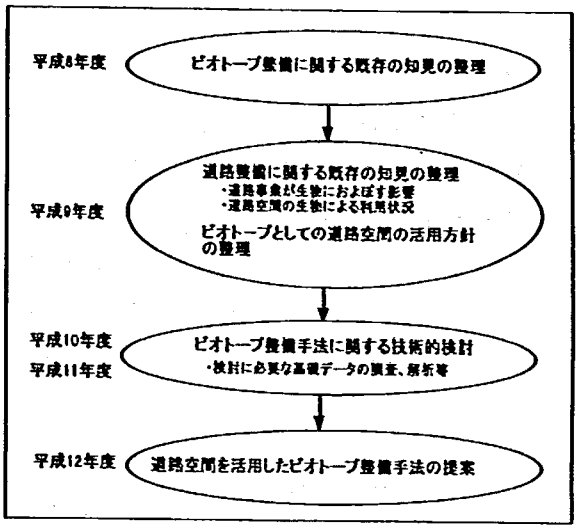
１３．道路空間におけるビオトープ整備手法の開発

研究期間：平９～平 12

担当：交通環境研究室

【要旨】

本研究は、今後道路事業を行う上で、道路空間を活用したビオトープ整備を進めるための手法の提案を目指している。１０年度は、道路空間の生物の生息・生育空間(ハビタット)としての機能を明らかにするため、道路構造令等設計基準による道路構造の観点と、緑地としての環境条件の観点から分類・整理し、ハビタットとしての可能性を検討した。その結果、各道路空間についてそれぞれが有する要素(形状、面積、植栽に関する制限等)と特性が整理されるとともにハビタットとしての機能をとりまとめ類型化した。



研究の全体計画

１．研究方法

１０年度は、道路空間がハビタットとして、どのような機能を有するのか明らかにすることを目的とした。まず、各道路空間を①道路構造令及び道路構造令施行規則、②のり面工と斜面安定工指針、③道路緑化技術指針(以下、構造令等とする)の三つの設計基準より道路構造の観点から整理し、次に、緑地としての環境条件の観点から生態的な分類により整理した。そして、道路空間を構造と環境条件で関係付け、ハビタットとしての可能性を検討した。

２．研究結果

２．１　道路構造の整理

道路空間のうち、ある程度の広さを有する緑地として整備可能な空間は表１に示す８項目に分類できる。これらの各道路空間に関して、表２に示す要素(６項目)毎に構造的な特性と構造令等に定められている内容について整理した。これらの要素は、構造令等により詳細に規定されているものもあり、実際に道路空間をハビタットとして整備すると

表１　緑地として整備可能な道路空間

①植樹帯
②環境施設帯
③中央(分離)帯
④歩道等
⑤のり面(切り土・盛土)
⑥インターチェンジ・ジャンクション
⑦橋梁・高架道路(橋梁下空間)
⑧サービスエリア・パーキングエリア、道の駅等休憩施設

表２　道路空間の要素と構造的特性等

要　素	構造的特性・構造令等における内容
形　状	二次元的な形状(円形、長方形、正方形、不定形など)
面　積	道路構造令に定められた構造の大きさ(幅員等)に関する基準
植栽に関する制限	道路緑化技術基準による植栽地の基本配置、植栽形式、植栽構造
微　地　形	のり面工と斜面安定工指針に定められた標準のり面勾配
位　置	道路用地内における他の緑地との位置関係および沿道環境との位置関係
整備対象地域	道路構造令による道路の種類、道路緑化基準による一般道路の地域区分

表３　自然式植栽と規則式植栽

自然式植栽	規則式植栽
変化に富んだ道路緑化を図れ、周辺植生となじみやすく、一体感が生ずるが、反面、景観上のまとまりを失う可能性もある。 【配植例】	視線誘導性にも優れ、景観上も整然としているが、樹種や形状寸法を一定にするため、単調な植栽構造になる。 【配植例】

きには交通安全等の観点から構造的に制限される場合もある。特に、植栽可能な範囲は緑地の幅員や道路からの距離によって決められており、植栽形式についても自然式植栽と規則式植栽(表３)の選択方法が決定されている。

２．２　ハビタットに関係する環境条件

表１で挙げた道路空間に関して、存在する緑地がハビタットの形成に深く関係すると考えられる環境条件を３項目抽出した(表４参照)。そして、２．１で整理した道路空間と道路構造の規定による項目および構造的な特性とあわせてとりまとめた。その結果を表５に示す。

表４　ハビタットの環境条件

環境条件	内　容
ハビタットの形状	同じ面積でも外縁部の長さが短いほど、周縁からの影響が小さくなり生物の多様性が高くなる
連 続 性	緑地および周辺環境との連続性を有するほど生態的回廊機能を有する
周辺の緑地環境	道路を整備するときの主な周辺の緑地環境

表５　道路空間の分類

緑地として整備可能な空間	構造に関する規定						内部構造の規定による分類	生物の生息・生育空間を形成する環境条件		
	形状		③面積	植栽				⑦ハビタットの形状	⑧連続性	⑨整備地域
	①形	②長辺		④地形制限	⑤形式	⑥構造	分類名			
植樹帯	B	A	－		R	S	植樹帯（単層）	L	m	F,M
						D1	植樹帯（２層）	L	m	F,M
						D2	植樹帯（多層）	L	m	F,M
環境施設帯	B	A	＋	○	N	D2	広幅員環境施設帯	L	m	F
			－		R	D2	環境施設帯	L	m	F
中央分離帯	B	A	＋		N	D2	広幅員中央分離帯	L	m	F,M,N
			－		R	S	中央分離帯	L	m	F,M,N
歩道等	B	A	－		R	S	歩道等	L	m	F,M
のり面	B	A	－		R	S	狭小のり面	L	h	F,M,N
			＋	○	R	S	規則式植栽のり面	L	h	F,M,N
					N	D2	自然式植栽のり面	L	h	F,M,N
ＩＣ・ＪＣＴ	A	B	＋	○	(N)	(D2)	ＩＣ・ＪＣＴ	A	l	F,M,N
高架下	B	A	－		N	(S)	短い高架の高架下	P	l	F,M,N
					(N)	(S)	長い高架の高架下	L	m	F,M,N
橋梁橋台周辺	A	B	－		N	D1	橋梁橋台周辺	P	l	F,M,N
休憩施設	A	B	＋		N	(D2)	休憩施設	A	l	F,M,N

①円形に近いもの：A、そうでないもの：B
②長いもの：A、そうでないもの：B
③狭小なもの：－、そうでないもの：＋
④ある場合：○、ない場合：(無印)
⑤自然式植栽：N、規則式植栽：R
⑥単層：S、２層：D1、３層以上：D2
⑦点的空間：P、線的空間：L、面的空間：A
⑧連続性が劣る：l、場合によってある：m、優れている：h
⑨都市地域：F、農村(里山)地域：M、自然地域：N

２．３　まとめ

２．２で作成した道路空間の分類(表５)より、道路空間が持つハビタットとして、より質が高いと考えられる空間を類型化し、該当する道路空間を表６に整理した。

今後は、検討したハビタットとしての機能を調査事例によって検証するとともに、さらに質を向上するための整備課題についても検討する必要があると考えられる。

表６　ハビタットの類型と該当する道路空間

ハビタットとしての質	類　型	該当する空間
高	植物相・植栽構造共に多様で面積が広く自然緑地に隣接している空間	自然地域に整備されたIC・JCT 自然地域に整備された休憩施設
	植物相・植栽構造共に多様で回廊機能が高く自然緑地に隣接している空間	自然地域に整備された自然式植栽のり面
	植物相・植栽構造共に多様で面積が広い空間	農村(里山)地域に整備されたIC・JCT 都市地域に整備されたIC・JCT 農村(里山)地域に整備された休憩施設 都市地域に整備された休憩施設
	植物相・植栽構造共に多様で回廊機能が高い空間	農村(里山)地域に整備された自然式植栽のり面 都市地域に整備された自然式植栽のり面
	植物相・植栽構造共に多様で自然緑地に隣接している空間	自然地域に整備された広幅員中央分離帯
	植物相・植栽構造共に多様な空間	農村(里山)地域に整備された広幅員中央分離帯 都市地域に整備された広幅員中央分離帯 植樹帯(多層) 環境施設帯
	回廊機能が高い空間	規則式植栽のり面 狭小のり面
	自然緑地に隣接している空間	自然地域に整備された中央分離帯 自然地域に整備された長い高架の高架下 自然地域に整備された短い高架の高架下 自然地域に整備された橋梁橋台周辺
低	植物相・植栽構造が単調な空間	植樹帯(二層) 植樹帯(単層) 歩道等

(大　西、小根山、川　上)

平成１０年度科学技術振興調整費
二国間型国際共同研究成果報告書

１．省庁、機関名	建設省　土木研究所			
２．課題名	１４．道路による生息域の分断化防止対策に関する研究			
３．研究参加部室名	環境部　交通環境研究室			
４．相手国及び相手側研究機関名	相手国 オランダ	研究機関名 交通公共事業水管理省　道路水管理技術研究所		
５．10年度予算額（千円）	試験研究費	外国旅費	外国人招へい経費	合　計

６．研究の内容・成果等

（１）研究の目的と意義

日本とオランダは生息域の分断化防止対策及び道路空間を利用した生態系ネットワーク技術に関する種々の先進的な取り組みを行っているが、当該技術を確立するために必要な事例の蓄積が十分ではなく、効果が十分に確認されていない技術も多い。本研究は、両国で実施された当該技術の手法及び効果について事例の蓄積を行い、共同して当該技術の方法論の確立を図ることを目的とする。

（２）研究方法と研究実施体制

生態系ネットワーク計画及び生息域の分断影響と防止対策技術に関して、実施事例及び調査研究成果に関する情報収集、意見交換を行った。また、エコダクト等のオランダにおける分断防止対策については、現地調査を行った。

日本側は、建設省土木研究所環境部交通環境研究室（室長　大西博文）において研究を行った。また、オランダ側は、交通公共事業水管理省　道路水管理技術研究所の生息域分断に関する研究グループ（リーダー：Mr. G.J. Bekker）において研究を行った。なお、オランダにおいては、国土レベル及び地域レベルの生態系ネットワーク計画についてそれぞれ国土自然管理情報センター（ＩＫＣ）、南オランダ州からの情報収集、意見交換を行った。

（3）成果

以下の内容について、情報収集、意見交換を行った。

1）生態系ネットワーク計画

国土レベル及び地域レベルの生態系ネットワーク計画について、オランダ、日本双方の実施事例あるいは研究について情報交換を行った。内容は以下の通り。

①オランダ

・国土生態系ネットワーク（NEN）（国土自然管理情報センター（ＩＫＣ））

NEN 計画は、1990 年に自然政策計画(NPP) に基づく計画として策定された。これは、ハビタットの質的な改良と、ネットワーク化によるハビタットの分断化の防止を図ることにより、生態系の体系的な保全を図ろうとするものである。NEN は、コアエリア、自然創出区域、生態的回廊といった要素（生態的主要構造と呼ばれる）から構成され、これらの配置が 1/25 万の図面として計画されている。この計画に基づき、ハビタットの創出や、道路による生態的回廊の分断箇所を解消するための様々な施策が実施される。

・州レベルの生態系ネットワーク（南オランダ州）

NEN 計画に基づき、各州で詳細な州レベルの生態系ネットワーク計画が立案されている。南オランダ州では、詳細な現地調査に基づき、1992 年に州の生態的主要構造の配置計画を立案した。計画された生態的主要構造と道路、水路等の動物の移動分断施設の重なり状況から移動障害箇所がリストアップされ、生態的スコアに基づき対策実施の優先順位付けを行っている。別途、事業実施状況との関連からも優先順位付けが行われている。これらをさらに詳細検討し、2000 年までに解消すべき移動障害箇所について１０箇所選定し、1994 年に州の分断解消実施計画としてとりまとめた。

②日本

・生態系ネットワーク計画に関する研究事例

日本においては、まだ生態系ネットワーク計画の策定は行われておらず、その方法論も確立していない。そこで、先行しているオランダ等の事例を参考にしつつ、日本の自然条件、社会条件を踏まえた計画手法を検討した。

生態系ネットワークの構成要素として、コアエリア、自然環境創出地域、生態的回廊を設定した。また、生態系ネットワーク計画のプロセスとして、生態系ネットワーク構想、生態系ネットワーク基本計画、生態系ネットワーク整備計画の３段階を設定し、コアエリア等構成要素の配置計画や詳細な整備計画に至るまで、必要な調査を行いつつ順次計画を詳細化していくこととした。この内、生態系ネットワークの構成要素の大まかな配置を決定する生態系ネットワーク構想の策定手順を検討し、横浜市を対象としたケーススタディを行った。

オランダと比較して、自然環境、社会的土地利用などが複雑であること、自然環境に関する情報量が少ないなどの理由により、構成要素の配置が生態系ネットワーク構想段階では精度良く行えないことが問題点である。

2）道路における生息域の分断影響と防止対策技術について

道路における生息域の分断影響と防止対策技術について、オランダ、日本双方の研究成果について情報交換を行った。また、エコダクト等のオランダにおける分断防止対策については、現地調査を行った。内容は以下の通り。

①オランダ

・ハリネズミの交通事故死（ロードキル）に関する調査

オランダ全土に生息する林縁性の哺乳類で、ロードキルによる生息数の減少が懸念されている

ハリネズミに関して、ロードキルの実態とその影響に関する調査を行った。

道路周辺の環境における生息調査及びロードキルの実態調査により、個体群の規模と、個体群中のロードキル個体数を把握した。また、類似した環境の 15 地区において沿道に近い調査区と道路から離れた対照区を設け個体群密度を比較した。その結果、沿道の調査区では約 30 %少なかった。また、生息環境のタイプを把握するため、無線発信器を装着した個体を追跡調査し、好みの環境を分析している。これらの調査結果を基に、机上でロードキル発生場所を推定、対策を実施すべき地点の抽出方法が提案されている。ただ、現段階では抽出した地点を現地調査により検証したところ的確にロードキル発生場所が抽出されたとはいえず、手法を再検討中である。

・動物の横断施設の利用状況の検討

オランダでは、生態系ネットワーク計画の実現を図るため、道路による動物の分断影響を解消するための様々な対策を行っている。シカ等の大型動物を対象としたものとして、エコダクト（道路上に幅１５～５０m位の橋を架けて、一面に土を盛って植栽を施し、自然に近い動物専用の移動経路を回復したもの）がある。既に３箇所設置され、他に数カ所建設中である。

エコダクトについて、動物の利用状況を追跡調査した。その結果、エコダクト上の植栽が順調に生育し、シカ等の休息場としても利用されていること、シカ、キツネ等多くの動物の移動経路として利用されていることがわかり、効果が確認された。また、エコダクトの形状についても、入口の幅が約５０m、中央部の幅が約１５mのアーチ形状にすることにより、動物にも利用され、かつコスト削減の観点からも有利であることがわかった。

②日本

・動物の横断施設の利用状況の検討

日本の高速道路において設置されているボックスカルバート、オーバーブリッジ、パイプカルバート等について、動物の移動経路としての利用状況を調査した。その結果、タヌキ、キツネ、イタチなどの多くの動物に利用されていることがわかった。周辺環境と利用回数の関係を検討したところ、タヌキ、キツネ等については生息地である樹林に近いほど利用が多いことがわかった。また、移動経路の構造との関係では、通路の長さが短いほど利用回数が多く、タヌキについては、通路の幅が狭いほど利用することがわかった。これらの結果は、今後設置する道路横断施設の設置位置、構造等を検討する際の参考になるものである。

（４）研究の評価、今後の展望等

生態系ネットワークの計画技術、道路による生息域分断の防止対策の効果等について、両国における最新の知見に基づく情報交換、意見交換を行い、今後の研究に向けての課題を明らかにすることができた。

分断の影響の把握、分断防止対策の効果などについては、対象となる種や環境が幅広いこと、現地調査による知見の収集などに多大な時間や労力を要することなどから、知見の蓄積は十分ではない。今後も日本、オランダ双方における調査研究結果の情報交換を積極的に行うことにより、対策技術のより効果的な確立が図られるものと考えられる。

なお、今後の一層の研究協力を図るため、日本側より平成１１年度にワークショップを開催することを提案し、オランダ側も了承した。

7．相手国代表研究者からの意見（研究の評価、今後の展望等）

生態系ネットワークの形成及び道路による分断防止対策技術の確立のためには、対策の実施とその効果の把握、検証を着実に行っていく必要があり、今後とも日蘭両国における研究成果及び技術情報の交換等を行うことは大変意義深い。

8．研究発表等

（1）学会発表（発表者名、発表題名、学会名）　発表回数：（なし　）回

（2）論文等（著者名、題名、発表誌名、番号名）　論文数：（　1　）

大西・上坂・小根山・川上・小菅、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、40-5

（3）特許等（出願番号、出願年月日、発明の名称、発明者、出願人）　出願件数：（なし　）

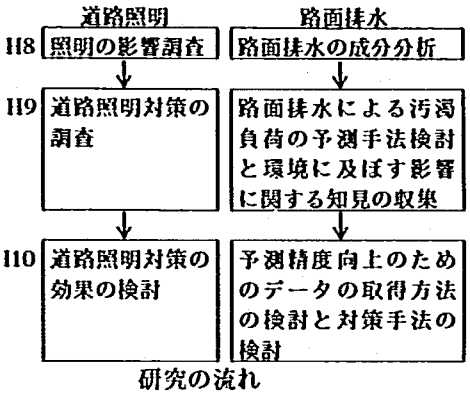
１５．沿道の自然環境保全に関する調査

研究期間：平８～平１０
担　　当：交通環境研究室

【要旨】

本研究は、自然環境に配慮した道路整備に資する対策技術を確立するための基礎的な検討を行うものである。

１０年度は、光および道路照明が動植物へ与える影響に関する国内外の論文と照明光の影響を緩和するために行った対策事例を整理し、現在の知見をとりまとめた。その結果、光および道路照明の性質、光および道路照明によって影響を受ける動植物種とその影響の程度等の現在の知見が総括された。研究対象種は主に、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ったが、一般的な種(普通種)は非常に少なかった。



研究の流れ

一方、路面排水は、平成10年度に国道等10箇所で実施した現地調査の結果を整理し、その結果を用いて、路面排水汚濁負荷流出量の予測式を検討した。その結果、①汚濁負荷流出量は採水地点の道路構造、清掃状況、先行晴天日数と密接に関係していること、②汚濁負荷流出量を定量的に精度よく予測するには、路面排水汚濁負荷堆積量を正確に把握する必要があること、の２点がわかった。また、路面排水の対策事例を整理した結果、堆積物の除去には沈砂池等を設けること、油分の除去にはフィルター機能を有する装置の設置が考えられることがわかったが、今後さらに検討を必要とする。

１．研究方法

１．１　道路照明が動植物に与える影響調査

本研究は、光および道路照明が動植物に与える影響を文献および対策事例より現在の知見を整理することによって、動植物種に対する影響を把握し、今後のエコロード事業における道路照明対策における基礎資料を作成するものである。ここで文献および対策事例は、日本国内外の「光と動植物」および「照明と動植物」に関わる既存文献と国内で行われた動植物に配慮された道路照明設置事例を対象とした。文献は植物に関するものが２３件(農作物１７、樹木７)、動物に関するものが６１件(昆虫３７、魚類６、鳥類１０、哺乳類８)でり(内訳の報数は重複しているものもある)、対策事例は５件(首都高速道路２号線、第三京浜道路港北料金所、愛知県南知多道路、国道１号線潮見バイパス、東関東自動車道、名古屋高速道路高速分岐２号線)であった。整理にあたっては、主に調査の目的・経緯、調査対象とした動植物種、調査項目・方法、調査結果(影響とその要因)についてとりまとめた。

１．２　路面排水

路面排水実態調査データの整理と、局所・短期予測モデル（採水地点の１降雨時の汚濁負荷流出量を予測する）による数値計算を以下の方法で行った。

１）路面排水実態調査データの整理

都市部、山間部、平地部の国道等で現地調査された路面排水実態調査のデータを整理し、路面排水汚濁負荷流出量と路面排水汚濁負荷の発生要因（道路構造、沿道状況、気象状況、交通量）の関係を検討した。表１に路面排水実態調査の項目と方法を示す。

2）局所・短期予測モデルを用いた数値計算

1）で整理した観測データを、表2に示す式にあてはめて数値計算を行った。計算結果と観測データを比較し、適合性を検討した。

3）対策事例の収集

路面排水の既存の対策事例を国内外から収集した。また、道路事業者以外の雨水排水対策事例を収集し、その対策が道路事業で適用可能か検討を行った。

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
現地調査	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：集水域からの路面排水が雨水桝に流入する前。 分析方法：「排水基準を定め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	
関連情報調査		④気象の状況 ⑤道路の状況 ⑥沿道の状況 ⑦交通量の状況	

* 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マンガン含有量。

表2　路面排水汚濁負荷流出量短期予測モデル

モデル	運動式	連続式	各係数
局所・短期予測モデル	① $L=k\cdot S\cdot Q$ ② $L=k\cdot S\cdot Q^{n}$ ③ $L=k\cdot S^{m}\cdot Q$	$S=S_0-\int L dt$	L：路面排水汚濁負荷流出量(g/m²/hr) S：路面排水汚濁負荷堆積量(g/m²) Q：雨水流出量(mm/hr) k：汚濁負荷流出係数(1/mm) n，m：運動式の係数 S_0：初期汚濁負荷堆積量

2．研究結果

2．1　動植物に与える影響調査

2．1．1　自然光と人工光

文献および事例より得られた知見より、まず自然光と人工光(道路照明光)について整理した。太陽が放射している電磁波の中で、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%をしめる。また、一般に真夏の晴天時の地上照度は10万lx、最大1,000W/m2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り、放射エネルギーも400～700nmと狭い波長域である。自然光と道路照明光の大きな違いを挙げると①波長の組成が異なる、②終夜照明である、③部分的に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。

2．1．2　植物

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、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作用する。植物の光形態形成には、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、などがある。

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光形態形成に作用する。報告によると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、1,000kerg/cm2(蛍光ランプで10Lxの光を1,000秒照射に相当するエネルギー)程度である。従って、道路照明により長日植物の開花の促進(自然条件下より早く開花する)や短日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。これらの影響が確認されているものとしては、一部の農作物(イネ、ホウレンソウ、花弁類など)および照明灯至近にある樹木(主に街路樹、特に落葉広葉樹)が挙げられる。しかし、野生植物に関する影響事例やその実態についての報告は少ない。

2．1．3　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、道路照明による日長時間の変化は、動物に対しても影響を及ぼす。動物のホルモン分泌などの生理反応に作用し、哺乳類や鳥類・魚類の繁殖行動(性成熟、産卵)、昆虫類の休眠(チョウ類では約50種で休眠の光周性反応が知られている)などに影響を及ぼす。動物にも長日動物(ウマなど)と短日動物(ヒツジ、ヤギなど)がおり、日長時間に深く関わっている。鳥類は眼以外の光受容器(脳光受容器)により明暗周期を感知でき、日長時間の変化が鳥類の渡りの時期を決める要因の一つとして挙げられている。

また、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、夜行性の昆虫類が多くの研究論文より明らかにされている。昆虫類は、複眼という特殊な眼の構造により、短波長側に視覚感度のピークが片寄り、紫外線に対しても感受性を有し、僅かな光を明期として感受できる。特にガ類はよく研究されており、種類による活動時間と光への誘引のされやすさが数十種類について評価されている。それに対して、哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類などは、夜間、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)、ヤモリ(爬虫類)、カエル類(両生類)などである。また、都市部に生息する鳥類(カラス、ドバト、ツバメ、キジバト、ムクドリ、スズメなど)が自然条件下では活動しない夜間に、夜間照明灯の周辺で活動している様子が観察されている。一方、光に対する忌避行動については、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。また、ホタル類やウミガメ(アカウミガメ)は明るくなった場所では繁殖活動を停止する。その結果、生息環境が失われる可能性があることが報告されている。

２．１．４　まとめ

今回の文献と対策事例を調査した結果、以上のような知見が得られた。動植物の光に対する影響は多方面で行われており、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に対する影響は明らかにされているが、普通種について研究されている論文は非常に少なかった。しかし、普通にいる種においても影響の要因やその程度が不明確であっても、明らかに光が影響していると考えられるものが多々あるのが現状である。

今後の道路照明対策を行う場合は、本調査で明らかにされた知見をもとに、対策を必要とする種、及び照明による影響の要因が明確な場合は当然のことながら、影響が不明確な種(または現在の知見がない種)を対象とした場合においても、道路照明の光の影響を最小限にするよう対策を講じる必要がある。

２．２　路面排水

１）路面排水実態調査データの整理

路面排水実態調査のデータを整理した結果の一部を表３に示す。単位面積あたり一降雨あたりの路面排水汚濁負荷流出量を道路構造別に比較すると、盛土、高架、切土構造の道路におけるSS、BOD、ｎ－ヘキサン抽出物の汚濁負荷流出量が平面構造のそれより多かった。高架構造の道路には遮音壁が設置されており、切土構造の道路では法面で道路面が囲まれていることから、路面に堆積した汚濁物が拡散しにくくなっている可能性がある。舗装の新旧比較では、１年以上敷設している道路上のSS、ｎ－ヘキサン抽出物質の汚濁負荷流出量が多い。また、先行晴天日数が多く、路面清掃日からの経過日数が多ければ汚濁負荷流出量は増す傾向にある。しかし、晴天期間中に路面清掃があったり、路面清掃から現地調査の間に雨天日があると、先行晴天日数や路面清掃からの経過日数が多くても汚濁負荷流出量が少なくなる場合もある（表３　Ｂ地点２回目ＳＳ流出量　参照）。汚濁負荷流出量は、日交通量より先行晴天日の全交通量に依存していると考えられ、採水地点の状況（道路構造、周辺の土地利用等）によっても異なることが考えられる。よって、更に現地調査データを蓄積し、採水地点の状況に応じた汚濁負荷堆積量を正確に把握する必要があると考える。

表３　路面排水実態調査の結果

地点	道路構造	舗装種類	交通量	土地利用	調査回	清掃後経過日数（日）	先行晴天日数（日）	路面清掃後の降雨の有無	単位面積あたり一降雨当たりの汚濁負荷流出量（mg/m²）		
	車線数	遮音壁の有無（舗装時期）	（大型車混入率）	用途地域					SS	BOD	n-ヘキサン
A	平面	排水性舗装	70,094台/日	人口集中地区	1回目	3.6	3.1	有	12.5	42.5	4.5
	6車線	無（新）	(16.9%)	商業地域	2回目	2.3	3.1	無	9.4	18.3	1.6
B	盛土	排水性舗装	61,272台/日	山地部	1回目	3.0	8	無	31.4	6.9	1.5
	4車線	無（新）	(47.5%)	指定なし	2回目	8.0	4	有	27.1	15.0	2.6
C	高架	排水性舗装	98,231台/日	人口集中地	1回目	2.0	13	無	132.5	54.2	6.9
	4車線	有（旧）	(30.3%)	一種住居地域	2回目	2.0	6	無	39.7	20.8	4.9
D	切土	密粒アスファルト	22,310台/日	平地部	1回目	60.0	5	有	395.2	68.5	10.8
	2車線	無（旧）	(16.8%)	指定なし	2回目	12.0	8	有	72.3	27.4	2.2

注）舗装時期は、調査日から１年未満を新、１年以上を旧として分類した。

２）局所・短期予測モデルを用いた数値計算

現地調査結果を用いて表２の局所・短期予測モデルの各係数を設定し、数値計算によって汚濁負荷流出量を算出した。図－１にSS濃度の観測値と計算値の比較を示す。図に示すように、数値計算では初期汚濁負荷流出量をうまく再現できなかった。初期汚濁負荷流出量は、降雨強度、汚濁負荷堆積量、路面の性状等により出現の状況が違うと考えられ、現在のところ再現できていない。しかし、予測モデルの初期汚濁負荷堆積量S₀の与え方を変えてみると流出水のSS濃度の経時変化曲線において、ピークを除いたベース部分を良く近似できる場合があった。よって、初期汚濁負荷堆積量S₀を適切に与えることにより、一降雨中の総汚濁負荷流出量を数値計算によって精度よく推定することができると考えられる。

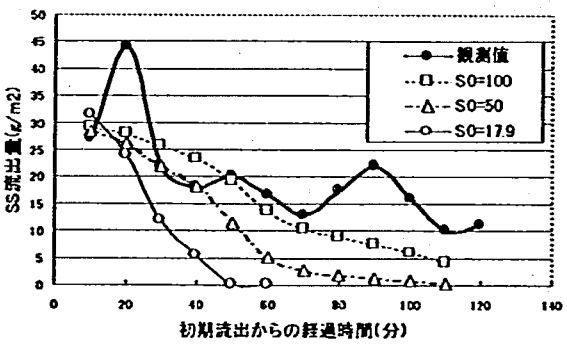


図１　SS流出量の観測値と計算値の比較

３）現地調査手法の検討

１）と２）の検討結果から初期汚濁負荷堆積量を正確に把握することが重要であることが明らかになった。そこで、①路面排水汚濁負荷流出量を定量的に把握できる調査手法の確立、②路面排水汚濁負荷流出量を定量的に予測するモデルの構築とそのモデルのパラメーターの設定、の２点を目的にした現地調査方法を検討した。その結果、汚濁負荷堆積プロセス（汚濁負荷堆積量、気象条件、道路条件、沿道条件）と汚濁負荷掃流プロセス（汚濁負荷流出量、気象条件、道路条件、沿道条件）に着目して現地調査要領を取りまとめた。

４）対策事例の収集

路面排水の対策事例や道路事業者以外の雨水排水対策事例を国内外から収集した。堆積物、浮遊性物質、重金属の対策には、長時間型沈殿池、浸透溜め池、透水型舗装、浸透溝がある。これらの汚濁物除去効果は70－99%であり有効であるが、広大な土地が必要であったり、寿命が短いこと、水量調節機能が他に必要なこと、維持管理に非常に注意を払う必要があること、地下水を汚染するなどの欠点がある。油分については、マンホールフィルターや油・砂分離器等が対策手法として挙げられ、これらの汚濁物除去効果は80－95%であり有効なものと考えられる。しかし、これらについても、定期的な清掃が必要であるためコストが非常にかかるものと考えられ、広く実用的な対策手法とするには更に検討が必要であると考えられる。

（大西，山田，小根山，川上）

１６．　自然環境保全措置の効果検証調査

研究期間：平10
担当：交通環境研究室

【要　旨】

道路事業では、自然環境との共存を目指した道路整備手法の一つとして、沿道における生物の生息環境の保全に取り組んでいる。この際、道路事業が生物に及ぼす影響、道路空間の生物による利用状況を踏まえ、適切な保全対策、影響緩和対策を行う必要がある。

本研究は、動植物の保全対策に関して先進的なオランダを対象に、文献から得られる動物の交通事故死（ロードキル）対策の研究事例と取り組みを整理し、我が国の事業に反映させることを目的とした。文献整理の結果、オランダでは道路による生息地分断の影響緩和対策が推進されており、その一例としてハリネズミのロードキルについての調査が実施され、影響緩和対策が策定の途上にあった。これによると、文献による現状の把握、現況確認のための生態調査、道路が個体群に及ぼす影響の検証を踏まえ、ロードキル発生場所（＝影響緩和対策地点）を推定し、ロードキル防止対策の立案という手順で進められている。この調査手順・手法については、道路による分断の影響緩和手法として参考とすべき内容が多い。今後は、我が国における保全対象種の生態の解明、日本の細分化された土地利用の実状を踏まえた手法を検討していくことが課題である。

①文献の選定
（道路が動物生息上の制限要因である事例）
↓
②文献内容のとりまとめ・整理
（調査手順・手法のとりまとめ）
↓
③課題の抽出
（問題点及び課題の整理）
↓
④我が国における応用の検討
（保全対象種の生態の解明と土地利用を踏まえた手法の検討）

図－１　研究の流れ

１．研究方法

1.1　文献の選定と内容

道路が動物の生息上の制限要因となっている事例について、我が国においても応用可能な内容が記述されている以下の文献を選定した。

選定文献：Marcel P. Hujiser and Piet J.M.Bergers(eds.),1997
Egels en verkeer: effecten van wegen en verkeer op egel popullaties
(ハリネズミと交通：ハリネズミ個体群への道路と交通の影響)

1.2　文献内容のとりまとめ

選定した文献について、生態を解明するために用いられた手順、手法について取りまとめた。また、文献中に記述された今後の研究課題・検討事項について、我が国のエコロード整備の参考となるものを抽出した。

２．研究結果

2.1　オランダにおけるロードキル対策の現状

オランダでは、動植物の生息状況の悪化は生息環境の縮小や孤立化による、という考え方を前提に、政策としてこの問題の防止・回復に努めている。道路を管轄する運輸公共事業省においても、生物の生息環境分断による影響の緩和のため、分断と攪乱に対して感受性が高い種についての調査が実施されている。前述の一種としてハリネズミがあり、ロードキルによる個体群の減少が懸念されている。本種はオランダ全土に生息する林縁性の哺乳類で、比較的生態が解明されているが、ロードキル防止の有効な対策は施されていない。

2.2　選定文献の調査手法と内容

2.2.1　調査対象種の選定

生息環境の分断が大きく影響する哺乳類は、一般的に再生能力が低い、行動圏が大きく地表性である、分散能力が低い、極相生態系に生息する、移動速度が遅い、道路・路傍空間に引きつけられる、等の性質をも

つ種である。選定文献中の調査対象種であるハリネズミは、多くの個体がロードキルに遭遇している。現段階では、道路による生息環境分断の影響が解明されていないが、今後生息環境の悪化により特定個体群の生息数減少・絶滅が懸念されている種である。

2.2.2　調査の手順

調査の流れを図-2に示す。①は過去の知見の把握である。②から④までは野外調査で1993～1997年にかけて実施された。②では、個体群の規模と、個体群中のロードキル個体数が把握され、③では類似した環境の15地区において沿道に近い調査区と道路から離れた対照区を設け個体群密度を比較している。その結果、沿道の調査区では約30%少なかったが、サンプル数が少ないため有意差は得られなかった。また、生息環境のタイプを把握するため、無線発信器を装着した個体を追跡調査し、好みの環境を分析している。④⑤の計画策定段階では、①～④の調査で把握された結果を基に、机上でロードキル発生場所を推定、対策を実施すべき地点の抽出方法が提案されている。現段階では抽出した地点を現地調査により検証したところ的確にロードキル発生場所が抽出されたとはいえず、手法を再検討中であった。

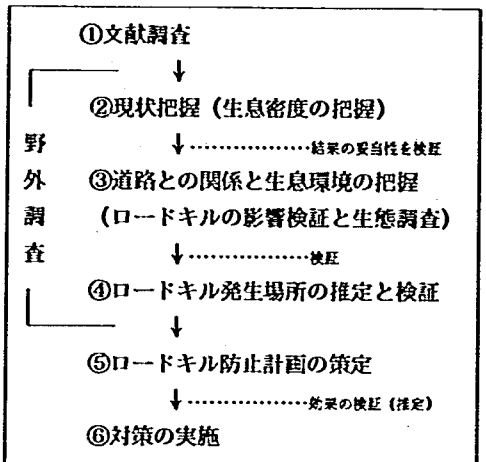


図 －2 ハリネズミのロードキル対策の流れ

2.2.3　今後の研究課題

選定文献において検討されている課題を表－1に示す。課題は、図－2の⑤、⑥に相当する過程に関するもので、今後の研究が待たれる。

表－1　今後の研究課題

課　題	内　容
①ロードキル発生場所の推定方法の確立	場所と環境タイプの関係を解析
②個体群孤立化の影響解明	孤立化による個体群絶滅の可能性
③道路の忌避状況の解明	道路による分断の影響、移動の減少による個体群の孤立化が起こるか
④道路・車輌由来の物質の影響解明	ｶﾄﾞﾐｳﾑ,銅,亜鉛,鉛などの影響の程度
⑤ロードキルによる個体群の縮小・絶滅の予測モデルの作成	データの蓄積を行う

3．　我が国における応用と課題

2．にまとめた調査・解析手法には、我が国においても参考となるものが多い。しかし、個別の整備対策の策定には日本の実情に沿った手法検討の必要があると考えられた。

表－2　参考とすべき調査・解析手法

調査・解析手法	内　容
試験区と対照区の設定方法	対象種の行動圏に基づいた設定
周辺環境要素を加味した解析	解析要因の視点を広げる
調査手法簡便化の試みと検証	捕獲から簡便な足跡トラップ法へ
調査規模(データ数・頻度)	定量的解析に耐える十分な調査
調査体制の工夫	ボランティアの活用

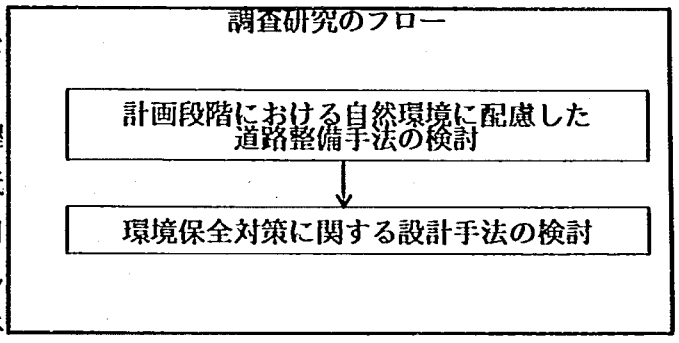
本州の山地・丘陵地においては、タヌキ、キツネ等の中型哺乳類のロードキル事例が多く報告されている。ロードキルが個体群縮小の原因であることを証明した報告はないが、包括的な生態調査は実施されている。川崎市におけるホンドタヌキ個体群の調査例（山本他,1996　川崎市青少年科学館紀要(9):7-14）によると、1992年から1996年までに収集された222個体の死体のうち、死因の約75%がロードキルによるものであると報告されている。この調査結果は、山林面積が少なく生息地間が分断された地域では、十分に個体群縮小の要因になりうることを示している。このようにロードキルによる死亡率が高いと想定された地域におけるタヌキ等の生態の解明に表－2に示す手法が、ロードキルの対策手法には2.2.2の図－2に示す課題が参考になると考えられた。また、選定文献においては数年に渡る膨大な調査努力が払われているにもかかわらず、適切にロードキル発生場所を推定することは困難であった。一般に、個体群の減少が予測され、緊急に対策を要する種の生態は不明である場合が多く、保全対策と生態の解明を同時に進行させなければならないことが想定される。

（大西，小根山，川上）

１７．エコロード計画手法の検討

研究期間：平 10
担　　当：交通環境研究室

【要旨】



道路整備に当たっては、地域の自然環境との調和を図りつつ実施することが必要となる。そのためには、道路整備の早期の計画段階から適切に自然環境を把握し、より影響の小さい路線の選定や、影響を回避・低減する保全措置を検討する必要がある。本調査は、自然環境に配慮した道路整備の計画・設計手法を検討したものである。ここでは、計画段階において検討すべき事項を、道路事業の各段階と関連付けを行いつつ整理した。また、設計手法については、保全対策手法をミティゲーションの概念により体系化するとともに、それらの設計手法を既存の知見に基づき整理した。

１．調査方法

１．１　計画段階における自然環境に配慮した道路整備の検討

既存の文献資料等をもとに、道路整備が自然環境に与えるマイナスの影響及びプラスの影響を整理した。マイナスの影響については、生物の生息・生育環境、動物、植物に対する影響を影響要因（存在、供用、工事など）の観点から抽出し、影響の種類及び程度を整理した。また、これらの影響に対する環境保全対策をミティゲーションの考え方に基づき体系化するとともに、計画段階における保全対策の考え方を整理した。

１．２　環境保全対策に関する設計手法の検討

既存の文献資料、事例等に基づき、環境保全対策をミティゲーションの考え方により体系化するとともに、設計の考え方を整理した。

２．調査結果

２．１　計画段階における自然環境に配慮した道路整備の検討

地域の自然との共生を目指した道路整備を図るためには、計画、設計、施工、維持管理といった道路整備の各段階において、道路周辺の自然環境との調和を図るための適切な配慮を行うことが必要である。このためには、特に道路整備の早期の計画段階においてできるだけ周辺の自然環境への影響の小さくなるような路線の選定を行うことが重要である。その上で、計画段階においては、起こりうる自然環境への影響に対して適切な保全対策が行われるよう、影響を軽減する対策（ミティゲーション）の方向性を検討するとともに、道路空間を利用したビオトープの整備など、地域の自然環境の質の向上に寄与する施策を検討することが必要である。

また、一定規模以上の道路については、計画段階から設計段階にかけて、環境影響評価法に基づく手続きが行われるため、これとの関係を明確にする必要がある。

道路整備の計画段階において、自然環境との調和を図りつつ実施する場合の留意点を道路整備の流れに従い以下に示す。併せて、環境影響評価の手続きとの関係についても示す。

（１）路線の検討段階

この段階では、既存の自然環境及び社会環境に関する資料や現地概査等に基づき、地域概況の把握を行う。

これらの情報を整理し、保護・保全すべき地域や自然環境の創出が可能な地域などを抽出する。これらの情報は、路線の選定段階において他のコントロールポイントと同様に配慮され、自然環境の保全上重要な地域をできる限り通過しないような路線となるよう検討を行うこととなる。

なお、環境影響評価においては、方法書作成段階で行う地域特性の把握がこれに該当する。環境影響評価は事業段階における手続きであるため、地域特性の把握は必ずしも路線検討の前に行うこととはなっていないが、自然環境の状況に応じて路線の検討を行うためにはできるだけ早期に地域特性の把握を行うことが望ましい。

（2）概略設計段階

この段階では、1/2,500 ～ 1/5,000 程度の縮尺で路線の概略設計が行われる。この概略設計に基づき、路線周辺の自然環境について現地調査を行い、詳細に自然環境の把握を行う。これに対して、想定される影響を予測し、自然環境保全に関する整備目標の設定及び整備方針の策定を行う。なお、この段階では、路線を自然環境の特性に応じて類型区分を行い、区間別に保全措置や自然環境の創出などの方針を明確化する。

整備方針設定に当たっては、まず「自然環境の保全」を考慮する。つまり、想定される影響に対して、それらの影響を回避・低減するために必要な保全措置を講じることが必要となる。一方、自然環境の創出が可能な地域については、地域の自然環境の質を高める視点から、「自然環境の創出」「自然との触れ合い」等についても検討を行うこととなる。

なお、環境影響評価においては、調査、予測、保全措置の検討の段階がこれに該当する。法律に基づく環境影響評価では、環境影響の回避・低減を図るための保全措置の検討が重要な事項となっており、「自然環境の保全」という観点では、環境影響評価の手続きの有無にかかわらず実施する内容は同じであると考えられる。但し、環境影響評価では、マイナスの影響の回避・低減という視点が主となるため、「自然環境の創出」といった視点については、この段階で施策として別途検討することが必要となる。

（3）予備設計段階

この段階では、1/1,000 程度の縮尺でより詳細な路線の設計を行う段階である。このとき、必要に応じて自然環境に関する調査を行い、線形や構造の修正や、保全措置の概略設計を行っていく。具体的には、例えば動物の移動経路を詳細に把握し、動物の横断路の設置位置や構造等（ボックスカルバートにするか、パイプにするか等）の概略を決定していく。また、自然環境の創出については、創出を行う場所の設定と整備する自然環境の質についての概略設計を検討する。

ミティゲーション	対策の方向性	対策手法の具体的なイメージ
回　避	ルートによる配慮	平面線形の工夫
		横断及び縦断構造の工夫
	道路構造の再検討	トンネル構造の採用
		高架橋・橋梁の採用
		のり面勾配の検討等による工夫
		その他道路構造の検討による工夫
最小化	改変面積の最小化	線形の調整
		トンネルの採用
		高架橋・橋梁の採用
		のり面勾配の工夫
	道路の直接的影響の最小化	照明灯や騒音による影響の最小化
		工事による影響の最小化
	人為的影響の軽減	工事作業員の意識啓発による影響の軽減
復　元	表土の復元	表土の保全
	緑化	林縁植栽
		郷土種を用いた緑化
		早期樹林化による緑化
	移動路の確保	ほ乳類のための移動路確保
		中小動物のための移動路確保
		鳥類や飛翔性昆虫のための移動路確保
		水生生物のための移動路確保
	道路への侵入防止	侵入防止柵の設置
代　償	移植・移設	貴重植物の移植
		代替生息地の整備
創　出	ビオトープの整備とネットワーク化	ビオトープの整備
		生態系ネットワークの整備
	自然との触れ合い	自然との触れ合いの場の整備

表1　ミティゲーションと環境保全対策の関係

2．2　環境保全対策に関する設計手法の検討

環境保全対策を回避、最小化、復元、代償、創出といったミティゲーションの考え方により体系化した。結果を表1に示す。これらに基づき、既存の知見に基づき、設計手法のとりまとめを行った。

（大西、小根山）

（平成10年度の研究成果）

地球環境に関する研究

低環境負荷型都市交通手段に関する研究

１８．都市域の交通部門における温暖化防止施策の総合評価に関する研究

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・上坂克巳・小根山裕之

[要旨]

本研究では、温室効果ガスのうち二酸化炭素（CO2）について、都市内での交通部門の CO2 排出量の予測モデルを作成し、このモデルを使って電気自動車等次世代型の低公害車が普及した場合等を含む温室効果ガス排出量削減施策の効果を推計するとともに、これらの車を用いた新しい交通体系にこのモデルを適用してその効果を算出し、さらに新しい交通体系の実現可能性を追求するものである。１０年度は、９年度に検討した都市の交通部門における CO2 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、ＣＯ２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、モデルの操作性を検討するための簡単な試算検討を行った。

[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

二酸化炭素（CO2）等の温室効果ガス排出量の削減は喫緊の課題であるが、その中でも、運輸部門は我が国の二酸化炭素の総排出量の約２０％を排出しており、その約８８％が自動車による排出である。これには、活動の集中している都市地域における排出量も多く、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される。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、都市内での交通部門において CO2 排出量の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 CO2 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、都市内での交通部門の CO2 排出量の予測モデルを作成し、このモデルを使って、

次世代型の低公害車が普及した場合等を含む温室効果ガス排出量削減施策の効果を推計する。また、これらの車を用いた新しい交通体系にこのモデルを適用してその効果を算出する。さらに新しい交通体系の実現可能性を評価しようとするものである。

１０年度は、９年度に検討した都市の交通部門における CO2 排出量削減施策の効果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うことを目的とする。

３．研究方法

（１）ＣＯ２排出量推計モデルの詳細検討

平成９年度に検討を行った都市の交通部門におけるＣＯ２排出量削減施策の効果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計算プログラムの作成を行った。

（２）モデルを用いた試算

作成したモデルについて、宇都宮市を対象として、パラメータの推定、各サブモデルの感度の検討等を行った。また、モデルにより現況のＣＯ２排出量を推計し、運輸部門の石油製品消費量により推計した方法と比較し、妥当性を検証した。

４．研究結果

（１）ＣＯ２排出量推計モデルの詳細検討

①モデルの全体構造

本モデルは、都市の運輸部門における CO2 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、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。

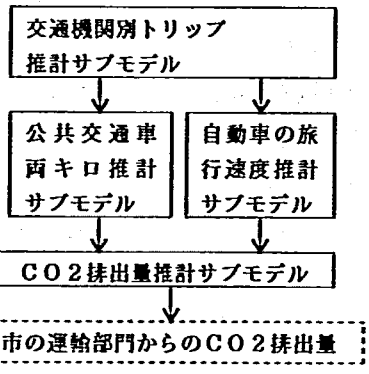


図１　モデルの基本的構造

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、ＣＯ２排出量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の違いを考慮するため、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、ＣＯ２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の構造に合わせて適切なゾーン設定を行うこととなる。

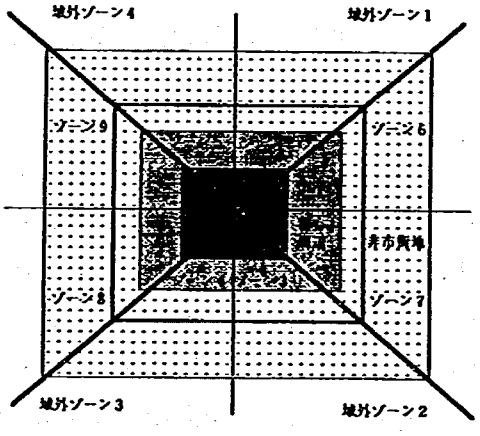


図２　ゾーン区分の概念図

②交通機関別トリップ推計サブモデル

ア．サブモデルの概要

交通機関別トリップ推計サブモデルの構造を図３に示す。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、旅行時間などを用いて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う。

イ．生成トリップの推計

産業別、年齢別人口や自動車保有量の変化から生成トリップを推計する。推計に当たっては、自動車保有者と非保有者でトリップ生成原単位が異なると考えられるため、分けて推計することとし、目的別（通勤、通学など）個人属性別（産業別従業者、学生、非就業者など）に生成原単位を算出し、人口の変化量、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。

ウ．発生・集中トリップの推計

イで推計した生成トリップ数を地域別に分割して目的別の発生・集中トリップを推計するものである。ここでは、産業別人口を指標とした線形回帰式を用いるものとした。

エ．分布トリップの推計

ウで推計した発生・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、現在パターン法の一つであるフレータ法を用いることとした。

オ．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。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、それぞれ別のモデルとした。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が良いとされている。今回のモデルもこれに従い、図３に示すような構造とした。

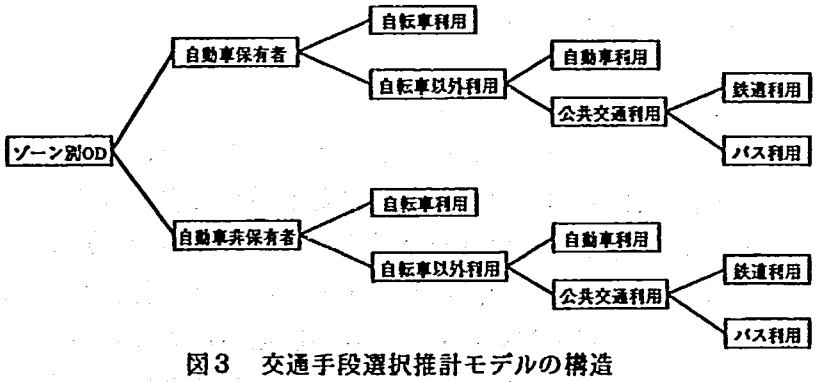


図３　交通手段選択推計モデルの構造

③自動車の旅行速度別走行台キロ推計サブモデル

ア．サブモデルの概要

②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。

イ．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。簡略ネットワークの例を図４に示す。

ウ．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、ゾーン間の走行台キロの変化率を推定する。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として推定する。

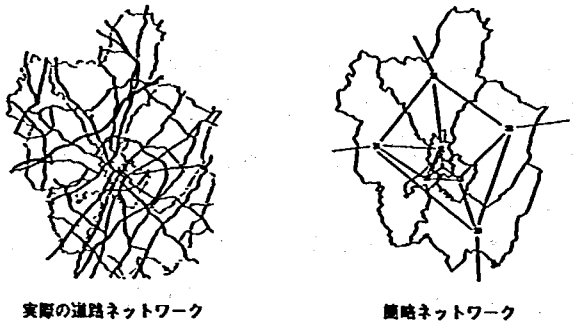


図4　簡略ネットワークのイメージ（宇都宮市）

エ．幹線道路の旅行速度別走行台キロ分布

ウで推定した幹線道路の走行台キロに、交通量常時観測データなどから得られる時間変動、曜日変動を考慮して、曜日変動を考慮した幹線道路の時間帯別走行台キロを推計する。これと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。

オ．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。その結果、区画道路の単位発生交通量当たりの走行距離＝ 5/16 Ｄ（Ｄ：幹線道路の間隔）となる。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。

④公共交通車両キロ推計サブモデル

公共交通機関（鉄道等）の公共交通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ととした。但し、既に鉄道の運行本数が輸送能力の限界に達している都市部などでは、利用者数の増加に対応できない、又は対応するためには莫大な設備投資が必要になるなど、モデル上での単純計算が必ずしも適当でない場合もある。公共輸送機関の輸送量については、採算性との関係も考慮しなければならないなど、まだ考慮されていない課題が多い。

⑤ＣＯ２排出量推計サブモデル

③や④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の車両キロに各機関のＣＯ２排出係数を乗じて、機関別ＣＯ２排出量を推定するモデルである。自動車については、ＣＯ２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ＣＯ２排出係数を用いる。また、鉄道等の公共交通機関については、統計値により得られる路線別の電力消費量に単位電力当たりのＣＯ２排出量を乗じ、車両走行キロで割ることにより推計する。

（２）モデルによる試算検討

各サブモデルの感度の検討では、交通機関別分布トリップの推定モデルの精度があまり良くなかった。これは、交通機関の選択、特に自転車利用が所要時間、コストだけでは十分に表現されていないことに原因があると思われる。

宇都宮市を対象として、本研究で作成したＣＯ２予測モデルにより現況ＣＯ２排出量を推計し、運輸部門の石油製品消費量から算出した宇都宮市のＣＯ２排出量の値を比較することで、モデルの妥当性を検証した。但し、宇都宮市の運輸部門の石油製品消費量を表す直接的なデータは存在しない。そのため、運輸部門の石油消費量は走行台キロに比例するものと仮定して、栃木県の運輸部門の石油製品消費量に、栃木県全体に占める宇都宮市のセンサス走行台キロの比率を乗じて、宇都宮市の石油製品消費量を算出し、これに燃料種類別ＣＯ２排出原単位を乗じて、宇都宮市の運輸部門のＣＯ２排出量とした。

このようにして算出した宇都宮市の運輸部門からのＣＯ２排出量（炭素換算）は１７．５万トンであった。但し、宇都宮市は栃木県の中では旅行速度が低く燃費が悪いことから実際にはこの値よりＣＯ２排出量よりは若干大きな値になると考えられる。一方、ＣＯ２予測モデルにより推計したＣＯ２排出量は１６．１万トンであった。両者の差は１０％程度であり、オーダーとしては概ね一致している。本モデルによる値が若干小さく、いくつかの要因が考えられるが、区画道路の走行台キロ及びＣＯ２排出量を低く見積もっていることが原因の一つであると考えられ、今後更なる検討が必要な部分である。

５．まとめと今後の課題

１０年度は、９年度に検討を行った都市の交通部門からのＣＯ２排出量予測モデルの基本的枠組みを踏まえて、サブモデルの細部の検討及び計算プログラムの作成を行った。また、宇都宮市を対象として、パラメータの推定や各サブモデルの感度の検討等を行うとともに、ＣＯ２排出量を推計し、運輸部門の石油製品消費量から推計したＣＯ２排出量と比較し、モデルの妥当性を検証した。交通機関別分布トリップの推定や、区画道路の走行台キロなど、改良すべき点が残されているものの、施策の評価を行うモデルとしては概ね良好な結果であると考えられる。

今後、モデルのさらなる改良を行うとともに、モデルを用いたＣＯ２排出量削減施策の効果及び施策の評価を行うこととしている。そのためには、モデル上における施策の表現を正確に行っていく必要があると考えられる。

[研究発表の状況]

（１）口頭発表

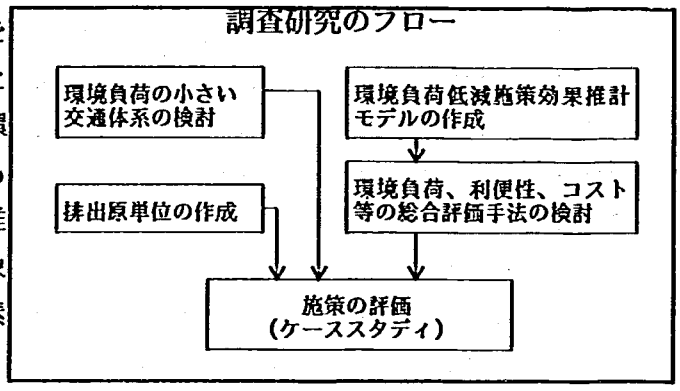
①小根山裕之、大西博文：第２１回土木計画学研究発表会(1998)
「都市の交通部門における二酸化炭素排出量削減効果推計モデル」

１９．環境負荷の小さい都市交通整備手法に関する調査

研究期間：平９～平 10
担　　当：交通環境研究室

【要旨】

本研究は、環境負荷の小さい都市構造・交通体系を実現するための都市交通整備手法を具体的に示すとともに、それらの整備による効果をコスト、利便性、環境負荷の観点から総合的に評価する手法を開発するものである。１０年度は、環境負荷低減施策の効果を推計するモデルの作成を行うとともに、宇都宮市を対象としたケーススタディにより施策による二酸化炭素（CO2）の削減効果の試算を行った。



１．調査方法

１．１ 環境負荷低減施策の効果推計モデルの作成及び検証

都市の交通部門における環境負荷低減施策を評価するため、その効果推計モデルについて、９年度に検討したモデルの基本的構造に従い、サブモデル毎に推計手法を詳細に検討し、計算プログラムを作成した。さらに、このモデルの妥当性を検証した。

１．２　環境負荷削減施策の効果の試算

作成したモデルを用いて、宇都宮市を対象としたケーススタディを行い、CO2 削減施策の効果を試算した。

２．調査結果

２．１ 環境負荷低減施策の効果推計モデルの作成及び検証

モデルの全体構造を図１に示す。モデルは「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」「環境負荷量推計サブモデル」の４つのサブモデルから構成される。本モデルでは都市を大きなゾーンに区分し、ゾーン毎に走行台キロの変化や CO2 排出量を算出することとしている。本研究のケーススタディ対象地である宇都宮市で設定したゾーン区分を図２に示す。

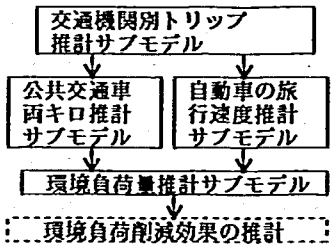


図１　モデルの全体構造

本モデルで推定精度等の検討を行ったところ、区画道路の走行台キロを低く見積もっていること、交通機関別分布トリップの推計（特に自転車分担率の推定）があまり精度が良くないことがわかった。モデルの説明力を高めるためには、今後さらなる改良を行う必要がある。

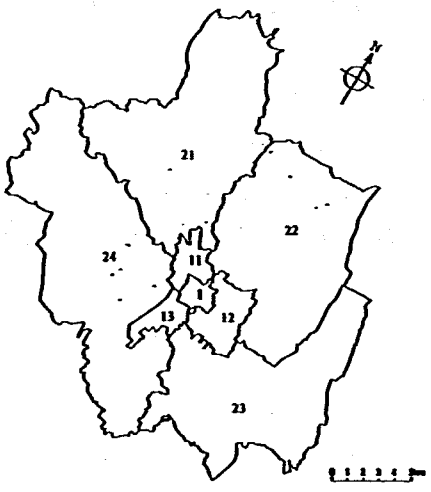


図２　宇都宮市のゾーン区分

2．2　環境負荷削減施策の効果の試算

2．1で作成したモデルを用いて、宇都宮市を対象として、いくつかの施策について CO2 の削減効果を試算した。なお、これらの施策の内容とモデルにおける条件設定方法については、必ずしも十分に吟味されたものではないため、効果についても参考値として捉える必要がある。

結果を表1に示す。今回試算対象としたケースについては、全ての場合において CO2 の削減効果が見られた。各ケースにおける CO2 削減のメカニズムは、以下の通りと考えられる。すなわち、Case1 ～ 4 は、自動車から公共交通機関等への転換による自動車の走行台キロの減少と旅行速度の向上、Case5 は交通の円滑化による旅行速度の向上と走行経路の変化、Case6,7 は、発生・集中、分布トリップの変化（長距離トリップの減少）による走行台キロの減少と旅行速度の向上により CO2 排出量が減少している。

ここで、ケーススタディ結果から得られる考察をいくつか示す。まず、どのケースにおいても、走行台キロの削減率よりも CO2 排出量の削減率が大きい。これは、交通の円滑化による旅行速度の向上が反映されているものである。また、Case1 ～ 3 の複合施策である Case4 の CO2 削減率は、Case1 ～ 3 の個々の削減率の合計よりも小さい。また、Case3 の鉄道の利用者数は 20%程度の増加にとどまり、Case4 では基幹バスに転換するため 14%減少する。この場合、鉄道の採算性という観点から実現可能性に問題が残る。このように、効率的に環境負荷の低減を図るためには、実現性も踏まえてより効果的な施策を組み合わせていくことが必要となる。

なお、道路容量の増加による CO2 排出量の削減効果がかなり大きいが、本モデルでは旅行速度の向上に伴う道路交通への転換や、誘発される交通量については考慮されていない。宇都宮市のような地方都市では自動車の分担率が既に高いため、新たな道路交通の発生はあまり多くないと考えられるが、東京都市圏などのように公共交通機関の分担率が高い都市に適用する場合には考慮すべき問題であると考えられる。

表1　施策別のケーススタディ結果

	施策	モデルへの導入方法	自動車の平均旅行速度(km/h)	削減率（単位%、△は削減量を表す）	
				走行台キロ	CO2
	(現況把握)		26.9		
Case 1	基幹バスの導入	ゾーン間のバス所要時間が3分の2に短縮	27.4	△ 0.47	△ 1.07
Case 2	自転車道の整備	自転車の所要時間1割短縮	27.1	△ 0.07	△ 0.42
Case 3	公共交通運賃の割引	公共交通の運賃割引率3割	27.4	△ 0.63	△ 1.30
Case 4	公共交通の総合的なサービス改善	(Case 1+2+3)	27.4	△ 0.96	△ 1.77
Case 5-1	道路容量の増加(5%)	全ゾーンの道路容量が均等に5%増加	27.6	0.16	△ 1.23
Case 5-2	道路容量の増加(10%)	全ゾーンの道路容量が均等に10%増加	28.8	△ 0.85	△ 4.54
Case 5-3	道路容量の増加(20%)	全ゾーンの道路容量が均等に20%増加	30.1	△ 1.40	△ 7.60
Case 6	在宅勤務	サービス業従業者の5%、技術的・専門的職業従業者の20%が在宅勤務(→分布トリップの変化)	27.3	△ 0.87	△ 1.48
Case 7	都心郎居住	近郊ゾーン居住で都心ゾーン通勤者の1割が都心ゾーンへ移住(→分布トリップの変化)	27.4	△ 0.94	△ 1.58

3．主な研究成果物

・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、1998

（大西、小根山）

（平成10年度の研究成果）

道路環境影響評価に関する研究

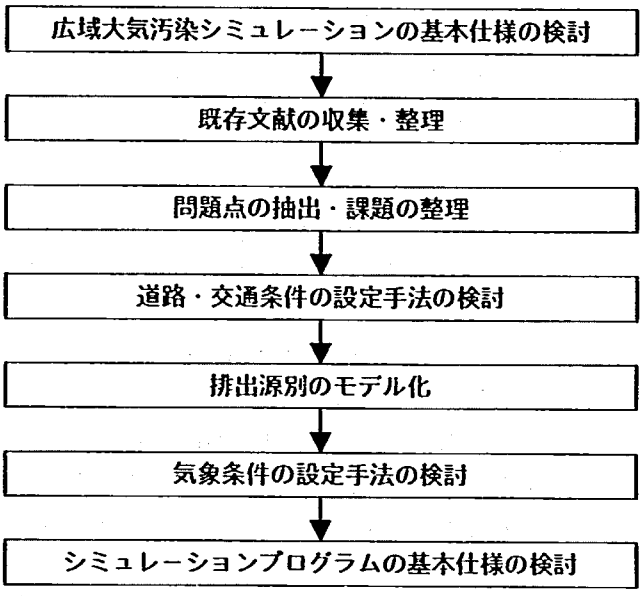
２０．　道路環境影響の総合評価に関する研究

研究期間：平７～１０
担当：交通環境研究室　室長：大西博文、主任研究員：山田俊哉、研究員：大城温

【要旨】

本研究では都市域の広域大気汚染シミュレーション手法の検討を行っている。10 年度は、自動車交通による大気汚染の広域予測と、大気汚染低減対策の広域評価を目的として、大気汚染物質の広域拡散シミュレーション手法の検討を行った。

まず、類似した既存の広域拡散シミュレーションモデルについて文献調査を行い、その問題点の抽出と課題の検討を行った。次に、排出源別に適用するモデルの検討、気象条件の設定手法、交通条件の設定手法の検討等を行い、最後に広域拡散シミュレーションプログラムの基本仕様の検討を行った。



１．研究方法

１．１　シミュレーションの初期設定

（１）予測範囲

「自動車から排出される窒素酸化物の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法」に基づく特定地域全体、またはその一部分の市区町村レベルとした。

（２）予測対象とする大気汚染物質

窒素酸化物(NO_x)を基本とし、浮遊粒子状物質(SPM)に同様の手法を適用するものとした。

（３）予測対象とする大気汚染物質の排出源

表－１に示すものを対象とした。

表－１　予測対象排出源

移動排出源	固定排出源
自動車 船舶 航空機	工場 住宅 事業所・店舗 など

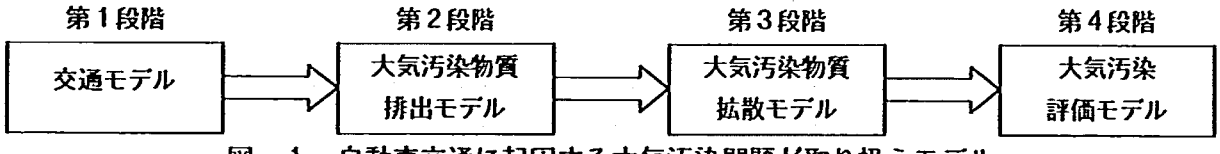
（４）評価対象とする大気汚染低減対策

バイパスまたは環状道路の整備等による交通円滑化対策、自動車排出ガス規制の強化、公共交通の活用などによる交通需要マネジメントなどによる大気汚染に関する広域的な改善効果をシミュレーションで確認できるものとする。

１．２　シミュレーションモデルの構成

自動車交通に起因する大気汚染問題を取り扱うモデルは、大きく分けて４つの段階のサブモデルから構成される（図－１）。本研究では、第１段階の交通モデルは詳細を別途検討するものとして、第２段階の大気汚染物質排出モデルと第３段階の大気汚染物質拡散モデルを中心に検討を行った。

また、自動車交通以外からの排出源については、大気汚染物質排出量推定モデルと拡散モデルの検討を行った。



図－１　自動車交通に起因する大気汚染問題が取り扱うモデル

2．研究結果

2．1　道路・交通条件

自動車からの排出を予測する際には、排出源位置の情報として道路位置のデータが必要である。しかし、道路位置データの入力には多大な労力が必要であり、更新にも労力が必要である。そのため、本研究では既存のデータベースを活用することを検討し、これにより省力化が十分可能であると判断できた。

交通条件については、既存の交通シミュレーションによりおおむね予測可能であるが、細街路における交通状況の予測については依然として課題が残されており、今後別途この部分の予測モデルの検討が必要である。

2．2　排出源・拡散のモデル化

自動車からの大気汚染物質の排出について検討を行った結果、幹線道路は線源、その他の道路、細街路については面源とすることが妥当である。また、他の発生源についてはおおむね、排出量が大きくそれが把握できる場合については点源、その他の中小排出源の場合は面源で計算することが妥当であるという結論を得た。

拡散のモデル化については、他の類似の広域拡散シミュレーション同様、正規分布型のプルーム式・パフ式を採用することとした。点源において有風時については、地表濃度Cはプルーム式を用いて式(1)のように表され、弱風時についてはパフ式を用いて、式(2)のように表される。

$$C(x,y)=\frac{q}{\pi\sigma_y\sigma_z U}\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y{}^2}\right)\exp\left(-\frac{-H_e{}^2}{2\sigma_z{}^2}\right) \qquad (1)$$

$$C(x,y,T)=q\int_0^T\frac{2}{(2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_y{}^2\sigma_z}\exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_y{}^2}\right)\exp\left(-\frac{H_e{}^2}{2\sigma_z{}^2}\right)dt \qquad (2)$$

※x：風下方向距離(m)、y：x軸に直角な水平距離(m)、U：風速(m/s)、q：煙源強度(Nm^3/s)、H_e：排出源高さ(m)
σ_y：煙流の水平拡散幅(m)、σ_z：煙流の鉛直拡散幅(m)、T：弱風継続時間(h)

線源については、10 程度に分割し個々の線源を点源に置き換えて計算し、面源についても、点源のモデルを応用して濃度計算を行うこととした。

拡散幅の設定については、有風時には Pasquil-Gifford 線図、弱風時には Turner 線図を用いるものとした。

2．3　気象条件の設定手法の検討

シミュレーションを行うにあたって、風向風速データを各々の煙源で与えることは不可能であるため、気象条件がおおむね一様と考えられる同一のブロック内では、ある一点または数点の風向風速の平均を代表風向風速として与えることとした。また、このブロック化は気象官署間の風向風速のベクトル相関分析により行うものとした。

2．4　まとめ

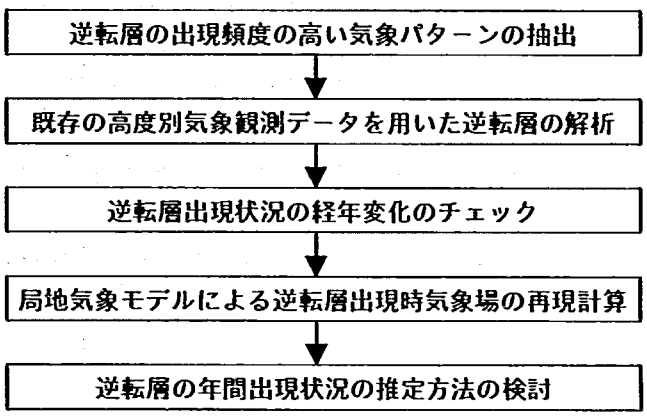
これらの検討の結果、広域拡散シミュレーションの基本仕様が決定され、今後のシミュレーションプログラム作成にあたっての方向性を示すことができた。

２１．　環境アセスメント技術に関する調査

研究期間：平 10～13
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が、現在のところ環境アセスメントでは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。
そこで 10 年度は、逆転層の影響を考慮した大気汚染予測評価手法を確立することを目的として、逆転層の出現頻度が高い気象パターンの抽出を行い、そのパターンの気象条件において局地気象モデルによる逆転層出現時の気象場の再現計算を行うことにより、逆転層の年間出現状況の推定方法を検討した。

研究の流れ



１．　研究方法

１．１　逆転層の出現頻度が高い気象パターンの抽出

横浜市の３地点における１年間の気象観測データとつくば市の１地点における 10 年間のデータを用いて、逆転層出現特性を把握するために、その背景となる気象パターンの分類を行った後、そのパターン毎に逆転層出現頻度を集計し、出現頻度の高いパターンを抽出した。

１．２　逆転層出現時の気象場の再現計算

１．１で抽出された代表気象パターン日において、領域モデル(RSM)による気象数値予報で与えられる気象要素の格子点値(GPV)を初期条件として、局地気象モデル(ANEMOS)による気象場の再現計算を行った。なお、格子の大きさは水平方向が 5km メッシュ、鉛直方向は 20m（高さ 2000m 以上では 400m）である。

２．　研究結果

２．１　逆転層の出現頻度が高い気象パターンの抽出

風向・風速・気温・湿度などの気象要素の特徴を総合的に表す指標として天気図型分類を考え、千秋(1976)の方法を用いて天気図型分類を行った。その結果傾向としては妥当であったが、パターン毎の平均値の差と比較してパターン内でのばらつきが大きく、逆転層出現状況の指標として用いるには難点があると判断した。

次に、降水の有無、雲量、水蒸気量、地上風速の４つの気象要素の組み合わせにより、気象パターンを 54 に分類した。その結果、パターン内のばらつきが比較的小さくなり、この代表気象パターンの設定はおおむね妥当と判断できた。

この代表気象パターン中で逆転層出現頻度を集計し、頻度の高かかった７パターンを抽出して気象場の再現計算を行う対象日を選定した。（表－１）

表－１　代表気象パターンの分類方法

降水	あり(Y) 1mm 以上		なし(N) 1mm 未満
雲量	晴天(F) 0～5	中晴(S) 5～8	曇天(O) 8～10
水蒸気量	乾燥(D) 0～8g/kg	中湿(M) 8～16g/kg	湿潤(W) 16g/kg～
地上風速	弱風(w) 0～5m/s	並風(m) 5～10m/s	強風(s) 10m/s～

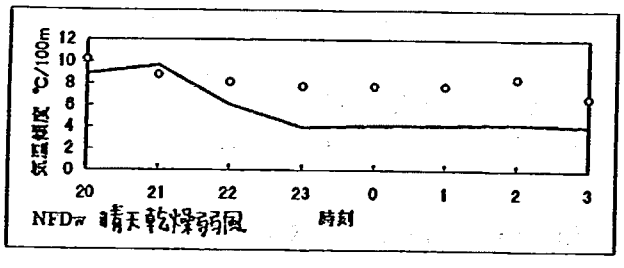
２．２　逆転層出現時の気象場の再現計算

逆転層が発生しやすい気象パターンを対象として、局地気象モデルを用いて関東地方における気象場の再現計算を行った。平地であるつくば市館野（図－１）ではおおむね気象場の再現ができたが、直径 10km 程度の盆地地形である埼玉県秩父市（図－２）では気温が高めに計算された。これは、盆地地形特有の山風循環により、冷気が滞留する現象が再現できていないことが原因であると思われる。また、甲府のような大きな盆地地形でもフェーン現象のような強い谷風時には再現性が悪かった。

次に、横浜市の平地部の観測点における、気象場の再現計算による逆転強度（気温傾度で表される）の計算結果と観測結果の比較を行った（図－３）。ややばらつきが大きいものの晴天時は概ね傾向は再現されていたが、曇天時の再現性は良くなかった。これは、雲による熱収支への影響が原因と考えられる。

これらの結果から、局地気象モデルにより平地部の逆転層出現状況は予測可能であることがわかった。また、谷や盆地部における逆転層出現状況の予測のためには、谷・盆地の地形や内部の大気循環の要素を局地気象モデルに取り込む必要があることがわかった。

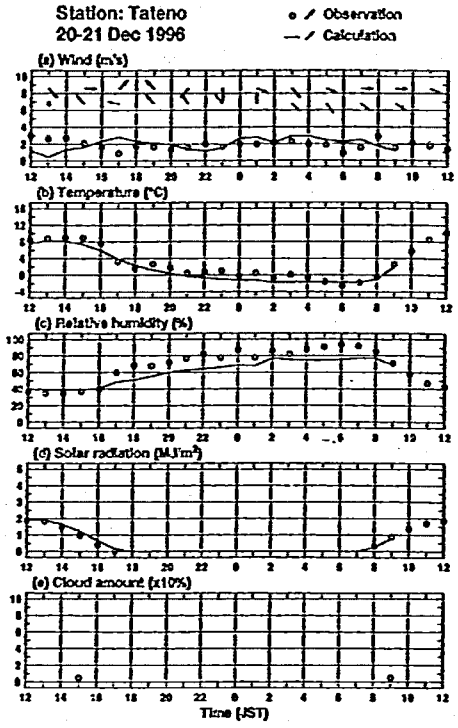
（大西，山田，大城）



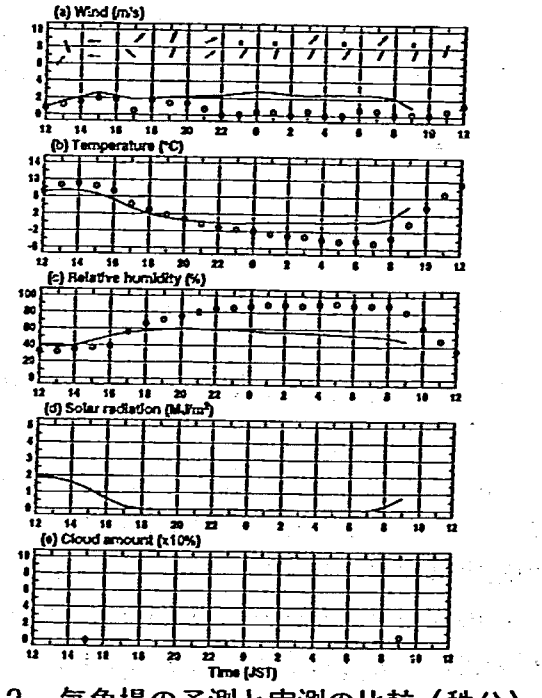
図－３　逆転強度の予測と実測の比較
（－：予測値　○：実測値）

表－２　逆転層の発生頻度の高い気象パターン

気象パターン	年間出現日数(割合)	平均気温傾度 (℃/100m)
NFDw　晴天乾燥弱風	13(3.6%)	5.45
NFDm　晴天乾燥並風	29(8.1%)	4.25
NFDs　晴天乾燥強風	53(14.8%)	3.61
NFMw　晴天中湿弱風	10(2.8%)	2.81
NSDw　中晴乾燥弱風	6(1.7%)	3.22
NSDm　中晴乾燥並風	9(2.5%)	2.33
NODw　曇天乾燥弱風	10(2.8%)	2.17



図－１　気象場の予測と実測の比較（館野）

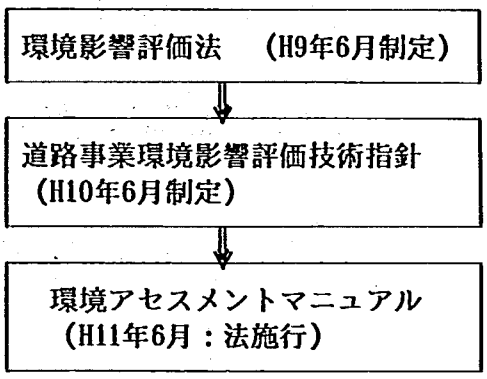


図－２　気象場の予測と実測の比較（秩父）

２２．環境アセスメント技術に関するマニュアル検討（騒音）

研究期間：　平　１０
担　　当：交通環境研究室

【要旨】
道路事業環境影響評価技術指針（平成１０年６月１２日建設省令第１０号）の適切な運用に資するため，環境アセスメント実施のためのマニュアルの作成を行った。
ここでは，自動車の走行による騒音の環境影響評価の項目並びに調査，予測及び評価の手法選定等について基本的な考え方を整理するとともに，手法の具体的な解説資料を作成した。



1 研究方法

1.1　地域概況の把握の方法の検討

騒音の評価項目の設定及び調査等方法の計画立案に必要な地域の概況把握の項目，区域，方法を検討した。

1.2 標準調査手法の検討

道路事業環境影響評価技術指針（平成１０年６月１２日建設省令第１０号，以下「技術指針」という）別表第二（別添参照）に示される調査の標準手法について，その適用範囲及び手法採択の理由を整理するとともに，手法の適用性を踏まえ事業特性及び地域特性に対応した標準手法の選定方法を整理した。

1.3 標準予測手法の検討

技術指針別表第二に示される予測の標準手法について，その適用範囲及び手法採択の理由を整理するとともに，手法の適用性を踏まえ事業特性及び地域特性に対応した標準手法の選定方法を整理した。なお，道路交通騒音の等価騒音レベルによる予測手法は，日本音響学会等での最新の検討成果を反映させた。

1.4 簡略化手法の検討

調査及び予測の手法の簡略化を行う際の要件を整理し，事業特性及び地域特性に応じた簡略化手法の具体的な手法を整理した。

1.5 重点化手法の検討

調査及び予測の手法の重点化を行う際の要件を整理し，事業特性及び地域特性に応じた重点化手法の具体的な手法を整理した。

1.6 評価手法の検討

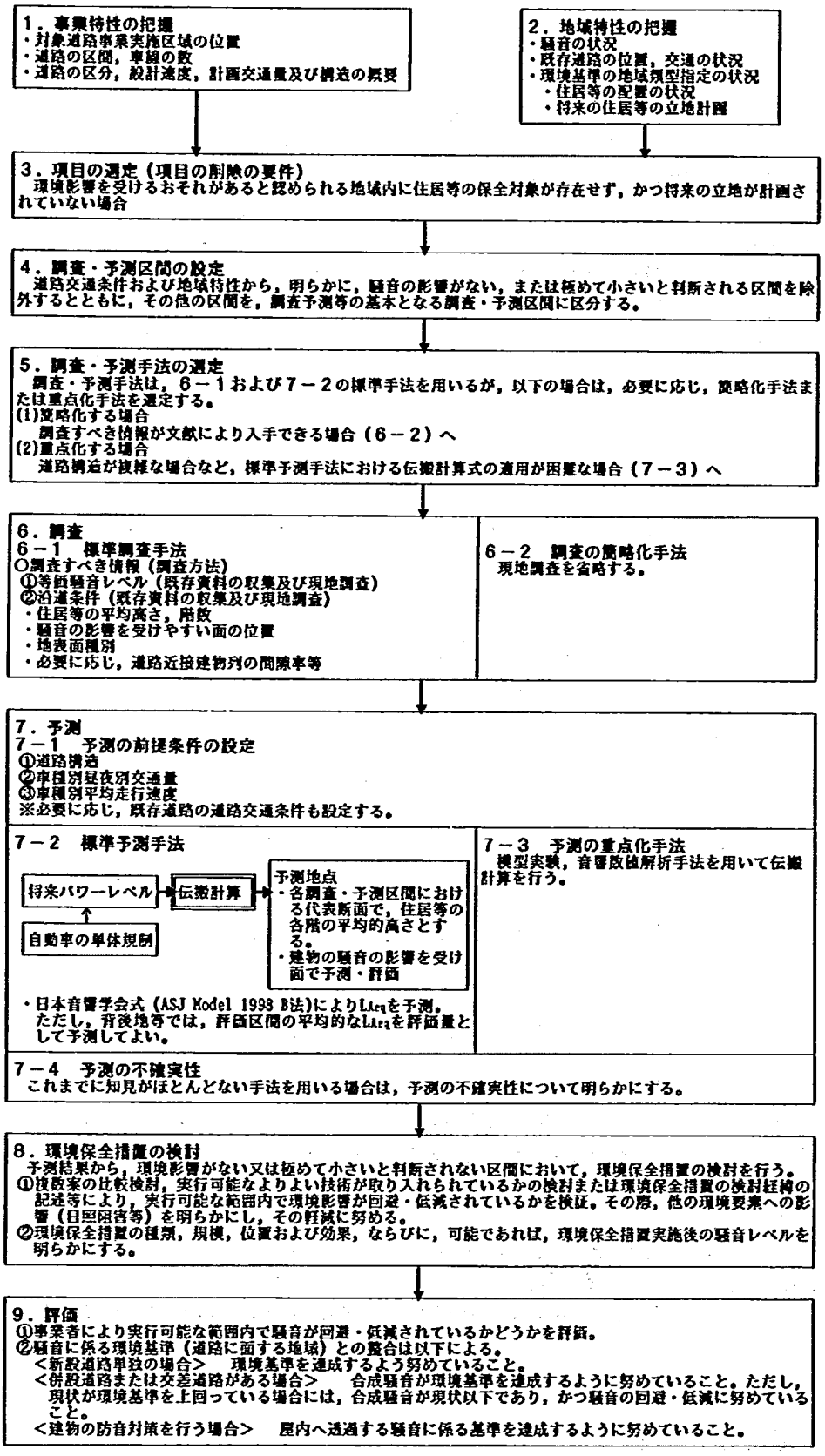
事業者の実行可能な範囲内で環境影響が回避，低減されているものであるかどうか，また，道路に面する地域の新環境基準と予測結果との整合性が図られているかどうかを評価するために必要な予測の内容及び環境保全措置の検討内容を整理した。

1.7　環境保全措置の検討

騒音の各種保全対策方法を整理し，事業の特性，地域の特性，技術的・経済的な実施可能性を踏まえた対策方法の検討手順を整理した。また，新規または未検証の技術や手法等を用いる場合において，事後調査の必要性の判定，調査項目，対象区域，調査方法及び環境保全対策の方針を整理した。

2 研究結果

1　の検討を通じて得られた成果に基づき，環境アセスメントマニュアル（自動車の走行による騒音）を作成した。図－１に，その骨子を示す。



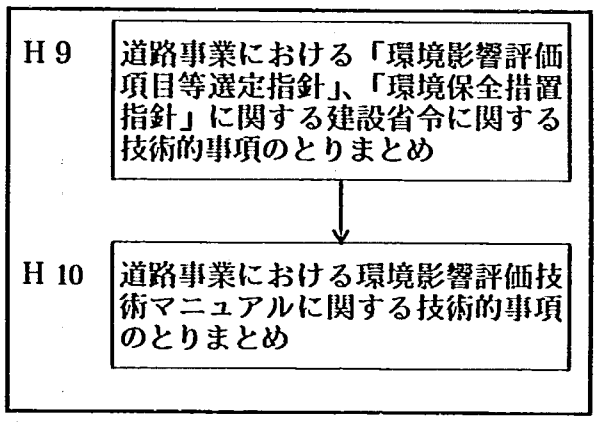
図－1 自動車の走行による騒音の環境アセスメント実施手順

（大西，上坂）

２３．環境アセスメント技術に関するマニュアル検討（大気質）

研究期間：平９～平１０
担当：交通環境研究室　室長：大西博文，主任研究員：山田俊哉，研究員：小根山裕之
大城温

【要旨】



環境影響評価法（以下「法」という。）は、平成９年６月13日に公布され、公布日より２年後に施行されることになっている。

本調査は、道路供用時の大気質に関して、道路事業における環境影響評価を円滑に実施するため、法公布後１年以内に定められる「環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針」（以下「環境影響評価項目等選定指針」という。）、「環境保全のための措置に関する指針」（以下「環境保全措置指針」という。）に関する建設省令及び技術マニュアルに反映させる技術的事項について取りまとめるものであり、平成10年度は、平成９年度に整理した技術的事項を踏まえて、技術マニュアルに反映させる技術的事項について整理を行った。

１．研究方法

１．１　既存アセスメント事例及び調査研究事例の整理

大気質の評価項目、調査・予測・評価方法に係る諸課題を文献、既存資料、環境影響評価事例、データ解析及び試算等から検討し、環境影響評価に反映すべき事項について整理した。

１．２　技術マニュアルに反映させる技術的事項の整理

上記結果を踏まえ、環境影響評価に関する技術マニュアルに反映させるべき技術的事項について整理した。

２．研究結果

技術マニュアルに反映させるべき技術的事項については、以下のように整理した。

２．１　調査方法

濃度の状況（年平均値）及び気象の状況（年間の風向・風速データ）における既存資料及び現地調査データの異常年の取扱いについて検討した。濃度の状況については、異常年のデータを用いて現況の年平均値を低く推定した場合には将来のバックグラウンド濃度も低く設定される。また、異常年のデータから予測値を低く算定する気象データを採用した場合には、予測結果を低く算定し、いずれも評価結果に影響を及ぼす。このため、異常年の有無を明らかにし、濃度の場合は異常年において特に低い値となっている場合に、また気象の場合は異常年において特に風速が高い値となっている場合において、データを補正することが適当と整理した。異常年の検定方法は、既存事例等から分散分析によるＦ分布棄却検定法が適切と判断し、同方法を基本に検定することとした。判定に用いる危険率には１、2.5、５％があるが、試算検討の結果から危険率１％として判定することが適当と整理した。

２．２　予測方法

大気質（供用）に関して、予測手法は表１を標準として行うものとした。

表１　　標準的な予測手法

事　項		標準的な方法	
点煙源の配置方法		排出源は連続した点煙源とし、原則として車道部中央に、予測断面の前後20mは２m間隔、その両側180mは10m間隔として、前後400mにわたって配置する。 ただし、予測地点における風向の出現状況において、計画路線に対して道路平行風が卓越する場合で、予測値に影響を与えるおそれがあると予想される場合は、必要に応じ点煙源を道路縦断方向に1000mにわたって配置する。	
拡散幅の設定方法	プルーム式	①鉛直方向の拡散幅（σz）	$\sigma z=\sigma z_0+0.31\cdot L^{0.83}$ ただし、σz_0：鉛直方向の初期拡散幅(m) （遮音壁なし：$\sigma z_0=1.5$ 遮音壁あり：$\sigma z_0=4.0$） L　：車道部端からの距離(m) $L=x-W/2$ x　：風向に沿った風下距離(m) W　：車道部幅員(m) なお、$x<W/2$の場合は$\sigma z=\sigma z_0$とする。
		②水平方向の拡散幅（σy）	$\sigma y=W/2+0.46\cdot x^{0.91}$ なお、$x<W/2$の場合は$\sigma y=W/2$とする。
	パフ式	①初期拡散幅に相当する時間（t_0）	$t_0=W/(2\alpha)$ ただし、α：②に示す拡散幅に関する係数
		②拡散幅に関する係数（α、γ）	$\alpha=0.3$　，　$\gamma=0.18$(昼間)，$\gamma=0.09$(夜間) ただし、昼間は午前７時から午後７時までを、夜間は午後７時から午前７時までを原則とする。
べき指数の設定方法		べき指数は対象区域の状況に合わせて設定する。目安は次のとおりとする。 【べき指数の目安】：市街地(1/3)、郊外(1/5)、障害物のない平坦地(1/7)	
年平均値の算定のための気象データ		年平均値算出のための気象データは、以下の項目を入力データとして設定する。 ①有風時(風速が１m/sを超える場合)及び弱風時(風速が１m/s以下の場合)の出現割合 ②有風時における年平均時間別風向出現割合 ③有風時における年平均時間別風向別平均風速	
ＮＯｘ変換式		ＮＯｘ変換式は、原則として次式を用いる。 $[NO_2]=0.0587[NOx]^{0.416}(1-[NOx]_{BG}/[NOx]_T)^{0.630}$ ただし、$[NOx]$　：対象道路寄与分のＮＯｘ濃度(ppm) $[NO_2]$　：対象道路寄与分のNO_2濃度(ppm) $[NOx]_{BG}$：ＮＯｘのバックグラウンド濃度(ppm) $[NOx]_T$　：ＮＯｘのバックグラウンド濃度と道路寄与分の濃度の合計値(ppm)（$[NOx]_T=[NOx]+[NOx]_{BG}$）	

２．３　評価方法

年間98%値（二酸化窒素）又は２%除外値（浮遊粒子状物質）の換算式を検討した。1987年～1996年（10年間）の全国の常監局データを解析した結果、換算式の係数ａ及びｂがバックグラウンド濃度(BG)と道路寄与分(R)の比により変化することが判明したので、表２のように整理した。

表２　年平均値の年間98%値又は年間２%除外値への換算式

項　目	換　算　式
二酸化窒素（NO_2）	$[年間98\%値]=a([NO2]_R+[NO2]_{BG})+b$ $a=1.12+0.58\cdot\exp(-[NO2]_R/[NO2]_{BG})$ $b=0.0112-0.0049\cdot\exp(-[NO2]_R/[NO2]_{BG})$
浮遊粒子状物質（ＳＰＭ）	$[年間2\%除外値]=a([SPM]_R+[SPM]_{BG})+b$ $a=1.87+0.86\cdot\exp(-[SPM]_R/[SPM]_{BG})$ $b=0.0081-0.0174\cdot\exp(-[SPM]_R/[SPM]_{BG})$

注）$[NO2]_R$　：道路寄与のNO_2年平均値(ppm)
$[NO2]_{BG}$：バックグラウンドのNO_2年平均値(ppm)
$[SPM]_R$　：道路寄与のＳＰＭ年平均値(ppm)
$[SPM]_{BG}$：バックグラウンドのＳＰＭ年平均値(ppm)

３．主な研究成果物

研究の成果は、道路環境アセスメントマニュアル（仮称）の技術的内容として反映させる。

【貼付表】

表２　年平均値の年間98%値又は年間２%除外値への換算式

項　目	換　算　式
二酸化窒素 （NO_2）	$[年間98\%値]=a([NO2]_R+[NO2]_{BG})+b$ $a=1.12+0.58\cdot\exp(-[NO2]_R/[NO2]_{BG})$ $b=0.0112-0.0049\cdot\exp(-[NO2]_R/[NO2]_{BG})$
浮遊粒子状物質 （ＳＰＭ）	$[年間2\%除外値]=a([SPM]_R+[SPM]_{BG})+b$ $a=1.87+0.86\cdot\exp(-[SPM]_R/[SPM]_{BG})$ $b=0.0081-0.0174\cdot\exp(-[SPM]_R/[SPM]_{BG})$

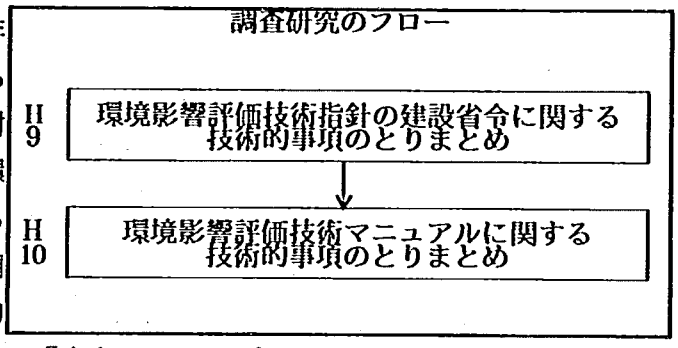
注）$[NO2]_R$　：道路寄与のNO_2年平均値(ppm)
$[NO2]_{BG}$：バックグラウンドのNO_2年平均値(ppm)
$[SPM]_R$　：道路寄与のＳＰＭ年平均値(ppm)
$[SPM]_{BG}$：バックグラウンドのＳＰＭ年平均値(ppm)

２４．環境アセスメント技術に関するマニュアル検討（動物、植物、生態系）

研究期間：平９～平 10

担　　当：交通環境研究室

【要旨】



環境影響評価法（以下「法」という。）が平成９年６月 13 日に公布され、平成１１年６月に施行されることとなっている。本調査は、法で環境影響評価の対象とされている「動物」、「植物」、「生態系」の環境要素について、環境影響評価の実施手法を提案することを目的としている。９年度は、環境影響評価の調査・予測及び評価等に関する技術指針について技術的事項を検討しており、その成果は建設省令第十号（以下「省令」という。）に反映されている。１０年度は、法及び省令に基づき、より具体的な環境影響評価が実施できるように、マニュアルに関する技術的事項を整理・検討した。

１．調査方法

「動物」「植物」「生態系」に関し、調査、予測、評価及び環境保全措置に関する技術的事項を整理した。特に、「生態系」については、既に環境影響評価が行われている事例（千葉東金道路）を用いて、ケーススタディを実施し、検討した技術的事項の検証を行った。

これらの技術的事項の検討に当たっては、「道路環境アセスメントマニュアル改定検討会自然環境ＷＧ」や「道路環境アセスメントマニュアルに関する自然環境検討委員会」における地建・関係公団等や、学識経験者等による審議を踏まえている。

２．調査結果

本調査で検討を行った「動物」「植物」「生態系」の環境影響評価の具体的な実施手法について、実施の流れに従って整理したものを図に示す。以下では、この図に示されていない重要な点を補足する。

①調査範囲について

調査範囲は、道路の設置による環境の変化の及ぶ範囲や、動物の行動圏を考慮し、予測及び環境保全措置の検討に必要な情報を把握できる範囲を設定する。調査範囲は、地域の状況や調査対象に応じて設定するものであるが、文献調査（地域特性の把握も含む）の場合は対象道路事業実施区域から約 3km の範囲、現地調査の場合は約 250m の範囲が目安になるものと考えられる。

②保全対象の抽出と環境保全措置

予測の結果、環境影響が生じると予測される動植物の重要な種等や、生態系を特徴づける注目種等の生息・生育環境が保全対象として抽出される。保全対象は環境影響と対象の重要性を考慮して抽出されるが、「生態系」では、「動物」「植物」のレッドデータブックのような重要性の指標等が整備されていない。そのため、注目種等の調査結果に基づいて、その生息・生育環境の重要性を判断することが必要となる。この判断の視点としては、多様性、自然性・脆弱性、希少性・特殊性、機能性等が考えられる。

３．研究成果物

環境アセスメントマニュアル（仮称、平成１１年６月発行予定）に本調査の成果は反映されている。

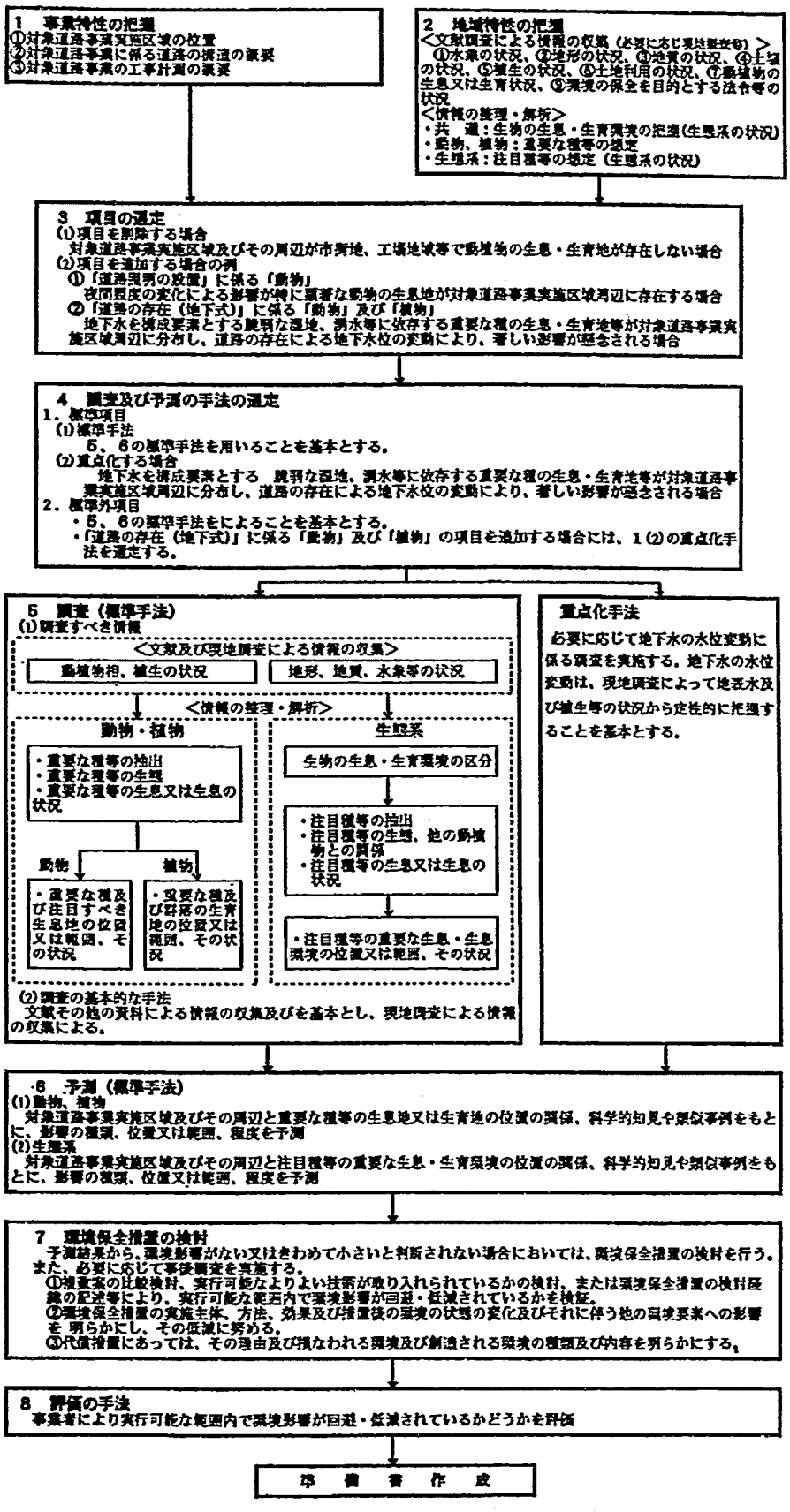


図 「動物」「植物」「生態系」の調査・予測・評価の流れ

（大西、小根山）

（平成10年度の研究成果）

道路交通振動に関する研究

２５．　低次交通振動の評価と制振に関する試験調査

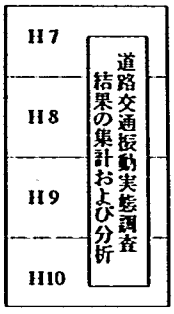
研究期間：平7～平10
担当：交通環境研究室

【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。

１０年度は、グループ１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139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高い傾向にあった。

研究計画



１．研究方法

直轄国道管理調査の振動測定は、北海道開発局、沖縄総合事務局および各地方建設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、取りまとめを行った。

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）

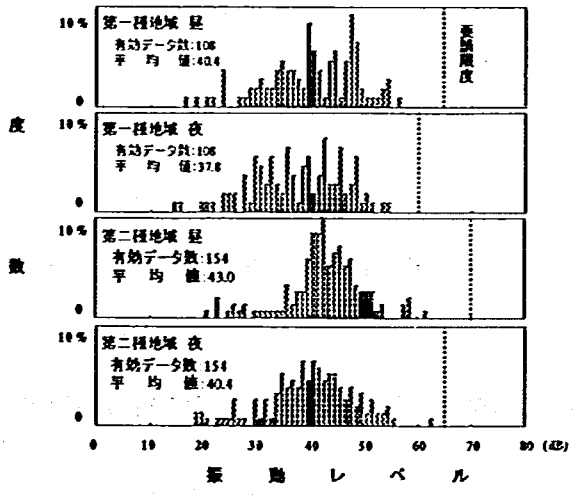
全139測定点のうち要請限度（表－１参照）を超えた地点はなかった。また、全測定点の振動レベルの平均値は41.1dBと要請限度よりかなり低い値である。

表－１．道路交通振動の要請限度(dB)

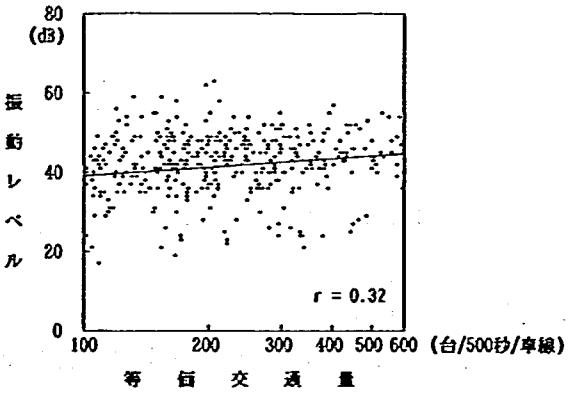
地域の別＼昼夜の別	昼　間	夜　間
第一種地域	65	60
第二種地域	70	65

（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

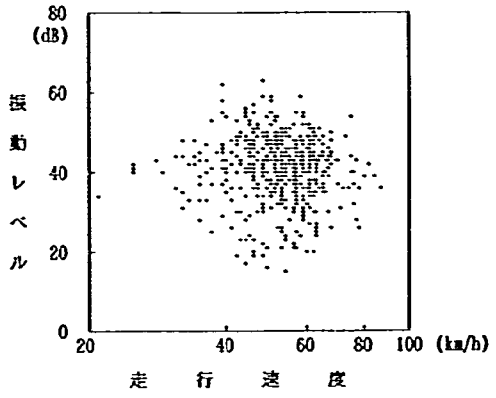
1台を小型車13台に換算した交通量）が多くなると振動レベルが大きくなる傾向が見られる。

（3）振動レベルと走行速度の関係（図－3）

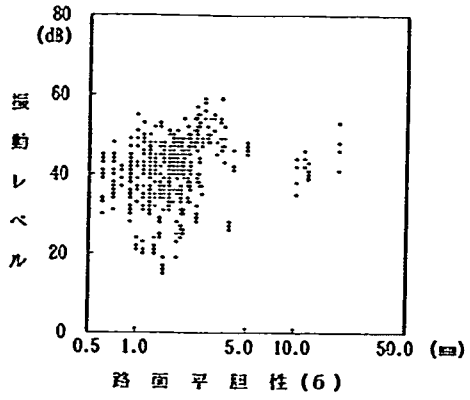
走行速度と振動レベルの相関は明確ではない。

（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値)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



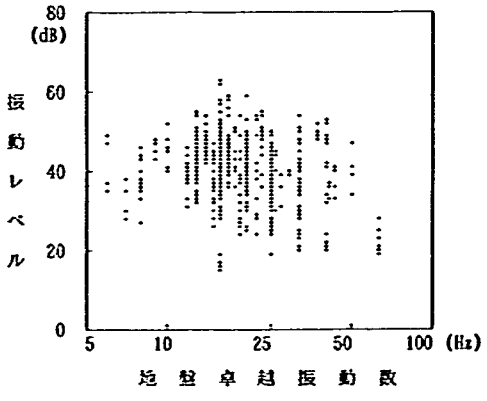
図－4．路面平坦性と振動レベル

（5）振動レベルと地盤卓越振動数の関係（図－5）

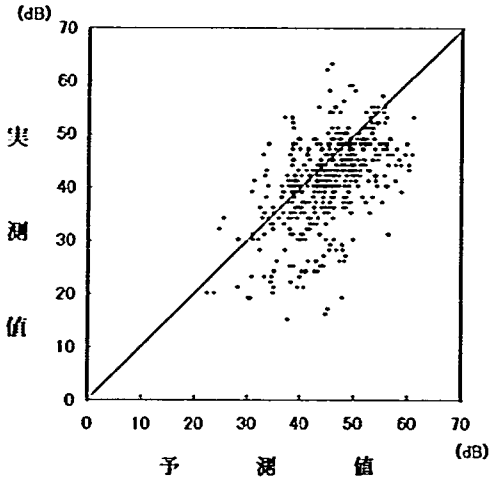
地盤卓越振動数が低くなると、振動レベルが大きくなる傾向がみられる。

（6）実測値と予測値との比較図（図－6）

実測値と「道路環境整備マニュアル」に示されている道路交通振動予測式から算出された予測値を比較した。全体的に予測値は実測値より大きい傾向にある。



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）

発表論文等

（発表論文等）

Ⅰ．道路交通騒音に関する研究

J. Acoust. Soc. Jpn. (*E*) 20, 1 (1999)

I－1 Attenuation factors of vehicle noise due to drainage asphalt pavement

Hirofumi Ohnishi, Seishi Meiarashi, Koichi Takagi, and Kenichi Ishikawa

Public Works Research Institute, Ministry of Construction,
1, Asahi, Tsukuba, 305-0804 Japan

(*Received 5 June 1998*)

The drainage asphalt pavement contains consecutive pores and has the noise reduction effect. We have analyzed the factors of the effect carrying out the site measurements and the experiments related to the drainage pavement. As a consequence, we have derived the sound power level equations of vehicles, which show the noise reduction effect of the drainage pavement at a sound source. In fact, they give us smaller values of sound power level compared to those of the dense graded asphalt pavement. On the other hand we have obtained the flow resistivity of 1,250 kPa s/m^2 for the drainage pavement as the noise reduction effect during propagation. This is smaller than that of the dense graded pavement, 20,000 kPa s/m^2, and generates the excess attenuation in the course of sound propagation. In view of the aforementioned, we have proposed the calculation method of the sound pressure level in the roadside area of drainage pavement on a basis of the A method of ASJ Model-1993, taking into consideration these factors at the sound source and during the sound propagation related to the noise reduction effect of the drainage pavement. The sound pressure levels measured along the drainage pavement have verified this method.

Keywords: Drainage asphalt pavement, Noise reduction effect, Sound power level, Flow resistivity, Road traffic noise

PACS number: 43. 50. Gf, 43. 50. Lj

1. INTRODUCTION

The drainage asphalt pavement has been used as countermeasures for road traffic noise throughout Japan in these days. "Manual for asphalt pavement[1]" was revised in 1992, including detailed instructions of the drainage asphalt pavement. The construction management of the drainage asphalt pavement has been improved and maintained in a certain level since then. Furthermore, "Technical guidelines of drainage asphalt pavement[2]" and "General guidance of low-noise pavements[3]" have been published based on technical findings obtained afterwards. However the current calculation methods of the road traffic noise, such as ASJ (Acoustical Society of Japan) Model-1975[4] or ASJ Model-1993,[5] do not take account of the noise reduction effect of the drainage asphalt pavement, although the pavement has been commonly used to abate the road traffic noise. Therefore we propose the calculation method, in which the noise reduction effect of the drainage pavement is reflected on a basis of ASJ Model-1993, in this paper.

2. CONTENTS OF THIS PAPER

The drainage asphalt pavement has consecutive pores because it dose not contain fine aggregates which the dense graded asphalt pavement usually has. The drainage asphalt pavement has initially been introduced to enhance the traffic safety by draining the rain water on the pavement surface through its pores. The pavement, afterwards, has been found to possess the reduction effect on the road traffic noise and has been used to improve a road traffic noise problem as well. The effects emerge at a sound source and in the course of sound

propagation. The first effect takes place for the pores to refrain a air-pumping sound created by tires and the pavement at the source. The second effect arises when the sound propagates on a surface of a sound-absorptive material, the drainage asphalt pavement in this case. In addition, there is another sound absorption effect in the multiple reflection process between the porous pavement and a lower surface of a vehicle chassis, and this is to be sorted as part of the effect at the sound source.

In view of the discussion above, we propose the calculation method of the noise reduction effects of the drainage asphalt pavement composed of the two phases, at the sound source and in the course of sound propagation. The calculation method is based on results of the following site measurements and experiments conducted.

Firstly noise of vehicles running on the drainage asphalt pavement laid on the actual road was measured to obtain sound power levels of the vehicles by category. At the same time equivalent A-weighted sound pressure levels were also measured in a roadside area to verify the method to be proposed for calculation of those on the drainage pavement in this paper. Secondly the sound emitted from a speakers system placed on the drainage asphalt pavement constructed on the test track in the Public Works Research Institute (PWRI), Ministry of Construction, was measured at several points on the same pavement to obtain the sound propagation characteristic of the pavement. On the other hand, some acoustic characteristics such as a sound absorption coefficient and acoustic impedance of the drainage asphalt pavement have been measured using the tube method.

Based on data given by the measurements and the experiments mentioned above, we carried out the following analyses to investigate noise attenuation factors of vehicles due to the drainage asphalt pavement. We analyzed the vehicles noise on the drainage pavement and derived their sound power levels. The power levels account for the noise attenuation factor at the source. The experiments using the speakers system gave us the sound propagation characteristics on the drainage pavement. In fact we obtained a value of flow resistivity of the drainage pavement, which is converted to the normalized acoustic impedance. This can account for the noise reduction factor in the course of propagation. Another approach was made to directly get the normalized acoustic impedance of the drainage pavement by the tube method. Finally we have proposed the calculation method for the noise reduction effect of the drainage asphalt pavement using its sound power level and flow resistivity. This method has been verified by comparing the equivalent A-weighted sound pressure levels calculated by this method with those measured in the roadside area.

3. EXPERIMENTS

3.1 Measurements of Running Vehicle Noise on Actual Road

In order to obtain the sound power levels of three types of vehicles, passenger cars, small trucks and heavy trucks, running on the drainage asphalt pavement, we carried out some measurements of vehicle noise on the pavement, which was laid on some four-lane section of the prefectural road in Shiraoka-machi, Saitama-ken in 1996. The measurements themselves were conducted about one year after the construction of the pavement. A measurement site was in an open and plain area, where there was no acoustically reflective object nearby. A microphone was installed 7.5 meters (m) away from the center line of the outer lane and 1.2 m high above the ground (see Fig. 1). Many samples of sound pressure levels of a separately running vehicle were measured. After all, the samples comprised 106 heavy trucks, five small trucks and 75 passenger cars. At the same time, the equivalent A-weighted sound pressure levels, traffic volumes and running speed of vehicles were measured in order to verify the method to be proposed for the calculation of the equivalent A-weighted sound pressure level on the drainage pavement using these measured data. The main specification of the drainage pavement is as follows: five centimeters (cm) of surface course; 20 percent (%) of pore ratio;

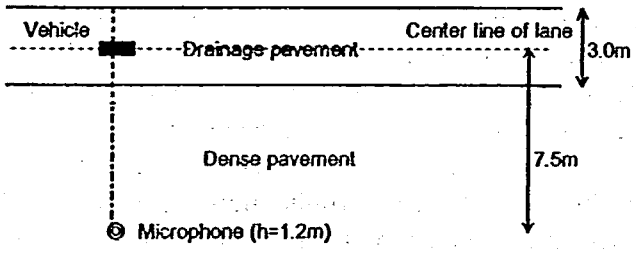


Fig. 1 Arrangement for vehicle noise measurement on actual road of drainage pavement.

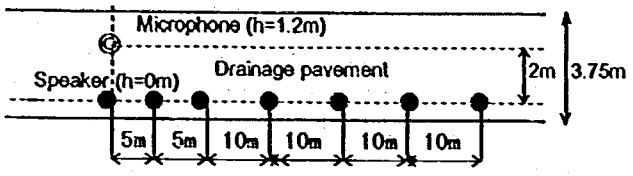


Fig. 2 Arrangement for sound propagation experiment on drainage pavement.

and 5-13 millimeters (mm) of aggregate size.

3.2 Propagation Experiment of Speaker Sound on Test Track

In order to obtain attenuation characteristics of sounds propagating on the drainage asphalt pavement, we measured the sounds of the speakers system at several points on the drainage pavement and the dense graded asphalt pavement, which were laid on the test track of PWRI. The speakers system was placed on the pavement surface and the microphone was set 1.2 m high above the pavement (see Fig. 2 for details). The system is made of six full-range speakers, each of which is 10 cm in diameter and has the maximum power of 15 Watt. The main specifications of the drainage pavement and the dense graded pavement are as follows: 5 cm of surface course for the both pavements; 20 % of pore ratio for the drainage pavement and 2 % of pore ratio for the dense graded pavement; and 5-13 mm of coarse aggregate size for the both pavements.

3.3 Measurements of Acoustic Characteristics

Using the tube method, the acoustic characteristics such as normal incidence absorption coefficients and normalized acoustic impedance of the drainage asphalt pavement and the dense graded asphalt pavement were measured. Two test core samples were prepared respectively for the both pavements by cutting the pavements, which had been open to traffic for a year. One was 30 mm and the other was 100 mm in diameter. Both of them were 50 mm in thickness. These samples were placed in the tube with narrow gaps between the samples and the inner surface of the tube filled with clay.

4. RESULTS OF EXPERIMENTS

4.1 Sound Power Levels of Vehicles Running on Drainage Pavement

The sound power levels of the vehicles running on the drainage asphalt pavement are derived from the A-weighted sound pressure levels measured on the actual road using the peak method.[6] Excess attenuation during propagation is considered to be neglected in this case since most of the length between the sound source and the microphone is covered with the dense graded pavement. The data of the small trucks have not been analyzed because they are few. Therefore analyses have been done for the data of the passenger cars and the heavy trucks. The following equation is used for this calculation.

$$L_W = L_p + 8 + 20 \log_{10} r \qquad (1)$$

where

L_W: sound power level

L_p: peak sound pressure level

r: distance between a sound source and a receiving point, 7.5 m in this case

Figures 3 and 4 show the relationships between the sound power levels derived and the vehicle speed

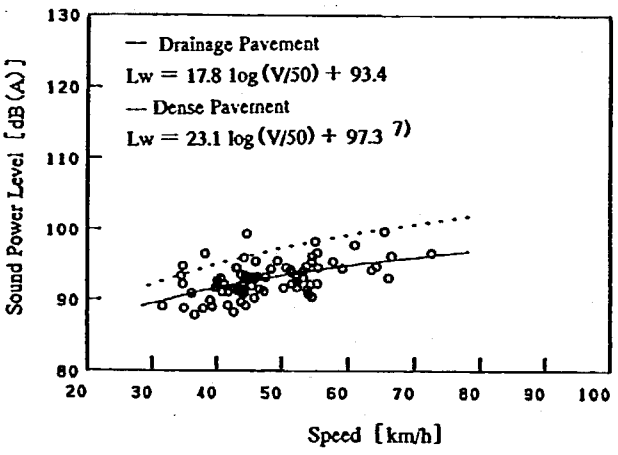


Fig. 3 Relationship between sound power level and vehicle speed (Passenger cars).

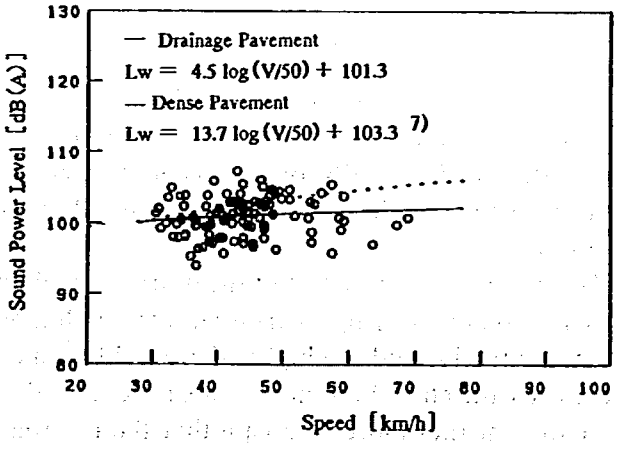


Fig. 4 Relationship between sound power level and vehicle speed (Heavy trucks).

V of the drainage pavement for the passenger cars and the heavy trucks respectively. Provided that a type of function is $L_W = a \log_{10} V + b$, regression functions of the sound power level and the speed are derived as follows:

$$L_W = 17.8 \log_{10}(V/50) + 93.4 \quad \text{for the passenger cars} \tag{2}$$

$$L_W = 4.5 \log_{10}(V/50) + 101.3 \quad \text{for the heavy trucks} \tag{3}$$

When we use the above functions to calculate the equivalent A-weighted sound pressure level near a road of drainage pavement, we need to modify the above functions as follows: The sound pressure levels measured are converted to those at a speed of 50 km/h and are averaged in sound energy. Then Eqs. (2) and (3) are shifted parallelly so that they pass the averaged points of sound pressure level at a speed of 50 km/h. These modified equations differ in constant terms from the original ones and are as below:

$$L_W = 17.8 \log_{10}(V/50) + 94.0 \quad \text{for the passenger cars} \tag{4}$$

$$L_W = 4.5 \log_{10}(V/50) + 102.1 \quad \text{for the heavy trucks} \tag{5}$$

Figures 3 and 4 also indicate the regression functions, which Uesaka *et al.* have proposed for the dense graded asphalt pavement commonly used as road pavement.[7] They are as below:

$$L_W = 23.1 \log_{10}(V/50) + 97.3 \quad \text{for the passenger cars} \tag{6}$$

$$L_W = 13.7 \log_{10}(V/50) + 103.3 \quad \text{for the heavy trucks} \tag{7}$$

Compared to the sound power levels of the dense graded pavement, those of the drainage pavement are smaller by 2.7-4.7 dB for the passenger cars and by 0-3.3 dB for the heavy trucks in the speed range of 30-70 km/h.

The noise reduction effect of the drainage asphalt pavement on the passenger cars is larger than that on the heavy trucks, and the higher the speed becomes, the greater the effect becomes. This is because that the effect emerges more in a case that the tire-road noise, which is effectively reduced by the drainage pavement, dominates in the total noise generated by the vehicles. Furthermore, this is why the sound power levels of the heavy trucks depend less on the speed compared to those of the passenger cars. In the case of the heavy trucks the noise reduction effect of the drainage pavement is relatively small in the low speed range, where the engine noise dominates. The higher the speed of the heavy trucks becomes, the larger the portion of the tire-road noise becomes, and therefore the noise reduction effect of the drainage pavement emerges remarkably.

4.2 Excess Attenuation of Sound Propagating on Drainage Asphalt Pavement

We can see the attenuation of the speaker sound propagating on the two types of pavements, the drainage asphalt pavement and the dense graded asphalt pavement, in Fig. 5. The sound pressure levels measured have been modified by the weights of the A-characteristics and of the sound spectra of the road traffic noise.[8] The sound power level of the speaker is to be 0 dB in Fig. 5. The sound attenuation in the course of propagation on the drainage pavement is similar to that on the dense graded pavement up to 5 m away from the sound source, and however beyond there the difference between those of the two types of pavements can be seen. The difference of the sound attenuation is about 2 to 3 dB at a point of 10 m and further. The line of the dense graded pavement in Fig. 5 appears parallel to that of 6 dB attenuation for a double distance, and therefore we can regard the difference as an excess attenuation effect of the drainage pavement.

In addition, the frequency characteristics of the sound attenuation during the propagation are shown in Fig. 6. The lines in Fig. 6 indicate the

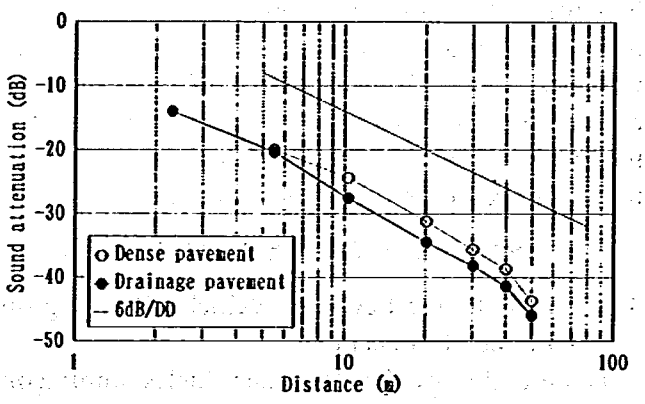


Fig. 5 Attenuation of sound propagating on pavements.

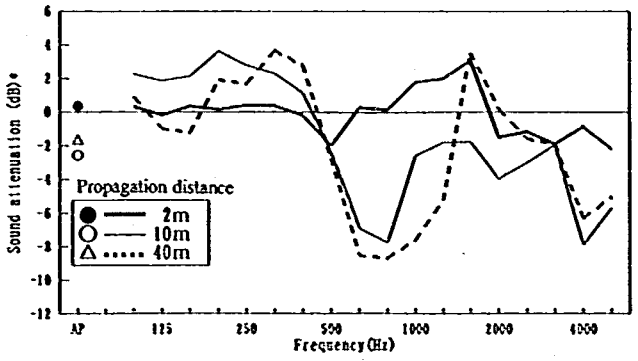


Fig. 6 Frequency characteristics of sound attenuation during propagation.
* The vertical axis shows the difference in the sound pressure level between the drainage pavement and the dense pavement.

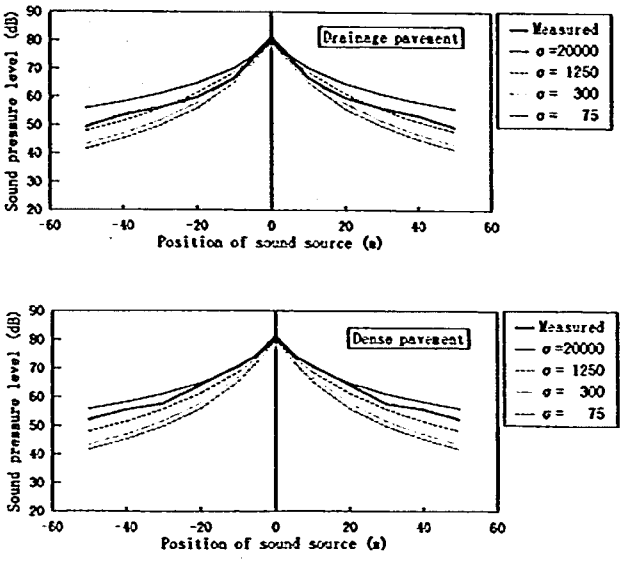


Fig. 7 Fitting of measured and calculated unit patterns of sounds propagating on drainage and dense pavements.

difference in sound pressure levels measured by propagation distance between the two pavements. The excess attenuation of the drainage pavement takes place in the frequency range of 500 Hz and over, and this is more clearly observed at a point 40 m away from the sound source. The maximum attenuation goes up to around 9 dB in the frequency range of 800 Hz.

4.3 Estimate of Flow Resistivity of Drainage Asphalt Pavement

In this section we will derive flow resistivity values of the drainage asphalt pavement and the dense graded asphalt pavement, which are needed to calculate the attenuation effects of sound propagating on the pavements, based on the sound propagation characteristics on the pavements mentioned in Section 4.2. Firstly a unit pattern of the speaker sound has been obtained using the sound reduction measured in the speaker sound propagation experiments carried out on the both pavements (see Section 3.2 for details). Secondly the unit patterns of the speaker sounds have been derived applying the weights of power spectra of the speaker sound to the sound pressure levels of 1/3 octave bands, which are calculated by the A method of ASJ Model-1993[9] assuming some appropriate values of flow resistivity of the pavements. The following conversion function proposed by Miki[10] is applied to calculate the pavements' normalized acoustic impedance values from their flow resistivity values.

$$1/\beta = 1 + 5.5(\sigma/f)^{0.632} + i\,8.43(\sigma/f)^{0.632} \quad (8)$$

where

β : normalized acoustic admittance (inverse of β is normalized acoustic impedance)

σ : flow resistivity

f : frequency.

These unit patterns obtained for the both pavements are shown in Fig. 7. In order to estimate the flow resistivity values of the pavements, we compared the measured unit pattern to those calculated. We made much of the fitting in the distance range near the peak level because the flow resistivity is used to calculate the equivalent A-weighted sound pressure level. As a result, the unit patterns fitting the most to those measured give the values of flow resistivity as follows: $\sigma = 1{,}250$ kPa s/m^2 for the drainage pavement; and $\sigma = 20{,}000$ kPa s/m^2 for the dense graded pavement. According to some flow resistivity values for some types of ground proposed by Isei[11] and Takagi *et al.*,[9] the representative bear ground possesses 1,250 kPa s/m^2 of flow resistivity, which is identical with that of the drainage pavement derived herein. The flow resistivity of 20,000 kPa s/m^2 for the dense graded pavement, which we have obtained from the speaker experiment, is equal to that proposed by Isei.[11] Since we have already had the flow resistivity value for the drainage asphalt pavement, we can now calculate the ground attenuation effect during sound propagation on the drainage pavement.

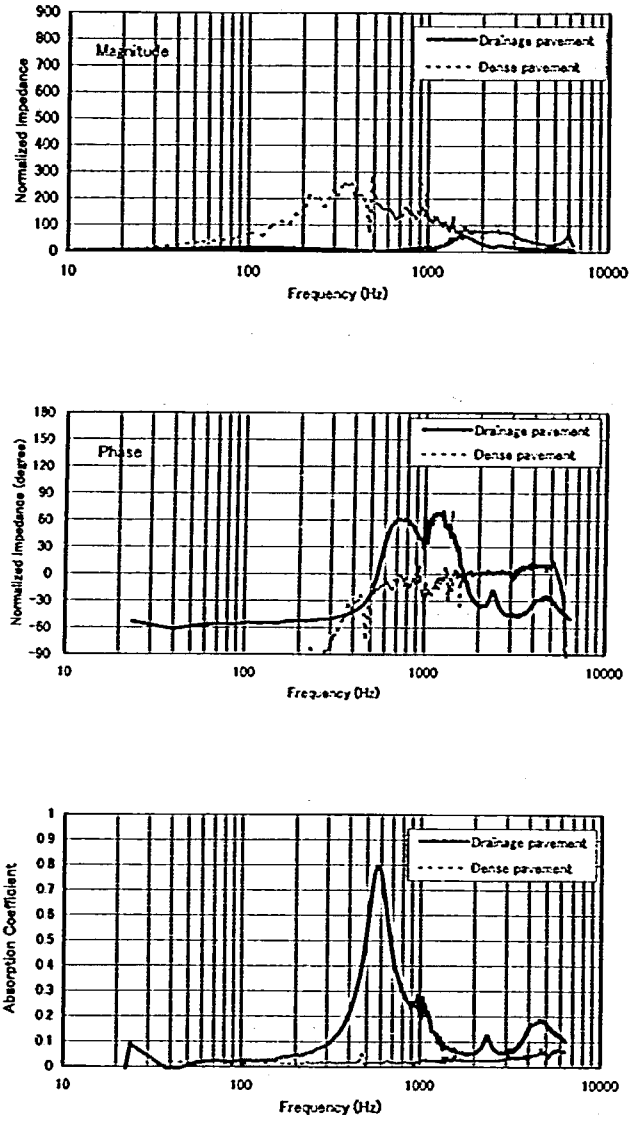


Fig. 8 Acoustic characteristics of pavements.

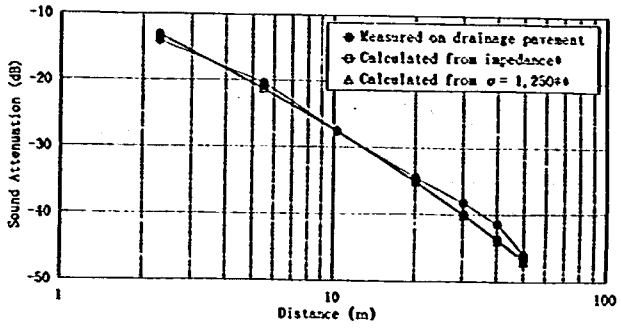


Fig. 9 Sound attenuation during propagation on drainage pavement.
* Calculated from the normalized acoustic impedance measured for the drainage pavement.
**Calculated from the flow resistivity estimated for the drainage pavement.

4.4 Acoustic Impedance and Absorption Coefficient of Drainage Asphalt Pavement

The experiments as stated in Section 3.3 give us the acoustic characteristics, such as the normalized acoustic impedance and the normal incidence absorption coefficient, of the drainage asphalt pavement and the dense graded pavement. They are shown in Fig. 8. The drainage pavement, which was constructed a year ago, still possesses a large absorption coefficient of 0.8 in the frequency range of 600 Hz. This absorption characteristic is considered as that of resonator type since its absorption coefficient shows a high and sharp peak below 1 kHz. On the contrary, the magnitude of the normalized acoustic impedance of the drainage pavement above is much smaller than that of the dense graded pavement throughout the overall frequency range; and however its phase of the normalized acoustic impedance is 60 degrees from 700 to 1,200 Hz and minus 60 degrees below 300 Hz. Since the dense graded pavement scarcely contains pores inside, its normal incidence absorption coefficient is very small, only a few percent, and the magnitude of the normalized acoustic impedance shows a large value more than 100 from 200 Hz to 1,200 Hz on the contrary.

Figure 9 shows the measured and calculated sound attenuation during propagation on the drainage asphalt pavement. The calculation was made in two manners. One used the flow resistivity of 1,250 kPa s/m^2 for the drainage pavement, and the other adopted the normalized acoustic impedance measured in Section 3.3. Both of the calculated are in good accord with that measured. This indicates that the flow resistivity estimated and the normalized acoustic impedance measured are appropriate to account for the propagation characteristics on the drainage pavement. As to the second manner, we note that the acoustic characteristics tend to be affected by a small size of the samples and therefore it is desirable to derive them from experiments using several samples.

5. COMPARISON BETWEEN CALCULATED AND MEASURED VALUES OF SOUND PRESSURE LEVELS IN ROADSIDE AREA OF DRAINAGE PAVEMENT

5.1 Calculation Methods of Sound Pressure Levels

In order to calculate the equivalent A-weighted

sound pressure levels along the roads of drainage asphalt pavement, the following three methods have been tried to adopt:

a. calculation by the B method of ASJ Model-1993[9] using the sound power level of the dense graded asphalt pavement usually used;
b. calculation by the B method of ASJ Model-1993 using the sound power level of the drainage asphalt pavement constructed in some road section in Shiraoka-machi (see Section 4.1); and
c. calculation by the A method of ASJ Model-1993 using the sound power level and the frequency characteristics of the same drainage pavement as stated in "b" above and the flow resistivity of 1,250 kPas/m^2 for the drainage pavement estimated in Section 4.3.

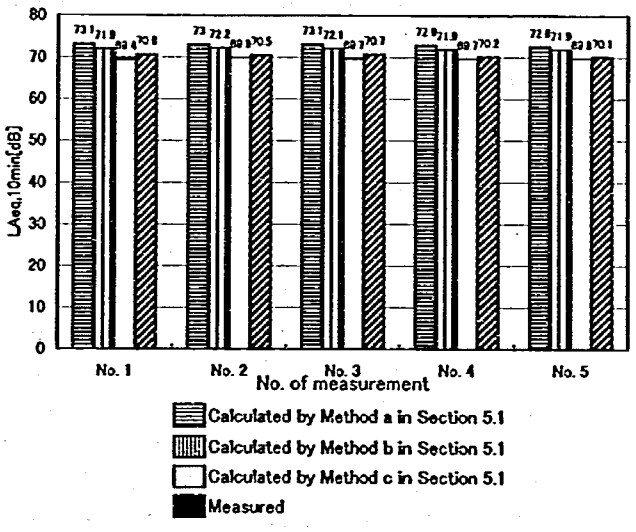


Fig. 10 Comparison of measured and calculated L_{Aeq} of drainage pavement.

5.2 Comparison between Calculated and Measured Values

The equivalent A-weighted sound pressure levels calculated by the above mentioned methods in the roadside area of drainage pavement in Shiraoka-machi are shown in Fig. 10 in addition to the measured levels, as mentioned in Section 3.1. Table 1 indicates the road traffic conditions, which were observed in the roadside area in Shiraoka-machi and were used to calculate the roadside sound pressure levels.

The five sound pressure levels calculated in response to the five traffic conditions by the methods mentioned in 5.1 are compared with the five measured levels by method. The values by "a" method above, using the sound power level of the usual dense graded pavement, are larger than those measured by about 2.5 dB on an average. In the case of "b" method, using the sound power level of the drainage pavement, the calculated values exceed those measured by approximately 1.6 dB on an average and the difference has decreased. Furthermore, in the case of "c" method taking account of the acoustic propagation characteristics as well as the sound power level of the drainage pavement, the gap between the calculated and the measured has further declined to around 0.7 dB on an average, where the calculated values are smaller than the measured. In view of the above mentioned, the third calculation method can make us accurately and analytically predict the noise reduction effect of the drainage asphalt pavement. It has given us the total noise reduction of 3.2 dB, which is divided into two aspects, 0.9 dB and 2.3 dB of reduction at the sound source and during the sound propagation respectively, in the case of drainage pavement and the road traffic conditions as mentioned earlier. The noise reduction effect at the source is smaller

Table 1 Traffic conditions of prefectural road in Shiraoka-machi.

No. of measurement	Up direction				Down direction			
	Traffic volume (vehicles /10 min)	Ratio of heavy truck (%)	Speed		Traffic volume (vehicles /10 min)	Ratio of heavy truck (%)	Speed	
			Heavy truck (km/h)	Passenger car (km/h)			Heavy truck (km/h)	Passenger car (km/h)
No. 1	154	42.2	44.0	48.5	186	43.5	34.2	38.4
No. 2	177	41.8	38.6	42.4	188	42.9	33.3	39.6
No. 3	155	41.2	40.6	43.4	228	42.5	35.0	37.1
No. 4	171	39.7	39.6	46.2	207	41.5	37.7	38.9
No. 5	169	42.4	37.2	43.6	194	39.4	35.7	41.5

than that during the propagation in the above case. This is mainly because the speed of vehicles was slow, about 40 km/h, which reduces the sound power levels of vehicles a little, only 2.8 dB for the passenger cars and 0.3 dB for the heavy trucks according to Eqs. (4) to (7). If the speed goes up to 70 km/h, the sound power levels are reduced by 4.7 dB for the passenger cars and by 3.3 dB for the heavy trucks compared to those of the dense graded pavement. Then the noise reduction effect at the source will increase. We have found the third method, which takes into consideration the acoustic characteristics of the drainage asphalt pavement at the sound source and in the course of propagation, gives the most accurate prediction of sound pressure levels for the drainage asphalt pavement. Although we substituted the flow resistivity value derived from the experiment on the drainage pavement at PWRI for that of the pavement for which the sound pressure levels were calculated, this is not considered to undermine the applicability of the third method since both of the pavement specifications are identical and both of the pavement surfaces were well maintained.

6. CONCLUSIONS

We carried out the site measurements of the vehicle noise on the drainage asphalt pavement and the speaker sound propagation experiments on the drainage pavement. The results of the measurements and the experiments have given us the acoustic characteristics of the drainage pavement at the sound source and in the course of propagation. Taking into account the acoustic characteristics, we have proposed the calculation method for the noise reduction effect of the drainage pavement on a basis of the A method of ASJ Model-1993. The following findings have been derived through the measurements and experiments above, and their analyses.

a. The equations for the relationship between the sound power level and the speed of the vehicles running on the drainage asphalt pavement, which has been open to traffic for a year, have been derived (see Eqs. (4) and (5)). The sound power level of the drainage pavement is smaller than that of the dense graded asphalt pavement by 2.7–4.7 dB for the passenger cars and by 0–3.3 dB for the heavy trucks in the speed range of 30–70 km/h.
b. The excess attenuation emerges during the sound propagation on the drainage pavement when the propagation distance exceeds 5 m, and it is about 2 to 3 dB.
c. The flow resistivity of the drainage pavement has been derived through comparison of the unit pattern given by the speaker sound propagation experiments on the drainage pavement and calculated ones, and its value is 1,250 kPa s/m^2. The value itself is the same as one proposed for the representative bear ground by Isei, and Takagi *et al.* In addition, the flow resistivity of the dense graded asphalt pavement has also been derived in the same manner as mentioned above, and its value is 20,000 kPa s/m^2. This is identical with what Isei proposed for the dense graded pavement.
d. We have obtained the normal incidence absorption coefficient of the drainage pavement through the acoustic experiments by the tube method. The coefficient has a high peak of 0.8 in the frequency range of 600 Hz. This shows the absorption characteristics of resonator type. On the other hand, as to the normalized acoustic impedance, its magnitude is much smaller than that of the dense graded pavement throughout all the frequency range. Its phase is about 60 degrees from 700 to 1,200 Hz, about minus 60 degrees at a frequency of 300 Hz and below, and zero degree at 500 Hz, where the absorption coefficient shows the peak value.
e. In view of the aforementioned, we can calculate the sound pressure level along the roads of drainage asphalt pavement on a basis of the A method of ASJ Model-1993 taking into consideration the sound power levels and the flow resistivity of the drainage pavement. This calculation method has been verified by the sound pressure levels actually measured near the road paved by the drainage pavement.

The drainage asphalt pavement generates the noise reduction effect with its pores inside. The findings stated above are related to the drainage pavement, which has been open to traffic for a year and has the enough noise reduction effect because its pores have not been clogged so much. It is well known that the drainage pavement gradually loses its noise reduction effect as time passes. We are required to clarify how much a pore ratio of the drainage pavement decreases chronologically and to what extent the decrease influences the acoustic

characteristics of the drainage pavement at the sound source and in the course of propagation. Once we know a change of the acoustic characteristics of the drainage pavement corresponding to its pore condition, we will be able to calculate the noise reduction effect of the drainage pavement applying the calculation method proposed herein.

REFERENCES

1) Japan Road Association, "Manual for asphalt pavement," Dec. (1992) (in Japanese).
2) Japan Road Association, "Technical guidelines of drainage asphalt pavement," Nov. (1996) (in Japanese).
3) K. Takashima, H. Ohnishi, S. Meiarashi, T. Ikeda, K. Kubo, and Y. Nanri, "General guidance of low-noise pavements," Construction Prices Research Association, Dec. (1996) (in Japanese).
4) K. Ishii, "Study on prediction method of road traffic noise (No. 1)—Practical calculation function—," J. Acoust. Soc. Jpn. (J) 31, 507-517 (1975) (in Japanese).
5) H. Tachibana and M. Sasaki, "Outline of the energy-base prediction method of road traffic noise from general types of roads," J. Acoust. Soc. Jpn. (J) 50, 229-232 (1994) (in Japanese).
6) Y. Oshino, "Prediction model for sound power level of running vehicle," Proc. 4 Semin. Acoust. Technol. by Acoust. Soc. Jpn., 11-22 (1995) (in Japanese).
7) K. Uesaka, H. Ohnishi, and T. Nasu, "Sound power level of automobiles running on roads," Proc. Spring Meet. Acoust. Soc. Jpn., 829-830 (1997) (in Japanese).
8) T. Sone, S. Kono, and T. Iwase, "Power levels and their spectra of automobile noise," J. Acoust. Soc. Jpn. (J) 50, 233-239 (1994) (in Japanese).
9) K. Takagi, K. Yamamoto, and K. Yoshihisa, "Calculation of sound propagation from roads," J. Acoust. Soc. Jpn. (J) 50, 240-249 (1994) (in Japanese).
10) Y. Miki, "Acoustical properties of porous materials —Modification of Delany-Bazley models," J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 11, 19-24 (1990).
11) T. Isei, "Effect of ground surface on noise propagation outdoors," J. Acoust. Soc. Jpn. (J) 38, 270-276 (1982) (in Japanese).

J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 20, 1 (1999)

I－2 Investigation into road vehicle noise reduction by drainage asphalt pavement

Yasuo Oshino,* Tetsuo Mikami,* Hirofumi Ohnishi,** and Hideki Tachibana***

*Japan Automobile Research Institute, 2530, Karima, Tsukuba, 305-0822 Japan
**Public Works Research Institute, 1, Asahi, Tsukuba, 305-0804 Japan
***Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 7-22-1, Roppongi, Minato-ku, Tokyo, 106-0032 Japan

(Received 25 July 1998)

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 and this effect depends on the vehicle type. 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.

Keywords: Road vehicle noise, Drainage asphalt pavement, Prediction model, Sound propagation, Excess reduction

PACS number: 43. 50. Lj

1. INTRODUCTION

Recently, it has been known that drainage asphalt pavement is effective for the reduction of road traffic noise and this type of road surface treatment is often applied to highways and roadways. Regarding this acoustic performance, a lot of researches have been made until now and acoustic characteristics of the pavement and sound propagation property on it have been clarified to some extent.[1-5] However, in order to establish a precise prediction model for road vehicle noise propagation on drainage asphalt pavement, further examinations are necessary to know the acoustic phenomena in the vicinity of the noise source in detail. In this study, these points have been investigated by the field experiments using an artificial sound source and two types of road vehicles. From the results of these experimental investigations, a calculation model for the noise propagation from a road vehicle on drainage asphalt pavement has been proposed.

2. EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS

2.1 Conditions of the Field Experiments

The field experiments were carried out at the test track of Public Works Research Institute. The road surface of the test track is paved with various types of surface treatments. Among them, three kinds of pavements were chosen for the experiment. Table 1 shows the data of their composite (the maximum chipping size of aggregate, void content and thickness of the pavements). Figure 1 shows

Table 1 Test road surfaces.

Test road	Maximum chipping size (mm)	Void content (%)	Thickness (cm)
Dense asphalt pavement	13	5	5
Drainage asphalt pavement A	10	20	5
Drainage asphalt pavement B	20	20	5

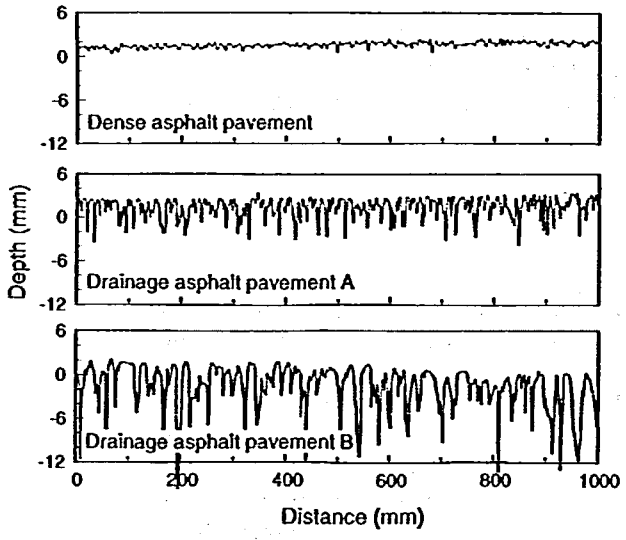


Fig. 1 Macrotexture of the test road surfaces.

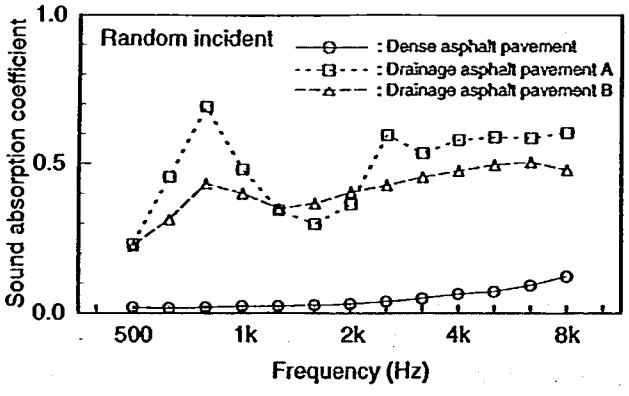


Fig. 2 Sound absorption characteristics of the test road surfaces.

the macrotexture of each pavement measured using a laser profilometer, in which it can be seen that the profile of the drainage asphalt pavement much varies with the difference of chipping size.

Figure 2 shows the sound absorption coefficient of each pavement measured using a reverberation chamber of 1.65 m^3 air volume. The absorption coefficient of the dense asphalt pavement is less than 0.2 in the frequency range from 500 Hz to 8 kHz, whereas in the case of the two drainage asphalt

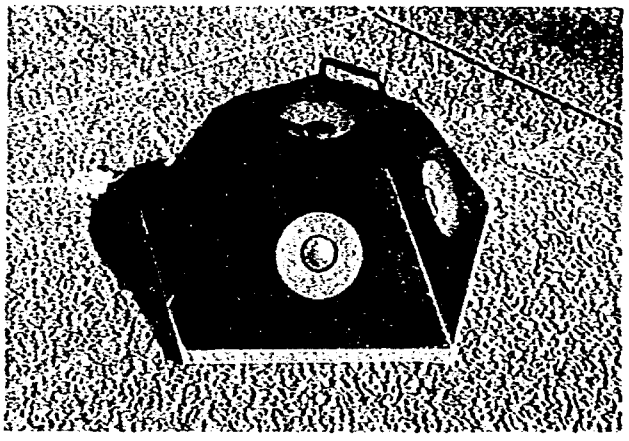


Fig. 3 Hexagonal loudspeaker.

pavements, the coefficient peaks in the frequency range from 500 Hz to 1 kHz. The peak value is about 0.7 for the drainage asphalt pavement A and about 0.4 for the drainage asphalt pavement B. In the frequency range above 2 kHz, a tendency that the absorption coefficient gradually increases is seen in both cases.

2.2 Experiment Using an Artificial Sound Source

Road vehicles have almost all dominant noise sources under their body and therefore it is necessary to examine the sound propagation from the lower part of a vehicle including the shielding effect and multiple reflection between the body and the road surface. In order to investigate these problems, an omnidirectional sound source (a hexagonal loudspeaker of 40 cm in diameter) shown in Fig. 3 was placed at the positions of engine and tire under the test vehicle and the sound pressure level (S.P.L.) was measured around the vehicle. Based on the results of our previous experiments,[6] the main source positions of a vehicle were assumed to be on the road surface just under the engine and near the contact patch of each tire. In this experiment, two types of road vehicles, a passenger car (2,000 cc engine swept volume) and a heavy truck (8 ton gross vehicle

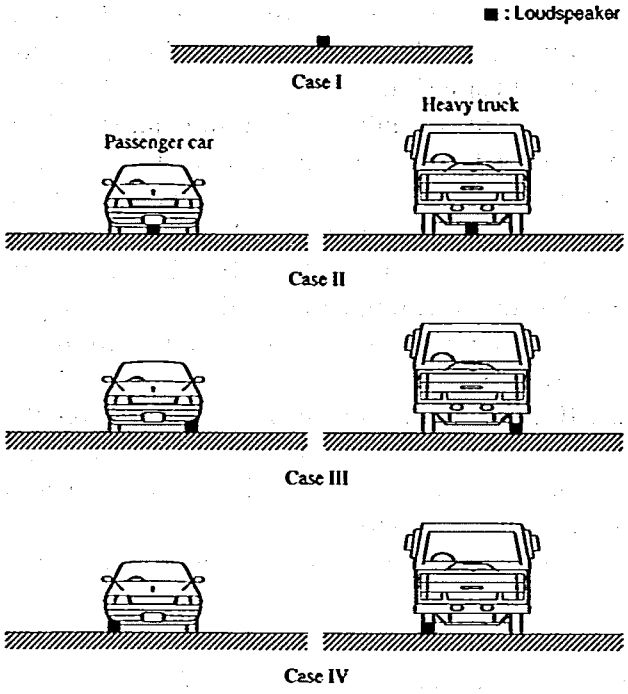


Fig. 4 Positions of the loudspeaker.

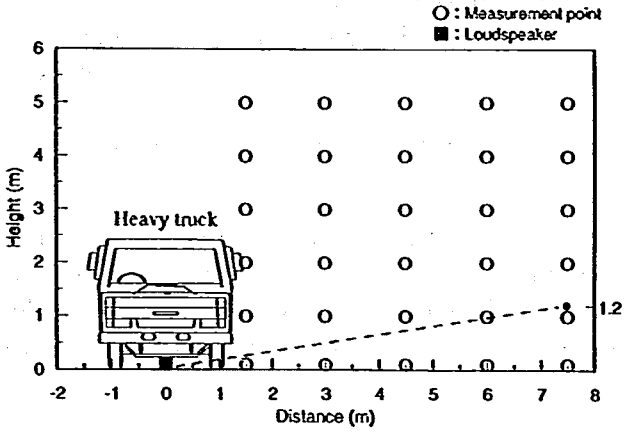
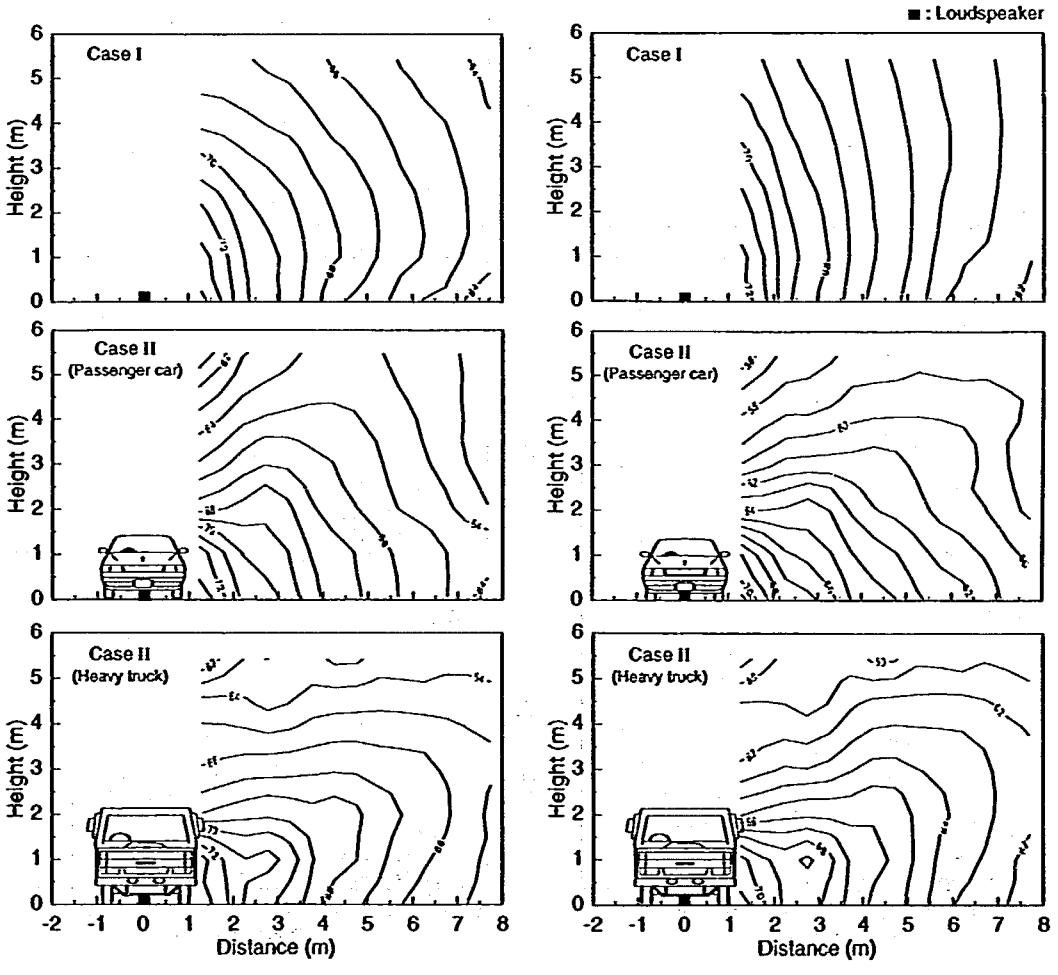


Fig. 5 Measurement points of sound pressure level.



(a) Dense asphalt pavement (b) Drainage asphalt pavement A

Fig. 6 S.P.L. contour maps in 630 Hz band in cases I and II.

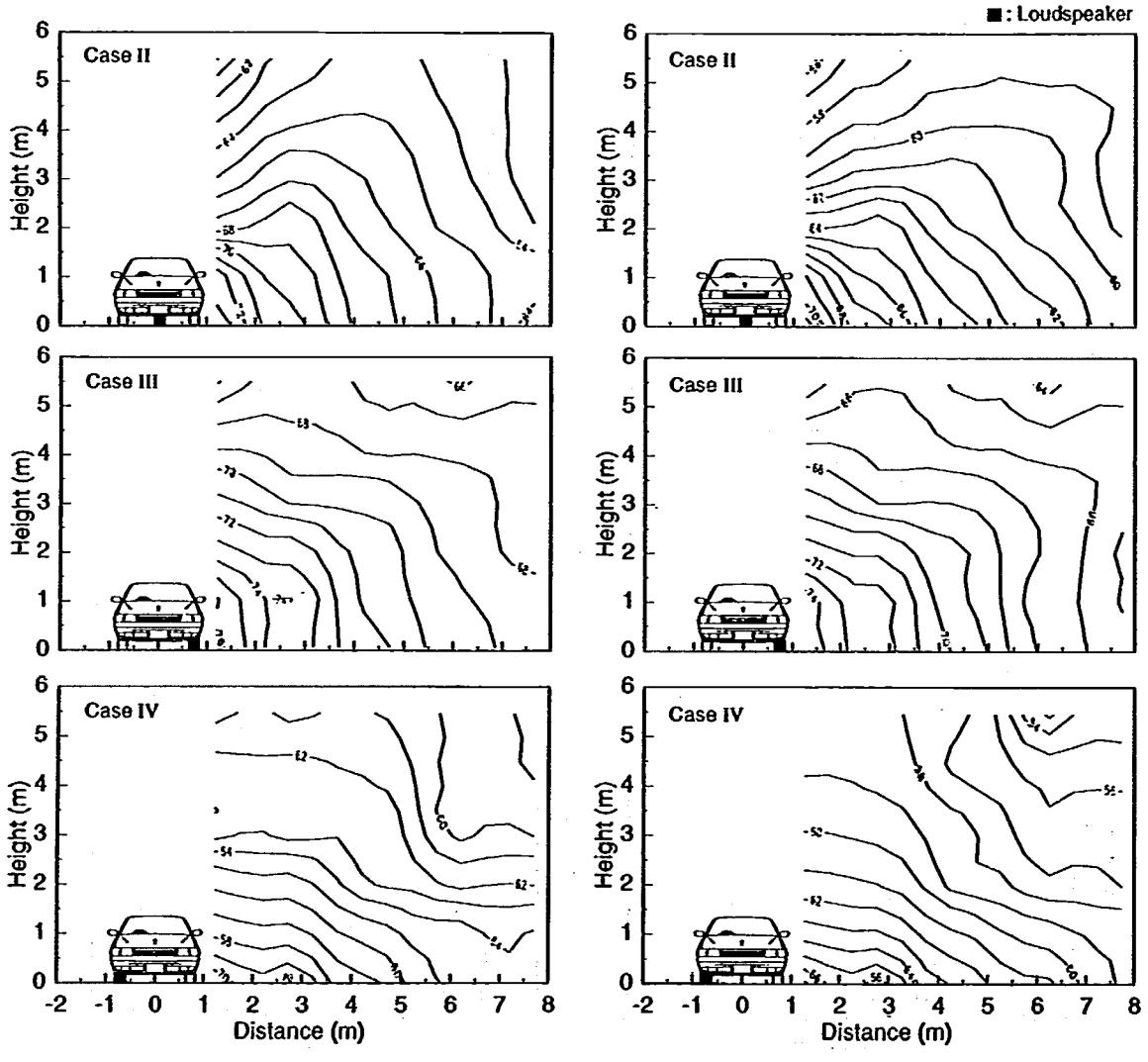
weight), were used to examine the effect of the difference of vehicle shape.

The measurements were carried out under the following sound source positions as shown in Fig. 4.

Case I : without the vehicle
Case II : under the engine of the test vehicle
Case III : near the contact patch of the left front tire
Case IV : near the contact patch of the right front tire

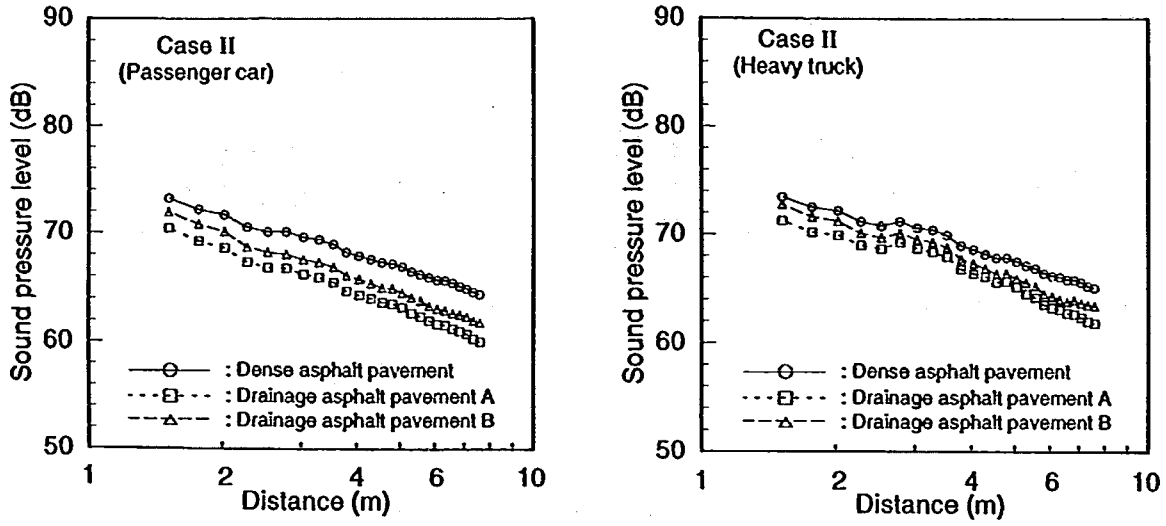
As shown in Fig. 5, the measurement of sound pressure level was made at 30 points in the vertical plane including the front axis of the test vehicle. From the measurement results around the test vehicle, S.P.L. contour maps were obtained. Figure 6 shows two examples of the measurement results for Case I and Case II in 1/3 octave band of 630 Hz, in which (a) and (b) indicate the results measured on the dense asphalt pavement and on the drainage asphalt pavement A, respectively. On both of the pavements, the contours are much different between the results for Case I and Case II. This fact indicates that the shielding effect by the vehicle body is very serious for the sound propagation from the sound source under the body. To see the results of Case II, the contours are much different between the results for the passenger car and the heavy truck. This fact indicates that the shielding effect depends on the shape of vehicle.

Figure 7 shows the S.P.L. contour maps around



(a) Dense asphalt pavement (b) Drainage asphalt pavement A

Fig. 7 S.P.L. contour maps in 630 Hz band in cases II, III and IV (passenger car).



(a) Passenger car (b) Heavy truck

Fig. 8 S.P.L. decrease in distance (630 Hz in 1/3 octave band).

the passenger car on the dense asphalt pavement (a) and the drainage asphalt pavement A (b), respectively. These results indicate that the shielding effect much differs by the difference of the position of the sound source. In these results, however, the patterns of S.P.L. contour map in each case of source position are very similar both on the dense asphalt pavement and on the drainage asphalt pavements. Therefore, in case of incorporating the shielding effect into the vehicle noise calculation model on drainage asphalt pavement, the vehicle noise directivity on dense asphalt pavement based on the results of our previous investigations can be used as the shielding effect.[7] In this paper, however, to construct the simple calculation model on drainage asphalt pavement, the shielding effect is not included in the consideration of the calculation model mentioned below.

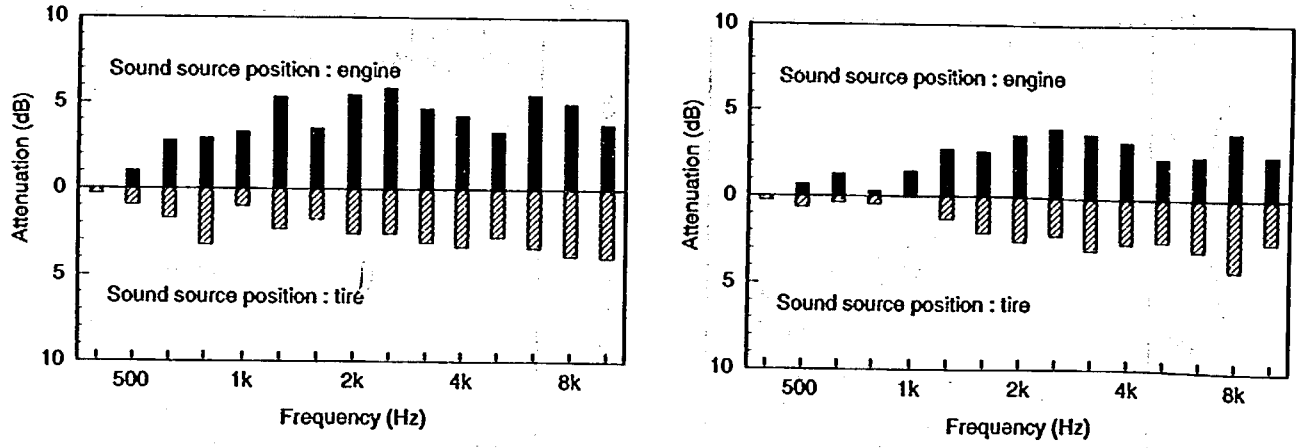
From the S.P.L. contour maps as shown in Fig. 6 and Fig. 7, the S.P.L. values on the straight line from the center point under the vehicle body to the point of 7.5 m and 1.2 m above the ground (see Fig. 5) were obtained by interpolation. Figure 8 shows two examples (cases of the passenger car and the heavy truck in Case II, 630 Hz in 1/3 octave band). In these results, it can be clearly seen that there are level differences between the results for the three types of pavements. To see the S.P.L. decrease in distance on each pavement, the slope of the S.P.L. decrease was examined. In case of passenger car, it is 4.0 dB/d.d. (double distance) for the dense asphalt pavement, 4.4 dB/d.d. for the drainage asphalt pavement A and 4.3 dB/d.d. for the drainage asphalt pavement B, respectively. Thus, the slopes are almost the same. These tendencies were found in all other cases. From these results, the following conditions were assumed.

1) The slope of S.P.L. decrease in distance on the two kinds of drainage asphalt pavements is equal to that on the dense asphalt pavement.
2) The differences between S.P.L. distributions on the drainage asphalt pavements and that on the dense asphalt pavement are caused by the sound absorption during the multiple reflection under the vehicle body.

Next, in order to see the extent of the effect of sound reduction due to sound absorption during the multiple reflection on the drainage asphalt pavements, the S.P.L. differences between on the dense asphalt pavement and on the two types of drainage asphalt pavements at a point of 1.5 m from the sound source were obtained from the results shown in Fig. 8. The results are shown in Fig. 9 (passenger car) and Fig. 10 (heavy truck). In this calculation for the sound propagation from the tire position, the energy-mean value of the results for Case III and Case IV was calculated for each pavement and S.P.L. differences were obtained by the same procedure.

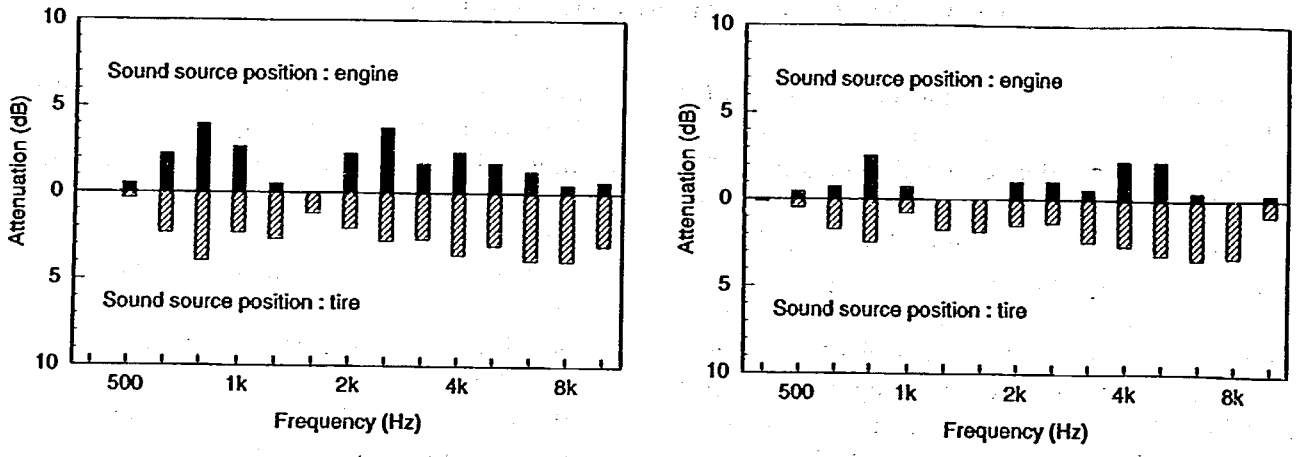
2.3 Vehicle Pass-by Tests

As the second field experiment, the tire/road noise generated when the test vehicles run on the three kinds of pavements was measured at the test track.



(a) On the drainage asphalt pavement A (b) On the drainage asphalt pavement B

Fig. 9 Attenuation due to sound absorption during multiple reflection (passenger car).



(a) On the drainage asphalt pavement A (b) On the drainage asphalt pavement B

Fig. 10 Attenuation due to sound absorption during multiple reflection (heavy truck).

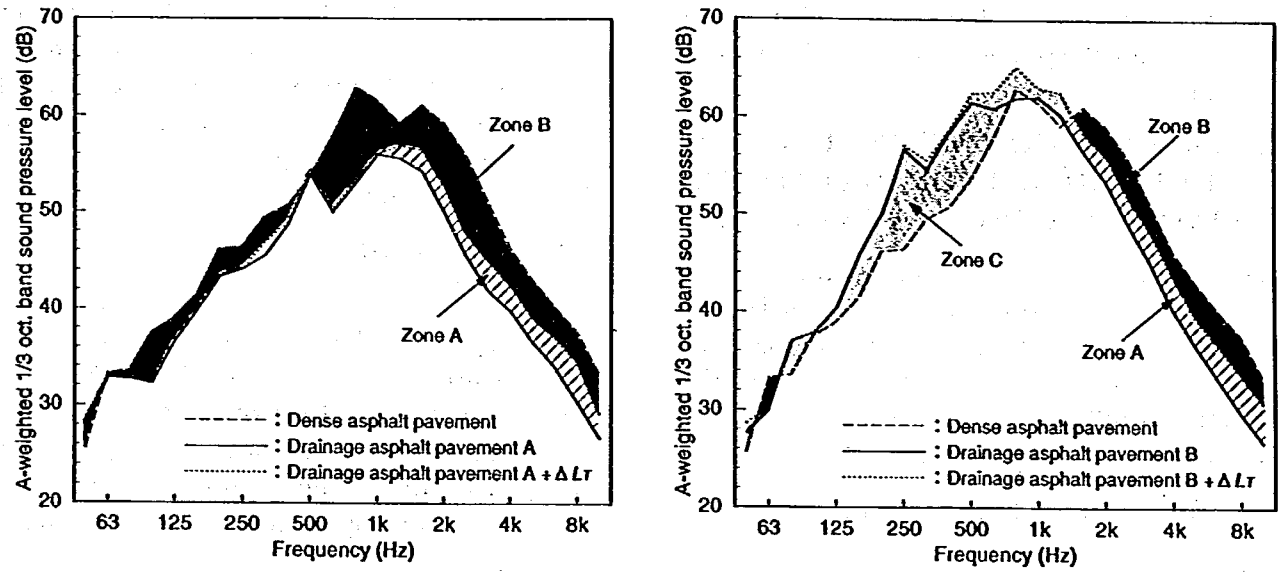
In this experiment, the value of FAST maximum S.P.L. was measured at a point 7.5 m apart from the running path and 1.2 m above the road surface when the test vehicle passed by under the condition of engine switched off (inertia running) and almost constant speed of 60 km/h.

The results for the passenger car and the heavy truck are shown in Fig. 11 and Fig. 12, respectively, in which the A-weighted values of S.P.L. in each 1/3 octave band are shown. In each figure, the solid line indicates the result obtained on each drainage asphalt pavement and the broken line indicates that on the dense asphalt pavement.

From these measurement results, the reduction of tire/road noise due to the porosity of the drainage asphalt pavement was estimated under the following assumptions.

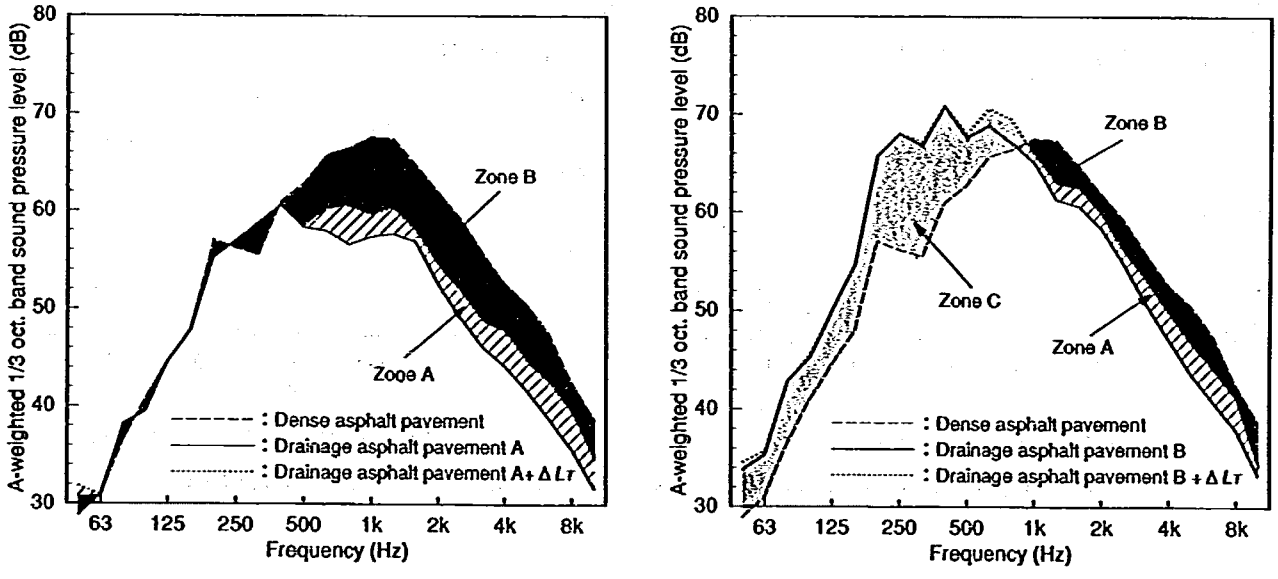
1) The effect of noise reduction by drainage asphalt pavement consists of the reduction of tire/road noise (the sound directly generated from the tire being excited by the road surface) and that caused by the sound absorption during the multiple reflection under the vehicle body.
2) The dense asphalt pavement has no effect of sound absorption and therefore there is no reduction by sound absorption during the multiple reflection under the vehicle body.

Then, the effect of reduction of tire/road noise due to sound absorption in each 1/3 octave band shown in Fig. 9 and Fig. 10 was added to the results measured on the drainage asphalt pavements A and B. The results are shown by the dotted line in Fig. 11 (the passenger car) and Fig. 12 (the heavy truck). In these figures, Zone A indicates the effect of sound reduction due to sound absorption. From these results, it can be considered that the difference



(a) On the drainage asphalt pavement A (b) On the drainage asphalt pavement B

Fig. 11 Frequency characteristics of tire/road noise and estimation of reduction of tire/road noise on the drainage asphalt pavements (passenger car, 60 km/h).



(a) On the drainage asphalt pavement A (b) On the drainage asphalt pavement B

Fig. 12 Frequency characteristics of tire/road noise and estimation of reduction of tire/road noise on the drainage asphalt pavements (heavy truck, 60 km/h).

between the broken line (the results measured on the dense asphalt pavement) and the dotted line corresponds to the reduction of tire/road noise due to the porosity of the drainage asphalt pavement under the assumption mentioned above. In case of the drainage asphalt pavement A shown in Fig. 11(a) and Fig. 12(a), the difference is positive (in Zone B) over a wide frequency range. In this case, the tire/road noise is reduced by the drainage asphalt pavement. On the other hand, in case of the drainage asphalt pavement B shown in Fig. 11(b) and Fig. 12(b), the difference is negative (in Zone C) in the frequency range up to 1.6 kHz or 800 Hz. In this case, the tire/road noise is increased on the drainage asphalt pavement, and this might be attributed to the fact that the chipping size of aggregate of this pavement

is larger than that of the drainage asphalt pavement A and therefore the power exciting the tire might be increased.

3. CALCULATION MODEL FOR THE VEHICLE NOISE PROPAGATION ON DRAINAGE ASPHALT PAVEMENT

Based on the results of the investigations mentioned above, a calculation model of vehicle noise propagation on drainage asphalt pavement was assumed by separating the engine noise and tire/road noise as follows.

Regarding the engine noise ;

$$L_{pE}(r)=L_{WE}-20\log r-8-\Delta L_E \qquad (1)$$

where,

$L_{pE}(r)$: S.P.L. by the engine noise at a point r(m) apart from the running path,

L_{WE} : sound power level of the engine noise measured on the dense asphalt pavement,

ΔL_E : excess attenuation for engine noise due to sound absorption during the multiple reflection under the vehicle body on the drainage asphalt pavement.

Regarding the tire/road noise ;

$$L_{pT}(r)=L_{WT}-\Delta L_{WT}-20\log r-8-\Delta L_T \qquad (2)$$

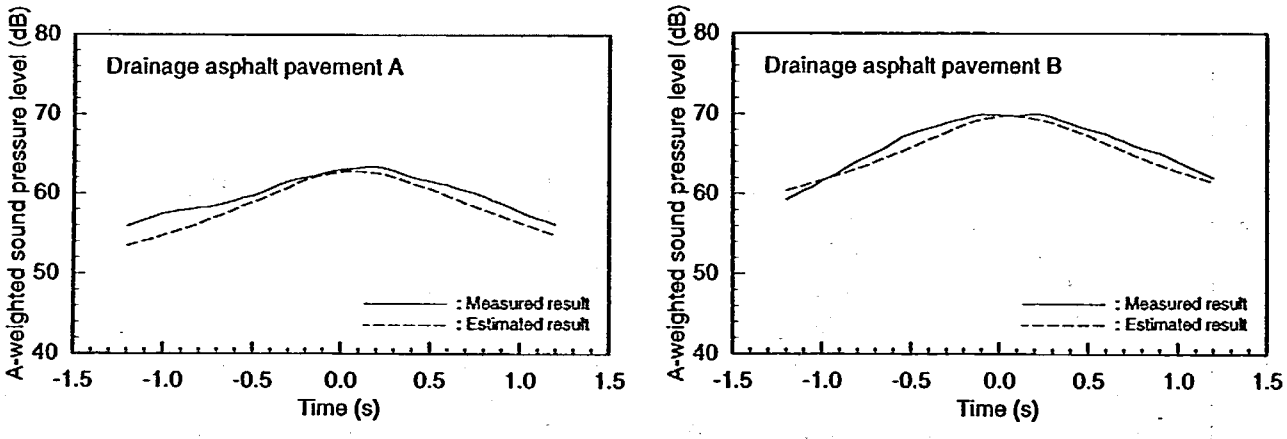
where,

$L_{pT}(r)$: S.P.L. by the tire/road noise at a point r(m) apart from the running path,

L_{WT} : sound power level of the tire/road noise measured on the dense asphalt pavement,

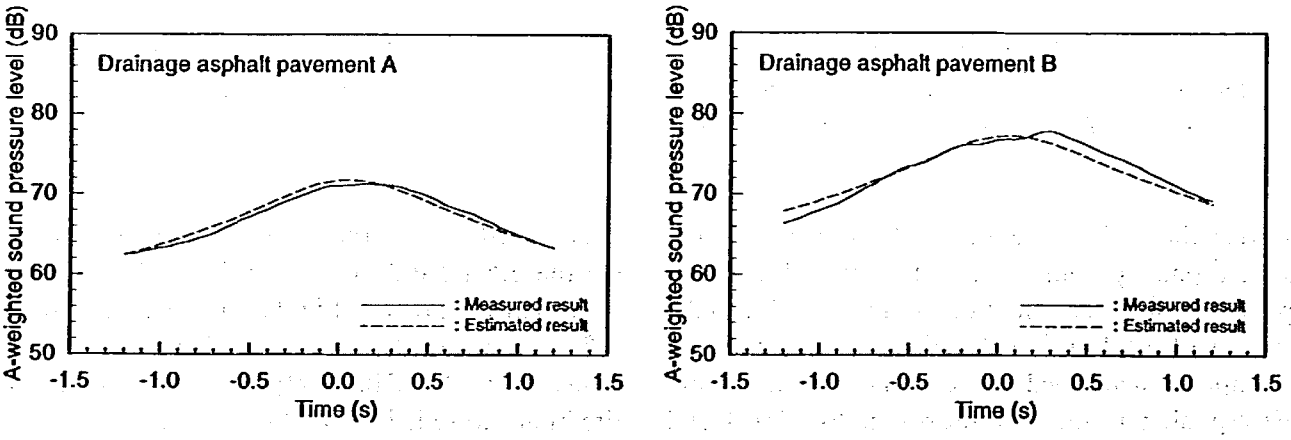
ΔL_{WT} : reduction of sound power level of the tire/road noise by the effect of drainage asphalt pavement,

ΔL_T : excess attenuation for tire/road noise due to sound absorption during the multiple reflection under the vehicle body on the



(a) On the drainage asphalt pavement A (b) On the drainage asphalt pavement B

Fig. 13 Measured and estimated results of pass-by noise (passenger car, 60 km/h).



(a) On the drainage asphalt pavement A (b) On the drainage asphalt pavement B

Fig. 14 Measured and estimated results of pass-by noise (heavy truck, 60 km/h).

drainage asphalt pavement.

In these equations, L_{WE} and L_{WT} are measured on the dense asphalt pavement. That is, L_{WT} is obtained by the pass-by test under the condition of engine switched off and L_{WE} is obtained by subtracting the value of L_{WT} from the sound power level of total noise measured under the running condition of engine switched on.

The S.P.L. of the total noise from a vehicle under stationary running condition $L_p(r)$ is calculated as follows under the assumption that vehicle noise consists of engine noise and tire/road noise.

$$L_p(r)=10\log(10^{L_{PE}(r)/10}+10^{L_{PT}(r)/10}) \qquad (3)$$

In order to confirm the validity of the calculation model mentioned above, the values of S.P.L. on the two types of drainage asphalt pavements at a point of 7.5 m from the running path and 1.2 m above the road surface calculated by the model and those actually measured were compared. The results for the passenger car and the heavy truck are shown in the form of time history of pass-by noise (unit pattern) in Fig. 13 (the passenger car) and Fig. 14 (the heavy truck), respectively. In these figures, it can be seen that the calculated and measured unit patterns are fairly in good agreement in almost all cases.

In order to estimate the change of vehicle noise due to the difference of such road surface characteristics as chipping size of aggregate, void content and thickness of the pavement, it is necessary to make further experimental studies and improve the calculation model.

4. CONCLUSIONS

In order to investigate the noise propagation from road vehicles on drainage asphalt pavement, field experiments using an artificial sound source and two types of vehicles were performed on a dense asphalt pavement and two kinds of drainage asphalt pavements. Based on the results obtained in these experiments, a calculation model for the vehicle noise propagation on drainage asphalt pavement was considered. From these results, the following conclusions have been obtained.

1) The S.P.L. distribution around a vehicle is much different between a passenger car and a heavy truck due to the difference of vehicle shape.
2) The rate of S.P.L. decrease in distance can be considered equal both on the dense asphalt pavement and on the drainage asphalt pavement.
3) The reduction of engine noise on the drainage asphalt pavement can be attributed to the sound absorption during the multiple reflection under the vehicle body.
4) The reduction of tire/road noise on the drainage asphalt pavement can be divided into two factors; one is the reduction of noise radiation itself due to the porosity of drainage asphalt surface and the other is the sound absorption during the multiple reflection under the vehicle body similar as in case of engine noise.
5) The calculation model assumed based on the findings mentioned above is proper for the prediction of vehicle noise propagation on drainage asphalt pavement.

This study was performed only on two kinds of drainage asphalt pavements and hence the exact effects of sound absorption and reduction of tire/road noise on each drainage asphalt pavement have to be examined for each case. The reduction of tire/road noise was examined only for the running condition of 60 km/h in this study and it should be examined under different running speed condition.

REFERENCES

1) A. von Meier, "Acoustically optimized porous road surfaces — Recent experiences and new developments —," Proc. Inter-Noise 88, 1323-1326 (1988).
2) J. F. Hamet, M. Berengier, and M. Jacques, "Acoustic performances of pervious surfaces," Proc. Int. Tire/road Noise Conf. 1990, 345-357 (1990).
3) W. Lauriks, E. Schoubs, G. J. Hufken, and J. Thoen, "Sound absorption properties of porous concrete," Proc. Inter-Noise 93, 1691-1694 (1993).
4) T. Iwase and R. Kawabata, "Estimation of sound propagation on porous asphalt. Part 2 — On assumption of distributing sound source in height and width —," Proc. Spring Meet. Acoust. Soc. Jpn, 721-722 (1998) (in Japanese).
5) M. Yamaguchi and H. Nakagawa, "Acoustic characteristics of a wide variety of porous materials — (17th Report) Mechanism of sound absorption of the porous asphalt pavement. 4th —," Proc. Spring Meet. Acoust. Soc. Jpn., 719-720 (1998) (in Japanese).
6) H. Tachibana and Y. Oshino, "Sound intensity radiation patterns of actually running automobiles," Proc. Inter-Noise 92, 849-852 (1992).
7) K.Tsukui, Y.Oshino, and H. Tachibana, "Simulation model for road traffic noise taking account of vehicle noise directivity," J. INCE/J 22(2), 108-116 (1998) (in Japanese).



Yasuo Oshino was born on May. 6, 1948 in Ibaraki, Japan. Graduated from Science University of Tokyo in 1972, and received Engineering Doctor from University of Tokyo in 1993. Project Director of Dynamics Research Division, Japan Automobile Research Institute (JARI). Received the Prizes of Society of Automobile Engineering of Japan for Research Theses in 1987 and 1990.



Tetsuo Mikami was born on Feb. 21, 1957 in Hokkaido, Japan. Graduated from University of Hokkaido in 1979, and received Master's degree from University of Hokkaido in 1981. Senior researcher of Dynamics Research Division, Japan Automobile Research Institute (JARI).



Hirofumi Ohnishi was born on Aug. 19, 1953 in Osaka, Japan. Graduated from Kyoto University in 1976, and received Master's degree from Kyoto University in 1978. Head of Traffic Environment Division, Public Works Research Institute, Ministry of Construction.



Hideki Tachibana was born on Aug. 23, 1943 in Tokyo, Japan. Graduated from Tokyo University in 1967, and received Engineering Doctor from University of Tokyo. Professor of Institute of Industrial Science, University of Tokyo. Head of Applied Acoustic Engineering Laboratory. President of the Acoustical Society of Japan from 1995 to 1997. Received the Prize of Architectural Institute of Japan for Research Thesis in 1990 and the Sato Prize from the Acoustical Society of Japan in 1992.

I－3 Development of the Noise Barrier Using Active Controlled Acoustical Soft Edge - Phase 1: Basic Concept -

Keizo OHNISHI, Masaharu NISHIMURA [1]
Hirofumi OHNISHI, Katsumi UESAKA [2]

[1] Mitsubishi Heavy Industries Ltd., Takasago R&D Center, Takasago, Hyogo, Japan
[2] Ministry of Construction, Public Works Research Institute, Tsukuba, Ibaraki, Japan

1. INTRODUCTION

Recently there are great needs to reduce the community noise from 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) By installing sound absorptive materials on the barrier edge[2)]
(3) By installing acoustical 'soft' condition on the barrier edge[3)]

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[4)] used the surface of the 1/4-wavelength long acoustical tube as acoustical 'soft' condition (sound pressure reflection coefficient = -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 sound. ASE has compact size, is controlled surface sound pressure reflection coefficient as -1 in the wide frequency range using active noise control technology. We will show the basic concept of it and the simulation results of several ASE devices installing patterns on the barrier edge. We also refer a way of designing the sound pressure reflection coefficient at the surface of ASE combined with passive control methods like absorptive materials.

2. BASIC CONCEPT

The construction 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 components; a microphone, an actuator, an enclosure and surface material. The ASE controller consists of the components; a microphone amplifier, a controller and a power amplifier.

The specific acoustic impedance ratio ζ_f at the surface material of ASE and

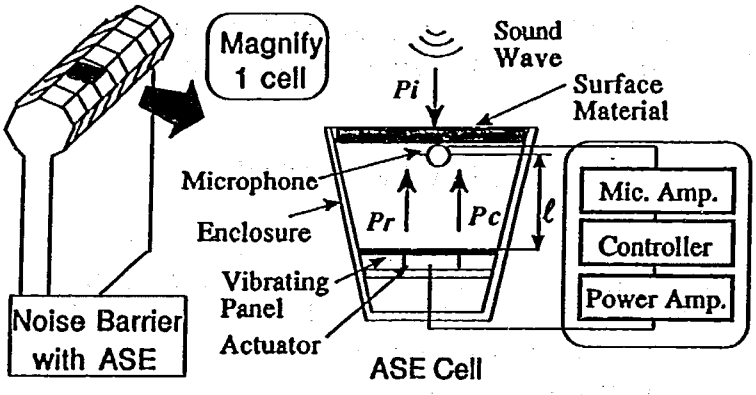


Fig.1 Composition of the Active Soft Edge

sound pressure reflection coefficient r are given by following equations[5]; where R_f is flow resistance of the surface material, ℓ is the distance from the

$$\zeta_f = \frac{R_f}{\rho c} - \frac{1}{G - i(1-G)\tan k\ell} \tag{1}$$

$$r = \frac{\zeta_f - 1}{\zeta_f + 1} \tag{2}$$

microphone to the vibrating panel, G is the loop gain of the ASE control system, k is wave number and ρc is the specific acoustic impedance of acoustic medium. When $|G| \to \infty$ and R_f has very small number, Equation (1) becomes; Using Equation (2) and (3), we get Equation (4); the surface sound pressure

$$\zeta_f = 0 \tag{3}$$

reflection coefficient is -1.
Plural ASE devices are installed around the edge of the noise barrier and each

$$r = -1 \tag{4}$$

ASE cell is controlled individually. 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. This concept can be realized, for instance, using the methods suggested by Nishimura et al[5].

3. SIMULATION OF SEVERAL INSTALLING PATTERNS ON BARRIER EDGE

Several ASE devices installing patterns 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 2. We set a point noise source, 2000mm height barrier and receiving points in the BEM simulation. The ASE installing patterns on the edge of the barrier were shown in Figure 3. Each pattern has the same height to the top of the barrier edge. The thick solid lines in Figure 3 mean the locations of changing boundary conditions (e.g. place where ASE device installed, rigid surface or absorptive) Calculation frequencies were 1/3 octave-band center frequency 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) [Shape effect]

The calculation results (noise source position A, at 250Hz) are shown in Figure 4. The results are sound pressure level attenuations against "Shape 1-0(normal barrier, rigid)" averaged at the black square receiving points in Figure 2. We picked up top 5 cases of ASE attenuation amount.
Sound attenuations by ASE against Shape 1-0 were superior to "Perfect Absorption" or "Shape Effect" in all cases in Figure 4. The maximum ASE attenuation was obtained by Shape 3-1. Nevertheless, Shape 3-1 is afraid to exceed the road construction limit. Other 4 cases (Shape 2-2, 5-1, 5-2, 6-2) have ASE attenuation 11 to 12 dB alike. In these 4 cases, Shape 6-2 has largest ASE attenuation performance per unit length of ASE boundary corresponded to the number of ASE cells in the cross section of the barrier. Therefore Shape 6-2 can reduce cost of ASE per cross section of the barrier. For Shape 6-2, we calculated for another noise source position. The results (noise source position B, at 250Hz) are shown in Figure 5. ASE attenuation against Shape 1-0 is 5dB, still superior to "Perfect Absorption" by 3dB.

4. DESIGN SOUND PRESSURE REFLECTION COEF. AT ASE SURFACE

If we apply ASE for higher frequency noise, we should make ASE cell smaller; it means a lot of ASE cells are needed, and the countermeasure cost will be raised. Considering the cost performance of countermeasure for noise reduction, it is better to apply passive control method for higher frequency. A way of designing the sound pressure reflection coefficient at the surface of ASE combined with passive control methods is shown in Figure 6. The lower and the upper ASE control frequency range are f_1, f_2. These are related to the noise spectrum pattern at receiving points. The lower frequency f_1 is also related to the performance of the actuator; may be 100 to 200Hz for ordinary traffic noise. The upper frequency f_2 is also related to the size of ASE cells and the performance of the controller; may be 500 to 1kHz for ordinary traffic noise. In the frequency range over f_2, the passive control method like absorptive materials will be applied.
In case drainage surface is installed on the road, the dominant frequency of diffracted noise after the noise barrier will be shifted to lower frequency under about 500Hz. Absorptive noise barrier is not effective in that frequency range. ASE will be effective particularly in lower frequency range like it.

5. CONCLUSION

ASE, the new type noise barrier with the active controlled device on the edge of it, has been studied. The device is controlled the surface sound pressure reflection coefficient to be -1 with wide frequency range.
We showed the basic concept, the results of the simulation comparing absorptive noise barrier and cost effective installing patterns of ASE devices on the edge of the noise barrier. In the simulation, the attenuation of ASE was proved to be 3 to 5dB superior to absorptive one.

REFERENCES

1) May et al, Highway Noise Barriers: New Shapes, J. of Sound and Vibration, 71(1), 1980
2) Fujiwara et al, Sound Diffraction by a Barrier with Cylindrical Edge, Proc. of the Institute of Noise Control Eng. of Japan, 1976/12
3) 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, 1989/5
4) Fujiwara et al, Noise Barriers with Reactive Surfaces, Proc. of Internoise '96, 1996/8
5) Nishimura et al, Development of Active Acoustic Treatment(Phase1), Proc. of Active '97, 1997/8.

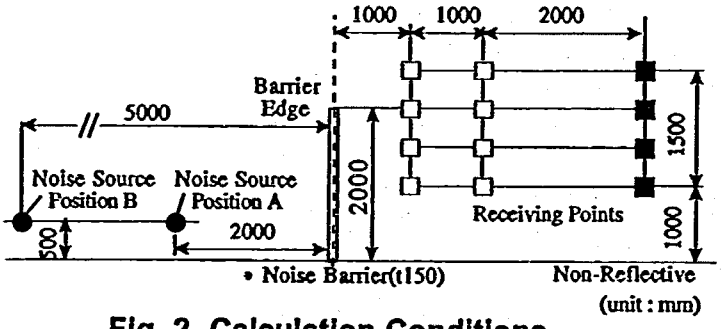


Fig. 2 Calculation Conditions

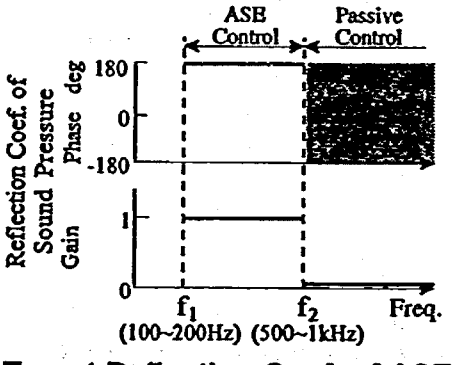


Fig. 6 Target Reflection Coef. of ASE

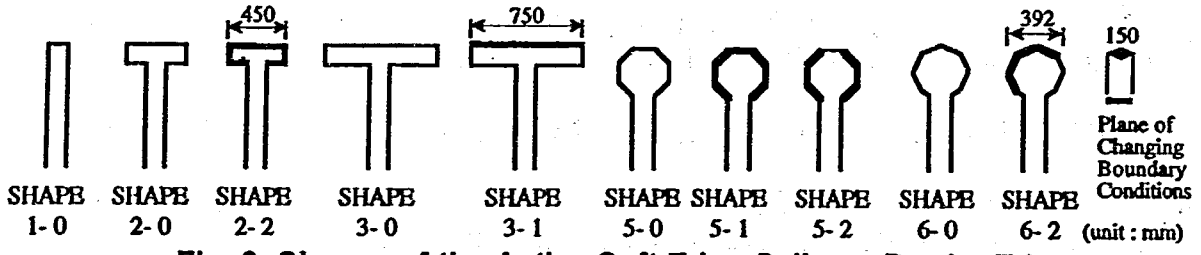


Fig. 3 Shapes of the Active Soft Edge Cells on Barrier Edge

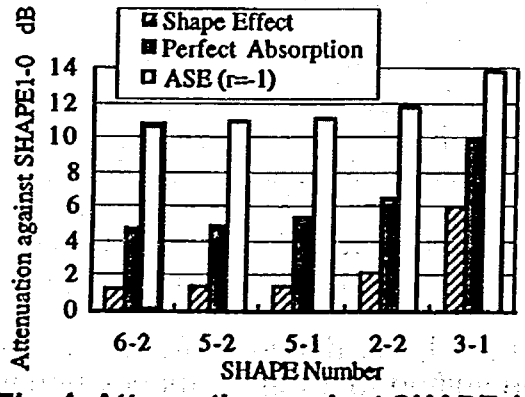


Fig. 4 Attenuation against SHAPE 1-0 (Noise Source Position A : 250Hz)

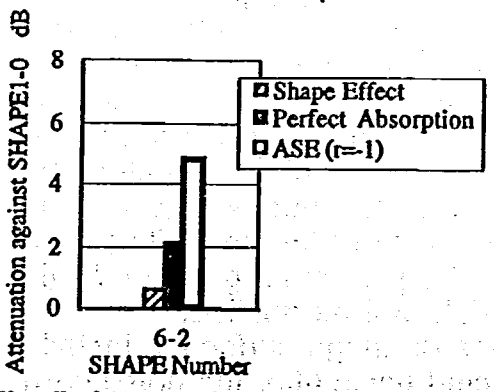


Fig. 5 Attenuation against SHAPE 1-0 (Noise Source Position B : 250Hz)

I – 4

CHANGE IN NOISE REDUCTION EFFECT OF DRAINAGE ASPHALT PAVEMENT

H. Ohnishi [1], Y. Nanri [2], K. Takagi [3] and K. Ishikawa [4]

[1] Public Works Research Institute, Ministry of Construction
1, Asahi, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0804 Japan
[2] Central Consultants Corp.
2-16-2, Minami-kamata, Ota-ku, Tokyo, 144-0035 Japan
[3] Environmental Engineering, Kyoto University
Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto-shi, 606-8501 Japan
[4] Oriental Consultants Corp.,
3-5-7, Hisamoto, Takatsu-ku, Kawasaki-shi, 213-0011 Japan

1. INTRODUCTION

It is well known that the drainage asphalt pavement possesses a reduction effect on vehicle noise, tire/road noise at a source as well as the total vehicle noise during propagation, due to its consecutive pores. However the effect decreases as time passes, because the pore ratio becomes smaller. One of its issues to be solved is how to improve sustainability of its noise reduction effect. For this purpose we need to know how much the initial effect is and how long the effect lasts. In this paper we report results of the measurements and analyses of vehicle noise on the drainage asphalt pavements.

2. EXPERIMENTS

We measured pass-by vehicle noise near actual roads of drainage asphalt pavements, which had been constructed in different years, in order to know their noise reduction effects and how it changes. The selected drainage asphalt pavements have the same specification but were laid in the different years, about one to five years earlier. The main specification of the pavements is as follows: about 20 percent of pore ratio; 5 cm of surface course; and 5 to 13 mm of coarse aggregate size. The measurements were carried out in five open and plain sites and there were no acoustically reflective objects in their vicinity. A microphone was placed 7.5 meters away from the center of the outer lane and 1.2 m above the ground surface. Traffic volume and vehicle speed were

measured by category, passenger cars, small trucks and heavy trucks, at the same time.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Noise reduction effect of drainage asphalt pavement

We have obtained sound power levels of vehicles from pass-by noise measured for each vehicle separately running on the drainage pavements above. Figures 1 and 2 show the relationships between the sound power level and the speed for the drainage pavements, which are about one and four years old respectively, and the dense graded pavement (1). The regressional functions of the sound power level and the vehicle speed are indicated for the both types of pavements in the Figures. We can see the noise reduction effect of the drainage pavement, which is about one year old, in Figure 1. The sound power levels of vehicles on the drainage pavement of one year age are smaller than those on the dense graded pavement by 2.7-4.7 dB for the passenger cars and by 0.0-3.3 dB for the heavy trucks in the speed range of 30-70 km/hr. It is also observed that the sound power levels of the heavy trucks are less dependent on the speed than those of the passenger cars.

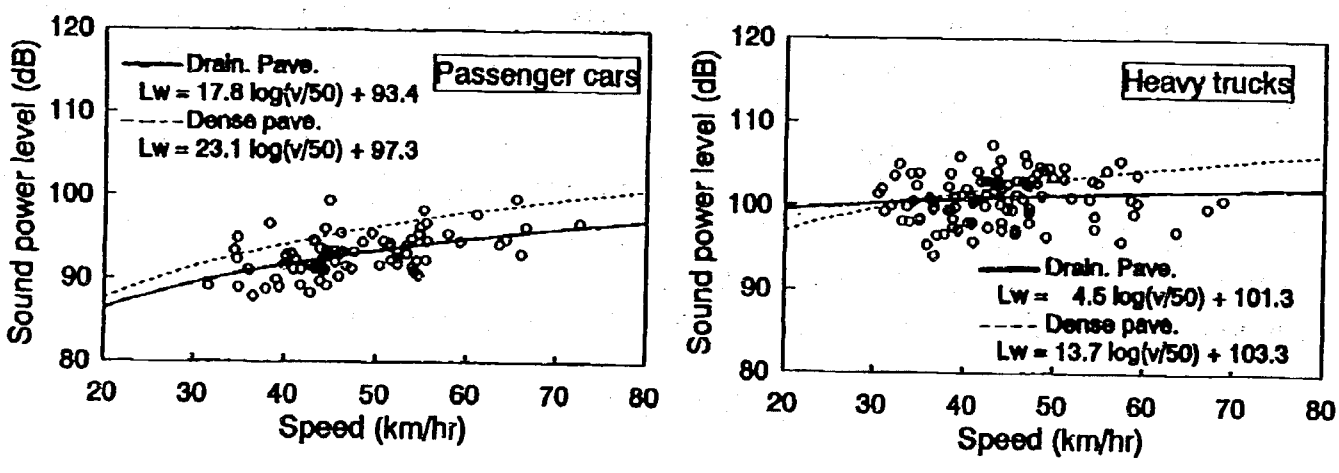


Figure 1 Relationship between sound power level and vehicle speed for drainage asphalt pavement of one year age

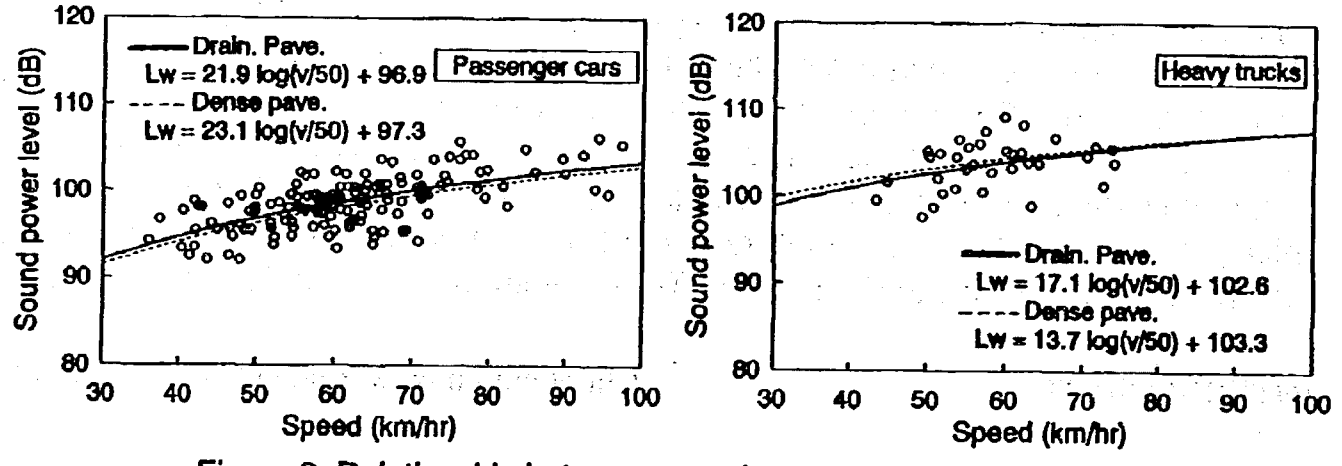


Figure 2 Relationship between sound power level and vehicle speed for drainage asphalt pavement of four years age

Nevertheless Figure 2 shows that the drainage pavement and the dense graded pavement have almost the same sound power levels for both the passenger cars and the heavy trucks. This means that the drainage pavement of four years age has almost lost a noise reduction effect. Furthermore, the sound power levels of vehicles on the drainage pavement of five years age are higher than those on the dense graded pavement for the both types of vehicles. This is partly because the traffic volume is very heavy on this road.

Change in noise reduction effect

We can see a chronological change in the sound power levels of vehicles on the drainage pavement and the dense graded pavement at a speed of 50 km/hr in Figure 3. The sound power levels on the drainage pavement are initially smaller than those on the dense graded pavement for the passenger cars and the heavy trucks; and however the difference gradually decreases and becomes nil about four years after construction of the pavement.

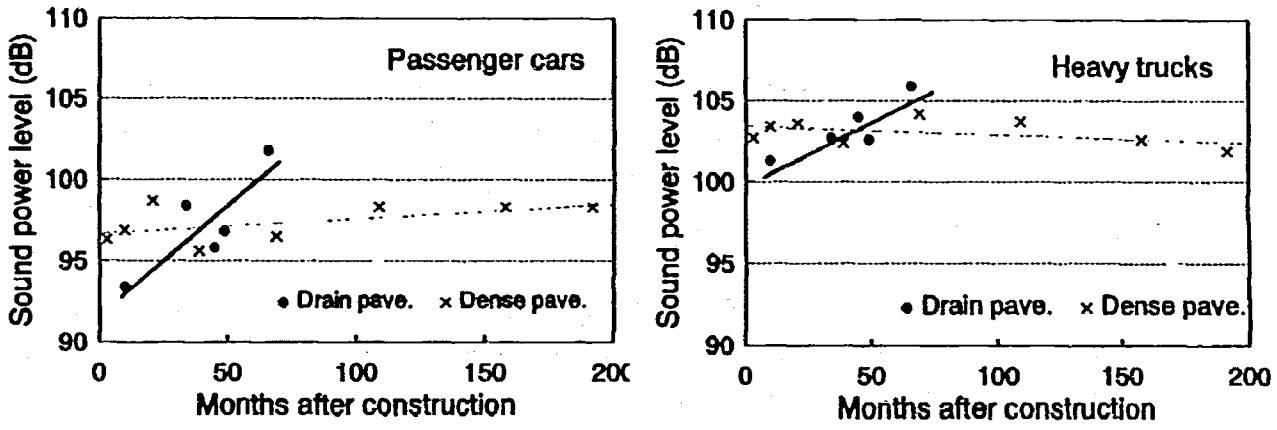


Figure 3 Change in sound power level by pavement type

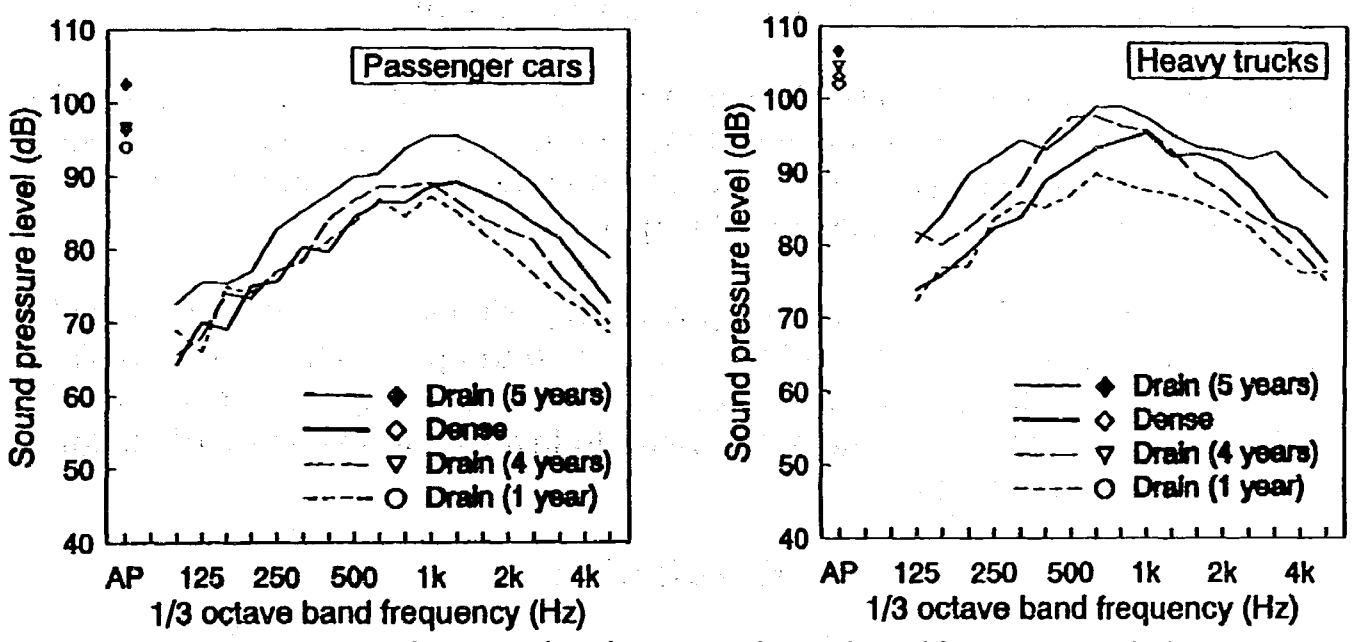


Figure 4 A-weighted 1/3 octave band spectra of pass-by vehicle noise on drainage asphalt pavements and dense graded asphalt pavement

Frequency characteristics of noise reduction effect

Figure 4 shows one third octave band spectra of pass-by vehicle noise on the both types of pavements. Compared to the spectra of vehicle noise on the dense graded pavement, those on the drainage pavement of one year age is smaller in the frequency range of 800 Hz and over for the passenger cars. The spectra on the drainage pavement of four years age has become slightly larger than those of one year age, but is still smaller than those on the dense graded pavement in the frequency range of 1,200 Hz and over. The spectra of vehicle noise on the drainage pavement of five years age increase further and are larger than those on the dense graded pavement in the overall frequency range. Similar frequency characteristics of the drainage pavement are also observed for the heavy trucks.

4. CONCLUSION

We have measured the pass-by vehicle noise on the drainage asphalt pavements, which have the same specifications but were constructed in the different years. The findings about the sound power levels of vehicles on the drainage pavements are as follows:

- The drainage pavement of one year age has a reduction effect on pass-by vehicle noise, 2.7-4.7 dB for the passenger cars and 0.0-3.3 dB for the heavy trucks in the speed range of 30-70 km/hr.

- The noise reduction effect gradually decreases as time passes and is finally lost about four years after construction of the pavement.

- The spectra of sound power levels of vehicles on the drainage pavement is initially smaller than those on the dense graded pavement in the frequency range of 800 Hz and over; and however they increases in the range as time passes and the noise reduction effect is gradually lost.

- Materials of the drainage asphalt pavement, bituminous binder in particular, have been significantly improved nowadays and the pavement can maintain its pore ratio longer than ever. This makes us expect a longer life time of noise reduction effect of the pavement. We need to investigate the effect of the latest drainage pavement further.

REFERENCE

(1) K. Uesaka, H. Ohnishi and T. Nasu, "Sound power level of automobiles running on roads", Proceedings for Annual Meeting of Acoustical Society of Japan, pp. 829-830, March 1997

Ⅰ－5 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

Calculation methods for sound pressure level in built-up areas facing an arterial road

上坂克巳　　大西博文
Katsumi UESAKA　　Hirofumi OHNISHI
建設省土木研究所
Public Works Research Institute, Ministry of Construction
千葉隆　　高木興一
Takashi CHIBA　　Koichi TAKAGI
(株) 公共計画研究所　　京都大学大学院工学研究科
Public Planning & Policy Studies, Inc.　　Kyoto University

内容梗概：平成 10 年 9 月に改定された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，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，市街地における騒音レベル計算方法の必要性が高まっている。本稿では，平面道路及び嵩上げ式道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベル（$SA \cdot LAeq$）の計算方法を提案した。この方法は，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，建物の間隙を伝搬する音と建物の上方を伝搬する音の寄与を合成して，$SA \cdot LAeq$ を算出するものである。計算方法の妥当性は，模型実験値および現地実測値との比較により明らかにされた。

1．はじめに

平成 10 年 9 月 30 日に，等価騒音レベル（以下，「$LAeq$」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。告示では，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及び超過する割合を把握することにより行うことが示された。多数の住居等が立地する地域（以下，「市街地」という）において，多点での $LAeq$ 測定を行うことは多大な労力を要するため，市街地における $LAeq$ の分布をマクロに推計する手法が有効となる。

本稿では，幹線道路に面した市街地における騒音レベルを簡便に計算する方法の構築を目指す。

以下，まず，2．で，建物が密集する市街地における騒音伝搬に関する既存の研究をとりまとめて示すとともに，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，模型実験結果，従来の計算式および現地実測値と比較し，その妥当性を検証する。

2．既存の研究と本研究のねらい

沿道に建物が密集した場合の騒音伝搬予測の研究としては，家屋がランダムに並ぶ市街地を散乱層とみなして理論的なアプローチを行った山田らの文献[2]，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を導いた加来らの文献[3]，建築物の形状を市街地の平均的建築面積と高さを有する円柱状物体で近似した仮想都市空間を想定し，騒音源側と観測点側の建築物の上方エッジによる回折減衰を市街地における騒音減音量とし，その期待値を理論的に求めた家田らの文献[4]，ランドサット TM データを用いて市街地の建物面積率を推定し，家田らの式[4]を近似して建物による超過減衰を求めた藤田らの文献[5]及び建物面積率と道路に面する建物の壁面による閉塞率から建物による超過減衰を求める ISO9613-2 で提案された方法[6]等が挙げられる。また，藤本らは，模型

実験結果から，戸建て住宅地での騒音レベルは，道路が見える場合と見えない場合は個別に扱う方がよく，道路が見える場合は見通し角度が有効なパラメータとなり，道路が見えない場合は建物密度，建物平均高さ，道路からの距離により騒音レベルが変化することを示している[7]。

これらの研究の中で，市街地における具体的な騒音レベルの予測方法として，現在，我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]であるが，この方法も以下のような課題を有する。

(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程度（200m × 200m の面積中に 200 戸）まで，建物高さは 2 階建て以下，受音点高さは 1.2m と限定されており，都市部の市街地での騒音レベルの予測・評価に広く適用できない。また，都市内では，沿道地域とその背後地での用途規制の差異等から，両地域における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，両者を区別したモデル化がされていない。

(2)高架道路の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 1m の場合に限定され，それりより高い遮音壁が設置された場合は計算ができない。

したがって，本稿では，特に，都市部の市街地を想定し，高密度あるいは平均高さが3階建て以上の建物群にも適用が可能で，幹線道路に直面した建物列（以下，「幹線道路近接建物列」という）とその背後の建物群（以下，「背後建物群」という）の立地密度を個別に取り扱える計算方法の構築を行う。また，平面道路のみならず，遮音壁が設置された嵩上げ式道路（平面道路等も含む）も広く対象とする。さらに，騒音レベルの評価指標を，区間平均等価騒音レベル（$SA\cdot LAeq$，3.1参照）とし，建物の間隙を伝搬する音と建物の上方を伝搬する音の寄与を合成して，$SA\cdot LAeq$ を算出することにより，あらゆる受音点高さでの騒音レベルの計算を可能とした。

3．市街地のモデル化と騒音レベルの計算方法

3.1 評価指標

評価指標としては，筆者らが提案している[8)~10)]区間平均等価騒音レベル (Section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level, $SA\cdot LAeq$) を用いる。

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

$SA\cdot LAeq$（単位 dB)は，ある評価区間（$x_1 \sim x_2$)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と言える。

なお，実用的には，$SA\cdot LAeq$ は等間隔に配置した n 箇所の評価点の等価騒音レベルから，求めることができる。

$$SA\cdot LAeq = 10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} 10^{LAeq(i)/10}\right) \quad (2)$$

さらに，本稿では，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 $SA\cdot LAeq$ の差である区間平均挿入損失（Section-averaged Insertion Loss, $SA\cdot IL$）[8)~10)]を用いる。

3.2 無限線音源に対する $SA\cdot LAeq$ の計算モデル

本稿で対象とする幹線道路は，基本的には，十分長い直線道路とする。$SA\cdot LAeq$ の計算にあたっては，地面上（高さ 0m）の点音源からの半球面波伝搬による幾何減衰を基本に無限線音源からの距離減衰を求め，さらに建物群および遮音壁による減音効果を考慮することとした。また，実際の市街地を対象にすることを想定し，暗騒音補正を行った。

$$\begin{cases} SA\cdot LAeq = 10\log_{10}(10^{SA\cdot LAeq(RN)/10} + 10^{SA\cdot LAeq(BN)/10}) \\ SA\cdot LAeq(RN) = Lw - 3 - 10\log_{10}d \\ \qquad\qquad - 10\log_{10}(1000V/N) - SA\cdot IL \end{cases} \quad (3)$$

ここで，$SA\cdot LAeq(RN)$ は道路交通騒音 (Road Traffic Noise) の寄与，$SA\cdot LAeq(BN)$ は暗騒音 (Background Noise) を表す。また，Lw は走行車両の平均パワーレベル (dB)，d は線音源（音源を設定する車線）から受音線（線音源から一定距離にある同一高さの受音点の集合をいう）までの距離 (m)，V は走行車両の平均走行速度(km/時)，N は交通量(台/時)，$SA\cdot IL$ は建物群および遮音壁による区間平均挿入損失 (dB) を示す。なお，地面反射および地表面効果の影響は無視した。

$SA\cdot LAeq(BN)$ については，別途，測定して設定することも可能であるが，一般的には，$SA\cdot LAeq(BN) = 40$ とする。これは，1)環境騒音が，騒音に係る環境基準[11)]の AA 類型の夜間基準値 40dB 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 類型の夜間基準値 55dB と比較し

て，環境基準の達成状況を評価する時には，暗騒音補正の影響は無視できる，ことによる。

3.3 市街地のモデル化と音響パラメータ

(1)市街地のモデル化

本稿で評価対象とする市街地の単位（以下，「市街地ユニット」という）は，対象とする幹線道路および幹線道路と交差する道路で囲まれた区域を基本とする。(図－１参照)。ただし，(2)で述べる市街地の音響パラメータがおおむね一定とみなせる市街地ユニットは，統合して評価することができる。

また，本論文では，前述したように，市街地を形成する建物を，幹線道路近接建物列と背後建物群とに分類して扱うが，基本的には，それらの平均的高さがほぼ同一の場合を想定して議論を進める。

なお，道路交通騒音の発生源は幹線道路のみとし，交差道路からの発生音は対象としない。

(2)市街地の音響パラメータ

受音線より前方にある（幹線道路に近い）建物による *SA·IL* を規定する市街地の音響パラメータとして，以下の５つを考える。(図－１，２参照)

①幹線道路近接建物列および背後建物群の平均高さ h(m)

②幹線道路近接建物列の平均奥行き w_1(m)

③幹線道路近接建物列の間隙率 α

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 は幹線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。

以上のように，市街地を幹線道路近接建物列と背後建物群に分類し，それぞれに音響パラメータを設定した理由は次のとおりである。

(1) 幹線道路近接建物列のすぐ後方の受音線での騒音レベルは，道路からの直達音の影響が大きく，音が建物の間隙を伝搬する距離も小さいことから，建物間隙を伝搬する際の多重反射，散乱等による減衰は小さいと考えられる。幹線道路近接建物列を形成する建物が完全反射の場合，すぐ後方の *SA·IL* は，建物の間隙率（(6)式参照）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]。

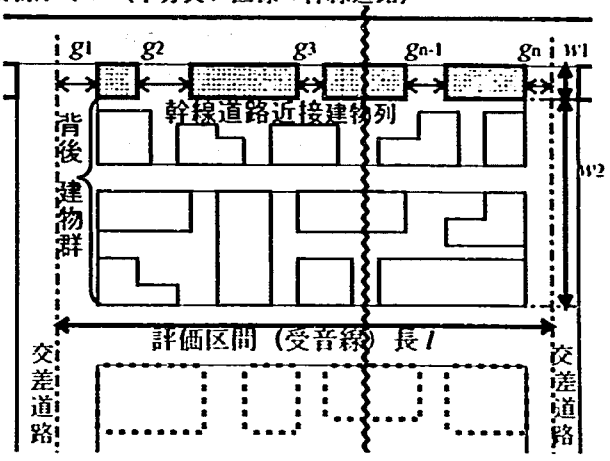
(2) 一方，ある程度密集した市街地においては，背後建物群の後方の受音点位置では，道路を見通すことができないことも多い。その場合は，建物群中を多重反射，散乱しながら伝搬する音の寄与を計算する必要がある。このためには，建物密度がパラメータとして有効なことが，従来の研究で明らかになっている[2), 3), 6), 7)]。

また，h，w_1 および w_2 というパラメータは，受音線位置が高い場合や道路から離れている場合，あるいは嵩上げ式道路（高架道路や盛土道路）を対象とする場合に，特に重要となる。

3.3 音の伝搬パスと *SA·IL* の計算方法

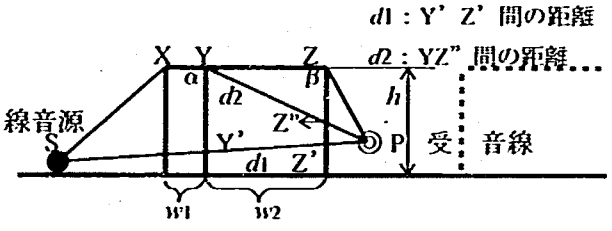
(1)音の伝搬パスの考え方

SA·IL の計算にあたり，無限線音源から発生し，市街地を伝搬する音のパスとして，以下の３つを考える。



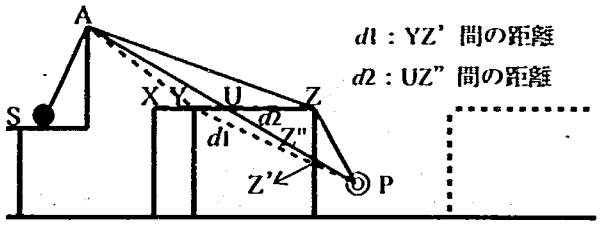
図－１　市街地のモデル化

(a)遮音壁のない平面道路の場合



(b)遮音壁のある道路の場合

(嵩上げ式道路で AP が $\overline{YZ}$ と交差する場合の例)



(注) AP が Z より右の場合は　$d_2 = 0$　とする。

図－２　市街地のモデル化と伝搬パスの考え方

①パス 1：幹線道路近接建物列の前方及び上方の間隙から入射し，背後建物群中を伝搬する音のパス
②パス 2：背後建物群の上方から入射して，背後建物群中を伝搬する音のパス
③パス 3：幹線道路近接建物列および背後建物群の上方を伝搬する音のパス

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，建物群および遮音壁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。

$$SA \cdot IL = -10\log_{10}(C_1/C + C_2/C + C_3/C) \quad (4)$$

音源の高さ，音源と受音線の距離，受音線の高さにより，$C_1 \sim C_3$ のうち特定の寄与が卓越する場合があり，その場合は，計算の簡略化が可能であるが，このことについては，5.2で例を示す。

(2)遮音壁のない平面道路での$SA \cdot IL$の計算方法

まず，遮音壁のない平面道路を対象とする場合の定式化を示す。(図－2 (a)参照)

$$\begin{cases} C_1/C = \alpha\,(1 - 10^{-IL_{SXYP}/10})\,10^{-\Delta L(\beta,\ d_1)/10} \\ C_2/C = (1-\beta)\,(10^{-IL_{SXYP}/10} - 10^{-IL_{SXZP}/10}) \\ \qquad \times 10^{-\Delta L(\beta,\ d_2)/10} \\ C_3/C = 10^{-IL_{SXZP}/10} \end{cases} \quad (5)$$

ここで，IL_{SXYP} は，無限線音源に対する反射性の厚みのある障壁（反射性厚み障壁，Reflective Wide Barrier）による挿入損失を表し，文献 11)，12)における点音源に対する反射性厚み障壁による減音量 $\Delta L(RW)_{SXYP}$（音源 S，受音点 P，回折点 X，Y）の計算式を用いて求める。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ことによる超過減衰量(dB)を示し，β および d_i の関数（(10)式参照）である。ここで，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。

また，幹線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)

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n} g_i}{l} \quad (6)$$

ここで，l は評価区間長(m)を，g_i $(i = 1 \sim n)$ 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，市街地ユニットの外周の交差道路の中心線）から最近接の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)

$$\beta = \frac{A}{w_2 l} \quad (7)$$

ここで，A (m²) 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，(5)式に $\beta = 0$ を代入すると，(4)式は，

$$SA \cdot IL = -10\log_{10}\{\alpha\,(1 - 10^{-IL_{SXYP}/10}) + 10^{-IL_{SXYP}/10}\} \quad (4)'$$

となり，文献(8)において示された幹線道路近接建物列のすぐ後方での $SA \cdot IL$ の計算式と一致する。

(3)遮音壁のある道路での$SA \cdot IL$の計算方法

次に，一定の高さの連続した遮音壁が設置された道路を対象とする場合の定式化を示す。図－2 (b)では，特に嵩上げ式道路を例としている。

$$\begin{cases} C_1/C = \alpha\,(10^{-IL_{SAP}/10} - 10^{-IL_{SAXYP}/10}) \\ \qquad \times 10^{-\Delta L(\beta,\ d_1)/10} \\ C_2/C = (1-\beta)\,(10^{-IL_{SAXYP}/10} - 10^{-IL_{SAXZP}/10}) \\ \qquad \times 10^{-\Delta L(\beta,\ d_2)/10} \\ C_3/C = 10^{-IL_{SAXZP}/10} \end{cases} \quad (8)$$

ここで，IL_{SAP} は，無限線音源に対する遮音壁（半無限障壁）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[13]を用いて求める。また，$IL_{SA,XY,P}$ 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が，算出の基本となる点音源に対する半無限障壁および反射性厚み障壁による二重回折の減音量 $\Delta L(D,S\text{-}RW)_{SAXYP}$ は，次式で与えた。

$$\Delta L(D,S\text{-}RW)_{SAXYP} = \Delta L_{SAP} + \Delta L(RW)_{AXYP} \quad (9)$$

$\Delta L(D,S\text{-}RW)_{SAXYP}$ の計算式は，エッジ A で回折後，さらにエッジ X,Y で回折する際の減音量を計算するにあたり，エッジ A 上の 2 次音源を想定したものであり，過大な減音量を与えるおそれがある。しかし，(8)式における計算では，他に支配的な音の寄与が存在するため，その誤差が計算精度に及ぼす影響は小さいと考えた。

(4)幹線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

(2)，(3)において，幹線道路近接建物列の平均高さが背後建物群の平均高さより高い場合は，(5)式，(8)式において，C_2/C, C_3/C を，各々，$\alpha\ C_2/C$, $\alpha\ C_3/C$ に改めればよい。この場合は，幹線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。

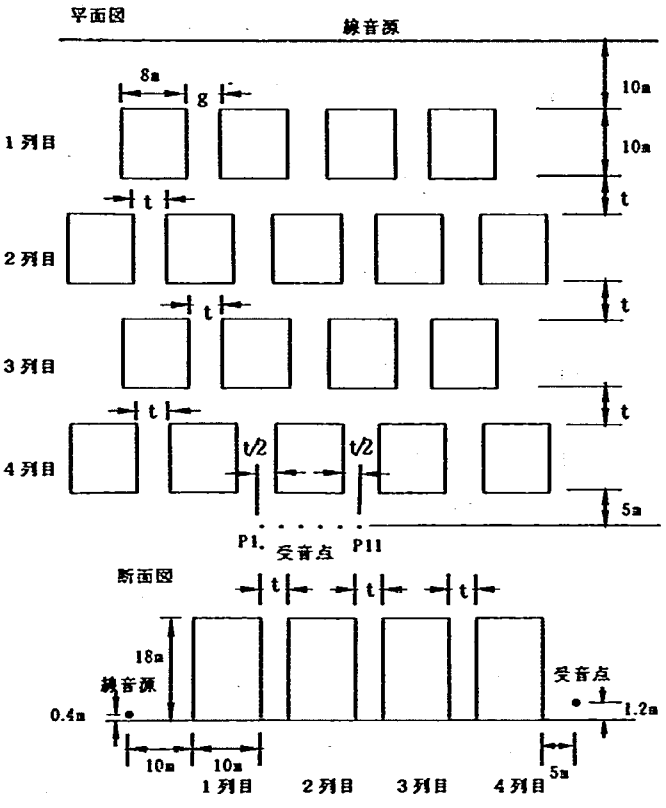
4．背後建物群を通過する場合の超過減衰式

3.3の(5)式および(8)式に示された背後建物群を通過する場合の超過減衰量$\Delta L(\beta, d_i)$を求める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

模型実験の実験ケースおよびその配置を図－3に示す。なお，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 $i(i=1\sim4)$ 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壁面から 5m（実物換算，本稿では，「実寸」とことわらない限り，模型実験に関する数値は実物換算で示す。）離れた位置を指す。また，各々の受音点位置において，建物が存在しない場合の音圧レベルも測定した。



ケース No	建物列数	1列目の建物間隔 g (m)	1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：(10)式，(11)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－3　模型実験の配置

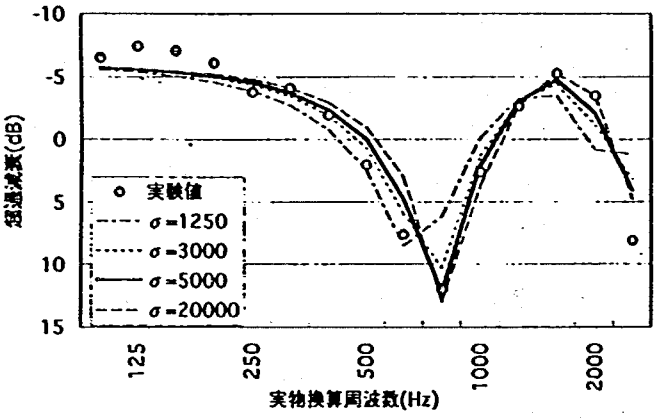
直方体の建物模型の大きさは，建築面積 80 ㎡（間口 8m，奥行き 10m）で，高さは建物上方の回折音を無視できると考えられる 18m とした。この模型を，ジェットのノイズを利用した線音源[3]（延長 320m，半径＝音源高さ 0.4m）に沿って 320m 以上の延長で整列させた。図－3に示すように，音源から1列目の建物（幹線道路近接建物列）の間隔 g と2列目以降の建物群（背後建物群）の前後左右の間隔 t を変化させて，受音線上に等間隔（高さ 1.2m）で配置した 11 個の 1/4 インチタイプのマイクロホンで音圧レベルを測定した。各マイクでの建物設置前後の音圧レベル（L_{Aeq} 相当）から，(2)式により $SA\cdot L_{Aeq}$ を算出し，その差分を $SA\cdot IL$ とした。なお，対象周波数は，200 ～ 1250Hz とし，1/3 オクターブバンド毎に分析を行った。

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（実寸）のアクリル板を貼付し，透過損失を高めた。また，地面は，同じアクリル板を用いて反射性とし，全ての建物模型底面と地面との隙間はシールしてふさいだ。

(2)発泡スチロールの吸音率

模型材料に用いた発泡スチロールの十分広い表面から 1m の高さに 10m の間隔で音源と受音点を配置した時の周波数別の超過減衰の実測値と波動理論による計算値の比較を図－4に示す。計算上の流れ抵抗 σ が 5,000kPa·s/㎡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 5,000kPa·s/㎡とし，その統計入射吸音率を周波数別に推定[14]し，自動車交通騒音の A 特性代表パワースペクトル[15]で重み付けした 200 ～ 1,250Hz オールパスの吸音率は 0.12 であった。

我が国において，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文献はほとんど見当たらないが，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）に設定していることと比較して，本実験に用いた発泡スチロールは，建物模型としてほぼ妥当であると判断した。



図－４　周波数別超過減衰の実験値と計算値の比較

4.2　α，β，d_iおよび周波数fと$SA \cdot IL$の関係

本実験では，tを等間隔として建物を配置したが，これは，加来らの実験結果[3]によると，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明らかとなっているためである。

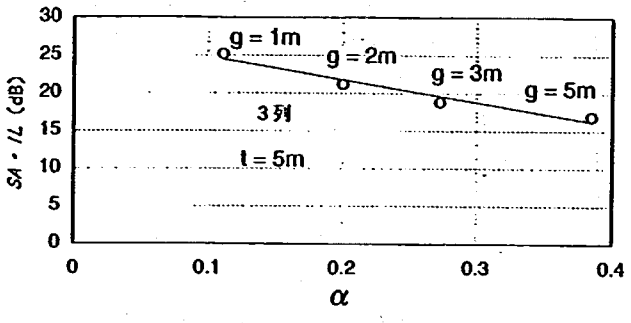
図－５に，建物列数３列，t = 5m（β = 0.41，伝搬パスの建物群全体の通過距離 $\overline{d}$ = 40m），受音点位置３列目背後の場合に，g = 1，2，3，5m と変化させた場合のαと$SA \cdot IL$の関係を示す。なお，$SA \cdot IL$は自動車走行騒音の代表パワースペクトル[15]で重み付けしたA特性オーバーオール値として示している（図－６も同様）。gを2mから1mに狭くすると，建物群全体（幹線道路近接建物列および背後建物群）での建物密度$\overline{\beta}$は，0.51から0.53に変化する程度であるが，$SA \cdot IL$の増加は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は音響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。

次に，$g = t$ = 3，5，7m の場合に，建物列数を増加させ，最後列の建物後方5mの位置で$SA \cdot IL$を測定した時の$\overline{d}$と$SA \cdot IL$の関係を図－６に示す。$\overline{d}$が大きくなるにつれ，建物密度による$SA \cdot IL$の差異は大きくなり，$\overline{d}$ = 40m の場合には，$g = t$ = 3m（α = 0.27，β = 0.56）の時に，$g = t$ = 7m（α = 0.47，β = 0.31）の時より13dB程度$SA \cdot IL$が大きいことが分かる。

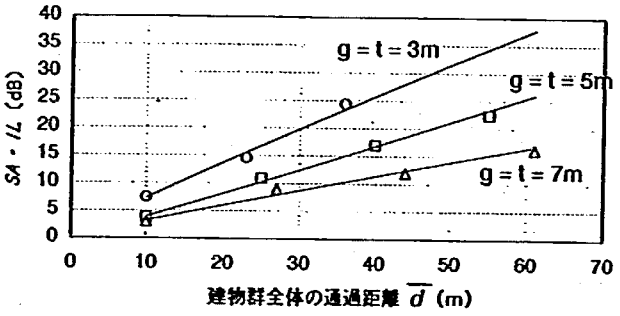
さらに，図－７　には，建物列数が３列，$g = t$ = 3，5，7m，受音点位置が３列目背後の場合に，周波数fと$SA \cdot IL$の関係を示した。建物密度が大きくなると，fの増加とともに$SA \cdot IL$が増加する傾向が見られた。

4.3　背後建物群を通過する場合の超過減衰式

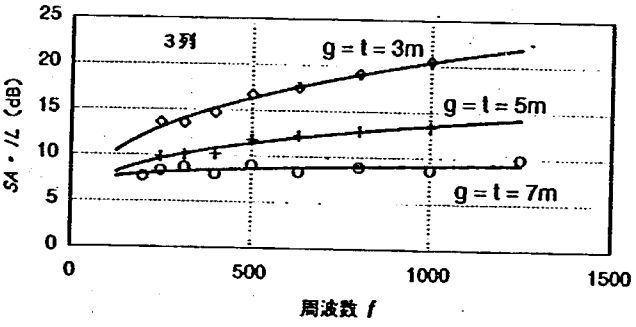
4.2の検討結果を踏まえ，重回帰分析により，背後建物群を通過する場合の超過減衰$\Delta L(\beta, d_i)$を表す実験回帰式を作成した。



図－５　αと$SA \cdot IL$の関係



図－６　建物群全体の通過距離$\overline{d}$と$SA \cdot IL$の関係



図－７　周波数fと$SA \cdot IL$の関係

分析にあたっては，図－３の下注に記した模型実験ケースの組み合わせにより，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。

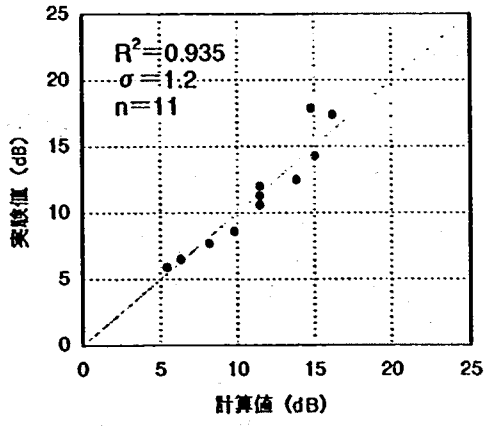
$$\Delta L(\beta, d_i) = 0.775(\beta/(1-\beta))^{0.630} \times d_i^{0.859} \quad (10)$$

同様に，周波数fも含めた回帰式は以下のとおりである。

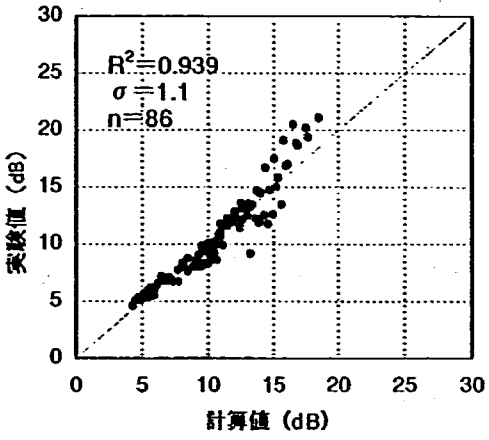
$$\Delta L(\beta, d_i, f) = 0.235(\beta/(1-\beta))^{0.646} \times d_i^{0.833} \times f^{0.201} \quad (11)$$

ここで，(10)式は，自動車走行騒音の代表パワースペクトル[15]で重み付けしたA特性オーバーオール値（200Hz ～ 1250Hz）としての実験値から求めた回帰式であり，(11)式は，1/3オクターブバンド毎（200Hz ～ 1250Hz）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10dB以上のデータを選定した。

これらの式では，超過減衰量(dB)は，βが０の時に０となり，βが１の時に無限大となる。



図－８(a)　(10)式と実験値の比較



図－８(b)　(11)式と実験値の比較

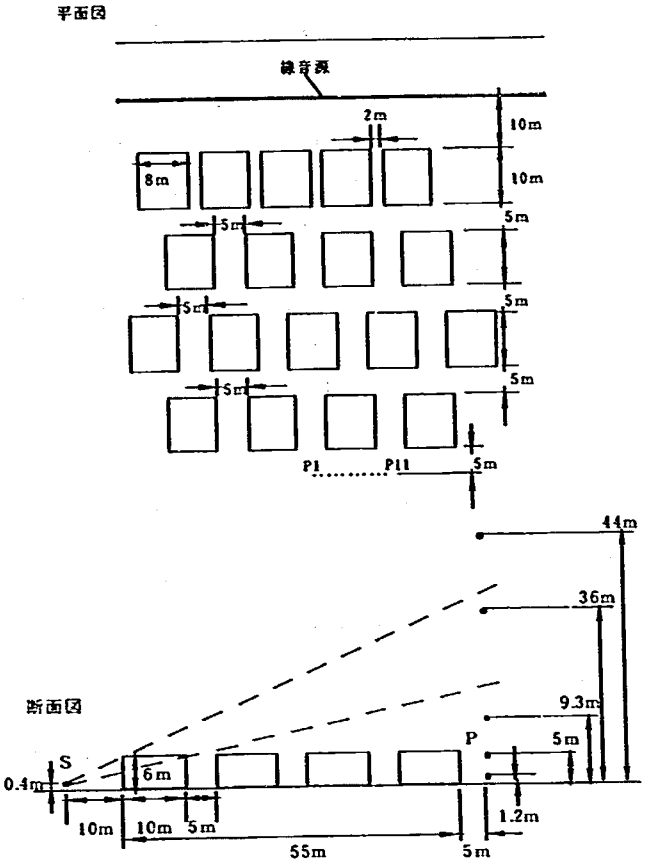
図－８(a)，(b)に，(10)式，(11)式と実験値を比較して示す。両式の決定係数 R^2 は，各々，0.935, 0.939であり，ともに高い相関を示している。また，(11)式において，β，di，fの偏相関係数は，順に，0.86, 0.82, 0.58 であり，β，di と $\Delta L(\beta, d_i, f)$ の相関が特に高いと言える。

５．模型実験による検証

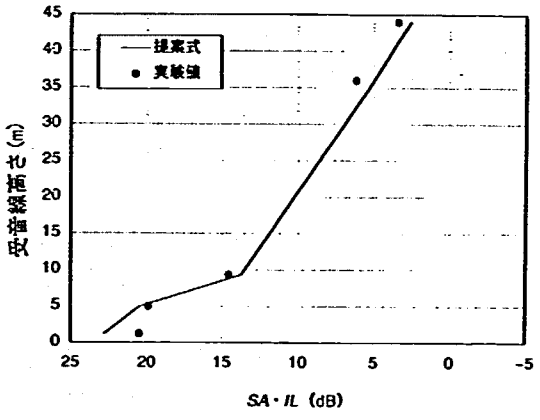
5.1　平面道路を対象とした模型実験

受音線高さが変化した場合の(4)・(5)式の妥当性を検証するため，図－９に示す縮尺比 1/40 の模型実験を無響室で行った。実験条件は，4.1と同様としたが，建物の大きさは，間口 8m，奥行き 10m，高さ 6m（2階建て相当）とした。

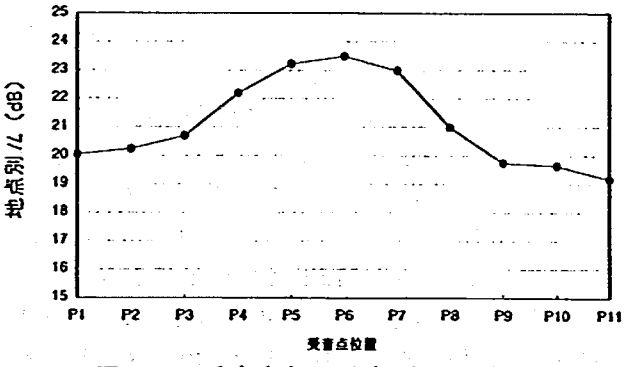
図－10に受音線高さと $SA \cdot IL$ の関係を示す。$SA \cdot IL$ の計算は，200Hz ～ 1250Hz の 1/3 オクターブバンド毎に行い，自動車走行騒音の代表パワースペクトル[15]で重み付けした A 特性オーバーオール値として表した。背後建物群を通過する場合の減衰式には(11)式を用い，(5)式の中の $\Delta L(\beta, d_i)$ を $\Delta L(\beta, d_i,$



図－９　模型実験の配置



図－10　受音線高さと $SA \cdot IL$ の関係



図－11　受音点毎の地点別 IL の実験値

f)に読み替えて(11)式を代入した。

図－10によると，$SA \cdot IL$ の計算値と実験値は，よく一致しており，(4)・(5)式の妥当性が検証された。

さらに，受音線高さ 1.2m の場合に，$SA \cdot IL$ の実験値が計算値より，2dB 程度小さくなっている理由を詳細に分析するため，11 箇所の受音点での地点別 IL の実験値を図－11に示す。受音点位置 P1，P11 付近においては，P6 付近より IL が 4 ～ 5dB 小さくなっており，このことが $SA \cdot IL$ に影響を与えている。これは，建物間隙から放射する音の指向性の影響の他に，P1，P11 付近においては，建物上方を伝搬する音の主な回折点が，3 列目建物後壁エッジと考えられ，計算上の回折点の設定（4 列目建物後壁）では，C_3/C をやや過小評価している可能性がある。

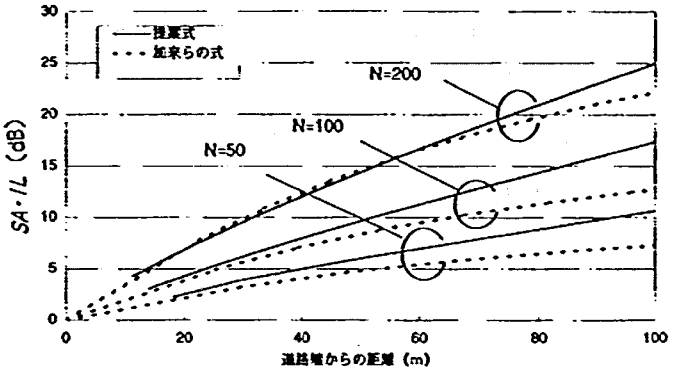
5.2 加来らの実験式との比較

(10)式，(11)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，道路端からの距離は 66m 以内であった。ここでは，(10)式，(11)式の適用範囲の検討および遮音壁のある道路（ここでは，特に，嵩上げ式道路を対象とする）に対する(8)式の妥当性を検討するため，加来らの実験式[3]との比較検討を行った。ただし，反射性厚み障壁による減音量計算のために用いる半無限障壁による減音量の計算には，ASJ Model-1993 [6]の回折効果による補正値△ Ld を用いた。

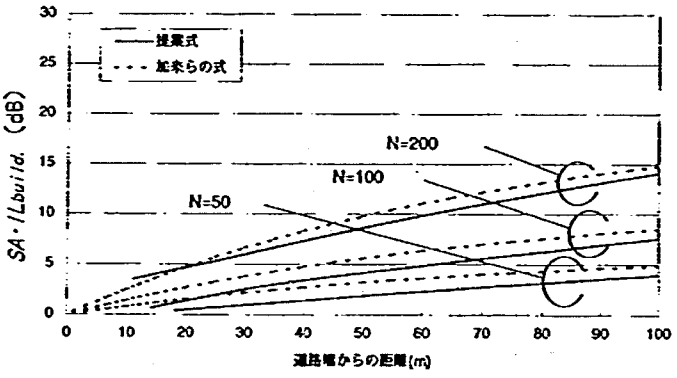
加来らの実験式は，底面積 100 ㎡，高さ 4m（1 階建て相当）の建物と底面積 50 ㎡，高さ 6.5m（2 階建て相当）建物が 1:1，1:2，1:4 と混在した場合の平均値を用いている。したがって，提案式による計算では，上記の混在比率を 1:2 と想定し，建物の平均的な大きさを，間口 8.2m，奥行き 8.2m，高さ 6m と設定し，それらが均等に分布している状態を想定した。また，計算上の線音源位置は一列目建物の前面（高架道路端と一致）から 10m，受音線位置は，建物前後の隙間の中央で高さは 1.2m とした。

まず，遮音壁のない平面道路（音源高さ 0m）の場合に，(4)・(5)・(10)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－12(a)に示す。

道路端からの距離が 50m 程度までは，N（200m × 200m 中の建物の戸数）＝ 50（$\overline{\beta} = 0.084$），N ＝ 100（$\overline{\beta} = 0.168$），N ＝ 200（$\overline{\beta} = 0.336$）の時のいずれも，両式の差異は 1dB 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，$\overline{\beta} = 0.1$ 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。



図－12(a) (4)・(5)・(10)式と加来らの式との比較



図－12(b) (4)・(8)・(10)式と加来らの式との比較

一方，道路端からの距離が 100m の場合は，提案式は加来らの式より，3 ～ 5dB 大きい $SA \cdot IL$ を与えている。この一因として，5.1で述べた背後建物群後方の上方回折点の計算上の位置設定の問題が考えられる。そこで，提案式での計算上，その回折点の位置を，受音点から 2 列目の建物後壁のエッジに設置したところ，道路端からの距離 100m の場合でも，すべての N において，加来らの式との差異は 2dB 以下となった。道路端から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，この場合，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が，これらと実際の建物壁面の吸音率との整合性については，今後，現地実測を通じて検証していく必要がある。

一方，高架道路（音源高さ 10m，高欄高さ 1m）の場合に，提案式と加来式の計算結果の比較を行った結果を図－12(b)に示す。ここで，$SA \cdot IL_{build.}$ とは，高架道路が存在する場合に，建物群の有無による区間平均挿入損失を表す。この場合は，すべての N

において，道路端からの距離 100m まで，提案式は加来らの式とよい一致を示している。したがって，(4)・(8)・(10)式を嵩上げ式道路に適用する場合は，広い建物密度，受音線範囲で適用が可能と考えられる。

また，道路端からの距離 50m の場合に，提案式の伝搬パスの簡略化の検討を行ったところ，図－12(a)では(5)式における C_1/C が，図－12(b)では(8)式における C_2/C が卓越しており，これらの寄与のみを考慮すれば，計算上問題がないことが分かった。

6．現地実測による検証

本稿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道路沿道の市街地を対象に $SA\cdot LAeq$ 現地実測を行い，(3)式・(4)式・(5)式・(10)式による計算値との比較を行った。ここでは，計算および建物の音響パラメータ設定のための調査を簡略化するため，5.2の検討結果に基づき，(4)・(5)式において，C_1/C のみを考慮した。

6.1　対象とした道路および市街地の概要

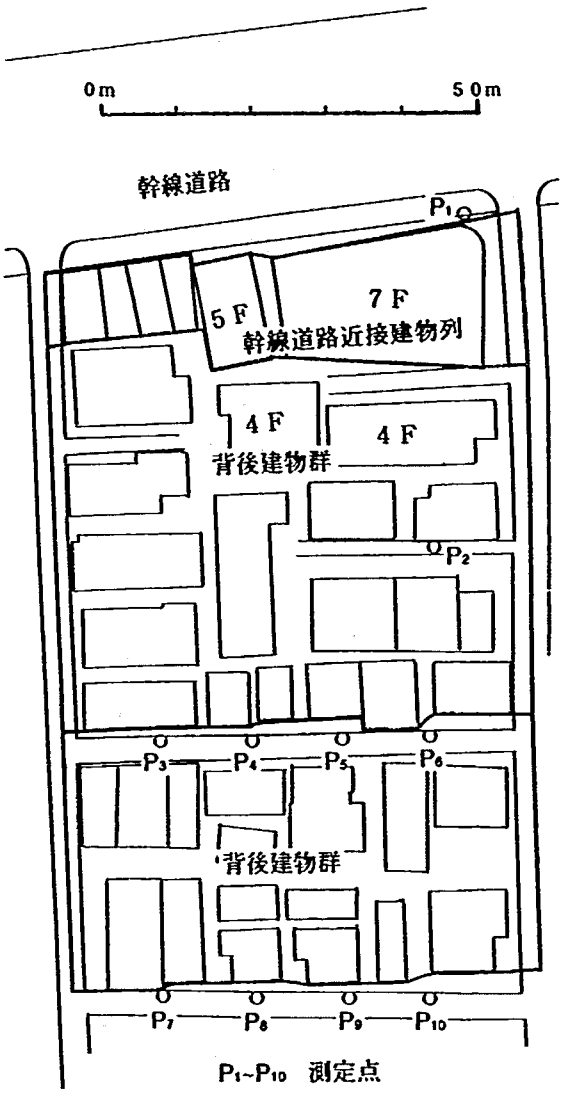
現地実測を行った3地区（表－1）のうち，A地区を例として，市街地のモデル化と測定点の位置を図－13に示す。測定点は幹線道路端および背後建物群中の幹線道路とほぼ平行な区画道路に設け，高さは 1.2m とした。測定はいずれも深夜に行い，全測定点において，10 分間の $LAeq$ の同時測定を積分型騒音計を用いて行うとともに，幹線道路の交通条件も同時測定した。$SA\cdot LAeq$ は，同じ区画道路上に 10m 程度の等間隔で配置した測定点の $LAeq$ を，(2)式により平均化して算出した。

幹線道路近接建物列の間隙率 α および背後建物群の建物密度 β は，基本的には，図－13のような住宅地図より読みとったが，α については，正確を期すため現地調査により確認した。なお，図中，階数が記されていない建物は3階建て以下である。

また，B地区では，背後建物群中に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－14に，本稿での提案式，ISO 9613-2 [6] の方法による $SA\cdot LAeq$ の計算結果，開放状態での理論減衰値および実測値を示す。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



図－13　市街地のモデル化と測定点（A地区）

表－1　交通条件と市街地の音響パラメータ

交通，沿道条件		A地区	B地区		C地区	
交通量(台/時)		1674	738		492	
大型車混入率(%)		1	1		5	
平均速度(km/時)		31.5	41.5		53.7	
道路幅員※ (m)		23	16		23	
市街地の音響パラメータ			(1)	(2)	(1)	(2)
	α	0.20	0.24	0.36	0.15	0.15
	β	0.52	0.52	0.46	0.38	0.27
車線数		4	2		4	
用途地域	近接建物列	商業	近隣商業		住居地域	
	背後建物群	2種住専	2種低住専		住居地域	

※　音源ラインは道路中央に設定した。

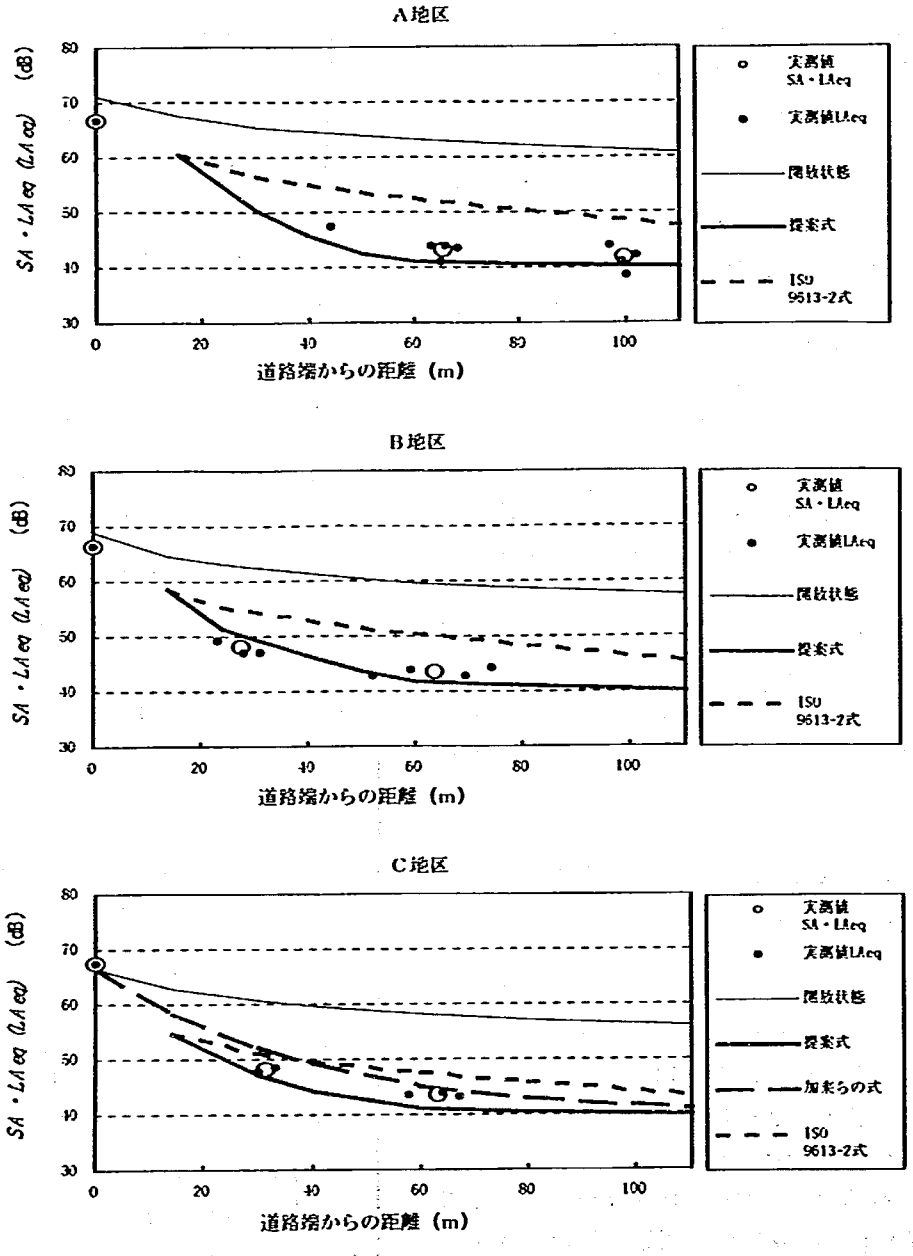
は，その計算結果も併せて示した。なお，走行車両の平均パワーレベル Lw は，日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会で検討中の非定常走行部におけるパワーレベル式を用いて算出した。

大型車類：$88.8 + 10\log_{10}V$
小型車類：$82.3 + 10\log_{10}V$ (12)

図－14によると，提案式は全ての地区において，おおむね実測値と整合しており，背後建物群中の $SA \cdot LAeq$ の計算値と実測値との差は，最大でも 3dB 未満である。なお，背後地における夜間の環境基準は，A 類型で 55dB，B 類型で 60dB であり，環境基準の達成状況の評価には，$SA \cdot LAeq$ が 55 ～ 60dB となる道路端から 20 ～ 30m 程度の距離における計算精度が特に要求される。B 地区，C 地区の結果から見ると，これらの位置での計算値と実測値との差異は 2dB 未満であり，両者の整合性は高い。

一方，ISO 9613-2 の方法が与える建物群中の超過減衰量は，実測値より過小であることが分かる。また，C 地区における加来らの方法は，おおむね実測値と整合している。

なお，今回の計算では，(3)式における $SA \cdot LAeq$ (BN) = 40(dB) としたが，詳細な計算値と実測値の検証のためには，現地調査による正確な $SA \cdot LAeq$ (BN) および β の設定が必要と考える。



図－14　各種計算式と現地実測値との比較

7．まとめ

平面道路及び遮音壁が設置された嵩上げ式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*·*L*Aeq）の簡便な計算方法を提案した。

この方法では，市街地を幹線道路近接建物列（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，*SA*·*L*Aeq の算出にあたっては，建物群に入射し，その間隙を伝搬して受音線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際の超過減衰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，模型実験結果，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。その結果では，道路端からの距離が，平面道路では 50m 以内，嵩上げ式道路では 100m 以内であれば，建物の立地密度および高さ，音源高さ，受音点高さにかかわらず，高い精度で広く適用できることが明らかとなった。

一方，平面道路において，道路端から受音線までの距離が 100m 程度となると，*SA*·*L*Aeq の計算値が 3 ～ 5dB 程度小さくなるおそれがある。この場合，上方回折点の合理的な設定方法の検討とそれを踏まえた検証が必要である。また，背後建物群中を伝搬する音の超過減衰式については，実測データの集積により検証していく必要がある。さらに，α，β等の市街地の音響パラメータの実用的な調査・設定方法も今後の課題と考える。

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御教示いたい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㈱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（1998.9.30）.

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 （1978.10），pp.507 ～ 508.

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（1979），pp.257 ～ 261.

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（1983），pp.239 ～ 246.

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，Vol.6 No.4（1986），pp.5 ～ 10.

6)ISO9613-2，Acoustics － Attenuation of sound during propagation outdoors － Part2：General method of calculation（1996-12-15），Annex A.3.

7)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）.

8)上坂克巳，大西博文，三宅龍雄，高木興一：幹線道路に直面した建物および建物群後方における騒音レベルの簡易計算方法，日本音響学会騒音・振動研究会資料 N-98-59（1998）.

9)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,第 34 巻.(1997)． pp.307 ～ 317.

10)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，Vol.23 No.2 掲載予定.

11)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，再投稿中.

12)上坂克巳，大西博文，三宅龍雄，高木興一：幹線道路に面した建物周辺における騒音レベルの計算方法～単独の建物の場合～，日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集（1998），pp.179 ～ 182.

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

14)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（1991.10），pp.705 ～ 706.

15)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(1994)，pp.233 ～ 239.

16)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(1994)，pp.240 ～ 249.

I－6 幹線道路に直面した建物および建物群後方における騒音レベルの簡易計算方法

Simple methods for calculating sound pressure level behind a building and buildings directly facing an arterial road

上坂克巳　大西博文
Katsumi UESAKA　Hirofumi OHNISHI
建設省土木研究所
Public Works Research Institute, Ministry of Construction
三宅龍雄　高木興一
Tatsuo MIYAKE　Koichi TAKAGI
(株) 綜合技術コンサルタント　京都大学大学院工学研究科
Sogo Engineering Inc.　Kyoto University

内容梗概：騒音に係る環境基準改定により，沿道建物後方での道路交通騒音（*LAeq*）計算の必要性が高まっている。本稿では，まず，平面道路に面した単独建物後方の特定地点における挿入損失の計算方法を3種類示し，それらの計算結果の差異および適用範囲を明らかにした。次に，平面道路に直面した，一列の建物群後方での区間平均挿入損失（*SA*・*IL*）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，環境アセスメント等での騒音レベルの計算において設定が必要な建物群の高さ，奥行き，間隙率等のパラメータの調査精度に関して考察した。最後に，これらの結果を踏まえ，嵩上げ式道路に直面した建物群後方での *SA*・*IL* の簡易計算方法を提案した。

1．はじめに

平成10年9月30日に，等価騒音レベル（以下，「*LAeq*」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とその後方の背後地とに区分し，異なる基準値を与えているため，特に，幹線道路に直面する（道路から1列目の）建物後方での道路交通騒音（*LAeq*）計算の必要性が高まっている[2]。

筆者らは，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に，その後方空間での騒音レベルの計算方法を提案している[2),3)]。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，それを合成するため，正確なユニットパターン[4]の計算が可能である。しかし，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，そのままでは適用できない場合があり，また，複数の建物が近接して立地している場合に応用することは困難と考える。

したがって，本稿では，まず，2．で，道路に面した単独建物後方での地点別挿入損失（*IL*）の計算方法を3種類提案し，それらの適用範囲を検討する。次に，3．では，道路に沿って一列に並ぶ建物群の後方区間における平均的な騒音レベルの計算方法の検討を行い，模型実験で検証する。さらに，4．では，2.，3．で提案した方法を環境アセスメント等に用いる場合，要求される建物のパラメータ（高さ，奥行き，間隙率など）の調査精度について考察する。最後に，5．では，これらの結果を踏まえて，嵩上げ式道路に直面した建物群後方での騒音レベルの簡易な計算方法を提案する。

2．単独建物後方の地点別 *IL* の簡易計算方法

道路に面した単独建物後方の特定地点での挿入損失（建物の有無による *LAeq* の差を表し，以下，「地点別 *IL*」という）の計算方法の検討を行う。検討にあたっては，単独建物が道路に対して斜めを向いて立地している場合も，建物後方の受音点において

広く適用が可能で，できるだけ簡易な計算方法の構築を目指す。なお，本稿では，建物壁面及び地面は完全反射とする。

2.1 計算方法

L_{Aeq} の計算に必要なユニットパターン（文献 4）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，本稿では，音源位置毎の評価点での騒音レベルと定義する）算出にあたり，地面上の点音源 S(パワーレベル= PWL) から距離 r 離れた受音点 P での音圧レベル SPL の計算は次式[5]によるものとする。

$$SPL = PWL - 8 - 20\log_{10} r - IL^{(PS)} \quad (1)$$

ここで，$IL^{(PS)}$ は，点音源 (point source) に対する建物等による挿入損失を表す。

以下，(1)式における $IL^{(PS)}$ の計算方法として，(2)式，(3)式の 2 とおりを示す。前者は，文献 2)，3) で示された方法で，建物の上方および左右の側方を伝搬する音の寄与を個別に正確に求め，それを合成するもの（以下，3 パスの方法という）である。また，後者は，有限長障壁（本稿で，単に有限長障壁という時は，厚みのないものを指す）の計算に用いられる 1 パスの方法[6),7),8)]を応用したものである。なお，1 パスの方法とは，点音源と受音点を含む鉛直平面が有限長障壁と交差する場合は有限長障壁を半無限障壁とみなして減音効果を計算し，交差しない場合は減音効果を全く見込まない方法である。この方法は単純であるが，ユニットパターンのエネルギー積分値を求める時は，実用上問題ないことが明らかにされている[8)]。

(A) 3パスの方法

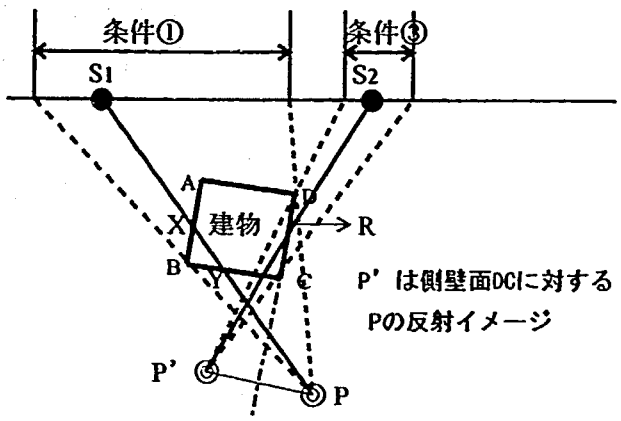
3 パスの方法は以下のとおり定式化される。

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

ここで，ΔL_{upper}，ΔL_{left}，ΔL_{right} 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（全ての面が反射性の厚みのある障壁，Reflective Wide Barrier) を想定した場合の減音量 (以下，2 つの回折点を X，Y として $\Delta L_{(RW)SXYP}$ と表記する）で，文献 2)，3) の方法を用いて算出する。ただし，地面反射音の影響については，文献 2) の検討結果に基づき無視している。なお，本稿では，$\Delta L_{(RW)SXYP}$ の算出にも用いる半無限障壁による減音量の計算に，前川チャートの数式表現[9)]を用いる。

(B) 建物側壁面での反射音を考慮した1パスの方法

1 パスの方法を厚みのある有限長障壁である建物



図－1 (3)式による計算のための模式図

の回折効果の計算に拡張するとともに，建物側壁面での反射音の計算にも，1 パスの方法の考え方を活用する。以下に計算式を示す。(図－1 参照)

$$IL^{(PS)} = -10\log_{10}(Cd/C + Cr/C) \quad (3)$$

$$Cd/C = \begin{cases} \text{①鉛直平面 S1P が建物と交差する場合} \\ \quad 10^{-\Delta L_{(RW)S1XYP}/10} \\ \text{② ①以外の場合} \\ \quad 1 \end{cases}$$

$$Cr/C = \begin{cases} \text{③ S2，P とも，ある建物の一つの側壁面に対向する側にあり，鉛直平面 S2P' がその側壁面と交差する場合} \\ \quad (r/r')^2(1 - 10^{-\Delta L_{S2RP'}/10}) \\ \text{④ ③以外の場合} \\ \quad 0 \end{cases}$$

ここで，C，Cd，Cr は，順に，建物が存在しない場合の音の寄与，建物上方を回折して伝搬する音の寄与，建物の側壁面で反射して伝搬する音の寄与を表す。また，鉛直平面 SP とは，音源 S と受音点 P を通り鉛直な平面，P' は③の側壁面における P の反射イメージであり，r，r'は各々，S2P 間の距離，S2P' 間の距離を表す。また，X,Y は鉛直平面 S1P が建物の上部エッジと交差する点である。R は鉛直平面 S2P' が建物の側壁面の上部エッジと交差する点である。

③の式は，①の式と類似の考え方をとり，鉛直平面 S2P' が側壁面と交差する場合に，側壁面と同じ高さで水平に無限長の半無限平面での反射音を，バビネの定理の考え方を用いて計算するものである。ここで，$\Delta L_{S2RP'}$ は建物上端の点 R を回折点とする建物と同一高さの半無限障壁による減音量を表す。

(C) 建物側壁面での反射音を考慮した見通し角補正による方法

(A), (B)の方法では, (2)式, (3)式で計算された $IL^{(PS)}$ を(1)式に代入し, 建物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計算することにより, 地点別 IL を求めることができる。

ここでは, 十分長い直線道路に単独の建物が設置され, 建物の上方回折音の寄与が無視できる場合に, 見通し角補正による方法[8),10)]を応用して, 地点別 IL を直接求める方法を示す。

$$IL = -10\log_{10}\left(\frac{\pi-\theta}{\pi}+\frac{r}{r'}\frac{\theta'}{\pi}\right) \qquad (4)$$

ここで, θ は受音点 P から建物の左右の外縁を見て建物の背後に隠れた音源ラインを見通す角度であり, θ' は P のある側壁面の反射イメージ P' からその側壁面を通して音源ラインを見通せる角度である (図－２参照)。また, r は P と音源ラインとの距離, r' は P' と音源ラインとの距離を表す。なお, この式は, (3)式において,

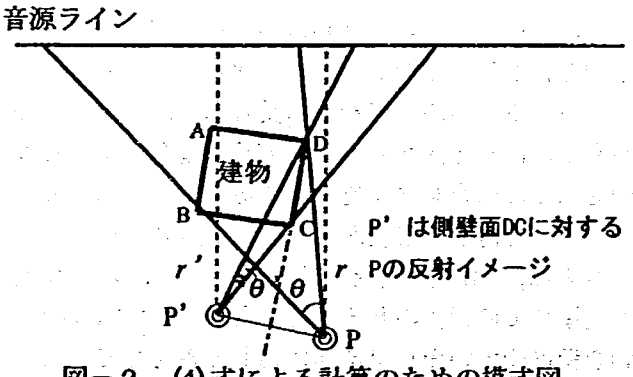
$10^{-\Delta L(RW)SIXTPI/10} \fallingdotseq 0$, $10^{-\Delta LSERP'/10} \fallingdotseq 0$

とした場合に相当する。

2.2 計算結果の比較検討

2.1における(2)式, (3)式, (4)式による計算結果の差異および模型実験値との比較を行った。計算に用いた建物, 音源, 受音点の配置は, 図－３のとおりであるが, これは, 文献 2), 3)における模型実験の配置を基本としたものである。

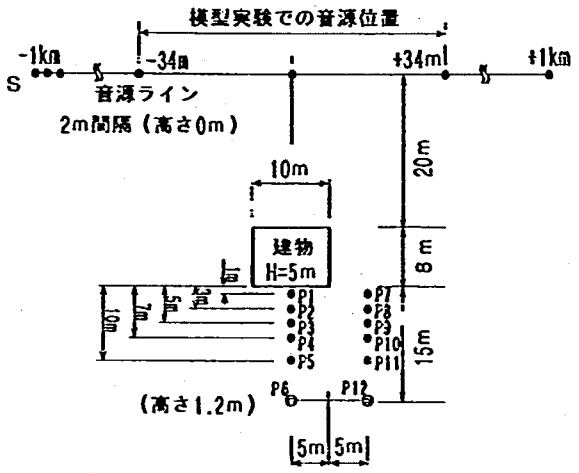
まず, (2)式および(3)式による $IL^{(PS)}$ の計算値と文献 2)における模型実験値の比較を行った。模型実験では, 音源 (上向きにしたジェットノイズ点音源) は, 高さ 0.8m (実物換算。本稿では, 模型実験に関する数値は, 「原寸」と表示しない限り実物換算で示す) とし, 音源位置-34m から 34m の間で移動させた。受音点は, P6, P12 の２点であり,



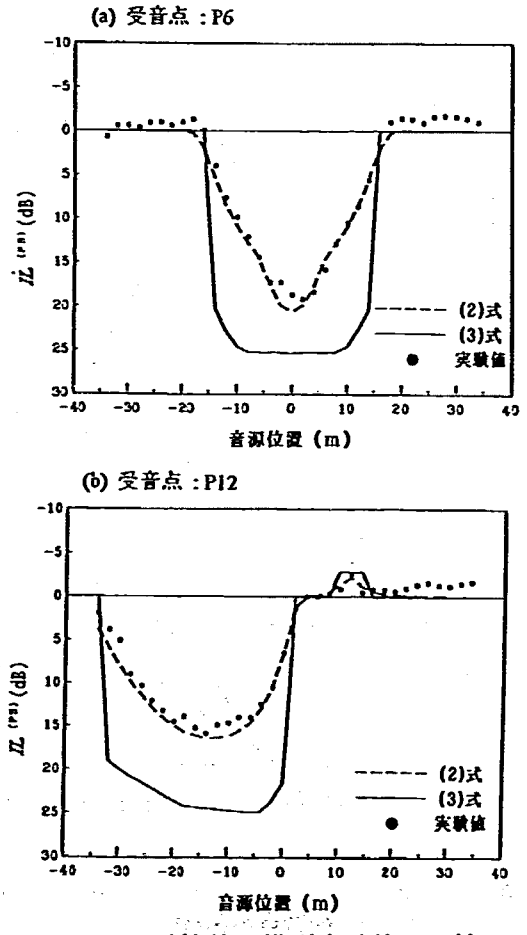
図－２ (4)式による計算のための模式図

対象周波数は 50Hz ～ 3.15kHz であった。また, 地面及び直方体の建物はアクリル板で製作し, 反射性であった。

図－４(a), (b)に, 各々, 受音点 P6 および P12 における $IL^{(PS)}$ の計算値および実験値を示す。 $IL^{(PS)}$ は, 自動車走行騒音の代表パワースペクトル[11)]重み付けした A 特性オーバーオール値で表している。なお, 計算上の音源高さは 0m とし, 1/3 オクターブバンド中心周波数を計算に用いた。



図－３ 単独建物と音源, 受音点の配置

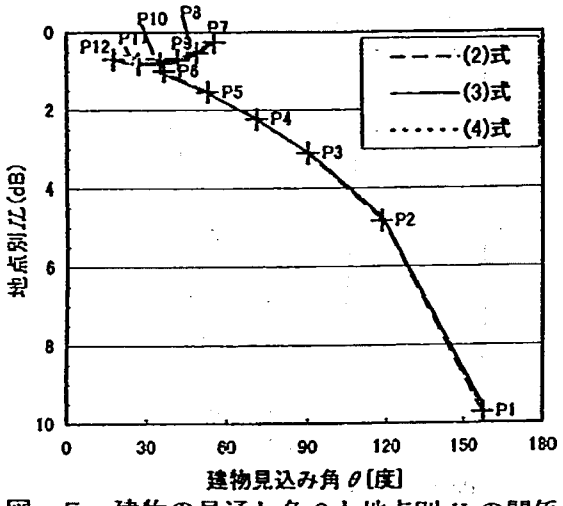


図－４ 計算値と模型実験値の比較

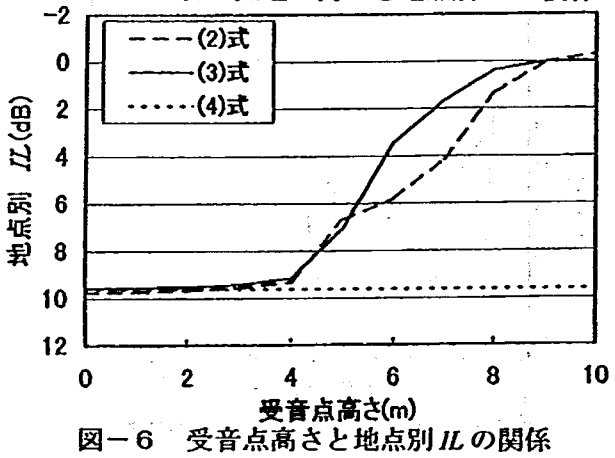
(2)式による計算値は実験値とよく一致しているが，(3)式による計算値は，音源が受音点から見て建物の陰となる領域にある場合に，実験値に比べて過大な挿入損失を与えている。これは，(3)式が，建物側方の伝搬音の寄与を考慮していないためと考えられる。また，(2)式，(3)式とも，P12 の音源位置 12m 付近において，建物側壁での反射音による音圧レベルの増加をよく表現できている。

次に，音源を 2m 間隔で 2km の区間に配置し，周波数範囲を 50 ～ 5kHz とした時に，(2)式～(4)式による地点別 IL の計算値を P1 ～ P12 において求めた。(2)式，(3)式による計算では，(1)式を用いて，建物の有無によるユニットパターンの積分値の差として，地点別 IL を算出した。また，地点別 IL は，自動車走行騒音の代表パワースペクトル[1]重み付けした A 特性オーバーオール値で表した。

図－５は，受音点高さが 1.2m の場合に，(4)式で定義された θ と地点別 IL(受音点 P1 ～ P12)の(2)式～(4)式による計算値の関係を示したものである。各計算値の間には，ほとんど差異がなく，上方からの回折音がほんとんど無視できる低い受音点位置では，最も簡便な(4)式で実用上十分なことが分かる。



図－５　建物の見通し角 θ と地点別 IL の関係



図－６　受音点高さと地点別 IL の関係

また，θ が同じでも，建物側壁面での反射音の影響がほとんどない P1 ～ P6 と側壁面での反射音の影響を受ける P7 ～ P12 では，地点別 IL に最大 1.5dB 程度の差が生じており，計算精度の向上には，建物側壁面での反射音を考慮する必要があると言える。

最後に，音源 P1 において，受音点高さを 10m まで上げた時に，(2)式～(4)式による計算値を，図－６に比較して示した。(4)式による計算値は受音点高さ 4m (建物の上端より 1m 低い) で，(2)式，(3)式による計算値から乖離する。これは(4)式が上方回折音の影響を無視していることによる。また，(2)式と(3)式による地点別 IL の計算値にも，受音点高さ 5m 付近から差異が生じ，(2)式による計算値が最大で 2.5dB 程度大きい値を与える。これは，鉛直平面 SP が建物の側壁面と交差する領域で，音源が遠ざかると(3)式の $IL^{(PS)}$ が急激に小さくなるのに対し，(2)式では上方及び側方回折音の寄与が緩やかに変化するためである。これらの受音点における(2)式と(3)式の計算結果の優劣については，模型実験値との比較等により検討すべき課題と考える。

(3)計算方法の適用条件等に関する考察

以上の結果から，沿道に立地する単独建物後方において，ユニットパターンのエネルギー積分値，すなわち，$LAeq$ を計算する場合は，(3)式で実用上十分であることがおおむね明らかとなった。一方，十分長い直線道路において，建物上方からの回折音の寄与を無視できる受音点位置では，(4)式により非常に簡便に地点別 IL を算出することができる。

また，(3)式，(4)式は，建物が道路に対して斜めを向いて立地している場合も，建物後方の全ての受音点位置において適用可能なだけでなく，原理的には，建物側方や前方を含めた広い受音点位置でも適用可能と考える。さらに，以上の検討では，直方体形状の建物を対象としたが，両式は，直方体形状以外の建物にも適用可能である。また，複数の建物が散在しており，建物間の多重回折，多重反射の影響がほぼ無視できると考えられる時は，個々の建物を独立した建物とみなし両式が適用可能と考える。

一方，トンネル上部などの受音点で，道路からの騒音がほぼ一方向から伝搬してくる場合に建物背後の地点での騒音レベルを計算する時は，建物側方の回折音を考慮する必要があり(2)式を用いる。

さらに，(4)式の考え方を応用すると，新たな環境基準[1]での評価の基本とされた「建物の騒音の影響を受けやすい面」が道路に対して正対していない場合に，その壁面に入射する（壁面での反射音は除

く）騒音レベルを推定することができると考える。たとえば，道路に対して直角方向を向いた建物の側壁面上の受音点を想定すると，建物上方の回折音の影響が無視できると考えられ，(4)式でいう見通し角θがπ/2となるため，その壁面（あるいは屋内）に入射する騒音レベルは，道路からの距離が同じで道路に正対した壁面よりおおむね 3dB 小さくなると推定できる。

3．十分長い直線道路に直面した建物群後方の *SA*・*IL*の計算方法

都市内等において，十分長い直線道路に直面した一列の建物群の後方区間における平均的な騒音レベルの計算方法を提案する。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建物群を想定し，提案した計算方法の妥当性を模型実験により検証する。

3.1 建物群後方での騒音レベルの区間評価

本稿では，沿道に建物が連担する場合，その後方の騒音レベルは，特定の地点（受音点）ではなく，道路端から一定距離にある受音点の集合（以下，受音線という）における平均的な騒音レベルとして区間評価することを提案するが，それは以下の理由による。

(1)建物群後方の騒音レベルは，特に，隣接する建物の間隙の大きさや，間隙と受音点との位置関係により複雑に変化する。したがって，環境基準の達成状況の把握や環境アセスメントでの評価において，沿道地域の平均的な騒音レベルの算出を目的とする場合，従来のように，代表的な予測・評価地点を選定し，その地点での騒音レベルを地域の平均的な騒音レベルとする方法は非常に困難である。

(2)建物群後方の特定地点での騒音レベルを計算するには，隣接する建物の間隙を伝搬する音の寄与を正確に求める必要があり，そのためには，建物間の多重反射による影響や間隙から放射する音の指向性を計算上，考慮する必要がある。しかし，これらの計算は，これまでの知見では困難なことに加え，現実の建物は，形状や大きさが千差万別であることから，計算に必要なパラメータ設定のための調査も非常に煩雑になる。

ところで，筆者らは，多くの開口部を有する低層遮音壁（パネルタイプ及び奥行きを有する植栽枡タイプがある）設置区間における騒音レベルの区間評価指標として，(5)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*・*LAeq*）を提案している。[8),12)]

$$SA\cdot LAeq = 10\log_{10}\left(\frac{1}{x_2-x_1}\int_{x_1}^{x_2} 10^{LAeq(x)/10}\,dx\right) \tag{5}$$

SA・*LAeq*（単位 dB）は，ある評価区間（$x_1 \sim x_2$）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化した場合の騒音レベルと言える。

なお，実用的には，*SA*・*LAeq* は等間隔に配置した n 箇所の評価点の等価騒音レベルから，求めることができる。

$$SA\cdot LAeq = 10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} 10^{LAeq(i)/10}\right) \tag{6}$$

さらに，低層遮音壁設置前後の *SA*・*LAeq* の差を区間平均挿入損失（Section-averaged Insertion Loss, *SA*・*IL*）と定義している[8),12)]。

直方体形状の建物からなる建物群は，低層遮音壁の植栽枡タイプと同様，厚みのある有限長障壁の集合体とみなせることから，ここでは，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*・*IL* を，建物群後方の騒音レベルの評価にも用いることとした。

3.2 計算方法

文献 12) では，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 *SA*・*IL* の簡易計算方法が，建物と同様の直方体形状を有する植栽枡タイプも含めて，一般化して示されている。その式において，低層遮音壁の設置区間が十分長い（無限長）とすると次式が得られる。

$$SA\cdot IL = -10\log_{10}\{10^{-IL_0/10} + (1-10^{-IL_0/10})\alpha\} \tag{7}$$

ここで，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），IL_0 は，無限線音源に対する無限長で連続した低層遮音壁による挿入損失を示している。また，(7)式は，*SA*・*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[8)]ことを示している。

(7)式の導出にあたり，植栽枡タイプの場合は，その側壁部分（反射性）での反射音の影響を，1 回反射に限定している[12)]。これは，隣接する植栽枡

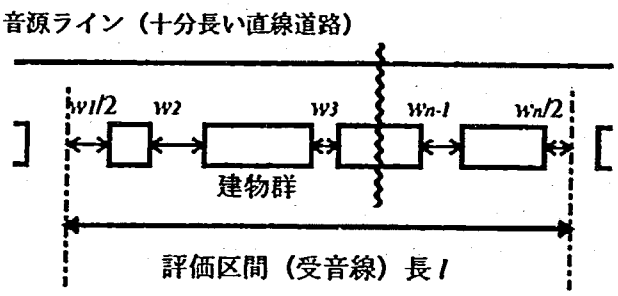
タイプの間隔が，その奥行きの２倍以上であることが一般的なことによる。一方，都市内の幹線道路に面して立地する建物の場合は，一般的には，隣接する建物の間隙に比べ，奥行きの方が大きいため，厳密には，間隙部分を伝搬する音の建物壁面での多重反射の影響を考慮する必要がある。しかし，ここでは，その多重反射により生ずるエネルギーの損失は十分に小さいと仮定し，(7)式を建物群後方における $SA \cdot IL$ の計算にも，そのまま用いることとした。

ただし，この場合，(7)式における，IL_0 の算出にあたっては，建物と同様の高さ，奥行きを有する無限長の反射性厚み障壁が設置されたことを想定し，障壁設置前後のユニットパターンのエネルギー積分値の差分を求めることになる。その際，反射性厚み障壁による減音量の計算には，文献 2)，3)，14) の方法を用いることとする。

また，α は建物群の間隙率であり，次式で定義する。(図－７参照)

$$\alpha = \frac{(w_1 + w_n)/2 + \sum_{i=2}^{n-1} w_i}{l} \qquad (8)$$

ここで，w_i ($i = 1 \sim n$) は，評価区間内における i 番目の建物間隔を表す。なお，街区単位で評価区間を設定する場合は，w_1，w_n は，対象道路（音源ライン）と交差し街区の外郭を形成する道路の幅員にあたる。



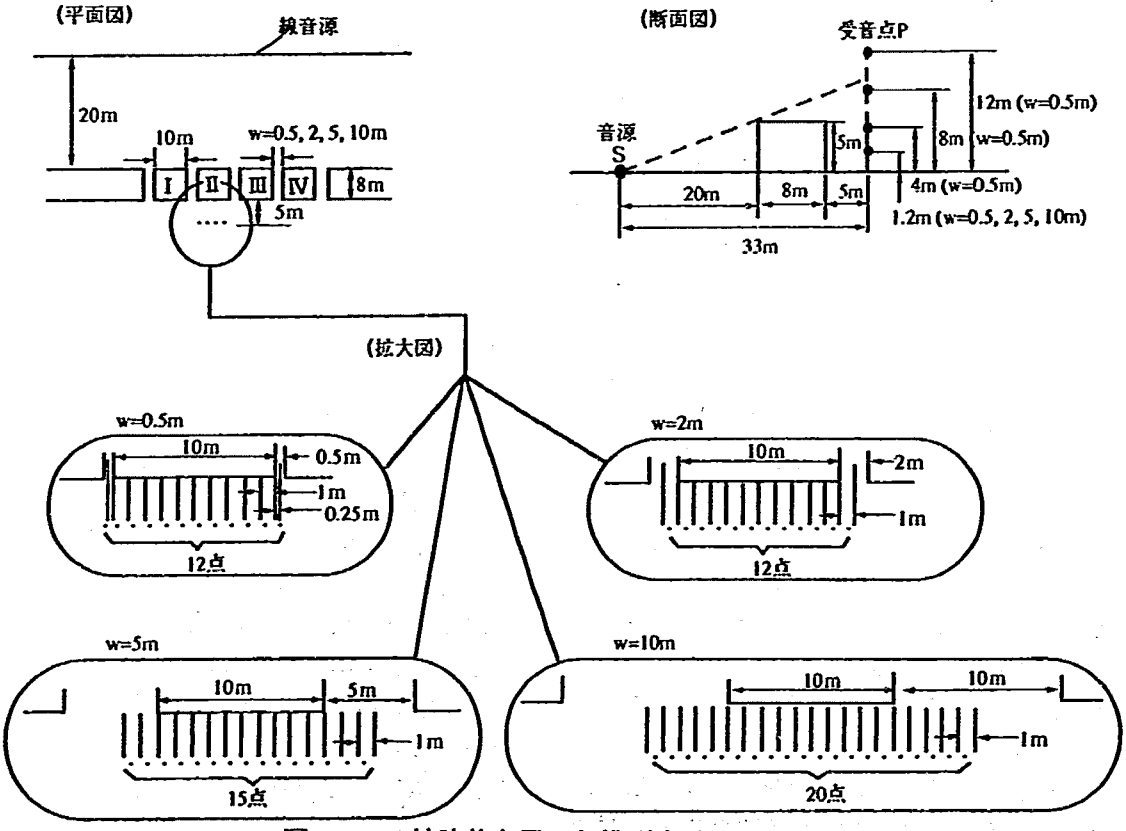
図－７　建物群後方の評価区間と間隙率 α の設定

3.3　模型実験による検証

無響室において，縮尺比 1/20 の模型実験を行い，(7)式による計算結果と模型実験値との比較検討を行った。

(1)模型実験の方法

図－８に模型実験の配置を示す。直方体形状の建物（間口 10m，奥行き 8m，高さ 5m）４棟を同一間隔で整列させ，その両側に，高さ，奥行きが同じで延長が 40m ～ 80m の建物を設置した。４棟の建物群の両側の建物には間隙がないが，それが下記の各受音点で地点別 IL の計算に与える影響は無視できるほど小さいと考えた。隣接する建物の間隔 w 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



図－８　４棟建物を用いた模型実験の配置

音点高さは，w = 0.5m の時，1.2m，4m，8m，12m の 4 とおりとし，その他の w 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[13]（延長 160m，半径＝音源高さ 0.2m）を床面上に置いた。地面および建物は反射性とし，それぞれ，厚さ 3mm および 5mm（実寸）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 とした。

図－8のとおり，受音点は，基本的に建物Ⅱの後方に配置したが，w = 2m，受音点高さ 1.2m の時には，後述する図－9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·IL の実験値については，図－8に示したように，評価区間を 1m 間隔に区分して，各々の区間中央に受音点（合計 n 個）を配置し，地面上に何も設置しない場合と，4 棟の建物群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，各受音点での *ILi* を 1/3 オクターブバンド毎に求め，次式により算出した。

$$SA\cdot IL = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}10^{-ILi}\right) \qquad (9)$$

ただし，w = 0.5m の時は，開口部背後の区間を 0.25m 区間に分割したため，他の 1m 区間の *ILi* の測定値は(9)式において 4 点分と数えた。

(2)地点別 *IL* の実験値と4棟建物による実験の妥当性

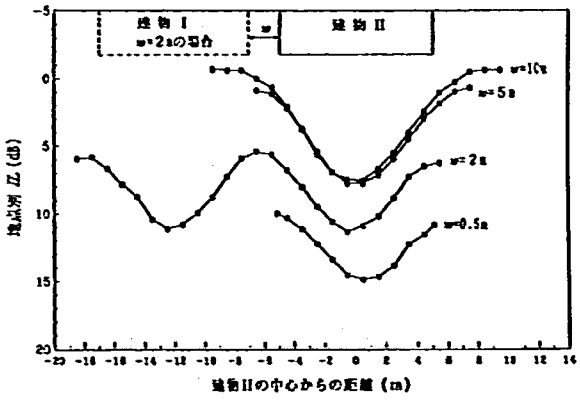
図－9に，受音点高さ 1.2m，w が 0.5m，2m，5m，10m 時の各受音点での地点別 *IL* の実験値を示す。なお，*IL* の計算は，1/3 オクターブバンドの中心周波数を用いて行い，自動車走行騒音の代表パワースペクトル[11]で重み付けした A 特性オーバーオール値として示した（図－10，図－12の *SA·IL* も同様）。

w が 2m の場合，建物Ⅰ，Ⅱの後方で，周期的な *IL* の変化が観測され，各周期の *SA·IL* もほぼ一致した。したがって，以下の検討においては，図－8で示したように建物Ⅱ後方の区間における *SA·IL* を測定すれば，等間隔で無限に建物群が立地する場合の *SA·IL* とほど同等の結果が得られると判断した。

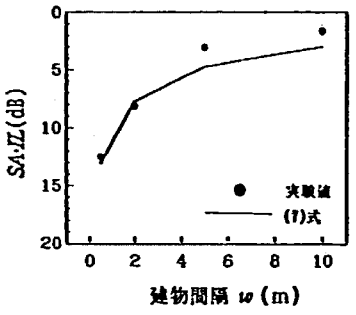
(3)*SA·IL* の計算値と模型実験値の比較

図－10に受音点高さが 1.2m の場合に，建物間隔 w を変化させた場合の *SA·IL* 計算値と実験値を示した。w 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が，w 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。

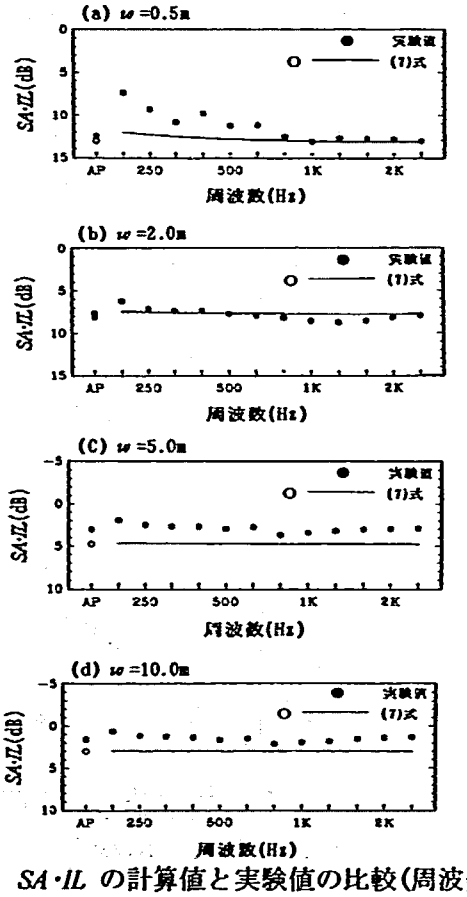
さらに，建物間隔 w と *SA·IL* の関係を周波数別に示した結果が図－11である。計算値，実験値とも，w = 2，5，10m では，*SA·IL* は周波数にかかわらず



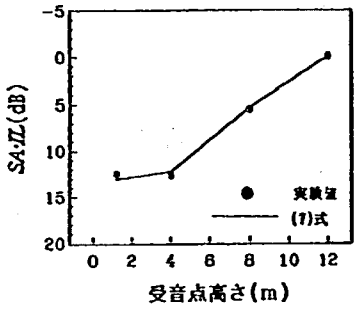
図－9　地点別 *IL* の変化の状況



図－10　建物間隔 w を変化させた場合の *SA·IL* の計算値と実験値の比較



図－11　*SA·IL* の計算値と実験値の比較(周波数別)



図－12　受音点高さ *Hp* を変化させた場合の *SA·IL* の計算値と実験値の比較

ほぼ，一定であるが，これは周波数に依存する建物群上方の回折音が小さいためと考えられる。しかし，w = 0.5m の時の実験値は，周波数が低くなるにつれ，*SA·IL* が小さくなる傾向が見られる。計算値において，周波数が小さくなるにつれ *SA·IL* がやや小さくなるのは，上方回折音の影響だが，実験値には，それを上回る *SA·IL* の減少が観測された。

次に，図－12に，w = 0.5m の場合に，受音点高さ *Hp* を 1.2m，4m，8m，12m とした場合の *SA·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。

以上より，(7)式は，w が小さい時に，低周波数で計算値と実験値の乖離がやや大きくなる傾向が見られるもの，*SA·IL* を自動車走行騒音の代表パワースペクトル[11]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異は 2dB 以下であり，実用上，十分に利用できると考えられる。なお，受音点側の地面反射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。

4．建物のパラメータの調査精度に関する考察

環境アセスメント等において，建物後方の騒音レベルを予測する場合は，建物の形状，大きさという計算上必要なパラメータを調査し，それに基づいた計算を行う必要がある。しかし，広範囲の地域にわたって，これらを詳細に調査することは非常に困難である。ここでは，これらの建物パラメータの調査精度に関して考察を行う。

4.1　単独建物後方の地点別 *IL* を計算する場合

2．での単独建物後方での騒音レベルの検討において，十分長い直線道路において，建物上方の伝搬音の寄与が十分小さい時は，(4)式により地点別 *IL* が簡易に計算できることが明らかとなった。この場合は，計算上，建物の高さ，奥行きを設定する必要はなく，(4)式における θ と θ' のみ設定すればよい。また，θ と地点別 *IL* の関係は，たとえば，図－5のとおりであり，θ が 60 度以下の場合は *IL* の変化は小さく，θ の調査に特に高い精度は要求されない。

4.2　建物群後方の *SA·IL* を計算する場合

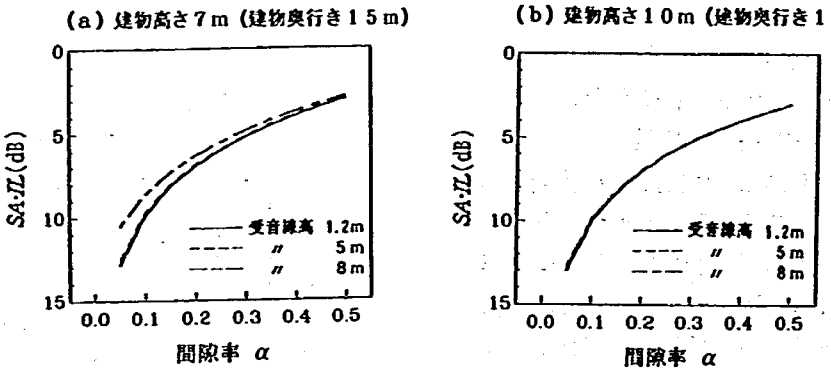
3．で検討した建物群背後での *SA·IL* の計算に必要な建物の高さ，奥行き，間隙率というパラメータと *SA·IL* の関係をケーススタディにより分析し，これらのパラメータの設定に必要な調査精度について考察する。

4.2.1　建物群パラメータと *SA·IL* の関係

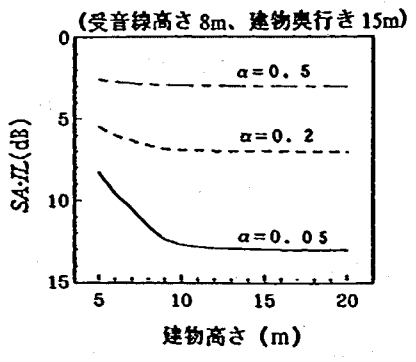
対象道路として，都市内における幅員 30m の 4 車線平面道路を想定した。沿道に立地する建物の道路側壁面は，道路端に位置するとし，建物の奥行き（0m ～ 19m），高さ（5m ～ 20m），間隙率（0.05 ～ 0.5）を変化させた。音源は道路中央を移動することとし，受音線は，建物後方（道路端からの距離は 20m）で高さは，1.2m，5m，8m とした。なお，対象周波数は，道路交通騒音の主要帯域を含む 50Hz ～ 5kHz とした。

図－13に，建物高さが 7m（2F 建て相当）または 10m（3F 建て相当）の場合に，受音線高さ別に，間隙率 α と *SA·IL* の関係を示した。これらの図から，*SA·IL* は，α にしたがって，3dB ～ 13dB の範囲で大きく変化していることが分かる。また，受音線高さが建物高さより低い時は，*SA·IL* は受音線高さにはほとんど関係しないことが分かる。

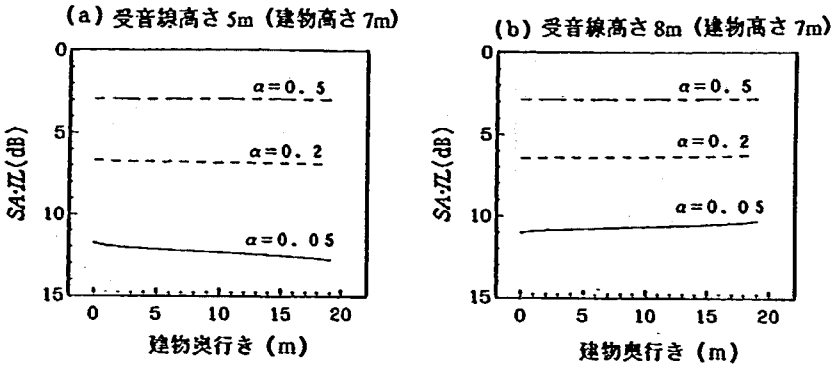
図－14に，受音線高さ 8m，間隙率 α が 0.05，0.2



図－13　間隙率 α と *SA·IL* の関係



図－14　建物高さと *SA·IL* の関係



図－15　建物奥行きと *SA·IL* の関係

または 0.5 の場合に，建物高さを 5m から 20m まで変化させた時の *SA·IL* の変化を示した。α により変化の状況は異なるものの，建物高さが受音線より高い場合は，建物高さは *SA·IL* の算出にほとんど関係しないことが分かる。

図－15に，建物高さ 7m，受音線高さ 5m または 8m，間隙率 α が 0.05，0.2 または 0.5 の場合に，建物の奥行きを 0m（道路側壁面に位置上にある薄い障壁とみなした場合に相当）から 19m まで変化させた場合の *SA·IL* の変化を示した。受音線が建物より低い場合だけでなく高い場合にも，建物の奥行きは *SA·IL* にほとんど影響を与えないことが分かる。

4.2.2　建物パラメータの調査精度に関する考察

建物群後方で建物より低い受音線では，建物群間隙からの伝搬音が，建物上方の回折音よりも支配的になり，間隙率 α の設定が *SA·IL* 計算のために特に重要となる。特に α が小さい場合に，その設定誤差が *SA·IL* の計算値に与える影響が大きくなる。

一方，建物の高さや奥行きが *SA·IL* の計算結果に与える影響は小さい。特に，奥行きについては，受音線が建物より高い時も，その影響は小さく，建物を幹線道路側の壁面からなる薄い障壁と考えても，計算上支障はないと考えられる。なお，相反の定理から判断すると，音源位置が高い場合も，奥行きが *SA·IL* におよぼす影響は小さいと考えられる。

以上のことから，平面道路に直面した建物群後方の騒音レベルを計算する場合，建物群より低い受音点では，(7)式において，$10^{-IL\alpha/10} \fallingdotseq 0$ とおいて計算すればよいと考える。すなわち，*SA·IL* は間隙率 α のみを調査すれば計算できる。ただし，2列目以降の建物後方での騒音レベルの計算においては，建物間を伝搬する騒音の多重反射，散乱の影響を考慮する必要があり，今後の課題である。

なお，以上の計算結果に基づくと，建物群より低い受音線では，間隙率が 0.2（*SA·IL* ＝ 7dB）以下の場合，道路の幅員が 40m（道路中心の音源と道路端の距離が 20m）以下の時の道路端と道路端から 20m 離れた地点の騒音レベル差は，3dB 以上の距離減衰を加味すると 10dB 以上になる。したがって，環境基準[1]における類型指定の A 地域でも，道路端で幹線道路近接空間に対する環境基準値を達成すれば，背後地での環境基準値は達成されることになり，建物群後方での騒音レベル計算の必要性が小さくなる。

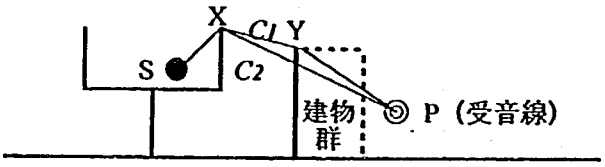
5．嵩上げ式道路に直面した建物群後方の *SA·IL* の簡易計算方法の一提案

2．～4．では，平面道路の沿道に立地する建物を対象に，その後方での騒音レベル計算方法の検討を進めてきた。ここでは，嵩上げ式道路（高架道路及び盛土道路を総称していう）に直面した一列の建物群後方での *SA·IL* の計算方法について考察する。ただし，嵩上げ式道路には遮音壁または壁高欄が連続して設置されていることを前提とする。

計算のための模式図（断面図）を図－16に示す。高架道路は十分に長く，同一高さの遮音壁（または高欄）が設置されている。一方，建物群は，同一高さで，間隙率は α とする。今，建物後方の受音線 P における *SA·IL* を計算する場合，(7)式と同様の考えに立てば，図－16で示した2つの音の寄与 *C1* および *C2* を合成すればよい。ここで，*C2* の計算にあたっては，高架道路の遮音壁（高欄）および建物（反射性厚み障壁）上方での二重回折を計算する必要がある。ここでは，二重回折の計算にあたり，建物を道路側壁面の位置にある薄い障壁とみなした。これは，以下の理由による。

(1) 薄い障壁と反射性厚み障壁による二重回折計算方法に関する知見は今のところ見当たらない。

(2) 4.2.2での検討の結果，音源が高い時も，建物群の奥行きが計算結果に及ぼす影響は小さく，建物



C_1：高架道路の遮音壁（高欄）を回折後，建物上方を回折する音の寄与

C_2：高架道路の遮音壁（高欄）を回折後，建物の開口部を伝搬する音の寄与

図－16　高架道路沿道に立地する建物群後方での *SA·IL* 計算方法の模式図

を薄い障壁と考えても差し支えない。

(3)建物群の道路側壁面の位置は，幹線道路上から目視で調査できるが，奥行きの調査は困難である。

今，嵩上げ式道路の遮音壁及び建物群が存在しない場合の音の寄与を C とすると，

$$SA \cdot IL = -10\log_{10}(C_1/C + C_2/C)$$
$$= -10\log_{10}\{10^{-IL_1/10} + (10^{-IL_2/10} - 10^{-IL_1/10})\alpha\} \quad (10)$$

ここで，IL_1，IL_2 は，各々，無限長の二重障壁（上端 X，Y），半無限障壁（上端 X）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分である。IL_1 は筆者らが提案する二重回折の計算方法[14]を用いて求めることができる。なお，地面反射の影響は(7)式同様，無視している。

6．まとめ

本稿で得た主な成果は以下のとおりである。

(1)平面道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法として，3 パスの方法，ならびに，建物側壁面での反射音を考慮した 1 パスの方法および見通し角補正による方法を示し，それらの適用条件を明らかにした。

(2)平面道路に直面した 1 列の建物群後方の区間平均挿入損失（*SA·IL*）を計算する方法を提案し，その妥当性を模型実験により検証した。

(3)(1)，(2)の場合に，建物高さ，建物奥行き，建物の見通し角，建物群の間隙率というパラメータと地点別 *IL*，*SA·IL* の関係を分析し，建物より低い受音点位置では，建物の見通し角や建物群の間隙率のみを調査すればよいことが分かった。

(4)(2)，(3)の結果を踏まえて，嵩上げ式道路に直面して一列の建物群が立地する場合に，その後方での *SA·IL* の計算方法を提案した。

今後の主な課題としては，以下が挙げられる。

(1)嵩上げ式道路に直面した建物群背後の *SA·IL* の計算方法の模型実験による基礎的検証

(2)本稿で提案した各種の計算方法の現地実測による検証

(3)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

(4)近接した複数建物後方の特定地点での騒音レベルの計算方法

謝辞

模型実験に用いた線音源を貸与していただいた(財) 小林理学研究所および本稿における計算を担当された㈱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（1998.9.30）．
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，再投稿中.
3)上坂克巳，大西博文，三宅龍雄，高木興一：幹線道路に面した建物周辺における騒音レベルの計算方法～単独の建物の場合～，日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集（1998），pp.179 ～ 182.
4)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(1994)，pp.229 ～ 232.
5)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(1994)，pp.240 ～ 249.
6)FHWA Highway traffic noise prediction model, Report FHWA-RD-77-108, Department of Transportation, Federal Highway Administration, USA,1977.
7)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（1995），pp.37 ～ 49.
8)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,第 34 巻,(1997)，pp.307 ～ 317.
9)K. Yamamoto, K. Takagi, Expression of Maekawa's chart for computation, *Applied Acoustics*, 37(1992), pp.75 ～ 82.
10)辻本三郎丸，住友聰一，福島昭則，一木智之：平面道路に建てられた長さの短い遮音壁の効果について，日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集（1998），pp.231 ～ 234.
11)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(1994)，pp.233 ～ 239.
12)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，再投稿中.
13)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（1979），pp.257 ～ 261.
14)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，Vol.22 No.3（1998），pp.153 ～ 161.

Ⅰ－7　道路環境センサスデータにおける L_{50} と L_{Aeq} の関係について

Relationship between Road Traffic Noise indices ,L_{50} and L_{Aeq}, measured by Road Environment Census

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
那須　猛士
Takeshi NASU
（株）オリエンタルコンサルタンツ
Oriental Consultants.INC

[内容梗概]本稿では、建設省が行った「平成８年度道路環境センサス（直轄国道）」の 3,095 地点の実測調査のデータを用いて、環境基準の達成状況の把握を行うとともに、L_{50} と L_{Aeq} の関係の解析を行った。その結果、平成 10 年９月に告示された新しい「騒音に係る環境基準」で夜間の等価騒音レベル(L_{Aeq})を評価したところ、25.3%の測定地点で環境基準を達成していた。また、L_{Aeq} と L_{50} の関係をみたとき、これまでは平坦道路における L_{Aeq} から L_{50} への換算式が確立されていなかった。そこで、本稿では平面道路における豊富な L_{Aeq} と L_{50} の実測データの結果から、L_{50} から L_{Aeq} への換算式を求めた。

１．はじめに

平成 10 年５月の中央環境審議会の答申をうけて、新しい「騒音に係る環境基準」が平成 10 年９月に告示された。その結果、騒音の評価指標は、騒音レベルの中央値（L_{50}）から等価騒音レベル（L_{Aeq}）に変更されることとなった。

これまで、道路交通騒音の評価は L_{50} によって行われていたことから L_{50} による実測データが豊富に蓄積されている。その実測データが、有効に利用されるためには、今後得られる L_{Aeq} 等による実測データと比較されるなどして、これらデータの整合がはかられていることが必要である。特に、L_{50} はこれまで、道路交通騒音の指標として行政的に非常に重要な役割を担っていただけに、既得の L_{50} の蓄積されたデータの有効活用がはかられることは、非常に有益なことと思われる。

建設省を中心に道路管理者は、道路交通騒音の影響と要因の解明及び道路環境施策の充実を図るため、全国の国道等を中心に、騒音実測調査（道路環境センサス）を実施し、騒音の実態把握を行ってきた。本稿では、道路環境センサスの調査方法及び騒音レベル別延長集計の考え方を示すとともに、整理された平成８年度の道路環境センサスのデータを用いて、新しい「騒音に係る環境基準」に基づく評価を行った。また、実測された L_{Aeq} と L_{50} の関係を分析し L_{50} を L_{Aeq} に変換する方法を検討した。

２．道路環境センサスデータの実測 L_{Aeq} 値を用いたデータの解析

道路環境センサスでは、全国の主要な国道沿道 3,369 地点において騒音、交通量等の実測調査を行った。本稿では、まず３．で道路環境センサスの調査方法、評価方法を紹介し、４．で調査結果として現行の「騒音に係る環境基準」と新しい「騒音に係る環境基準」に照らして評

価を行う。5．では31,592個の豊富な L_{Aeq} 値と L_{50} 値の実測データを用いて、*ASJ Model 1993* における L_{Aeq} から L_{50} に換算する計算式にあてはめ、実測された L_{Aeq} 値と換算された L_{Aeq} 値を比較し適合状況をみる。また、平面道路における換算式を新しく作成した。そして、6．では夜間の L_{Aeq} の実測値と *ASJ Model 1993* による計算値を比較・検討した。

3．道路環境センサスの調査方法

3．1　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。

3．2延長集計の考え方

道路環境センサスでは、騒音レベル等の調査結果を道路延長をベースとして集計することを試みた。これは環境庁の「自動車交通騒音実態調査」の地点別集計に比べ、沿道騒音を全体的により現状にそくして把握できると考えたからである。以下に、延長集計の考え方を述べる。

1)調査単位区間の設定

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

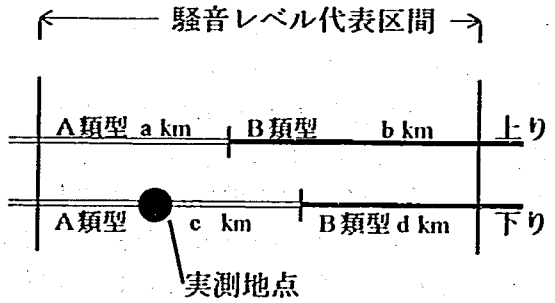
除外区間を除いた後、調査単位区間の中で、道路条件、交通条件、騒音レベルがほぼ一定とみなせるよう区間を騒音レベル代表区間として設定した。1つの調査単位区間で騒音対策の実施、道路構造の違いにより騒音レベルが一定とみなせない場合は、騒音レベルが一定となるように調査単位区間を分割し、騒音レベル代表区間を設定した。

3．4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する。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する必要がある。

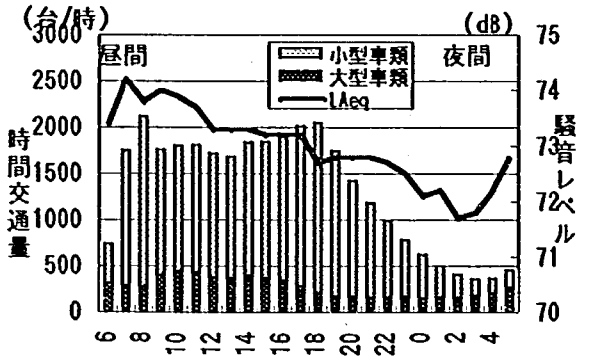
3．5評価の方法

騒音レベル代表区間のうち、上り側車線と下り側車線別の沿道における、環境基準類型指定地域、用途地域及び騒音規制区域の延長を合計し、2で除した延長を評価延長とした。騒音レベルと環境基準並びに要請限度により評価した集計は、この評価延長をベースに行った（図－1参照）。

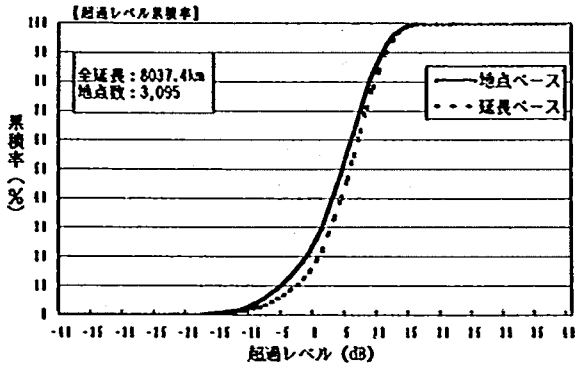


A類型延長＝（a＋c）／2　km
B類型延長＝（b＋d）／2　km
（環境基準を評価する場合の例）

図－1　評価延長の考え方



図－２　全国の各時間の平均交通量と騒音レベル



図－３環境基準超過の累加曲線

道路環境センサスでは、沿道騒音の状況を地点ベースと延長ベースで集計している。本稿では、直轄国道における実測調査のデータを用いて検討を行った。

４．道路環境センサスの調査結果

道路環境センサスでは、全国の直轄国道、3,369地点、8,591.5kmにおいて騒音と交通量の実測調査を行った。そのうち、騒音、交通量、車速の全てに欠損のない 3,095 地点のデータを用いて全国の平均的な交通量と騒音レベルを各時間毎に算出し、図－２に示した。

昼間と夜間の平均交通量をみると、夜間は全時間で 1,000 台／時以下であり、昼間の約半分以下であることがわかる。また、夜間の大型車交通量は時間毎の変動が小さくなっている

一方、騒音レベルは、全時間が 72dB(A)を越えている。

４．１道路環境センサスの測定結果と環境基準との比較

平成 10 年 9 月に L_{Aeq} を評価量とする新たな環境基準が告示された。道路環境センサスの測定結果と新たな環境基準との比較を行い、環境基準の達成状況を調査した。

道路環境センサスの実測調査地点は 3,095 地点、調査延長は 8,037.4km である。また、道路環境センサスの観測点は国道の道路端であり、以下に示す幹線交通を担う道路の近接空間における環境基準が適用される。

環境基準値	70dB	65dB
	昼間	夜間
	(6～22時)	(22～6時)

L_{Aeq} 実測値と環境基準の差に関する累加曲線を図－３に示す。L_{Aeq} 実測値は時間区分のエネルギー平均値を用いている。同図の横軸の超過レベルは、(L_{Aeq} 実測値－環境基準）であり、負の値は環境基準を達成していることを示す。累加曲線は、地点と延長でみた場合の２種類を作成した。

図－３より、環境基準を達成しているのは地点数でみると約 25%であり、延長でみると約 20%であり地点集計の方が達成率がよい。これは、環境基準を達成している地点の代表延長が超過している地点延長より長いためである。以上のとおり、沿道における騒音の実態は厳しい状況にあることが分かった。

５．道路環境センサスの実測データを用いた L_{Aeq} と L_{50} の関係の解析について

これまで環境基準や要請限度の評価量は L_{50} であったため、蓄積された測定結果も L_{50} のみという場合がある。これらの測定結果を今後も有効に利用するためには、L_{50} から L_{Aeq} を簡便に計算する方法が求められる。

道路交通騒音における L_{Aeq} と L_{50} の関係については、*ASJ Model 1993* [1]において盛土、切土、高架の３つの道路構造で L_{Aeq} から L_{50} への変換式が簡単な１次関数で与えられている。変換式を L_{Aeq} と L_{50} の差(L_{Aeq}-L_{50})に着目して整理すると以下のとおりとなる。

$$L_{Aeq} - L_{50} = aX + b \quad \cdots (1)$$

$X : d / l$

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、道路構造毎に以下のように設定されている。

	a	b
盛土	1.00	0.98
切土	0.57	0.58
高架	0.55	1.37

本稿では、実測の L_{50} 値に式(1)を適用して L_{Aeq} を計算し、実測の L_{Aeq} 値と比較した。また、*ASJ Model 1993* では平坦や堀割の道路構造における L_{Aeq} から L_{50} への変換式は定義されていない。そのため、道路環境センサスの実測データを用いて、式(1)と同様な関数形による L_{Aeq} から L_{50} への変換式を平坦及び堀割道路構造において作成した。

5.1 変換式の適用例

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 データに対して(1)式を適用した L_{Aeq} 計算値と L_{Aeq} 実測値の比較を行った。比較結果を図－4に示す。図中の n はデータ数、r は相関係数、S は回帰式回りの標準偏差を表している。

図－4より、計算値と実測値の平均的な差は約 0.2 ～ 0.5dB であり、標準偏差は 1.4 ～ 1.9 と 2dB 以下である。また、道路構造別にみた相関係数は、

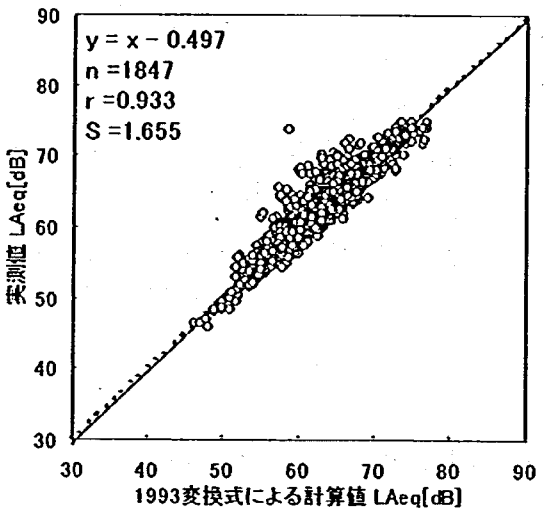
0.93　0.97　0.92
盛土　切土　高架

と 0.9 以上を示しており、L_{50} から変換式(1)により求めた L_{Aeq} 計算値と L_{Aeq} 実測値はよく対応がとれていると考えられる。

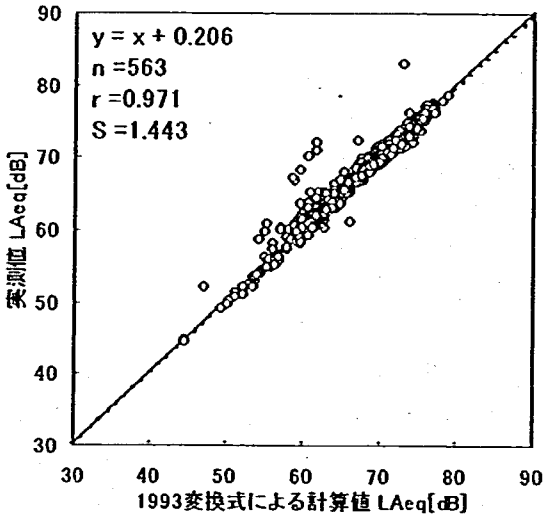
5.2 道路環境センサスの実測データで作成した L_{50} から L_{Aeq} への換算式

道路環境センサスの実測データを用いて、L_{50} から L_{Aeq} への変換式を式(2)として作成した。変換式は式(1)と同様に d/l の1次関数とした。具体的には d/l を説明変数として、L_{Aeq} と L_{50} の差(L_{Aeq}-L_{50})を目的変数とした回帰分析を行い、この結果得られた回帰式を変換式とした。

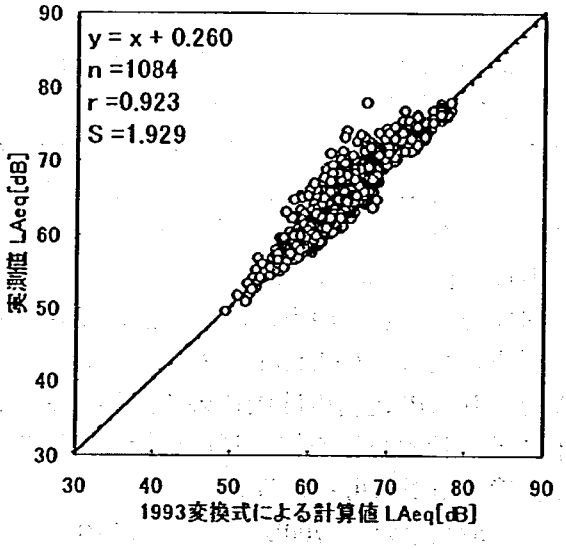
盛土



切土



高架



【n：データ数　r：相関係数　s：標準偏差】

図－4　式(1)による計算値と実測値の比較

分析に利用したデータは、表－1に示すとおりである。

表－1　分析に用いたデータの最大、最小、平均値

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	最大	10,440	7,290	9,348	9,348	8,286
（台／時）	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	最大	47.5	47.5	45.7	34.2	53.5
ら観測点ま	最小	7.7	6.5	5.0	12.1	3.4
での距離	平均	22.0	26.0	19.0	21.2	12.7
平均車	最大	437.8	456.2	437.9	384.9	479.5
頭間隔	最小	29.3	40.2	30.2	23.5	16.9
（m）	平均	172.4	177.7	160.7	141.3	155.0
走行速度	最大	103.9	60.2	96.2	96.2	105.5
（Km/h）	最小	22.8	25.2	16.4	19.3	10.5
	平均	57.5	59.4	57.7	59.2	49.7

得られた式(1)の回帰係数を道路構造別に以下に示す。

	a	b
盛土	0.32	1.52
切土	0.15	1.34
高架	-0.01	2.50
堀割	0.33	1.07
平坦	0.19	2.28

式(1)と比較すると、係数aが小さくd/lによる影響が小さい結果となっている。特に高架構造では、d/lの影響はほとんどなく、L_{Aeq}とL_{50}の差は2.5dBでほぼ一定とみなすことができると考えられる。本稿のデータは官民境界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の範囲が小さくなっている。道路の中心から観測点までの距離が小さいと、L_{50}とL_{Aeq}の差は、車頭間隔に依存することが小さいと考えられるため、l/dの影響が小さい回帰式となったと考えられる。

4.1と同様に実測のL_{50}値に式(2)を適用してL_{Aeq}を計算し、実測のL_{Aeq}値と比較した。比較結果を図－5に示す。

同図より、計算値と実測値の平均的な差はいずれの道路構造でも約0dBであり、式(1)による比較結果と比べて小さくなっている。また、道路構造別にみた相関係数は、

0.94	0.97	0.93	0.98	0.93
盛土	切土	高架	堀割	平面

であり、式(1)による比較結果と相関が同じ、あるいは高い結果が得られた。新たに示した堀割と平面構造においても良好な変換結果が得られている。

道路環境センサスの豊富なデータを用いてL_{50}からL_{Aeq}に換算する式を検討した結果、今回求めた変換式により、これまで道路端付近で測定されたL_{50}の値からL_{Aeq}に変換することが十分可能であると考えられる。

6．夜間騒音の実測値と計算値の差

道路環境センサスの騒音実測データを用いて交通量と騒音レベルの関係を実測値と*ASJ Model 1993*を用いて検討した。

6．1騒音実測値と計算値

*ASJ Model 1993*に交通量等の実測値を用い、実測地点における騒音レベルを各時間毎に計算した。この計算値と実測騒音レベルの差の関係を検討した。

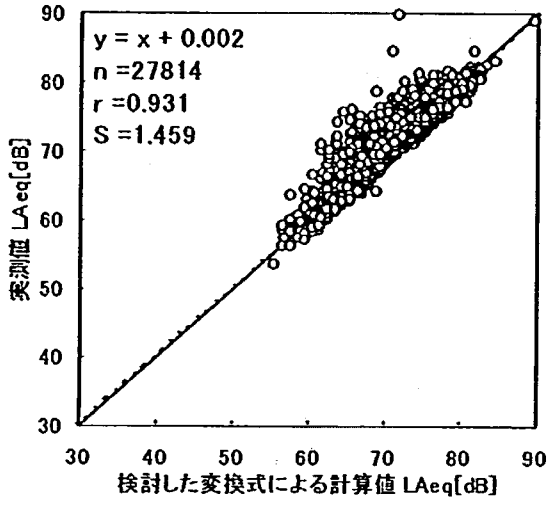
*ASJ Model 1993*の適用範囲は、橘、佐々木(1994)によると

①対象道路：道路一般部（平坦、盛土、切土、高架）の直線区間で、断面構造が一様な箇所
②交通量：*LAeq*を予測する場合には制限なし。
③走行速度：60km／h～120km／h
④予測範囲：道路から100mの水平距離の範囲で高さは地上12mまで。

とされているが、上坂ら（1997）[3]によって、沿道に建物がない平坦道路において「一般道路パワーレベル式」及び「*ASJ Model 1993*」の伝搬計算方法（B法）を用いて、予測精度の検証を行ったところ、計算値と実測値の差は0.9dBとなったことが報告されている。

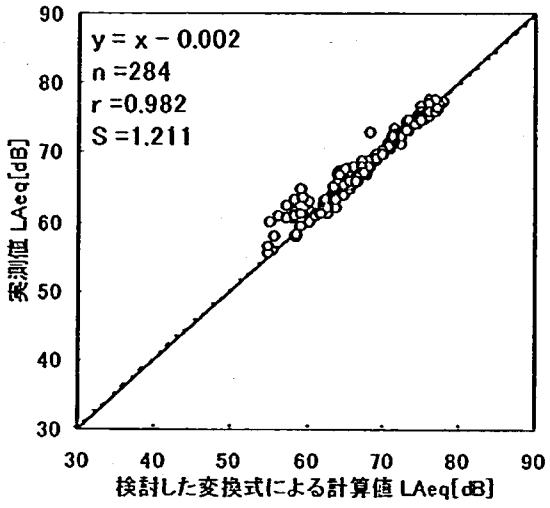
そこで本稿では、道路環境センサスを実施した一般道の、同一地点において、昼間の計算値と実測値の差が夜間でも保たれているかどうかの検討をした。利用したデータは、上坂ら(1997)と同じく

平面

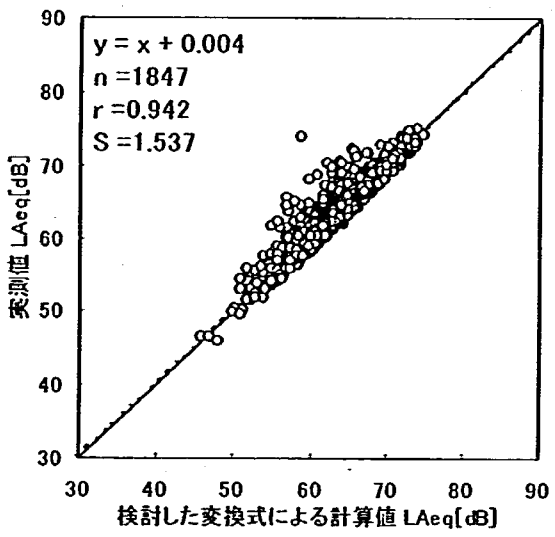


図－５（a） 式(2)による計算値と実測値の比較
盛土

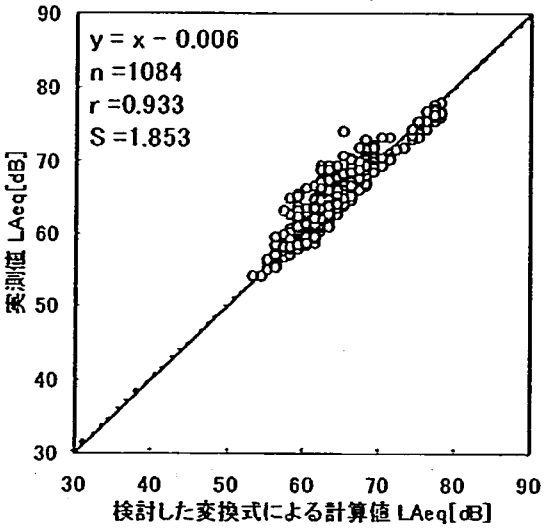
堀割



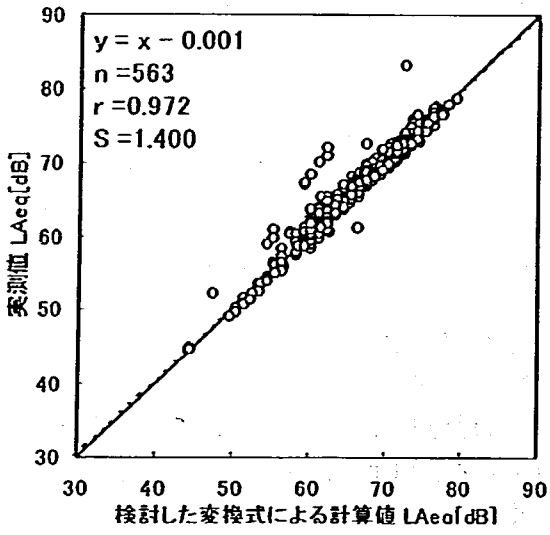
図－５（b） 式(2)による計算値と実測値の比較
高架



図－５（c） 式(2)による計算値と実測値の比較
切土

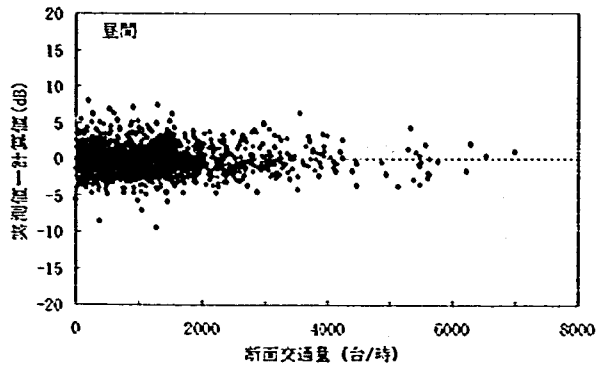


図－５（d） 式(2)による計算値と実測値の比較

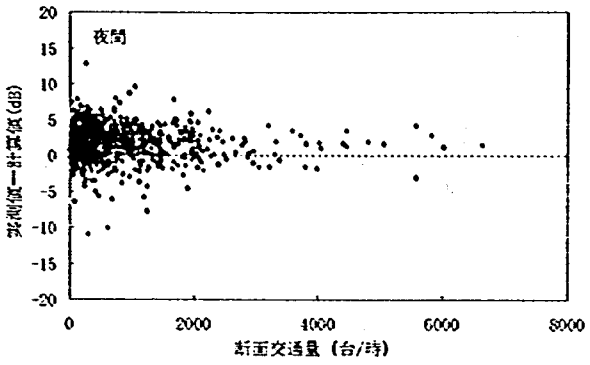


図－５（e） 式(2)による計算値と実測値の比較

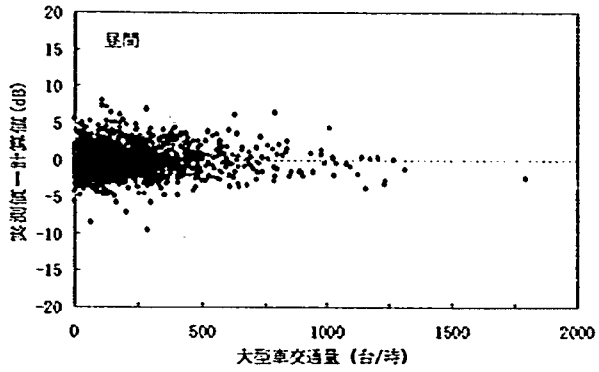
【n：データ数、 r ：相関係数、 s ：標準偏差】



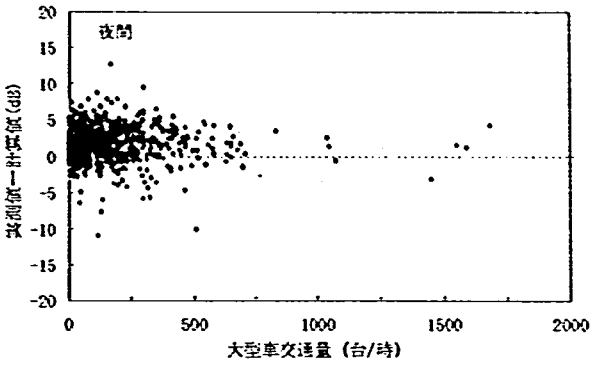
図－6 (a)　昼間と夜間の計算値と実測値の差



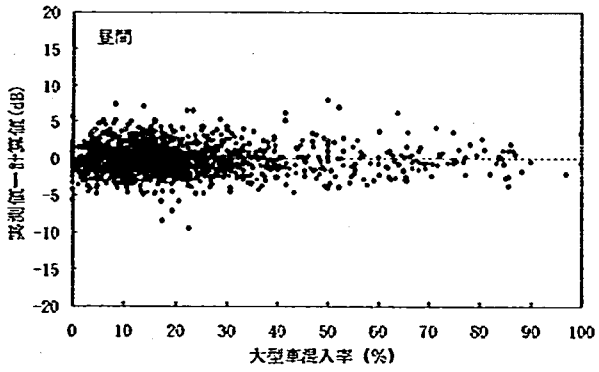
図－6 (b)　昼間と夜間の計算値と実測値の差



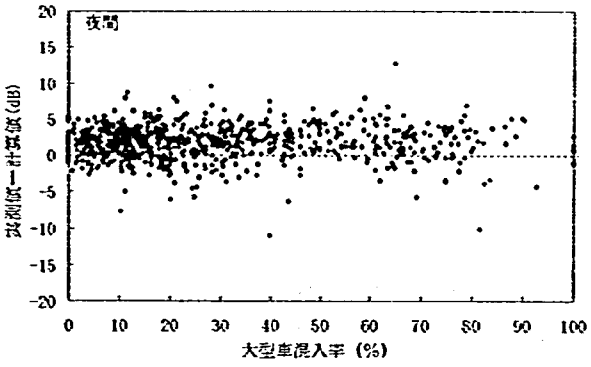
図－6 (c)　昼間と夜間の計算値と実測値の差



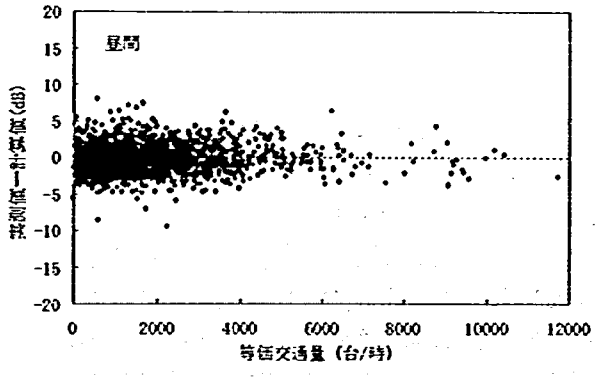
図－6 (d)　昼間と夜間の計算値と実測値の差



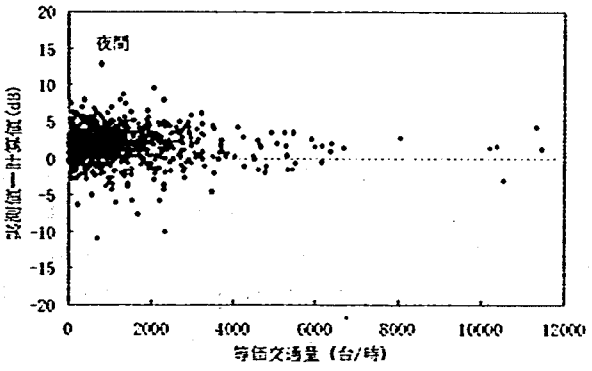
図－6 (e)　昼間と夜間の計算値と実測値の差



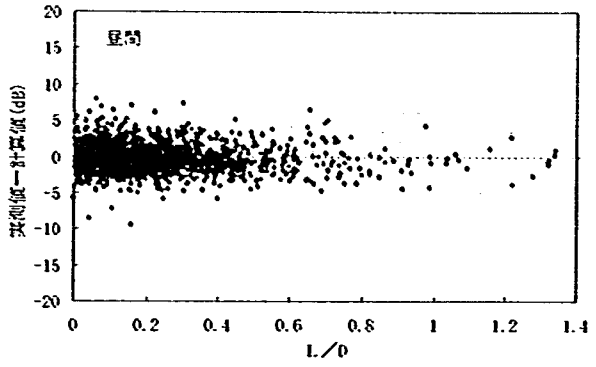
図－6 (f)　昼間と夜間の計算値と実測値の差



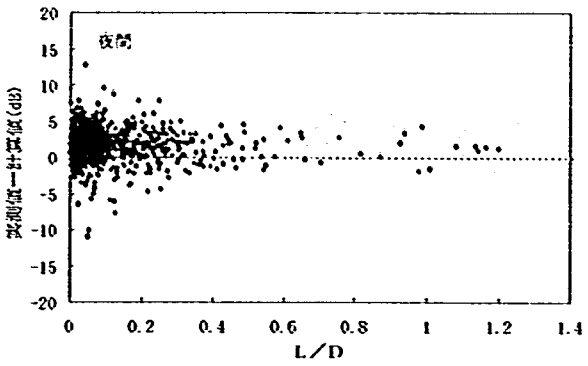
図－6 (g)　昼間と夜間の計算値と実測値の差



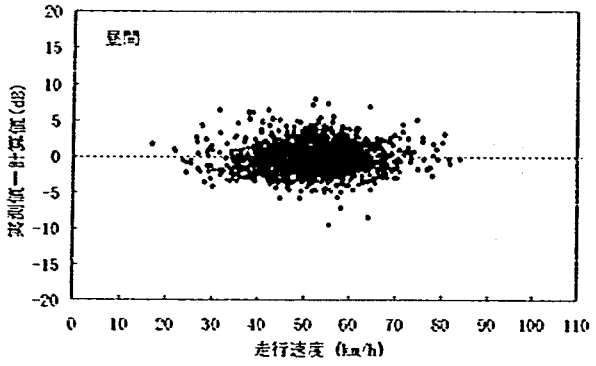
図－6 (h)　昼間と夜間の計算値と実測値の差



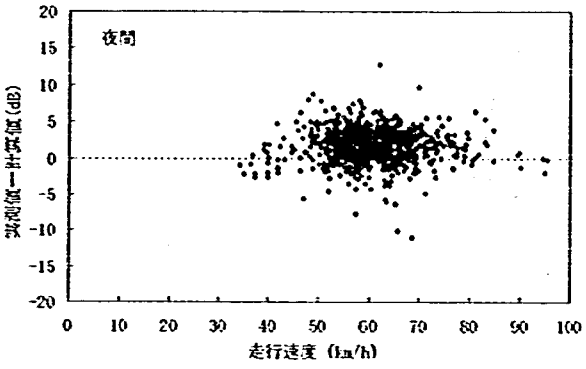
図－６(i)　昼間と夜間の計算値と実測値の差



図－６(j)　昼間と夜間の計算値と実測値の差



図－６(k)　昼間と夜間の計算値と実測値の差



図－６(l)　昼間と夜間の計算値と実測値の差

①併設道路がない一般道路。
②平坦道路で、沿道に建物、壁等の音の反射物の影響がない箇所。
③信号交差点から約 100m 以上離れた箇所
とし、94 地点 2,251 データを用いて解析を行った。

６．２　計算値と実測値の差と交通条件の関係

抽出した 94 地点の昼間と夜間の計算値と実測値の差を図－６に示した。この結果、断面交通量、等価交通量、大型車交通量、大型車混入率、車速等の交通条件にかかわらず、昼間に比べて夜間の方が計算値と実測値の差が大きいと思われる。

７．まとめ

全国の直轄国道 20,604.6km のうち、8,037.4km の沿道において道路環境センサスとして騒音の実測調査を実施した。そして、騒音の LAeq 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。また、27,814 個の実測データを用いて、平面道路における L50 と L_{Aeq} の関係を解析した。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、新しい「騒音に係る環境基準」に照らして評価した結果、調査地点の約 25%、延長では約 20%が環境基準を達成しており、沿道騒音の実態は依然厳しい状況にある。
2)平面道路、堀割道路について L_{50} から L_{Aeq} を換算式を作成し、実測された L_{Aeq} との相関係数を調べた結果、0.9 以上となり良い対応となった。
3)断面交通量、等価交通量、大型車交通量、大型車混入率、車速等の交通条件に係わらず、昼間に比べて夜間の方が計算値と実測値の差が大きいと思われる。

参考文献

1)橘　秀樹、佐々木實：「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)
2)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
3)上坂克巳、大西博文、那須猛士、押野康夫：「エネルギーベース騒音予測法の一般道路への適用性の検討」，騒音・振動研究会資料　N-97-35

I－8　高架構造物音の予測方法に関する検討

Study for Prediction of Noise caused by Viaduct

田近輝俊
Terutoshi TAJIKA
㈱環境技術研究所
Environmental Technical Laboratory,Ltd

飯森英哲
Hideaki IIMORI
㈱オリエンタルコンサルタンツ
Oriental Consultants CO.,LTD

渡久地政樹
Masaki TOGUCHI
日本道路公団
Japan Highway Public Corporation

上坂克巳
Katsumi UESAKA
建設省土木研究所
Public Works Research Institute ,Ministry of Construction

山本貢平
Kohei YAMAMOTO
(財) 小林理学研究所
Kobayashi Institute of Physical Research

橘　秀樹
Hideki TACHIBANA
東京大学生産技術研究所
Institute of Industrial Science University of Tokyo

内容梗概：高架道路の周辺における騒音は，エンジン音とタイヤ音に代表される“自動車走行騒音”と，高架道路を自動車が走行した際に高架構造物の床版，桁などが振動し空気中に放射される“高架構造物音”から構成されていると考えた。本検討では騒音評価量としてL_{Aeq}を採用し，エネルギーベースによる高架構造物音の簡便な予測方法について検討した。高架構造物音のパワーレベルはひとまず大型車類のみを対象として速度依存性をもたせない方法を提案した。今回提案する方法で高架道路周辺の騒音を予測して計算と実測のL_{Aeq}を比較した結果，実測値との対応が改善されることを確認した。

1．はじめに

高架構造物音が存在していることは，大きく次の３つの現象から説明することができる。

- ASJ Model 1975 において提案されている種々の原因による補正値（α_i）を高架（中分閉）と盛土で比較すると，地上 1.2m では高架のほうが 2～9dB 大きい値を示していたこと。
- 遮音壁が設置された高架道路の下面を防音シートで遮蔽するという騒音の測定実験を行い，地上 1.2m の測定点における高架構造物音のエネルギーの寄与を求めたところ，自動車走行騒音に比べて鋼橋では 0.6～4 倍，コンクリート橋では 0.1～0.5 倍であったこと。
- ASJ Model 1993 を検討した際に，高架道路周辺の騒音予測値が実測値を下回っていたこと。

高架構造物音は，例えば高い遮音壁が高架道路上に設置されている場合やシェルター構造となっている場合のように，自動車走行騒音が対策施設によって遮蔽されているときに顕在化して問題となる。したがって，高架構造物音については予測は勿論のこと，道路交通騒音対策としても重要な課題として認識しておく必要がある。

高架構造物音は，自動車が高架橋の伸縮継手（ジョイント）部を通過した際に発生する衝撃音と，自動車の移動にともなって床版から移動音源のように発生する音の２種類に分類することができる。このうち伸縮継手部を通過するときの音は，伸縮継手部自体が老朽化した場合や

伸縮継手部の前後の舗装面に段差が生じた場合に発生するといわれており，ジョイントの補修・交換，段差修正あるいはノージョイント化等の対策を講ずることによって低減させることができる。

以上から，伸縮継手部を通過するときの音は基本的に対策で対応すべき課題であると考え，本検討で対象とする高架構造物音は自動車が床版上を通過するときに発生する音のみを対象とした。

2．高架構造物音の予測モデル

高架構造物音を予測する方法としては，床版や主桁の振動モードを推定したうえで放射効率を仮定し，放射音の大きさや伝搬を予測する方法が考えられる。

しかし，現在の知見のレベルではこの方法で予測モデルを構築することは困難である。現実的と考えられるのは，自動車走行騒音と同様に，音源の特性（パワーレベルや周波数特性）と伝搬特性からモデルを組み立てる方法である。

その方法としては，点音源モデル[1]，有限長線音源モデル，有限大の面音源モデルなどがある。点音源モデルとは自動車走行騒音と同じように高架構造物音を点音源に集約し，パワーレベルと伝搬特性を設定してユニットパターンを計算した後 L_{Aeq} を求める方法である。また，有限長線音源モデルと有限大面音源モデルは L_{Aeq} を計算するための単位長あたり，または単位面積あたりのパワーレベルを設定し，それぞれの伝搬特性を設定して L_{Aeq} を直接計算する方法である。

高架構造物音の発生源は床版あるいは桁などであり，ある程度の大きさをもっていることが考えられる。したがって，実際には有限長線音源モデルあるいは有限大面音源モデルのほうが高架構造物音の発生・伝搬の現象に近いものと考えられるが，計算の簡便性や自動車走行騒音を予測する場合の考え方との共通性などの観点から，本検討では，点音源モデルに基づく予測方法について検討することとした。

点音源モデルによる L_{Aeq} の予測基本式は，次のとおりである。

①ユニットパターンの計算：1台の自動車が高架道路上を単独で走行するときの高架構造物音のA特性音圧レベルの時間的変化（ユニットパターン）$L_{pA,str}$ を式 (1) により計算する。

$$L_{pA,str} = L_{WA,str} - 8 - 20\log_{10} r + C(\theta,\phi) \quad (1)$$

ここで，

$L_{pA,str}$ ：1台の車両走行時に観測される高架構造物音のA特性音圧レベル[dB]

$L_{WA,str}$ ：車両1台に対する高架構造物音のA特性パワーレベル[dB]

r ：仮想点音源から予測地点までの距離[m]

$C(\phi,\theta)$：高架構造物音の指向補正[dB]

②ユニットパターンのエネルギー積分（単発騒音暴露レベル）の計算：高架構造物音のA特性音圧のユニットパターンの時間積分値（単発騒音暴露レベル）$L_{AE,str}$ を式 (2) により計算する。

$$L_{AE,str} = 10\log_{10}\frac{1}{T_0}\sum_i 10^{L_{pA,str,i}/10}\cdot\Delta t_i \quad (2)$$

ここで，

T_0 = 1s （基準時間）

Δt_i ：音源が i 番目の区間に存在する時間[s]

③L_{Aeq} の計算：$L_{AE,str}$ に対象とする1時間当たりの交通量 N [台/3600s] を考慮し，その時間のエネルギー平均レベルである等価騒音レベル $L_{Aeq,str}$ を式 (3) により求める。

$$L_{Aeq,str} = 10\log_{10}(10^{L_{AE,str}/10}\frac{N}{3600}) = L_{AE,str} + 10\log_{10} N - 35.6 \quad (3)$$

以上の基本式において，設定しなくてはならないパラメータは，車両1台に対する高架構造物音のA特性パワーレベル（$L_{WA,str}$）と高架構造物音の指向補正（$C(\phi,\theta)$）である。

3．特定高架橋に着目した予測モデルの検討

高架構造物音の予測モデルに必要となるパラメータは，T高架橋に重点をおいて検討を行った。T高架橋は，4m の遮音壁が設置された4車線の自動車専用道路であり，鋼箱桁橋（単純

桁）及び鋼鈑桁橋（4 径間連続桁）から構成されている。T高架橋に着目した検討内容及び結果は，次のとおりである。

3.1 高架構造物音のA特性パワーレベルの検討

(1) パワーレベルの説明要因の検討

高架構造物音のA特性パワーレベルは，自動車走行騒音のパワーレベルと同じように車種と走行速度に依存するものと考えて検討を行った。

車種の違いによる影響度合いは，T高架橋の床版直下1m点で測定した車種別のユニットパターンにより検討した。検討の結果，小型車類のレベルは暗騒音（と想定したL_{95}）より数dB大きい程度であり，S/Nが十分得られていなかったこと，大型車類のレベルは小型車類と比較して十分大きかったことから，高架構造物音は大型車類でほぼ説明できるものと考えた。

次に，官民境界の地上 1.2m において測定された大型車類のユニットパターンを用いて，高架構造物音のパワーレベルの走行速度依存性について検討した。図-1 は，実測値から自動車走行騒音の寄与（計算値）を除き，距離補正によって求めた高架構造物音のパワーレベルと走行速度の関係をみた結果である。

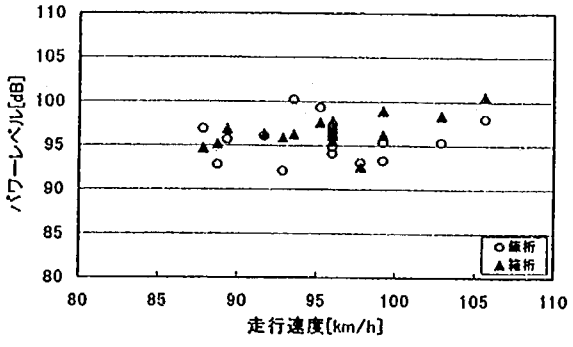


図-1 大型車類の高架構造物音のパワーレベルと走行速度の関係（官民境界地上 1.2m の測定データに基づく）

同図より，鋼箱桁については高架構造物音のパワーレベルと走行速度の間に，多少，正の相関がみられるが，鋼鈑桁についてはバラツキが大きく，有意な関係がみられない。また，測定によって得られたデータは 85km/h 以上の高い速度であり，しかも速度の範囲が狭い。本検討においては高架構造物音のパワーレベル式に走行速度の説明要因を取り込めるだけの十分な知見が得られていないと判断し，現段階においては走行速度の要因を式に組み込まないほうが適当であると考えた。

(2) パワーレベルの設定方法の検討

高架構造物音のパワーレベルは，図-2 に示す手順により設定することとした。

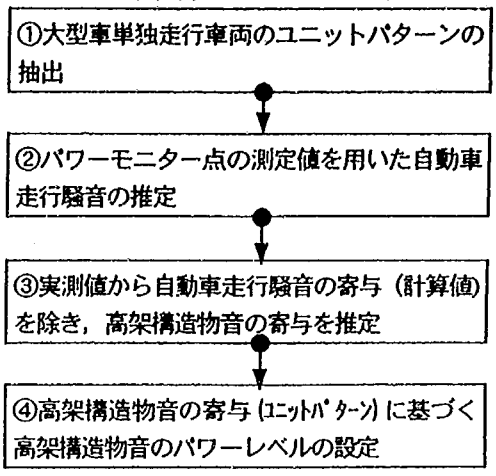


図-2 高架構造物音のパワーレベルの設定手順

図-2の①～③の検討を通じて得られたユニットパターンと，指向性を無視した式(1)の方法で計算したユニットパターンを比較して図-3に示す。同図において，実測値から得られた高架構造物音のユニットパターンはレベルの変化が小さいのに対して，計算により求めたユニットパターンはレベルの変化が大きい。つまり，実測のユニットパターンの最大値と一致するように高架構造物音のパワーレベルを設定しても，この方法ではユニットパターンの積分値(L_{AE})に大きな差が生じる。

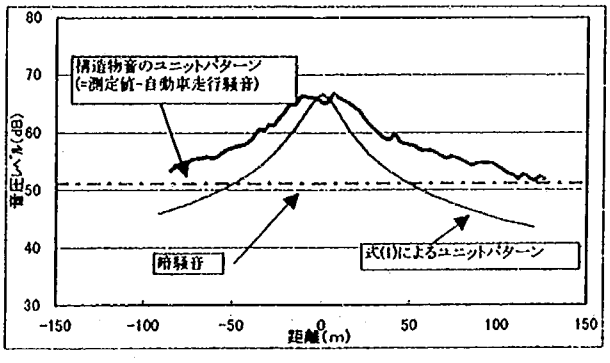


図-3 ユニットパターンの比較（官民境界地上1.2m点）

以上のことから，高架構造物音のパワーレベルは，実測から得られた高架構造物音のユニットパターンの積分値（実測値－自動車走行騒音(計算値)）と計算のユニットパターンの積分値が等しくなるように設定しておくほうが適当であると考えた。

3.2 高架構造物音の指向性の検討

高架構造物音の指向性は，距離減衰方向の各測定地点ごとに求めたパワーレベルと，高架橋から地面におろした垂線と測定地点を結ぶ線分の角度(θ)との関係を見ることによって検討した。結果は図-4に示すとおりであり，指向性を表す角度(θ)が70°付近のときに，高架構造物音のパワーレベルはピークを示す傾向を示していた。図中の実線は指向性を表す角度を用いたパワーレベルの近似式である。

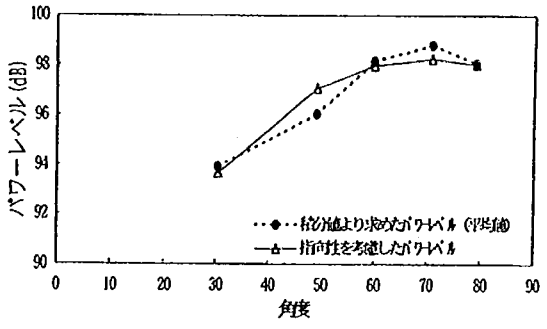


図-4 高架構造物音のパワーレベルと指向性を表す角度(θ)の関係（実線は $L_{WA,str} = 98.0 + 10\log_{10}(\cos^4(\theta - 70))$）

同図においてθが70°付近でピークを示す理由は明確ではないが，検討の対象としたT高架橋は鋼鈑桁であり，床版の他に主桁も発生源になっていることが考えられる。つまり，主桁面を発生源とした場合は水平方向にも音が放射され，θが大きくなっても減衰しにくくなる。ただし，高架構造物音の指向性について検討した高架橋はT高架橋１橋のみであり，今回の測定結果のみで指向性について結論づけることは困難である。

以上をふまえて，指向性については今後の課題としておくことが適当であると考えた。

3.3 高架構造物音の仮想音源位置の検討

高架構造物音の仮想音源位置は，以下の理由から上下線のそれぞれ中央部に配置することが適当であると考えた。

- 高架構造物音は高架橋の全体から発生していることが考えられる。
- 高架橋横断方向における高架構造物音の分布の状態が現在の知見では明らかではない。
- 実用性を考えた場合に車線ごとに音源を配置するのに手間を要する。

しかし，前項までの検討は，図-5 に示すように個々の車両が走行した車線ごとに仮想音源を配置して検討している。そこで，高架構造物音の仮想音源位置を上下線の各々の中央に配置することの妥当性について検討した。

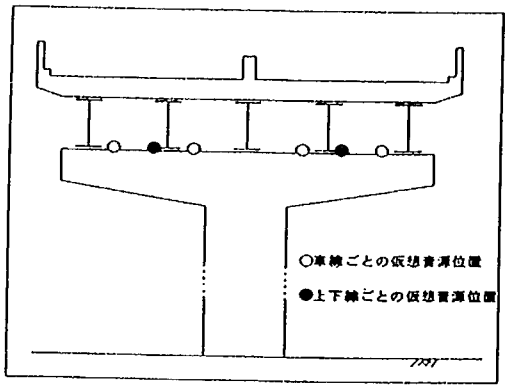


図-5 高架構造物音の仮想音源位置の考え方

図-6 は，仮想音源位置を車線別に配置した場合と上下線の各々の中央に配置した場合の $L_{Aeq,str}$ を比較した結果である。車線ごとに仮想音源を配置したほうが約 0.1～0.2dB 大きめの結果を与えるものの，ほとんど差は生じない。したがって，高架構造物音の仮想音源の位置については，上下線の各々の中央に配置する方法で十分であると考えた。

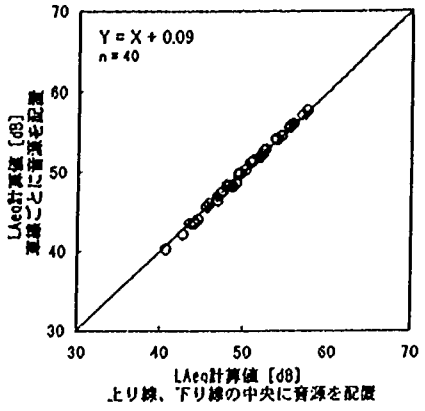


図-6 高架構造物音の仮想音源位置の違いによる計算値（$L_{Aeq,su}$）どうしの比較

4．複数橋を対象としたパワーレベルの検討

3 章ではT高架橋に主眼をおいた検討を行った。その結果，現段階では高架構造物音の予測モデルは次の考え方により構築することが適当であると判断した。

①高架構造物音の予測モデルは点音源による幾何減衰式を考える。

②仮想音源は上り線と下り線の各中心に配置する。

③高架構造物音の発生要因としては当面の間，大型車類を対象とする。

④高架構造物音のパワーレベルは，測定で得られたユニットパターンから自動車走行騒音の寄与（計算値）を除いた高架構造物音のユニットパターンを設定し，その積分値と伝搬計算から求めたユニットパターン積分値が等しくなるように見かけのパワーレベルを設定する。

⑤パワーレベルの速度依存性は当面の間予測に取り込まない。

⑥高架構造物音の指向性は当面の間予測に取り込まない。

そこで，上述の前提条件に基づいて，複数の橋梁を対象とした高架構造物音の測定データを用いて高架構造物音のパワーレベルを設定した。さらに，設定したパワーレベルおよび予測モデルを用いて高架構造物音を予測し，自動車走行騒音も考慮した全体の等価騒音レベル（L_{Aeq}）により計算値と実測値を比較した。

4.1 検討対象とした橋梁

検討の対象とした橋梁は，鋼橋 10 橋，コンクリート橋 7 橋の合計 17 橋である。

4.2 橋種別の高架構造物音パワーレベルの検討

対象とした 17 橋ごとに設定した高架構造物音のパワーレベルを上部構造別に整理した結果，上部構造の違いによってパワーレベルを使い分けるほどの明確な差異はなかった。

そこで，高架構造物音のパワーレベルを橋種別に整理して傾向をみた（図-7 参照）。図中，括弧外の数値は橋梁ごとに設定したパワーレベルの単純平均値を，括弧内の数値はエネルギー平均値を表している。同図において，単純平均により求めたパワーレベルは，コンクリート橋が 95.4dB，鋼橋が 95.2dB であり同程度の値を示している。また，高架構造物音のパワーレベルは大きくばらついており，パワーレベルの説明要因が橋種以外に存在していることが考えられる。現段階においては，橋種別にパワーレベルを設定する明確な理由はないものと判断し，高架構造物音のパワーレベルは全ての橋種の単純平均値（95.3dB）により与えることが適当であると考えた。

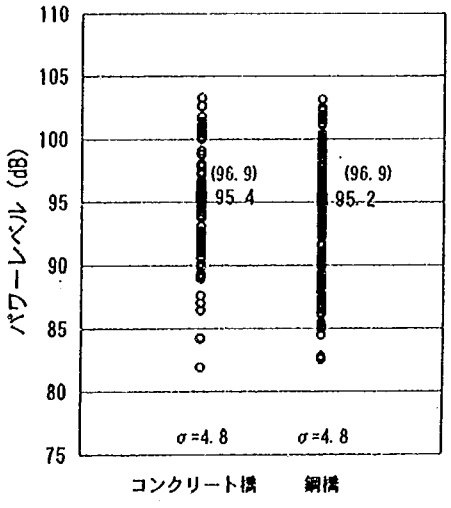


図-7 橋種別に類型化を図った高架構造物音のパワーレベル

4.3 高架構造物音を考慮したL_{Aeq}

以上の検討をふまえ，高架構造物音と自動車走行騒音のL_{Aeq}を予測し，実測値と比較した。本項での検討は，橋梁ごとに大きくばらついているパワーレベルを最終的に一つの値（95.3dB）に設定することの妥当性をみるうえでは重要であると考えた。

（1）L_{Aeq}の予測計算方法

高架構造物音を考慮したL_{Aeq}は，次の方法により予測した。

○自動車走行騒音：ASJ Model 1993 に示されている伝搬計算B法[2]（ただし、地表面効果による補正量（ΔL_g）は改良された方法[3]による）。

○高架構造物音：式（1）～式（3）に示した方法（ただし，式（1）の指向補正の項を除く）。

（2）高架構造物音を考慮したL_{Aeq}の計算値と実測値の比較

高架構造物音を考慮したL_{Aeq}の計算値を実測値と比較して図-8に示す。なお，同図には，参考までに個々の橋梁ごとに設定した高架構造物音のパワーレベルを用いた計算値と実測値の比較結果も併記している。この結果より，次の傾向がみられる。

○一定（95.3dB）のパワーレベルを用いた場合

・自動車走行騒音のみを考慮した計算値は実測値より約 6.2dB 小さい。このため高架構造物音の寄与を含めないと，実測値との対応は改善されないものと考える。

・高架構造物音を考慮することによって計算値は改善される。ただし，計算値は実測値よりも約 2.4dB 小さい結果となっている。この理由として，暗騒音による影響が考えられる。暗騒音による影響は，45° 線（図中の点線）から大きく外れた鋼橋（×印）のデータにおいて顕著に現れている。

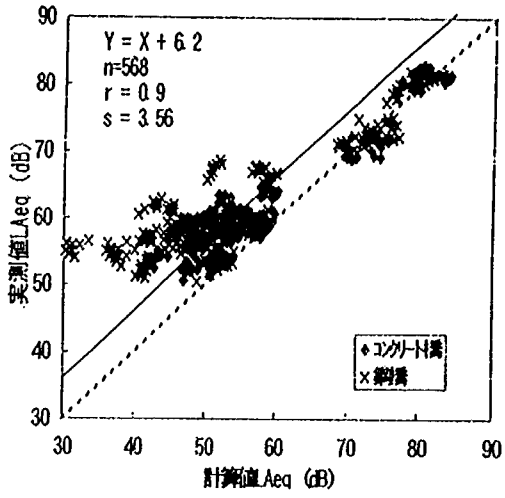
・高架構造物音を考慮した計算値に対して暗騒音（個々の橋梁の測定により得られたL_{95}）を補正することにより，計算値と実測値の対応はさらに改善される。

○橋梁別のパワーレベルを用いた場合

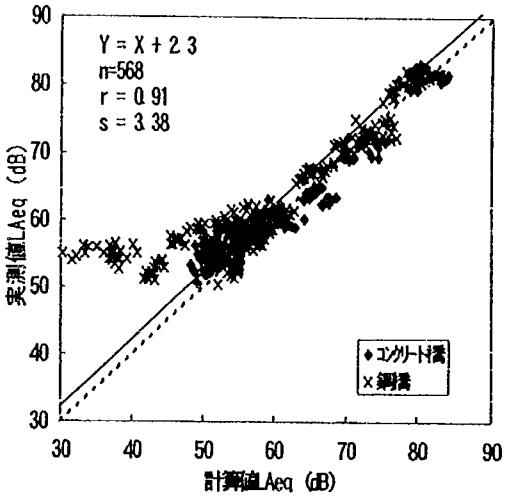
・"一定値（95.3dB）のパワーレベルを用いた場合"と比較すると，実測値との対応は多少よい結果を示している。

■橋梁別のパワーレベルを用いた場合

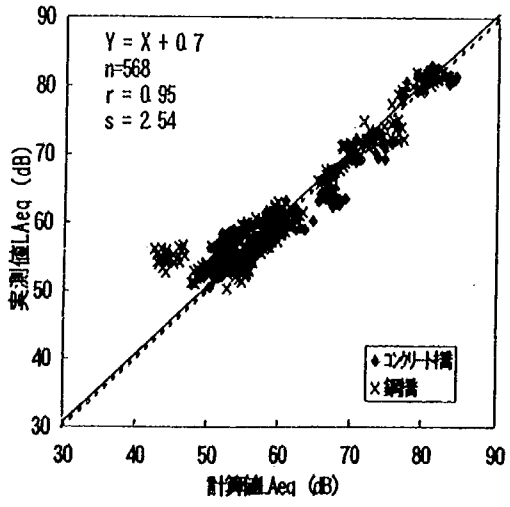
□自動車走行騒音のみ



□自動車走行騒音+高架構造物音（暗騒音補正なし）

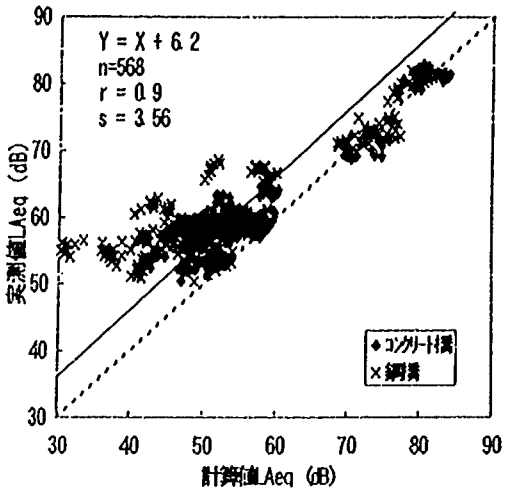


□自動車走行騒音+高架構造物音（暗騒音補正あり）

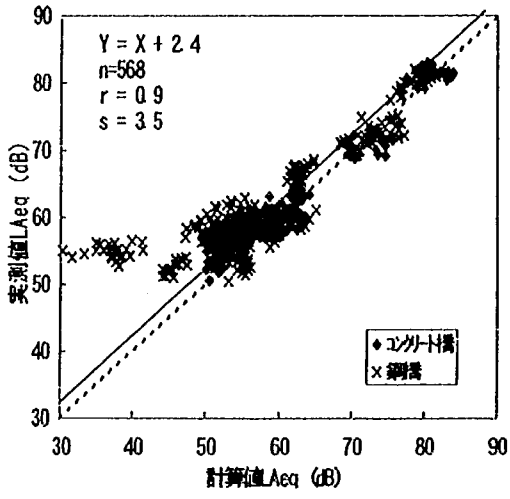


■一定値（95.3dB）のパワーレベルを用いた場合

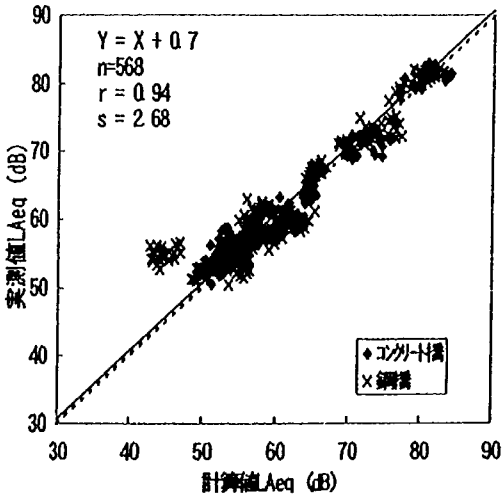
□自動車走行騒音のみ



□自動車走行騒音+高架構造物音（暗騒音補正なし）



□自動車走行騒音+高架構造物音（暗騒音補正あり）



[n：データ数　r：相関係数　s：標準偏差]

図-8　高架構造物音を考慮したL_{Aeq}の計算値と実測値の比較

5．まとめ

本検討では，計算の簡便性などの観点から点音源モデルによるL_{Aeq}の予測基本式を考え，まずT高架橋に注目して高架構造物音のパワーレベルの設定方法と指向性について検討した。パワーレベルは，車種分類をひとまず大型車類のみに絞り，かつ速度依存性を考慮しない方法を提案した。また，指向性については，今回の検討結果から予測に取り込むことは適当でないと判断した。

次に，T高架橋を含めた 17 橋での測定データをもとに橋種別のパワーレベルについて検討した。この結果，コンクリート橋では 95.4dB，鋼橋では 95.2dB で同程度の数値を示しており，橋種別にパワーレベルを設定することの明確な理由がないことから，ひとまず全橋梁の平均値として 95.3dB のパワーレベルを設定することとした。このパワーレベルを用いて高架構造物音を考慮したL_{Aeq}を予測し，実測値と比較した結果，実測値との対応が改善されることを確認した。

高架構造物音の予測計算方法は今回，初めて提案するものであり，未解明な部分が多く残されている。今後，より現実的な予測計算方法として拡張していくためには，主として次の要素について検討する必要があるものと考える。

(1) 高架構造物音のパワーレベルを説明するための各種要因と物理的寄与の検討
(2) 指向性の検討
(3) 高架構造物音の周波数帯域別の予測計算方法の検討
(4) 高架橋の諸元に応じた振動の伝達性状，音響放射効率の検討

なお、本検討の内容は、日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会において討議を重ねた結果を取りまとめたものである。

（参考文献）

1) 朱 鎖洙，日高新人，矢野博夫，橘 秀樹，“在来線高架鉄道の騒音放射特性及び騒音伝搬予測の検討，” 日本音響学会講演論文集 (平成８年３月),729-730.

2) 橘秀樹他，“小特集 － 道路騒音の予測：道路一般部を対象としたエネルギーベース騒音予測法（日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会報告）－，” 日本音響学会誌 50 巻 3 号 pp.227-252 (1994).

3) 三宅龍雄,上坂克巳,大西博文,山本貢平,高木興一，“道路構造別の地表面効果について，” 日本音響学会,騒音・振動研究会資料 N97-54

Ⅰ－9 実走行車両から発生する騒音の指向性について（第２報）

△森　喜仁（阪神高速道路公団），○福島昭則（ニューズ環境設計）
土坂克巳，大西博文（建設省土木研究所）

はじめに　第１報で自動車専用道路を走行する車両から発生する騒音の鉛直面分布を報告した[1]。今回は既存の研究結果[2]を参考にして、第１報で用いた測定データから実走行車両の３次元の指向特性を把握した。また線音源としての指向特性を検討した。

１．調査方法　調査は阪神高速道路７号北神戸線の走行車線を対象に実施した。調査区間の舗装は密粒アスコンで、周囲に反射物はない。マイクロホンを門構に 15° 間隔で６点（P_1～P_6）設置し、路肩に通過タイミングセンサを２点設置した（図１）。現地ではセンサの信号をデータレコーダに録音した。

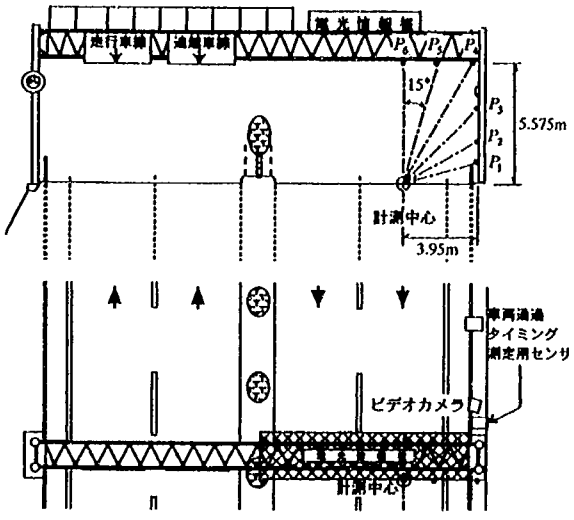


図１．現地計測の概要（測定点：P_1～P_6）

分析は、タイミングセンサの信号をトリガに用い、各騒音測定点における同時刻のユニットパターンを算出した。ピーク値の算出は動特性 fast で行った。また、指向特性検討のためのユニットパターンの分析では、車両の走行速度が 90km/h 前後であることから、fast（時定数 125ms）では騒音の変動に追随できないと考え、impulse（時定数 35ms）を用いサンプリング間隔 10ms で分析した。

２．調査結果　分析車両数と走行速度を表１に示す。また測定点P_1でのピーク法により求めたパワーレベル（式(1)）とユニットパターンから求めたパワーレベル（式(2)(3)）のレベル差を図２に示す。

$$L_{Wp} = L_{p,fast} + 8 + 20 \cdot \log_{10} l \qquad (1)$$

$$L_{We} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L_{We}(t)/10} dt \right) \qquad (2)$$

$$L_{We}(t) = L_{impulse}(t) + 8 + 20 \cdot \log_{10} l(t) \qquad (3)$$

L_{Wp}：ピーク法によるパワーレベル(dB)、$L_{p,fast}$：動特性 fast でのピークレベル(dB)、l：車線中心から測定点までの距離(m)、L_{We}：ユニットパターンから求めたパワーレベル(dB)、$L_{We}(t)$：時刻tの音圧レベルから推定したパワーレベル(dB)、$L_{impulse}(t)$：動特性impulseでの時刻tの音圧レベル(dB)、t_1～t_2：積分時間(s)。

ピーク法によるパワーレベル（L_{Wp}）と、ユニットパターンから推定したパワーレベル（L_{We}）の差（ΔL_{AW}）は、$\overline{\Delta L_{AW}} = -0.07$ (dB)、標準偏差1.07 (dB)であった（データ数$N = 50$）。必ずしも車両が直前のときにピークが発生するとは限らないこと、および指向性の検討は式(3)をもとにするため、パワーレベルにはL_{We}を用いた。

表１．分析車両数と走行速度

車　種	ﾃﾞｰﾀ数	走行速度(km/h)	
		平均値	標準偏差
乗用車	３０	９１．１	１４．５
小型貨物車	１０	９２．８	１８．２
大型車	１０	８４．８	１０．３

３．指向特性　P_1～P_6の６点の騒音測定点でのユニットパターンの瞬時値と距離から式(3)により瞬時のパワーレベルを算出した。一般的なパワーレベルの測定点（$l = 7.5m$，$h = 1.2m$）にもっとも近い測定点P_1のユニットパターンから式(2)，(3)により求めたパワーレベルを基準としてレベル差を求め、文献 2)で用いられているモデル式（式(4)）で回帰し指向特性を近似した。

$$\Delta L(\theta,\psi) = a_0 + a_1\theta + a_2\theta^2 + a_3\theta^3 + a_4\theta^4 + a_5\psi + a_6\psi\theta + a_7\psi\theta^2 + a_8\psi\theta^3 + a_9\psi\theta^4 \qquad (4)$$

a_0～a_9：回帰係数、ψ, θ：図３参照(rad.)。

結果を表２および図４に示す。車両の横断面内（$\theta = 0°$）では、横方向（$\psi = 75°$）に比べ上方向（$\psi = 0°$）のレベルが３～６dB 小さい。また斜め後方（$\theta = -45°$）のレベルが大きい。

次にユニットパターンから単発騒音暴露レベル

Noise Directivity of Vehicles running on Actual Road (2nd Report). By Yoshihito Mori (Hanshin Express Way Public Corporation), Akinori Fukushima (NEWS Environmental Design Inc.), Katsumi Uesaka and Hirofumi Ohnishi (Public Works Research Institute, Ministry of Construction).

を算出し、次式により線音源(点音源列)と考えたときの距離1mでの音圧レベルを推定した。

$$L_{1,\psi} = L_{AE,\psi} + 10 \cdot \log_{10} l_\psi \qquad (5)$$

$$L_{AE,\psi} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} 10^{L_{\psi,Impulse}(t)/10} dt\right) \qquad (6)$$

$L_{1,\psi}$:角度ψで距離1mでの音圧レベル(dB)、$L_{AE,\psi}$:角度ψの測定点の単発騒音暴露レベル(dB)、l_ψ :車線中心から角度ψの測定点までの距離(m)、$L_{\psi,Impulse}(t)$:角度ψの測定点でのユニットパターン(impulse)(dB)、T :基準時間(1s)。

3次元の場合と同様に測定点P_1の$L_{1,\psi}$ ($=L_{1,75}$)を基準としたレベル差を求め、次式で回帰した。

$$\Delta L(\psi) = b_0 + b_1\psi + b_2\psi^2 + b_3\psi^3 \qquad (7)$$

$b_0 \sim b_3$:回帰係数, ψ :図3参照(rad.)。

結果を図5および表3に示す。横方向($\psi = 75°$)に比べ上方向($\psi = 0°$)は4～5dB小さく、またどの車種も同じ傾向にある。文献2)の3次元モデルで測定点位置でのユニットパターンを計算し、同様の方法で$\psi = 75°$の点と$\psi = 0°$の点のレベル$L_{1,\psi}$を算出すると、$\psi = 0°$の点の方が乗用車で5dB、小型貨物車で6dB、大型車で8dB小さく、今回の測定結果の方がレベル変化は小さかった。

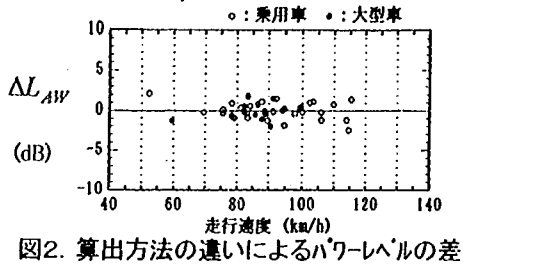


図2. 算出方法の違いによるﾊﾟﾜｰﾚﾍﾞﾙの差
(測定点P_1), $\Delta L_{AW} = L_{We} - L_{Wp}$

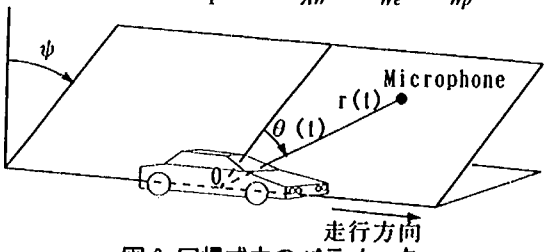


図3. 回帰式中のパラメータ

表2. 3次元の指向性補正式中の係数

	乗用車	小型貨物	大型車	全データ
a_0	-5.885	-3.897	-4.363	-5.206
a_1	-0.431	-0.900	-0.187	-0.216
a_2	2.397	0.414	1.424	1.859
a_3	0.479	0.518	0.296	0.304
a_4	-0.756	-0.208	-0.524	-0.464
a_5	4.478	2.455	2.611	3.651
a_6	-0.981	-3.183	-3.022	-1.993
a_7	-1.068	1.154	0.882	-0.201
a_8	0.346	1.588	1.401	0.988
a_9	-0.498	-1.051	-0.939	-0.659
重相関係数	0.461	0.527	0.457	0.531
ΔL	-5.9	-3.2	-3.4	-4.8

注. $\Delta L = \Delta L(0,0) - \Delta L(0,75)$

まとめ　実走行車両を対象にして3次元の指向特性の計算式を報告した。その結果、車両の横断面では横方向に比べ上方向が3～6dB小さく、線音源(点音源列)を仮定したときの指向性もほぼ同じであった。また、斜め後方にやや大きな指向性を有していた。車種による差はほとんどみられなかった。

本研究を行うに当たり阪神高速道路騒音対策検討委員会(委員長：前川純一神戸大学名誉教授)においてたくさんの貴重な意見をいただいた。ここにあらためて委員会の皆様に感謝いたします。

参考文献

1)森, 大西(隆), 大西(博), 上坂, "実走行車両から発生する騒音の指向性について," 音講論(1998.9), pp729-730.
2)筑井, 押野, 橘, "自動車走行騒音の指向性を考慮した道路交通騒音予測手法に関する研究," 騒音制御, vol.22, No.2(1998), pp108-116.

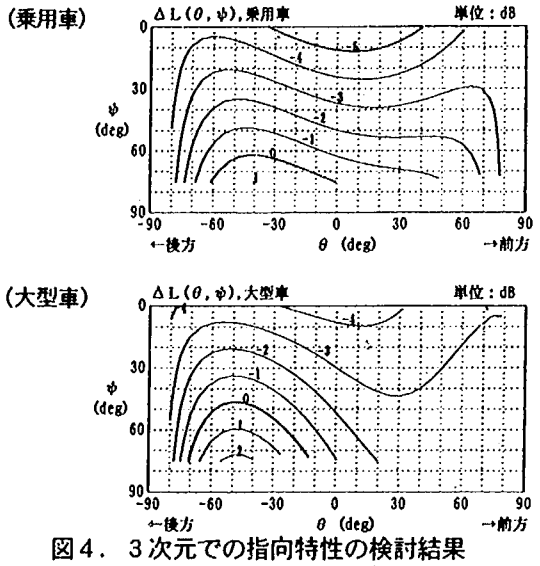


図4. 3次元での指向特性の検討結果

表3. 線音源の指向性補正式中の係数

	乗用車	小型貨物	大型車	全データ
b_0	-4.764	-4.180	-4.063	-4.508
b_1	-1.180	-2.624	-1.274	-1.475
b_2	11.028	12.495	9.610	11.012
b_3	-5.612	-6.141	-4.795	-5.542
重相関係数	0.866	0.819	0.844	0.849
$\Delta L(0) - \Delta L(75)$	-4.8	-4.2	-4.0	-4.5

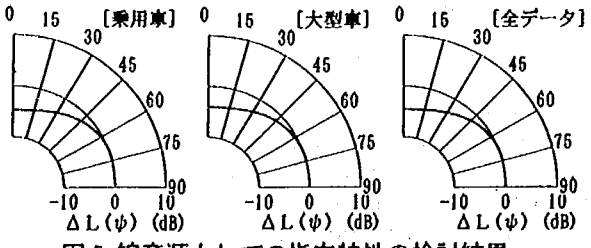


図5. 線音源としての指向特性の検討結果

Ⅰ－10　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*

○大西博文、明嵐政司(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)、高木興一(京大)

1．はじめに

道路交通騒音の低減対策として、現在排水性舗装が施工されるようになってきているが、その減音効果の予測手法はまだ確立されていない。筆者らはすでに排水性舗装区間での自動車走行騒音の測定により、自動車走行騒音のパワーレベルを与える回帰式を求めた[1]。これは、排水性舗装の発生源における減音効果を示すものであるが、本稿では、その後の伝搬過程における減音効果を騒音予測手法に反映させようとするものである。

2．排水性舗装における騒音測定

排水性舗装上を音が伝搬するときの過剰減衰を求めることを目的として、建設省土木研究所の試験走路に敷設されている排水性舗装及び密粒舗装上でスピーカから発生する音を伝搬距離別に測定した。スピーカ及びマイクロフォンをそれぞれ舗装面上の０m及び1.2mに設置した。なお、排水性舗装の主な仕様は、表層厚５cm、空隙率20%、骨材粒径５-13mmであった。

また、平成８年に埼玉県白岡町の県道大宮栗橋線で施工された排水性舗装の区間（４車線、表層厚５cm、空隙率20%、骨材粒径５-13mm）で、自動車走行騒音等の測定調査を施工の約１年後に行った。測定箇所は周辺に反射物がない比較的ひらけた場所に設定した。マイクロフォンは外側車線の中心線から側方7.5m、地上1.2mの地点に設置し、５回にわたって10分間の等価騒音レベルと交通量、走行速度を計測した。

3．排水性舗装における伝搬音の過剰減衰

２．で行った伝搬音の測定結果をＡ特性の道路交通騒音スペクトル[2]により補正し、密粒舗装でのスピーカからの距離２mの地点における騒音レベルを０dBとして伝搬音の減衰の様子を示したものが図１である。これによると、排水性舗装における伝搬音の過剰減衰効果は、伝搬距離が５mを越えると現れ、10m以上のところで２－３dBであった。また、周波数別にみると500Hz以上で過剰減衰が現れ、スピーカから40m離れた地点ではそれはより顕著となり、800Hz付近で最大８-10dB程度の減音となっている。

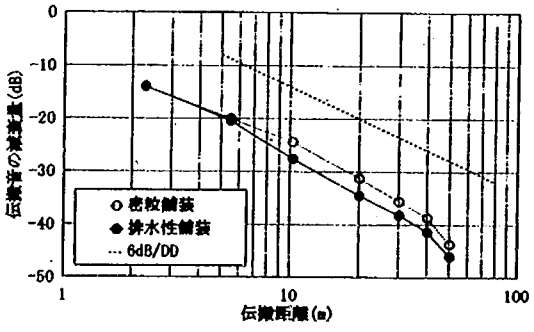


図1　舗装上における伝搬音の減衰

4．伝搬音のユニットパターンによる排水性舗装の流れ抵抗値の推定

３．では排水性舗装におけるスピーカ音の伝搬特性について述べたが、ここではこれを用いて排水性舗装上の伝搬過程における音の低減効果を計算するために必要な流れ抵抗値を求める。まず、２．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ユニットパターンを求める。次に、各舗装の流れ抵抗値を仮定してASJ Model-1993のＡ法[3]

*Attenuation effect of drainage asphalt pavement on vehicle noise during propagation

Hirofumi OHNISHI, Seishi MEIARASHI(Public Works Research Institute, Ministry of Construction), Kenichi ISHIKAWA (Oriental Consultants Corp.), Koichi TAKAGI (Kyoto University)

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２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流れ抵抗値は排水性舗装の場合 σ ＝1250kPasec/m²、密粒舗装の場合 σ ＝20000 kPasec/m²であった。

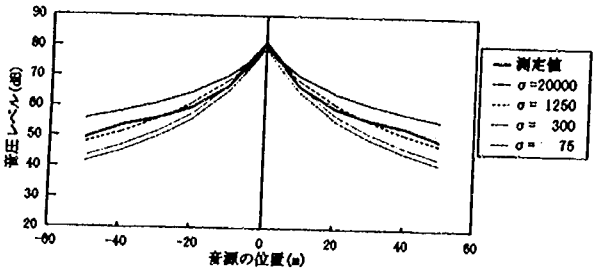


図２　排水性舗装上における伝搬音のユニットパターン

５．伝搬過程での減音効果を考慮した排水性舗装沿道での等価騒音レベル

排水性舗装が施工された一般道路の沿道で測定された等価騒音レベルを次の３種類の方法で計算してみる。

ａ．通常の密粒舗装のパワーレベル[4]を用い、ASJ Model-1993のＢ法[3]により計算する方法。

ｂ．白岡地区の排水性舗装区間の騒音測定により得られた騒音パワーレベル[1]を用い、ASJ Model-1993のＢ法により計算する方法。

ｃ．白岡地区の騒音測定により得られた騒音パワーレベル、パワースペクトル及び４．で推定された排水性舗装の流れ抵抗値 σ ＝1250 kPasec/m²を用い、ASJ Model-1993のＡ法により計算する方法。

これらの予測方法によって計算された等価騒音レベルと実測値を図３に示す。これにより実測値と各方法による計算値を比べてみると、通常の密粒舗装のパワーレベルを用いる方法の場合は計算値が約2.5dB大きくなる。次に、排水性舗装のパワーレベルを用いる方法の場合は計算値が約1.6dB大きいが、その差は縮小した。さらに、排水性舗装のパワーレベルと伝搬特性を考慮する方法の場合は計算値が約0.7dB小さくなるものの、その差はさらに縮まった。以上の通り、排水性舗装の音源における減音効果及び伝搬過程における減音効果を考慮することにより騒音予測の精度は高くなった。

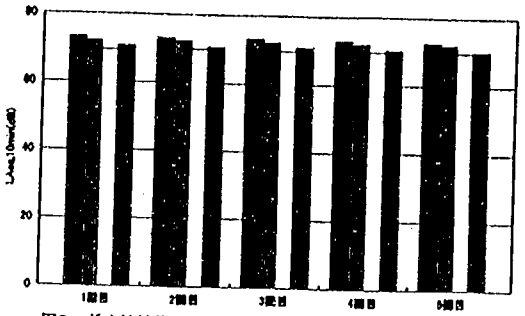


図3　排水性舗装における等価騒音レベルの計算値と測定値の比較
第5章a による計算値　第5章b による計算値　第5章c による計算値　測定値

６．まとめ

本稿では、排水性舗装の伝搬過程における減音効果を騒音予測手法に反映させる目的で、排水性舗装での騒音伝搬実験、その沿道での騒音測定の結果に基づき検討を行った。この結果、次の事項が明らかになった。

・排水性舗装の伝搬過程における音の過剰減衰は、伝搬距離が５ｍを越えると現れ、10m以上のところで２－３dBであった。

・排水性舗装の流れ抵抗値は約1250kPasec/m²と推定された。

・排水性舗装のパワーレベル及び伝搬特性を考慮することにより高い精度の騒音予測ができることが示された。

・ここでは、比較的状態の良い排水性舗装の音源特性、伝搬特性を踏まえて議論を進めたが、施工後の年数が経過した排水性舗装の特性を考慮する必要がある。この検討の際にも、ここでの方法論は有効であると考えられる。

参考文献

1)大西他「排水性舗装を走行する自動車の音響パワーレベルと沿道での等価騒音レベル」日本音響学会講演論文集、1998.3
2)曽根他「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、Vol.50,No.3、1994.3
3)高木他「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、Vol.50,No.3、1994.3
4)上坂他「一般道路を走行する自動車の騒音パワーレベル」日本音響学会講演論文集、1997.3

Ⅰ－11 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

大西博文、近藤升（建設省土木研）、石川賢一（ｵﾘｴﾝﾀﾙｺﾝｻﾙﾀﾝﾂ）

1．はじめに

排水性舗装は連続した空隙をもつため、道路交通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過剰減衰が生じることによると考えられている。

本稿では、排水性舗装の減音効果を騒音測定データに基づき定量的に示すとともに、道路交通騒音の予測手法である ASJ Model 1998 における取り扱い方について述べる。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各種音響特性の補正方法を示す。なお、ここでは騒音データが２．で述べるとおり道路直近で測定されているため、上述の減音要因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。

2．騒音測定の概要

一般道路及び建設省土木研究所の試験走路に 1991 年から 94 年に施工された排水性舗装と密粒舗装を単独走行する自動車の騒音を、走行車線の中央から 7.5 m側方に離れた高さ 1.2 mの位置で測定した。排水性舗装の仕様は空隙率約 20 %、舗装厚 5 cm、骨材粒径 13 － 5 mm であった。測定は舗装の施工後概ね１年以内に行われた。また、自動車の走行速度は大型車類が 40 － 120km/h、小型車類（小型貨物車、乗用車）が 40 － 140km/h であった。

Noise reduction effect of drainage asphalt pavement and its application to prediction method, H. Ohnishi, N. Kondo (Public Works Research Institute, Ministry of Construction), K. Ishikawa (Oriental Consultants Inc.)

3. 排水性舗装のパワーレベル

3．1 データの整理と分析

これまでの排水性舗装の騒音データは、施工後の経過時間や仕様等が異なるため、これに基づき直接パワーレベルを設定するのに十分なものではない。そこで、２．で述べたように同時期に互いに近傍に施工された排水性舗装と密粒舗装における自動車走行騒音を測定し、ピーク法によりこれらの舗装における騒音パワーレベルを求め、これらの差を排水性舗装の減音効果とした。この減音効果は、１．で述べたように主としてタイヤ路面騒音の低減によること、及び走行速度の上昇とともに自動車走行騒音全体に占めるタイヤ路面騒音の割合が大きくなることを考えると、速度依存性があるとして回帰分析を行った。なお、大型車類と小型車類の減音効果の差異は小さかったこと等を考慮して、両者のデータを併せて分析した。

3．2 パワーレベルの補正

上記のとおり排水性舗装の減音効果を分析対象としているので、その結果は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ことになる。得られた回帰式は次のとおりである。

$$\Delta L_{WA,dr} = -3.5\log_{10}V + 3.2 \quad (1)$$

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）

なお、式（１）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 － 120km/h、小型車類が 40 － 140km/h である。図１にこの関係を示した。これによると、走行速度が 40 － 140km/h の範囲で 2.4 － 4.3dB と３．１で述べたように速度依存性のある減音効果が得られている。

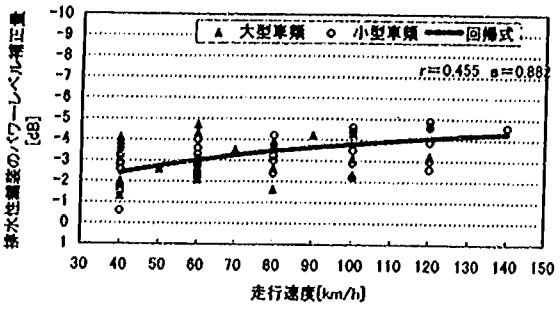


図1 排水性舗装のパワーレベル補正量

４．予測手法における取り扱い

４．１　パワースペクトルの補正

ASJ Model 1998 のＡ法で排水性舗装の騒音予測をするには、式（１）のパワーレベルの補正と以下に述べるパワースペクトルの補正を行う。

ASJ Model 1998 では ASJ Model 1993 の道路交通騒音のパワースペクトルを踏襲しているが、これを補正する必要がある。これに関しては、排水性舗装におけるタイヤ近接騒音の測定データに基づき、岩瀬らが密粒舗装に対する排水性舗装のパワースペクトルの補正量を提案している[1]。これによると概ね 800Hz 以上の周波数帯域で減音効果が認められ、これが補正量になる。

４．２　回折補正量

ASJ Model 1998 のＢ法では、式（１）のパワーレベルの補正に加えて、４．１のパワースペクトルの違いに配慮して密粒舗装と異なる回折補正量を用いる必要がある。このため前川チャート[2]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に示す。これによると、排水性舗装の回折補正量は密粒舗装に比べて、行路差が 0.1 ｍのとき 1.2dB、１ｍのとき 1.9dB、10 ｍのとき 2.0dB 大きくなっている。

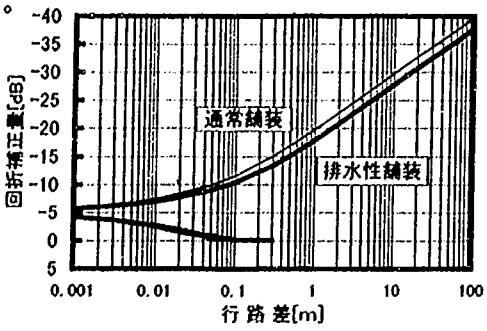


図2 排水性舗装の回折補正量

５．今後の課題

我が国では 1980 年代の後半から排水性舗装が用いられるようになったが、その後バインダーや骨材等の改良、施工方法の改善によりその品質は向上し、その騒音低減効果も改善されてきた。３．で述べた減音効果は５年以上前に施工された排水性舗装のデータに基づいたものであり、最近の排水性舗装の減音効果についてはさらに測定データを蓄積しフォローアップすることが必要である。また、この効果は経時的に低下する[3),4)]といわれており、この点に関しても十分に把握しておくことが重要である。なお、１．でも述べたとおり本稿での減音効果には伝搬過程における もの[5)]が考慮されていないので、今後これについても考慮することが必要である。

参考資料

1) T. Iwase and R. Kawabata, " Measurements of basic acoustical properties of the porous pavement and their applications to the estimation of road traffic noise reduction," JASJ (E), Vol.20, No.1, p.63-74, (1999)

2) 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, Vol.15, No. 4, p. 40-43(1991)

3)大西博文、明嵐政司、南里吉輝,"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 N97-30 、p.1-5 (1997)

4) H.Ohnishi, Y.Nanri, K.Takagi and K.Ishikawa, " Change in noise reduction effect of drainage asphalt pavement," Inter-noise98, Contributed Paper, (1998)

5)大西博文、明嵐政司、石川賢一、高木興一、"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 p.737-738 (1998.10)

Ⅰ－12　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

○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

排水性舗装を沿道での騒音対策として用いる場合、空隙率の低下により騒音低減効果も低下するため、効果の持続性が課題となっている。

本稿では、一般道路、高速道路を合わせて17箇所で行われた排水性舗装の騒音測定結果[1),2)]から、排水性舗装の騒音低減効果の変化を、中速域と高速域の２種類の速度域に分けて整理した。また、敷設後の経過月数、累積交通量及び大型車類累積交通量から騒音低減効果の変化に適した評価方法を検討し、合わせて騒音低減効果の持続を速度域別で比較検討した。

2．騒音測定の概要

騒音を測定した箇所及び回数は、一般道路では14箇所で20回、高速道路では3箇所で15回である。測定箇所数と測定回数が違うのは、経年的に測定をしている箇所があるためである。一般道路、高速道路とも排水性舗装の空隙率は20%、骨材最大粒径は13mmである。また、舗装厚は、一般道路が50mm、高速道路が40mmの箇所である。測定方法は、ピーク法によりパワーレベルを求め、騒音測定は一般道路では平面部、高速道路では盛土部における走行車線中心から側方7.5m、高さ1.2mの位置で行った。

3．騒音低減効果の算出方法

最初に、各速度域を代表させる走行速度として、中速域は60km/h、高速域は100km/hとした。車種分類は大型車類と小型車類の２車種とし、各調査地点で測定されたデータから、以下の方法でパワーレベルを求めた。

①測定データから、以下のパワーレベル回帰式により60km/h、100km/h走行時のパワーレベルを調査回数ごとに求めた。ただし、下記の③は除く。

$L_{WA,dr}=A+B\log_{10}V$

ここで、

$L_{WA,dr}$：排水性舗装のA特性パワーレベル

V　：走行速度

A、B：速度依存性に関する回帰係数

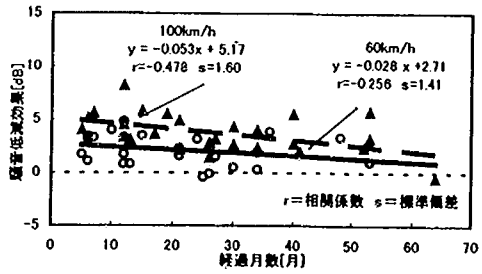
②上記回帰式の回帰係数Bが10以下のものについては、速度依存性に乏しいため、回帰式により求めるパワーレベルは、測定されたデータ付近の速度域に限定した。

③走行速度の分布範囲が小さいものについては、回帰式設定が困難なため、測定データをそのまま各速度域のパワーレベルとした。

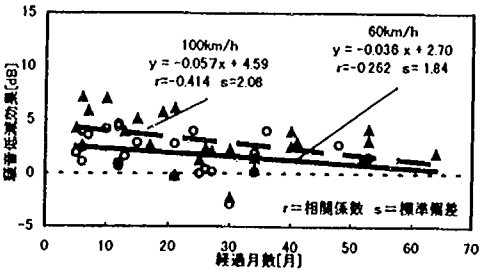
以上①、②、③の方法により、使用したデータ数は60km/h走行時で25データ、100km/h走行時で26データとなった。なお、ここで言う騒音低減効果とは、密粒舗装上での自動車の定常走行時のパワーレベル式[3)]により求めた60km/h、100km/h走行時のパワーレベルから、上記①、②、③の方法により求められた排水性舗装60km/h、100km/h走行時のパワーレベルを差し引いたものである。(図－1～4の○は60km/hの騒音低減効果。▲は100km/hの騒音低減効果)。

4．施工後の経過月数による騒音低減効果の変化

施工後の経過月数による騒音低減効果の変化を図－1、2に示す。ただし、一般道路では施工後6ヶ月から53ヶ月まで、高速道路では5ヶ月から64ヶ月までの調査結果から求めたものである。



図－1　大型車類の経過月数による騒音低減効果の変化



図－2　小型車類の経過月数による騒音低減効果の変化

＊ Change in noise reduction of the drainage asphalt pavement according to the lapse of time and cumulative traffic volume. Noboru Kondo, Hirofumi Ohnishi(Public Works Research Institute, Ministry of Construction), Kenichi Ishikawa (Oriental Consultant)

今回の調査結果では、大型車類の方が小型車類より 60km/h、100km/h 走行時とも騒音低減効果は持続していた。また、小型車類、大型車類とも 60km/h 走行時の方が 100km/h 走行時より騒音低減効果の経過月数による変化が少なかった。

5. 経過月数、累積交通量、大型車類累積交通量の騒音低減効果の変化に関する相関係数の比較

調査区間での騒音低減効果の変化を、表－1 に示すように経過月数、累積交通量、大型車類累積交通量別に相関係数の比較をした。なお、交通量は同路線の測定地点と最も近く、交通流の変化が少ないと思われる道路交通センサス調査地点のデータを使用した。

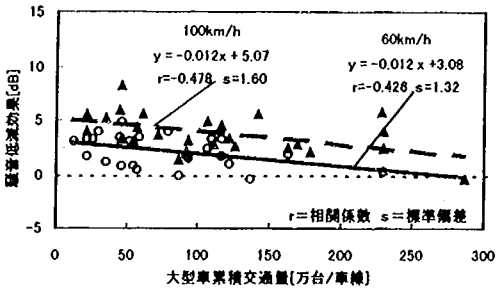
表－1　経過月数、累積交通量、大型車類累積交通量の騒音低減効果の変化に関する相関係数の比較

項目	走行速度	相関係数		
		経過月数	累積交通量	大型車類累積交通量
大型車類	60km/h	0.256	0.236	0.426
	100km/h	0.478	0.554	0.478
小型車類	60km/h	0.262	0.292	0.453
	100km/h	0.414	0.486	0.409

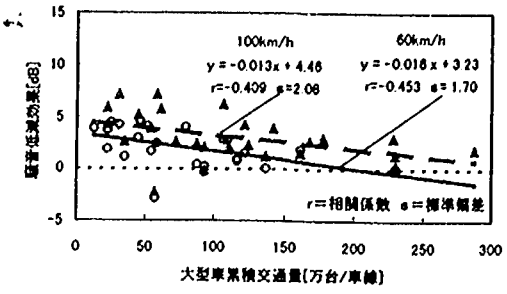
その結果、大型車類、小型車類とも 60km/h 走行時では大型車類累積交通量が他よりも相関が高かった。また、100km/h 走行時では累積交通量による騒音低減効果の変化が他よりも相関は高いが、大きな差異はなかった。さらに、60km/h 走行時よりも 100km/h 走行時の方が、小型車類の大型車類累積交通量を除くすべてにおいて相関は高かった。

6. 大型車類累積交通量による騒音低減効果の変化

大型車類累積交通量による騒音低減効果の変化を図－3、4に示す。ただし、大型車類累積交通量は、一般道路では 12 万台/車線から 230 万台/車線まで、高速道路では 22 万台/車線から 287 万台/車線までの調査結果から求めたものである。



図－3　大型車類累積交通量による大型車類の騒音低減効果の変化



図－4　大型車類累積交通量による小型車類の騒音低減効果の変化

小型車類は、60km/h 走行時よりも 100km/h 走行時の方が、大型車類累積交通量による騒音低減効果の変化が少ない。これは、高速走行ではタイヤのポンピング現象[2]による自浄作用[4]がより大きく働いているためと思われる[5]。実際、高速道路での排水性舗装の現場透水試験では、わだち部の方が非わだち部より排水機能の低下が少ないことが確認されている[5]。

7. まとめ

今回の調査から、排水性舗装の騒音低減効果は徐々に低下するものの、経過月数で 64 ヶ月(約 5 年)持続することが確認された。また、大型車類累積交通量での評価は経過時間よりも、交通条件による路面の変化を考慮できるためより適切であると考えられる。さらに、大型車類累積交通量によると高速域の方が中速域よりも、騒音低減効果の低下は少ないことが解った。

今後は、測定データをさらに集積し、交通量の変化等の地域差による排水性舗装の騒音低減効果持続期間を適切に評価できる方法の検討を行うとともに、２層構造等の騒音低減効果の長寿命化及び洗浄による効果の復元性が期待できる新たな排水性舗装を検討する必要がある。

参考文献

1)中崎・長船・武藤 "排水性舗装の騒音レベル経年変化と舗装履歴" 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集、平成 8 年 9 月

2)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研究発表会講演論文集,1998.9

3)香野 "道路交通騒音予測法 ASJ Model 1998 について －その 2 自動車の走行騒音パワーレベル－、日本音響学会講演論文集、1999 年 3 月

4) Sandberg "Low noise road surface－A state-of-the-art review" J. Acoust. Soc. Jpn. (E) Vol. 20, No.1 January 1999

5)青木・鶴窪・永関 "高速道路における排水性舗装の室内試験と供用性調査" 舗装 27-8 1998

Ⅰ－１３　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－

◎鉢嶺 清範，上坂 克巳，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)，高木 興一(京都大学)

１．まえがき

筆者らは，高さが1m程度の低い遮音壁(以下，「低層遮音壁」という)による減音効果の予測・評価方法に関する研究を行っている[1)・2)]。これまで，開口部を有する低層遮音壁(パネルタイプおよび植栽枡タイプ)が，歩車道境界に設置されている場合に，その評価区間の特定地点における挿入損失ILおよび区間平均挿入損失$SA\cdot IL$を簡易に計算する方法を提案してきた。

本稿では，線音源を用いた模型実験により上記の簡易計算式の妥当性を再度確認するとともに，実験結果を通じて，植栽枡タイプの上面を吸音性とする効果，ならびに歩車道境界および中央分離帯に低層遮音壁を併設した場合の減音効果を明らかにする。

２．音響模型実験

平面道路(4車線)の遠車線側に線音源がある場合を想定し，低層遮音壁による減音効果を測定するため，縮尺比は1/10の模型実験を行った。以下，模型実験に関する数値は，全て実物換算で示す。

実験配置を図-1a，図-1bに示す。標準的な道路幅員を想定し，低層遮音壁の評価(設置)区間長 l =40m，開口率 α =20%とした。低層遮音壁の設置ケースは図中のとおりであり，歩車道境界の植栽枡タイプ上面の吸音効果および植栽枡と中分壁パネル併設の効果の測定を目的とした。なお，対象周波数帯域は，予備実験の結果十分なS/N比を確保できると判断された315Hz～4000Hz，吸音材のベルベットの実効的流れ抵抗値は σ =140kPa$\cdot$s/m^{2}で草地相当とした。音源はジェットノイズ式線音源で延長80m，高さ0.1mとし，床面は完全反射であった。

３．低層遮音壁による減音効果の簡易計算式の検証と植栽枡上面の吸音効果の分析

３．１ 開口部を有する低層遮音壁による減音効果の簡易計算式

文献2)で提案された開口部を有する低層遮音壁による減音効果の簡易計算式を次に示す。

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

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

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

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$LAeq$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区間平均$LAeq$[1)・2)]の差
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
l：評価区間長
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
d：評価点側の側面と評価点(線)の距離
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

３．２ 簡易計算式の検証と植栽枡タイプの上面吸音の効果

模型実験値と，３．１の式を用いて算出したILおよび$SA\cdot IL$を比較した結果を図-2a，図-2bに示す。ILの計算

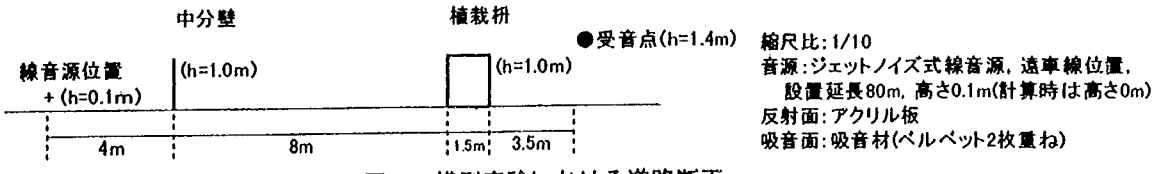


図-1a 模型実験における道路断面

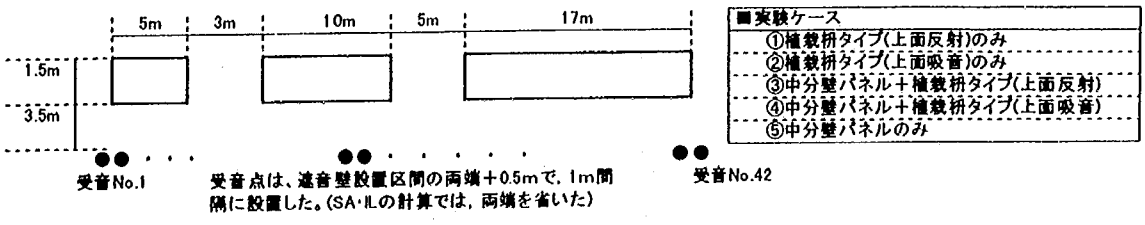


図-1b 植栽枡タイプ低層遮音壁および受音点の配置

---

* Sound Attenuaton of Low-Height Noise Barriers Installed at Median strip and curbs of sidewalk

by Kiyonori HACHIMINE, Katsumi UESAKA, Hirofumi OHNISHI
(Public Works Research Institute, Ministry of Construction)
Kenichi ISHIKAWA(Oriental Consultants Co., Ltd.)
Koichi TAKAGI(Kyoto University)

値と実験値の差は，植栽枡(上面反射)，植栽枡(上面吸音)のどちらの場合も，一部の地点で1～2dB程度あるが，特に低層遮音壁背後空間でよく一致している。また，*SA*・*IL*の差は，0.5dB程度で非常によく一致している。なお，計算値(*SA*・*IL*)の( )内の数値は(1)式をエネルギー積分して求めた。

また，図-2a，図-2bで，植栽枡(上面吸音)と植栽枡(上面反射)を比較すると，上面を吸音性としたほうが，*IL*は遮音壁背後空間で2～5dB程度大きく，*SA*・*IL*は2dB以上大きくなる。

4．中央分離帯と歩車道境界に低層遮音壁を併設した場合の減音効果

4．1 遠車線側音源のみに対する減音効果

図-3aは，模型実験において，植栽枡と中分壁パネルを併設した場合の上面反射と上面吸音の減音効果を比較したものである。その結果，併設の場合も，上面反射より上面吸音のほうが，低層遮音壁背後区間の*IL*は3～4dB程度，*SA*・*IL*は1dB程度大きくなることが分かる。

図-3bでは，植栽枡(吸音)，中分壁パネル，植栽(吸音)＋中分壁パネルのそれぞれのケースを比較した。植栽枡(吸音)＋中分壁パネルでは，植栽枡(吸音)のみに比べ，*IL*で約3～5dB，*SA*・*IL*で3dB程度の効果が得られることがわかる。

4．2 遠車線側音源と近車線側音源における減音効果

実際の道路に低層遮音壁を設置した場合の減音効果を検討するため，遠車線側の音源と同じパワーレベルを有する音源を近車線側にも設定した場合の植栽枡タイプと中分壁パネル併設の効果を検討した。音源が遠車線の場合の*IL*は実験値を用い，近車線の場合の*IL*は(1)式より求め，それらを合成することにより，遠車線，近車線の両方に音源が設置された場合の*IL*を算出した。その結果を図-4に示す。植栽枡(吸音)のみの場合の*IL*は，2～10dBの間で分布し，*SA*・*IL*は5.7dBである。また，植栽枡(吸音)＋中分壁パネルの場合には，植栽枡(吸音)のみに比べ，低層遮音壁背後および開口部背後とも，*IL*で約1～2dB，*SA*・*IL*で1dB程度減音効果が大きいことが分かる。

5．まとめ

本稿で得られた主な成果は，以下のとおりである。

(1)模型実験の結果と地点別挿入損失*IL*，評価区間平均挿入損失*SA*・*IL*の簡易計算結果を比較することにより，簡易計算式の妥当性が検証できた。

(2)低層遮音壁の評価(設置)区間40m，開口率20%の場合に，遠車線のみに音源を設定し，植栽枡の上面を反射性から吸音性にすると，*SA*・*IL*は，植栽枡のみ設置の場合で1.5dB程度，植栽枡(吸音)＋中分壁パネルの場合で1.2dB程度大きい。さらに，植栽枡(吸音)より，植栽枡(吸音)＋中分壁パネルのほうが，*SA*・*IL*は2.7dB程度大きい。

(3)遠車線＋近車線に音源がある場合，植栽枡(吸音)のみ設置の場合，*SA*・*IL*は約5．7dB，植栽枡(吸音)＋中分壁パネルの場合で約6．7dBであった。

今後の課題として，中央分離帯と歩車道境界に低層遮音壁を併設した場合においても，簡易計算式が適用できるように，計算式を拡張していく必要がある。

謝辞　本稿の実験にあたり，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。

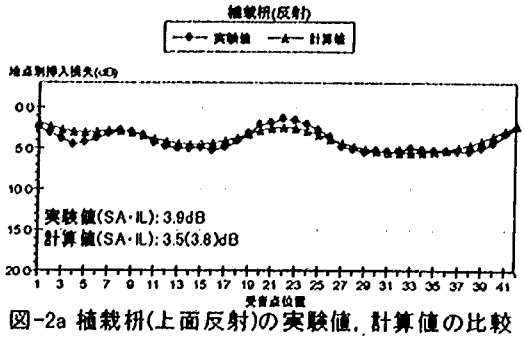


図-2a 植栽枡(上面反射)の実験値，計算値の比較

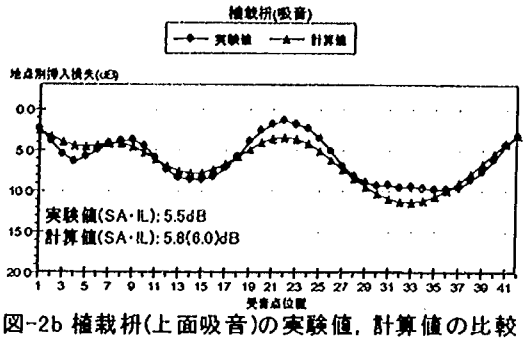


図-2b 植栽枡(上面吸音)の実験値，計算値の比較

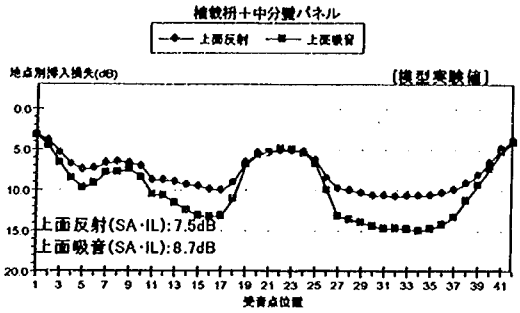


図-3a 植栽枡＋中分パネルの上面反射，吸音の差

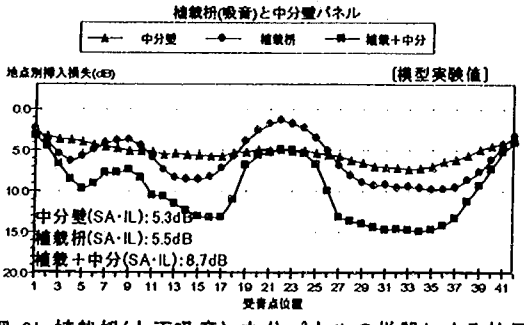


図-3b 植栽枡(上面吸音)+中分パネルの併設による効果

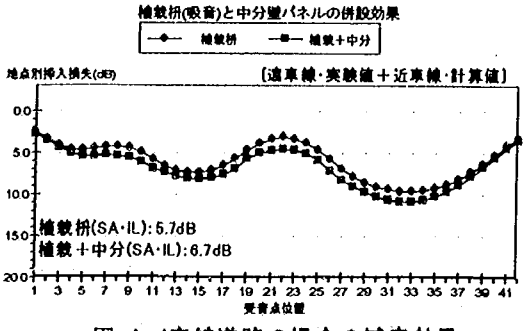


図-4　4車線道路の場合の減音効果

参考文献

1) 上坂，大西，鈴木，千葉，高木，「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 第34巻，P.307～317(1997)

2) 上坂，大西，鈴木，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(1998.春 掲載予定)

Ⅰ－14　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～*

○上坂克巳，大西博文（建設省土木研究所），三宅龍雄（㈱綜合技術コンサルタント），
山本貢平（(財) 小林理学研究所），高木興一（京都大学）

1．はじめに

近年，道路交通騒音対策として，複数の遮音壁を設置するケースが増加している。

二重障壁[1),2),4),6)]，三重障壁[3),4),5)]による回折減音量の計算については，幾つかの方法が提案されている。しかし，二重障壁が高架道路に設置された場合のように，深い回折が生じる受音点での計算値の検証は十分行われておらず，三重障壁に関しては，実測値と十分な整合が得られる具体的な計算方法がいまだ示されていない。

ここでは，従来の研究成果も踏まえ，障壁間隔が大きい（5m 以上）多重障壁による減音量の簡易な計算方法を示し，その妥当性を，2 次元境界要素法（以下，単に BEM という）による計算値および模型実験値との比較により明らかにする。なお，本稿で扱う障壁の表面は完全反射とする。

2．障壁間隔が大きい多重障壁の減音量計算方法

二重障壁による減音量の計算では，厳密には，障壁間の反射音の影響を考慮する必要がある。その影響は，障壁間隔と周波数に依存するが，道路交通騒音の周波数特性を考えた場合，障壁間隔が 5m 以上であれば，減音量計算において，その影響をほぼ無視できることが明らかとなっている[6)]。

道路交通騒音対策において，複数の遮音壁を設置する場合，その間隔は，通常 5m 以上となるため，以下，障壁間の反射音の影響は無視する。

2.1　二重障壁

二重障壁(double barriers)による減音量$\Delta L(\mathrm{D})_{SXYP}$の計算式は次式のとおりである。(図－１参照)

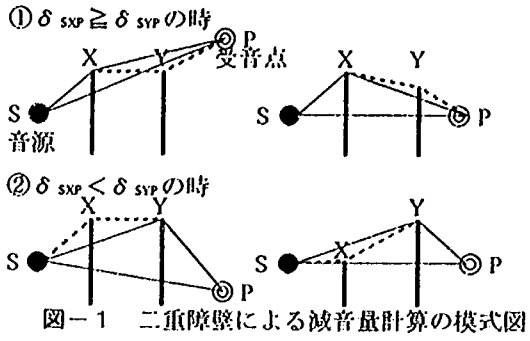
$$\Delta L(\mathrm{D})_{SXYP}=\begin{cases}①\ \delta_{SXP}\geqq\delta_{SYP}\text{の時} \\ \quad \Delta L_{SXP}+\Delta L_{XYP} \\ ②\ \delta_{SXP}<\delta_{SYP}\text{の時} \\ \quad \Delta L_{SYP}+\Delta L_{SXY}\end{cases} \tag{1}$$

ここで，δ_{ABC}，ΔL_{ABC} 書く表現は，各々，回折経路 ABC と直達経路 AC の行路差（A から C を見通せる場合，負の値），それに対応する半無限障壁による減音量（前川チャート[7)]で求める）を示す。

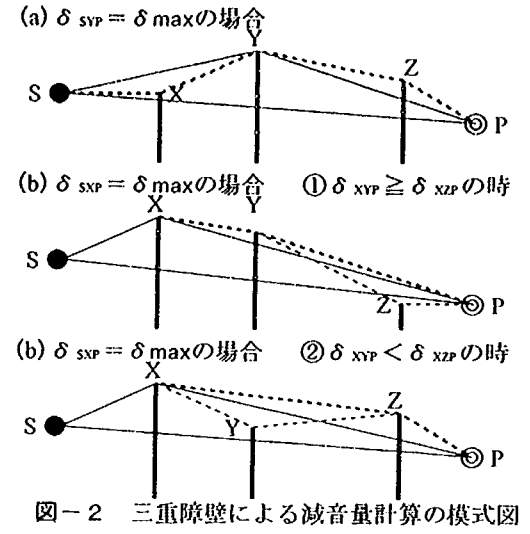
(1)式は，文献 1)の考え方同様，行路差δの大きい一重障壁（半無限障壁）の回折減音量を基本とし，さらに，その障壁の上端に仮想音源または仮想受音点を想定し，他方の障壁による回折減音量を加えたものである。また，この方法により，相反の定理が満足でき，回折経路が一重回折となる領域と二重回折となる領域での計算値の連続性も確保される。

なお，(1)式は，原理的には，やや過大な減音量を与える。たとえば，文献 1)では，(1)式において半無限障壁による減音量を Fresnel-Kirchhoff の近似回折理論で求めた場合の計算値と実験値との差異を補正量として与え，主に，障壁間隔 W，音源～受音点の水平距離 T の比に基づき，0dB（$W/T\fallingdotseq 1$ の時）から-6dB（$W/T\fallingdotseq 0$ の時）の値をとるとしている。

しかし，本稿では，1)半無限障壁による減音量の計算に前川チャートを用いること，2)通常の道路交通騒音の予測における音源，受音点，障壁の配置を想定した場合，上記の W/T に基づく補正量の計算値は小さいこと　から，計算の簡易性にも配慮し，特に補正量は設けないこととした。



図－１　二重障壁による減音量計算の模式図



図－２　三重障壁による減音量計算の模式図

2.2　三重障壁

2.1の方法を拡張し，三重障壁（triple barriers）による減音量$\Delta L(\mathrm{T})_{SXYZP}$の計算式を，次式のように新たに提案する。(図－２参照)

$$\Delta L(\mathrm{T})_{SXYZP}=\begin{cases}(a)\ \delta_{SYP}=\delta\max\text{の場合} \\ \quad \Delta L_{SYP}+(\Delta L_{SXY}+\Delta L_{YZP}) \\ (b)\ \delta_{SXP}=\delta\max\text{の場合} \\ \quad ①\ \delta_{XYP}\geqq\delta_{XZP}\text{の時} \\ \quad\quad \Delta L_{SXP}+(\Delta L_{XYP}+\Delta L_{YZP}) \\ \quad ②\ \delta_{XYP}<\delta_{XZP}\text{の時} \\ \quad\quad \Delta L_{SXP}+(\Delta L_{XZP}+\Delta L_{XYZ}) \\ (c)\ \delta_{SZP}=\delta\max\text{の場合} \\ \quad ①\ \delta_{SXZ}\geqq\delta_{SYZ}\text{の時} \\ \quad\quad \Delta L_{SZP}+(\Delta L_{SXZ}+\Delta L_{XYZ}) \\ \quad ②\ \delta_{SXZ}<\delta_{SYZ}\text{の時} \\ \quad\quad \Delta L_{SZP}+(\Delta L_{SYZ}+\Delta L_{SXY})\end{cases} \tag{2}$$

ここで，$\delta\max$は，δ_{SXP}，δ_{SYP}，δ_{SZP}のうち，最大のものをいう。

(2)式は，3 つの一重障壁のうち，最大の行路差δを与える障壁の回折減音量を基本とし，(1)式と同様の考えで，残りの障壁の回折減音量を加えたものである。条件(b)，(c)の場合は，残りの障壁の回折減音量の計算に(1)式を用いている。

---

* Calculation Method for Sound Attenuation by Multiple Barriers with Wide Intervals

By Katsumi UESAKA, Hirofumi OHNISHI (Public Works Research Institute, MOC), Tatsuo MIYAKE (Sogo Engineering Inc.), Kohei YAMAMOTO (Kobayashi Institute of Physical Research), Koichi TAKAGI (Kyoto University)

3．BEM計算値，模型実験値との比較

(1)二重障壁

図－3の配置において，二重障壁による減音量を(1)式，文献2)，文献6)の方法およびBEMにより求めた。なお，ここでは，高架道路の中央分離帯と道路端に遮音壁が設置された場合を想定した。

対象周波数は500Hzとし，計算は純音で行った。なお，BEMの計算では，障壁の厚さ1cm，要素の大きさ2cmとし，障壁面の音響インピーダンスは実効的流れ抵抗σ＝100,000kPa·s/m²として Delany & Bazley のモデルより与えた。また，音源Sの下30mの位置に完全吸音面を設定した。

図－4に，p_x＝10mの場合の計算結果を示す。(1)式は，低い受音点位置で，BEM計算値よりも，やや大きい減音量を与えるものの，両者はおおむね一致している。一方，文献2)，6)の方法は，BEM計算値より，減音量が5～10dB程度小さくなる場合がある。p_x＝5m，20mの場合も，同様に，(1)式はBEM計算値とおおむね一致した。

(2)三重障壁

文献3)における三重障壁による減音量のBEM計算値，模型実験値と，(2)式による計算値，文献3)，文献5)で提案された方法による計算値を比較した。音源，受音点および障壁の配置は，図－5のとおりであり，対象周波数は250Hz～1250Hzであった。なお，模型実験の数値は，すべて実物換算で示す。

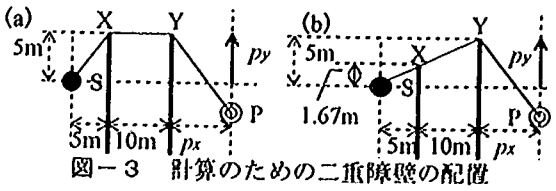
p_x＝5mの時の結果を図－6に示す。なお，挿入損失は，自動車走行騒音の代表スペクトル[8]で重み付けしたオーバーオール値として示している。

(2)による結果は，受音点高さが低くなる場合に，やや，BEM計算値より大きい挿入損失を与えるが，文献3)，文献5)の方法より，BEM計算値，模型実験値との整合性がよい。なお，模型実験値が，挿入損失35dB程度で頭打ちしているのは，無響室壁面における反射音の影響と推定される。また，p_x＝3m，7mの時も同様の結果であった。

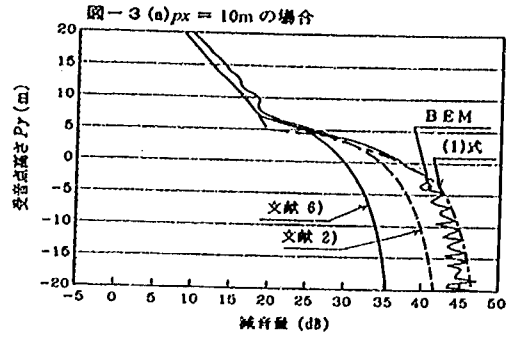
4．まとめ

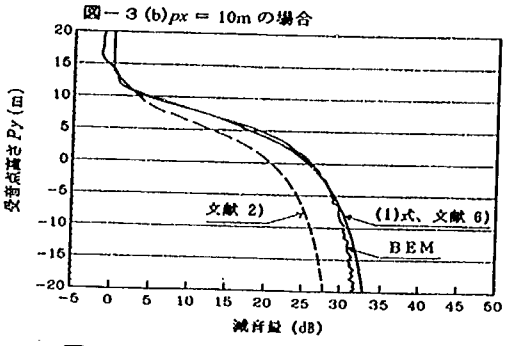
障壁間隔が十分大きい二重障壁，三重障壁による減音量の計算方法を提案し，その妥当性をBEM計算値，模型実験値との比較により明らかにした。本計算方法は，音源，受音点および障壁の配置にかかわらず適用でき，原理的には，四重障壁以上の多重障壁にも応用できる。

なお，三重障壁に関しては，本稿で示した以外の配置についても検証が必要と考える。

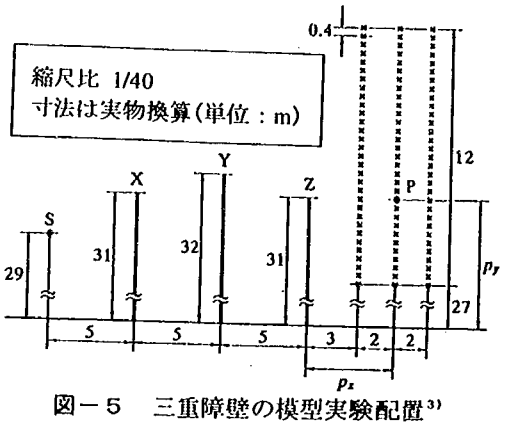


図－3　計算のための二重障壁の配置

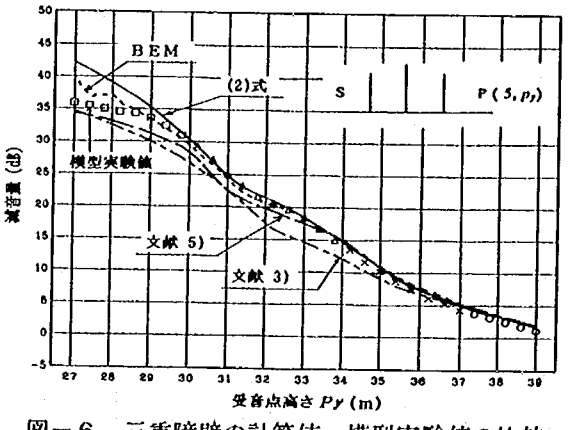




図－4　二重障壁の計算値の比較



図－5　三重障壁の模型実験配置[3]



図－6　三重障壁の計算値，模型実験値の比較

参考文献

1) R.N.Foss : Double barrier noise attenuation and a predictive algorithm, *Noise control engineering*, 13(2), pp.83～91 (1979).
2) K. Takagi et al. : Comparison of simple prediction method for noise reduction by double barriers, Proccedings of Internoise 96(1996), pp.779～782.
3) 東一樹他：三重障壁による回折効果について，日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集, pp.297～300 (1995).
4) 久野和宏他：道路交通騒音予測のこと[XVIII]－障壁及びスリット等による回折減衰－，日本音響学会騒音・振動研究会資料，N-97-51 (1997).
5) 上坂克巳他：多重障壁による減音効果の計算方法，騒音振動研究会資料, N-97-59 (1997).
6) 上坂克巳他：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，Vol.22 No.3 (1998), pp.153～161.
7) K. Yamamoto et al. : Expression of Maekawa's chart for computation, *Applied Acoustics*, 37(1992), pp.75～82.
8) 曽根敏夫他：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(1994)，pp.233～239.

I－15　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－

○大西慶三, 西村正治, 和田太郎 (三菱重工), 上坂克巳, 大西博文 (建設省)

1. 緒　言

筆者らはｱｸﾃｨﾌﾞﾉｲｽﾞｺﾝﾄﾛｰﾙの技術を用いて遮音壁先端部(エッジ部)を広い周波数範囲で音圧反射率=－1の境界とし、ｺﾝﾊﾟｸﾄなｻｲｽﾞで遮音壁での回折音を低減する「アクティブソフトエッジ(以下ASE)」を用いた遮音壁を開発中である。第1報[1]ではその基本ｺﾝｾﾌﾟﾄについて報告した。本報では表面反射率の実験結果、ｱｸﾃｨﾌﾞ制御とﾊﾟｯｼﾌﾞ吸音を両立するための工夫、2m長さの試作ﾕﾆｯﾄによる無響室内実験[2]に対応する3次元・2次元の境界要素法(以下BEM)ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ結果について述べる。

2. 制御による表面反射率の変化と吸音材併用の効果

第1報での基本ｺﾝｾﾌﾟﾄの有効性を確認するため、まず音響管を用いた一次元音場での表面反射率を計測した。計測器構成をFig.1 に示す。Fig.1 の円で囲まれた部分がASEセルで、ｴﾝｸﾛｰｼﾞｬ,ｽﾋﾟｰｶ,ﾏｲｸ,表面材(吸音材+表面保護材)で構成される。右側の騒音源よりｻｲﾝ波をｽｲｰﾌﾟさせながら発生させ、ASEセルのﾏｲｸﾛﾎﾝで観測される音圧が最小となるように制御した。制御方式はFeedback-LMS法[3]を用いた。ASEセル表面の反射率は2ﾏｲｸﾛﾎﾝ法で入射波と反射波を分離し求めた。ﾏｲｸﾛﾎﾝでの制御有無による減音量をFig.2 に、測定された音圧反射率をFig.3に示す。ASE制御系の一巡伝達特性をGとすると、第1報(1)式ではGの絶対値を無限大(ﾏｲｸﾛﾎﾝでの減音量を無限大)にし、且つ表面材の流れ抵抗が小さい場合にASEセル表面の音圧反射率が-1になることが示されているが、Fig.3の結果を見てもﾏｲｸﾛﾎﾝでの減音量が大きい140～510Hzの帯域全域にわたって反射率利得=1、位相=-180degのほぼ反射率=-1の状態が実現されている。また非制御帯域の1kHz以上の周波数域では制御の有無に関わらず0.7以上の吸音率があり、ｱｸﾃｨﾌﾞ制御とﾊﾟｯｼﾌﾞ吸音が併存している状況が判る。

一方、ﾊﾟｯｼﾌﾞ吸音性能を向上させるため流れ抵抗の大きい吸音材を使うと制御帯域内の音圧反射率の利得が低下することが上述(1)式から判るが、このことは実験でも確認された。そこでｱｸﾃｨﾌﾞ制御とﾊﾟｯｼﾌﾞ吸音を両立するためFig.4に示すようにｽﾋﾟｰｶ正面の吸音材をｽﾋﾟｰｶの駆動面積とほぼ同じ大きさを切り欠く形状とした。この形状の吸音材を用いたASEセルを9ヶ製作し、Fig.5に示すように無響室内で3x3ヶを平面状に並べ、2ﾏｲｸﾛﾎﾝ法により音圧反射率を測定した。この測定結果にASEから2ﾏｲｸﾛﾎﾝの中心位置までの距離減衰と位相遅れを考慮し、3章のBEMｼﾐｭﾚｰｼｮﾝでのASE部表面の音響ｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽとして与えた。

3. 2m長さの試作ﾕﾆｯﾄ実験配置でのASE減音量分布

第3報[4]では2m長さのASEユニットを試作し無響室内で実験を行っているが、ここではその配置での3　次元BEMｼﾐｭﾚｰｼｮﾝを実施した。ASEセルの断面内位置関係は、第1 報[1]でセル個数あたりの減音効果が大きかったShape6-2(音源側に45度傾いた半周に断面内4ヶのASEを配置)を用いた。計算ﾓﾃﾞﾙをFig.6に示す。遮音壁,回折防止板,音源側床及びASE部を実験寸法のまま3次元でﾓﾃﾞﾙ化した。遮音壁の音源側に敷置された吸音材位置にも それに相当する音響ｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽを与えた。計算は250Hzを中心とする1/15ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ5周波数を実施し、 それらをｴﾈﾙｷﾞ平均した。Fig.6の受音点16点での音圧ﾚﾍﾞﾙを、以下の3ｹｰｽについて計算し、[1]通常遮音壁に対する音圧ﾚﾍﾞﾙ差をASEの減音効果とした。

[1] 通常遮音壁 (I型遮音壁 t=100)

[2] ASE 制御有 (2章で計測された反射率を使用)

[3] ASE 制御有 (ASE部の反射率をR=-1としたもの)

計算結果をFig.7に示す。16点の減音効果の算術平均値は[2]-4.2dBに対し、音圧反射率の理想値(=-1)を与えた[3]は-4.8dBであり、その差は0.6dB程度と小さく制御帯域で良好な減音効果があることが予測される。尚、第3報[4]で示される実験結果では制御帯域でこれとほぼ同等の減音効果があること 及び 非制御帯域でのﾊﾟｯｼﾌﾞ吸音性能も良好であることが確認されており、Fig.4で示した配置・吸音材形状が有効であることが判る。

次に線音源と無限長さのASEの組み合わせによる減音効果を見るため、Fig.6のASE部と遮音壁の断面寸法を用いた2次元BEMｼﾐｭﾚｰｼｮﾝを行った。ﾓﾃﾞﾙ化は床に対しASEと遮音壁を鏡像に配置する方式としたので、この場合だけ音源側床、受音点側床共に反射性の条件となる。計算は測定された反射率を用いたものとφ500円周部に50mm厚の吸音材に相当する音響ｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽを与えたもの及び通常遮音壁の3ｹｰｽを実施した。計算結果をFig.8に示す。円筒状吸音材の場合は上記16点平均値評価で-1.2dBの減音効果であるのに対し、ASE遮音壁は-7.4dBの減音効果があり、 2m有限長の3次元ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝよりも高い効果が予測されている。

参考文献

1) 大西他, アクティブソフトエッジ遮音壁の開発(1), 日本音響学会講演論文集, 1997/9
2) 上坂他, アクティブソフトエッジ遮音壁の開発(3), 日本音響学会講演論文集, 1999/3
3) Nishimura et al, Active Adaptive Feedback Control of Sound Field, JSME Int. Journal.,C-37-3, 1994

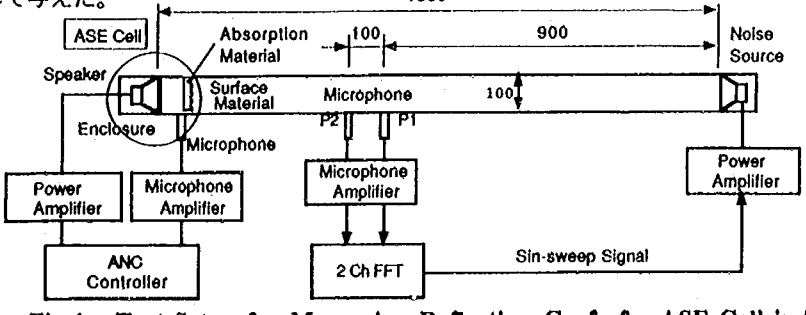


Fig.1　Test Setup for Measuring Reflection Coef of a ASE Cell in Tube

* Development of the Noise Barrier with Active Acoustic Soft Edge (Part 2: Coexist with Active and Passive Performance) by Keizo OHNISHI, Masaharu NISHIMURA, Taro WADA (Mitsubishi Heavy Industries Ltd., Takasago R&D Center and Kobe Shipyard and Machinery Works), Katsumi UESAKA, Hirofumi OHNISHI (Ministry of Construction, Public Works Research Institute)

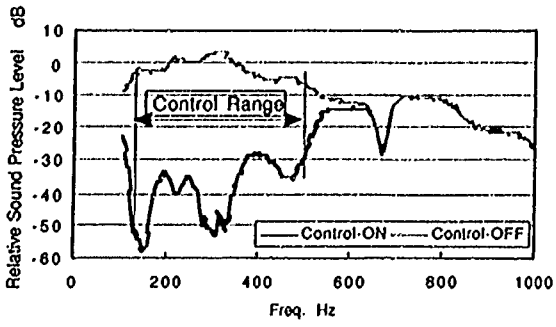


Fig.2 Noise Reduction at Microphone in ASE Cell.

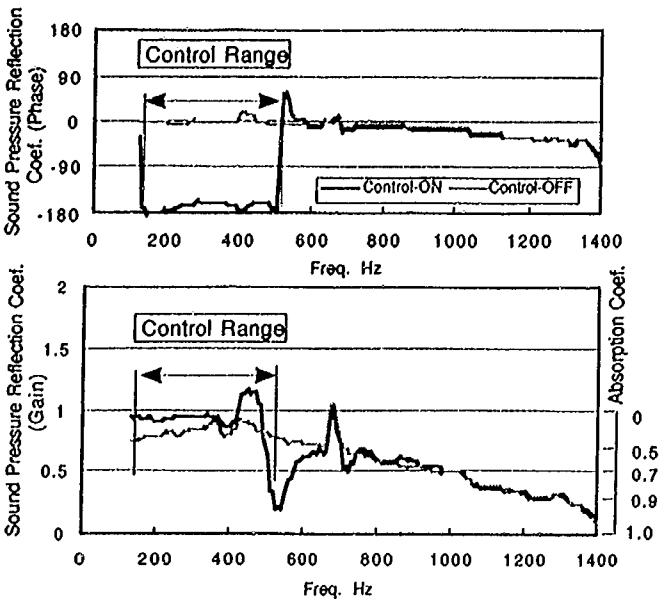


Fig.3 Reflection Coef. of ASE in Tube Test (with Abosorptive Material)

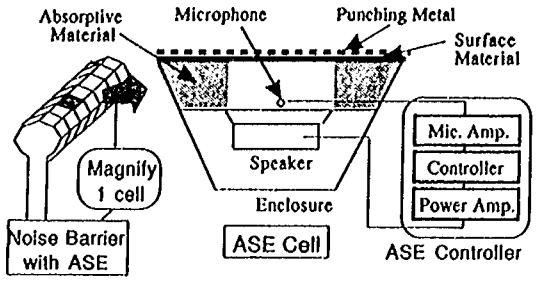


Fig.4 Cross Section of ASE Cell

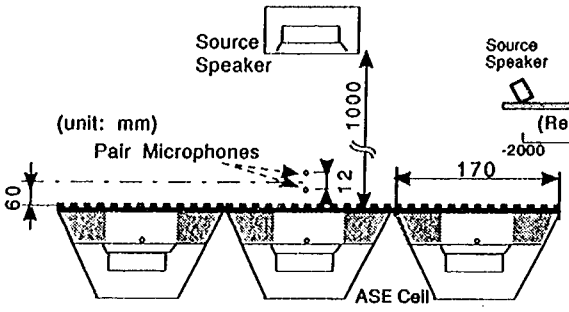


Fig.5 Test Setup for Measuring Reflection Coef of 3x3 ASE Cells in Free Field

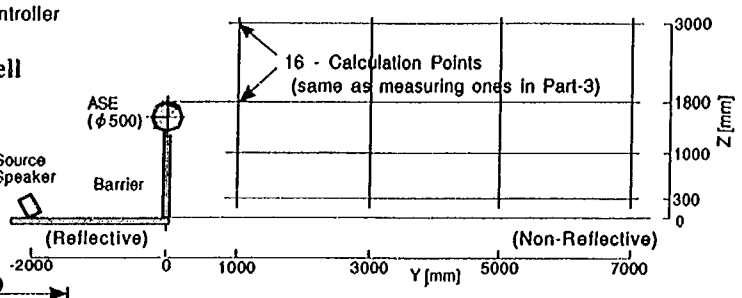


Fig.6 Simulation Setup for 3D-BEM

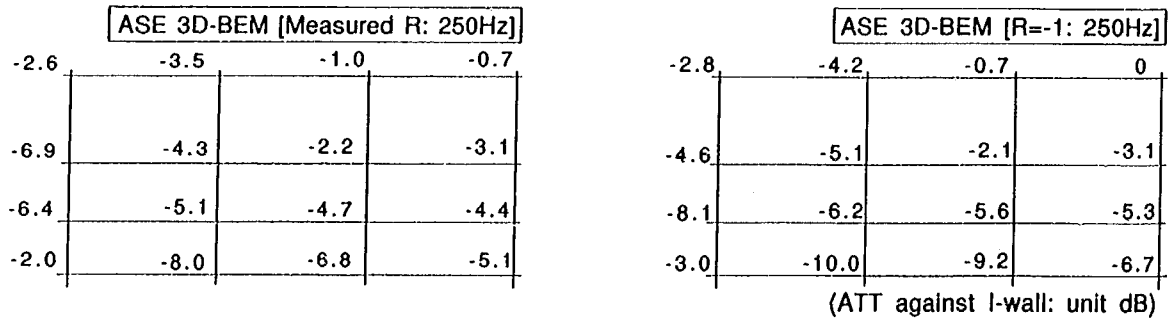


Fig.7 Sound Pressure Attenuation Distribution for ASE (3D-BEM)

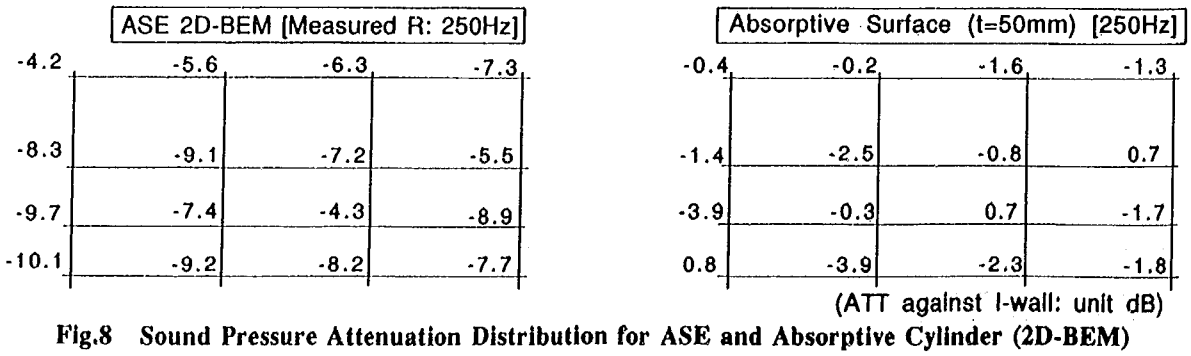


Fig.8 Sound Pressure Attenuation Distribution for ASE and Absorptive Cylinder (2D-BEM)

I－16　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－

上坂 克巳，◎鉢嶺 清範，大西 博文(建設省土木研究所)
大西 慶三，西村 正治(三菱重工業高砂研究所)

1．はじめに

筆者らは，アクティブ・ノイズ・コントロール(ANC)技術を用いて，遮音壁先端に反射率 -1 の音響的にソフトな境界を実現し，回折音の低減を図るアクティブ・ソフト・エッジ(ASE)遮音壁の開発を行っている[1),2)]。

第1報[1)]では ASE の基本コンセプトについて報告した。また，第2報[2)]ではアクティブ制御と吸音効果(パッシブ)を両立させた ASE セルの特徴，性能を示すとともに，境界要素法(BEM)を用いて ASE 遮音壁の減音効果を推定した。

本報では，延長 2m の ASE 遮音壁のプロトタイプを製作し，その減音効果を無響室で測定する。

2．ASEセルの機能

製作した ASE セルの断面図を図－1に示す。ASE セルは，ANC の制御帯域である 200 ～ 600Hz においては音圧反射率－1のソフト境界を形成し，それより高い周波数帯域についてはセル表面の吸音材により反射率が0に近い境界を形成するように設計されている[1),2)]。つまり，ASE セルはアクティブ，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る。なお，ASE セルの形状，配置については，2 次元境界要素法によるシミュレーション計算の結果に基づき決定した[1)]。

なお ASE セルは，屋外での使用にも耐えられるよう，耐候性シート，表面保護材で保護されている。

3．無響室でのASE遮音壁の減音効果測定

無響室に実物大の ASE 遮音壁のプロトタイプを設置し，固定音源及び移動音源に対する減音効果を測定した。また，通常遮音壁及び先端に吸音円筒を取り付けた遮音壁(以下，「吸音円筒遮音壁」という)と減音効果を比較した。

3.1　実験方法

図－1に音源，遮音壁および計測点の配置を示す。延長 2m，高さ 1.8m の ASE 遮音壁の両側には，側方回折音の防止板を設置した。また，ASE セルの部分を同じ大きさの吸音円筒に取り替えた吸音円筒遮音壁，および同一高さの通常遮音壁を設置した場合の音圧レベルも同時に測定し，1/3 オクターブバンド分析を行った。

固定音源および移動音源(固定音源より小さい)用のスピーカからは，道路交通騒音のスペクトルを模した 100Hz ～ 4kHz のランダムノイズを発生させた。なお，移動音源用スピーカは，遮音壁と平行に設置したレール上を，台車に載せて斜面から自重で滑走(遮音壁前の区間の平均速度 13km/h)させた。

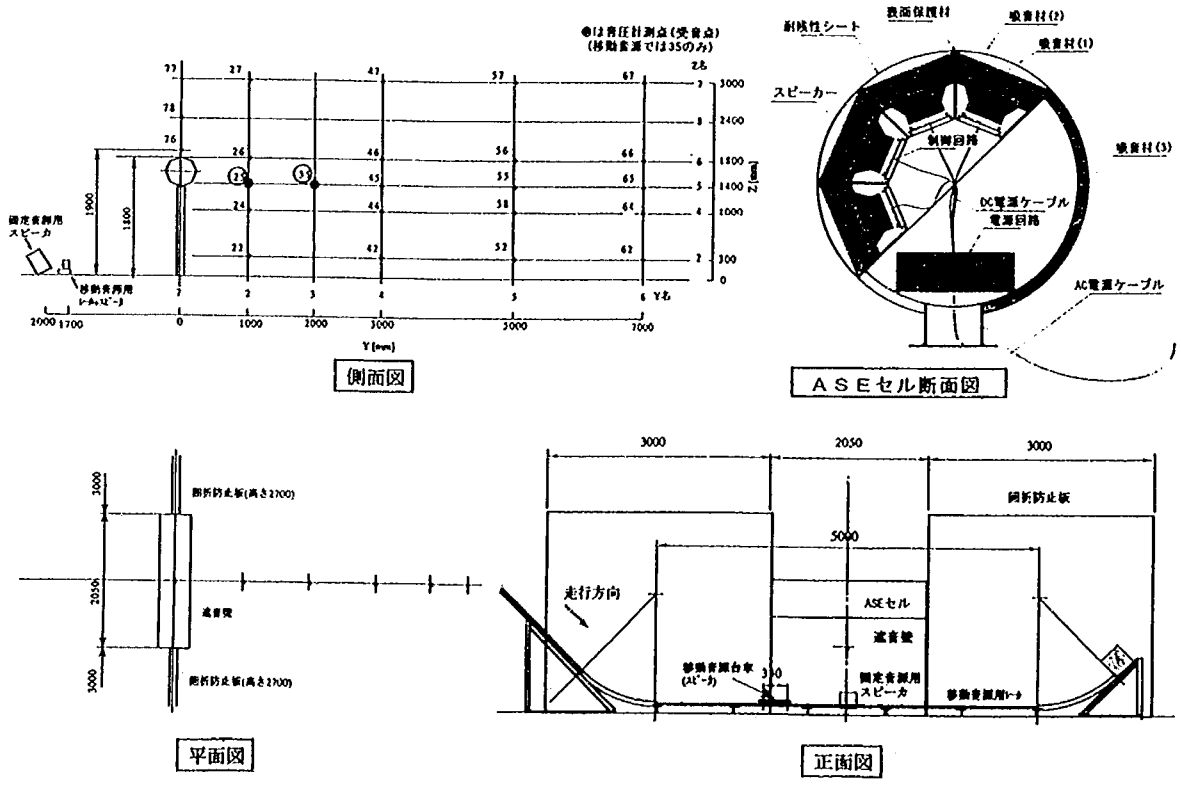


図-1　ASEセルの断面図と実験配置

---

* Development of the Noise Barrier with Active Acoustic Soft Edge(Part 3 : Measurement of the Sound Attenuation Effect of ASE in Cases of a Steady Source and a Moving Source)
by Katsumi UESAKA, Kiyonori HACHIMINE, Hirofumi OHNISHI (Public Works Research Institute, Ministry of Construction) and Keizo OHNISHI, Masaharu NISHIMURA(Mitsubishi Heavy Industries , Ltd)

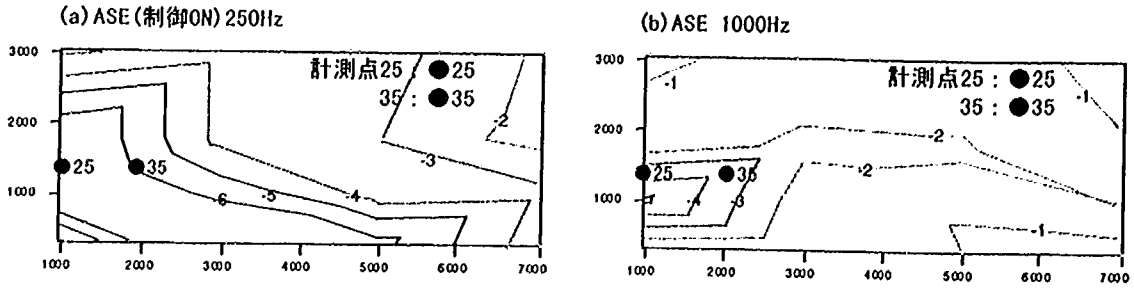


図-2 固定音源に対するASE遮音壁の減音効果

3.2 実験結果

(1)固定音源の場合

図－２に，ASE 遮音壁(制御 ON)と通常遮音壁を設置した場合の音圧レベルの差異をコンター図で示した。ASE 遮音壁の減音効果は通常遮音壁に比べ，ANC の制御帯域である 250Hz では 2 ～ 6dB，非制御帯域の 1000Hz では，1 ～ 4dB であった。なお，250Hz の結果は，文献 2)の 3 次元境界要素法での計算結果とも概ね一致している。

図－３に，通常遮音壁，吸音円筒遮音壁，ASE 遮音壁(制御 ON)を設置した場合の，計測点位置 25 における音圧レベル(A 特性)を周波数別に示す。ASE 遮音壁の減音効果は吸音円筒遮音壁に比べ，制御帯域では 1 ～ 3dB 大きく，非制御帯域(パッシブ吸音域)では同程度であった。

図－４には，通常遮音壁，ASE 遮音壁(制御 OFF)，ASE 遮音壁(制御 ON)の場合の計測点 35 における音圧レベルを示した。ANC 制御の効果(制御 ON，OFF の差異)は，2 ～ 3dB であった。

(2)移動音源の場合

音源を移動させ，通常遮音壁と ASE 遮音壁(制御 ON)背後の計測点 35 における音圧レベル(250Hz)の変化を測定した結果を図－５に示す。図－４と比較すると，固定音源の場合と同等の効果が確認でき，ASE 遮音壁は移動音源に対しても有効であることが分かる。

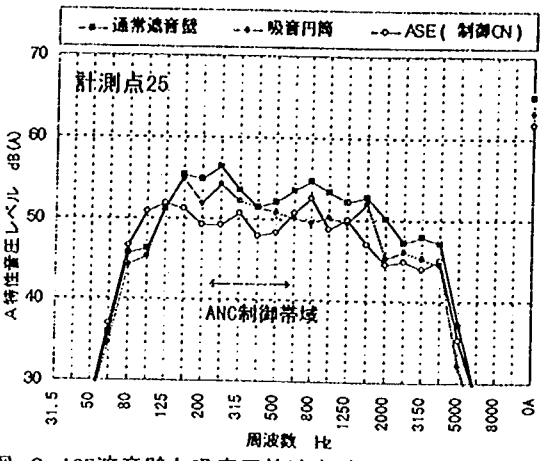


図-3 ASE遮音壁と吸音円筒遮音壁の減音効果の比較

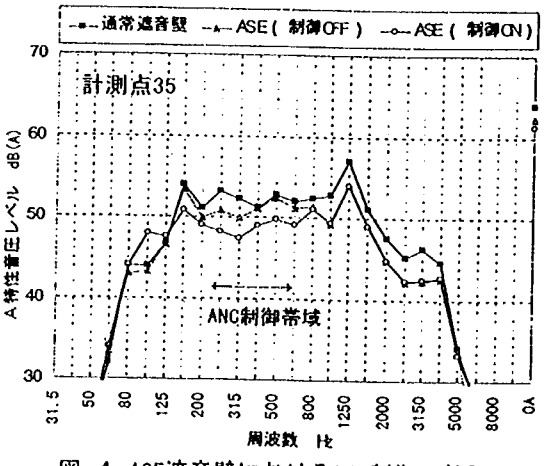


図-4 ASE遮音壁におけるANC制御の効果

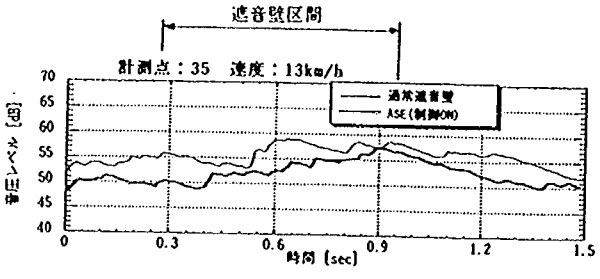


図-5 移動音源に対するASEの減音効果(250Hz)

4．まとめ

ASE 遮音壁のプロトタイプ(延長 2m)の減音効果を無響室で測定し，以下の結果を得た。

(1)ASE 遮音壁の効果は，通常遮音壁を，ANC 制御帯域で 2 ～ 6dB，非制御帯域で 1 ～ 4dB 上回る。

(2)ASE 遮音壁の効果は，吸音円筒遮音壁を ANC 制御帯域で 1 ～ 3d 上回り，非制御帯域で同程度である。

(3)ASE 遮音壁は移動音源(速度 13km/h)に対しても，固定音源の場合と同程度の減音効果を有する。

なお，ASE セルの延長が長い場合は，より高い減音効果が期待できる[2)]。今後，土木研究所の試験走路に延長 40 m の ASE 遮音壁を設置し，実際の車両を用い減音効果を測定する予定である。

参考文献

1)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，P.739 ～(1997.9)

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 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，(1999.3)

Ⅰ－17　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*

○紺野義仁、山本稔（JH 試験研究所）、
飯森英哲（（株）オリエンタルコンサルタンツ）、上坂克巳（建設省土研）

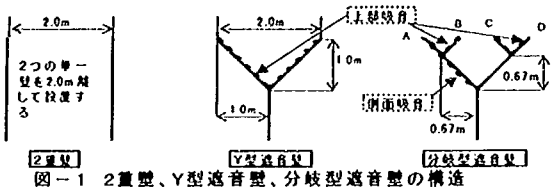
1．はじめに

遮音壁の先端を改良することにより、遮音壁高さを変えずに騒音低減効果を高める研究が広く行われている。[1)~4)]

本稿は筆者らが検討を進めてきた分岐型遮音壁[4)]（図－1参照）の減音効果を、単一壁や同等の幅を有する2重障壁及びY型遮音壁と比較するとともに、その結果を踏まえ、分岐型遮音壁の減音効果の計算方法を検討したものである。

2．分岐型遮音壁と他の遮音壁の減音効果の比較

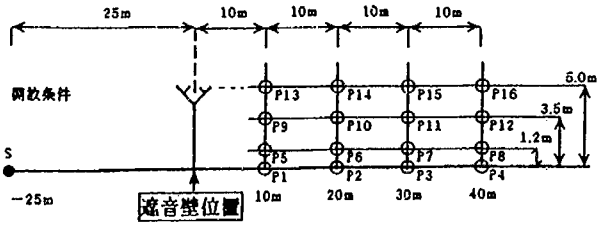
2次元境界要素法(BEM)を用いて、単一壁及び図－1に示す遮音壁の挿入損失の比較を行った。以下では、Y型及び分岐型遮音壁の吸音箇所に吸音材を取り付けたタイプを(吸音)とし、吸音材を付けないタイプを(反射)と呼ぶ。



図－1　2重壁、Y型遮音壁、分岐型遮音壁の構造

(1)計算条件

計算条件は文献 1)と同じである。計算した予測点や音源の配置は、図－2に示すとおりである。



図－2　音源S、予測点Pの配置

計算は、50～2,500Hz の 1/3 オクターブバンド中心周波数毎に行い、通常舗装部を想定した ASJ Model 1993 の代表スペクトルを用いて、オーバーオール値としての挿入損失を求めた。

図－1における吸音材は、撥水性成形繊維系吸音材を想定し、その音響インピーダンスは、流れ抵抗(実測値：12.4kPa･s/m²)、厚さ(40mm)及び空気層は無しとして、Delany & Bazley のインピーダンスモデルによって求めた。(文献 1)参照)

(2)計算結果

各々の遮音壁について全予測点での挿入損失の算術平均値を求め、Y型(反射、吸音)及び分岐型遮音壁(反射、吸音)の挿入損失と、単一壁及び2重壁の挿入損失の差を表－1に示す。表中で正の数字は、基準とした遮音壁の挿入損失を上回ることを示す。

表－1　全予測点での挿入損失平均値の差異[dB]

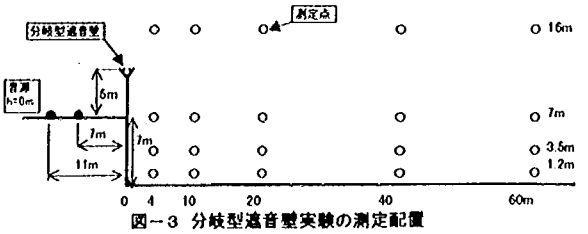
基準とした遮音壁	Y型(反射)	Y型(吸音)	分岐型(反射)	分岐型(吸音)
単一壁	2.9	3.4	3.7	4.8
2重壁	-0.7	-0.2	0.1	1.2

表－1より、単一壁との比較では、Y型及び分岐型遮音壁はいずれも挿入損失が大きく、分岐型(吸音)では約 5dB 大きい。また、Y型(反射)は2重壁より挿入損失が 0.7dB 小さいが、吸音処理によりほぼ2重壁と同程度となる。一方、分岐型(反射)の挿入損失は2重壁と同程度であり、吸音処理することによりさらに 1dB 程度挿入損失が大きくなっている。

3．分岐型遮音壁の減音効果の計算方法

分岐型遮音壁の伝搬実験を 1/2 スケールの模型を用いて屋外で行い、挿入損失について、実測値と2次元BEM 及び簡易式(4重回折式)の計算値とを比較した。挿入損失は、実測値、BEM 及び簡易式ともに、半自由空間における点音源伝搬計算による音圧レベルを基準として求めた。

測定配置(実寸法)を図－3に示す。遮音壁延長は140m であり、その中央断面で測定したため、遮音壁側方からの回折音は無視できる。音源は半球を模した6面体スピーカを地面に置き(計算上の高さ 0m)、パワーレベル 107dB(別途残響室法により測定)の音を発生させた。地面はアスファルト舗装であり反射性と考えられる。また、暗騒音レベルは約 40dB と十分小さく、実測値に及ぼす影響はほとんどなかった。



図－3　分岐型遮音壁実験の測定配置

---

*Calculation Method for Sound Attenuation by Multiple Edge Noise Barrier

By Yoshisato KONNO and Minoru YAMAMOTO(Expressway Research Institute, Japan Highway Public Corporation),
Hideaki IIMORI(Oriental Consultants Co.,LTD), Katsumi UESAKA(Public Works Research Institute,Ministry of Construction)

(1)2次元 BEM

分岐型遮音壁は、図－1の吸音タイプである。吸音材の境界条件は、2. と同様とした。なお、路面と地表面はアスファルト舗装であるため、反射性とした。

ここでの周波数別の計算は、125,250,500,1000Hz の各オクターブバンドを 35 等分した周波数で計算し、エネルギー合成した。

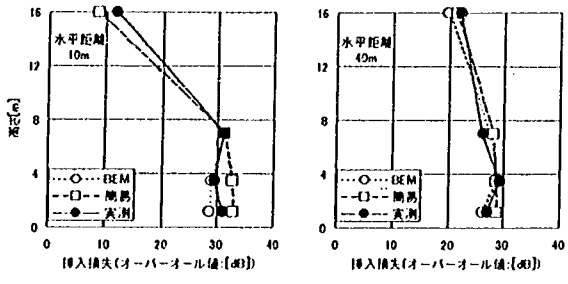
計算は２次元で行い、西田らの提案式で距離減衰補正を行い、３次元音圧レベルに変換した。[5]

(2)簡易式(4重回折)

幾何学的な構造条件のみで、BEM に比べて比較的簡易に計算できる手法を検討した。表－1でY型(吸音)は2重壁とほぼ同程度の挿入損失が得られているため、分岐型(吸音)は図－1の A,B,C,D を先端とする4重障壁と同程度の減音効果が得られると考えた。そこで、障壁間隔の小さい多重障壁にも適用が可能な上坂らの多重回折計算方法 [6][7] により伝搬計算を行った。計算は 125,250,500,1000Hz の単一周波数で行い、地表面は反射性であることから、地表面反射の寄与を加えた。

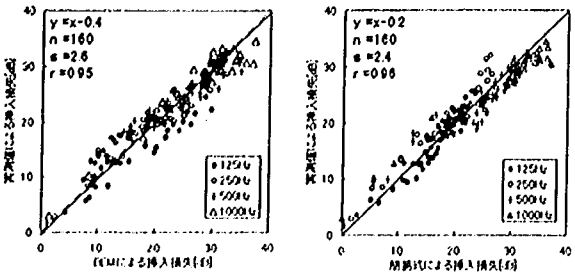
(3)実測値との比較

遮音壁からの水平距離が 10m と 40m の場所で、高さ別に挿入損失の違いを調べ、図－4に示す。このときの音源位置は、遮音壁から11m離れた点である。同図の挿入損失は、代表スペクトルで重み付けを行ったオーバーオール値である。簡易式による挿入損失は実測値に比べ、高さが高い点でやや小さく、低い点でやや大きい。BEMは概ね一致している。



図－4 挿入損失の高さ別の比較

全予測点の周波数別の挿入損失について実測値と計算値と比較した結果を図－5に示す。図中のnはデータ数、sは標準偏差、rは相関係数である。計算値と実測値の差をみるため、y=x+b(b は定数)を用いて回帰分析を行い、図中に示す。BEM は実測値とよく一致しており、平均的な実測値との差は 0.4dB である。簡易式も実測値との平均的な差は 0.2dB とほぼ一致している。



図－5 分岐型遮音壁の周波数別挿入損失の比較

4. まとめ

まず、BEM による計算では、分岐型遮音壁(吸音)の挿入損失は、単一壁に比べて平均約 5dB 大きく、2重壁と比べた場合、(反射)でほぼ同程度、(吸音)で平均約 1dB 挿入損失が大きいことが分かった。

次に、分岐型遮音壁(吸音)の実測値と計算値との比較では、吸音条件に合わせて BEM の境界条件を設定することで、計算値は実測値とほぼ一致することが分かった。さらに簡易式(4重回折)による計算値は、行路差の大きな場所ではやや大きめの減音量となるが、全体的に実測値との対応がよいことが分かった。

今後は実際の道路に分岐型遮音壁を取り付けた場合の L_{Aeq} の減音効果について、今回の BEM や4重回折計算方法により検証することが必要である。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、多大のご指導をいただいた東大生産技術研究所 橘秀樹氏、(財)小林理学研究所 山本貢平氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

1)山本貢平"新型遮音壁の音響効果の評価方法について" 騒音・振動研究委員会 日本音響学会誌 54 巻 4 号(1998)
2)山本貢平"新型の道路用遮音壁について" 日本音響学会誌 54 巻 4 号(1998)
3)庄野豊他"遮音壁の形状と厚さについての境界要素法による減音効果の考察"騒音制御 Vol22,No 5 (1998)
4)渡辺敏幸他"分岐型遮音壁の騒音低減メカニズム" 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集(1997)
5)西田公至他，"有限長障壁による音波回折の境界要素解析"，日本音響学会誌 44 巻 11 号(1988)
6)上坂克巳他 "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 Vol.22 No.3 (1998)
7)上坂克巳他 "多重障壁による減音効果の計算方法" 騒音振動研究会資料 N97-59(1997.12)

Ⅰ－18　幹線道路に面した単独建物周辺の騒音レベルの計算方法*

○上坂克巳，大西博文（建設省土木研究所），三宅龍雄（㈱綜合技術コンサルタント），
高木興一（京都大学）

1．はじめに

筆者らは，直方体の単独建物後方の騒音レベルを，建物上方および側方の回折音の寄与を合成して求める方法[1),2)]（以下，3パスの方法）を示しているが，建物が道路に対して斜めを向いて立地している場合は計算できない場合があった[2)]。

本稿では，以上の点を解決するため，3パスの方法における回折点設定の考え方を改善するとともに，より簡易な1パスの方法を提案する。

なお，地面は完全反射とするが，建物背後での地面反射音の影響は小さいため[2)]，無視している。

2．計算方法

以下，単独建物周辺における L_{Aeq} を計算するための，ユニットパターン[3)]の計算方法を示す。

2.1　3パスの方法

$$L_p = L_W - 8 - 20\log_{10} r' - \mathit{\Pi}\mathrm{build.} \qquad (1)$$

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'：音源と受音点間の距離[m]

$\mathit{\Pi}$build.：単独建物による挿入損失[dB]

$\mathit{\Pi}$build は，次式により求める。

$$\mathit{\Pi}\mathrm{build.} = -10\log_{10}\{10^{-\Delta L_{upper}/10} + (1-10^{-\Delta L_{upper}/10})(10^{-\Delta L_{left}/10} + 10^{-\Delta L_{right}/10})\} \qquad (2)$$

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，厚みのある障壁（reflective wide barrier）による減音量 $\Delta L(\mathrm{RW})$[1),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。

ΔL_{upper} は次式で計算する。（図－1参照）

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

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[4)]

また，ΔL_{left}，ΔL_{right} は，$\Delta L(\mathrm{RW})$ の計算式[1),2)]より求めるが，その回折点は最短伝搬経路を与える点とし，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。

2.2　建物側壁面の反射音を考慮した1パスの方法

次に，建物上方の回折音の計算を基本（1パスの方法）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に計算して合成する方法を示す。

$$L_p = 10\log_{10}\left(10^{L_{p,0}/10} + \sum_{i=1}^{N} 10^{L_{p,i}/10}\right) \qquad (4)$$

ここで，

$L_{p,0}$：建物上方及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 $N=4$

$L_{p,0}$ の計算は，次式により行う。

$$L_{p,0} = L_W - 8 - 20\log_{10} r' - \Delta L_{upper} \qquad (5)$$

ΔL_{upper} は，次式で与えられる。（図－2①参照）

$$\Delta L_{upper} = \begin{cases} ①\text{鉛直平面 SP が建物と交差する場合} \\ \quad \Delta L(\mathrm{RW})_{SXYP} \\ ② \quad ①\text{以外の場合} \\ \quad 0 \end{cases} \qquad (6)$$

また，$L_{p,i}$ の計算は，次式により行う。（図－2②参照）

$$L_{p,i} = \begin{cases} ①\ \text{S，P とも，建物側壁面 } i \text{ と対面する側にあり，鉛直平面 SP}i \text{ が，建物側壁面 } i \text{ とと交差する場合} \\ \quad L_W - 8 - 20\log_{10} r'i - \Delta L_{slit,i} \\ ② \quad ①\text{以外の場合} \\ \quad 0 \end{cases} \qquad (7)$$

ここで，

Pi：P の建物側壁面 i に対する鏡像受音点

ri：S と Pi の間の距離[m]

$\Delta L_{slit,i}$：Pi に対するスリットでの減音量[dB]

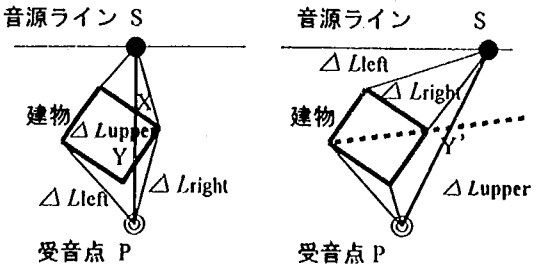
なお，直方体の単独建物の場合，(7)式の①の条件に該当する側壁面の数は，最大でも2である。

$\Delta L_{slit,i}$ 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。

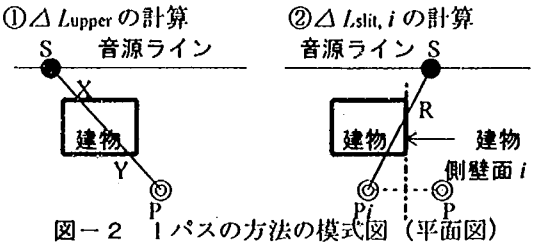
$$\Delta L_{slit,i} = -10\log_{10}(1 - 10^{-\Delta L_{SRPi}/10}) \qquad (8)$$

ここで

R：鉛直平面 SPi が建物側壁面 i の上部エッジと交差する点



図－1　3パスの方法の模式図（平面図）



図－2　1パスの方法の模式図（平面図）

---

* Calculation Method for Sound Pressure Level around a Building Facing an Arterial Road

By Katsumi UESAKA, Hirofumi OHNISHI (Public Works Research Institute, Ministry of Construction), Tatsuo MIYAKE (Sogo Engineering Inc.), Koichi TAKAGI (Kyoto University)

3．2.1，2.2の方法の計算値と模型実験値との比較

2.1，2.2の方法による計算値の差異および模型実験値との整合性を検討した。建物，音源，受音点配置は，図－3のとおりであるが，これは，文献1)，2)における模型実験の配置を基本としたものである。

(1)ユニットパターンの計算値と模型実験値の比較

模型実験では，音源（ジェットノイズ点音源上向き）は，高さ 0.8m（実物換算。本稿では，模型実験に関する数値は，全て実物換算で示す）とし，音源位置-34m から 34m の間で移動させた。模型実験での受音点は，P6，P12 の 2 点であり，対象周波数は 50Hz ～ 3.15kHz であった。また，地面及び直方体の建物はアクリル板で製作し，反射性であった。

図－4 (a)，(b)に計算値と模型実験値の比較を示す。L_p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（図－5も同様）とし，L_W ＝ 0 とした場合の相対レベルとして示している。また，実験値は，半自由空間での理論減衰値に測定した挿入損失を加えて求めた。なお，計算上の音源高さは 0m とし，1/3 オクターブバンド中心周波数を計算に用いた。

2.1の方法による計算値は実験値とよく一致しているが，2.2の方法による計算値は，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，実験値に比べて過大な挿入損失を与えている。これは，2.2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，P12 の音源位置 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をよく表現できている。

(2)両方法によるユニットパターン積分値の比較

次に，十分長い直線道路を想定し，音源を 2m 間隔で 2km の区間に配置し，周波数を 50 ～ 5kHz とした時に，P1 ～ P12 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，IL_{line} という）を両方法により求めた。図－5に，受音点高さが 1.2m の場合に，受音点 P からの水平方向の建物の見込み角 θ と IL_{line} の計算値の関係を示した。この図から以下のことが分かる。

(1)両方法の計算値は，ほとんど差異がない。これは，建物側方の直達音が支配的なためである。

(2)低い受音点位置では，IL_{line} は θ によりほぼ決まる。ただし，θ が同じでも，建物側壁面での反射音の影響がほとんどない P1 ～ P6 と，反射音の影響を受ける P7 ～ P12 では，IL_{line} が最大 1.5dB 程度異なる。したがって，計算精度の向上には，建物側壁面での反射音を考慮した方がよい。

4．まとめ

道路に面した単独建物周辺の L_{Aeq} の計算方法として，3 パスの方法と 1 パスの方法を示した。ユニットパターンの計算では前者の方が模型実験値との整合性が高い。しかし，その積分値計算においては，両者にほとんど差異がないことが分かった。

なお，複数の建物が，建物間の多重回折，多重反射の影響を無視できるほど，十分な距離をおいて立地している場合は，2.2の方法を応用できる。

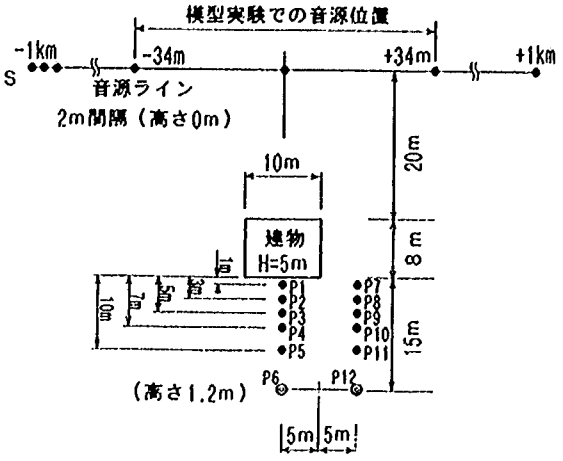
参考文献

1)上坂克巳他：幹線道路に面した建物周辺における騒音レベルの計算方法～単独の建物の場合～，日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集（1998），pp.179 ～ 182.

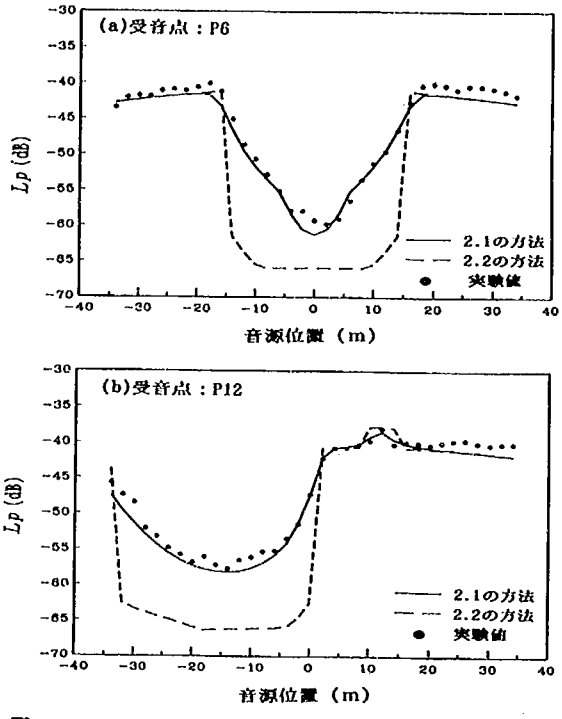
2)上坂克巳他：幹線道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法，騒音制御，Vol.23 No.3(1999)掲載予定.

3)道路一般部を対象としたエネルギーベース騒音予測法，日本音響学会誌，50巻3号(1994)，pp.227 ～ 252.

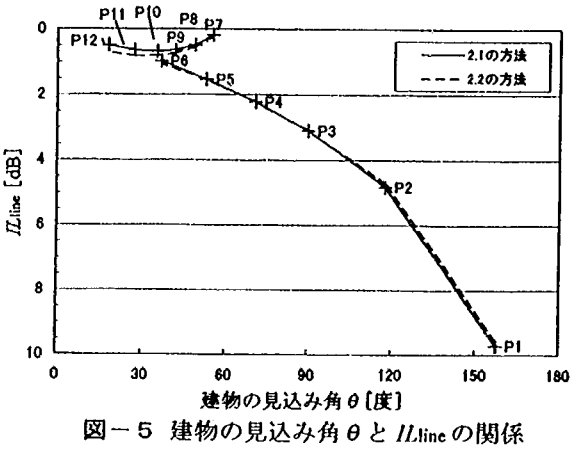
4)K. Yamamoto et al.：Expression of Maekawa's chart for computation, *Applied Acoustics*, 37(1992), pp.75 ～ 82.



図－3 建物および音源，受音点の配置



図－4 ユニットパターン計算値と模型実験値の比較



図－5 建物の見込み角 θ と IL_{line} の関係

Ⅰ－19　自動車騒音規制を考慮した将来の走行騒音パワーレベルの推定＊

◎ 青木理恵、上坂克巳、大西博文（建設省土木研究所）、石渡俊吾（ｵﾘｴﾝﾀﾙｺﾝｻﾙﾀﾝﾂ）

1.はじめに

道路事業における環境アセスメントでは、供用時における道路交通騒音の予測を行うため、将来の自動車走行騒音のパワーレベルが必要となる。

前報 "では、関東地方の一般道路のデータを用いて加速走行騒音規制に基づく既存の将来パワーレベル式（第２段階規制式）"を検証した。また、新たに定常走行騒音規制に基づく推定方法を提案し、両規制に基づく将来のパワーレベルの低減量を推定した。

本稿では前回のデータに ASJ Model 1998 でのパワーレベル式 "の設定に用いられる名古屋市の一般道路 "と自動車専用道路のデータ "を追加して同様の検討を行う。さらに、ASJ Model 1998 で示される現状のパワーレベル式をもとに、将来のパワーレベル式を提案する。

2.加速走行騒音規制に基づく既存の将来パワーレベル式（第２段階規制式）の検証

2.1　パワーレベルデータの収集

一般道路（関東、名古屋）及び自動車専用道路でのデータから得られた走行速度 V(km/h)とパワーレベル L_{WA} の散布状況及び回帰式を４車種分類で整理した結果を図-1 に示す。図中の r は相関係数、s は標準偏差を表す。なお、これらのデータは ASJ Model 1998 のパワーレベル式設定の基礎データでもある。

回帰式は以下の形の２通りとした。

$L_{WA} = B + 0.2\ V$　（平成 10 年実測式１という）

$L_{WA} = C + A \log_{10} V$（平成 10 年実測式２という）

2.2　第２段階規制式の検証

2.1 の測定対象車両は、平成３年以降に測定したデータであることから、ほぼ第２段階規制(昭和 57～62 年規制）適合車両と見なせるため、第２段階規制式（推定式）と、測定データに基づいて設定された平成 10 年実測式１との比較検証を行った。

まず、昭和 48 年度までに公表されたパワーレベル実測値に基づき日本音響学会がとりまとめたパワーレベル式（46 年実測式）と、同式をもとに加速走行騒音規制強化の効果を考慮した((6)式参照)「第２段階規制式」は次式で示される。

46 年実測式：　小型車類 $87.0+0.2V$

大型車類 $97.0+0.2V$　(1)

第２段階規制式：　小型車類 $86.0+0.2V$

大型車類 $93.0+0.2V$　(2)

ここで、図-1 における平成 10 年実測式１を、後述する ASJ Model 1998 による車種構成比率を用いて２車種分類として示すと次式となる。

平成 10 年実測式１：小型車類　$86.1+0.2V$

大型車類　$93.2+0.2V$　(3)

(1)(2)式を比較すると、大型車類では 4dB、小型車類では 1dB のパワーレベル低減量をそれぞれ見込んでいることが分かる。また(3)式は(2)式とほぼ一致していることから、第二段階規制式で推定された低減量は概ね妥当であったと考えられる。

3.将来のパワーレベル式の検討

3.1　ASJ Model 1998におけるパワーレベル式

図-1 のデータを元に設定された ASJ Model 1998 のパワーレベル式 "を以下に示す。ASJ Model 1998

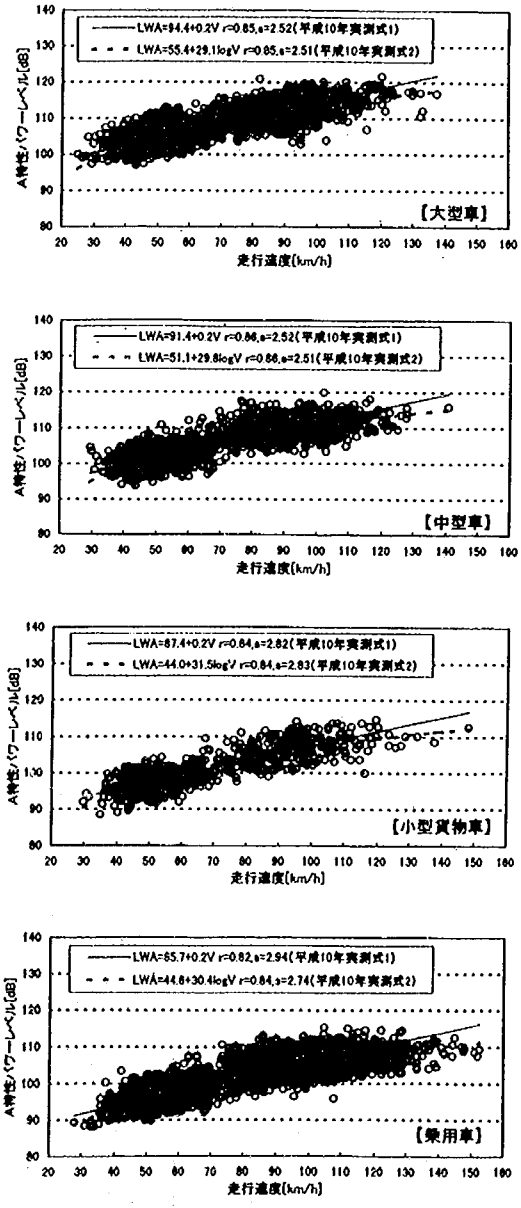


図-1　速度とパワーレベルの関係

---

*Estimation of future sound power level of road vehicles based on noise emission regulation

Rie Aoki, Katsumi Uesaka, Hirofumi Ohnishi(Public Works Research Institute, Ministry of Construction), Syungo Ishiwata(Oriental Consultants Co.,Ltd)

は、パワーレベルの速度に対する変数項を $30\log_{10}V$（平成 10 年実測式２の変数Aを 30）として定められている。また、４車種分類を２車種分類に変換するにあたり、その車種構成比を大型車と中型車で１：１、小型貨物車と乗用車で１：４として求めている。

【４車種分類の場合】

大型車　$L_{WA,h} = 54.4 + 30\log_{10}V$

中型車　$L_{WA,m} = 51.5 + 30\log_{10}V$　(4)

小型貨物車　$L_{WA,l} = 47.6 + 30\log_{10}V$

乗用車　$L_{WA,c} = 46.4 + 30\log_{10}V$

【２車種分類の場合】

大型車類　$L_{WA,H} = 53.2 + 30\log_{10}V$　(5)

小型車類　$L_{WA,L} = 46.7 + 30\log_{10}V$

3.2　将来のパワーレベル式

ここでは、(4)(5)式をもとに、自動車単体規制強化を考慮した将来パワーレベル低減量の検討を行った。自動車単体規制の目標値については、平成４年及び平成７年の中央環境審議会の答申において設定された表-1 に示す値を用いた。[7]

表-1　今後の自動車単体規制の目標値

	乗用車	小型車	中型車	大型車
加速走行騒音規制の低減量	2 dB	2 dB	3 dB	2 dB
定常走行騒音規制の目標値	72dB	74dB	79dB	82dB

まず加速走行騒音規制強化の効果を考慮したパワーレベルの低減量は次式[6]で推定した。

$$D_{Pw}=10\log\{\alpha+(1-\alpha)\times 10^{(-D_A/10)}\} \quad (6)$$

ここで、D_A :加速走行騒音の低減量(dB)

D_{Pw} :パワーレベルの低減量(dB)

α :定常走行時のタイヤ/路面音の寄与率

ただし、定常走行時のタイヤ/路面音の寄与率αは速度毎に変化するが、図-１における測定車両のデータの速度分布が主に 40 ～ 100km/h の範囲内に集中して見られることから、40km/、80km/h 及び 100km/h 走行時の平均値[7]を便宜的に用いた。使用したタイヤ/路面音の寄与率を表-2 に示す。

表-2　定常走行時のタイヤ/路面音の寄与率

	乗用車	小型貨物車	中型車	大型車
タイヤ/路面音寄与率	77.3%	64.7%	52.0%	64.0%

次に、定常走行騒音の単体規制（50km/h 走行時対象）を考慮した将来パワーレベル式及び将来のパワーレベル低減量を文献 1)と同様の手順で算出した。

まず、パワーレベルの各データを、車種ごとの回帰式の傾きを用いて 50km/h のときの値に変換する。次に、変換したデータの中で定常走行騒音規制の目標値より大きいものについては、目標値まで低減させてからそれらをパワー平均して、新たなパワーレベル式を求めた。

それらのパワーレベルの低減量を表-３、表-４に示す。表-３は４車種分類の場合、表-４は ASJ Model 1998 と同様の車種構成比により求めた２車種分類の場合である。両方の規制が適用されることを考慮し、低減量の大きい方を採用すると、将来のパワーレベルは、現状より小型車類で 1.4dB、大型車類で 0.9dB 低減すると推定される。

また、(4)(5)式に規制強化の効果を反映させると、将来パワーレベル式は次のようになる。

【４車種分類の場合】

大型車　$L_{WA,h} = 53.8 + 30\log_{10}V$

中型車　$L_{WA,m} = 50.3 + 30\log_{10}V$　(7)

小型貨物車　$L_{WA,l} = 46.5 + 30\log_{10}V$

乗用車　$L_{WA,c} = 44.9 + 30\log_{10}V$

【２車種分類の場合】

大型車類　$L_{WA,H} = 52.3 + 30\log_{10}V$　(8)

小型車類　$L_{WA,L} = 45.3 + 30\log_{10}V$

4.まとめ

単体規制を踏まえた自動車走行騒音の将来パワーレベルに関する検討により、次の成果を得た。

(1)第２段階規制式と、今回設定した平成 10 年実測式１とを比較したところ、両式はほぼ一致しており、加速走行騒音規制に基づく将来パワーレベルの推定方法の妥当性が検証された。

(2)平成４年及び平成７年に中央環境審議会の答申で設定された加速走行騒音規制及び定常走行騒音規制の目標値を考慮すると，ASJ Model 1998 をもとに推定した将来のパワーレベルは現状より約 0.9 ～ 1.4dB 低減する。　この結果は、前報[7]で示したように、環境庁の試算（低減量 0.9 ～ 1.3dB)とも概ね一致している。

参考文献

1) 青木、上坂、大西、石渡：「自動車騒音の単体規制を踏まえた将来の走行騒音パワーレベルの推定」、騒音制御、Vol.23,No.1、1999 年２月

2)「道路環境整備マニュアル」、日本道路協会、平成元年１月

3)香野俊一：道路交通騒音予測法 ASJ Model 1998 について－その２：自動車の走行騒音パワーレベル－」、日本音響学会講演論文集、1999 年３月

4)竹中、吉久、瀧田、岡田：「一般道路を走行する自動車の発生騒音パワーレベル（大型車に着目した測定)」、日本建築学会東海支部研究報告集、Vol.34 、1996 年２月

5)沿道交通騒音状況研究会監修：道路周辺の交通騒音状況９、pp.18 ～ 19(1998)

6)足立、木嶋、宮川：「道路交通騒音に用いるパワーレベル式の検証」、土木技術資料、1989 年４月、pp.235 ～ 240.

7)「自動車騒音と交通」　社団法人自動車工業会　騒音部会、1993 年９月

表-3　将来のパワーレベル低減量（４車種分類の場合）

	乗用車	小型貨物車	中型車	大型車
加速走行騒音規制による低減量	0.4dB	0.6dB	1.2dB	0.6dB
定常走行騒音規制による低減量	1.5dB	1.1dB	0.6dB	0.5dB
将来パワーレベル低減量	1.5dB	1.1dB	1.2dB	0.6dB

表-4　（２車種分類の場合）

小型車類	大型車類
0.4dB	0.9dB
1.4dB	0.6dB
1.4dB	0.9dB

Ⅰ－20　屋内騒音の推定方法に関する実験的研究

上坂 克巳，◎植村 圭司，大西 博文（建設省土木研究所）
片岡 真紀，千葉　隆（㈱公共計画研究所）

1．はじめに

平成 10 年 9 月に，L_{Aeq} を評価指標とする新たな「騒音に係る環境基準」[1]が告示され，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」が定められた。したがって，幹線道路に面する建物の屋内騒音レベルを推定する必要が生じている。

本稿では，道路に対して建物が斜めを向いて立地している場合に，簡易に屋内騒音を推定する考え方を提案するとともに，模型実験によりその妥当性を検証する。なお，ここでは，音源と建物の間に音響的障害物はない場合を想定し，地面は完全反射で地表面効果は無視する。

2．「屋内へ透過する騒音」の推定方法

上記環境基準[1]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。

ここでは，建物の騒音の影響を受けやすい(壁)面（以下，「入射面」という）と道路のなす角度を ϕ[°]（図－1 (b)参照）とし，以上の関係を次のように定義する。

$$L_{Aeq,\,Indoor} = L_{Aeq,incident}(\phi) - SI \qquad (1)$$

ここで，

$L_{Aeq,Indoor}$：屋内へ透過する騒音の等価騒音レベル[dB]。

$L_{Aeq,incident}(\phi)$：道路から，角度 ϕ の入射面に入射する音の平均的な等価騒音レベル[dB]。

SI：建物の防音性能値(Sound Insulation Value)[dB]

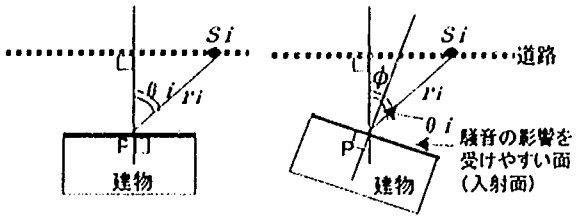
なお，本稿で「入射する音（入射音）」とは，入射面上における、その面での反射音の影響を除いた音という意味であり，屋内へ入射する音という意味ではない。後者は「屋内へ透過する(騒)音」という。また、SI は ϕ によらず一定と仮定した。

$L_{Aeq,incident}(\phi)$の計算に当たっては、図－1 (a)のように入射面が道路と平行($\phi = 0$)な時（以下，「平行立地」という）の $L_{Aeq,incident}(\phi = 0)$ を基本とした。図－1 (b)のように $\phi \neq 0$ の時（以下，「斜め立地」という）の $L_{Aeq,incident}(\phi)$ を，ϕ による補正項 $\triangle L(\phi)$ を用い，以下の式で表す。

$$L_{Aeq,incident}(\phi) = L_{Aeq,incident}(\phi = 0) + \triangle L(\phi) \qquad (2)$$

次に、$L_{Aeq,incident}(\phi)$を簡易に計算するため，図－1のように，入射面の中央に入射基準点 P を設ける。P は，点音源 S と入射面間の距離，および S から入射面への入射角度を代表させる点である。

さらに，$\triangle L(\phi)$は，斜め立地と平行立地の場合に，P から見通せる道路（線音源）から P に入射する音の，入射面の単位面積当たりの音響パワー[W/m²]の比のレベルで表せると仮定する。



（a）平行立地　　（b）斜め立地

図－1　入射基準点と入射角の関係

ここで，図－1 (a)の平行立地の場合に，P における入射面の法線と SiP のなす角度 $\theta = 0\ i$ となる音源 Si を想定する。この場合，図－1 (b)のように，入射面と道路のなす角度を ϕ とすると，$\theta = 0\ i - \phi$ となる。Si から P に入射する音の入射面の単位面積当たりの音響パワー[W/m²]は，近似的に，SP 間の距離 r の 2 乗に反比例し，cos θ に比例すると考えられることから，道路上に等間隔で並んだ Si を想定すると次式が得られる。

$$\triangle L(\phi) = 10\log_{10} \frac{\sum_i \{\cos(\theta\ i - \phi)/ri^{\,2}\}}{\sum_i (\cos\ \theta\ i/ri^{\,2})} \qquad (3)$$

ただし，音源 Si は，P から見通せるものだけを対象とする。

なお、$L_{Aeq,incident}(\phi = 0)$と、建物が存在しないとした場合の P における屋外の等価騒音レベル $L_{Aeq,\ Outdoor}$ との関係は、建物の防音性能値 SI を検討した場合の入射音の条件による。たとえば、ランダム入射を前提とした SI を用いる場合は、$\phi = 0$ の平行立地の場合に近い入射条件と考えられるので、

$$L_{Aeq,incident}(\phi = 0) = L_{Aeq,\ Outdoor} \qquad (4)$$

として、差し支えないと考える。

3．模型実験による提案式の妥当性の検証

3.1 室内平均騒音レベルを用いた入射音測定の考え方

(3)式の妥当性を検証するため，無響室で建物模型を用いた縮尺比 1/10 の模型実験を行った。

実験で，入射音を測定する際に，マイクロホンを入射面の近傍に設置すると，入射面での反射音の影響を除去することが困難である。

そこで，建物模型において，入射面中央の点を入射基準点 P とし，P の周辺に開口部を設け，建物内の室内平均騒音レベル(3.2参照）を測定することにより，ϕ が変化した場合の入射音の騒音レベルを相対的に把握することとした。

なお、室内平均騒音レベルは、(1)式において、室内の吸音力がほぼ 0 に近い場合の、窓開け時における $L_{Aeq.\ Indoor}$ に相当する。ここでは、窓開け

---

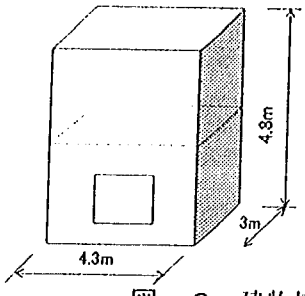
* Experimental study on prediction method of indoor noise.
Katsumi UESAKA,　Keiji UEMURA,　Hirofumi OHNISHI
(Public Works Research Institute, Ministry of Construction)
Maki KATAOKA,　Takashi Chiba(Public Planning & Policy Studies,Inc.)

時における SI は、ϕによらず、ほぼ一定となると考えている。

3.2 建物の模型と室内平均騒音レベル

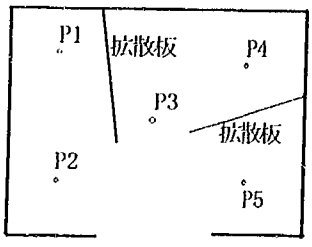
図－２に示す建物を用い，室内平均騒音レベルを測定した。材質はアクリル製(厚さ1cm)であり，ほぼ完全反射で，開口部以外の建物壁面から透過する音は無視できるほど小さいと考えられる。

建物模型内には，測定点を５点設けたが，その配置は，「JIS A 1417 建築物の現場における音圧レベル差の測定方法」等を参考に，図－３のように設定した。各点の測定データは自動車走行騒音の代表パワースペクトル[2]で重み付けしたオーバーオール値で整理し，それをエネルギー合成して平均的な騒音レベルを算出した。本稿では，これを，室内平均騒音レベルという。



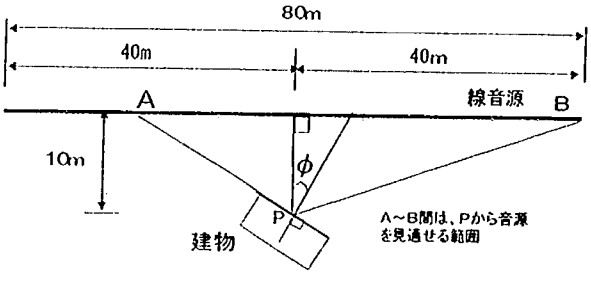
建物寸法：(実物換算)
高さ：4.8m
幅　：4.3m
奥行：3.0m
(8畳間相当)
開口部：1.8m × 1.8m
(掃き出し窓相当)

図－２　建物模型とその諸元

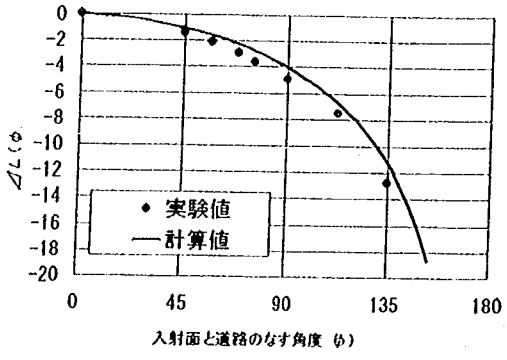


測定点：P1 ～ P5
測定点の高さは，床上1.2 ～ 1.5 mとし、内壁からは1m以上離した。また，拡散音場に近づけるため，拡散板を２枚用いた。

図－３　建物模型内における測定点配置（平面図）



図－４　線音源を用いた模型実験の配置



図－５　$\Delta L(\phi)$の計算値と実験値の比較

3.3 $\Delta L(\phi)$の計算式の検証

延長 40m（実物換算，以下，模型実験に関する数値はすべて実物換算で示す），中心高さ 0.1m のジェットノイズ式の線音源を用い，3.2の建物模型を用いて(3)式の検証を行った。

(1)実験方法

図－４に示すように，P と線音源の位置関係を一定（水平距離 10m)に保ったまま，建物模型を回転させた。入射面と線音源のなす角ϕは，0°，45°，56.2°，67.5°，75°，90°、113°および 135°とした。斜め立地（$\phi \neq 0$）の時と平行立地（$\phi = 0$）の時の室内平均騒音レベルの差を$\Delta L(\phi)$の実験値とした。

なお，(3)式による計算においては，線音源上に1m 間隔で点音源を離散的に配置した。

(2)計算値と実験値の比較

図－５に，入射面と道路のなす角ϕと$\Delta L(\phi)$の関係を示す。計算値と実験値は，$0° \leqq \phi \leqq 135°$の範囲で非常によく一致している。この結果から(3)式の妥当性が検証されたと考える。

また，この結果により、窓開け時については、SIをϕにかかわらず一定と仮定した(1)式の妥当性も、おおむね検証されたと考える。ただし，窓を閉めた場合については，ϕとSIの関係をさらに検討する必要がある。

4．まとめ

本稿では，沿道建物の屋内騒音推定方法の検討を行った。

まず，騒音に係る環境基準に則り，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への入射音から建物の防音性能値を差し引いて計算するという基本的な考え方を示した。

次に，道路に対して建物が斜めを向いて立地している場合の入射音を，建物が平行に立地している場合を基本に，入射基準点 P から見通せる音源による、入射面の単位面積当たりの音響パワー[W/m²]を用いて補正する式$\Delta L(\phi)$を示した。

最後に，線音源に対し、開口部を設けた建物模型を回転させた場合の室内平均騒音レベルを測定することにより、$\Delta L(\phi)$計算式の妥当性を検証した。

この方法は，道路と建物の間に音響的障害物がある場合や地表面効果を考慮する必要がある場合にも拡張して適用できると考える。ただし，建物の騒音の影響を受けやすい面が道路と反対側の場合は適用が不可能であり，今後の検討が必要である。また，窓閉め時において、建物の騒音の影響を受けやすい面が道路となす角度と、建物防音性能値との関係をさらに検討する必要がある。

謝辞

実験にあたり，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。

参考文献

1)環境庁　告示”騒音に係る環境基準について”平成 10 年９月
2)”道路一般部を対象としたエネルギーベース騒音予測法”，日本音響学会誌，50 巻３号(1994)，pp.227 ～ 252.

Ⅰ－２１　実走行車両から発生する騒音の指向性について

森　喜仁　　（阪神高速道路公団）
○大西慶三　　（三菱重工業㈱）
大西博文　上坂克巳（建設省土木研究所）

まえがき　自動車走行騒音の指向性は、試験車両を用いた調査結果から側方より上方の騒音レベルが低いことが報告されている。[1] 今回、自動車専用道路を走行する車両から発生する騒音レベルの鉛直面内分布を取得した。本報告は、多数のデータが得られた普通乗用車について鉛直面内での指向性検討結果を述べる。

２．調査概要　今回の調査は、阪神高速道路７号北神戸線９．７K.P.付近（神戸市北区山田町下谷上）上り方向の走行車線で行い、図１に示すように単独走行で通過する場合の車両の騒音レベルを門構に設置したマイクで計測し、路肩に設置した車両通過タイミング計測用センサにより車両走行速度を計測した。なお、今回調査区間の舗装は、密粒アスコンである。

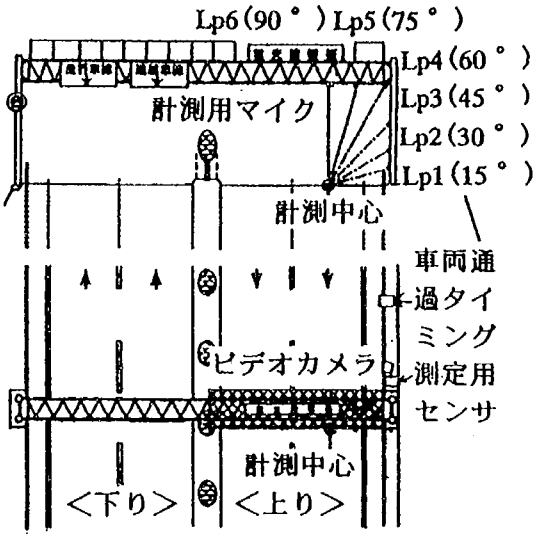


図１　計測概要

３．調査結果　本調査で騒音レベルを計測した普通乗用車は、９４台であり、平均速度は９２．４km/hであった。測定された騒音レベルのピーク値の算術平均に距離補正を行ったオーバーオール騒音レベルの鉛直面内分布は、図２のとおりであり、側方より上方が低い傾向が認められる。距離補正の方法は、騒音源を車線中心高さ０m位置にある無指向性点音源と仮定し、半自由空間を伝搬する際の減衰量２０log(r)を用いて、門構の各マイク位置までの距離減衰量を求め、マイクＬｐ１（角度１５°）位置の距離に相当する騒音レベルに補正した。側方（マイクＬｐ１）と上部（マイクＬｐ６）の騒音レベル差は、約４ｄＢであり、２５０Ｈｚ、５００Ｈｚ１ｋＨｚ、２ｋＨｚの各周波数において、オーバーオールと同様の傾向が認められた。

４．指向性の検討　マイクＬｐ１～Ｌｐ６位置での騒音レベルと車両走行速度の相関式を求め、この相関式を用いて６０ｋｍ／ｈ、９０ｋｍ／ｈ、１２０ｋｍ／ｈの各速度における騒音レベルの指向性について検討を行った。各マイク位置での騒音レベルと速度の相関式は、Ｌ＝Ａ log（Ｖ）＋Ｂ（Ｌ：騒音レベル(dB(A))、Ｖ：速度(km/h)）の関係を用いて求めた。この騒音レベルと速度の相関式を用いて、それぞれの速度における各マイク位置での騒音レベルと角度（マイク位置）の関係を関数近似した。関数近似は、２次関数式でカーブフィットを試みた結果、０．９５程度の相関係数が得られた。図３に示すように、各速度において、角度が大きくなるにつれて騒音レベルが減少する指向性が認められる。

指向性を考慮した鉛直面内における音圧レベルのモデル式は、今回得られた水平面からの角度と音圧レベルの関数近似式を用いて、一般的なパワーレベル測定点（走行車線中心から７．５m離れた位置での地上から１．２mの高さにおける点）での騒音レベルを基準に考えると、（１）式で与えられるとした。

$$Lp(r,\theta)=Lp'(r)+M1*(\theta-\theta')+M2*(\theta^2-\theta'^2) \quad (1)$$

Ｌｐ（ｒ,θ）：車両中心からの距離ｒ、水平面からの角度θの点における音圧レベル(dB(A))

---

* Noise Directivity of Vehicles runninng on Actual Road.

By Yoshihito Mori (Hanshin Express Way Public Corporation)
Keizo Ohnishi (Mitsubishi Heavy Industries ,LTD)
Hirofumi Ohnishi and Katsumi Uesaka (Public Works Research Institute, Ministry of Construction)

θ'　　：一般的なパワーレベル測定点の水平面からの角度(走行車線中心から７．５ｍ離れた位置での地上から１．２ｍの高さにおける点では$\theta'=9°$)

Ｍ１、Ｍ２：回帰係数

ここでＬｐ'(ｒ)は、次式のように車両を無指向性点音源と仮定した場合の距離ｒにおける音圧レベルに相当する。

$$Lp'(r) = Lw - 20\log r - 8 \qquad (2)$$

Lw　　：音源のパワーレベル（dB（A））

（１）式で指向性に関する項は、$\triangle Lp(\theta)=M1*(\theta-\theta')+M2*(\theta^2-\theta'^2)$であり、$\theta'=9°$を与え、表２に示す指向性補正のための関数近似式を得た。参考文献１）での提案式と表２の関数近似式を用いて、$\theta=90°$における指向性に関する補正値を求めた結果、参考文献１）での提案式では約７ｄＢ、表２の関数近似式では約４～５ｄＢとなっており、今回の実測結果は、やや小さい値を示した。

あとがき

実走行車両の内、普通乗用車については、側方と上方の騒音レベル差は約４ｄＢあり、側方より上方の騒音レベルが低くなる指向性が認められた。鉛直面内の騒音レベル指向性について、２次関数式でカーブフィットを試みた結果、０．９５程度の相関が得られた。さらに、指向性を考慮した音圧レベルの補正式を示した。

道路交通騒音の予測精度を高めるためには、自動車走行騒音の指向性を考慮する必要があるが、今回の調査検討結果は、普通乗用車における指向性を示すデータとして有用であると考えられる。

＜参考文献＞

１）筑井、押野、橘：" 自動車走行騒音の指向性を考慮した道路交通騒音予測手法に関する研究，騒音制御，vol22，No2，(1998)，pp108 － 116

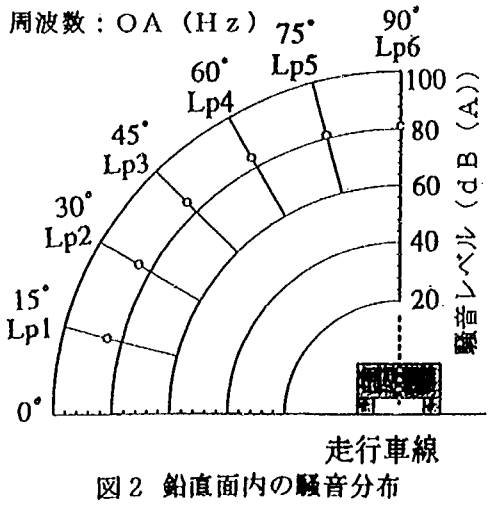


図２　鉛直面内の騒音分布

表１　騒音レベルと車両走行速度の相関式

普通乗用車		
マイク	相関式	相関係数
Lp1	37.9+24.1log(v)	0.76
Lp2	37.9+23.6log(v)	0.72
Lp3	35.2+24.0log(v)	0.73
Lp4	28.3+26.4log(v)	0.77
Lp5	23.8+26.4log(v)	0.81
Lp6	27.1+26.1log(v)	0.80

表２　指向性補正のための関数近似式

$\triangle Lp(\theta)=M0+M1*\theta+M2*\theta^2$			
速度	M0	M1	M2
60km/h	-0.129	0.0223	-0.000889
90km/h	-0.227	0.0334	-0.000913
120km/h	-0.321	0.0443	-0.000960

$\triangle Lp(9)=0$

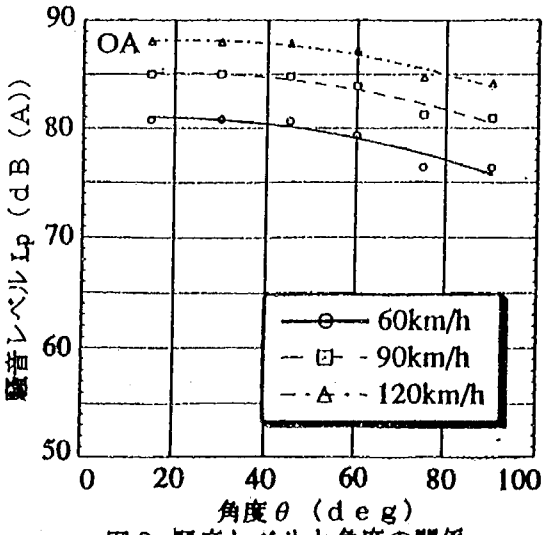


図３　騒音レベルと角度の関係

Ⅰ－22　排水性舗装の減音効果と空隙閉塞

大西　博文（建設省土木研究所）

１．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。しかし、現在の道路交通騒音の予測手法（ASJ Model 1975、ASJ Model 1993）には排水性舗装による騒音低減効果は考慮されていない。そこで、本稿では排水性舗装上における自動車走行騒音のパワーレベルの低減及び、その後の伝搬過程における減音効果を騒音予測手法に反映させようとするものである。

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。従って、その効果の持続性の向上及び効果の回復が課題とされている。騒音低減効果の低下は、排水性舗装の空隙率が経時的に減少するためと言われている。具体的には舗装の空隙が砂などにより塞がれたり、また輪荷重により舗装が変形するときにその空隙が潰れることによるのであるが、まだその実態は明らかにされていない。そこで、排水性舗装の騒音低減効果の持続性の向上及び効果の回復といった課題を検討するには、排水性舗装の空隙が閉塞する状況を把握する必要がある。

２．音源における自動車走行騒音の抑制

２．１　試験走路における騒音測定調査

（１）騒音パワーレベルの低減

建設省土木研究所の試験走路で行った通常使われている密粒舗装（空隙率２－３％、厚さ５ｃｍ）と種々の排水性舗装での定常走行騒音の測定結果を図１に示す。一般によく使われている排水性舗装（空隙率２０％、厚さ５ｃｍ）と密粒舗装を比べると、走行速度にもよるが、排水性舗装の方が密粒舗装より小型車で約３－４ｄＢ、大型車で約２－３ｄＢの騒音パワーレベルの低下がみられる。

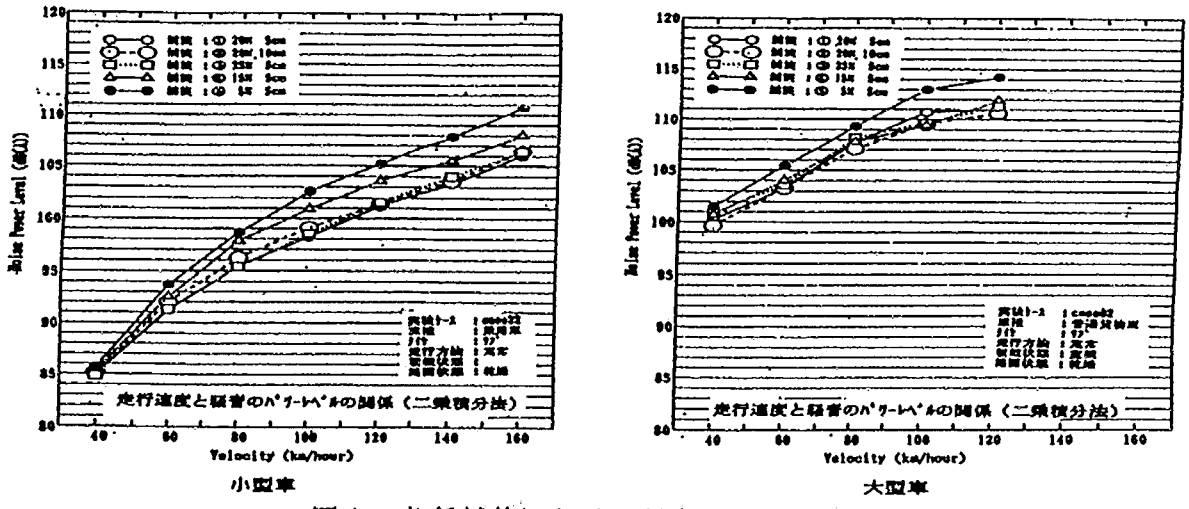


図１　各種舗装における騒音パワーレベル

さらに、同試験走路での速度１００ｋｍ／ｈにおける定常走行と惰性走行の騒音測定結果等により、密粒舗装と排水性舗装の騒音パワーレベルのタイヤ／路面音、エンジン音、空力音等要因別内訳を求めた。これを表１に示す。密粒舗装の騒音エネルギーを１００％としたとき、タイヤ／路面音のエネルギーは小型車で３１％、大型車で１８％、排水性舗装の方が密粒舗装より小さい。エンジン音の場合は、小型車で６％、大型車で１１％、排水性舗装の方が小さく、また、空力音等では、それぞれ２７％、１１％、排水性舗装の方が小さい。タイヤ／路面音の低下は、主として排水性舗装の空隙によるエアポンピング音（タイヤのトレッドパターンの溝と路面の間の空気が、タイヤの転動時に圧縮、膨張することにより発生する音）の抑制によるものであると考えられる。また、エンジン音及び空力音等の低下は排水性舗装上の伝搬過程における過剰減衰が原因と考えられる。

表１　発生要因別の騒音パワーレベル

単位：ｄＢ

小型車	ＰＷＬ	エンジン音	タイヤ音	空力音等
5％　5cm 通常密粒	１０２．６ （１００）	９１．６ （　８）	９８．６ （４０）	９９．８ （５２）
20％　5cm 排水性舗装	９８．２ （３６）	８６．７ （　２）	９２．０ （　９）	９６．６ （２５）
差	▲４．４ （▲６４）	▲５．０ （▲　６）	▲６．７ （▲３１）	▲３．２ （▲２７）
大型車	ＰＷＬ	エンジン音	タイヤ音	空力音等
5％　5cm 通常密粒	１１３．０ （１００）	１１０．６ （５７）	１０５．６ （２１）	１０６．５ （２２）
20％　5cm 排水性舗装	１１０．７ （５９）	１０９．６ （４６）	９７．５ （　３）	１０３．４ （１１）
差	▲２．３ （▲４１）	▲１．０ （▲１１）	▲８．１ （▲１８）	▲３．１ （▲１１）

（　）内は通常密粒舗装のＰＷＬに対するエネルギー比

（２）騒音パワーレベルの低減に影響する要因

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。

ａ）空隙率

図１に示される厚さ５ｃｍ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みてみよう。

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３－５ｄＢ低くなる。空隙率が１５％のときの低減量は、その半分の約１．５－２．５ｄＢに留まっている。また、大型車の場合は、騒音パワーレベルの低減量は約２－３ｄＢ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％の場合は大きいが、２０％と２５％では明らかな差は認められない。

ｂ）舗装厚

表２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１３ｍｍである。

単位：ｄＢ

車種	速度	20%,13MM		
		3CM	5CM	8CM
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	6.1	6.6
	120 KM/H	6.2	7.1	7.2

表２　舗装厚と騒音低減効果

舗装厚が３ｃｍ、５ｃｍ、８ｃｍ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、８ｃｍ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。従って、舗装厚を８ｃｍにする必要はなく、３－５ｃｍ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。

ｃ）骨材粒径

表３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％、舗装厚さは５ｃｍである。

単位：ｄＢ

供試体		①	②	③
諸元	最大粒径 MM	10	13	20
	空隙率 %		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

表３　最大骨材粒径と騒音低減効果

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２０ｍｍのとき低減量は約２－３ｄＢ、１３ｍｍのとき約６－７ｄＢ、１０ｍｍのとき約９－１０ｄＢ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４－５ｄＢ、約５－６ｄＢ、約６－７ｄＢ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、騒音パワーレベルに占めるタイヤ／路面音の寄与が、小型車の方が大きいためと考えられる。

（３）排水性舗装の音響特性

ａ）周波数特性

図２は密粒舗装と排水性舗装の騒音レベルの周波数分析結果を示したものである。舗装厚４ｃｍの排水性舗装では密粒舗装に比べ、５００Ｈｚ以上の周波数域において約２－３

ｄＢの減音がみられ、オーバーオールでは約２ｄＢの低減量となる。また、厚さ１０ｃｍの排水性舗装では、４ｃｍの場合より減音する領域がさらに低い周波数帯域まで広がり、２５０Ｈｚ以上で約３－４ｄＢの減音が認められ、オーバーオールで約４ｄＢの低減量となる。

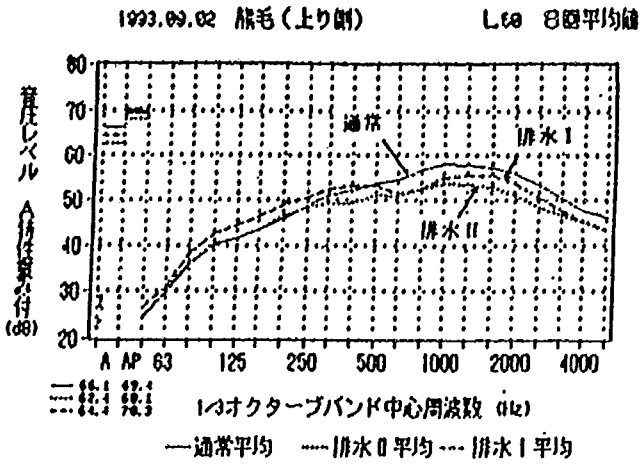


図２　各種舗装における騒音スペクトル

ｂ）垂直入射吸音率

図３は密粒舗装と排水性舗装の1/3オクターブバンド周波数別の垂直入射吸音率を示したものである。密粒舗装の場合は、３１５０Ｈｚ付近でのみ吸音率が約０．２となるだけで、あとの周波数帯域では０．１程度以下である。厚さ４ｃｍの排水性舗装では、３１５－８００Ｈｚ、１６００Ｈｚ、２５００Ｈｚ付近で吸音率が高くなり、約０．２－０．４を示す。また、厚さ１０ｃｍの排水性舗装では、吸音率が０．２以上の領域はさらに広がり、１６５－５００Ｈｚ、１２５０－３１５０Ｈｚ付近で約０．２－０．７の吸音率を示している。

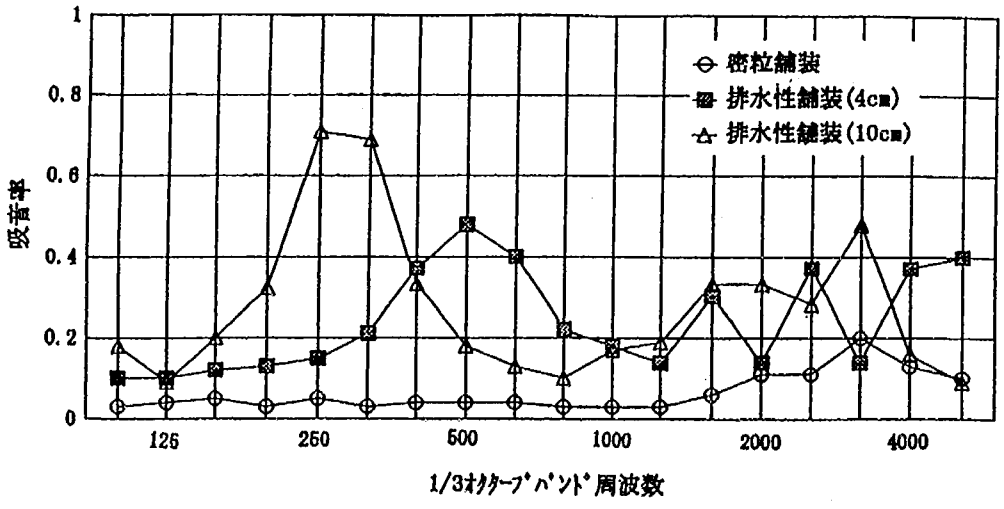


図３　各種舗装の垂直入射吸音率

（４）排水性舗装の騒音低減効果の持続性

図４に各地の高速道路に施工された排水性舗装の騒音低減効果の経時変化を示す。東北道では、当初約４．５ｄＢあった減音効果が、３年半経過しても依然約３ｄＢの効果を持続している。また、山陽道の二つのケースでも、当初のそれぞれ約４ｄＢ、２ｄＢの減音効果がほぼそのまま２年半程度持続している。まだ、減音効果の経時的な低下は否めないが、このように現在の排水性舗装（空隙率２０％、厚さ４ｃｍ、最大骨材粒径１３ｍｍ、

ＪＩＳ粒度）の騒音低減効果の持続性は相当程度改善されてきており、３年程度経過しても当初の２－４ｄＢ程度の減音効果をあまり損なうことなく持続することが確認されている。

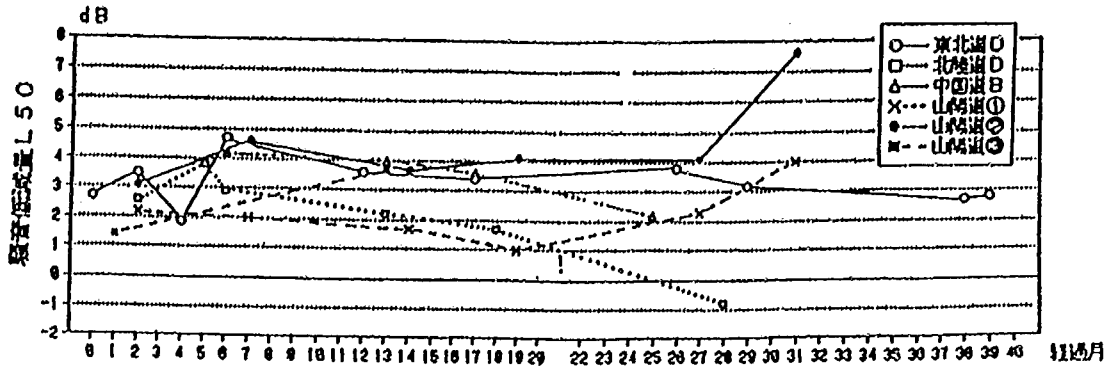


図４　排水性舗装の騒音低減効果の経年変化

２．２　一般道路における騒音測定調査

（１）騒音測定調査の概要

平成８年に埼玉県白岡町の県道大宮栗橋線で施工された排水性舗装の区間（４車線）で、自動車走行騒音等の測定調査を施工の約１年後に行った。測定箇所は周辺に反射物がない比較的ひらけた場所に設定した。マイクロフォンは外側車線の中心線から側方7.5m、地上1.2mの地点に設置し、単独走行する自動車の騒音レベルをデータレコーダに収録した。得られたデータは大型車106台、小型貨物車5台、乗用車75台の騒音レベル（FAST）であった。このとき、５回にわたって10分間の等価騒音レベルと交通量、走行速度も計測した。自動車の走行速度は、延長85mの区間で通過時間をストップウォッチで計測して求めた。当該箇所の排水性舗装の主な仕様は、舗装厚５cm、空隙率20％、骨材粒径5-13mmであった。

（２）自動車走行騒音のパワーレベル式

7.5m地点での騒音レベルからピーク法[1]により算出した排水性舗装のパワーレベルLwと速度Vの散布状況及びLw=alogV+bとした場合の乗用車と大型車の回帰式をそれぞれ図５、図６に示す。

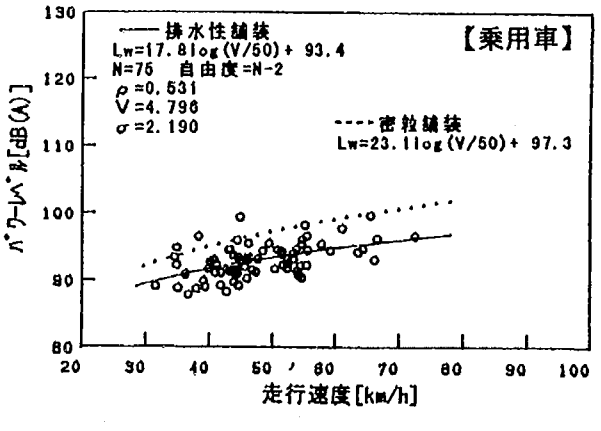


図５　排水性舗装における乗用車のパワーレベル

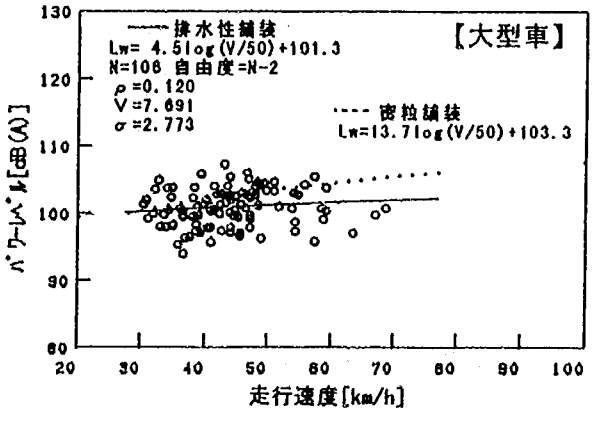


図６　排水性舗装における大型車のパワーレベル

〔N：サンプル数　ρ：相関係数　V：分散　σ：標準偏差〕

これらの図の中に示されている通常の密粒舗装のパワーレベル[5]と比べると、速度域30-70km/hで乗用車の場合2.7-4.7dB、大型車の場合0.0-3.3dB、排水性舗装のパワーレベルが小さくなっている。

排水性舗装による騒音低減効果は大型車より乗用車の方が大きく、また、速度が高くなるほど大きくなっている。これは、排水性舗装により特に低減されるタイヤ／路面騒音の全騒音に占める割合が大きくなるような上記の場合に、減音効果が大きくなるためである。また、大型車のパワーレベルが乗用車に比べ速度依存性が小さいのもこのためである。すなわち、大型車の場合、低速度域ではエンジン騒音の割合が大きいため減音効果は小さく、速度が高くなるにつれてタイヤ／路面騒音の割合が大きくなり、排水性舗装による減音効果が大きく現れるためである。

（3）沿道での等価騒音レベルによる検証

ASJ Model 1993のB法[6]に（2）で得られた排水性舗装のパワーレベル式を用いて、（1）の騒音測定箇所における等価騒音レベルLAeqを計算した。このときパワーレベル式は、走行速度を50km/hとしたときの各測定値に対応するパワーレベルをエネルギー合成して、これを基に修正されたものを使用している。一方、沿道ではLeqを測定しており、これらの計算値と実測値を図7に示す。各時間帯ともすべて計算値の方が実測値より約1.5dB大きくなっているものの、両者は比較的良い一致を示している。これは、（2）で得られた排水性舗装のパワーレベル式の適合性を検証していると考えられる。ここで、計算値がやや実測値より大きくなっているが、これは排水性舗装の騒音予測手法にパワーレベルにおける減音効果だけが考慮されており、伝搬過程での減音効果が考慮されていないためであると考えられる。このことは次章で扱う。

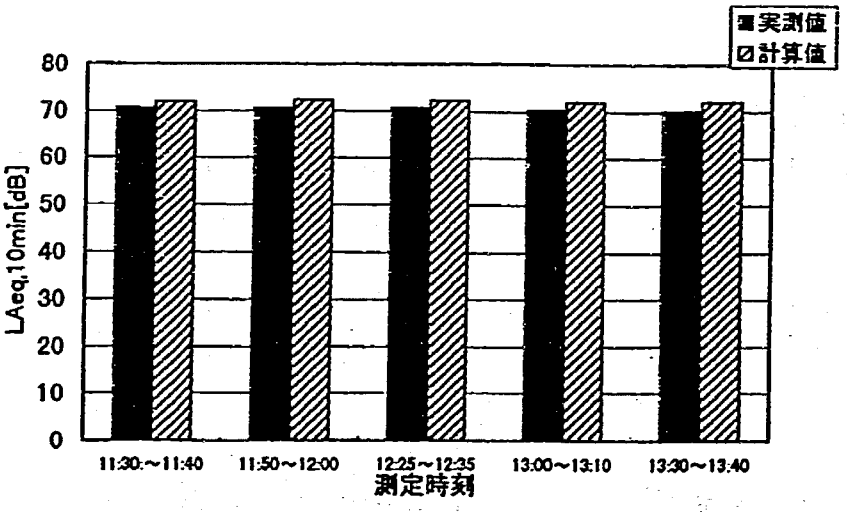


図7　排水性舗装沿道でのLeqの実測値と計算値

3．排水性舗装上の伝搬過程における減音

（1）騒音測定調査の概要

排水性舗装上を音が伝搬するときの過剰減衰を求めることを目的として、建設省土木研究所の試験走路に敷設されている排水性舗装及び密粒舗装上でスピーカから発生する音を伝搬距離別に測定した。スピーカ及びマイクロフォンをそれぞれ舗装面上の0m及び1.2mに設置した。なお、排水性舗装の主な仕様は、表層厚5cm、空隙率20%、骨材粒径5-13m

mであった。

（2）伝搬音の過剰減衰

（1）で行った伝搬音の測定結果をA特性の道路交通騒音スペクトル[7]により補正し、密粒舗装でのスピーカからの距離2mの地点における騒音レベルを0dBとして伝搬音の減衰の様子を示したものが図8である。これによると、排水性舗装における伝搬音の過剰減衰効果は、伝搬距離が5mを越えると現れ、10m以上のところで2－3dBであった。また、周波数別にみると500Hz以上で過剰減衰が現れ、スピーカから40m離れた地点ではそれはより顕著となり、800Hz付近で最大8-10dB程度の減音となっている。

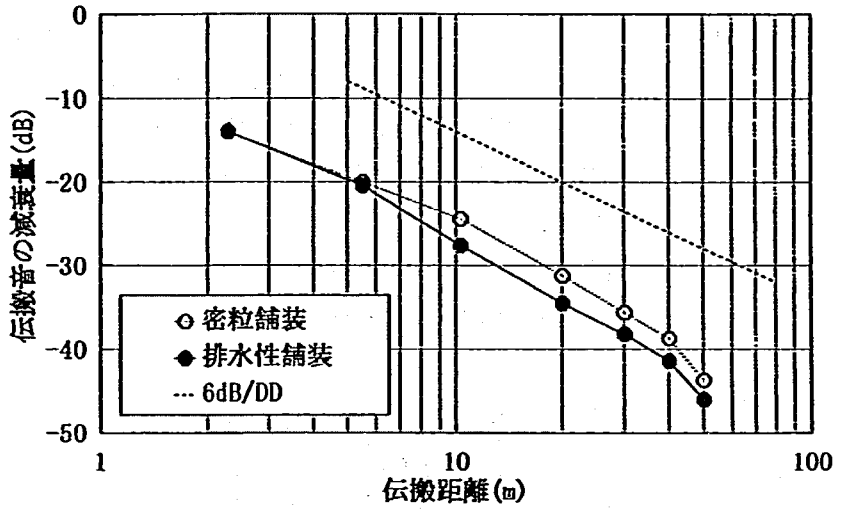


図8　舗装上における伝搬音の減衰

（3）伝搬音のユニットパターンによる排水性舗装の実効的流れ抵抗値の推定

（2）では排水性舗装におけるスピーカ音の伝搬特性について述べたが、ここでは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、（1）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[6]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9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σ＝1250kPasec/m²、密粒舗装の場合σ＝20000kPasec/m²であった。

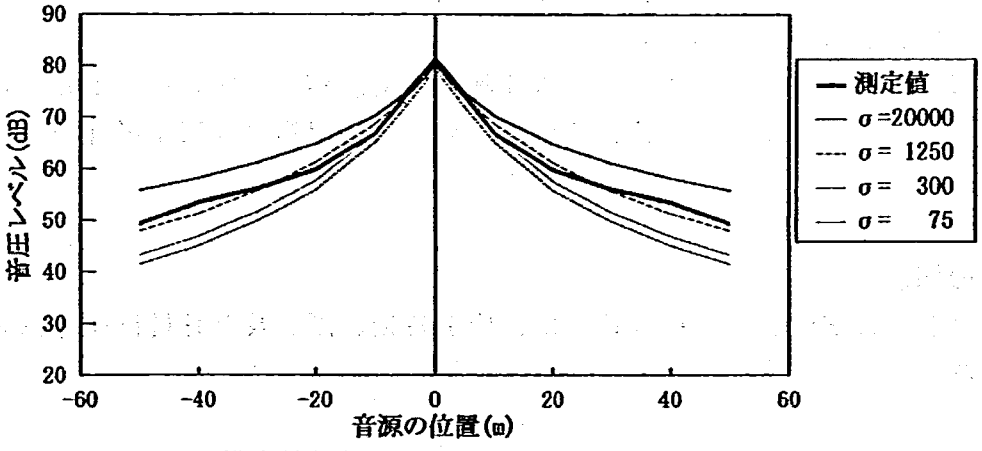


図9　排水性舗装上における伝搬音のユニットパターン

（４）伝搬過程での減音効果を考慮した沿道での等価騒音レベル

排水性舗装が施工された一般道路の沿道で測定された等価騒音レベルを次の３種類の方法で計算してみる。

ａ．通常の密粒舗装のパワーレベルを用い、ASJ Model-1993のＢ法により計算する方法。

ｂ．２．２（３）で得られた騒音パワーレベルを用い、ASJ Model 1993のＢ法により計算する方法。

ｃ．２．２（３）で得られた騒音パワーレベル、パワースペクトル及び（３）で推定された排水性舗装の実効的流れ抵抗値 $\sigma = 1250 kPasec/m^2$ を用い、ASJ Model 1993のＡ法により計算する方法。

これらの予測方法によって計算された等価騒音レベルと実測値を図１０に示す。これにより実測値と各方法による計算値を比べてみると、通常の密粒舗装のパワーレベルを用いる方法の場合は計算値が約2.5dB大きくなる。次に、排水性舗装のパワーレベルを用いる方法の場合は計算値が約1.6dB大きいが、その差は縮小した。さらに、排水性舗装のパワーレベルと伝搬特性を考慮する方法の場合は計算値が約0.7dB小さくなるものの、その差はさらに縮まった。以上の通り、排水性舗装の音源における減音効果及び伝搬過程における減音効果を考慮することにより騒音予測の精度は高くなった。

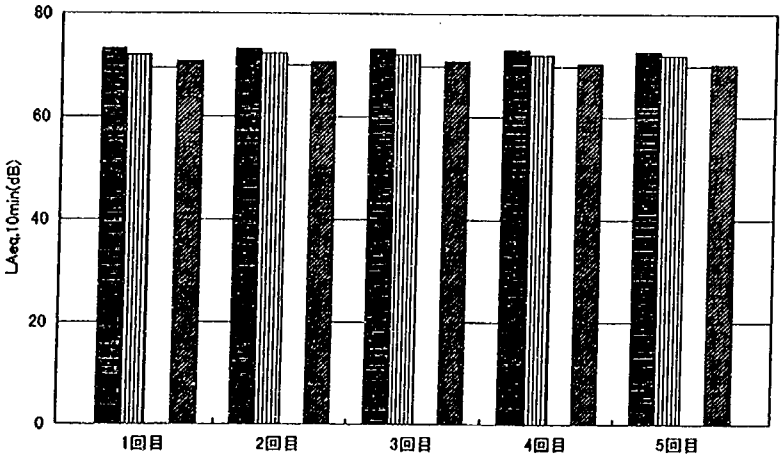


図１０　排水性舗装における等価騒音レベルの計算値と測定値の比較

a による計算値　b による計算値　c による計算値　測定値。

４．排水性舗装の空隙閉塞と減音効果の経時変化

（１）空隙率、吸音率調査の概要

ここでは、一般道路に施工された排水性舗装の空隙が、時間の経過とともに閉塞されていく様子を明らかにするとともに、それが舗装の吸音率等に及ぼす影響を把握することとする。

ａ）試料の採取

排水性舗装のコアサンプルの採取箇所、施工時期、厚さ及び骨材粒径等は表４に示すとおりである。

路線名	箇所名	工区名	施工年月	舗装厚	骨材粒径	試料採取年月
国道190号	山口県小野田市	A工区	平成４年11月	5cm	20-13mm	平成7年1月洗浄前後
国道190号	山口県小野田市	B工区	平成４年11月	5cm	13-5mm	平成7年1月洗浄前後
国道190号	山口県小野田市	C工区	平成４年11月	5cm	7.5-2.5mm	平成7年1月洗浄前後
国道190号	山口県小野田市	D工区	平成４年11月	5cm	13-10mm	平成7年1月洗浄前後
国道190号	山口県小野田市	E工区	平成４年11月	5cm	10-5mm	平成7年1月洗浄前後
国道202号	佐賀県西有田町	2工区	平成４年12月	5cm	13-5mm	平成5年6月、11月、6年11月
国道202号	佐賀県西有田町	3工区	平成４年12月	6cm	13-5mm	平成5年6月、11月、6年11月
国道208号	福岡県大和町	2工区	平成５年２月	7cm	13-5mm	平成5年6月、11月、6年11月
国道208号	福岡県大和町	3工区	平成５年２月	8cm	13-5mm	平成5年6月、11月、6年11月
国道208号	福岡県大和町	4工区	平成５年２月	9cm	13-5mm	平成5年6月、11月、6年11月

表４　排水性舗装の試料採取箇所

b）調査方法

・空隙率

コアカッターにより路面から切り取られた直径10cmの円筒状の試料を、ダイヤモンドカッターで厚さ方向に３等分し、それぞれ上層部、中層部及び下層部とした。これら供試体の空隙率を次式により求めた。

$$\text{空隙率} = (\text{かさ容積} - \text{実容積}) / \text{かさ容積} * 100$$

ここで、かさ容積はノギス等により計測した。また、実容積は気相置換法による高精度自動体積計により測定した。

・成分分析

アスファルト舗装の構成成分は、骨材、アスファルト及び砂である。また、これらに自動車等の走行により土砂や炭素化合物等が加わると考えられる。そこで、成分分析にあたっては骨材、アスファルト・油分、砂及び炭素化合物の４種類の成分に分類することとし、石油アスファルトの三塩化エタン可溶分による方法に準拠して供試体を分析した。これにより求められた４成分の重量百分率に、空隙率及び各成分の比重を考慮して容積百分率を計算した。表５に各成分の分析方法と比重を示す。

成分	分析方法	比重
骨材	溶剤(三塩化ｴﾀﾝ)不溶分のうち２mm以上のもの	2.620
ｱｽﾌｧﾙﾄ・油分	溶剤(三塩化ｴﾀﾝ)溶解分	1.025
砂	骨材を除き、溶剤不溶分のうち、強熱(800 C)残さ分	2.580
炭素化合物	骨材を除き、溶剤不溶分のうち、強熱(800 C)減量分	2.000

表５　各成分の分析方法と比重

・吸音率

排水性舗装の吸音率の分析には、２マイクロフォン法を用いた。この方法により求められる供試体の正規化複素音響インピーダンスｚから、次式により垂直入射吸音率αが与えられる。

$$\alpha = 1 - |(z-1)/(z+1)|^2$$

（２）調査結果

ａ）空隙率の経時変化

排水性舗装の空隙率の経時変化を図１１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。これによると舗装の上層部では施工後10ヶ月までに空隙率が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見られない。一方、中・下層部では空隙率は施工直後の15％程度から10ヶ月後の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。

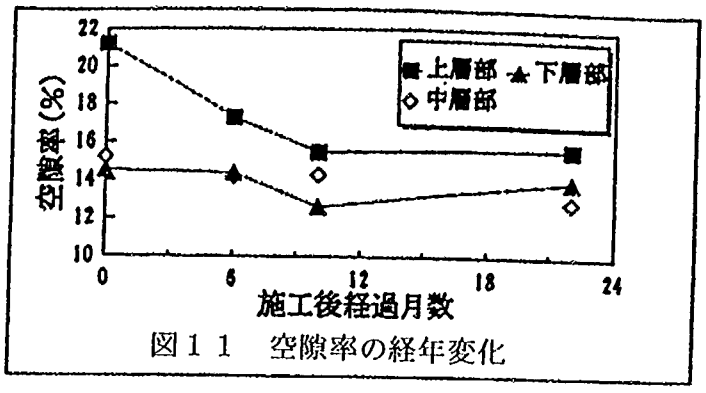


図１１　空隙率の経年変化

ｂ）空隙閉塞物の成分

排水性舗装の空隙閉塞物の成分を調べると、大半が砂分であり、それに若干の炭素化合物が混じっているというものであった。

図１２、１３、１４には経時的な空隙率の変化と砂と炭素化合物からなる閉塞物の変化を示している。舗装の上層部では施工後10ヶ月で空隙率が5.7％減少したのに対し、空隙閉塞物はわずか1.1％増加しただけであった。その後、空隙閉塞物は22ヶ月後には1.7％まで徐々に増加した。すなわち、施工後10ヶ月までは、4.6％の空隙が空隙潰れにより減少し、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、空隙潰れはほとんど見られないが、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。

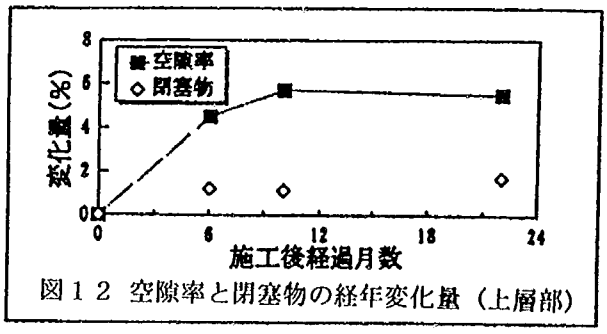


図１２ 空隙率と閉塞物の経年変化量（上層部）

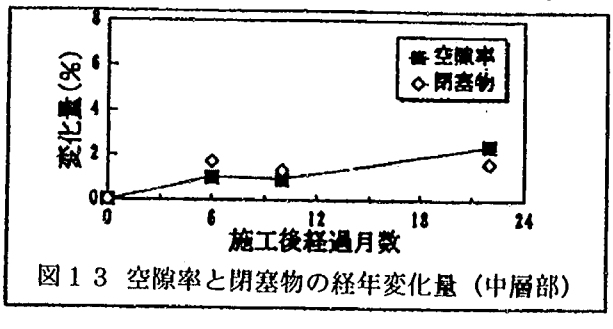


図１３ 空隙率と閉塞物の経年変化量（中層部）

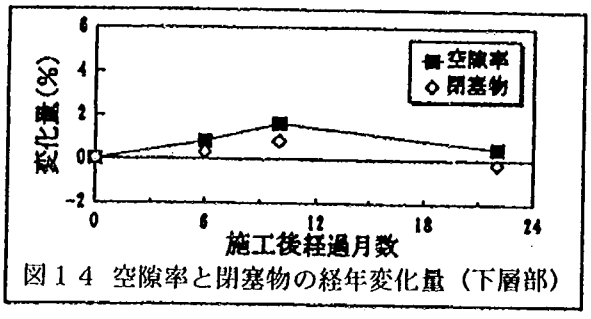


図１４ 空隙率と閉塞物の経年変化量（下層部）

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、空隙潰れによる空隙の減少はほとんど見られず、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。今、施工後22ヶ月における上・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潰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％となった。

c）洗浄による空隙率の変化

図１５は国道190号の山口県小野田市で行われた高圧水を用いた洗浄による排水性舗装の空隙率の回復状況を示したものである。ここでは５種類の骨材粒度分布をもつ排水性舗装を対象にして、施工してから約２年後に洗浄実験を行った。

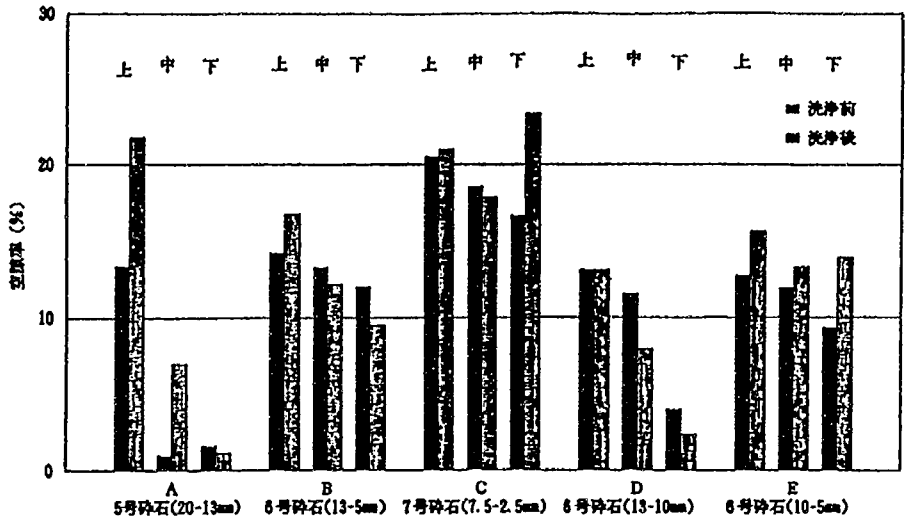


図１５　洗浄前後の空隙率

まず、骨材粒径が大きい方が、空隙率が小さくなっているのに気が付く。これは、骨材粒径が大きくなると空隙の大きさも大きくなり、土砂等の閉塞物が詰まりやすくなったためと考えられる。また、空隙率は上層部、中層部、下層部の順に大きくなっている。この傾向は施工直後より見られるもので、施工中にアスファルト分、砂分が下方に流動したためと考えられる。

さて、洗浄による排水性舗装の空隙率の変化であるが、上層部では０－８％程度の空隙率の回復が見られるが、中・下層部では必ずしも空隙率が回復するとは限らない。骨材粒径が大きい排水性舗装Ａ、Ｂ、Ｄの場合は、空隙率はむしろ低下することもあった。一方、骨材粒径が小さい排水性舗装Ｃ、Ｅの場合は洗浄の効果は下層部でも見られ、空隙率は４－６％程度回復していた。

d）吸音率の経時変化

図１６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。

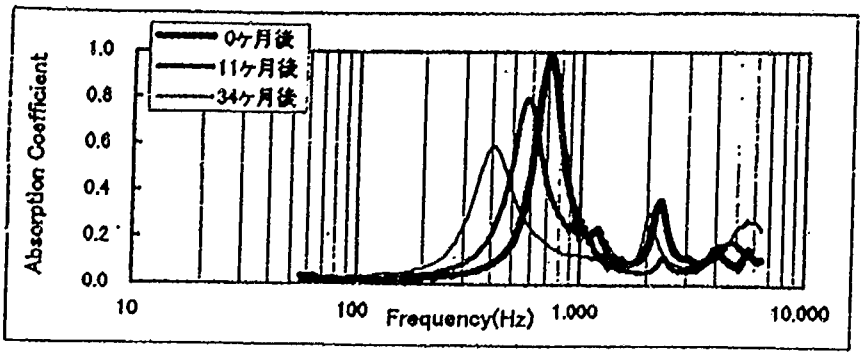


図１６　吸音率の周波数特性の経年変化

一方、図１７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箇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。また、わだち部と非わだち部では施工後１年まではわだち部の方が吸音率は小さいが、３年以上になると両者の差はほとんどなくなっていた。

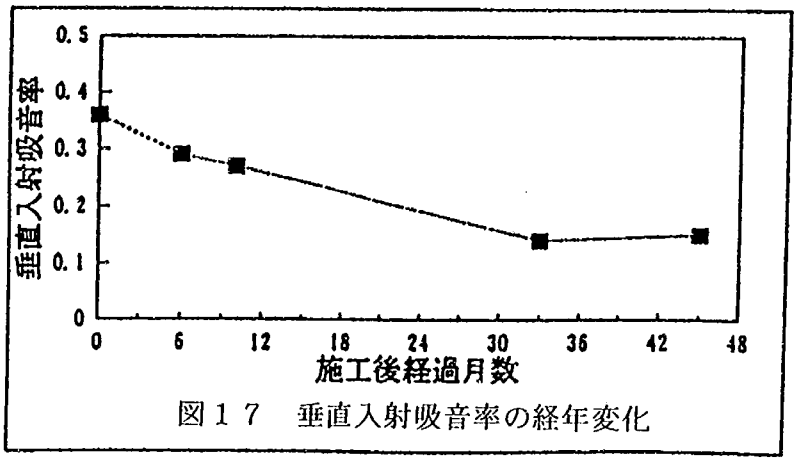


図１７　垂直入射吸音率の経年変化

５．まとめと今後の課題

本稿では、排水性舗装の騒音低減効果の特性や要因、その効果の騒音予測手法への反映、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、同舗装の成分分析を行うことにより検討した。これらにより得られた主な結果は以下の通りである。

・現在、排水性舗装は骨材の最大粒径が１３ｍｍでＪＩＳ粒度のもの（６号砕石）が広く用いられているが、試験走路の実験結果によると、最大粒径が１０ｍｍの単粒化された骨材を用いた排水性舗装の方がさらに大きな騒音低減効果を発揮することが確認された。

・施工後１年の排水性舗装では密粒舗装に比べて、走行速度が30-70km/hの範囲で平均的に乗用車では2.7-4.7dB、大型車では0.0-3.3dBの減音効果が確認された。

・排水性舗装の伝搬過程における音の過剰減衰は、伝搬距離が５ｍを越えると現れ、10m以上のところで２－３dBであった。

・排水性舗装の実効的流れ抵抗値は約1250kPasec/m²と推定された。

・排水性舗装のパワーレベル及び伝搬特性を考慮することにより高い精度の騒音予測ができることが示された。

・ここでは、比較的状態の良い排水性舗装の音源特性、伝搬特性を踏まえて議論を進めたが、施工後の年数が経過した排水性舗装の特性を考慮する必要がある。この検討の際にも、ここでの方法論は有効であると考えられる。
・排水性舗装の空隙率は施工後１年位の間に大きく低下し、その後は徐々に低下する。
・厚さ５－９cmの排水性舗装を３層に分割して空隙率の経年変化を見たところ、上層部では大きな低下が見られたが、中・下層部では空隙率の低下は小さかった。
・空隙率の低下の要因を空隙詰まりと空隙潰れに分けると、施工後２年程度ではそれぞれ1.2%、1.5%であった。
・施工後２年程度で空隙詰まりは排水性舗装の上層部では２%弱であったが、中・下層部ではその半分程度であった。
・施工後２年程度で空隙潰れは排水性舗装の上層部では約４%であったが、中・下層部では１%未満と非常に小さかった。
・高圧水を用いた洗浄による排水性舗装の空隙率の回復は、上層部ではその効果が見られたが、中・下層部では効果が見られない場合もあった。
・排水性舗装の吸音率は、施工直後の0.36から３年後の0.14まで低下し、その後はあまり変化しなかった。

以上のとおり排水性舗装の空隙率が経時的に低下する状況がある程度分かってきたわけであるが、今後さらに空隙率の低下と騒音低減効果の変化の関係について調査することが必要である。この調査結果が得られれば、ここで得られた比較的状態の良い排水性舗装に関する騒音予測手法を修正し、経時的な減音効果の変化を予測することができるようになろう。また、排水性舗装の騒音低減効果に関しては持続性の向上及び回復が求められており、高圧水による排水性舗装の洗浄が試みられているところであるが、空隙の閉塞状況等を十分に把握した上で効果的な回復方法を検討する必要がある。

参考文献

1)(社)日本道路協会,「アスファルト舗装要綱」,1992.12改訂
2)(社)日本道路協会,「排水性舗装技術指針(案)」,1996.11
3)高島,大西他,「低騒音舗装の概説」,(財)建設物価調査会,1996.12
4)押野,「自動車の走行騒音パワーレベルの予測モデル」,日本音響学会第４回音響技術セミナー,1995
5)上坂,大西,「一般道路を走行する自動車の騒音パワーレベル」,日本音響学会講演論文集,1997.3
6)高木他,「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,Vol.50,No.3,1994.3
7)曽根他,「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,Vol.50,No.3,1994.3

◆ 維持管理特集 ◆

I－23 排水性舗装の空隙率低減の主要因に関する一考察

明嵐政司* 大西博文**

1. はじめに

1980年代の初期からヨーロッパ諸国を中心として始められた、自動車騒音低減機能を有する排水性舗装に関する調査研究では、騒音低減として3～5dB(A)の効果が確認される[1)～6)]。一方、排水性舗装の騒音低減効果及び排水機能は施工後からの時間経過とともに低下することが分かっている。排水機能及び騒音低減機能の低下は、排水性舗装の空隙が土砂などによる閉塞あるいは舗装自体の塑性変形によって減少するためといわれている。前者は空隙詰まり、後者は空隙つぶれと呼ばれている。

排水性舗装が我が国で施工され始めた当時は、排水性舗装用アスファルトとして通常の舗装に用いられるストレートアスファルトが利用されていた。しかし、ストレートアスファルトの粘度では、空隙つぶれを防ぐことができないことがわかった。そこで、この空隙つぶれの問題を解決するために排水性舗装用高粘度アスファルトが開発された。しかし、客観的な検証のための調査が行われないまま、新しいアスファルトを用いれば、少なくとも空隙つぶれは防ぐことができると信じられてきた。また、このような排水性舗装の特性が理解されないまま、排水性舗装の洗浄機械の開発が進められている。

本稿では、排水性舗装の空隙構造の変化を生じる主要な要因を定量的に評価することを目的として行われた研究について報告するものである。

2. 手法

2.1 サンプリング手法

分析には、排水性舗装を施工した2ヵ所の現場から採取された試料を用いた。現場の道路舗装から直径10cm、高さ5cmの円筒状の試料をダイヤモンドカッターで採取した。試料の質に影響を及ぼす条件は、2つの現場ではほぼ同一であった。二つの現場の舗装はほぼ同時期に施工されている。現場Aは1992年12月、現場Bは1993年2月に施工された。現場Aと現場Bは同一の気象分類に属する隣接した県に位置し、両現場の気象条件はほぼ同一であると見なせる。また、両現場ともに上下二車線道路で、交通条件も表-1に示すようにほぼ等しい。舗装の厚さを除けば、各現場で使用されている舗装用材料の配合設計は同じである。現場Aは舗装厚さ5cm及び6cmの二種種類の舗装：現場Bは、舗装厚さ7cm、8cm、及び9cmの三種類の舗装である。

表-1 排水性舗装が施工された道路の交通条件

採取時期		交通量 (台/h)	大型車混入率 (%)	走行速度 (km/h)
現場A	施工直後	1,071	14.8	欠測
	6ヶ月	1,098	16.0	45.0
	12ヶ月	1,029	8.2	41.8
	24ヶ月	1,110	10.8	45.3
現場B	施工直後	1,083	13.3	36.2
	6ヶ月	1,060	11.4	44.8
	12ヶ月	1,298	14.5	46.9
	24ヶ月	1,073	18.9	41.7

表-2 高粘度アスファルトの性状

試験項目 (単位)	分析結果
針入度 (0.1mm)	69
軟化点 (℃)	90
タフネス (N・m)	26.8
テナシティ (N・m)	23.0
60℃粘度 (Pa・s)	100,000以上

各舗装区間での試料は、一組はわだち部で、もう一組は非わだち部で採取された。採取時期は、施工直後、施工後6ヶ月後、施工後12ヶ月後、施工後24ヶ月後の4回である。合計40の試料が分析された(5区間×2個/区間×4期間)。

また、使用された高粘度アスファルトの性状をを表-2に示す。

2.2 試料の前処理

試料の前処理は三つの段階に分かれる。第一段階では、円筒形試料の上下面がダイヤモンドカッターで平滑化される。この操作によって、空隙を含む見かけの体積測定値に影響を及ぼす上下面の

Consideration on Porosity Degradation Factors of Drainage Asphalt Pavement

粗さが除去される。

第二段階では、試料が上層、中層、下層の三層にカットされる。各層の厚さは約1.6cmである。第一段階及び第二段階の操作は空隙率測定に誤差を生じる可能性がある。例えば、切断時に生ずる切りくずが空隙に詰まり、空隙率の測定値に誤差が生じる可能性がある。

第三段階では、三層にカットされた各層を更に半月状にカットする。半月状の試料の一方は、空隙率の測定に、他方は化学分析のために使用される。このように、試料の一方を空隙率の測定に、他方を化学分析に使用することによって生じる誤差を「試料誤差」と定義する。これは試料内の骨材、アスファルト等の均一性が保証されていないために生ずるものである。

2.3 空隙率の測定

空隙率は次の式で定義される。

$$PR = \frac{V_a - V_r}{V_a} \times 100 \qquad (1)$$

PR：空隙率(%)

V_a：見かけの体積(m^3)

V_r：実体積(m^3)

見かけの体積は、ノギスで試料の直径と高さを測ることによって容易に計算することができる。

実体積は、気相置換法によって測定した。この手法は、通常はマイクロスケールの粒子の体積測定に用いられる。測定装置は、図-1に見られるように三つの主要部分すなわちサンプリングセル、エクストラセル及び両セル間のバルブから構成されている。二つのセルの壁面は断熱処理されていないので、セル内の気体の温度は、すぐに装置の周辺温度と等しくなることができる。

試料は、サンプリングセルに挿入される。セル間のバルブは開放され、二つのセル及びその間を真空状態とする。その次に、バルブは閉められて、サンプリングセルは気体(ヘリウム)が充填される。サンプリングセル内の気体の圧力P_1が測定される。それから、バルブが開放されて、ガスが両セルに広がる。サンプリングセル内の圧力P_2が測定される。これらの操作及び計算において、両セル間を結ぶパイプの容積はサンプリングセル側のパイプの容積はサンプリングセル、エクストラセル側のパイプの容積はエクストラセルの容積に含めて考える。

この測定装置にボイルの法則を適用し、次に示す式が成り立つ。

$$(V_s - V_x) \cdot P_1 = (V_s - V_x + V_{ex}) \cdot P_2 \qquad (2)$$

V_s：サンプリングセルの容積(m^3)

V_x：試料の実体積(m^3)

V_{ex}：エクストラセルの体積(m^3)

両セル及びパイプの容積を先のように考え、圧力P_1及びP_2を測定し、次式を用いることによって、試料の実体積が得られる。

$$V_x = V_s - \frac{1}{(P_1/P_2) - 1} V_{ex} \qquad (3)$$

2.4 化学分析

排水性舗装は初期には骨材、アスファルト及び砂から構成されている。施工後の交通開放によって、付加的な有機物質(タイヤゴム、エンジンオイル及び燃料)、土、砂が舗装の空隙に取り込まれ、空隙率が空隙詰まりによって低減する。図-2には溶媒として三塩化エタンを用いてどのように粗骨材、アスファルト、ハイドロカーボン、砂及び土を分離し定量分析するかを示している。表-2には化学分析の各段階における試料の内容物の定義を示している。

これらの分析から、舗装の内容物の質量が得られる。表-3に示す各成分の比重値を用いてこの重量を体積換算することができる。

2.5 誤差の評価

すべての測定及び化学分析に誤差はつきま

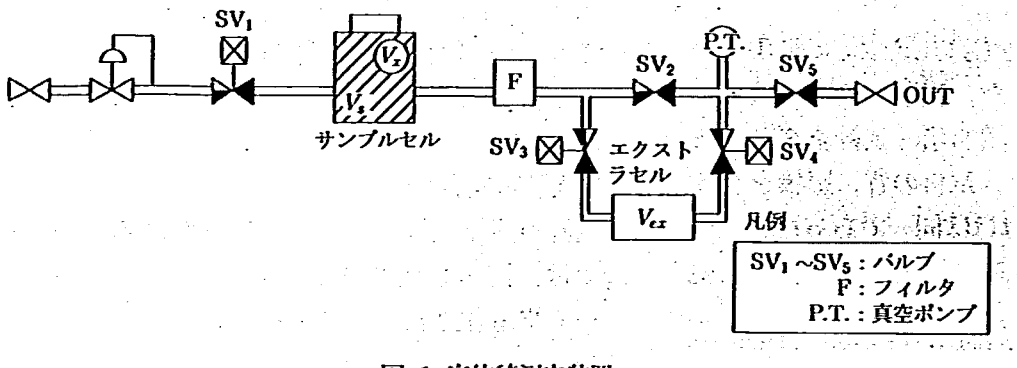


図-1 実体積測定装置

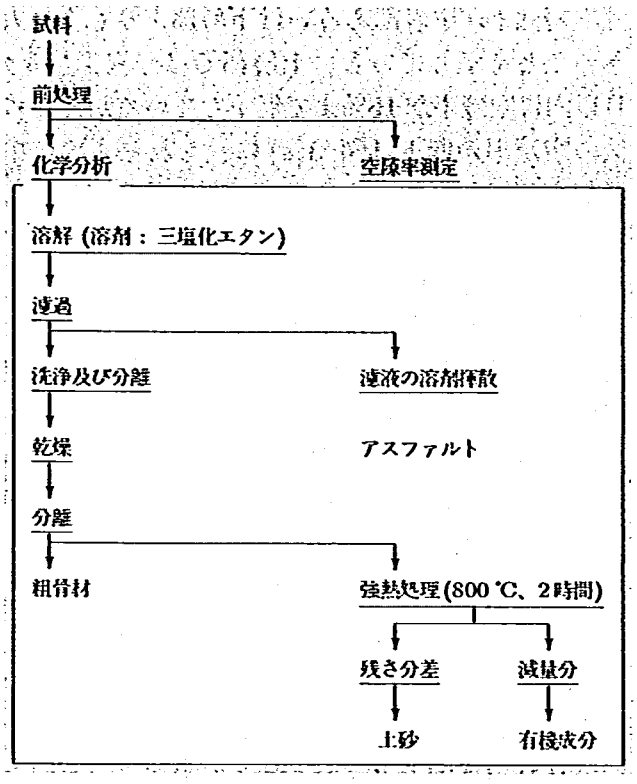


図-2 空隙率の測定と化学分析の手順

表-3 化学分析の対象物質及びその定義

対象物質	定義
a. 粗骨材	直径2mm以上の溶剤不溶分
b. アスファルト	溶剤溶解分
c. 土砂	骨材を除いた溶剤不溶分のうち強熱処理後の残さ分
d. アスファルトを除く有機成分	骨材を除いた溶剤不溶分のうち強熱処理による減量分

表-4 化学分析対象物質の比重

対象物質	比重
a. 骨材	2.62
b. アスファルト	1.03
c. 土砂	2.58
d. アスファルトを除く有機成分	2.00

とい、結果を正しく評価するためにはこれらの誤差を評価する必要がある。しかし、採取された試料の数は統計的な手法を使えるほど多くはない。そこで、ここでは誤差の平均値のみを示すことにした。

誤差は、二種類に分けられる。第一は、空隙率の測定と化学分析に伴う誤差である。例えば、試料の大きさを測定する際の誤差や実体積を測定する際の誤差は、空隙率の計算に影響を与える。これらの誤差や化学分析に含まれる誤差を評価するために、空隙率の測定と化学分析を同一試料によって繰り返した。絶対誤差を測定値の標準偏差と定義すると、空隙率測定の絶対誤差は0.6%、化学分析の誤差が空隙詰まりによる空隙の低減量に与える絶対誤差は0.75%であった。

表-5 試料誤差

位置	部位	空隙率(%)	粗骨材(%)	アスファルト(%)	土砂(%)	有機成分(%)
わだち部	上層	1.2	0.1	1.8	0.5	0.1
	中層	1.0	2.6	0.7	0.6	0.4
	下層	0.4	2.7	0.6	1.7	0.2
非わだち部	上層	0.9	1.1	0.1	0.2	0.1
	中層	0.7	0.5	1.0	0.3	0.1
	下層	0.3	0.9	1.2	0.3	0.3
平均		0.75	1.3	0.90	0.6	0.2

表の中の数値は各半月形状試料間の相対体積差を示している。

第二は前処理の段階で試料を切断することによって生じるものである。切断により生じる絶対誤差(前処理に関する節を参照)の平均は0.13%であった。この値は、いくつかの同一試料を用いて切断する前後での空隙率の差の平均値である。試料誤差(前処理に関する節を参照)を表-4に示す。

表-5から、全体の空隙率測定に含まれる平均誤差は0.75%(表-5、第3行の平均)となる。空隙詰まりによって低減する空隙率は経年的な試料に含まれる土砂や有機炭素の体積増加量であると見なすことができる。土砂や有機炭素の体積の測定絶対誤差は0.8%(土砂0.6%+有機成分0.2%)である。したがって、絶対誤差の最大値は0.8%以下である。

2.6 空隙破壊要因の定量的評価

排水性舗装の空隙は、空隙詰まりと空隙つぶれによって生じる。空隙詰まりは、土や砂の粒子あるいはタイヤゴムのような固体あるいは液体の成分が空隙を閉鎖することによって生じる。空隙つぶれは、アスファルト舗装のように本質的には塑性材料であるものの特性である比較的弱いせん断強度によって生じる。

全空隙低減が空隙詰まりと空隙つぶれによって構成されており、土砂や有機炭素等の内容物の増加量が空隙詰まりによるものであると仮定すれば、次の式が成り立つ。

$$\Delta_p = \Delta_t - \Delta_b \qquad (4)$$

Δ_t：空隙の全低減量(%)

Δ_b：空隙詰まりによる空隙低減量(%)

Δ_p：空隙潰れによる空隙低減量(%)

任意の時点における空隙率の全変化量は、初期の空隙率とその時点における空隙率の差として定義される。空隙の全低減量は、空隙測定の結果より計算することができる。空隙詰まりによる空隙率の低減量は、化学分析の結果から求めることができる。土砂及び有機炭素の体積増加量を、空隙詰まりによる空隙の低減量であると見なすことができる。

3. 結果

図-3は施工直後、施工後6ヶ月経過後、施工後12ヶ月経過後、施工後24ヶ月経過後の4時点に採取された試料の平均空隙率を示している。横軸は施工後の経過時間を縦軸は試料の空隙率を示している。図-3(a)はわだち部の試料、図-3(b)は非わだち部の試料の測定結果である。

施工直後にはわだち部の試料上層部の空隙率は22%であるが、中層部及び下層部の空隙率は14%であった。したがって、試料全体(上層部、中層部、下層部を含む)の初期の空隙率は約17%となる。試料の作成各件は若干異なるが、試料の表層部分の空隙率が内部の空隙率よりも5~10%程度大きくなるとする結果が参考文献7)で報告されている。一方、通常の方法では試料の表面の粗さが見かけの体積に含まれ、実体積を水置換法で計測するのであるが、試料全体の空隙率は20%となる。本報告で用いた方法と通常適用される方法とによる差は、舗装表面の粗さが空隙率測定値を約3%程度過大評価する要因となっていることを示している。

また、これらの結果は舗装の上層部における空隙率の低下が中層部あるいは下層部よりもより大きいことを示している。上層部では、施工後6ヶ月以内に空隙率が16%まで低下しているが、その後の空隙率の低下は図-3(a)に見られるように中層部や下層部と同じように緩やかになっている。わだち部と非わだち部とでは空隙率の変化にわずかな差しか見られない。

図-4は、わだち部及び非わだち部から採取された舗装試料の空隙詰まり及び空隙つぶれによる空隙率の低減を示している。図-4(a)と図-4(d)は、上層部の空隙率が1年以内に約5~6%減少していることを示している。中層部及び下層部の空隙低減は、図-4(b)、(c)、(e)、(f)にそれぞれ見られるように約1~2%の低減となっている。先の節で述べたように、このような低減の値は誤差の大きさにほぼ等しい。したがって、中層部と下層部の空隙率の低下は、1%程度といえる。実質的には、1年以内に上層部に生じた空隙率の低下は、空隙つぶれによるものである。1年経過後には、上層部の空隙つぶれは停止し、上~下層部全般にわたって1年間に1%程度の空隙詰まりによる空隙の低減が生じている。

図-4は、わだち部と非わだち部における舗装試料の空隙率の低減がほぼ同じような傾向であることも示している。

4. 検討

最大絶対誤差は1%以下なので、上層の空隙低下は有意である。

排水性舗装の空隙率が10%以下になると排水機

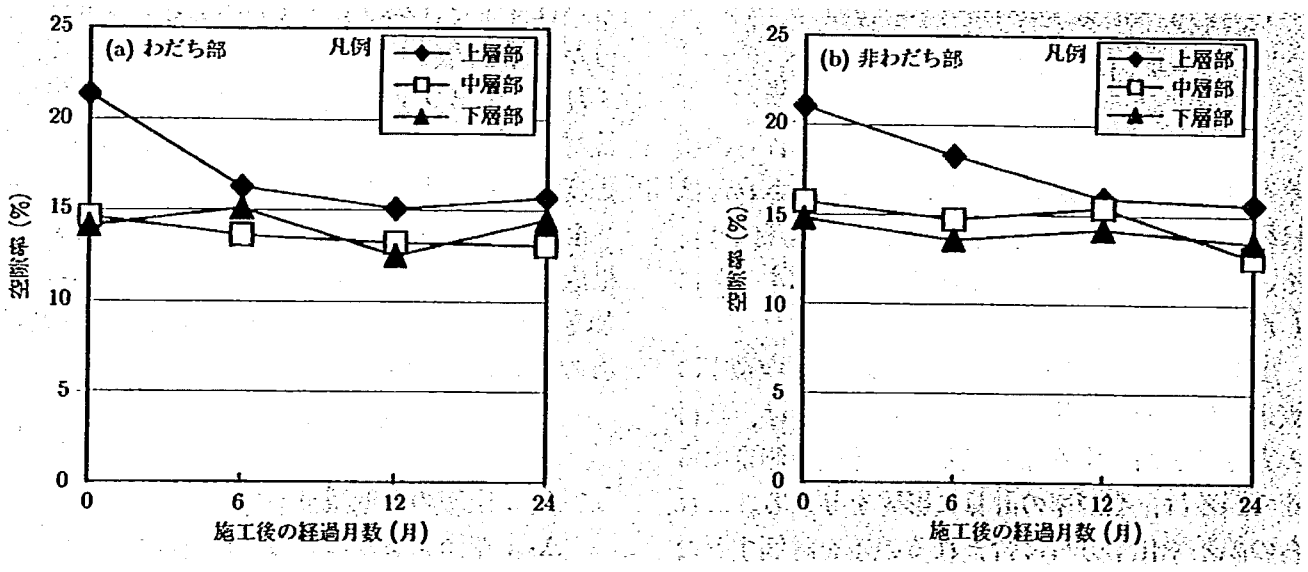


図-3 空隙率の変化

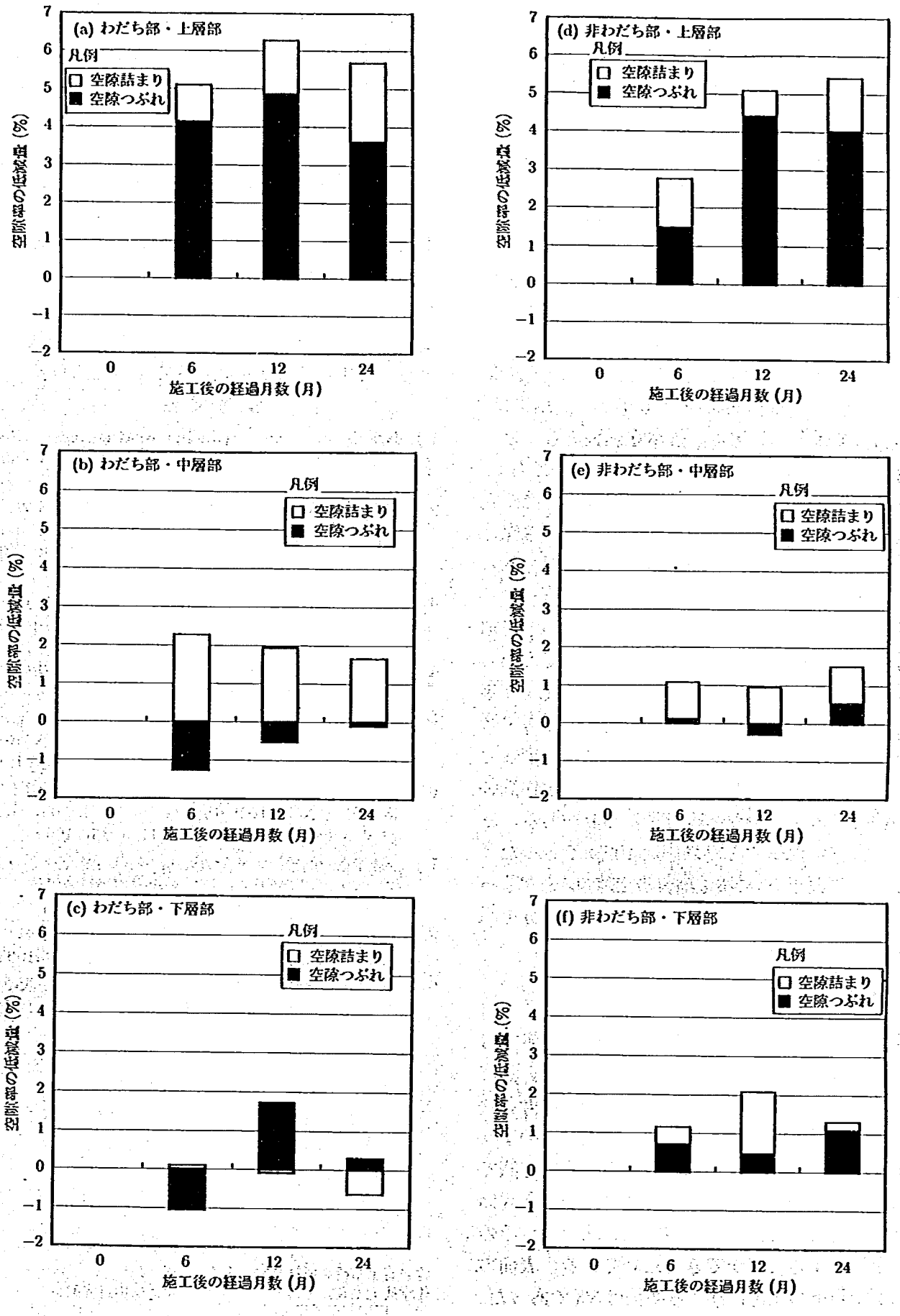


図-4 空隙低減の要因別寄与

能が著しく低下して、雨水の排水状況は密粒舗装のようになる。現在は、高粘度改質アスファルトの開発によって、20%以上の排水性舗装の高空隙が可能になった。したがって、排水性舗装の有効空隙は約10%(= 20 − 10%)となる。

また、十分な騒音低減機能を確保するためには、20%以上の空隙率が求められている[8),9)]。

本稿の結果によれば、排水性舗装の上層部空隙のうち、約5%は施工後1年以内に空隙つぶれで低減している。また、施工後からは排水性舗装の各上~下層全般にわたって空隙は、空隙詰まりによって1年に1%程度低減する。

既存の調査研究による排水性舗装の騒音低減効果及び排水機能の継続期間が4~5年とする結果は、本報告の結果と一致する。排水性舗装でもっとも重要な部分が上層部であることは、明らかである。なぜならば、もし仮に中層部や下層部の空隙が完全に喪失したとしても、上層部の空隙さえ確保されていれば騒音低減機能や排水機能は確保されるからである。

本稿の最も重要な成果は、排水性舗装の上層部の有効空隙の約半分が空隙つぶれによってもたらされていることを明らかにしたことである。4年程度前に排水性舗装に利用された高粘度改質アスファルトでは空隙率20%を維持することが困難であることを示している。したがって、排水性舗装の高粘度アスファルトを改善する必要がある。さらには、洗浄機械の洗浄効率が100%であったとしても、洗浄機械は排水性舗装の空隙つぶれによって失われた空隙は回復できず有効空隙の半分を回復することしかできないということである。

5. 結論

排水性舗装の初期空隙率は、その上層部では22%、中層部及び下層部では14%であった。したがって、空隙率が20%になるように配合設計された舗装の空隙率は実際は17%であった。このような差が生じた原因は、従来の空隙率の測定方法では、試料表面の凹凸によって、空隙率が過大評価されるのに対して、本稿で用いた方法では、その影響を排除することができるためである。表面の凹凸が空隙率の測定に与える誤差は3%であった。

また、施工後1年までに、排水性舗装上層部の有効空隙の半分は、空隙つぶれによって喪失することがわかった。施工後1年経過以降は、年間1%程度の割合で空隙詰まりが進行していた。一方、中層部及び下層部の有効空隙は、つぶれ空隙詰まりにより1%程度低下していた。さらに、わだち部と非わだち部の試料間には、空隙低減に関する僅かな差しか見られなかった。

今回の調査のために試験施工された区間に用いられた排水性舗装用高粘度アスファルトでは空隙率15%を維持することしかできず、空隙率20%以上の空隙を維持するにはこの高粘度アスファルトをさらに改善する必要がある。そのような改善とともに、洗浄機械の開発によって排水性舗装の空隙を維持することが可能になると考えられる。

参考文献

1) Kragh, J. : Noise-reducing road surfaces. Recent experience in Denmark, Inter-Noise'93, 665-70, 1993.

2) Lau, K., Wrong, S. W. H., and Lui, A.S.W. : The noise reduction performance of open textured road surfacing material, Inter-Noise'94, 427-30, 1994.

3) Meier, A. : Acoustically optimized porous road surface characteristics, Inter - Noise'88, 1323-6, 1988.

4) Sandberg, U. : A road surface for reduction of tire noise emission, Inter-Noise'79, 517-20, 1979.

5) Ullich, S. : Acoustical experiences with open graded asphalt concrete road surface in Federal Republic of Germany, Inter-Noise'88, 1327-30, 1988.

6) Meiarashi, S., Ishida, M., Nakashiba, F., and Niimi, H. : Noise reduction factors of drainage asphalt pavement, Inter-Noise'94, 423-6, 1994.

7) 元木卓也、姫野賢治、丸山暉彦、増田釣司、高橋将：ポーラスアスファルト混合物の間隙分布の視覚化に関する研究，土木学会第48回年次学術講演会第5部門，pp.810-811，1993.

8) 明嵐政司、宮川隆巳、石田稔：排水性舗装の吸音特性とその評価について，日本音響学会誌49巻6号，pp.401-406，1993.

9) 明嵐政司、仲柴二三夫，長谷部正基：排水性舗装の騒音低減要因に関する研究，交通工学 Vol.29,No.6,pp.31-40,1994.

明嵐政司*



建設省土木研究所材料施工部
化学研究室長、工博
(前　環境部交通環境研究室
主任研究員)
Dr.Seishi MEIARASHI

大西博文**



同　環境部
交通環境研究室長
Hirofumi OHNISHI

Ⅰ－24　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

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。しかし、排水性舗装を“低騒音舗装”として確立するには、経年的な騒音低減効果の持続性という課題を解決する必要がある。

本稿では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、定期的に行われている試験車による騒音測定及び現場透水試験結果を用いて、排水性舗装の騒音低減効果及び排水機能の経年変化について述べる。

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）内大型車 2,423 台、なお、昼夜率は 1.34

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 空隙率 25%	排水性舗装 6 号砕石 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）

車種分類：普通貨物車(積載重量 10ｔ)リブタイヤ、小型貨物車(積載重量２ｔ)ラグタイヤ、乗用車リブタイヤ

走行速度：40km／hr、60km／hr 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／時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）普通貨物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、４年後にも約３dB の効果を保持している。３工区は施工直後から４年後までほぼ 2dB 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。

---

*” The transition of the noise reduction effect and the drain function by the drainage asphalt pavement” by Noboru Kondo, Hirofumi Ohnishi(Public Works Research Institute ,Ministry of Construction)

（2）小型貨物車の騒音低減効果の経年変化

施工直後から４年後まで騒音低減効果はすべての舗装において約２～４ｄＢの間で推移している。施工４年後ではどの舗装においても騒音低減効果は約３dB であった。

（3）乗用車の騒音低減効果の経年変化

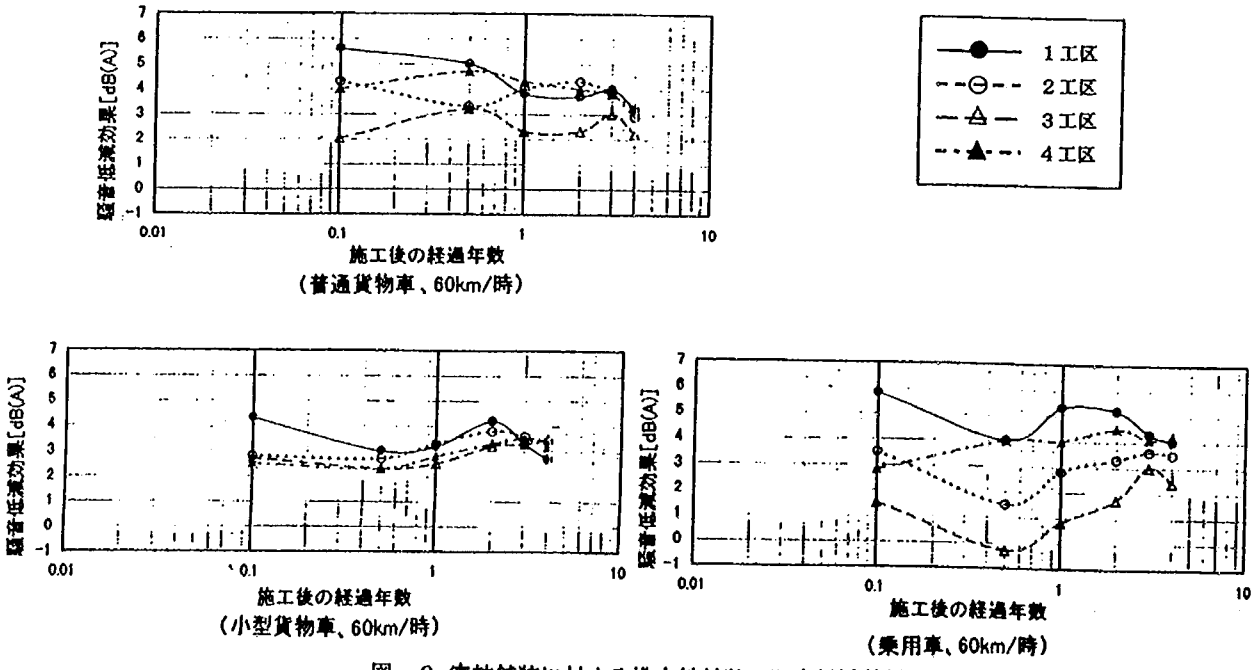
乗用車の場合、騒音低減効果は舗装の種類によりかなり異なり、施工４年後における騒音低減効果は１工区,４工区では約 4dＢ、２工区では約 3.5dＢ、３工区では約 2.5dB であった。１工区では施工直後における約 6dB の減音効果が４年後には約 4dB へと約 2dB 減少しているが、常に他の舗装より高い効果があった。３工区では施工直後から４年後にかけて効果が約 1dB 上昇しているが、効果は常に最も低かった。

（4）考察

自動車騒音に占めるタイヤ音の寄与が大きい車種ほど工区別に騒音低減効果の差が大きくなった。これは、タイヤ音の寄与率が高いと舗装種類によって異なる騒音低減効果の影響を受けやすいためであると考えられさらに、すべての車種で工区別の効果の差は経年的に縮まる傾向にあるが、この調査区間では施工４年経過後も普通貨物車で 2～３dB 程度、小型貨物車で 3dB 程度、乗用車で 2～4dB 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他の車種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）。なお、各工区の騒音低減効果を比較すると、傾向として単粒化された骨材を使用している １ 工区の騒音低減効果が大きく、３工区のように広い範囲に連続した粒度分布を示す骨材を使用している工区は効果が小さい。

表－１　各車種ごとの施工直後と４年経過後のパワーレベル

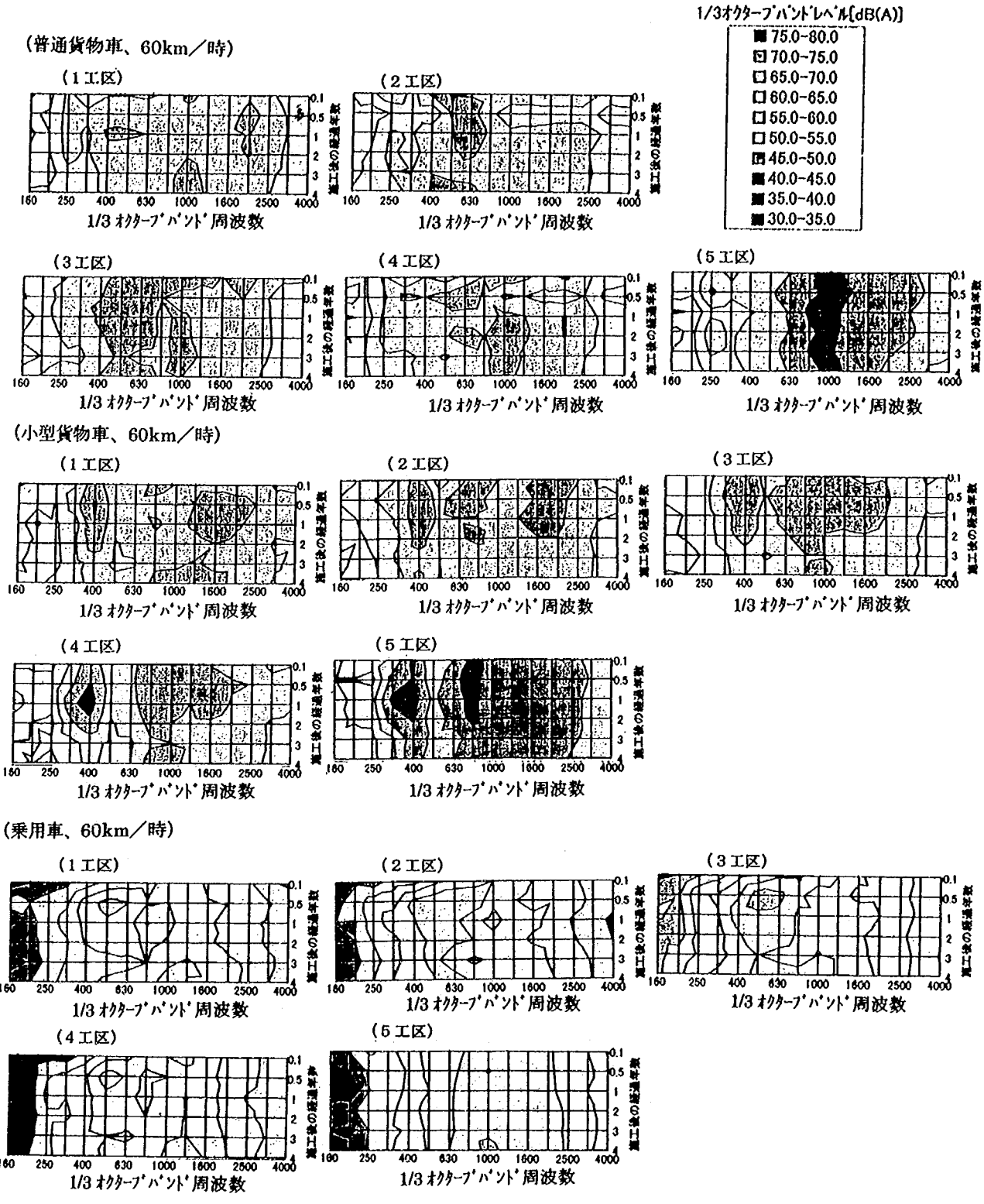
名称	普通貨物車（dB）			小型貨物車（dB）			乗用車（dB）		
	直後	４年後	差	直後	４年後	差	直後	４年後	差
１工区	103.5	105.3	1.8	104.5	105.8	1.3	94.8	99.5	4.7
２工区	104.8	105.6	0.8	106.0	105.1	−0.9	97.1	100.0	2.9
３工区	107.1	106.3	−0.8	106.1	105.0	−1.1	99.1	101.1	2.0
４工区	105.1	105.3	0.2	106.3	105.3	−1.0	97.8	99.3	1.5
５工区(密粒)	109.1	108.5	−0.6	108.8	108.5	−0.3	100.6	103.5	2.9



図－２ 密粒舗装に対する排水性舗装の騒音低減効果

（5）周波数特性の経年変化

走行速度が 60km／時のときの騒音の周波数特性を経年的に車種別、工区別に分析したものを図―3に示す。



図―3 騒音の周波数特性の経年変化

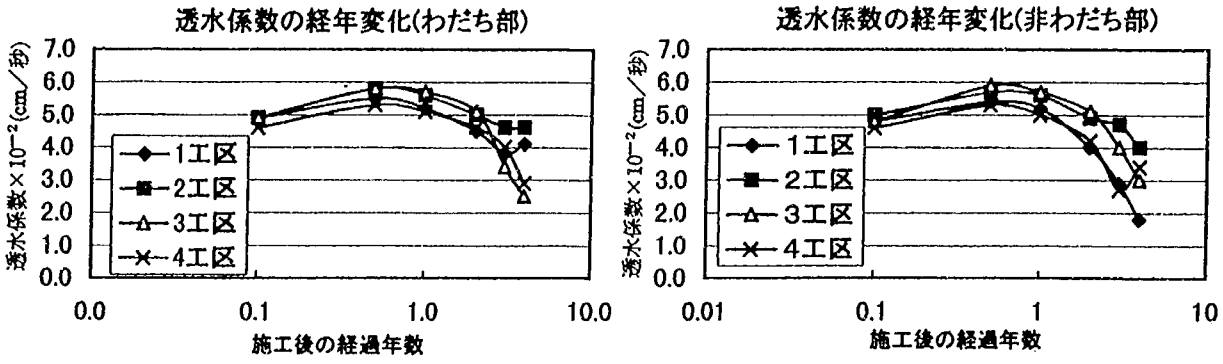
普通貨物車の周波数特性は、すべての工区において、1000Hz 周辺で1年後以降(1工区は3

年後以降)に増加がみられた。小型貨物車の周波数特性は、施工２年経過後まで卓越していた400Hz 付近の周波数成分が、施工３年経過以降減少する傾向が見られた。乗用車の周波数特性は、５工区において施工４年経過後に 1000Hz の周波数成分が若干増加し、他の工区（全ての排水性舗装）において、施工２年経過後まで卓越していた 500Hz 付近の周波数成分が施工３年経過後以後で減少した。

４．排水機能の経年変化

現場透水試験は各工区ごとに、わだち部、非わだち部とも各４回行った。その結果を平均したものを透水係数の経年変化として図―３に示す。なお、この試験の実施年月は騒音測定と同時期である。

すべての工区で透水係数は、わだち部、非わだち部とも同様な傾向で低下してきている。空隙率の高い２工区、３工区の透水係数は、わだち部、非わだち部とも他の工区より高めで推移している。また、施工後４年経過した時点でも透水係数は未だ 10^{-2}cm/秒のレベルにあり、十分な透水性能を保持している。なお、排水機能が半年経過後時点で施工直後より上昇するのは、施工直後のアスファルトがもつ撥水性の影響だと思われる。



図―4 透水係数の経年変化

５．まとめ

排水性舗装に関して持続性に問題があると指摘されている騒音低減効果及び排水性の両機能とも、この調査区間では施工後４年を経過した時点では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ためと推測される。

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、垂直入射吸音率等の測定を実施する。

●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るかを確認する。

最後になりましたが、本稿の執筆にご協力いただいたニチレキ㈱の鈴木氏に感謝します。

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)

Ⅰ－25　道路交通騒音の反射音(高架裏面反射音)計算手法について*

○鉢嶺 清範，大西 博文，上坂 克巳(建設省土木研究所)
小寺隆司(ケー・シー・エス)

1．はじめに

都市部における道路では高架裏面等による自動車騒音の反射が沿道の騒音レベルをさらに上昇させており，このような地域での騒音対策が緊急の課題となっている。高架裏面における反射音の計算方法には，有限反射面における一次反射をモデルとした方法(スリット法)[1,2,6]，拡散反射をモデルとした方法(二次音源法[1]，拡散音場法[1]，散乱反射法[3,4,5])等があるが，多くの場合，それぞれ特徴のある道路構造に適用性があり，適用対象となる道路構造については精度良く計算されるが，これ以外では計算精度が落ちることが多く，様々な条件に適用可能な計算手法の確立が望まれている。

そこで，本稿では様々な条件に適用性のある高架裏面反射音の計算手法を提案する。まず，高架構造模型による模型実験値および平面道路と高架道路が併設する断面における現地実測値と，スリット法による計算値とを比較して，スリット法が精度よく計算できる条件，できない条件について検討した。これを踏まえて，スリット法のみでは精度よく計算できない条件にも適用できるように，一次反射音(鏡面反射音)と拡散反射音(二次以降の反射音)の両方を計算して直接音に加える計算手法を提案し，この手法による計算値と，前出の模型実験値および現地実測値とを比較しそれらの整合性を検討した。

2．スリット法による計算値と模型実験値，現地実測値の比較

模型実験値は，図-1の断面形状をもつ縮尺1/20の高架道路模型を用いて得られた実験値である。受音点配置を図-3に示す。音源にジェットノイズの点音源を使用して測定した。また，計算値と実測値の比較においては，点音源の周波数特性を平均的な自動車騒音のA特性スペクトル[7]に置き換えた。また高架裏面は完全反射であった。

現地実測値は，平面道路と高架道路が併設する，図-2のような道路断面の地点において，図-4のように受音点を配置して一般交通車両の騒音レベル中央値を測定したデータを使用した。L_{50}の予測計算においては，道路環境整備マニュアル[9]で用いられている式を使用して直接音の寄与分を計算し，さらにスリット法を用いて一次反射音の寄与分を計算して，この二つの騒音レベル中央値を合成した。なお，現地実測における騒音測定時に得られた交通量，大型車混入率，走行速度は表-1のとおりであり，高架道路の形状を単純な箱形に，アーチ型遮音壁面の曲面は単純な平面に置き換えた。また，高架裏面は完全反射，遮音壁面は吸音性(吸音率0.8)とし，高架裏面及び遮音壁壁面の反射を考慮した。

回折による補正値については，模型実験の断面に対する予測には，点音源の前川チャート[8]を，現

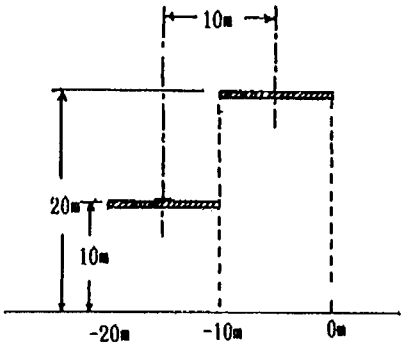


図-1 高架道路模型の断面図

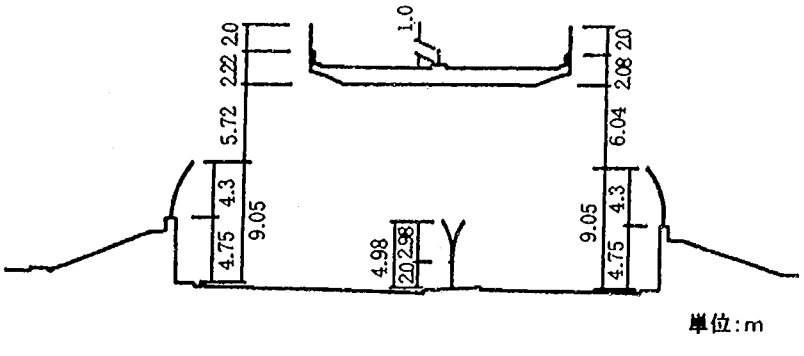


図-2 騒音測定地点の道路断面図

* Calculation method for reflection of road traffic noise by viaduct
by Kiyonori HACHIMINE, Hirofumi OHNISHI, Katsumi UESAKA
(Public Works Research Institute, Ministry of Construction)
Takashi KODERA(K.C.S. Co., Ltd.)

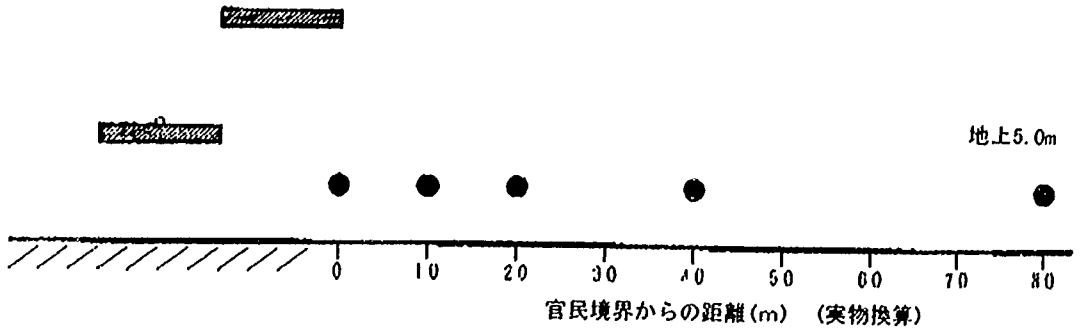


図-3 高架道路模型実験における受音点配置図

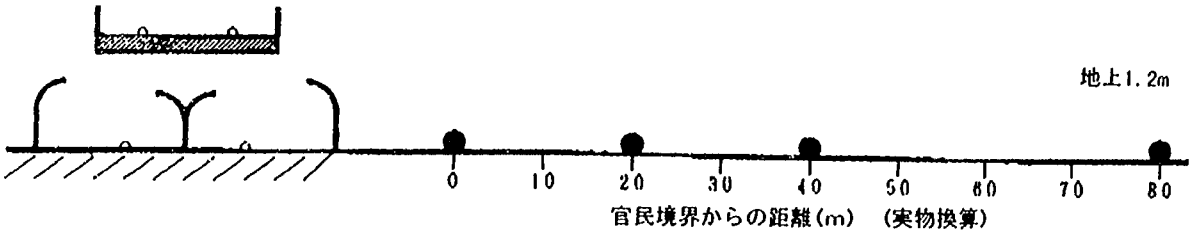
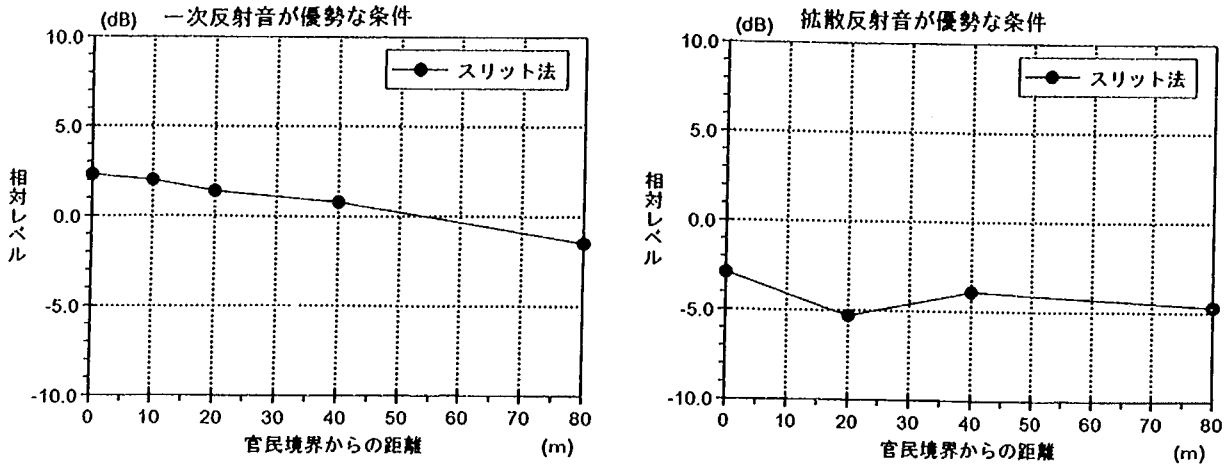


図-4 平面＋高架併設道路の騒音測定における受音点配置図



※相対レベル＝計算値－実験値または実測値

図-5 スリット法による計算値と実測値との比較

地実測の断面に対する予測には，線音源の前川チャート[9]を用いた。スリット法における反射音の伝搬経路については，模型実験では，高架裏面で反射後，受音点に伝搬する経路及び高架裏面で反射後，さらに地面で反射して受音点に伝搬する経路を考えた。一方，現地実測においては，模型実験での経路に加え，遮音壁面で反射後，さらに高架裏面で反射して，受音点に伝搬する経路と，遮音壁面で反射後，さらに高架裏面と地面で反射して，受音点に伝搬する経路を考えた。また，これらの反射音の計算には全てスリット法を用いた。これらの計算値を用いて，模型実験値および現地実測値との相対レベル(計算値－実験値または実測値)を求めることにより比較を行った(図-5参照)。

表-1　計算に用いる交通条件

対象道路		時間交通量 (台/時)	大型車混入率 (%)	走行速度 (km/h)
高架道路	上り線	566	25.4	72
	下り線	742	20.1	77
平面道路	上り線	452	18.8	58
	下り線	807	14.4	57

スリット法は，鏡面反射を仮定した方法である。したがって，図-1の高架構造のような場合には，一次反射音のエネルギーは遮られることなく受音点へ届くため，拡散反射音のエネルギーに比べて優勢な条件と考えることができ，このような条件では，図-5左に示すように，スリット法による計算値

と模型実験値との整合が比較的よい。逆に，図-2のような平面道路と高架道路が併設され遮音壁による対策がなされている場合には，一次反射音のエネルギーが遮音壁等によりほとんど遮られてしまうため，拡散反射音のエネルギーが優勢な条件と考えることができ，このような条件では，図-5右に示すように，現地実測値よりもスリット法による計算値が小さくなる傾向がみられた。

3．種々の条件に対応できる計算式の提案

一次反射音と拡散反射音のいずれが優勢な場合にも適用可能な計算方法として，一次反射音と拡散反射音の両方を計算して直接音に加える計算手法を提案する。この計算手法では，一次反射音をスリット法によって求め，拡散反射音は，スリット法において実音源に対する鏡像からのパワーから一次反射音として計算されたエネルギーを差し引いたパワーを二次音源として設定し計算する。

以上の考え方によれば，一次反射音のエネルギーが大きくなる条件では一次反射音として計算されるエネルギーが大きくなるため，設定される二次音源のパワーが小さくなり，計算値は一次反射音をモデルとしたスリット法の計算値に近い値となる。一方，一次反射音のエネルギーが小さくなる条件では一次反射音として計算されるエネルギーが小さくなるため，設定される二次音源のパワーが大きくなり，計算値は拡散反射音をモデルとした計算値に近い値となる。したがって，一次反射音のエネルギーが大きくなる条件でも，小さくなる条件でも計算可能な適用範囲の広い計算手法となる。

この考え方に基づいた計算手法は次式によって表される。ここでは，点音源に対する計算式と等間隔等パワーモデル[9]によるL_{50}を予測する場合の計算式を示した。

$$L_p = 10\cdot\log_{10}\left(10^{L_{pD}/10} + \Sigma 10^{L_{pAi}/10} + 10^{L_{pB}/10}\right) \quad \cdots(1)$$

L_p ：反射音を考慮した騒音レベル(dB(A))
L_{pD} ：直接音の騒音レベル(dB(A))
L_{pAi}：i番目の反射経路に対する一次反射音の騒音レベル(dB(A))
L_{pB} ：拡散反射音の騒音レベル(dB(A))

直接音の計算

$$L_{pD} = \begin{cases} L_W - 8 - 20\cdot\log_{10}\ell + \alpha_d & \text{(点音源)} \\ L_W - 8 - 20\cdot\log_{10}\ell + 10\cdot\log_{10}(\pi\cdot\ell/d\cdot\tanh 2\pi\ell/d) + \alpha_d & \text{(L_{50}予測・等間隔等パワーモデルの場合[9])} \end{cases} \quad \cdots(2)$$

一次反射音の計算

$$L_{pAi} = \begin{cases} L_{pD} + 10\cdot\log_{10}R - 20\cdot\log_{10}(\ell_{Ai}/\ell) + \alpha_{sli} + \alpha_{di} & \text{(点音源)} \\ L_{pD} + 10\cdot\log_{10}R - 10\cdot\log_{10}(\ell_{Ai}/\ell) + \alpha_{sli} + \alpha_{di} & \text{(L_{50}予測)} \end{cases} \quad \cdots(3)$$

拡散反射音の計算

$$L_{pB} = \begin{cases} L_{pD} + 10\cdot\log_{10}(\theta R/\pi) + 10\cdot\log_{10}(\Sigma E_{rei}) - 20\cdot\log_{10}(\ell_B/\ell) & \text{(点音源)} \\ L_{pD} + 10\cdot\log_{10}(\theta R/\pi) + 10\cdot\log_{10}(\Sigma E_{rei}) - 10\cdot\log_{10}(\ell_B/\ell) & \text{(L_{50}予測)} \end{cases} \quad \cdots(4)$$

L_W ：点音源のA特性平均パワーレベル(dB(A))
R ：反射面の平均反射率($R = 1-\alpha$)
ℓ ：実音源から受音点までの距離(m)
d ：平均車頭間隔(m)
α_d ：直接音の遮音壁などの回折による補正値(dB)，点音源の場合とL_{50}予測・等間隔等パワーモデルの場合[9]で用いる回折チャートは異なる。（2．参照）
ℓ_{Ai} ：i番目の反射経路に対する虚音源から受音点までの距離(m)
α_{sli} ：スリットにおける回折による補正値(dB)，スリット法を用いる。ただし，点音源の場合とL_{50}予測・等間隔等パワーモデルの場合[9]で用いる回折チャートは異なる。（2．参照）
α_{di} ：反射音の遮音壁などの回折による補正値(dB)，点音源の場合とL_{50}予測・等間隔等パワーモデルの場合[9]で用いる回折チャートは異なる。（2．参照）
θ ：実音源から反射面（高架裏面，遮音壁）を見込む角度(横断面で求める)(rad)
ℓ_B ：二次音源から受音点までの距離(m)(二次音源の位置は，高架裏面の受音

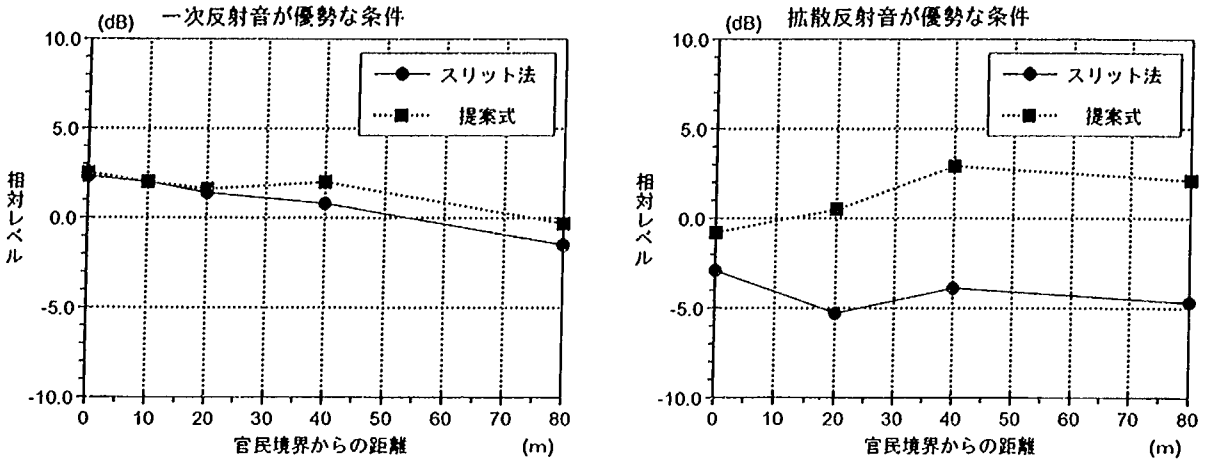
点側の端部としている。）

Erei ：反射音の全エネルギーに占める拡散反射音のエネルギーの割合

$$Erei = 1 - 10^{(\alpha sti + \alpha di)/10} \quad \cdots (5)$$

4．提案式による計算値と模型実験値，現地実測値の比較の比較

3．で提案した計算手法を用いて2．と同様に模型実験値，現地実測値に対応するそれぞれの受音点位置における計算値を求める。この計算値を用いて，模型実験値および現地実測値との相対レベル（計算値－実験値または実測値）を求めることにより比較を行った（図-6参照）。ただし，スリット法を用いる際の伝搬経路は，2．と同様とした。



※相対レベル＝計算値－実験値または実測値

図-6 スリット法および提案式による計算値と実測値との比較

図-1のような，一次反射音のエネルギーが拡散反射音のエネルギーに比べて優勢な条件では，図-6左に示すように，提案式による計算値と模型実験値との整合がよい。また，図-2のような一次反射音のエネルギーよりも拡散反射音のエネルギーが優勢な条件においても，図-6右に示すように，提案式の計算値と模型実験値との整合がよい。このように一次反射音と拡散反射音のいずれが優勢な場合にもこの提案式の計算精度が高く，適用範囲の広い計算手法であることが確認された。

5．まとめ

一般的に用いられているスリット法は，一次反射を仮定した手法であるため，一次反射音のエネルギーが拡散反射音のエネルギーに比べて優勢な条件で計算を行う場合は計算精度がよいが，逆の条件では計算精度が悪くなる傾向が見られた。

そこで，一次反射音と拡散反射音の両方を計算して直接音の計算結果に付加する計算手法を提案した。この計算手法は，一次反射音をスリット法によって求め，拡散反射音は，スリット法において実音源に対する鏡像からのパワーから一次反射音として計算されたエネルギーを差し引いたパワーを二次音源として設定し計算するため，一次反射音のエネルギーが大きくなる条件でも，小さくなる条件でも計算可能な，適用範囲の広い計算手法であることがわかった。

参考文献 1）石川,岩田,平野,桜井,「高架橋裏面反射音計算手法の検討」,日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集,平成4年9月, pp.97~100.(1992)
2）福島,「Fresnel-Kirchhoffの近似回折理論に基づくスリット法の評価」,日本音響学会講演論文集,平成6年10月, pp.833~834.(1994)
3）福島,藤原,竹中,「近接4点法を用いた高架裏面での反射に関する模型実験」,日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集,平成2年10月, pp.37~40.(1990)
4）福島,小西,「高次の反射音を考慮した高架裏面反射音の予測手法に関する研究」,日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集,平成7年9月, pp.269~272.(1995)
5）福島,金治,「乱反射を仮定した高架裏面反射音の予測モデル」,日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集,平成6年10月, pp.29~32.(1994)
6）福島,小西,「高架裏ﾌﾗｯﾄS面反射の騒音予測」,騒音制御,Vol.20-No.3, pp.27~31.(1996)
7）曽根,香野,岩瀬,「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,Vol.50-No.3, pp.238.(1994)
8）山本,高木,「前川チャートの数式表示について」,騒音制御,Vol.15-No.4, pp.40~43.(1991)
9）「道路環境整備マニュアル」,(社)日本道路協会, pp.110~136.

Ⅰ－26　幹線道路に面した建物周辺における騒音レベルの計算方法*
～単独の建物の場合～

○上坂克巳，大西博文（建設省土木研究所），
三宅龍雄（(株）綜合技術コンサルタンツ），高木興一（京都大学）

1．はじめに

道路交通騒音の影響が特に大きい幹線道路に面した建物（沿道１列目の建物）周辺の騒音レベルを精度よく予測することは，沿道騒音の実態の把握及び緩衝建築物（バッファビル）建設等の沿道での防音対策の立案等において重要である。

建物が密集する地域における騒音の伝搬特性に関する研究としては，山田ら[1]，加来ら[2]，家田ら[3]，藤田ら[4]の文献及びISO9613-2の付録で提案された方法[5]等が挙げられる。しかし，これらは，騒音が建物群の中を伝搬する際の平均的な距離減衰をおおまかに求めるものである。

道路に面した建物の周辺の騒音レベルを精度よく予測するには，点音源に対する単独の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 [6]，足立ら[7]の文献がある。これらの文献では，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 [6]は，薄い半無限障壁による減音量の計算のための Kurze の方法[8]，厚みのある障壁における厚み部分の効果の計算のための藤原らの方法[9]等を組み合わせた方法を提案しているが，音源，受音点位置により，計算の場合分けが複雑で計算が煩雑となるため，コンピュータの使用を前提としている。また，計算値と模型実験値にも数 dB 程度のばらつきが認められる[6]。

一方，足立ら[7]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[10]を利用することを提案している。

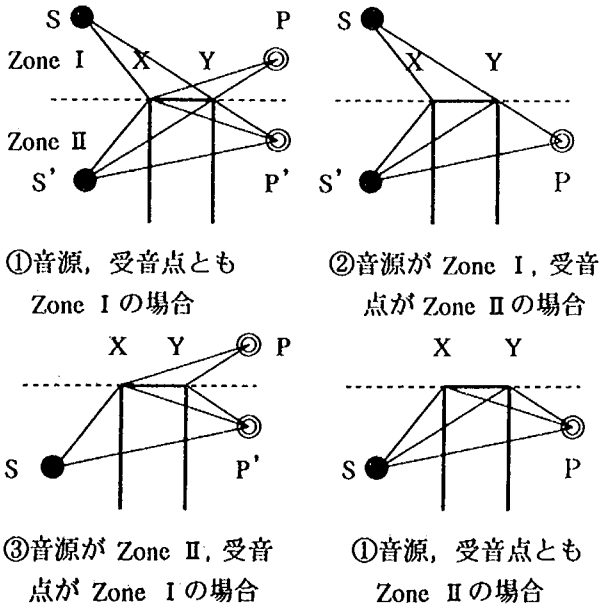
しかし，上記の２つの方法は，受音点が建物背後にある場合を対象としており，建物側壁の反射音の影響が大きい位置にある場合の計算方法は示されていない。特に，Kurze の方法[10]の適用範囲に依存する足立ら[7]の方法では，音源，受音点とも建物に完全に隠れる位置にある時しか計算ができない。

そこで，本研究では，道路に面する単独の建物周辺の騒音レベルを，建物の背後空間だけでなく，建物側壁の反射音の影響が大きい側方空間も含めて，簡易かつ精度よく求める方法の構築を目指す。なお，ここでは，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[11]を，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[12]を拡張して用いることとする。

2．反射性厚み障壁による減音量の計算方法

筆者らは，音源の位置が反射性厚み障壁（全ての面が反射性の厚みのある障壁）の上端より低い場合における減音量の計算方法を提案している[12]。ここでは，さらに，音源が障壁の上端より高い場合も加え，あらゆる音源，受音点配置において，相反の定理を満足し，計算値の連続性が確保された計算方法の提案を行うこととする。

反射性厚み障壁（Reflective Wide Barrier）による減音量$\triangle L(RW)_{SNP}$を求めるための提案式を以下に示す。（図－１参照）



図－１　反射性厚み障壁による減音量計算のための模式図

*Calculation methods for sound pressure level around a building facing a trunk road
by Katsumi Uesaka, Hirofumi Ohnishi (Public Works Research Institute , Ministry of Construction), Tatsuo Miyake (Sogo Engineering Inc.), Koichi Takagi (Department of Environmental Engineering, Kyoto University)

①音源，受音点とも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

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

②音源がZone Ⅰ，受音点がZone Ⅱにある場合

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

$$\Delta L(RW)_{SXYP} = -10\log_{10}\{10^{-\Delta L_{SYP}/10} + (r/r')^2(10^{-\Delta L_{S'YP}/10} - 10^{-\Delta L(RW)_{S'XYP}/10})\} \quad (1)$$

③音源がZone Ⅱ，受音点が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音源，受音点とも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

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

ここで，一般に，ΔL_{ABC}，δ_{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及び回折行路差（AからBを見通せる場合は負の値とする）を表し，X∧Y（X，Yは条件式を表す）と書く表現は X，Y両方の条件を満たすことを示す。また，rはS，P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，音源S，受音点Pと対称の位置にある点である。また，減音量$\Delta L(RW)_{SXYP}$がマイナスの値を示す時は，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③，④の場合の式の導出過程は，参考文献12)で示されており，②は相反の定理に基づき，③の考え方を拡張したものである。したがって，ここでは，①の場合の式の導出過程について示すこととする。

①の場合の音の寄与は，音源側または受音点側の半無限障壁を回折（負の行路差を有する）する音の寄与と，厚み障壁の上面における反射音の寄与で表されると仮定した。反射音の計算には，スリット法[13]を用い，①における適用条件も参考文献13)に示されたものを用いた。その結果，①の式は，相反の定理を満たし，②，③との計算値の連続性も確保されている。

3．建物による挿入損失の計算方法

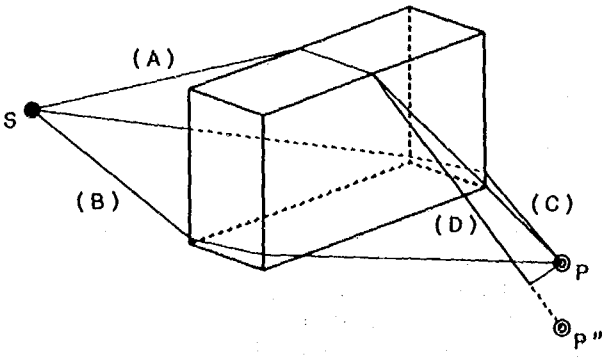
直方体の単独の建物（有限長の厚みのある障壁）が，反射面上にある場合の挿入損失の計算方法を示す。なお，挿入損失がマイナスとなる場合は，建物壁面での反射音の影響により，建物がない場合に比べ，音圧レベルが増加していることを示す。

3.1 計算方法

単独の建物による挿入損失$IL_{buil.}$を求めるにあたり，図－2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0m）にあり，受音点Pは地面より高い位置にある。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，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。

ここで，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}，$\Delta L"_{upper}$と表すこととし，山本，高木らが提案する有限長障壁による減音効果の計算方法[14),15)]及びISO[5)]や足立らの文献[7)]で示されているように，建物上方及び側方を伝搬する音の寄与の和で表す方法（以下，「3パスの方法」と言う）を基本に，地面反射の影響を加えて，建物による挿入損失$IL_{buil.}$の計算方法を定式化した。

山本，高木らが提案する有限長障壁による減音効果の計算方法[14),15)]を応用して求める方法は以下のとおりである。



図－2　有限長の厚みのある障壁と音の伝搬経路

$$IL_{buil.} = -10\log_{10}\{10^{-\Delta L_{upper}/10} + 10^{-\Delta L''_{upper}/10} + (1-10^{-\Delta L_{upper}/10})(10^{-\Delta L_{left}/10}+10^{-\Delta L_{right}/10})\} \quad (2)$$

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，自由空間における減音量を計算するものであるが，(2)式は，半無限障壁の上端の位置に地面があるとし，地面より上の半自由空間を対象とするとともに，パス(D)で表される地面反射音の寄与を加えたものである。

次に，3パスの方法を応用した方法は，以下のとおりである。

$$IL_{buil.} = -10\log_{10}(10^{-\Delta L_{upper}/10} + 10^{-\Delta L''_{upper}/10} + 10^{-\Delta L_{left}/10} + 10^{-\Delta L_{right}/10}) \quad (3)$$

(3)式は，図－2における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，(2)式において，Δ *Lupper* が十分大きい場合にあたる。

3.2 模型実験による検証

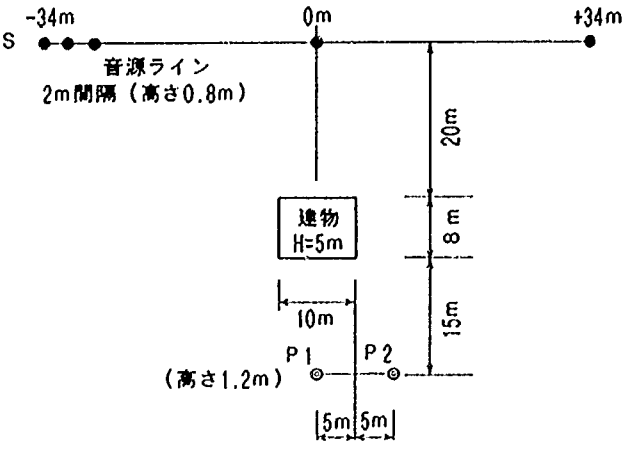
(2)式，(3)式の適合性を検討するため，無響室において，縮尺比 1/20 の模型実験を行った。以下，模型実験に関する数値は全て実物換算で示す。

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，あらゆる方向において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，アクリル板を用いて作成した。また，対象周波数は，50Hz ～ 3.15kHz 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，(2)式，(3)式を用いるため，計算上の音源高さは 0m とした。

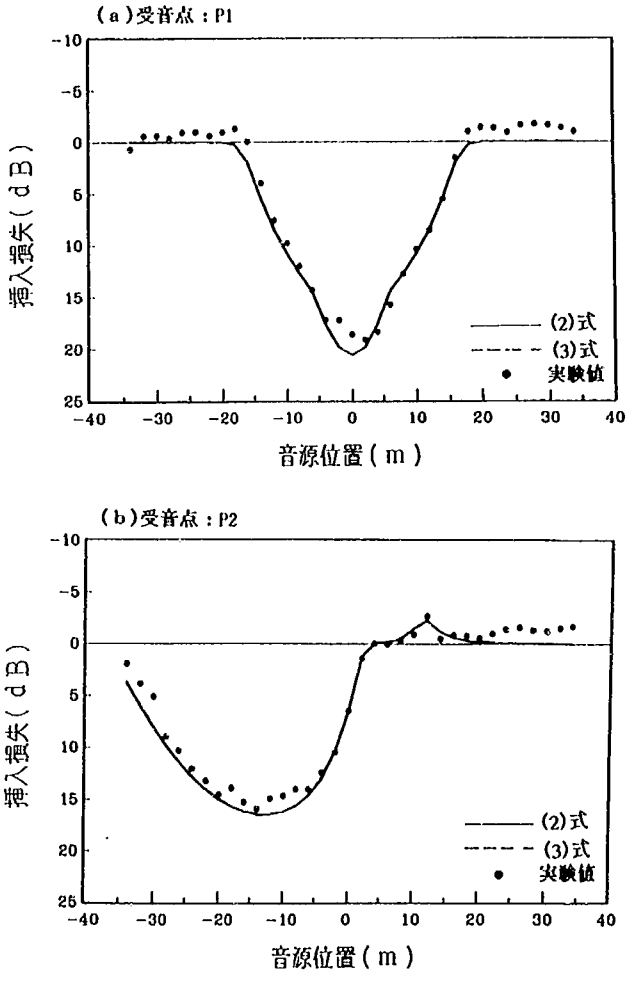
実験配置を図－3に，受音点 P1 及び P2 における挿入損失の模型実験値及び計算値を，各々，図－4 (a)，(b)に示す。

(2)式と(3)式の計算結果は，図において区別できないほど一致し，模型実験との適合性も非常に高いが，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 では，計算値は，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，音源高さを 0.8m とし，建物設置前の地面反射及び建物設置後の音源側の地面反射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。



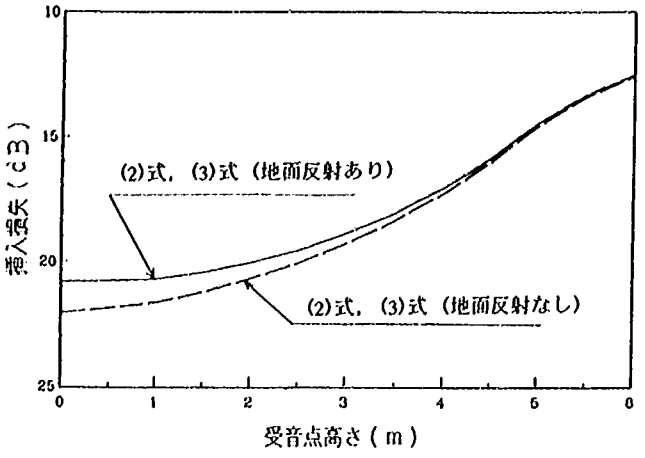
図－3　模型実験の配置



図－4　(2)式，(3)式による計算値と模型実験値の挿入損失の比較

3.3 (2)式と(3)式の計算結果の差異及び地面反射の影響の検討

(2)式と(3)式による計算結果の差異及び受音点側の地面反射の計算結果に及ぼす影響を詳細に検討するため，図－3において地面反射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），



図－5　(2)式と(3)式の計算結果の差異及び地面反射の影響

受音点位置 P1 の場合に，P1 の高さを 0m から 6m まで変化させた時の，(2)式，(3)式の計算結果及び各々の式で地面反射の影響を無視（(2)，(3)式において，$10^{-\Delta L''_{upper}/10}$ の項を削除）した場合の計算結果を図－5に示した。

(2)式と(3)式による計算値は，受音点高さを変化させても，図において区別できないほど一致した。したがって，単独の建物による挿入損失の計算には，(2)式，(3)式いずれも適用可能であることが明らかとなった。

一方，計算上，地面反射を考慮した場合としない場合の計算値の差異は，受音点高さが低くなるほど大きくなるが，最大でも 1 dB 程度（高さ 0m），通常の受音点位置では 1dB 未満であった。図－4 (a)，図－5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，地面反射が計算値に及ぼす影響は小さいことが分かった。

なお，地面が吸音性の場合は，地面反射の影響はさらに小さくなるが，建物による回折効果と地表面効果とを併せて検討する必要がある。今後の課題である。

4．まとめ

道路に面した建物周辺の騒音レベルを予測するにあたり基本となる単独の建物による挿入損失の計算方法の検討を行った。建物の上方及び側方からの音の寄与を求めるにあたり，筆者らが提案する厚みのある障壁による減音量の計算方法を用いることにより，建物による回折及び反射の影響が考慮でき，建物の背後及び側方における騒音レベルを簡易かつ精度よく求められることが模型実験値との比較により明らかとなった。

なお，本論文で示した計算方法は，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する単独の建物による挿入損失の計算に一般的に利用できる。

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) 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（1978.10），pp.507 ～ 508.

2) 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（1979），pp.257 ～ 261.

3) 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（1983），pp.239 ～ 246.

4) 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，Vol.6 No.4（1986），pp.5 ～ 10.

5) ISO9613-2, Acoustics － Attenuation of sound during propagation outdoors － Part2：General method of calculation（1996-12-15）.

6) Selma Kurra： A computer model for predicting sound attenuation by barrier-buildings, *Applied Acoustics*, 13 (1980), pp.331 ～ 355.

7) 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 (1981.5)，pp.45 ～ 46.

8) U.Kurze and G.S.Anderson：Sound attenuaiton by barriers, *Applied Acoustics*, 4(1) (1971), pp.35 ～ 53.

9) K.Fujiwara, Y.Ando, Z.Mackawa：Noise control by barriers - Part 1 : Noise reduction by a thick barrier, *Applied Acoustics*, 10(2) (1977), pp.147 ～ 159.

10) U. Kurze： Noise reduction by barriers, *J. Acoust. Soc. Am.*, 55(1974), pp.504 ～ 518.

11) K. Yamamoto, K. Takagi, Expression of Mackawa's chart for computation, *Applied Acoustics*, 37(1992), pp.75 ～ 82.

12) 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，Vol.22 No.3（1998），pp.153 ～ 161.

13) 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（1995），pp.38 ～ 39.

14) 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（1994），pp.271 ～ 278.

15) Koichi Takagi, Ryota Hotta, Kohei Yamamoto : A Simple Method for the Calculation of Noise Attenuation by a Finite Length Barrier, *Applied Acoustics*, **43**(1994), pp.353 ～ 365.

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 (1994)，pp.233 ～ 239.

Ⅰ－27 単体規制を踏まえた将来の自動車走行騒音パワーレベルの推定*

◎青木理恵，上坂克巳，大西博文（建設省土木研究所）　那須猛士（オリエンタルコンサルタンツ）

1. はじめに

環境アセスメントにおける道路交通騒音の予測には、将来の自動車走行騒音のパワーレベルが必要となる。将来パワーレベルの推定式（以下、「将来パワーレベル式」という。）として、道路環境整備マニュアルでは、加速走行騒音規制強化によるパワーレベルの低減を推定する方法を示している[1]。この方法の妥当性については、参考文献2)で、平成元年以前のパワーレベル実測値に基づいて検討されているが、将来パワーレベル式と実測値の適合性の詳細な検証は行われていない。

一方、中央環境審議会では、新たに平成４年に加速走行騒音規制の目標値及び平成７年に定常走行騒音規制の目標値が設定され、今後の環境アセスメントにおいては、これらの規制強化を考慮した将来パワーレベル式を設定する必要が生じている。

本研究では、最新のパワーレベル実測データを用いて、従来の将来パワーレベル式（第２段階規制式）の検証を行うとともに、従来の加速走行騒音規制に基づく推定方法に加えて、新たに定常走行騒音規制に基づく推定方法を示し、両方法に基づく将来パワーレベルの低減量に関する検討を行うこととする。

2. 加速走行騒音規制に基づく従来の将来パワーレベル式（第２段階規制式）の検証

2.1　一般道路におけるパワーレベルデータの収集

以下で用いるパワーレベルの実測値は、平成８年に測定された関東地方の一般道路８箇所において測定されたものである[3]。パワーレベルは、車両走行中心から約7.5m離れた地上1.2m点に設置したマイクロホンで単独走行する自動車騒音のピークレベルを測定し、距離減衰を補正するピーク法により求めた。また、車種分類は大型車類、小型貨物車及び乗用車の３車種分類のうち、大型車類については速度灯のないものを中型車、それ以外を大型車として分類し、合計４車種とした。なお、測定台数は、大型車455台、中型車301台、小型貨物車243台、乗用車593台、計1592台であった。

2.2　従来の将来パワーレベル式（第２段階規制式）の検証

道路環境整備マニュアル等で示された将来パワーレベル式は、昭和48年度までに公表されたパワーレベル実測値の報告に基づき日本音響学会がとりまとめたパワーレベル式（以下、「46年実測式」という。）をもとに、昭和51年の中央公害対策審議会（現中央環境審議会）答申「自動車騒音の許容限度の長期的設定方策について」に基づく、加速走行騒音規制強化の効果を考慮した推定式である。この方法によると規制強化に基づくパワーレベルの低減量は次式で示される[2]。

$$D_{pw}=10\log\{\alpha+(1-\alpha)\times10^{(-D_A/10)}\} \quad (1)$$

D_A ：加速走行騒音の低減量(dB)

D_{pw} ：パワーレベルの低減量(dB)

α ：定常走行時のタイヤ騒音の寄与率

ここでは、2.1に示した現状のパワーレベル測定データを用いて、(1)式に基づいて設定された従来の将来パワーレベル式を検証することとする。ただし、2.1の測定対象車両は、ほぼ、第２段階規制（昭和57～62年規制）適合車両とみなせるため、第２段階規

---

*Estimation of future sound power level of road vehicles based on noise emission regulation
by Rie Aoki, Katsumi Uesaka, Hirofumi Ohnishi(Public Works Research Institute, Ministry of Construction), Takeshi Nasu(Oriental Consultants Inc.)

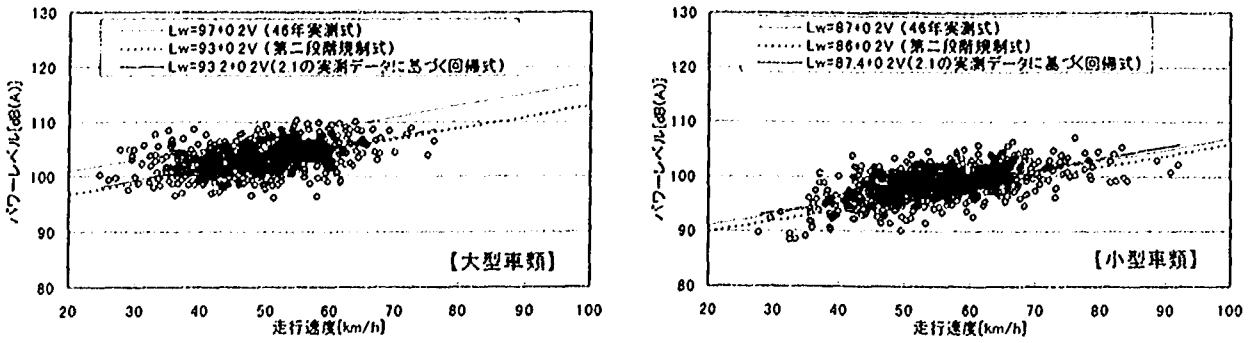


図１　第２段階規制式の適合性の検証

制に対応した将来パワーレベル式（第２段階規制式）と、測定データの比較検証を行う。

46年実測式と第２段階規制式は、次式で示される[2]。

46年実測式：　小型車類 87.0+0.2V　　大型車類 97.0+0.2V

第２段階規制式：　小型車類 86.0+0.2V　　大型車類 93.0+0.2V

ここで、Vは走行速度［km/h］を表す。

2.1のパワーレベル測定データと46年実測式および第２段階規制式を２車種分類で比較した結果を図１に示す。なお、小型車類とは小型貨物車・乗用車、大型車類とは大型車・中型車を言う。図には、46年実測式、第２段階規制式に加えて、プロットした測定データの直線回帰式（傾き0.2）も併せて表示している。大型車類においては、エンジン音の寄与が大きいため加速走行騒音規制強化の効果も大きくなっており、第２段階規制式は2.1のパワーレベル測定データの回帰式とほぼ一致し、第２段階規制式の妥当性が検証された。しかし、小型車類では、2.1のパワーレベル測定データの回帰式は、46年実測式よりもやや大きく、加速走行騒音規制強化の効果はほとんど反映されていない。これは、小型車類では、エンジン音の寄与率が小さく加速走行騒音規制強化の効果が表れにくいことに加え、測定対象であった小型車類中における小型貨物車の比率が比較的高かったこと（表２参照）が一因であると考えられる。また、近年の車両の高性能化に対応した幅の広いタイヤの使用等に伴い、昭和46年当時よりタイヤ音が増加している可能性がある。

3. 将来のパワーレベル低減量の検討

平成４年11月30日に中央公害対策審議会中間答申「今後の自動車騒音低減対策のあり方について」において、加速走行騒音規制の目標値（および第二段階規制からの低減量）が設定されている。また、平成７年2月28日の中央環境審議会答申「今後の自動車騒音低減対策のあり方について（自動車単体対策関係）」においては、さらに、定常走行騒音規制の目標値が設定されている。これらをとりまとめて表１に示す。2.1における大型車、中型車、小型貨物車、乗用車の分類は，両答申における単体規制の大型車、中型車、小型車、乗用車の分類におおむね対応するため、以下、これらは同義とする。ここでは、両答申における自動車単体規制強化を考慮した将来パワーレベル低減量の検討を行った。

3.1　加速走行騒音規制に基づく将来のパワーレベル低減量の推定方法

加速走行騒音規制に基づく将来のパワーレベル低減量は、(1)式により求めた。ただし、定常走行時のタイヤ騒音の寄与率αについては、参考文献4)における40km/h及び80km/hで走行した時の平均値を用いた。（表２参照）

表１　今後の自動車単体規制の目標値

	乗用車	小型車	中型車	大型車
加速走行騒音規制の低減量	2dB	2dB	3dB	2dB
定常走行騒音規制の目標値	72dB	74dB	79dB	82dB

表２　車種別のタイヤ音寄与率と自動車保有率

	乗用車	小型車	中型車	大型車
タイヤ音寄与率[4]	76.0%	62.0%	51.0%	64.0%
自動車保有率[5]	67.3%	17.0%	10.7%	5.0%

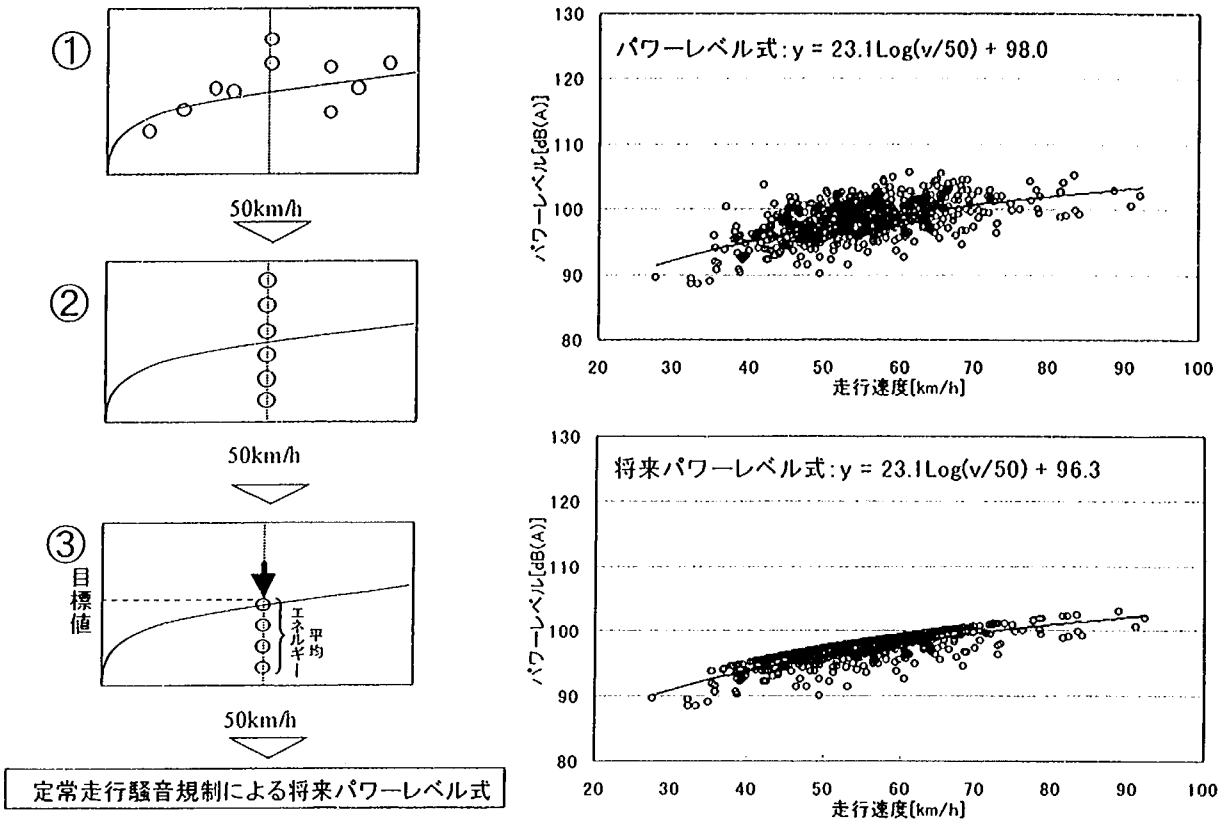


図２　定常走行騒音規制に基づく将来パワーレベル推定の模式図（乗用車の場合）

3.2 定常走行騒音規制に基づく将来パワーレベル式及びパワーレベル低減量の推定方法

定常走行騒音の単体規制（50km/h走行時対象）を考慮した将来パワーレベル式及び将来のパワーレベル低減量を以下の手順で算出した。（図２参照）

①2.1の測定データを用いて、４車種分類での現状のパワーレベル回帰式を求めた。ここで、車種ｉのパワーレベル回帰式を$a_i \log(V/50)+C_i$で表す。

②車種ｉのパワーレベル測定データ（速度Vm，パワーレベルLm）を、$Lm- a_i \log(Vm/50)$の式により、50km/hのパワーレベルに変換した。

③変換したパワーレベルが単体規制の目標値より大きい場合、そのパワーレベルを目標値まで低減させた。

④③で得られたパワーレベルデータをエネルギー平均し、将来パワーレベル式の定数項C'_i（50km/h走行時のパワーレベルに当たる）を算出した。

⑤$C_i-C'_i$を車種$_i$の将来のパワーレベル低減量とした。

3.3　将来のパワーレベル低減量の推定結果

3.1及び3.2の方法に基づいて算出したパワーレベルの低減量を表３、表４に整理して示した。表３は４車種分類の場合、表４は２車種分類の場合である。なお、表４における3.1及び3.2の方法による低減量の算出に当たっては、表２における車種別自動車保有率を用いて、現状及び将来の４車種分類における50km/h走行時のパワーレベルを、各々

2車種分類に統合し、その差をとった。また、表3、表4における将来パワーレベル低減量は、3.1の方法による低減量と3.2の方法による低減量のうち大きい方を採用している。これは、将来の車両には加速走行騒音規制及び定常走行騒音規制の両方が適用されることによる。

表3　将来のパワーレベル低減量（4車種分類の場合）

	乗用車	小型車	中型車	大型車
3.1の方法による低減量	0.4dB	0.7dB	1.2dB	0.6dB
3.2の方法による低減量	1.7dB	0.9dB	0.2dB	0.2dB
将来パワーレベル低減量	1.7dB	0.9dB	1.2dB	0.6dB

表4　将来のパワーレベル低減量（2車種分類の場合）

	小型車類	大型車類
3.1の方法による低減量	0.5dB	0.9dB
3.2の方法による低減量	1.5dB	0.2dB
将来パワーレベル低減量	1.5dB	0.9dB

表4において、車種別に単体規制の効果を見ると、小型車類では、タイヤ音の規制も含めた定常走行騒音規制（3.2の方法）の効果が大きく、大型車類では、エンジン音の規制を主とする加速騒音規制強化（3.1の方法）の効果が大きいことが分かる。両方の規制を考慮すると、将来のパワーレベルは、現状より、小型車類で1.5dB、大型車類で0.9dB低減すると推定される。

4. まとめ

単体規制を踏まえた自動車走行騒音の将来パワーレベルに関する検討を行い、以下の成果を得た。

(1)従来の将来パワーレベル式（第2段階規制式）を最新のパワーレベル測定データと比較したところ、大型車類ではほぼ一致したが、小型車類では第2段階規制式の方が1dB程度小さく、加速走行騒音規制強化の効果は確認できなかった。

(2)定常走行騒音規制に基づく将来パワーレベル推定方法を提案した。

(3)平成4年及び平成7年に中央環境審議会で設定された加速走行騒音規制及び定常走行騒音規制の目標値を考慮すると，将来のパワーレベルは、現状より約0.9～1.5dB低減すると推定される。なお，この結果は、平成7年の答申時に、環境庁が推計した単体規制の効果0.9dB～1.3dBともおおむね一致している。

なお、今後の課題は、以下のとおりである。

(1)今回のパワーレベルデータは、一般道路で測定したものであり、今後、高速域のデータも加えて検討する必要がある。

(2)定常走行騒音規制に基づく方法は、現時点で規制値を下回っている車両については、規制強化の効果が表れないという仮定に基づいており、規制強化の効果を過小に評価している可能性がある。

(3)今回の検討は、規制強化後も、パワーレベルの速度依存性が変わらないという前提で行っているため、より正確には、規制強化後の速度依存性の変化も検討すべきである。

参考文献

1)「道路環境整備マニュアル」、日本道路協会、平成元年1月、pp.119～121.

2)足立、木嶋、宮川：「道路交通騒音に用いるパワーレベル式の検証」、土木技術資料、1989年4月、pp.235～240.

3)上坂、大西、那須、押野：「エネルギーベース騒音予測法の一般道路への適用性の検討」、日本音響学会騒音・振動研究会資料、N-97-55、1997年8月.

4)「自動車交通と騒音」　社団法人自動車工業会　騒音部会　1993年9月、pp.36.

5)「自動車ガイドブック」　社団法人自動車工業振興会　vol.44　1997年10月、PP.466.

I－28　新「騒音に係る環境基準」と道路事業

大西　博文（建設省土木研究所）

1．はじめに

騒音に係る環境基準は 1971 年に環境庁の告示として定められている。この中では、騒音レベルの中央値を評価指標として基準値が設定されている。こうした中、道路交通騒音等による環境影響を争点とした、いわゆる「国道 43 号訴訟」に対する最高裁判所の判決が 1995 年７月に下され、道路交通騒音等により沿道地域の住民の生活に妨害があるとの判断が示された。これを契機に関係省庁等の機関では各種の道路交通騒音に関する対策等の措置が一層推進されることとなった。その一環として、騒音に係る環境基準を見直すため、環境庁は 1996 年７月に中央環境審議会に対し、「騒音の評価手法等の在り方について」を諮問した。その結果、1998 年５月にこの諮問に対する答申が中央環境審議会より環境庁になされた。本稿では、従来の騒音に係る環境基準とこの答申に示された新しい騒音に係る環境基準の考え方を比較し、この新しい考え方を踏まえて道路交通騒音の評価及び対策について議論を進める。なお、本稿の執筆時点では答申は上記のとおりすでに出されたが、これに基づいた告示はまだなされていない。従って、この後に述べる新しい環境基準というのは答申段階のものであり、正式に定められたものではない。また、ここに述べることは筆者の個人的な考え方であることをここにお断りしておく。

2．新旧の騒音に係る環境基準の違い

まず、新旧の環境基準の違いで目につくのが、評価指標が騒音レベルの中央値(L50)から等価騒音レベル(LAeq)に変更されたことである。統計値である L50 に比べ、LAeq は騒音エネルギーの時間的な平均値という物理的な意味をもっており、騒音の推計においても計算方法が明確、容易になる。また、LAeq は国際的にも広く採用されているため、騒音に関する各種のデータの国際比較が簡単にできるようになる。

次に評価の位置であるが、現行の環境基準では地域の騒音を代表すると思われる地点、または騒音に係る問題を生じやすい地点とされている。一方、新しい環境基準では騒音の影響は音源の位置、住宅の立地状況等によって局所的に大きく変化するため、個別の住居等の建物において騒音の影響を受けやすい面における騒音レベルによって評価することが適当であるとされている。

また、環境基準の達成状況の把握方法は、一般地域においては地域全体を支配する音源がないため、原則として一定の地域ごとにその地域を代表すると思われる地点で評価することとされている。一方、道路に面する地域においては一定の地域ごとに地域内のすべての住居等のうち基準値を達成する戸数、割合を把握することに

Revision of environmental quality standards for ambient sound and road projects

Hirofumi Ohnishi (Public Works Research Institute, Ministry of Construction)

より評価することとされている。

時間帯の区分については、現行の環境基準においては朝、昼間、夕、夜間の４時間帯に区分されている。一方、新しい環境基準においては昼間では騒音の会話への影響を、夜間では睡眠への影響を考慮している反面、朝、夕では固有の影響が考慮されているわけではないとして、朝、夕の時間帯は設定せずに、昼間、夜間の２時間帯を設定することとされている。このため、騒音レベルを評価し、環境基準の達成、超過状況を把握することが現行に比べ煩雑でなくなると考えられる。

３．新しい環境基準の指針値

ここでは、道路に面する地域を中心に述べることとする。まず、道路に面する地域であるが、道路交通騒音が支配的な音源となる２車線以上の道路を対象としており、その範囲は道路交通騒音が支配的な音源となる範囲とすることとしており、道路構造や沿道における建物の立地状況等により影響されるため、道路からの距離により一律に規定することは適当ではないとされている。現行の環境基準においてはＢ地域では２車線以下、すなわち１車線の道路も対象とされているが、新しい環境基準では１車線の道路は道路交通騒音が支配的な音源となることが少ないとして対象とされていない。

次に、環境基準の類型区分では、幹線交通を担う道路に近接する空間（幹線道路近接空間）という区分が新たに設けられた。これは、我が国における土地利用や幹線道路沿道に多くの住居が現実に立地している等の実態を踏まえ特例として定められている。この区分の指針値は、窓を閉めた屋内において騒音に関する屋内指針が確保されるように屋外の指針値を導出することとされている。なお、現行の環境基準にある２車線の道路、２車線を越える道路といった車線数による類型区分はなくなっている。

また、幹線道路近接空間においては、地域の状況によっては屋外の騒音対策だけでは十分な改善を図ることが困難であると考えられる。そこで、屋外での対策とあわせて住居の防音化を図る等の屋内対策の推進を促すことが必要との考えから、屋内の指針値として屋内へ透過する騒音に係る指針値を設定することが適当とされている。

表１　現行の環境基準値と新しい環境基準指針値の比較

一般地域

地域の区分	現行環境基準（$L_{50,T}$）		現行環境基準（$L_{Aeq,T}$換算値）		新環境基準指針値（$L_{Aeq,T}$）	
	昼	夜	昼	夜	昼	夜
特に静穏を要する地域 AA	45	35	50	40	50dB	40dB
主として住居の用に供せられる地域 A	50	40	55	45	55dB	45dB
相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域 B	60	50	63	54	60dB	50dB

表１続き、道路に面する地域

地域の区分	現行環境基準（$L_{50,T}$）		現行環境基準（$L_{Aeq,T}$）換算値		新環境基準指針値（$L_{Aeq,T}$）	
	昼間	夜間	昼間	夜間	昼間	夜間
専ら住居の用に供される地域 C	55～60	45～50	67	65	60dB	55dB
主として住居の用に供される地域及び住居と併せて商工業等の用に供される地域 D	55～65	45～60	67～72	65～70	65dB	60dB
幹線道路近接空間	55～65	45～60	67～72	65～70	70dB (45dB)*	65dB (40dB)*

＊屋内へ透過する騒音に係る基準

注）表中$L_{Aeq,T}$への換算値は地方公共団体等による$L_{Aeq,T}$と$L_{50,T}$の同時計測結果により$L_{Aeq,T}$と$L_{50,T}$の関係式を求めて導出したもの。

（環境庁資料より）

以上のとおり、環境基準の類型区分の考え方が示されたわけであるが、それぞれの区分に関して新環境基準の指針値を現行の環境基準と比較して示したものが表１である。これによると、道路に面する地域の新指針値は全体的に現行のものより厳しくなっており、２－ 10dB 低く設定されている。ただし、幹線道路近接空間では現行に比べて昼間の一部で緩くなっているところもある。また、昼間と夜間とでは、夜間の方が現行に比べより厳しく指針値が設定されている。

４．今後の道路交通騒音の評価と対策

最近、排水性舗装等の低騒音舗装や上端部の形状を工夫した新型の遮音壁、高性能の吸音板等、従来の道路交通騒音対策に比べて減音効果の大きい新技術が開発され、実用化されている。一方、道路交通騒音の評価は現行の環境基準では地域の騒音を代表する地点や騒音問題を生じやすい地点でなされている。実際の運用としては、道路端の近くの直接道路に面する地点における騒音測定値により評価している。このような評価方法では、交通量の多い幹線道路において多くの場合測定値が環境基準よりも 10dB 以上大きくなり、前述の新しい対策等を施しても環境基準を下回るほどには騒音の状況は改善されない。結局、環境基準は達成されていないという評価になってしまう。ところが、新しい環境基準では道路に面する地域における個別の住居等の騒音の影響を受けやすい面に着目して、それぞれの住居等においてきめ細かく評価するとの方針が打ち出された。このような評価方法では、対策を講じることによって沿道の１列目の住居等では環境基準が達成されるところまでは改善されなくても、２列目以降の後背地における住居等で環境基準が達成されるのを評価できる。以上のとおり、現行の評価方法では環境基準を達成したか、否かだけの粗い評価結果とならざるを得ないが、新しい環境基準に基づく評価方法では、対策による騒音の状況の改善度が、道路に面する地域におけるすべての住居等のうち環境基準を達成した住居等の戸数、割合によりきめ細かく表される。この新しい評価方法を定着させるには、道路端の近くでの騒音測定に加えて、道路に面する地域に

おける個別の住居等での騒音レベルを得ることが求められ、そのために騒音を推計することも必要になってくる。幸い、騒音の評価指標がLAeqに改められるので、L50に比べ推計しやすくなる。また、騒音の状況の改善度を表すには道路に面する地域の範囲を設定し、この範囲内の住居等の戸数を改善度を示すときの母数として把握することが必要となる。この範囲は3．でも述べたように道路からの距離により一律に設定することは適当でないと思われるが、一方、これを個別の道路区間で設定するとなると膨大な作業を伴うので、当面は便宜的に、例えば道路端から 50 m程度とするのも一つの方法であろう。さらには、住居の騒音の影響を受けやすい面に関して、住居の開口部の位置、居室の配置等により判断基準を定めておく必要がある。特に、幹線道路近接空間では少しの位置の違いで騒音レベルが大きく変化することも考えられるため、精度の高い評価を行うにはこのことは重要である。

地域の区分の一つ、幹線道路近接空間の環境基準として屋外基準に加えて、屋内基準が設けられる。現行の環境基準では屋内基準が設定されていないため、屋内対策である住宅の防音化等の沿道対策は評価できなかった。しかし、現実には道路事業者により沿道の住宅の防音工事に対して助成が行われており、また、既設の道路沿道に防音性能の高い中高層の集合住宅等が新たに立地することもあり、これらは屋内の音環境の確保を前提としている。望ましくは、屋外での環境基準の達成にまず努めるべきであるが、実際には幹線道路近接空間では自動車単体規制、道路対策等の音源対策や伝搬経路対策による効果には限界があり、屋外での基準の達成が困難なことが多くある。このような場合には、新しい環境基準では住宅の防音対策等の受音点対策により屋内での環境基準の達成を評価できるとした現実的な対応が示されている。また、幹線道路の沿道は騒音、大気汚染等の環境負荷が大きいため住宅の立地は好ましくないが、我が国の土地利用状況を考えると、今後も新規の住宅立地は続くと思われる。これに対しては、沿道における騒音の状況に関する情報を提供することによって、新規の立地者がこれに基づき敷地内での住宅の配置や住宅内での居室の配置を検討し、また住宅に十分な防音性能を備える等の自ら対策を講じるのに資する対応が求められる。

5．おわりに

道路交通は我々の日常生活、産業活動に深く関わっており、必要不可欠なものとなっている。その反面、自動車から排出される騒音、大気汚染物質等の環境負荷により我々の生活環境は悪化している。この生活環境の望ましい水準を示すものとして、種々の環境要素について環境基準が定められている。今回の騒音に係る環境基準の改定では、環境基準が最新の科学的知見に基づきあくまでも望ましい水準を示しつつも、幹線道路の沿道における騒音の状況を現実に則してきめ細かく評価できるようにすることによって、対策の効果が評価に反映されるように機能するものとされたように思われる。今回改定される騒音に係る環境基準を踏まえて、さらには4．でも述べたように新たに開発された種々の騒音対策技術も活用しつつ一層対策を推進することにより、沿道地域におけるより良い生活環境の実現を目指すことが求められる。

I－29 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*

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2月20日受付，1998年4月16日受理)

【要 旨】

道路交通騒音対策等に用いられる反射性及び吸音性の厚みのある障壁，二重障壁による回折効果に関する実験的検討を行った。まず，縮尺比1/10の模型実験により，三種類の障壁による減音量の差異を明らかにし，その原因を考察する。次に，反射性の厚みのある障壁と二重障壁について，すべての受音点において，計算値の連続性を確保できる回折効果の計算方法を提案し，模型実験値により検証する。

【ABSTRACT】

This paper discusses sound diffraction effects by a reflective wide barrier, an absorptive wide barrier and double barriers through model experiments. Firstly, we show the difference of the attenuation by the three sorts of noise barriers with the results of the model experiments of 1/10 scale, and study the cause of it. Secondly, we propose the calculation methods for the attenuation by the reflective wide barrier and the double barriers giving continuous calculated values in all receiving points, and verify the methods by comparing the values with the results of the experiments.

キーワード：厚みのある障壁，二重障壁，音の回折，模型実験，道路交通騒音
：Wide Barrier, Double Barriers, Sound Diffraction, Model Experiment, Road Traffic Noise

1. はじめに

高架併設道路，インターチェンジ等に遮音壁が設置される場合，二重回折の計算が必要となる場合がある。特に，最近では，都市内の幹線道路において，中央分離帯に遮音壁を設置する場合も見受けられ，その必要性は高まっている。また，厚みのある障壁としては，大きな障壁としての建物や，小さな障壁として低層遮音壁(植栽枡等奥行きを有するもの)等があげられる。また，遮音壁上端に吸音体を設置した新型の遮音壁は，厚み部分が吸音性の厚みのある障壁と見なすこともできる。このように，二重障壁，厚みのある障壁による回折効果の計算が必要となる場合は多く，これらの計算方法の充実は，道路交通騒音の予測にとって非常に意義が大きい。

本論文では，まず，厚みのある障壁，二重障壁による回折効果に関する従来の研究の課題を示すとともに，本研究のねらいを明らかにする。次に，模型実験により，反射性の二重障壁（以下「二重障壁」と言う)，厚みのある障壁で厚み部分も含めて反射性のもの（以下「反射性厚み障壁」と言う）及び厚みのある障壁で厚みのある部分のみ吸音性のもの（以下「吸音性厚み障壁」と言う）による回折効果の差異を示し，その原因を考察する。次に，反射性厚み障壁，二重障壁による回折効果の実用的な計算方法を示し，模型実験値により検証する。

2. 従来の研究の課題と本研究のねらい

反射性厚み障壁による回折効果の実用的な計算方法については，前川[1]，Kurze[2]，高木[3]，ISO/DIS9613-2[4] による方法等が報告されており，参考文献3）では，高木の方法が，前川[1]，Kurze[2] の方法より，模

---

* Experimental Study on Sound Diffraction Effects by a Wide Barrier and Double Barriers

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

*2 Kenichi Ishikawa：Oriental Consultants Co., Ltd. (㈱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)

型実験値との整合性がすぐれていることが示されている。二重障壁による回折効果の計算方法については，堀田らは，上記の方法[1)～4)]をそのまま引用するとともに，高木の方法[3)]を改良した方法を加え，それらによる計算結果と模型実験値を比較し，受音点が二重障壁の上端より低い場合は，高木の方法[3)]が他の方法[1), 2), 4)]よりすぐれていることを示している[5)]。また，高木らは，受音点が二重障壁の上端より高い場合の計算方法を，新たに加えて示している[6)]。一方，庄野らは，遮音壁先端に吸音体を設置した場合の回折効果を，模型実験，二次元境界要素法による数値計算，現道での実測結果より明らかにする[7), 8)]とともに，その吸音体が反射性の場合と吸音性の場合の回折効果の差異を模型実験及び二次元境界要素法を用いた数値計算結果により示している[9)]。

以上，厚みのある障壁，二重障壁による回折効果に関する研究は幾つか見られるが，これらの研究は，以下のような課題を有している。

(1) 反射性及び吸音性の厚みのある障壁並びに二重障壁による回折効果の差異を詳細に比較，分析した文献は見当たらない。

(2) 実験値との整合性が最も高いと言われる反射性厚み障壁に関する高木の方法[3)]及び二重障壁に関する高木らの方法[6)]は，受音点が障壁の上端より低い場合は同一の計算式であり，これが，どちらの障壁に対してより適合性が高いか確認する必要がある。また，これらの方法は相反性を満たしていない。

(3) 反射性厚み障壁に関する高木の方法[3)]は，受音点が障壁の上端より高い場合の計算方法が示されていない。また，二重障壁に関する高木らの方法[6)]は，受音点が，障壁の上端を結ぶ線上にある際，計算値が不連続となり，また，その線上の近傍では，計算値と実験値の乖離が大きくなる（図－10，図－11参照）。

したがって，本研究では，上記の課題の解決を目指し，まず，二重障壁，反射性厚み障壁，吸音性厚み障壁等による回折効果の差異を実験データにより明らかにしたうえで，特に，反射性厚み障壁及び二重障壁について，音源が障壁の上端より低い場合に，すべての受音点位置において計算値の連続性を保ち，相反性を確保できる実用的な計算方法を提案することを目的とする。

3. 模型実験とその結果

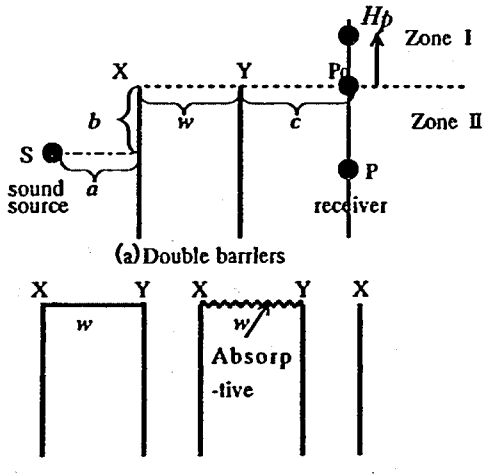
まず，二重障壁，反射性厚み障壁，吸音性厚み障壁による減音量の差異を検討するため，無響室において縮尺比1/10の模型実験を行った。

3.1 模型実験の方法

図－1のように，無響室に，音源，障壁，受音点を配置した。障壁には厚さ6mmのアクリル板を用い，二重障壁，反射性厚み障壁，吸音性厚み障壁または音源側の半無限障壁（以下，「音源側障壁」と言う）を設置した。また，吸音性厚み障壁の上面には，吸音材として，ベルベットの2枚重ね（厚み3.3mm）を貼付した。

二重障壁の間隔または厚み障壁の幅にあたるwは，1.5m, 3m, 5m（実物換算。以下，模型実験に関する数値は，すべて実物換算で示す）の3通りとした。音源には，点音源としてのジェットノイズ音源を用い，それを図－1において紙面と垂直方向に向け，図－1の断面において無指向性となるよう配慮した。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，計測機器のノイズ等を排除できる315Hz～1,600Hzとした。

また，吸音性厚み障壁に貼付した吸音材の流れ抵抗σは140kPa·s/m^{2}であったが，これは，十分広い吸音面から1mの高さに10m間隔で音源と受音点を配置した時の地表面反射による過剰減衰の実測値と，波動理論により求めた計算値との誤差が最小になるように設定したものである。



(b) Reflective wide barrier　(c) Absorptive wide barrier　(d) Sound-source -side barrier

w	a	b	c	H_p
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

3.2 模型実験の結果

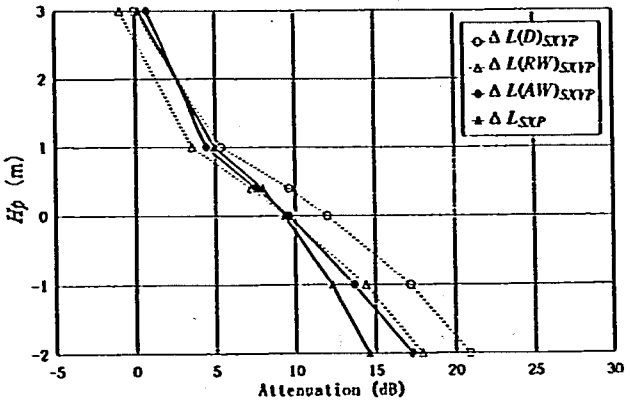
図－2に周波数が500Hzの場合，図－3に周波数が1kHzの場合の，受音点高さH_p（障壁の上端より高い場合を正，低い場合を負で表す）と，二重障壁による減音量$\triangle L(D)_{SXYP}$，反射性厚み障壁による減音量$\triangle L(RW)_{SXYP}$，吸音性厚み障壁による減音量$\triangle L(AW)_{SXYP}$及び音源側障壁による減音量$\triangle L_{SXP}$を示した。これらの減音量の大小関係をZone Ⅰ，Zone Ⅱ（図－1参照）別に説明し，その原因を考察する。

a. $\triangle L(D)_{SXYP}$と$\triangle L(RW)_{SXYP}$の大小関係

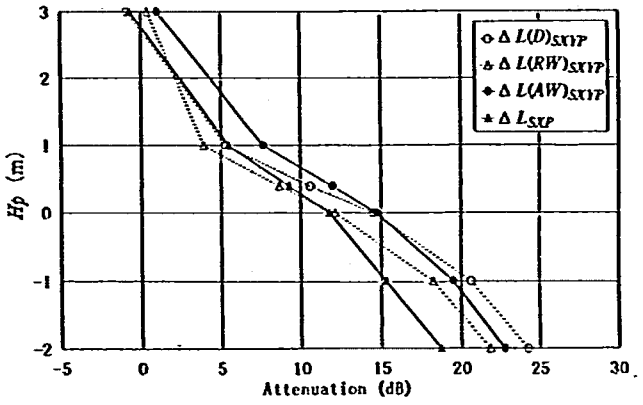
Zone Ⅰ，Zone Ⅱの両方において，$\triangle L(D)_{SXYP}$は$\triangle L(RW)_{SXYP}$より大きく，その差は$H_p=3$mの場合を除き，おおむね2～4dBである。これは，厚み部分における反射音の差に起因していると考えられる。

b. $\triangle L(RW)_{SXYP}$と$\triangle L_{SXP}$の大小関係

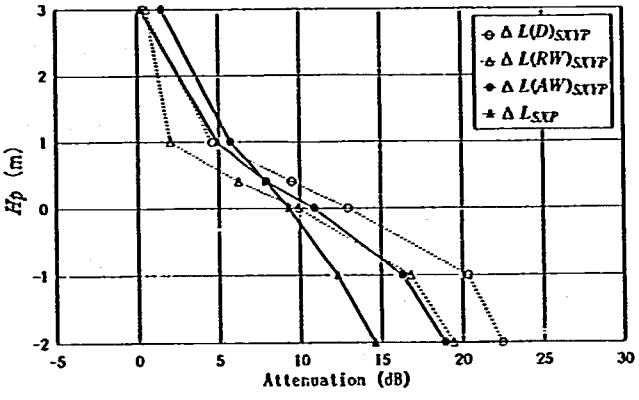
Zone Ⅰでは，$\triangle L(RW)_{SXYP}$は$\triangle L_{SXP}$より小さい



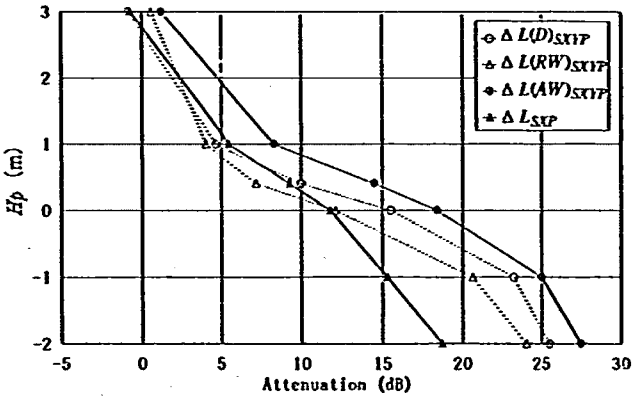
図－2 (a) 種々の障壁による減音量の比較
(w=1.5m, 500Hz)



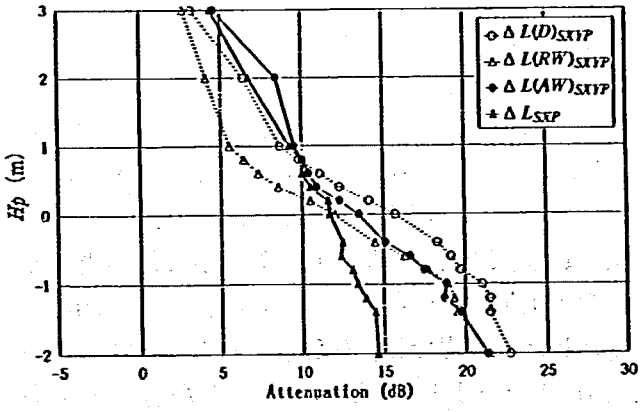
図－3 (a) 種々の障壁による減音量の比較
(w=1.5m, 1kHz)



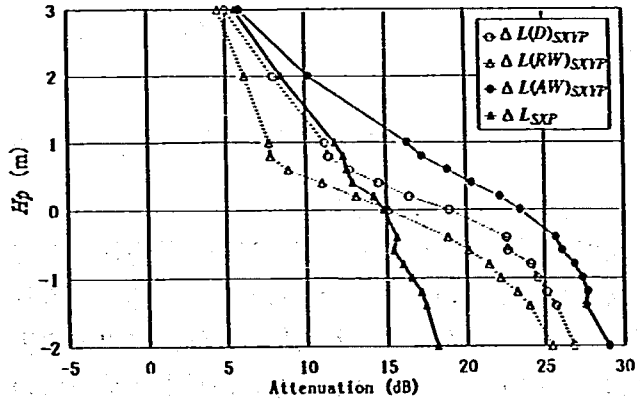
図－2 (b) 種々の障壁による減音量の比較
(w =3m, 500Hz)



図－3 (b) 種々の障壁による減音量の比較
(w =3m, 1kHz)



図－2 (c) 種々の障壁による減音量の比較
(w =5m, 500Hz)



図－3 (c) 種々の障壁による減音量の比較
(w =5m, 1kHz)

が，Zone ⅠとZone Ⅱの境界では，両者の差はほとんどなくなり，Zone Ⅱでは，逆に$\triangle L(RW)_{SXYP}$は$\triangle L_{SXP}$より大きくなる。これは，反射性厚み障壁は，音源側障壁による回折効果に加え，厚み部分での反射による増音効果と厚み部分の回折による減音効果を有すると考えられるが，Zone Ⅰでは前者が，Zone Ⅱでは後者が卓越し，Zone ⅠとZone Ⅱの境界では両者がほぼ相殺されていることによると推察できる。

c. $\triangle L(D)_{SXYP}$と$\triangle L_{SXP}$の大小関係

Zone Ⅰの上部では，$\triangle L(D)_{SXYP}$と$\triangle L_{SXP}$の差はほとんどないが，Zone Ⅱとの境界に近づくにつれ，$\triangle L(D)_{SXYP}$が$\triangle L_{SXP}$より大きくなり，Zone Ⅱでは，$\triangle L(D)_{SXYP}$は$\triangle L_{SXP}$より常に大きい。この差は，受音点側の半無限障壁の回折効果によるものと考えられる。

d. $\triangle L(AW)_{SXYP}$と$\triangle L(D)_{SXYP}$，$\triangle L(RW)_{SXYP}$の大小関係

$\triangle L(AW)_{SXYP}$は，厚みの幅wと周波数に依存して変化し，$\triangle L(D)_{SXYP}$より大きくなることがある一方，$\triangle L(RW)_{SXYP}$と同程度まで小さくなることもある。

以上のうち，以下の4.，5. における反射性厚み障壁及び二重障壁による減音効果の計算方法の検討にとって重要な新たな知見（従来の研究[1)~6)]と比較）を抽出して整理すると，以下のとおりである。

(1) Zone Ⅰ，Zone Ⅱの両方において，$\triangle L(D)_{SXYP}$は$\triangle L(RW)_{SXYP}$より大きい。

(2) Zone Ⅰでは，$\triangle L(RW)_{SXYP}$は$\triangle L_{SXP}$より小さいが，Zone ⅠとZone Ⅱの境界では，両者の差はほとんどなくなる。

(3) Zone Ⅰの上部では，$\triangle L(D)_{SXYP}$と$\triangle L_{SXP}$の差はほとんど見られないが，Zone Ⅱとの境界に近づくに連れ，$\triangle L(D)_{SXYP}$が$\triangle L_{SXP}$より大きくなる。

なお，吸音性厚み障壁による回折効果に関するd. の知見も，今回の実験により新たに得られたものである。

4. 反射性厚み障壁による回折効果の計算方法

4.1 高木の方法[3)]の拡張

反射性厚み障壁による回折効果の計算方法として提案された高木の方法[3)]は，後に，二重障壁にも拡張して使うことが提案された[6)]。しかし，3.2での実験結果が示すように，反射性厚み障壁と二重障壁の回折効果は明らかに異なる。

ここでは，高木の方法[3)]を反射性厚み障壁による回折効果の計算方法に基本的に用いることとし，Zone Ⅱにおいて，相反の定理を満たすように，適用条件を改めるとともに，Zone Ⅰでの計算方法を新たに提案する（図－4参照）。

①Zone Ⅰ

$$\triangle L(RW)_{SXYP} = -10\log_{10}\{10^{-\triangle L_{SXP}/10} + (r/r')^2(10^{-\triangle L_{SXP'}/10} - 10^{-\triangle L(RW)_{SXYP'}/10})\} \quad (1)$$

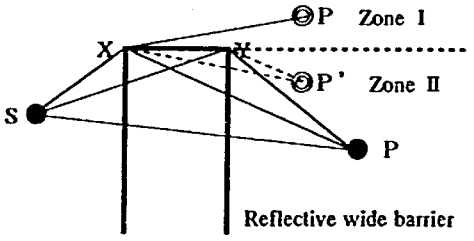
②Zone Ⅱ

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

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

$\triangle L_{SXP} \geqq \triangle L_{SYP}$の時

$$\triangle L(RW)_{SXYP} = \triangle L_{SXP} + \triangle L_{XYP} - 5$$



図－4 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$\triangle L_{ABC}$と書く値は，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を表し，rはS，P間の直線距離，r'はS，P′間の直線距離を表す。なお，P′は，直線XYに対して受音点Pと対称の位置にある点である。

また，(1) 式のZone Ⅱにおける$\triangle L_{SXP} \leqq \triangle L_{SYP}$の時の式は，高木の方法[3)]を示し，$\triangle L_{SXP} \geqq \triangle L_{SYP}$の時の式は，参考文献5）で提案された高木の方法(R) を示している。高木の方法 (R)[5)]とは，高木の方法[3)]に対し、相反性を考慮して音源と受音点を入れ替えた場合の計算方法である。Zone Ⅱにおける適用条件は，高木の方法[3)]，あるいは高木の方法 (R)[5)]を選択するに当たり，基本的な減音量を与える半無限障壁による減音量をより正確に捉えるという視点に立ち，$\triangle L_{SXP}$と$\triangle L_{SYP}$のうち，より大きな減音量を与える式を選択するものである。なお，$\triangle L_{SXP} = \triangle L_{SYP}$の場合は，明らかに$\triangle L_{XYP} = \triangle L_{SXY}$となるため，(1) 式ではZone Ⅱにおける適用条件の境界での計算値の連続性も確保されている。また，Zone ⅠとZone Ⅱとの境界では，$\triangle L_{SXP} \geqq \triangle L_{SYP}$であり，かつ，前川チャート[10)]を用いると，$\triangle L_{XYP} = 5$であるため，$\triangle L(RW)_{SXYP} = \triangle L_{SXP}$となるが，これは，3.2での実験結果とも整合している。

Zone Ⅰにおける計算に当たっては，音源側のエッジXを回折した後，受音点Pに直接到達する音の寄与C_1と，エッジXで回折後，反射性厚み障壁の上面XYで反射した後，Pに到達する音の寄与C_2を加えることとした。ここで，C_2の算出に当たっては，受音点Pの障壁上面XYでの反射イメージP′を想定し，音源側障壁だけがある場合のP′での音の寄与をC_{21}，反射性厚み障壁がある場合のP′での音の寄与をC_{22}として，$C_2 = C_{21} - C_{22}$により求められるとした。

今，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，

$$\triangle L(RW)_{SXYP} = -10\log_{10}\{(C_1+C_2)/C\}$$
$$= -10\log_{10}\{C_1/C+(C'/C)(C_{21}-C_{22})/C'\}$$

となる。ここで，

$C_1/C=10^{-\triangle L_{SXP}/10}$，$C_{21}/C' = 10^{-\triangle L_{SXP'}/10}$，

$C_{22}/C' = 10^{-\triangle L(RW)_{SXYP'}/10}$，$C'/C=(r/r')^2$

であるから，(1) 式が得られる。

なお，$\triangle L(RW)_{SXYP'}$は，Zone Ⅱにおける計算式より導かれるが，上述のようにZone ⅠとZone Ⅱとの境界では，$\triangle L(RW)_{SXYP'} = \triangle L_{SXP'}$であるため，(1) 式は$\triangle L(RW)_{SXYP} = \triangle L_{SXP}$となり，Zone Ⅱでの計算式から導かれた結果と一致し，Zone ⅠとZone Ⅱでの計算値の連続性が確保されていることが分かる。

4.2 模型実験による検証

(1) 式を3.2の模型実験値により検証した。なお，半無限障壁による減音量の計算には，前川チャート[10]を用いた。

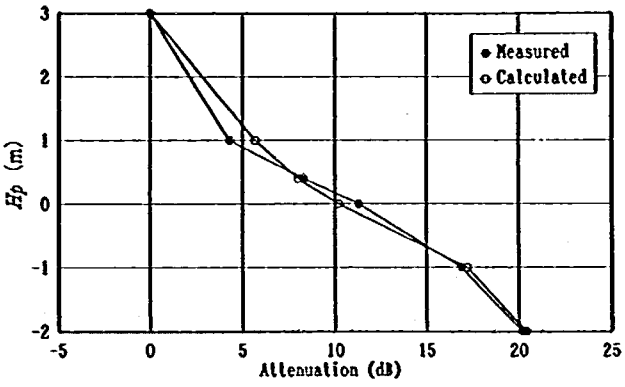
図－5は，厚みwが1.5m，3m，5mの場合に，自動車走行騒音の代表パワースペクトル[11]で重み付けした315～1,600HzのA特性オーバーオール値として減音量を比較した結果である。

Zone Ⅱではすべての受音点において，計算値と模型実験値は，非常によく一致している。周波数ごとに計算した結果においても，同様の結果が得られた。この結果から，(1) 式の方法は，二重障壁ではなく，反射性厚み障壁による回折効果の計算に適していることが確認できた。また，厚みwが1.5mから5mまで大きくなっても，Zone Ⅱにおける計算値と実験値の整合性は遜色なく，(1) 式の方法は，建物等の大きな厚みを有する障壁の回折効果の計算にも適用できると期待できる。

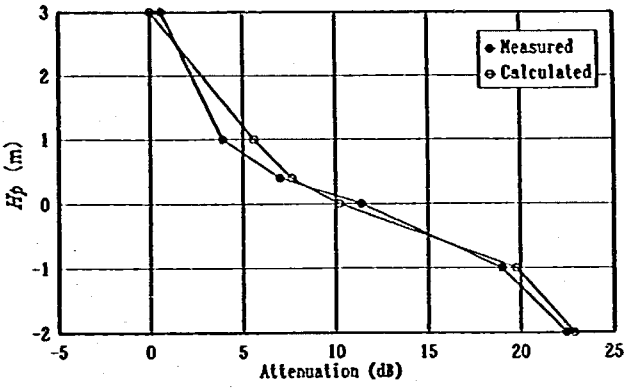
また，Zone Ⅰでは，H_p＝1m付近で，計算値が実験値より1～2dB程度大きい値を示す傾向が見られた。

5. 二重障壁による回折効果の計算方法

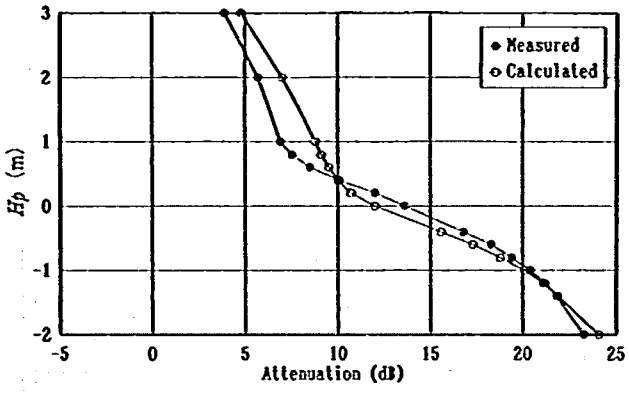
5.1 受音点が二重障壁の上端と同じ高さにある場合



図－5 (a) (1) 式と模型実験値との比較 (w = 1.5m)



図－5 (b) (1) 式と模型実験値との比較 (w = 3 m)



図－5 (c) (1) 式と模型実験値との比較 (w = 5 m)

の回折効果の検討

2. で述べたように，二重障壁に関する高木らの方法[6]の問題点は，受音点が障壁の上端を結ぶ線上の近傍にある時，計算値が不連続，あるいは計算値と実験値の乖離が大きくなることにある。

ここでは，まず，この問題を解決するため，受音点が二重障壁の上端と同じ高さにある場合の回折効果について，3. で行った模型実験結果を用いて分析を行うこととした。分析は，図－1において，二重障壁の間隔wが1.5m，3m，5mの3通りについて，受音点Pが二重障壁の上端を結ぶ線上P_0 (H_p=0) にある時に，二重障壁による減音量$\triangle L(D)_{SXYP}$と音源側障壁による減音量$\triangle L_{SXP}$の差α (=$\triangle L(D)_{SXYP}$－$\triangle$

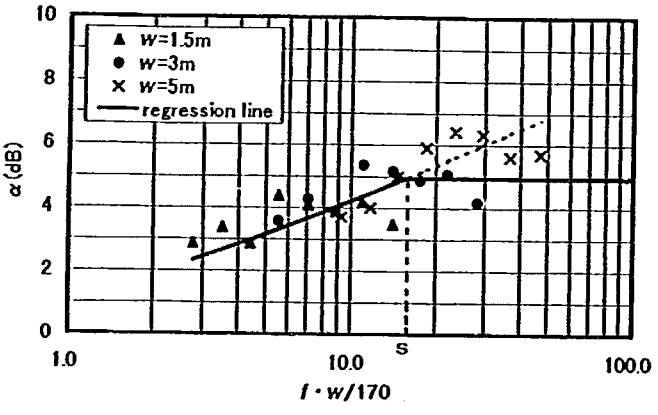
L_{SXP}) を，1/3オクターブバンドごとに算出し，周波数f及びwとαの関係を調べることにより行った。なお，$\triangle L(D)_{SXYP}$には，模型実験値を用い，$\triangle L_{SXP}$の算出には，前川の実験チャート[10]を用いた。

図－6に検討結果を示す。横軸は対数目盛である。$f \cdot w/170$は，wを半波長で割った数（ここでは，音速を340m/sとした）である。この図から，$f \cdot w/170$の増加とともに，αが直線的に増加する傾向が見られるため，$f \cdot w/170$とαの関係は，基本的には次の回帰式で表現できると考えた。

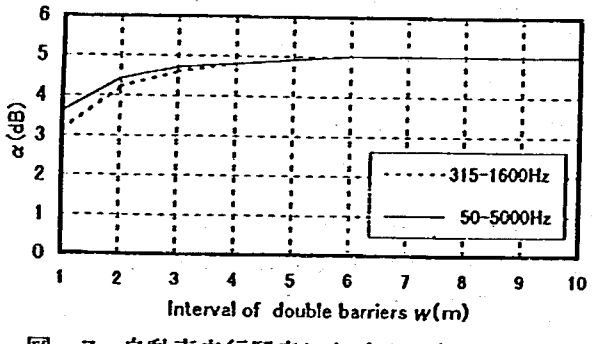
$$\alpha = A\log_{10}(f \cdot w/170+1) \qquad (2)$$

(2) 式は，$f \cdot w/170=0$の時，すなわち，二重障壁の間隔$w=0$の時$\alpha=0$となるように配慮したものであり，回帰式の相関係数は0.791であった。なお，今回の実験データでは，$A=4.03$であった。

図－6では，$f \cdot w/170$の値が約10～20，つまり二重障壁の間隔が波長の5～10倍程度以上であれば，αは6dB程度に安定する傾向が見られる。αは，wが小さいほど，あるいは波長が大きいほど小さくなるが，それは，二重障壁間の多重反射及びそれに伴う干渉の影響と推察できる。ただし，5.2以降の検討では，前川チャートとの整合性を考慮し，αの最大値を5dBとし，$\alpha=5$となる時の$f \cdot w/170$の値をS（今回の実験データでは$S=16.4$）とした。しかし，今回の検討では，測定データも限定されているため，A，Sに関する詳細な分析には，より多くの実験データの蓄積が必要と考える。



図－6 $f \cdot w/170$とαの関係



図－7 自動車走行騒音におけるwとαの関係

また，以上の検討の結果得られたαの計算式（次節の(5)式）と自動車走行騒音の代表パワースペクトル[11]を用い，二重障壁の間隔wとA特性オーバーオール値としてのαとの関係を求めて，図－7に示した。周波数範囲は，今回の模型実験で用いた315Hz～1,600Hz及び通常の道路交通騒音の予測で用いられる50Hz～5,000Hzである。図－7から，通常の道路交通騒音の予測においては，二重障壁の間隔wがほぼ5m以上ある場合は，$\alpha=5$dBとして問題がないことが分かる。

5.2 新たな二重回折計算方法の提案

5.1での検討結果を用い，Zone IとZone IIにおける計算値の連続性が確保され，受音点がZone IとZone IIの境界線の近傍にある時にも，実験値との整合性が高い新たな二重回折計算方法を提案する。特にZone IIでの減音量の計算方法の検討に当たっては，相反性を確保できるように配慮した。新たな提案式を以下に示す（図－8参照）。

(1) 二重障壁の間隔wが十分広い時（$\alpha=5$），

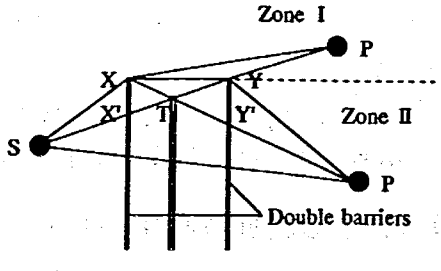
$$\triangle L(D)_{SXYP} = \begin{cases} \text{Zone I} \\ \quad \triangle L_{SXP} + \triangle L_{XYP} \\ \text{Zone II} \\ \quad \triangle L_{SXP} + \triangle L_{SYP} - \triangle L_{STP} + 5 \end{cases} \qquad (3)$$

(2) 二重障壁の間隔wが狭い時（$\alpha<5$），

$$\triangle L(D)_{SXYP} = \begin{cases} \text{Zone I} \\ \quad \triangle L_{XYP} + \alpha - 5 < 0 \text{の時} \\ \quad\quad \triangle L_{SXP} \\ \quad \triangle L_{XYP} + \alpha - 5 \geqq 0 \text{の時} \\ \quad\quad \triangle L_{SXP} + \triangle L_{XYP} + \alpha - 5 \\ \text{Zone II} \\ \quad \triangle L_{SXP} + \triangle L_{SYP} - \triangle L_{STP} + \alpha \end{cases} \qquad (4)$$

ただし，

$$\alpha = \begin{cases} 0 \leqq f \cdot w/170 < S \text{の時} \\ \quad A\log_{10}(f \cdot w/170+1) \\ f \cdot w/170 \geqq S \text{の時} \\ \quad 5 \end{cases} \qquad (5)$$



図－8 新たな二重回折計算方法の模式図

ここで，fは周波数，$\triangle L_{STP}$は，直線SYと直線XPの交点Tを上端とする仮想の半無限障壁による減音量を表す。今回の実験データでは，(5) 式においてA=4.03，S=16.4であった (5.1参照)。

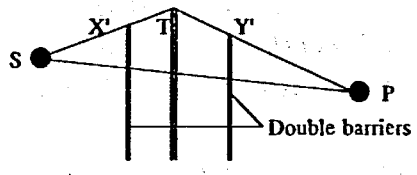
それでは，(3) 式の基本となる (4) 式の導出過程について示す。

まず，受音点Pが，Zone IとZone IIの境界線上にある時について説明する。この時，YとTが一致し，$\triangle L_{SYP}=\triangle L_{STP}$であり，かつ前川チャート[10]を減音量の計算に用いることとすると，$\triangle L_{XYP}=5$なので，(4) 式はZone I，Zone IIとも

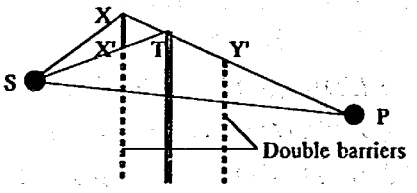
$$\triangle L(D)_{SXYP}=\triangle L_{SXP}+\alpha \qquad (6)$$

となり，Zone IとZone IIの境界での計算値の連続性は確保される。また，(6) 式より，(4) 式は5.1で検討したαを用いて定式化していることが確認できる。

次に，Zone Iでの計算については，$\triangle L_{SXP}$が支配的である高い受音点では，減音量を$\triangle L_{SXP}$だけで表しても，実験値との差は小さい。しかし，受音点がZone IとZone IIの境界に近づくと，受音点側の半無限障壁による回折効果を考慮する必要がある。ここでは，音源側の障壁を回折した音が，受音点側の障壁で回折する効果（負の行路差を有する）を$\triangle L_{XYP}$で代表させた。ただし，$\triangle L_{XYP}$は，二重障壁の間隔wが十分広い場合，受音点PがZone IとZone IIの境界線上にある時（行路差が0）に最大値5dBをとるが，wが小さくなると，$\triangle L_{XYP}$も小さくなり，w=0の時，0dBとなるため，受音点側の障壁による影響は，上述のαを用いて，基本的には，($\triangle L_{XYP}+\alpha-5$) と表せると考えた。しかし，二重障壁による減音量は音源側の半無限障壁による減音量$\triangle L_{SXP}$より小さくならないと仮定し，($\triangle L_{XYP}+\alpha-5$) が0より小さくなる場合は，Zone Iでの減音量は，$\triangle L_{SXP}$で表現した。



① 二重障壁X',Y'の回折効果を半無限障壁Tによる減音量$\triangle L_{STP}$で表す。



② 音源側の障壁の上端X'をXに延長することによる減音量の増加分を，$\triangle L_{SXP}-\triangle L_{STP}$で表す。

図－9　Zone IIにおける二重回折計算方法の導出

さらに，Zone IIにおける回折効果の算定は，以下のように考えた。図－8において，直線SYと音源側の半無限障壁の交点をX'，直線XPと受音点側の半無限障壁の交点をY'とする。ここで，前川の方法[1]によると図－9の①で示すように，上端を各々X'，Y'とする二重障壁による回折効果は，$\triangle L_{STP}$で近似できる。次に，図－9の②のように，音源側の障壁の上端X'をXに延長することによる減音量の増加分を，$\triangle L_{SXP}-\triangle L_{STP}$で表した。同様に，受音点側の障壁の上端Y'をYに延長することによる減音量の増加分は，$\triangle L_{SYP}-\triangle L_{STP}$で表せる。したがって，上端をX,Yとする二重障壁による回折効果は，近似的に，

$$\begin{aligned}\triangle L(D)_{SXYP} &= \triangle L_{STP}+(\triangle L_{SXP}-\triangle L_{STP})\\ &\quad +(\triangle L_{SYP}-\triangle L_{STP}) \qquad (7)\\ &=\triangle L_{SXP}+\triangle L_{SYP}-\triangle L_{STP}\end{aligned}$$

と表せる。しかし，このままでは図－9の①，②の仮定で生じた誤差がそのまま残ることになる。ここでは，Zone IとZone IIにおける計算値の連続性を満足させるため，すなわち，受音点Pが，Zone IとZone IIの境界線上にあり，YとPが一致する時に (6) 式を満足させるため，(7) 式の右辺にαの補正値を加えて定式化した。

5.3　模型実験による検証

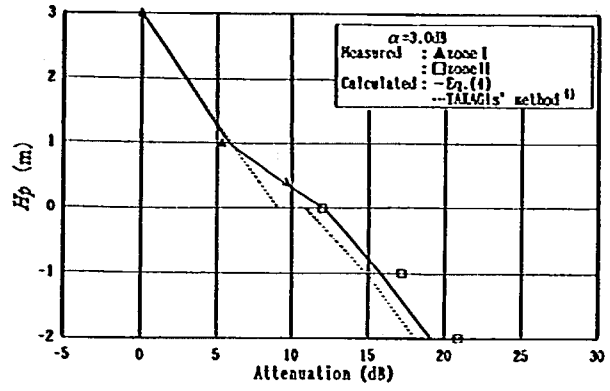
(4)式を3.2の模型実験値により検証した。なお，半無限障壁による減音量の計算には，前川チャート[10]を用いた。

図－10は，fが500Hz，wが1.5m，3m，5mの場合である。(5) 式により求めたαは，順に，3.0dB，4.0dB，4.8dBであった。模型実験値は，Zone IとZone IIに分類してプロットし，計算値は，(4) 式の方法を実線，高木らの方法[6]を破線で示している。

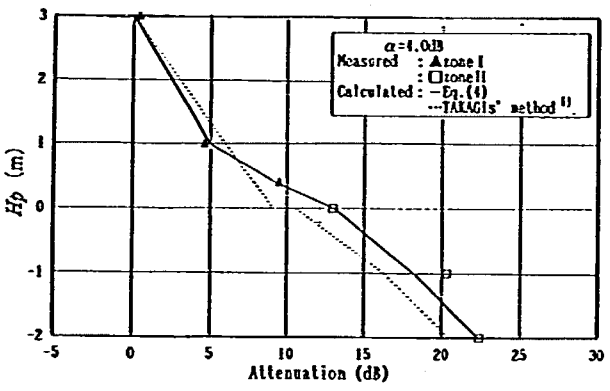
図－10 (a)，(b)，(c) とも，(4) 式の方法が，模型実験値との適合性においてすぐれているが，αが小さくなるにつれ，両方法による差は小さくなることが分かる。また，高木らの方法[6]は，$H_p=0$で計算値が不連続となっている。

図－11では，3. のすべての実験ケースにおいて，自動車走行騒音の代表パワースペクトル[11]で重み付けをした315Hz～1,600HzのA特性オーバーオール値として減音量を比較した。

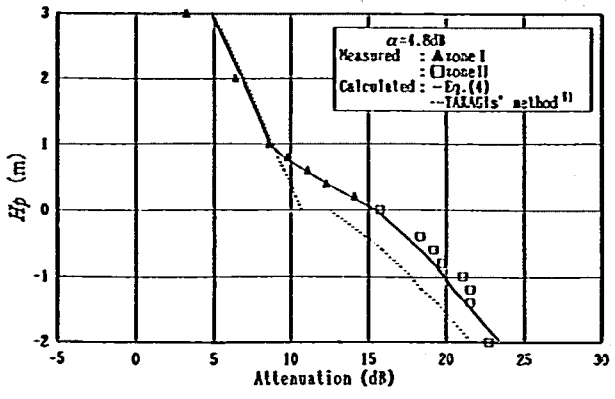
高木らの方法[6]による計算値と模型実験値の比較を行った図－11 (a) では，2. で指摘したとおり，Zone IとZone IIの境界付近で，計算値と実験値の乖離が



図－10 (a) 計算値と実験値の比較 ($w = 1.5$m, 500Hz)



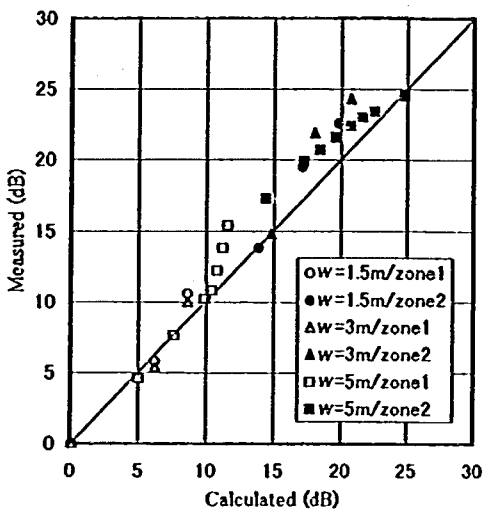
図－10 (b) 計算値と実験値の比較 ($w = 3$m, 500Hz)



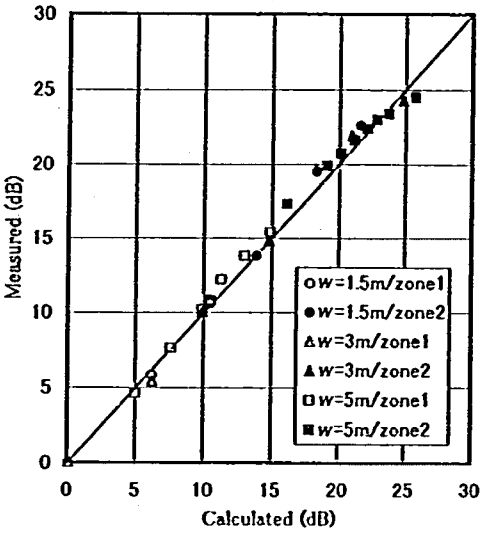
図－10 (c) 計算値と実験値の比較 ($w = 5$m, 500Hz)

大きくなり，最大で，計算値が実験値より4dB程度小さくなっている。

(4) 式の方法による計算値と模型実験値の比較を行った図－11 (b) では，計算値と実験値の差は最大でも2dB程度であり，非常によい一致を示している。ただし，図－10と併せて判断すると，Zone IIにおいて，受音点高さが低くなると計算値は実験値よりやや小さい値を示す傾向にある。なお，減音量が25dB付近では，計算値が実験値より大きくなる場合もあるが，実験値の減音量が25dB付近で頭打ちしている傾向が見られることから，実験値自体が実際よりや



図－11 (a) 計算値（高木らの方法[6]）と実験値の比較



図－11 (b) 計算値（(4) 式の方法）と実験値の比較

や小さい値となっていると推察できる。

6. ま と め

二重障壁による減音量$\triangle L(D)_{SXYP}$，反射性厚み障壁による減音量$\triangle L(RW)_{SXYP}$，吸音性厚み障壁による減音量$\triangle L(AW)_{SXYP}$に関して検討を行い，以下の成果を得た。

(1) 模型実験により，$\triangle L(D)_{SXYP}$，$\triangle L(RW)_{SXYP}$，$\triangle$ $\triangle L(AW)_{SXYP}$及び音源側障壁による減音量$\triangle L_{SXP}$の大小関係を受音点位置別に明らかにし，その原因について考察を行った。

(2) 従来，$\triangle L(D)_{SXYP}$及び$\triangle L(RW)_{SXYP}$の両方の計算に用いられていた高木の方法は，$\triangle L(RW)_{SXYP}$の計算により適していることを示すとともに，この方法に相反の定理を満たすような適用条件を追加した。さらに，受音点が障壁より高い場合の$\triangle L(RW)_{SXYP}$の計算方法を新たに追加して示し，模

型実験により検証した。

(3) $\triangle L(D)_{SXYP}$の新たな計算方法として相反の定理を満たし，すべての受音点において計算値の連続性を保つ方法を提案し，模型実験により検証した。

今後の課題としては，本論文で提案した回帰式，計算式のデータの蓄積による検証と物理的意味の明確化，及び吸音性厚み障壁による減音量の計算方法の検討等があげられる。

謝　辞

無響室における模型実験方法等に関して，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) Z. Maekawa : Noise reduction by screens, Applied Acoustics 1 (1968), pp.157 ~ 173.

2) U. Kurze : Noise reduction by barriers, J. Acoust. Soc. Am. 55 (1974), pp.504 ~ 518.

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

4) ISO/DIS 9613-2 : Attenuation of sound during propagation outdoors, Part2 : A general method of calculation (1992).

5) 堀田竜太，山本貢平，高木興一：二重回折効果の各種計算方法に関する検討，日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集 (1994)，pp.21 ~ 24.

6) K. Takagi, Y. Park, R. Hotta, K. Yamamoto: Comparison of simple prediction method for noise reduction by double barriers, Proceedings of Internoise 96 (1996), pp.779 ~ 782.

7) 庄野豊，吉田幸信，山本貢平：道路遮音壁先端に設置する騒音低減装置の開発，土木学会論文集，No.504/VI-25 (1994)，pp.81 ~ 89.

8) 庄野豊，吉村義朗，山本貢平：道路騒音低減装置 (ノイズリデューサー)の騒音低減効果に関する境界要素法による解析，土木学会論文集，No.574/VI-36 (1997)，pp.15 ~ 20.

9) 庄野豊，落合博明，高木興一：遮音壁の形状と厚さについての境界要素法による考察，日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集 (1994)，pp.205 ~ 208.

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

11) 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 (1994)，pp.233 ~ 239.

I－30 自動車騒音の単体規制を踏まえた将来の走行騒音パワーレベルの推定*

青木　理恵*1・上坂　克巳*1・大西　博文*1・石渡　俊吾*2

(1998年8月19日受付，1998年10月14日受理)

【要　旨】

環境アセスメントにおける道路交通騒音の予測には，将来パワーレベルの推定が必要となる。本稿では，まず，平成8年度に測定されたデータに基づくパワーレベル式と，従来の加速走行騒音規制強化に基づいて推定された将来パワーレベル式（第2段階規制式）とを比較した。その結果，第2段階規制式の妥当性がおおむね検証された。次に，新たに定常走行騒音規制に基づくパワーレベルの推定方法を提案し，これと従来の加速走行騒音規制強化に基づく方法を用いて最新の自動車単体規制を反映した将来パワーレベルを推定したところ，上記測定データに基づくパワーレベルからの低減量は0.8～1.5dBであった。

【ABSTRACT】

In order to predict road traffic noise for environmental impact assessments, future sound power levels of the vehicles must be estimated. In this paper, the formulas of future sound power levels that were estimated based on the past regulation of accelerated running noise are compared with the ones based on sound power level data measured in 1996. As a result, the validity of the formulas has been partly verified. Further, we have estimated the future sound power levels with our proposed estimating method based on the regulation of steady running noise and with the usual one based on the regulation of accelerated running noise, reflecting the latest regulation for motor vehicles noise. Consequently, the future sound power levels calculated by both the methods are smaller than those obtained from the data measured above by 0.8-1.5dB.

キーワード：将来パワーレベル，加速走行騒音規制，定常走行騒音規制，環境アセスメント，道路交通騒音

: Future Sound Power Level, Regulation of Accelerated Running Noise, Regulation of Steady Running Noise, Environmental Impact Assessment, Road Traffic Noise

1. はじめに

道路事業における環境アセスメントでは，供用時（通常10～20年後）における道路交通騒音の予測を行うため，自動車単体規制を反映した将来の自動車走行騒音のパワーレベルが必要となる。

将来におけるパワーレベルの推定式（以下，将来パワーレベル式）として，道路環境整備マニュアルでは，加速走行騒音規制強化によるパワーレベルの低減を推定する方法を示している[1]。この方法の妥当性については，参考文献2)で，平成元年以前のパワーレベル実測値に基づいて検討されているが，将来パワーレベル式と実測値の適合性の詳細な検証は行われていない。

一方，中央環境審議会では，新たに平成4年に加速走行騒音規制の目標値及び平成7年に定常走行騒音規制の目標値が設定され，今後の環境アセスメン

---

* Estimation of Future Sound Power Level of Road Vehicles Based on Noise Emission Regulation

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

*2 Syungo Ishiwata: Oriental Consultants Inc. (オリエンタルコンサルタンツ)

トにおいては，これらの規制強化を考慮した将来パワーレベル式を設定する必要が生じている。

本稿では，最新のパワーレベル実測データを用いて，既存の将来パワーレベル式（第2段階規制式）の検証を行うとともに，従来の加速走行騒音規制に基づく推定方法に加えて，新たに定常走行騒音規制に基づく推定方法を示し，両方法に基づく将来パワーレベルの低減量に関する検討を行うこととする。

2. 加速走行騒音規制に基づく既存の将来パワーレベル式（第2段階規制式）の検証

2.1 一般道路におけるパワーレベルデータの収集

平成8年度に関東地方の一般道路8カ所においてパワーレベルの測定を行った[3]。パワーレベルは，車両走行中心から約7.5 m離れた高さ1.2 mの点に設置したマイクロホンで単独走行する自動車騒音のピークレベルを測定し，自動車を完全反射面上にある無指向性点音源と仮定して算出した（ピーク法）。また，車種分類は大型車類については速度灯のあるものを大型車，それ以外を中型車とし，さらに小型貨物車及び乗用車を加えて4車種分類とした。なお，測定台数は大型車455台，中型車301台，小型貨物車243台，乗用車593台，計1,592台であった。

図−1に4車種毎の走行速度V (km/h) とパワーレベルL_wの散布状況及び回帰式，ならびに回帰式の相関係数γと標準偏差σを示した。回帰式は$L_w=B+0.2V$（平成8年実測式1），$L_w=C+a\log(V/50)$（平成8年実測式2）の形の2通りとした。両式を比較すると相関係数γでは大差がなかったが，標準偏差σは後者の方がやや小さかった。

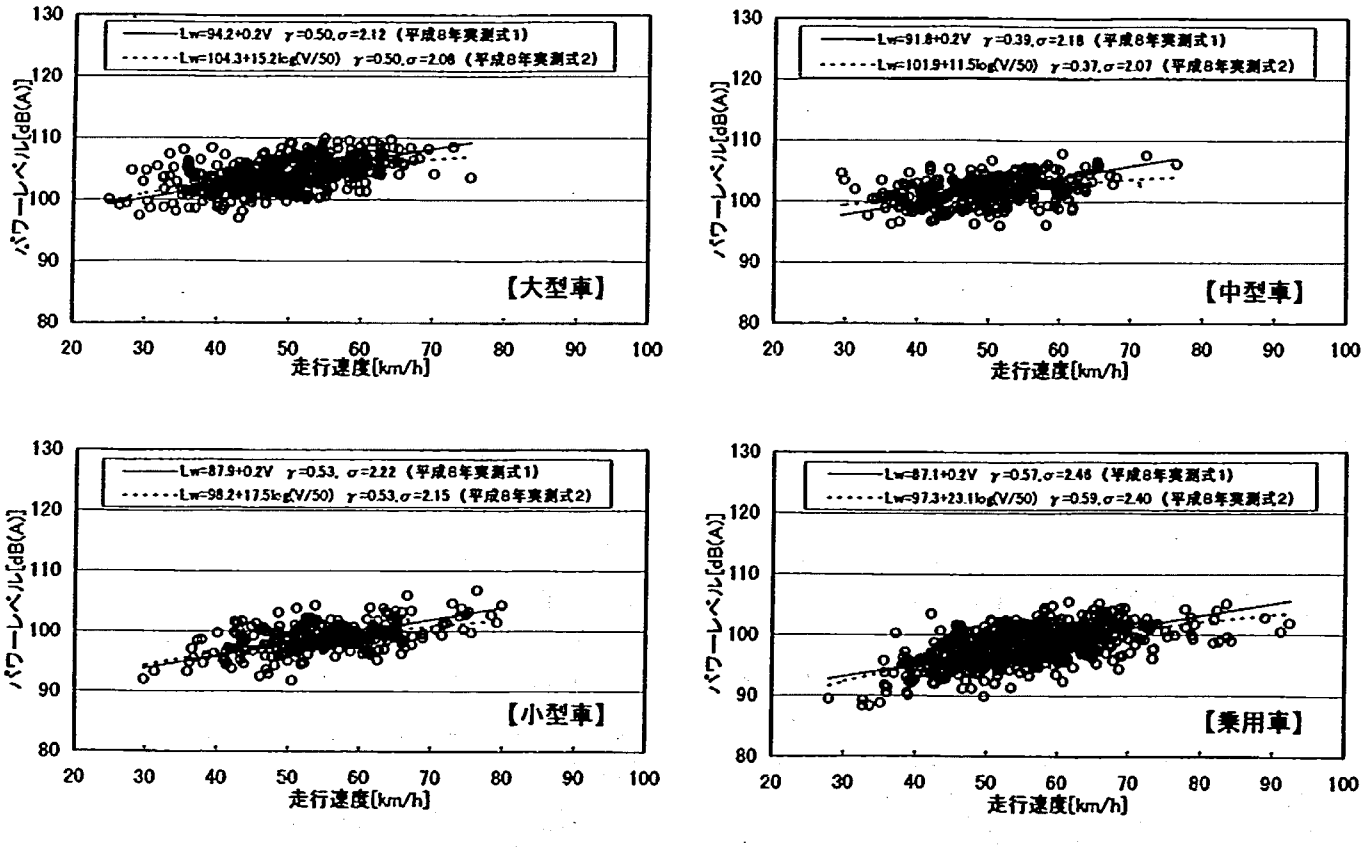
2.2 既存の将来パワーレベル式（第2段階規制式）の検証

本稿では，昭和48年度までに公表されたパワーレベル実測値の報告に基づき日本音響学会がとりまとめたパワーレベル式を「46年実測式」という。道路環境整備マニュアルで示された将来パワーレベル式は，46年実測式をもとに，昭和51年の中央公害対策審議会（現中央環境審議会）答申「自動車騒音の許容限度の長期的設定方策について」に基づく，加速走行騒音規制強化の効果を考慮した推定式である。この方法によると規制強化に基づくパワーレベルの低減量は次式で示される[2]。

$$D_{pw}=10\log\{\alpha+(1-\alpha)\times10^{(-D_A/10)}\} \quad (1)$$

ここで，D_A：加速走行騒音の低減量（dB）

D_{pw}：パワーレベルの低減量（dB）



図−1　平成8年度に測定したパワーレベル

α：定常走行時のタイヤ/路面音の寄与率（表－1参照）

ここでは，2.1に示した現状のパワーレベル測定データを用いて，(1)式に基づいて設定された既存の将来パワーレベル式を検証することとする。ただし，2.1の測定対象車両は，ほぼ，第2段階規制（昭和57～62年規制）適合車両とみなせるため，第2段階規制に対応した将来パワーレベル式（第2段階規制式）と，測定データに基づいたパワーレベル式（平成8年実測式1）との比較検証を行う。

46年実測式と第2段階規制式は次式で示される[2]。

46年実測式　：小型車類　$87.0+0.2V$
　　大型車類　$97.0+0.2V$　(2)

第2段階規制式：小型車類　$86.0+0.2V$
　　大型車類　$93.0+0.2V$　(3)

なお，小型車類とは小型貨物車・乗用車，大型車類とは大型車・中型車をいう。

ここで，図－1における平成8年実測式1を2車種分類で表現すると次式となる。

平成8年実測式1：小型車類　$87.3+0.2V$
　　大型車類　$93.4+0.2V$　(4)

まず，エンジン音の寄与が大きい大型車類では，(3)式（第2段階規制式）において，(2)式（46年実測式）より4dBのパワーレベル低減量を見込んでいたが，(2)式と(4)式（平成8年実測式1）を比較すると，それと同程度の3.6dBの低減量が確認できる。このように，大型車類においては，(3)式は第2段階規制の効果を適切に反映していると言える。

しかし，小型車類では，(3)式において(2)式より1dBのパワーレベル低減量を見込んでいたが，(4)式の定数項は，(2)式よりもやや大きく，第2段階規制の効果は確認できなかった。これは，小型車類ではエンジン音の寄与率が小さく加速走行騒音規制強化の効果が現れにくいことに加え，近年の車両の高性能化に対応した幅の広いタイヤの使用等に伴い，昭和46年当時よりタイヤ/路面音が増加している可能性がある。

表－1　定常走行時のタイヤ/路面音の寄与率[4]

	小型車類		大型車類	
車　種	乗用車	小型車	中型車	大型車
タイヤ/路面音寄与率	76.0%	62.0%	51.0%	64.0%

3. 将来のパワーレベル低減量の検討

平成4年11月30日に中央公害対策審議会中間答申「今後の自動車騒音低減対策のあり方について」において，加速走行騒音規制の目標値（および第二段階規制からの低減量）が設定されている。また，平成7年2月28日の中央環境審議会答申「今後の自動車騒音低減対策のあり方について（自動車単体対策関係）」においては，さらに，定常走行騒音規制の目標値が設定されている。これらを表－2に示す。2.1における大型車，中型車，小型貨物車，乗用車の分類は，両答申における単体規制の大型車，中型車，小型車，乗用車の分類におおむね対応するため，以下，これらは同義とする。

ここでは，図－1に示した現状パワーレベルのデータをもとに，両答申における自動車単体規制強化を考慮した将来パワーレベル低減量の検討を行った。

3.1　加速走行騒音規制に基づく将来のパワーレベル低減量の推定方法

加速走行騒音規制に基づく将来のパワーレベル低減量は，(1)式により求めた。ただし，定常走行時のタイヤ/路面音の寄与率αについては速度毎に変化するが，図－1における測定車両の速度分布がおおむね40～80km/hの範囲内であるため，参考文献4)における40km/h及び80km/h走行時の平均値を便宜的に用いた（表－1参照）。

3.2　定常走行騒音規制に基づく将来パワーレベル式及びパワーレベル低減量の推定方法

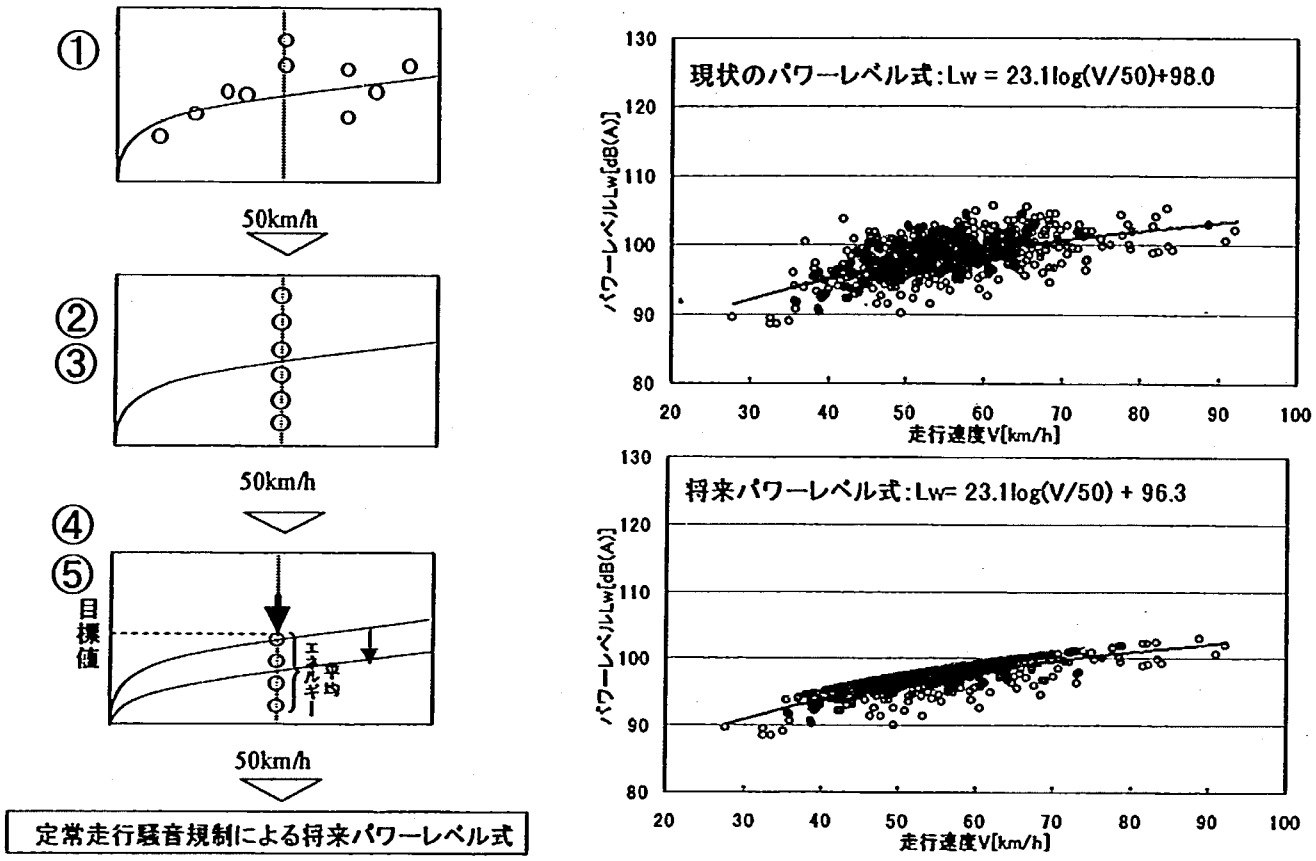
定常走行騒音の単体規制（50km/h走行時対象）を考慮した将来パワーレベル式及び将来のパワーレベル低減量を以下の手順で算出した（図－2参照）。

ただし今後は，道路交通騒音の評価量が，L_{50}からL_{eq}に変更になることを想定し，パワーレベル式の設定に当たってはパワーレベルデータのエネルギー平均を行った。

① 2.1の測定データの回帰式（図－1参照）のうち，標準偏差の小さい平成8年実測式2において，車種iの回帰式を$C_i+a_i\log(V/50)$で表す。

表－2　今後の自動車単体規制の目標値[5]

	乗用車	小型車	中型車	大型車
加速走行騒音規制の低減量	2dB	2dB	3dB	2dB
定常走行騒音規制の目標値	72dB	74dB	79dB	82dB



図－2　定常走行騒音規制に基づく将来パワーレベル推定の模式図（乗用車の場合）

② 車種 i のパワーレベル測定データ（速度 V_m, パワーレベル L_{im}）を，$L_{i50}=L_{im}-a_i\log(V_m/50)$ の式により，50 km/h のパワーレベル L_{i50} に変換する。

③ ②で得られた L_{i50} のデータをエネルギー平均し，平成8年度データに基づく現状のパワーレベル式の定数項 C'_i（50 km/h 走行時のパワーレベルに当たる）を算出する。

④ ②で得られた L_{i50} が定常走行騒音規制の目標値（表－2）より大きい場合，そのパワーレベルを目標値まで低減させる。

⑤ ④で得られたパワーレベルデータをエネルギー平均し将来パワーレベル式の定数項 C''_i を算出する。

⑥ $C'_i-C''_i$ を車種 i の将来のパワーレベル低減量とした。

3.3　将来のパワーレベル低減量の推定結果

3.1及び3.2の方法に基づいて算出したパワーレベルの低減量を表－3，表－4に示した。表－3は4車種分類の場合，表－4は2車種分類の場合である。なお，表－4における3.1及び3.2の方法による低減量の算出に当たっては，2.1のパワーレベル測定データの車種構成比を用いて，現状及び将来の4車種分類における50 km/h 走行時のパワーレベルを，各々2車種分類に統合し，その差をとった。また，表－3，表－4における将来パワーレベル低減量は，3.1の方法による低減量と3.2の方法による低減量のうち大きい方を採用している。これは，将来の車両には加速走行騒音規制及び定常走行騒音規制の両方が適用されることによる。

表－3　将来のパワーレベル低減量（4車種分類の場合）

	乗用車	小型車	中型車	大型車
3.1の方法による低減量	0.4dB	0.7dB	1.2dB	0.6dB
3.2の方法による低減量	1.7dB	0.9dB	0.2dB	0.2dB
将来パワーレベル低減量	1.7dB	0.9dB	1.2dB	0.6dB

表－4　将来のパワーレベル低減量（2車種分類の場合）

	小型車類	大型車類
3.1の方法による低減量	0.5dB	0.8dB
3.2の方法による低減量	1.5dB	0.2dB
将来パワーレベル低減量	1.5dB	0.8dB

表－4において，車種別に単体規制の効果を見ると，小型車類では，タイヤ音の規制も含めた定常走

行騒音規制（3.2の方法）の効果が大きく，大型車類では，エンジン音の規制を主とする加速走行騒音規制強化（3.1の方法）の効果が大きいことが分かる。両方の規制を考慮すると，将来のパワーレベルは，現状より，小型車類で1.5dB，大型車類で0.8dB低減すると推定される。

4. ま と め

単体規制を踏まえた自動車走行騒音の将来パワーレベルに関する検討を行い，以下の成果を得た。

(1) 既存の将来パワーレベル式（第2段階規制式）と平成8年度のパワーレベル測定データに基づく回帰式とを比較したところ，大型車類では推定された4dBの低減量と同程度の3.6dBの低減量が確認できた。しかし，小型車類に見込まれた1dBの低減量は，今回のデータでは確認できなかった。

(2) 定常走行騒音規制に基づく将来パワーレベル推定方法を提案した。

(3) 平成4年及び平成7年に中央環境審議会で設定された加速走行騒音規制及び定常走行騒音規制の目標値を考慮すると，将来のパワーレベルは，現状より約0.8～1.5dB低減すると推定される。

なお，環境庁では，平成7年の中央環境審議会の答申時に，走行中の車が全て単体規制の目標値に適合した場合，直線道路沿道の騒音レベル（L_{50}）は0.9～1.3dB低減すると試算している。一方，本稿で推定された将来パワーレベル低減量を用いると，沿道の騒音レベル（L_{Aeq}）は，大型車混入率に応じ，0.8～1.5dB低減すると試算される。したがって，これら2つの試算結果は，おおむね一致している。

今後の課題は，以下のとおりである。

(1) 今回のパワーレベルデータは，一般道路で測定したものであり，今後，高速道路の測定データも加えて同様の検討を行う必要がある。

(2) 今回の検討は，規制強化後も，パワーレベルの速度依存性が変わらないという前提で行っているため，より正確には，規制強化後の速度依存性の変化も検討すべきである。

(3) 定常走行騒音規制に基づく方法は，現時点で規制値を下回っている車両については，規制強化の効果が現れないという仮定に基づいており，規制強化の効果を過小に評価している可能性がある。したがって，今後は，加速走行騒音規制および定常走行騒音規制を組み合わせた場合における将来パワーレベルの低減量を推定するにあたり，エンジン音，タイヤ/路面音各々の低減効果を分離して検討する必要がある。

参 考 文 献

1）道路環境整備マニュアル，日本道路協会，pp. 119-121, 1989. 1

2）足立，木嶋，宮川：道路交通騒音に用いるパワーレベル式の検証，土木技術資料，第三十一巻第四号 pp. 235-240, 1989. 4

3）上坂，大西，那須，押野：エネルギーベース騒音予測法の一般道路への適用性の検討，日本音響学会騒音・振動研究会資料，N-97-55, 1997. 8

4）自動車交通と騒音，社団法人自動車工業会騒音部会，p. 36, 1993. 9

5）平成8年自動車交通騒音実態調査報告，環境庁大気保全局，pp. 18-19, 1997. 12

I－31　アクティブソフトエッジを用いた遮音壁について

The Noise Barrier with Active Acoustic Soft Edge

○正　大西慶三（三菱重工）　正　西村正治（三菱重工）
大西博文（建設省）　上坂克巳（建設省）

Keizo OHNISHI, Mitsubishi Heavy Industries, LTD., Takasago R&D Center, Takasago, Japan
Masaharu NISHIMURA
Hirofumi OHNISHI, Ministry of Construction, Public Works Research Institute, Tsukuba, Japan
Katsumi UESAKA

Recently there are great needs to reduce the community noise from traffic. Especially noise barriers, several new types of them were developed as passive control method; e.g. absorbing materials on the edge of it, some particular shapes on the edge et al. But the former is effective over 500Hz or the latter usually has big size. In case drainage surface is installed on the road, the superior frequency of noise after the noise barrier will be shifted to lower frequency under 500Hz.
We are developing the new type noise barrier with the active controlled device on the edge of it. The device is set the surface sound pressure reflection ratio -1 (Acoustical soft condition) with wide frequency range. We show the basic concept and the results of the simulation comparing absorbing type noise barrier. The attenuation of the new concept noise barrier is 3 to 5dB superior than absorbing type one under 500Hz.

Key Words: Active Noise Control, Road Traffic Noise, Noise Barrier

---

1. 緒　言

環境騒音に関して、自動車、鉄道等の交通騒音やプラント騒音の対策等に用いる遮音壁の高性能化のニーズはますます高まっている。

これに対し、種々の新デザインの遮音壁が提案されてきた（例えばMayら[1]、島ら[2]、藤原ら[3]、松本ら[4]、Fujiwara[5]、大久保ら[6]等）。これらの主要な減音メカニズムは以下の３つに大別されると考えられる。

(1) 遮音壁先端部の形状によるもの(形状効果)[1][2]
(2) 遮音壁先端部の吸音力によるもの(吸音効果)[3][4][11]
(3) 遮音壁先端部を音響的にソフトにするもの(ソフト境界効果)[5][6]

(1)については減音効果(挿入損失)を上げようとすると一般には大きなサイズが必要となる。(2)では概ね500Hz以下の低い周波数域での減音効果が小さい。また(3)については理論的に回折音の低減効果が大きいことが示されており、大久保ら[5]は対象波長の1/4の深さの音響管の開口部をソフト境界(音圧反射率＝－1の境界)として用い、周波数範囲を限定して設計すればかなりの効果があることが判っている。

筆者らはアクティブノイズコントロールの技術を用いて遮音壁先端部(エッジ部)を広い周波数範囲で音圧反射率＝－1の境界とし、コンパクトなサイズで遮音壁での回折音を低減する「アクティブソフトエッジ(以下ASE)」を開発中である。本報ではその基本コンセプト及びシミュレーションによるエッジ部への配置形状の検討結果について報告する。またパッシブ方式との組み合わせを考えた音圧反射率の設計方針について述べる。

2. アクティブソフトエッジの基本コンセプト

ASEの構成をFig.1に示す。ASEはマイクロホン、アクチュエータ、エンクロージャ、表面材からなるASEセルと マイクアンプ、制御回路、パワーアンプからなるASE制御回路で構成される。

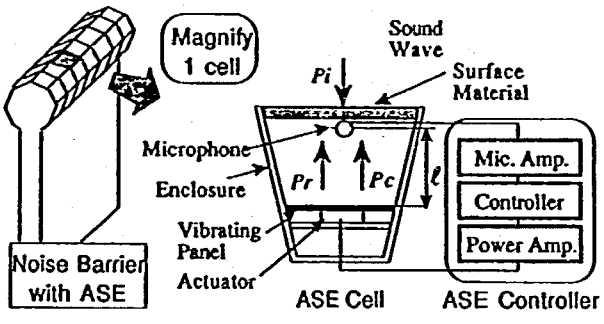


Fig.1 Composition of the Active Soft Edge

ASE制御系の一巡伝達特性をGとすると、セル外から表面材を見た単位面積音響インピーダンス比ζ_f及び音圧反射率rはそれぞれ(1),(2)式のように表すことができる[5]。

$$\zeta_f = \frac{R_f}{\rho c} - \frac{1}{G - i(1-G)\tan k\ell} \qquad (1)$$

$$r = \frac{\zeta_f - 1}{\zeta_f + 1} \qquad (2)$$

ここでR_fは表面材の流れ抵抗、ℓは振動板からマイクロホンまでの距離、kは波数である。
(1)式においてGの絶対値を無限大にし、且つR_fが非

常に小さい場合(3)式が成立する。

$$\zeta_f = 0 \qquad (3)$$

(2)式に代入すると(4)式が成り立ち、音圧反射率＝－1の境界が実現できる。

$$r = -1 \qquad (4)$$

これらのＡＳＥセルを遮音壁エッジ部に複数設置する。ＡＳＥセルの表面部のサイズとしては制御しようとする音波の最短波長より十分に短ければ良い。これらのコンセプトは、例えば西村ら[7][8]が提案している方法を用いて実現可能と考えられる。

3. エッジ部の適正形状の検討

ＡＳＥを遮音壁エッジ部に設置する際の適正配置についてｼﾐｭﾚｰｼｮﾝを実施した。ここでは数種類のエッジ部の形状(ASEの配置方式)に対して、同一の高さを持つ単一遮音壁との減音効果の比較を行い、適正なASE配置を選定する。ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝには２次元境界要素法を用いた。ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ配置をFig.2に示す。遮音壁エッジ部形状をFig.3に示す。Fig.3において太線で表した箇所の境界条件は以下の３通りを与えた。計算は125Hzから500Hzまでの1/3ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ中心周波数で実施した。

(1) 音響ｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽ=0 (音圧=0) [ASE: 音圧反射率=－1]
(2) 音響ｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽ=ρc [表面が吸音性の場合に相当]
(3) 音響ｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽ=∞(粒子速度=0)[形状効果分を算出]

音源位置がAの場合の250Hzでの計算結果をFig.4に示す。計算結果は全て同一の高さを持つ単一遮音壁(1-0型)との音圧差（Fig.2の黒四角4点のｴﾈﾙｷﾞｰ平均値の差）で示す。全ケースについてASE(音圧反射率=－1)は吸音性の効果を上回る。3-1型が最も減音効果が大きいが、道路の建築限界を超える可能性がある。その他４ケースはほぼASEの効果が11～12dBで均衡しているが、この中で6-2型が一断面あたりの境界線分長さ（同一サイズのＡＳＥのセル数に相当）が最も短いため設置費用対効果に優れる（ASEセルのｻｲｽﾞを15cm角とすると4ｹ分）。6-2型について音源位置がBの場合の結果をFig.5に示す。音源が遮音壁から遠ざかることにより減音効果は減少するが、ＡＳＥの効果は5dBであり依然 吸音性の効果を約3dB上回る。

4. 音圧反射率の設計方針

高周波域の騒音に対してＡＳＥ制御を実現するにはＡＳＥセルのサイズを小さくしなければならず、非常に多くのセルが必要になる。そのため費用対効果を考慮すると高周波数域ではパッシブな方式で吸音を実現するのが現実的だと考えられる。音圧反射率に対する設計方針をFig.6に示す。f_1, f_2はそれぞれASE制御下限，上限周波数であり、これらは制御対象となる受音点騒音等のｽﾍﾟｸﾄﾙﾊﾟﾀｰﾝによって決める。下限周波数f_1はｽﾍﾟｸﾄﾙﾊﾟﾀｰﾝの他アクチュエータの性能等も関係し、100～200Hz程度と考える。上限周波数f_2はｽﾍﾟｸﾄﾙﾊﾟﾀｰﾝの他、ASEセルのサイズ、コントローラの性能等も関係するが500～1kHz程度になるであろう。f_2以上の周波数域ではパッシブな方式で吸音を実現する。

道路交通騒音に関しては概ね500Hz以下の周波数域での減音効果が大きい排水性舗装等の低騒音舗装[9]の実用化が進んでおり、これらの対策が進めば、騒音のｵｰﾊﾞｰｵｰﾙ値(dB(A))には概ね500Hz以下の周波数域の影響が顕在化してくることが予想される。低周波域からの騒音低減をターゲットとするこのような遮音壁のニーズは今後高くなると考えられる。

5. 結　言

遮音壁エッジ部を広い周波数範囲で音圧反射率＝ －1の境界とし、コンパクトなサイズで遮音壁での回折音を低減する「アクティブソフトエッジ(ASE)」を用いた遮音壁について検討し、以下の結論を得た。

(1) ASEの基本コンセプトを提案した。
(2) ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝにより適正なエッジ形状を見出した。

今後の課題として、ＡＳＥセルの製作、実験による減音効果確認、実地条件でのシミュレーション評価等が考えられる。

参考文献

1). May et al, Highway Noise Barriers: New Shapes, J. of Sound and Vibration, 71(1), 1980
2) 島他, 分岐型遮音壁の騒音低減メカニズム(2), 日本音響学会講演論文集, 1997/3
3) 藤原他, 円筒状エッジを持つ障壁による音波回折, 日本騒音制御工学会講演論文集, 1976/12
4) 松本他, 道路交通騒音に対するノイズレデューサの設置効果、日本騒音制御工学会講演論文集, 1989/9
5) Fujiwara, Is it possible to get more attenuation by thin barrier than that predicted by Maekawa's Chart?, 環境音響国際シンポジウム論文集, 1989/5
6) 大久保他, ｿﾌﾄな円筒ｴｯｼﾞを持つ防音壁の遮音性能に関する研究, 日本騒音制御工学会講演論文集, 1989/9
7) 西村他, アクティブ吸音壁の開発(1), 日本音響学会講演論文集, 1997/3
8) Nishimura et al, Development of Active Acoustic Treatment (Phase1), Proc. of Active '97, 1997/8
9) 寺門他, 排水性舗装の現状と低騒音舗装の取組み, 土木施工, 37(12), 1996/12
10) 大西他, アクティブソフトエッジ遮音壁の開発(1), 日本音響学会講演論文集, 1997/9
11) 西村他, セラミック製回折エッジによる吸音効果を利用した防音壁の開発, 日本機械学会 環境工学総合シンポジウム'91講演論文集, 1991/8

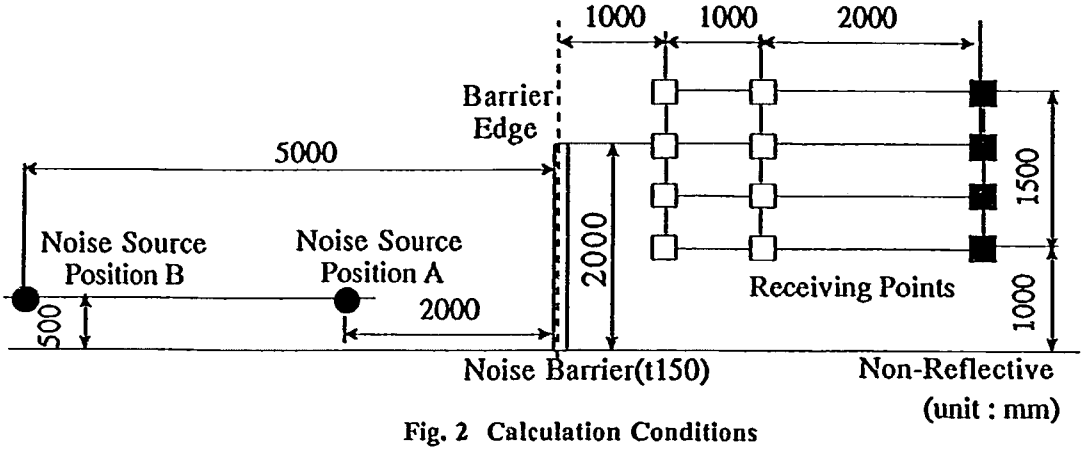


Fig. 2 Calculation Conditions

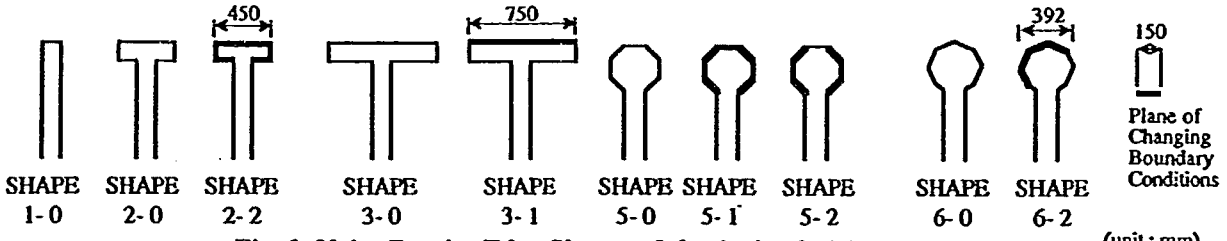


Fig. 3 Noise Barrier Edge Shapes of the Active Soft Edge Cells

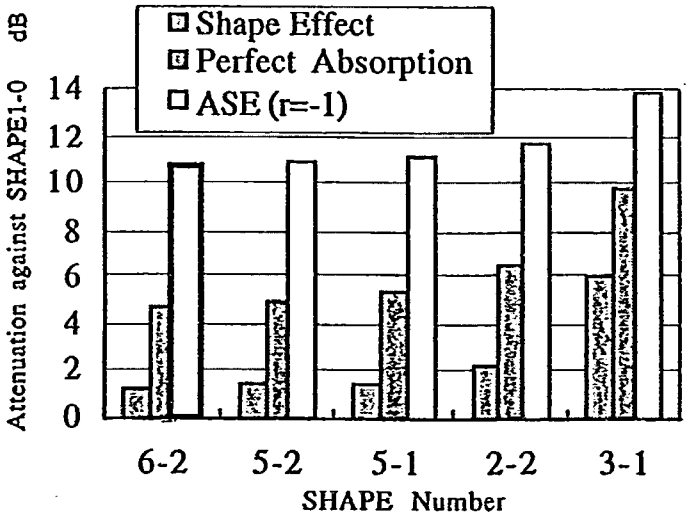


Fig. 4 Attenuation against SHAPE 1-0
(Noise Source Position A : 250Hz)

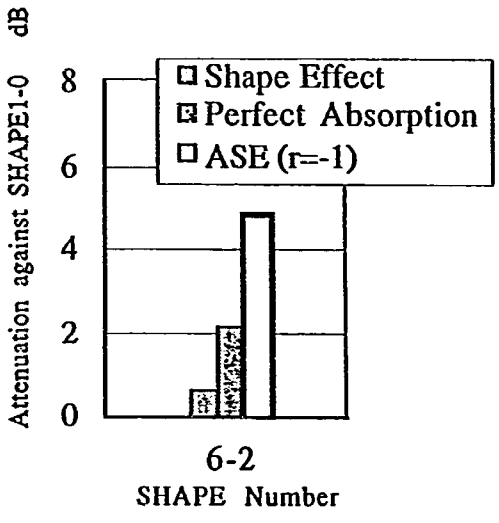


Fig. 5 Attenuation against SHAPE 1-0
(Noise Source Position B : 250Hz)

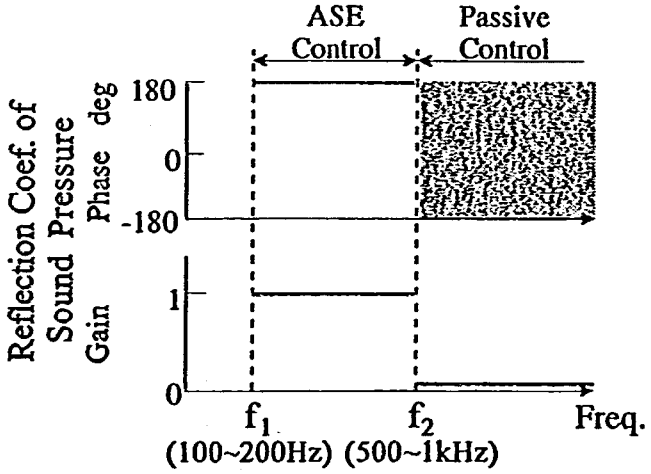


Fig. 6 Target Reflection Coef. of ASE

（発表論文等）

II. 大気汚染に関する研究

Ⅱ－1　トンネル換気ガス中のSO_2濃度変化について

大西博文、○大城　温（建設省土木研究所）

1．　はじめに

自動車排出ガスに起因する大気汚染対策において、最も基本となるものは発生源対策である。その一環として 1997 年 7 月の規制強化により、大気汚染物質のうち硫黄酸化物の発生源となる軽油中の硫黄含有量上限値が、0.20%以下から 0.05%以下に引き下げられた。

本稿では、この燃料規制強化による自動車起因のSO_2排出量減少効果について定量的に比較するために、トンネル換気ガス中に含まれるSO_2濃度分析を行った。

2．　検討方法

本稿では、首都高速道路湾岸線空港北トンネルにある京浜島換気所において、規制強化前後に測定されたデータを比較した。測定期間は、規制強化前については 1997 年 2 月 17 日～23 日、強化後については 1997 年 8 月 22 日～28 日のそれぞれ 1 週間である。測定は 1 時間平均値であり、各日とも 24 時間連続で行われた。

自動車排出ガスを含むトンネル換気ガス中の二酸化硫黄濃度に影響を及ぼす要因として、交通量・平均走行速度・トンネル換気量などが挙げられるが、自動車 1 台あたりの排出量をこれらの条件から単純に求めることは難しいと考えられる。そこで、本稿ではそれらの要因について取り上げるのではなく、燃料消費量と比例関係にあると考えられるCO_2濃度とSO_2濃度の関係から分析を行うこととした。

3．　分析結果と考察

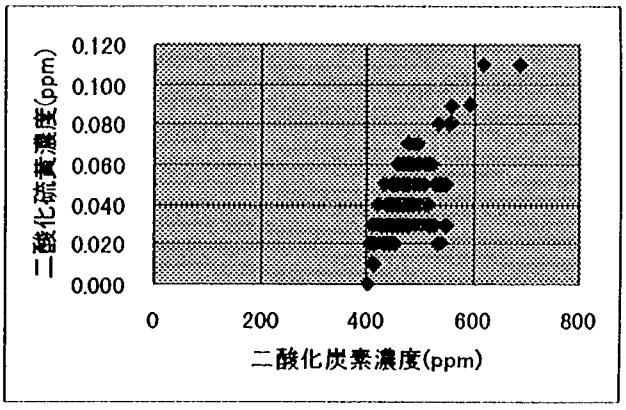
SO_2とCO_2の 1 時間平均値の関係を規制強化前及び規制強化後について、図－1 及び図－2 に示した。図－1、2 によると、車道上のガスであるトンネル換気ガスではあるが、燃料規制強化前では測定値の半数近くがSO_2の環境基準 0.04ppm を上回っていたが、強化後では測定値が 0.01ppm 程度以下と激減した。

また表－1 にSO_2とCO_2の濃度比の規制強化前後での変化を示した。この濃度比は図－1、2 から求めた回帰式の回帰係数である。改正前後の回帰係数の変化割合は 0.23 であり、ＪＩＳ規格の変化割合 0.25 に近くなっていることから、1997 年 7 月前後のSO_2排出量の減少は軽油中の硫黄含有量の減少によるものと考えられる。

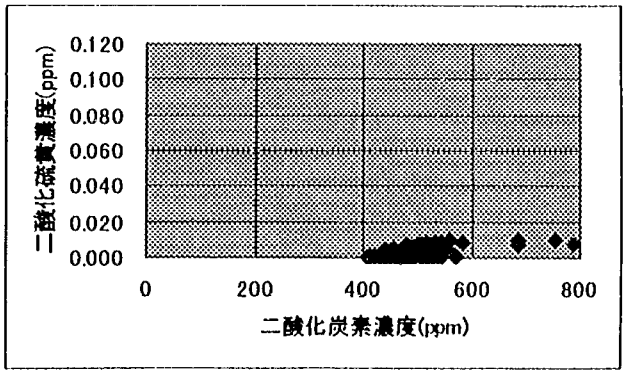
4．　まとめ

自動車排出ガスによる大気汚染対策における、発生源対策としての軽油中硫黄含有量引き下げの有効性が観測値に基づいて定量的に明らかになった。

末筆となりましたが、本研究に当たってご多忙にもかかわらず、貴重なデータを提供していただいた（財）先端建設技術センターの田中大介氏に厚く御礼申し上げます。



図－1　規制強化前のSO_2とCO_2濃度の関係



図－2　規制強化後のSO_2とCO_2濃度の関係

	改正前	改正後
SO2/CO2	0.000536	0.000123
相関係数	0.76	0.49
サンプル数	168	168

表－1　規制強化前後の濃度比変化

Ⅱ－2 大気拡散模型実験における自動車模型走行装置とブロワーによるトンネル坑口の噴流性状

○川上　篤史、江橋　英治、大西　博文（建設省土木研究所）
太田　義和、尾崎　元春（㈱千代田コンサルタント）

1. はじめに

拡散風洞実験装置での堀割道路模型実験において、自動車排気ガスの坑口からの噴流現象を再現するには自動車による車道内走行風を考慮に入れなければならない。従来は車道内走行風を模擬するにはブロワーを用いるのが一般的であり、実験装置が簡便であるばかりでなく、吐出風速も比較的自由に設定できることも大きな特徴となっている。しかしながら、実際の一方向交通トンネルは交通換気力のみで噴流現象が成立しているため、ブロワーによる噴流現象に比べて走行自動車による気流の乱れが特に坑口付近では大きいと考えられる。そこで、近年では模型自動車を走行させることにより交通換気力を模擬する自動車模型走行装置（以下、走行装置）を用いることが多く、堀割道路においてはこの走行装置による呼吸量等の再現性が確認されている[1]。しかし、ブロワーと走行装置を用いたときの噴流の性状についてはいままで研究した事例は少ない。そこで、本稿ではブロワーで模擬した噴流の性状と走行装置を用いたときと比較し、その基本的な特性について検討したので報告する。

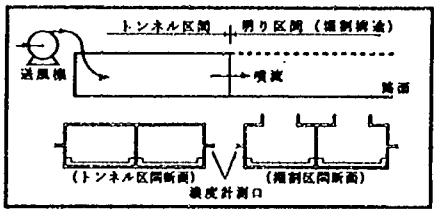


図１　送風機による実験

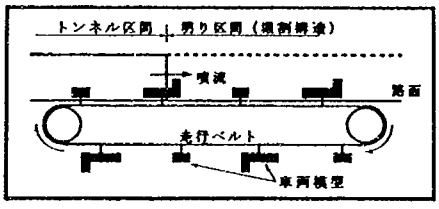


図２　走行装置による実験

2. 調査方法

矩形断面トンネルに接続する堀割道路について、風洞模型実験を行った。実験は坑口部からの噴流現象をブロワー(図1)と走行装置(図2)により模擬して行い、坑口から明かり部へ道路軸方向に濃度を図１に示す側壁中央で測定した。

3. 調査結果

模型実験より、坑口付近の明かり部の区間における噴流の濃度減衰を出口坑口の濃度を１として比較した(図3)。その結果、濃度減衰は走行装置による噴流の方がブロワーより大きくなっている。この差異は走行装置の場合、走行自動車によってガスが車道外に拡散されたためであると考えられる。

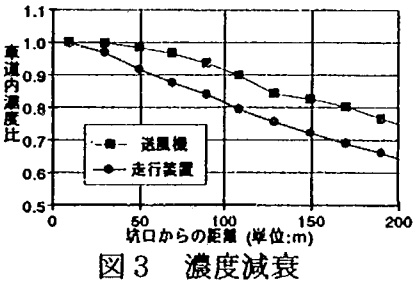
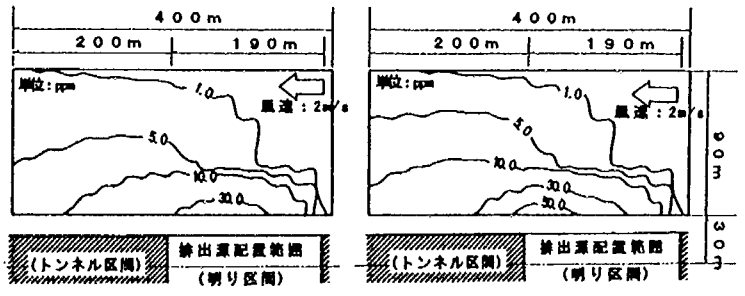


図３　濃度減衰

この車道内濃度比より車道外へ拡散するガス量を推定し、それを明かり区間における点煙源として解析解モデルにより沿道の拡散状況を計算した一例を図４に示す。この結果、車道部端から約３０m程度までは拡散性状に顕著な差が現れるが、３０m以遠ではほとんど差が生じなくなる。このことから、道路近傍における坑口拡散の影響を高い精度で検討を加える場合には、走行装置を用いる実験手法の方が適切であると言える。



（送風機による方法）　（走行装置）
図４　拡散濃度分布

4. おわりに

勾配部等では構造的制約から走行装置を用いることができず、ブロワーを用いなければならないことがある。今後は本実験で得たデータを参考にブロワーを用いた実験の濃度減衰率の補正方法について検討する必要があると考えられる。

[参考文献]　1)石田稔、稲沢太志, 土木技術資料, Vol.37 No.2, pp.18-23

Ⅱ－３　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*

Prediction Model of Carbon-dioxide Emission from Urban Transport Sectors

小根山裕之**・大西博文**

*By Hiroyuki ONEYAMA**・Hirofumi OHNISHI**

１．はじめに

地球温暖化については、気候変動枠組み条約に基づき１９９７年１２月に京都で開催された第３回条約締約国会議（ＣＯＰ３）において各国の削減目標が示された。我が国は「２００８年～１２年までに温室効果ガスを１９９０年の水準の６％削減」することとされ、各部門における一層の温室効果ガスの削減が求められている。

このような中、活動の集中している都市地域では自動車を中心とした交通部門からの排出量も多く、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されている。このためには、施策の効果、実現性などを考慮しつつ温室効果ガス、特に二酸化炭素（CO2）を削減するためのより効果的な施策の組み合わせを実施する必要があるが、様々な施策の CO2 排出量の削減効果を推計できるモデルはまだ作成されていない。

本研究は、都市の交通部門における CO2 排出量の削減施策の効果を推計するモデルの基本的枠組み及びモデルへの施策の導入方法を提案するものである。

２．CO2排出量削減効果推計モデルの構造の検討

（１）モデルが満たすべき要件

本モデルは、都市の交通部門における CO2 排出削減施策の効果、利便性に与える影響、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。そのため、本モデルでは、都市交通に関する広範囲にわたる施策を扱うことができるとともに、効果の概括的把握が可能な、操作性のよいモデルとすることが望ましい。

これらを踏まえ、本モデルにおいては以下のような特徴をもったモデルを構築することとした。

・広範囲にわたる施策を評価できること

都市における CO2 排出量削減施策に関する様々な施策オプションの組み合わせを検討するため、現在行われている、もしくは検討されている広範囲な施策の CO2 排出量削減効果を評価することができるモデルとする。

・走行台キロ、走行速度等の予測

自動車からの CO2 排出量を把握するには、自動車の走行台キロの変化、走行速度の変化等 CO2 排出量に関係する要素を正確に把握する必要があり、これらを把握できるモデルとした。

・モデルの操作性

広範囲にわたる施策を評価するためには、道路ネットワークの精緻な再現など、細部にわたるモデル化が必要となる場合があるが、それにより計算が複雑になるとともに、不確定要因が増加し、必ずしもモデルの精度向上にはつながらない。従って、本モデルでは、施策の効果を概括的に把握することを目的とし、より簡便で操作性のよいモデルとなるよう留意した。

（２）モデルの基本的構造

本モデルでは、ある程度まとまった都市全体を対象とした推計モデルを作成する。地域的状況の違いを考慮するため、都市をゾーンに区分する。簡略化

---

*キーワーズ：環境計画、地球環境問題、総合交通計画

**正員、建設省土木研究所　環境部交通環境研究室
（茨城県つくば市旭１番地、
TEL0298-64-2606、FAX0298-64-7183）

のため、ゾーンは地域的違いを表現できる範囲で可能な限り大きく設定するものとする。また、対象とする交通機関は、自動車、公共交通機関（鉄道、新交通システム、ＬＲＴ、路面電車、バス等）とし、徒歩や自転車への転換や、低公害車の普及なども考慮できるようにする。

モデルの全体構造を図１に示す。基本的には、既存の４段階推計法に沿ったフローにより交通機関別の交通需要量や走行台キロを推計し、CO2 排出原単位を乗じて自動車、公共交通機関からの CO2 排出量を推計するモデルとした。

モデルは４つのサブモデルから構成される。まず、交通機関別トリップ推計モデルにより、施策の実施によるトリップの変化を考慮して、各ゾーン別、交通機関別の分布トリップを推計する。その後、自動車については、「自動車の旅行速度別走行台キロ推計モデル」により旅行速度別走行台キロを推計する。ここでは、単に走行台キロの変化だけでなく、渋滞の解消などによる旅行速度の変化が反映できるようなモデルとなっているのが特徴である。一方、公共交通機関については、「公共交通車両キロ推計モデル」によりトリップキロから機関別の車両キロを推計する。

最後の「CO2 排出量推計モデル」では、これらにより推計された自動車の走行台キロ及び公共交通機関の車両キロにそれぞれ CO2 排出原単位を乗じることにより CO2 排出量を算出する。

（３）サブモデルの概要

以下にサブモデルの概要を示す。

(a) 交通機関別トリップ推計モデル

用途別建物床面積で指標される土地利用・都市構造指標を用いて発生集中交通量を推計し、分布交通量をフレーター法等の既存の手法により推計する。交通機関の分担率は現状の分担率を基本に算出し、公共交通機関の整備やパーク＆ライド等の施策の導入による効果はそれぞれの施策毎にトリップの変化量を推定し分担率の変化として取り入れるものとした。

(b) 自動車の旅行速度別走行台キロ推計モデル

自動車については、(a)で分布トリップを推計した後、旅行速度別走行台キロを推計する。まず、各ゾーンの将来混雑度を簡略的な交通量配分を行って算出する。ここで、ゾーンの混雑度は、ゾーン内の走行台キロを容量台キロで除したものである。

ここで、既存道路（道路交通センサス対象路線等、交通量データの存在する路線）については、現状日交通量に各ゾーンの混雑度変化率を乗じて路線別の将来日交通量を算出した後、年間時間交通量分布、交通量と旅行速度の関係式（Ｑ－Ｖ式）を用いて、旅行速度別走行台キロ分布を推計することとした。

一方、道路交通センサス対象路線に相当する新設道路については、各路線の将来容量台キロに各ゾーンの将来混雑度を乗じて新設道路の走行台キロを算出したのち、既存道路の旅行速度別走行台キロの分布を用いて旅行速度別走行台キロ分布を推計することとした。

なお、その他の道路（補助幹線道路、区画道路等）の交通需要については、区画内での道路密度等から走行台キロを推計するモデルで求めたのち、既存道路の旅行速度別走行台キロの分布を用いて旅行速度別走行台キロ分布を推計することとした。

これらの道路種類別に推計した旅行速度別走行台キロを合算して全道路の旅行速度別走行台キロを推計する。

(c) 公共交通機関車両キロ推計モデル

公共交通機関については、(a)で公共交通機関の分布トリップを推計した後、公共交通機関の車両キロを推計する。ここでは、施策を講じた後の公共交通機関のトリップから、その需要量に見合った車両キロが運行するものとして推計する。

(d) CO2 排出量推計モデル

(b)で推計された自動車の旅行速度別走行台キロ及び(c)で推計された公共交通機関の車両キロにそれぞれ CO2 排出原単位を乗じることにより、交通機関別の CO2 排出量が算出される。自動車については、旅行速度別走行台キロ

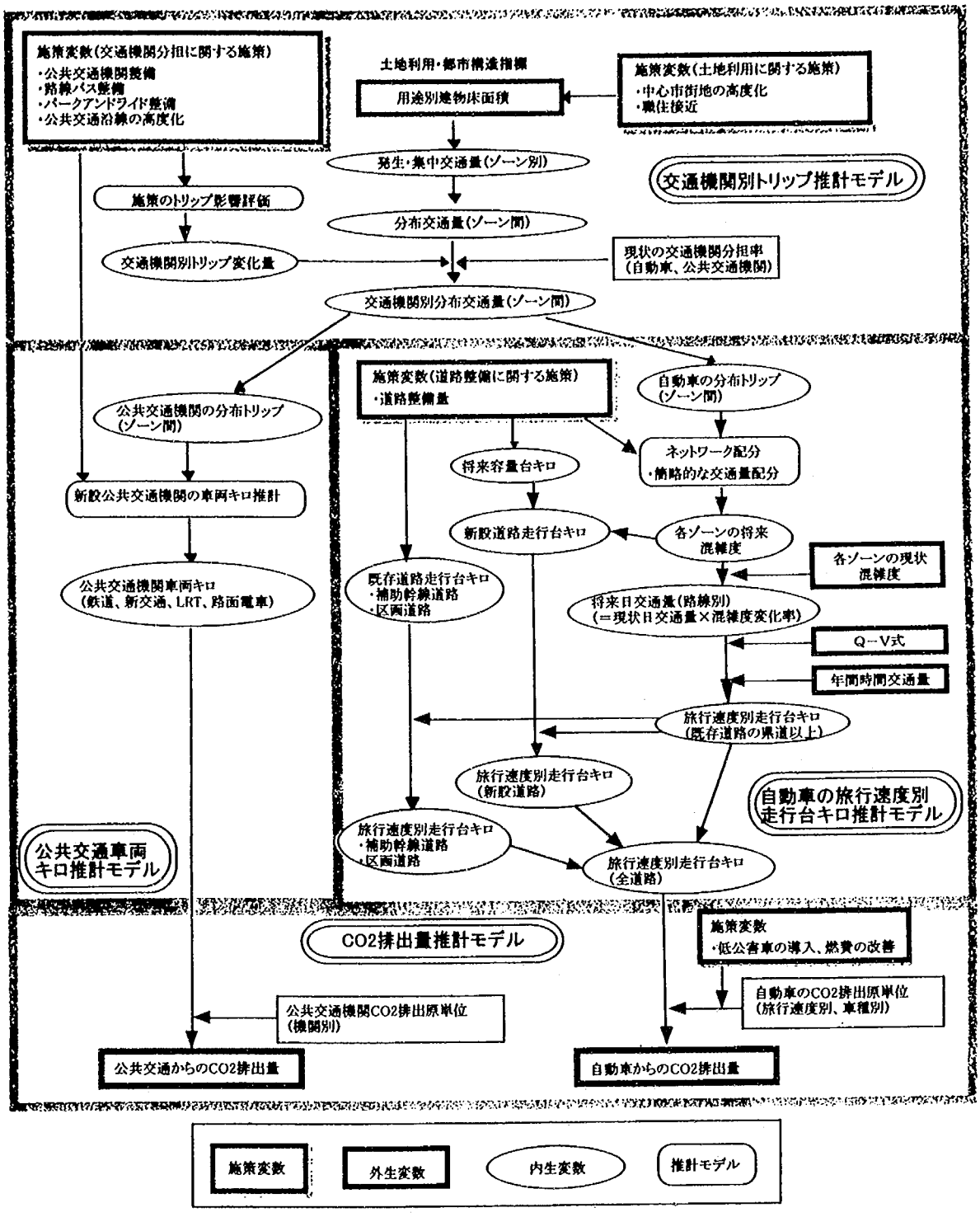

施策変数(交通機関分担に関する施策)
・公共交通機関整備
・路線バス整備
・パークアンドライド整備
・公共交通沿線の高度化
土地利用・都市構造指標
用途別建物床面積
施策変数(土地利用に関する施策)
・中心市街地の高度化
・職住接近
発生・集中交通量(ゾーン別)
交通機関別トリップ推計モデル
施策のトリップ影響評価
分布交通量(ゾーン間)
交通機関別トリップ変化量
現状の交通機関分担率
(自動車、公共交通機関)
交通機関別分布交通量(ゾーン間)
施策変数(道路整備に関する施策)
・道路整備量
自動車の分布トリップ
(ゾーン間)
公共交通機関の分布トリップ
(ゾーン間)
将来容量台キロ
ネットワーク配分
・簡略的な交通量配分
新設公共交通機関の車両キロ推計
新設道路走行台キロ
各ゾーンの将来
混雑度
各ゾーンの現状
混雑度
既存道路走行台キロ
・補助幹線道路
・区画道路
公共交通機関車両キロ
(鉄道、新交通、LRT、路面電車)
将来日交通量(路線別)
(=現状日交通量×混雑度変化率)
Q−V式
年間時間交通量
旅行速度別走行台キロ
(既存道路の県道以上)
旅行速度別走行台キロ
(新設道路)
自動車の旅行速度別
走行台キロ推計モデル
旅行速度別走行台キロ
・補助幹線道路
・区画道路
旅行速度別走行台キロ
(全道路)
公共交通車両
キロ推計モデル
CO2排出量推計モデル
施策変数
・低公害車の導入、燃費の改善
自動車のCO2排出原単位
(旅行速度別、車種別)
公共交通機関CO2排出原単位
(機関別)
公共交通からのCO2排出量
自動車からのCO2排出量
施策変数
外生変数
内生変数
推計モデル

図1　モデルのフロー

大分類	施策名	モデルへの導入方法
道路施設整備による自動車の旅行速度の向上	道路整備	道路整備による容量台キロの増加
	ボトルネック解消	交差点改良等による信号密度低下については、信号密度別のQ－V式を計画されている密度に変更
自動車走行台キロの削減とそれに伴う旅行速度の向上	自転車道路・歩道の整備	歩道・自転車道路の整備による自動車又は公共交通機関から徒歩、自転車への転換
	公共交通、バス路線の整備	公共交通・バスレーンの整備による自動車から公共交通機関への転換
	パークアンドライド駐車場の整備	パーク＆ライドの推進による自動車から公共交通機関への転換
	貨物積載効率の向上	貨物の積載効率の向上による同一輸送量における台キロの減少
	駅周辺の建物高層化	駅周辺の建物の高層化による公共交通機関への転換
全交通量(トリップ)の削減とそれに伴う旅行速度の向上	職住近接	職住近接による土地利用・都市構造の変化→発生・集中交通量の変化
	中心市街地の高度化	中心市街地の高度化による土地利用・都市構造の変化→発生・集中交通量の変化
自動車単体対策	低公害車の導入	低公害車の導入量を別途推計し、車種別のCO2排出原単位を使用
	燃費の改善	将来の燃費改善効果を推計し、CO2排出原単位を低減

表１　モデルへの施策の導入方法

に旅行速度別 CO2 排出原単位を乗じるため、例えば道路整備等による旅行速度の変化に伴う CO2 排出量の変化等も反映させることが可能となっている。ここで、低公害車については別途のモデル等により推計した低公害車普及比率から走行台キロを算出し、各種低公害車別の CO2 排出原単位を乗じることにより算出する。

３．排出量削減施策のモデルへの導入方法の検討

CO2 排出量削減施策は、CO2 排出量の寄与が大きい道路交通からの排出量を削減する施策について見た場合、道路施設整備による旅行速度の向上、自動車分担率の低減による自動車走行台キロの削減、都市構造の改善による全交通量（トリップ）の削減、自動車単体対策による１台当たりの排出量の削減など、多様な要因による様々な施策が実施しうる[1]。本研究ではこれらの施策を適切に組み合わせた場合の施策の効果等の評価を行っていくため、できるだけ多くの施策をモデルに導入することができるようモデルへの導入方法の検討を行った。本モデルに導入する施策とモデルへの導入方法を表１に示す。今後、施策の導入方法についてはモデルを実際に構築し、モデル上における精度等を考慮しながら検討を加えていくこととする。

４．まとめと今後の課題

本研究では、都市の交通部門における CO2 排出量削減効果推計モデルの基本的枠組み及び施策のモデルへの導入方法について提案した。CO2 排出量削減施策の効果推計モデルについては、様々な施策の効果を簡便かつ操作性よく扱える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なっていることが特徴である。

今後は、各サブモデルを実際に構築し、サブモデルの精度や感度等を検証していくとともに、施策の効果の算出を行い、施策の評価に結びつけていくこととしている。また、公共交通機関の整備等による分担率の変化や低公害車の導入量等については、さらに深く検討を行う必要がある。

謝辞

本報告の一部は、環境庁の平成９年度地球環境研究総合推進費（地球の温暖化（影響・対策）Ｂ－５５）による援助を受けている。

参考文献

1）小根山、大西：環境負荷の小さい都市構造・交通体系に関する一考察、土木計画学研究・講演集 No. 20(2)、pp. 129-132、1997

Ⅱ－4 大気拡散風洞模型実験におけるトンネル坑口の噴流再現に関する実験手法
－自然換気方式の都市型トンネルの場合－

環境部交通環境研究室　　○川上篤史　上坂克巳　大西博文

1. まえがき

自動車排出ガスに含まれる大気汚染物質の拡散性状を予測するには、解析解モデル、数値解モデルの拡散計算や統計的方法および模型実験が考えられる。平面道路の場合、一般的には解析解モデルの一つであるプルーム・パフ式を基本として予測を行っている。しかし、周辺地形や道路構造が複雑なトンネル坑口の場合、道路構造、周辺地形、交通条件、気象条件等様々な条件が影響しあうため、拡散計算では計算量が膨大でプログラムも非常に複雑になる。また、統計的方法を用いた回帰モデルは、汎用性がなく計画路線へは応用できない。そこで、このような場合様々な条件をそろえることが出来る大気拡散風洞を用いた模型実験が有力な手段となっている[1]。

大気拡散風洞模型実験において、トンネル坑口から放出される自動車排気ガスの拡散性状を予測するには、まず、坑口からのガスの吐出風(噴流)を再現しなければならない。噴流の再現方法としては、送風機と自動車模型走行装置(以下、走行装置)を用いて車道内走行風を模擬することが考えられる。走行装置を用いた実験は現地実測と相関しているという報告がある[2),3)]が、構造的制約から模型縮尺が制限される。一方、送風機は現地実測との整合にはいくつかの考慮が必要[4)]だが、模型縮尺や吐出風速が比較的自由に設定できるだけでなく、実験装置が簡便であることから、実験の簡略化を図るためには送風機を用いるほうが便利であると思われる。そこで、送風機と実現象の整合をとるためには、送風機で再現した噴流を走行装置で再現した噴流性状に補正する必要があると思われるが、噴流性状の違いについて十分な知見がないため、補正方法が明確にされていない。その補正方法としては、噴流性状の違いを回帰式等により理論的に補正する方法と実験条件を変えて補正する方法が考えられる。ここでは後者を考えることとするが、実験条件については車道内風速の変化、車両模型の有無、トンネル断面の大きさや形状、交通条件等がある。その中の車道内風速の変化と車両模型の有無について検討する。

具体的には坑口が堀割構造、トンネル部が矩形断面である自然換気の一方向交通の都市型トンネルを対象とし(図1)、送風機を用いたとき(図2)と走行装置を用いたとき(図3)の噴流性状の違いを大気拡散風洞模型実験で明らかにする。次に、送風機による噴流性状を走行装置による噴

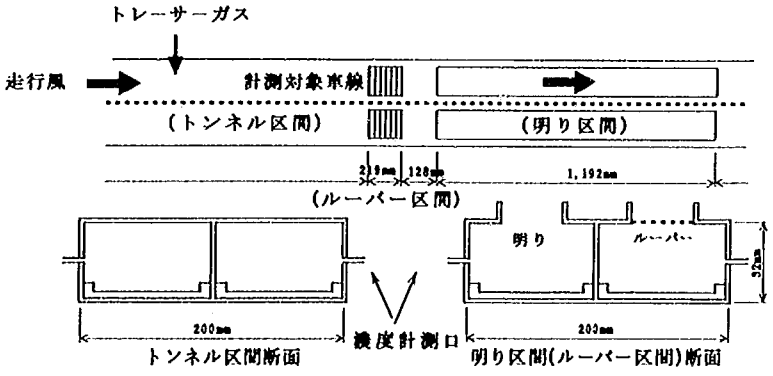


図１ 実験模型概要図

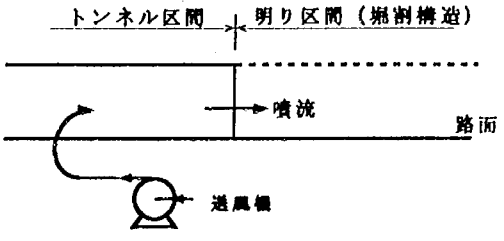


図２ 送風機による方法

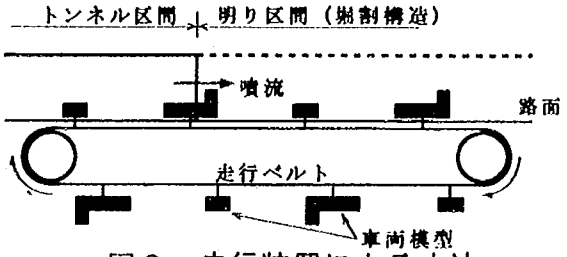


図３ 走行装置による方法

流性状に実験条件を変えて補正する方法を検討するとともに、噴流再現手法に関して送風機と走行装置の適用条件を明らかにすることを目的とする。

2. 噴流再現に関する実験手法

2．1　既存の研究

坑口部がひらけた平坦路面の山岳トンネルでの噴流再現は従来から行われており、高曽・大橋によって送風機を用いた実験[4]が行われている。高曽らはトンネルを半円形管で模し、送風機によって噴流を再現することにより平均速度場や濃度場が坑口からの距離に応じていかに変化するか明らかにしている。しかし、ここでは走行自動車による噴流の乱れが模擬されていないため、拡散問題への適用にはこの点を考慮する必要があると報告されている。

そこで、噴流の乱れを再現するため走行装置を用いて模型自動車を走行させることにより交通換気力を模擬する実験が小松によって行われた[2]。小松は矩形トンネルにおいて走行装置を用いて、自動車の走行だけで噴流に乱れが与えられた時における坑口周辺の濃度場を調べた。そして実物トンネル実測値と比較した結果、車道内濃度減衰は比較的実測に近い値が得られたと報告している。また、Dayman[3]によっても 3%スケールの道路模型における走行装置を用いた実験と現地実測の車道内濃度減衰比を比較した結果、現地実測では外部風の影響はあったものの相関性があるという報告がなされている。土木研究所においても、堀割道路において走行装置による呼吸量(明り部から出入りする換気量)や車道内走行風の再現性が確認されている[5]ことから、走行装置は実験の噴流現象を再現できる実験手法と考えられる。しかし、坑口部が堀割構造の都市型トンネルにおける噴流現象を送風機と走行装置で再現し比較した研究はほとんど行われていない。また、送風機による噴流性状を実現象または走行装置による噴流性状に補正する方法についてもほとんど研究されていない。

2．2　大気拡散風洞における噴流再現実験

本実験は片側３車線の自動車専用道をモデルとした矩形断面トンネル区間と堀割構造のルーバー区間、明り区間からなる縮尺 1/160 の一方向交通の都市型トンネル模型において、車道内走行風を送風機と走行装置で模擬し、坑口部における自動車排出ガスの噴流現象を再現した。実験ケースは表1に示すとおりとし、送風機、走行装置による実験をそれぞれ４ケースずつ行った。計測対象車線にはトレーサーガスとして空気と比重がほぼ同一のエチレンガス(C_2H_4)を放出し、図１に示す濃度計測口(側壁中央)において坑口から明り部へ道路軸方向にトレーサーガス濃度を測定した。また、走行装置で再現する交通条件(交通量、大型車混入率、走行速度)はモデルとした道路に合わせた(表2)。送風機の吐出風速も、走行装置に合わせて設定した。また、実験条件を変える送風機実験においては、送風機による車道内風速の設定値を 0.8 倍、1.2 倍としたケース、車両模型を走行装置と同等の交通量で設置したケースの実験を行った。なお、車両模型は交通量に相当する車頭間隔で明り部区間に設置した。

3. 実験結果

模型実験より、坑口から明り部区間における噴流のガス濃度が得られ、濃度減衰を坑口の濃度を１として図4に示す。いずれのケースにおいても走行装置による噴流の濃度減衰の方が送風機より大き

表１　実験ケース

番号	外部風	ルーバー部
①	0.8m/s	閉鎖
②	無風相当	閉鎖
③	無風相当	ルーバー
④	無風相当	開放

表２　交通条件

交　通　量	2000台/時
大型車混入率	10 %
走 行 速 度	60km/h

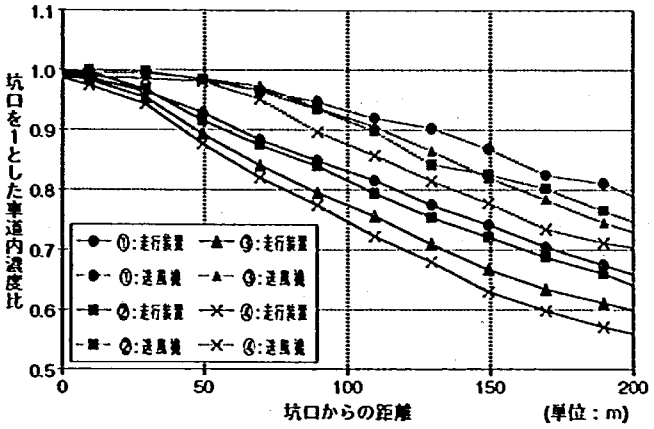


図４　濃度減衰

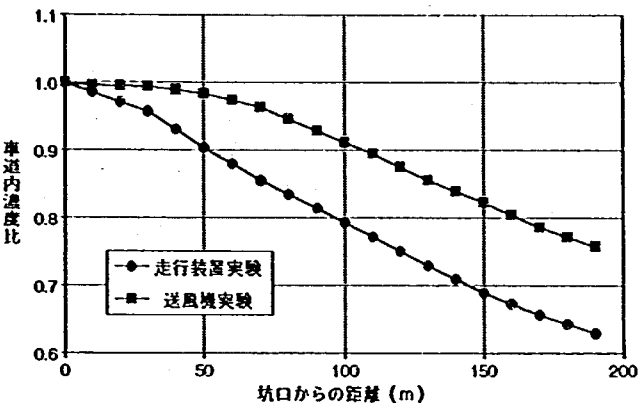


図５　車道内濃度比の平均値

くなった。これらの結果より、送風機と走行装置の適用条件と、走行装置の濃度減衰への補正方法について検討を行う。

３．１　送風機と走行装置の適用条件の検討

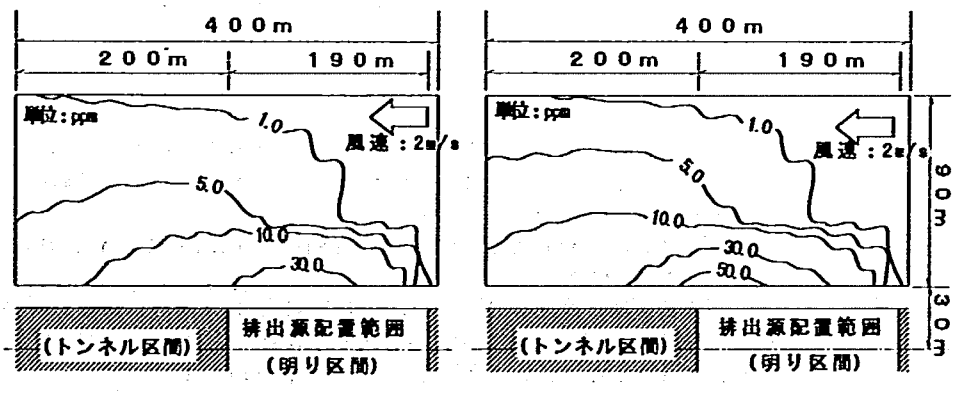
噴流性状(車道内濃度比)の差が沿道周辺における拡散性状に、どのような影響を及ぼすのか拡散計算で明らかにし、送風機と走行装置の適用条件を検討する。まず、実際の都市型トンネルで考えられるのすべての実験ケース(表１)の車道内濃度比の平均値を実験方法別に求めた(図5)。走行装置による車道内濃度は特に坑口付近で減衰が大きくなったが、送風機の場合は小さい。ここで車道内濃度が減衰した分はすべて明り部から車道外へガスが放出されていると考えた。こう考えると、走行装置の場合は噴流が走行自動車によって撹拌され、ガスが車道外へ排出される量(排出強度)が坑口付近で多くなる現象を再現しているのに対し、送風機の場合は噴流の乱れが小さいため、そのままガスが道路軸方向に流れ、排出強度が小さくなるものと考えられる。また、走行装置、送風機とも坑口から離れると車道内濃度減衰の傾きがほぼ平行になってくるのは、排出強度がほとんど同じになっていることを示していると考えられる。

次に、車道内濃度計測点の車道内ガス流量を次式を用いて算出した。

車道内ガス流量(cc/s)＝車道内濃度(ppm)×車道内流量(m^3/s)

なお、車道内風速は、車道内風速の変化が濃度減衰にあまり関係しなかったという結果が得られたため、トンネル部、明り部ともに一定と仮定した

この車道内ガス流量より排出強度を求め、道路軸方向に点煙源を 10m 間隔に連続して配置し、解析解モデルのプルーム式[6]により沿道の拡散状況の一例(風速：2m/s、風向：道路軸方向(０°))を計算した。等濃度分布図を図6に示す。この結果、走行装置での車道内濃度減衰が坑口付近で大きくなったのを反映して、車道部端から道路軸と直角方向約３０ｍ程度までは拡散濃度が送風機による実験に比べ特に高くなった。また、送風機と走行装置の濃度減衰傾向が道路軸方向坑口から約100m 以上下流側ではほとんど同じになったこと、排出源から遠い地点ではガスが一様に拡散されることから、車道部端から道路軸と直



(送風機による方法)　　(走行装置による方法)

図６　拡散濃度分布

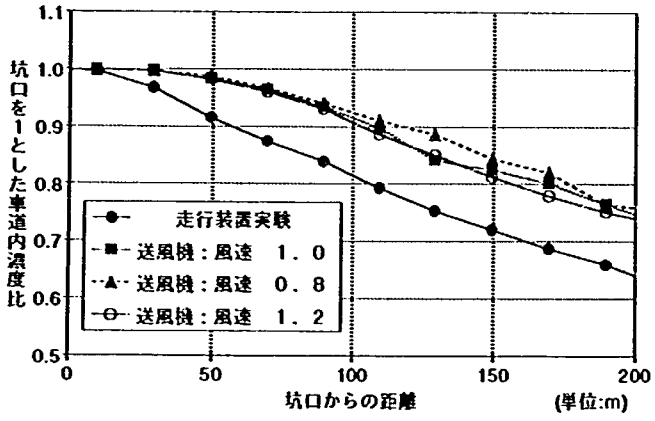


図７　車道内風速の変化

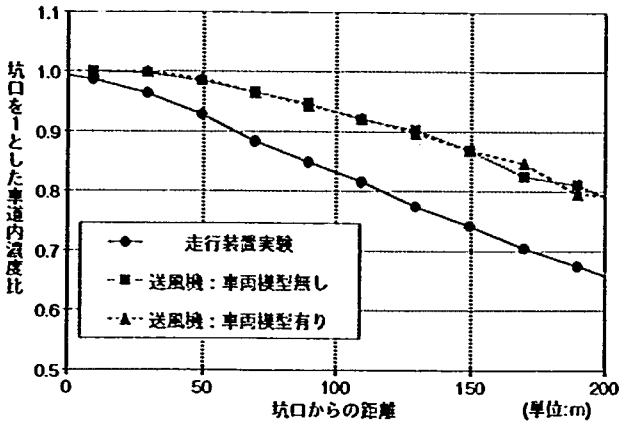


図８　車両模型の有無

角方向約３０ｍ以遠ではほとんど差が生じない結果となったと考えられる。

３．２　補正方法の検討

実現象に近いと考えられる走行装置[2),3)]の濃度減衰への補正を、送風機による風速を 0.8 倍、1.2 倍としたケース、車両模型を走行装置と同等の交通量で設置したケースの実験条件を変えた結果をそれぞれ図7、図8に示す。当初、濃度減衰を大きくするには、車道内風速の増減や車両模型の有無に関係があると思われたが、図７，８を見てわかるように、それぞれの要因が車道内濃度の減衰傾向にはあまり影響しないことがわかった。この理由としては、実現象や走行装置の場合、走行する自動車が車道内の空気を進行方向および上方向へ移動させる圧力を与えるために、噴流が乱れて濃度減衰が大きくなっている可能性がある。

4．まとめ

走行装置及び送風機による実験の車道内濃度減衰傾向は、坑口から約 100m 以内では明らかに差があったが、道路軸方向坑口から約 100m 以上離れるとほぼ同じになった。また、拡散濃度をそれぞれ計算した結果、道路近傍における拡散濃度には大きな差があったが、道路端より約 30m 以上離れると拡散濃度はほぼ一致した。このことから、坑口近傍における拡散状況を高い精度で検討を加える場合には走行装置を用いる必要があると考えられるが、広域的にガスの拡散状況を把握する場合は、走行装置や送風機を用いても拡散濃度にほとんど差異がないことが判明した。

また、送風機による実験で考えられる実験条件のうちの車道内風速の増減と車両模型の有無を変えて行ったが、車道内における道路軸方向の濃度減衰の傾向はほとんど変わらず、道路軸方向坑口から 100m 以内は２次曲線的、100m 以遠は１次直線的な減衰傾向となることがわかった。今後はこの減衰傾向が他の実験条件(トンネル断面の大きさや形状、交通条件等)によって変わるかどうか同様の風洞模型実験により確認し、補正方法について検討する必要がある。

[参考文献]　1)清水博、足立義雄、辻靖三、根元守，道路環境，山海堂，1987 年 10 月
2)小松厚造，自動車トンネル坑口の排出ガス拡散－自動車走行かく乱場における坑口周辺濃度分析－，エバラ時報，No.141，pp.67-72，1988 年 9 月
3)B.Dayman, SMALL-SCALE AERODYNAMIC TESTING FOR HIGHWAY TUNNELS,Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tnnels, pp.483-504, 1982
4)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)，pp.1266-1274，1978 年 4 月
5)石田稔、福沢太志，堀割道路におけるガスの呼吸量,土木技術資料，Vol.37 No.2, pp.18-23,1995 年 2 月
6)（社）日本道路協会、道路環境整備マニュアル、1989 年 1 月

（発表論文等）

III. 沿道の自然環境に関する研究

Ⅲ－1 道路のり面の越冬期の鳥類による利用状況

アジア航測株式会社　環境部　エコロジカルデザイン課　○今井　亮子
建設省　土木研究所　環境部　交通環境研究室　大西　博文
同上　小根山裕之
同上　川上　篤史

1．　はじめに

自然環境保全及び良好な生物の生息空間確保のためには、ビオトープ（生物の生息空間）をネットワーク化し、ビオトープ間を生物が移動・交流できることが必要であるという、「ビオトープネットワーク」の考え方が提唱されている[1]。この考え方に基づき、近年の土地利用計画の中では、生物の生息空間とその移動経路となりえる緑地の配置が重要視されるようになっており、河川とともに細長い形態をもつ道路の緑地が注目されている。

道路緑地の生物の生息状況については、小菅ら[2],[3]が環境施設帯の鳥類と昆虫類について報告しているが、環境施設帯と比較してより一般的にみられるのり面についての情報は乏しい。そこで、本稿では、ビオトープネットワークの考え方を取り入れた道路整備を検討する上での基礎的な情報を得ることを目的として、道路のり面を対象に、飛翔による移動能力がある鳥類に注目し、道路のり面の利用状況について分析をおこなった。鳥類には季節的な移動があるが、関東地方の平地でより多くの種類がみられる、越冬期での調査結果を報告する。

2．　調査方法

2.1 調査対象地の選定

調査範囲は、植栽後十数年が経過し安定していると考えられる区間で、盛土のり面が多く出現する関越自動車道の花園 IC～本庄・児玉 IC 間（埼玉県西部地域）を対象とした。対象区間は農耕地が広がる地域である。

道路のり面を鳥類の生息場所として考えた場合、対象区間には様々なタイプののり面が存在し、鳥類はそれぞれ異なる環境を利用していると考えられる。ここでは鳥類の生息条件として大きな影響を及ぼすと考えられる、①のり面の植生、②沿道土地利用（道路の片側 250m以内）の２つの条件の違いに注目した。

調査範囲内ののり面の植生及び沿道土地利用を、空中写真（縮尺 1/10,000、平成７年撮影）を用いて判読し、その後現地調査をおこなった。

対象区間内では、ケヤキ、サクラ類の高木落葉広葉樹林にシラカシ等の常緑広葉樹林が若干みられる落葉広葉樹林タイプののり面が最も多く、次いでススキやアズマネザサがみられるのり面（ススキ・アズマネザサ群落タイプ）が多くみられたため、この２つの植生タイプを調査対象とした。沿道土地利用は畑及び畑の中に樹木畑、人家など他の要素が加わったものを対象とした。生息種の偏りを避けるため、植生タイプの異なるのり面は互いに近接している位置のものを比較することし、のり面の植生と沿道土地利用以外の条件は極力同様なものとした。その結果、表１に示す４カ所が選定された。なお、のり面は幅が最も広い 10m程度を対象とした。

表１　選定された盛土のり面の植生タイプとその沿道土地利用

調査地点	のり面①	のり面②	のり面③	のり面④
植生タイプ	落葉広葉樹林	ススキ・アズマネザサ群落	ススキ・アズマネザサ群落	落葉広葉樹林
沿道土地利用	畑（麦畑）	畑	畑及び樹木畑	畑及び人家、庭木

2.2 鳥類調査

鳥類の活動が活発な早朝の時間帯（約２時間）に、対象のり面に沿った側道をゆっくり歩き、のり面を利用した種類、個体数を記録した。のり面の上空を通過したものは、「利用した」とは見なさず、記録しなかった。のり面にそった側道は 170～300mと短いため、観察時間内に何度か往復した。

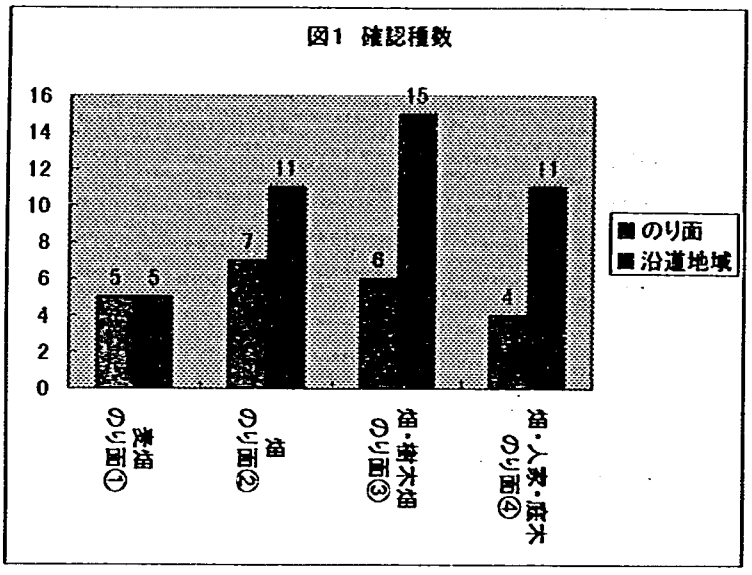
沿道地域（道路の片側 250m内）で出現したものは種類のみを記録した。ここでの確認種は飛翔している個体を含めた。

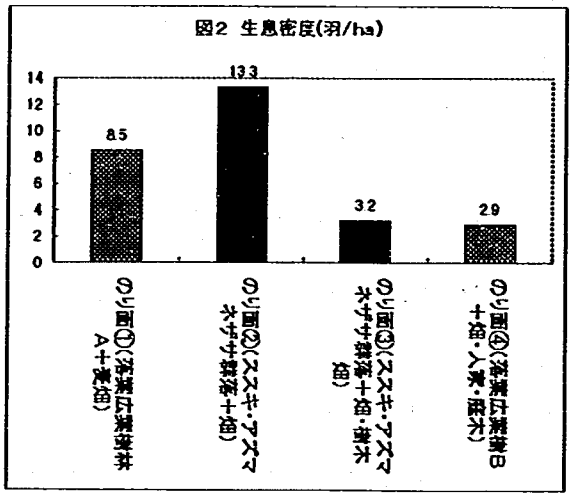
調査は平成 10 年２月６、７日に実施した。天候は両日とも晴れであった。

3．　結果と考察

3.1　植生タイプによる利用種の違い

のり面を利用した鳥類と沿道地域で確認できた鳥類について、種数を図１に、種構成を表２に示す。のり面を利用した鳥類の種数は、４～７種といずれののり面でも大きな違いはみられなかったが（図１）、種構成に違いがみられた（表２）。沿道の土地利用が類似しており、植生タイプが異なる組み合わせののり面①と②、③と④をそれぞれ比較してみると、①、④では樹林性のシジュウカラが確認されているが、②、③では確認されておらず、反対に草地性のホオジロは、②、③では確認されているが、①、④では確認されなかった。このことから、のり面が樹林的環境であれば、樹林性の種が利用し、のり面が草地的環境であれば草地性の種が利用しており、植生タイプの違いによりのり面を利用する種類は異なることが確認された。道路のり面という限られた空間であっても、その植生に応じた、特徴ある種の利用がみられることが示唆された。





3.2　沿道土地利用によるのり面の利用頻度の違い

のり面がどの程度利用されているかを把握するため、調査面積内で確認できた個体数を１ｈａ内の生息密度としてのり面間で比較した（図２）。生息密度は沿道土地利用が単調な場合（のり面①、②）で高く、畑の中に樹木畑、庭木などがある、より多様な場合（のり面③、④）で小さい傾向がみられた。このことから周辺環境が畑の広がる単調な場合は、のり面の質が相対的に高くなるため鳥類にのり面がよく利用され、一方、畑の広がる環境に樹木畑などの要素が加わって多様になるとのり面の質が相対的に低くなるためあまり利用されないと考えられる。

3.3　道路のり面の移動経路としての可能性

のり面での確認種の中には、シジュウカラ、ウグイス、アオジなど、沿道地域では見られなかった、樹林性の種や藪を好む種が含まれていた（表２）。これらの種は、沿道地域との行き来があまりなく、むしろやや離れた樹林地や林縁などとのり面を行き来しているのではないかと考えられる。道路のり面は、ある種にとって離れた樹林地からの飛び石的な生息地の一部となっていることが示唆された。つまり、道路のり面がビオトープネットワークの一端を担っていると考えてもよいと思われる。

Ⅲ－2 道路空間におけるビオトープ整備に関する研究
（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）

指導期間　平成10年10月1日～平成11年3月31日

研究室名　交通環境研究室
氏　名　今井亮子

1.まえがき

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あることが必要である、という「ビオトープネットワーク」の考え方が示されている。これは、孤立した生息生育空間では、病気の流行などで野生生物のある種類の個体群が減少すると、その種の生物は、他の生息生育空間から移動してくることができないため、少なくなった個体間での近親交配から生存力や繁殖力の低下がおこり、やがて局所的に絶滅してしまう危険性をはらんでいるからである。

この考え方に基づき、野生生物が生息生育する既存の緑地を「核」として保全し、道路や河川沿いの緑地等を「連続した緑地－線－」として位置づけて、ネットワーク化を図るという構想が土地利用計画において考えられている。国内では都市計画レベル[1)]及び道路計画レベル[2)]のビオトープネットワークに関する研究はいくつかなされているが、道路の緑地を対象とした研究例は少ないのが現状である。

道路緑地の中で、道路のり面の植生は施工後の早期安定のため主に外国産の牧草類で緑化され、その後は周辺から供給される種子による自然の遷移にゆだねられる方法が取られている。そこで、本研究では、のり面を野生（在来）植物の生育空間として捉え、周辺から植物が移動（侵入）・定着している状況に注目し、道路のり面がビオトープネットワークとして担える機能について考察するものである。

2.研究方法

のり面を野生（在来）植物の生育空間として捉えるため、まず、のり面の緑地としての形状を調べ、そこに生育する植物について調査をおこなった。

2.1　調査対象区間

調査は、首都圏の高速道路のうち、盛土のり面が多く出現する区間で、施工後18～24年が経過して、のり面の植生に遷移がみられる、関越自動車道川越ＩＣ～本庄・児玉ＩＣ間の48km（埼玉県）で実施した。川越IC～東松山IC間は都市化が進み、周辺はほとんどが市街地、住宅地で農地、樹林地は少ない。東松山IC～花園IC間は農地の他、スギ、ヒノキ植林や二次林もみられる。花園ＩＣ～本庄児玉IC間は農地が広がっている。

2.2　のり面の緑地としての形状

空中写真（縮尺 1/10,000 平成7年撮影）と完成図（1/2,500）を用いて、植生がみられる幅 10m程度の盛土のり面を抽出し、連続した部分の長さを測定した。

2.3 のり面の植生調査

2.2 で抽出したのり面について、植生の相観を把握した後、現地調査をおこない、周辺の土地利用との組み合わせから代表的な植生がみられるのり面を選定した。選定したのり面内の典型的な植生の存在する場所に調査枠を設定し、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。調査は 1998 年7月に実施した。

また、道路の管理事務所から施工年、道路のり面の管理方法について聞き取りをおこなった。

3.結果と考察

3.1 道路のり面の緑地としての形状

調査区間内の植生がみられる個々の道路のり面の縦断方向延長別頻度分布と、途中に含まれる、ボックスカルバート等で狭くなった部分の箇所数を表したものが図 1 である。調査区間内でもっとも長いのり面は 944mで、多くののり面が 250～300m未満であった。長いのり面になるほど、ボックスで狭くなる部分が多く、ひとまとまりの緑地としては、多くが 100～250mであることがわかる。

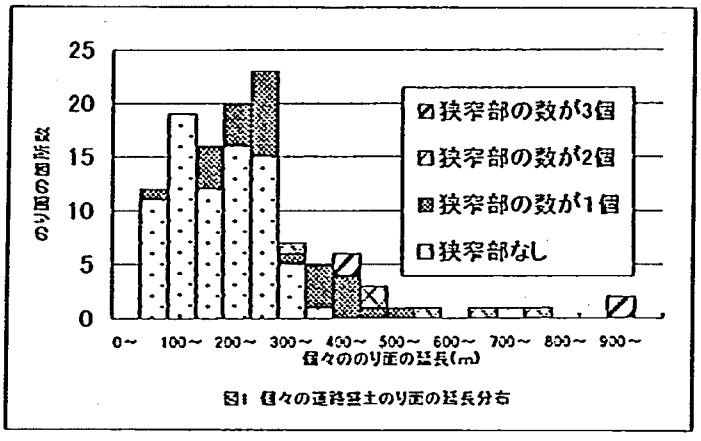


図1 個々の道路盛土のり面の延長分布

道路のり面は、幅が狭く小規模な緑地の断片が点線のように連なった状態であり、常に周辺からの影響をうける林縁的な環境であると考えられる。湿潤な林内環境に生育することが多い、保護が課題の植物が生育できる可能性は少ない[3]。しかし、一般的な種や林縁種にとっては、生育地となりえることから、道路のり面は多少なりとも種多様性の維持や個体群の存続に貢献できると考える。

3.2 調査のり面の概要

調査対象のり面は植生と周辺環境の違いから、表1に示す9地点を選定した。

表1 調査対象のり面の概要

地　点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
のり面植生の相観	常緑樹の多い高木林	吹付草本の残る草地	ササ草地	ススキ草地	落葉樹の多い高木林	低木林	落葉樹の多い高木林	アカマツが点在する草地	常緑樹の多い高木林
周辺環境	農地がひろがる地域					樹林地が隣接		住宅地が広がる	
調査枠*	5×20	4×4	4×4	4×4	5×20	4×15	5×20	5×20	5×20
施工年	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1975	1975
草本層（低木層）の種類数	25	14	5	9	28	24	28	16	41

＊：調査枠はのり面における植生調査[7]の最小面積（草地で16m^2-4*4m、樹林で36m^2-6m*6m）を参考にその植生の典型的な部分が含まれるよう設定した。

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た箇所で、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自然に遷移したものと考えられる。地点6はアズマネザサ、ススキなどに、アカマツ、アカメガシワなどの陽地生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。高木林のり面の中では、地点9の林床植物が最も種類が多く、41 種が確認された。

3.3 周辺から侵入した植物(鳥散布植物)の割合と構成種

のり面を在来植物の生育地として周辺環境とのつながりという観点から、鳥によって食べられて散布される植物（鳥散布植物）の割合をみてみた。道路のり面に周辺から侵入したと考えられる植物には、種子散布形態から、風散布と鳥散布が多いと推測されるが、風散布植物は広範囲に種子をまき散らすことから分布が広いものが多いためここでは除外した。当初の植栽種を知ることができなかったため、ここでは林床植物として低木層と草本層の種を対象とした。鳥散布植物の同定は文献[9]と種子形態を参考に判断した。

鳥散布植物の割合を表したグラフを図 2 に、鳥散布植物のうち被度の高い種を表2に示す。高木林ののり面では最も多い箇所で全種数の 64%、その他の高木林では約半数の種類が鳥散布植物であった。被度では、地点 5、6，8、9で高い値を示した。地点5は植栽由来と思われるネズミモチがほとんどであったが、地点9は、雑木林の林縁や明るい林内に普通にみられる種が多くを占めていた。鳥散布植物は、とまり木下に散布されることから、草地では高木林より割合は低いが、遷移がすすんでアカマツが侵入した地点8では種数で約 40%に達していた。なお参考までに、のり面で確認された鳥類で、鳥散布植物を運ぶと考えられる主な種類は、ヒヨドリ、ウグイス、シジュウカラ、メジロ、シロハラなどである。

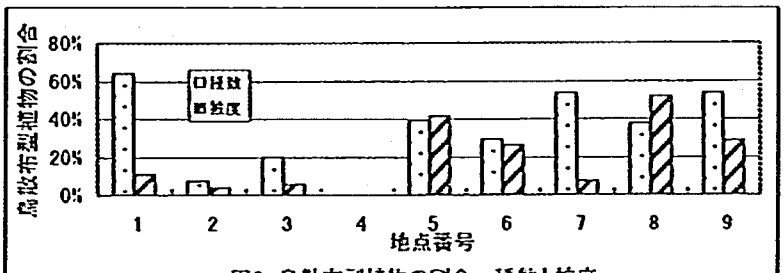


図2 鳥散布型植物の割合－種数と被度－

表2 被度の高い鳥散布植物

地点	1	5	6	7	8	9
植被率5%以上の種	ネズミモチ	ネズミモチ	アカメガシワ	ヌルデ	ヌルデ	ノブドウ
	ヒサカキ	ヘクソカズラ	ヘクソカズラ			ウワミズザクラ
						ガマズミ
						エノキ

以上の結果から、特に高木林の道路のり面には周辺から鳥類によって多くの植物が運ばれ、生育していることがわかった。このことは、周辺のビオトープから植物が供給されているということであり、道路のり面が重要なビオトープネットワークの一部を形成していることの証拠の1つと考えることができる。また、道路のり面は、周辺からの在来植物の種を溜める機能があると考える。

のり面で生育した植物が成長し、種子を散布できるようになれば、あらたに供給源として機能することもあり得るだろう。鳥散布植物が通常散布される距離は、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 1000m以上運ばれることは少ない[9]。道路のり面の緑地が小さな断片であっても、点線状に連続していることで、のり面を媒介にして他の地域への鳥散布植物の移動が可能になると考える。この意味でも、在来植物の移動に関しての機能を道路のり面が担っていると考える。

また、鳥散布植物の多くは森林性の鳥類に食べられるので、森林性の植物が多く、階層では亜高木層と低

木層に生育する種が多いことから[1]、のり面に供給されたあと、そこで、多様な階層構造をもつ樹林を形成する可能性をもっていると考える。

植物はエネルギーや物質の面から生態系の生物の生活を支えるだけではなく、すみ場所、隠れ場所、繁殖の場などを提供することによって動物の生活の基盤をつくり支えることから、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[1]。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、その種子の移動や他個体との交流はより切実であると考えられ、道路のり面は在来植物の分散経路を担える可能性がある。

3.4 道路のり面の整備について

鳥散布植物の中には、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でも指摘されていることであり[1]、それらの供給源のひとつである、道路植栽樹種はその土地に自生する種を使用することが望ましい。

鳥散布植物は果肉が発達した多肉果に限らず、乾燥して果肉がほとんどないような核果でも、脂肪分が多く含まれ栄養価があるためによく食べられており、さまざまな形態の種子がさまざまな鳥によって散布されている[1]。したがって、鳥類を誘致するために特定の植物を植栽することは、植物相の偏りを大きくすることが指摘されている[1]。また、ノネズミ、アリなど他の動物に依存して散布される植物もあるため、植生の多様性を保全するためには、地表歩行性動物も移動できる連続した緑地の方がよいわけであり、周辺樹林との連続性や道路沿いの連続性を確保することはさらに重要である。

4.まとめ

道路のり面には、周辺の樹林から由来すると思われる、鳥散布植物が多く生育しており、鳥類によって周辺樹林地から在来の植物が供給されていることがわかった。道路のり面の緑地が周辺の緑地と連携しつつ、一部の在来植物が移動していく際のビオトープネットワークの機能をになっているといえる。

5.謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご指導頂いた交通環境研究室の大西室長、小根山研究員、上坂主任研究員、また、調査等協力を頂いた川上技官をはじめ、交通環境研究室の方々に感謝の意を表します。

所属　アジア航測株式会社

〈参考文献〉

[1] 盛岡通・薗田壮・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製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] 小菅敬裕・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] 井手任・原田直園・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
[5] 中西弘樹(1994)種子は広がる-種子散布の生態学-　平凡社
[6] 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
[7] 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

◆ 生態環境特集 ◆

Ⅲ－3 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 ―

大西博文* 上坂克巳** 小根山裕之*** 川上篤史**** 小菅敏裕*****

1. はじめに

建設省では、道路事業が自然環境へ及ぼす影響の回避、低減等を目的にミティゲーションの概念を導入した「エコロード事業」[1]をスタートさせ、道路の計画段階から維持管理段階までを通じて自然環境への負荷の小さい道路整備に努めている。

また、最近では、建設事業による自然環境への負荷の軽減にとどまらず、建設事業全体に渡って、国土の生態系が保たれるような空間の有機的なつながりの形成を図ることが提案されている[2]。しかし、その具体的な方策については、いまだ方法論が確立されていない。

これに関してヨーロッパ等では、エコロジカルネットワークとして、都市地域等における生態系の保全・回復のための取り組みが活発に行われており[3]、その具体的な計画手法については日置らによって一部紹介されているが[4),5]、我が国では、気候、国土、社会的条件及び地域の生態系に関する情報量等の違いから、現状では、その手法をそのまま応用することは困難と思われる。

そこで、本稿では、我が国の実状に則した都市内における生態系ネットワークの保全・復元のための計画プロセスに関して考察し、特にその構想段階について、横浜市北部地域において、主に陸生生物を対象にケーススタディを行った。また、生態系ネットワーク計画における道路整備の視点と対策例について整理した。

ただし、本稿で示す計画プロセス及び本稿の内容は、あくまで、主に道路整備の視点に立った筆者らによる一提案であり、生態系ネットワークの計画プロセスの確立のためには、環境計画、緑地整備、河川整備等に携わる関係者によるより一層の議論が必要と考える。

A Study on Planning Method for Ecological Network
-From a viewpoint of the road project-

2. 生態系ネットワークの計画手順の一提案

2.1 生態系ネットワークとは

生態系ネットワークの概念は、ヨーロッパで提唱されたもので、生物種の保全に際し、種の生存に必要なハビタットを確保すること、及び種の分散や移動を達成させるためのハビタットの連結が重要であるとする考え方である[3]。なお、ハビタットとは「生物種や生物群集が生活している場所または環境のこと[6]」である。

具体例の一つとして、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[7]。これらの構成要素の詳しい考え方については、様々な資料により紹介されているが[3),4]、ここでは、これらの考え方を参考に、次のように定義して用いることとした。

① コアエリア：地域の生物相の生存を確保するために重要かつ、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また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。

2.2 生態系ネットワーク計画の目的

都市域など人間活動に伴い、既存のハビタットの分断、縮小、さらには消失が進んでいる地域では、生物の生存を図るために、個々のハビタットの保全とともに、ハビタット間の移動を復元し、生態系ネットワークの再構築を図る必要がある[8]。すなわち、生態系ネットワーク計画の目的は、コアエリア、自然環境創出地域及び生態的回廊を設定し、それぞれの役割に応じた整備を行うことに

より、分断、縮小されたハビタットを効率的に復元し、もって対象地域における生物多様性の保全[9]を図ることと言える。

2.3 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の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、我が国では、特に地域の自然環境に関する情報の整理が十分でなく、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も存在しないため、道路事業、河川事業、公園事業等生態系ネットワークの形成に関わる各種の事業計画の調整方法も確立されていない。なお、我が国には、「緑の基本計画」が存在するが、これは、都市の緑の保全と創出に関する施策をとりまとめたものであり、都市域で生態系ネットワーク計画を策定する際に参考になる。

このような状況を考慮して、ここでは、自然環境情報の収集及び各種関連事業間の事業計画の調整を効率的に行えるように、以下の(1)(2)(3)の順に検討を進める計画プロセスを提案する。

(1) 生態系ネットワーク構想

主に、既存資料から得られる自然環境情報と社会環境情報によって、対象地域全域において、コアエリア、自然環境創出地域、生態的回廊のおよその配置を計画する。

この段階では、各種情報がまだ十分得られておらず、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基本的に行わない。

(2) 生態系ネットワーク基本計画

地域を限定して、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)で設定したコアエリア、自然環境創出地域及び生態的回廊に関して、事業毎にそれらの具体的な整備内容を検討する。

3. 生態系ネットワーク構想の検討手順の一提案とケーススタディ

2.3では、生態系ネットワークの計画プロセスを提案したが、ここでは第1段階の生態系ネットワーク構想の策定手順についてさらに検討し、その提案を行う。そしてこれに基づいて、横浜市北部において、主として陸生生物を対象にケーススタディを行う。

3.1 生態系ネットワーク構想の策定手順の一提案

生態系ネットワーク構想の検討は、計画地域全域を対象に、主に文献資料に基づいて実施する。計画の検討では、計画地域の大きさと既存資料で整理されている内容の精度を考慮して、縮尺1/25,000~1/50,000程度の地図を使用する。

生態系ネットワーク構想の検討手順を図-1に示すとともに、以下に説明する。

(1) ハビタットタイプの整理

地形・地質、土壌、水系及び植生等のハビタットの基盤と、そこに生息する生物相の組み合わせにより、地域に現存するハビタットのタイプを分類・整理する。

(2) コアエリアとすべきハビタットタイプの設定

(1)でのハビタットタイプの整理に基づき、全国的または地域的に希少な生物種が生息・生育する、あるいは、地域を特徴づけ、多様な生物種の生息・生育するハビタットタイプをコアエリアの候補として選定する。

(3) 土地利用特性等の把握

樹林地、湖沼、市街地等の分布及び道路の位置等の土地利用の現況並びに土地利用規制及び将来の地域開発計画等の策定状況を把握する。また、過去からの緑地の変遷やロードキルの発生状況等についても可能な限り整理する。

(4) 生態系ネットワーク構成要素の配置可能性の検討

(3)で把握した土地利用規制等に基づき、コアエ

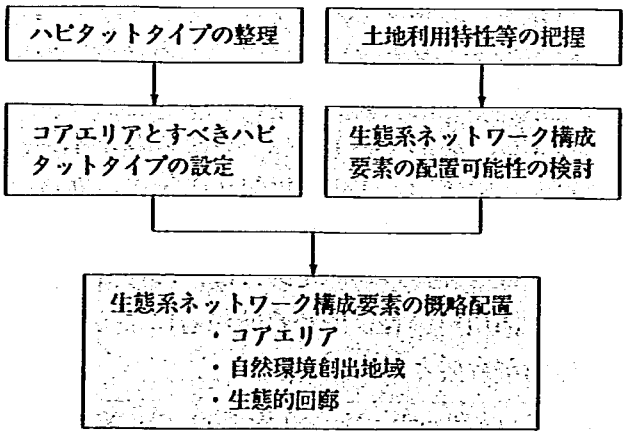


図-1 生態系ネットワーク構想の検討手順

リアとしてのハビタットの価値が存続する可能性や、自然環境創出地域及び生態的回廊としてのハビタットの改善の可能性について検討を行う。

(5) 生態系ネットワーク構成要素の概略配置

上記(2)、(4)の検討結果をもとに、生態系ネットワークの各構成要素の配置計画を検討する上での留意事項を以下に示す。

1) コアエリア：コアエリアとすべきハビタットタイプのうち、土地利用特性上、現存するハビタットの質の確保が可能な地域をコアエリアとして設定する。

2) 自然環境創出地域：コアエリアに隣接し、コアエリアを拡大させる目的で土地の改善が可能な地域を自然環境創出地域として設定する。

3) 生態的回廊：設定したコアエリア及び自然環境創出地域をもとに、道路及び市街地等によるそれらの分断状況を把握し、それらを連続化することにより、動物が移動する可能性の高い空間を生態的回廊として設定する。生態的回廊としての利用可能性は、連続化するコアエリアのハビタットタイプの類似性、過去からの地域の土地利用の変遷及びロードキルの発生状況等から判断する。また、コアエリア等の分断の程度が大きい箇所については、それらの間における緑地等の空間の存在状況も利用可能性の判断材料になると考えられる。

3.2 横浜市を対象としたケーススタディ

上記3.1で述べた検討手順に基づいて、横浜市北部を対象にケーススタディを行った。ここでは、特に、陸生生物を対象にケーススタディを行い、生態系ネットワークの構想図を作成し、この構想図をもとに生態系ネットワークと道路事業のかかわりについて述べることとする。なお、ケーススタディの実施に当たり、参考とする資料はすべて公表資料を用いる方針とした。

3.2.1 ハビタットタイプの整理

既存資料によりハビタットタイプの整理を行った。まず、横浜市の生物生息情報[10),11),12)]と、現存植生図[13)]を用いて、横浜市に現存するハビタットタイプを整理した。その結果、既存資料から把握可能なハビタットタイプとして、二次林等樹木の生育が優先し、樹林性の生物が生息する「樹林型」、「河川型」、ため池や湿地、水田を含む「湿地型」、畑地や乾田等を含む「草地型」、河口や湾内を含む「海域型」に区分した。

3.2.2 コアエリアとすべきハビタットタイプの選定

3.1(2)に基づき、稀少な生物種の生息・生育するハビタットタイプと地域を特徴づけ、多様な生物種の生息・生育するハビタットタイプをコアエリアとすることにした。

まず、前者に関しては、横浜市の生物の分布状況をもとに、神奈川県レッドデータ生物報告書の「絶滅危惧種」または「減少種」該当種[14)](植物も含む)及び横浜市の天然記念物として指定されているホタルの生息地[12)]を選定した。

次に、後者に関しては、以下のような考えで選定した。すなわち、横浜市に生息する鳥類、両生類、は虫類及び昆虫類毎に、それぞれの全種数に対する各ハビタットタイプに生息する種数の比率を計算し、その比率の総和が最大となるハビタットタイプを選定した。ここでは、樹林型が選定された。なお、結果的に、後者は前者を包含することとなった。

3.2.3 各構成要素の配置の可能性の検討

横浜市の土地利用は、大半を占める市街化区域と市街化調整区域が複雑に入り組んでいる[15)]。

市街化区域では、商業地や宅地等人為的な土地利用が進行している一方で、公園や小規模な斜面林、街路樹等、緑地空間も存在している[12),15)]。一方、市街化調整区域は大部分を農耕地と大規模な公園に指定された樹林が占めている。

このような状況では、市街化区域の緑地空間も有効に活用する必要があると考え、各構成要素の配置の可能性を以下のように考えた。まず、市街化区域内でも、風致地区では将来も緑地空間が担保される可能性があるとし、コアエリアになりうるとした。また、市街化区域に残存する緑地空間は生態的回廊になりうると考えた。一方、市街化調整区域内には、コアエリア、自然環境創出地域及び生態的回廊とも配置可能と考えた。

3.2.4 生態系ネットワーク構成要素の概略配置

表-1に、3.2.2、3.2.3の検討結果とともに、生態系ネットワーク構成要素の配置の考え方をとりまとめた。構成要素の配置は、3.1(5)に示した留意事項に基づいて行っている。

各構成要素の配置結果を図-2に示した。図化に際し、コアエリア及び自然環境創出地域の設定は、法令等の指定地域等の位置を考慮しながら町単位

で行った。また、生態的回廊は、特に、道路によるコアエリアの分断の可能性と、既存の緑地空間(小さな緑地及び道路ののり面等)の生物による移動経路としての利用可能性から設定した。なお、図-2中の①~⑥は表-1の配置例に対応している。

3.2.5 生態系ネットワーク構想と道路整備の方向性

生態系ネットワーク構想の立案過程では、生態系ネットワークの保全、整備のために、道路事業で取り組むべき内容を具体化することは困難である。しかし、図-2から今後の道路整備の方向性を概観することが可能である。

例えば、図中の"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、状況によっては、分断を解消する措置の検討を行う必要がある。

次に図中"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、必要に応じて第三京浜道路ののり面や沿道の緑地等を利用して、コアエリア間の移動に寄与する生態的回廊整備の検討を行う。

さらに図中"III地域"は、構想図には示されていないが、市街地内に街路樹や公園等緑地空間が散在している。ここでは、鳥類等の生息状況を調査し、必要に応じ道路に植樹する等により、市街地内の鳥類等の移動を促進する生態的回廊整備の検討を行う。

4. 生態系ネットワーク計画と道路整備

3.2.5で述べたように、生態系ネットワーク構想の段階では、これに配慮した道路整備の大きな方向性を把握できるにとどまり、コアエリア、自然環境創出地域、生態的回廊の具体的な整備の方策に関しては、生態系ネットワーク基本計画、整備計画の段階で具体化されることになる。

生態系ネットワーク基本計画、整備計画の計画プロセスについては、現在、検討中であるが、これらの計画の基本的考え方は、次に示すように、生態系ネットワークに対して道路事業が及ぼす影響をできる限り最小化し、道路事業がもたらす効果を最大限活用することと言える。

4.1 道路事業が及ぼす影響

一般的に道路がハビタットに与える影響は次のように整理される。まず、ハビタットの分断に伴い、動物の餌場などへの日常的な移動や、繁殖のための季節的な移動などを困難にさせる移動阻害がある。また、生息・生育地自体の縮小、消失に伴う個体数の減少も懸念される。さらには、道路

表-1 ケーススタディにおける各構成要素の配置の考え方

	コアエリアとすべきハビタットタイプ	構成要素となりうる緑地空間	構成要素設定の考え方	配置例
コアエリア	【貴重種のハビタット】 ・神奈川県レッドデータブック記載種の生息・生育する地域 ・横浜市天然記念物の生息・生育する地域	【確保された緑地空間】 ・大規模な公園 【存続する可能性の高い緑地空間】 ・市街化区域内の風致地区 ・市街化調整区域	現存するハビタットが将来的に確保される可能性の高い大規模な公園や、土地の開発に規制がかけられている市街化調整区域及び風致地区を設定した。その結果、貴重種及び天然記念物の生息・生育地は、これらに全て含まれた。	① こども自然公園 ・ホタルの生息地
	【地域における重要なハビタット】 横浜市に生息する多くの生物によって利用されている二次林等樹林型ハビタット			② 川井矢指風致地区 ・瀬谷市民の森 ・矢指市民の森 ③ 池辺町周辺の斜面林
自然環境創出区域		【コアエリアとして改善できる可能性の高い緑地空間】 ・市街化区域内でコアエリア以外の風致地区 ・市街化調整区域でコアエリア以外の緑地	コアエリアに隣接する緑地空間で、コアエリアを拡大させる観点から緑地の改良が見込める地域を設定した。	④ 川井矢指風致地区に隣接する畑地等
生態的回廊		【市街化区域に残存する小規模な緑地空間】 ・小規模な公園 ・崖地に残存する斜面林 ・街路樹 ・河川等	・景観的にコアエリア等が分断されている区域を設定した。 ・景観的に樹林として連続化を図ることが可能な空間を設定した。	⑤ 保土ヶ谷バイパスによる川井矢指風致地区の分断の解消を検討すべき地点 ⑥ 青葉区の住宅地内の街路樹と公園

沿道における湿度や日射等微気象の変化に伴う生息・生育環境の変化等間接的な影響も考えられる[1)]。

4.2 道路事業がもたらす効果

4.1で示したように、従来、自然環境と道路との関係はマイナス面が強調されることが多かった。しかし、道路空間における生物の生息状況に関する調査事例等から、プラスの効果をもたらす場合も考えられる。例えば、道路空間内でのハビタットの創出[16)]、または道路空間を活用した縦断方向への連続的な動物の移動経路の提供[17)]、さらには、沿道地域の緑地と道路空間の緑地が互いに補完することによる飛び石的な鳥類の移動経路の提供[16)]などである。

4.3 生態系ネットワーク計画における道路整備の視点

生態系ネットワーク計画における道路整備の視点と対策例は、表-2のように整理される。

まず、道路による影響の緩和として、路線位置の検討やトンネル、橋梁等の採用などの道路の基本構造の検討は、道路の計画段階から行う必要がある。その上で、動物の移動阻害が生じる箇所ではボックスカルバートやコルゲートパイプ等道路横断施設の設置を検討する。

また、道の駅、インターチェンジ、のり面及び環境施設帯等道路において自然的な環境を整備することが可能な空間では、ハビタットとしての活用を検討する。

5. おわりに

本稿では、生態系ネットワーク計画の計画手順として、構想、基本計画、整備計画の3段階を提案し、特に構想段階に関して具体的な検討手順を提案するとともに、横浜市を対象にケーススタディを行った。また、基本計画及び整備計画の検討時

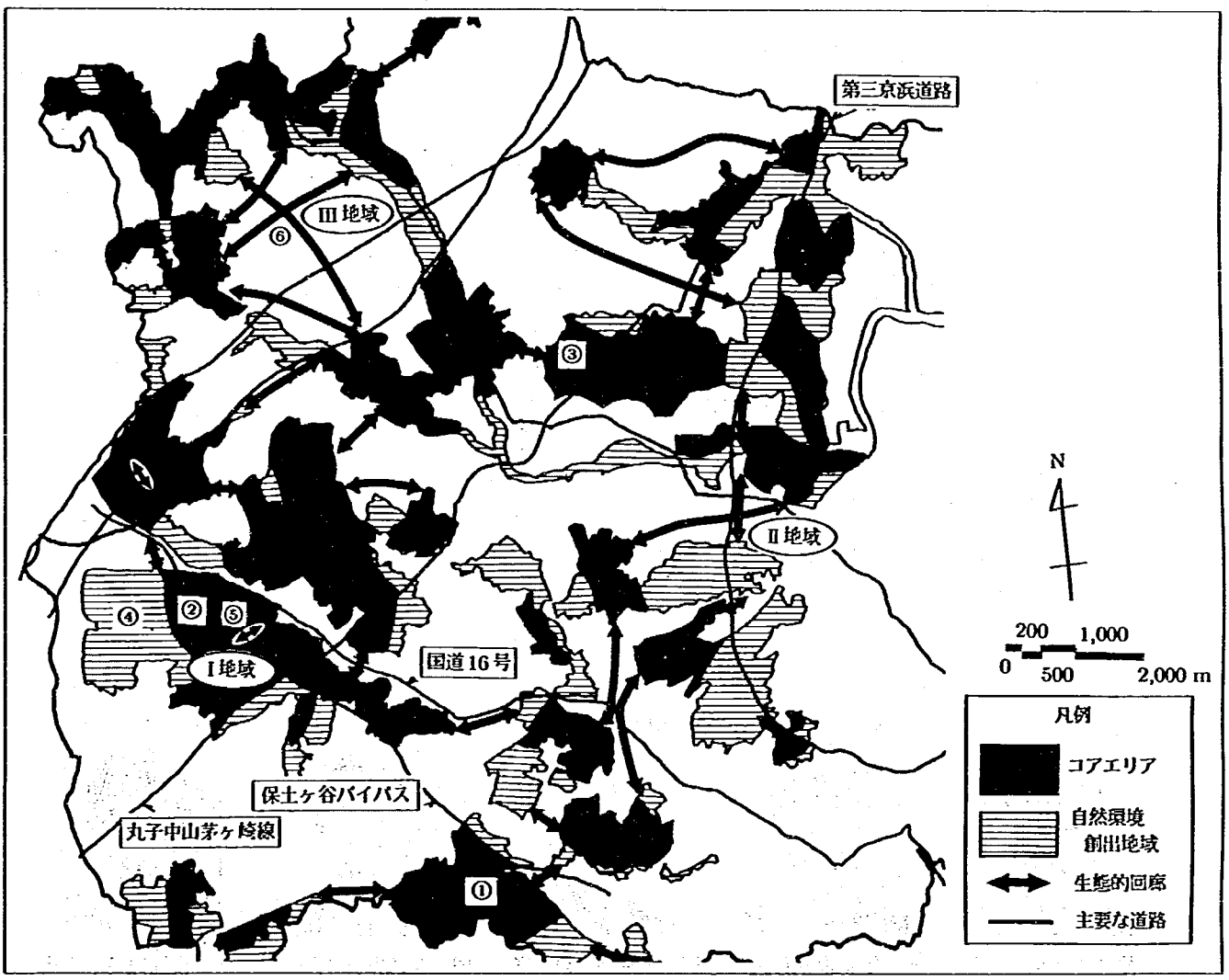


図-2 生態系ネットワーク構想図

注1) 本図は、公表資料に基づいてケーススタディにより作成した。
注2) 図中のⅠ地域、Ⅱ地域及びⅢ地域は3.2.5の内容に対応する。また、①～⑥は表-1の配置例に対応している。

表-2 生態系ネットワーク計画における道路整備の視点と対策例

生態系ネットワーク計画における道路整備の視点			対策例
道路による影響の緩和	保全すべきハビタットの直接改変を避ける		・路線の位置及び線形の工夫 ・トンネル、橋梁の採用
	道路の存在に伴う移動阻害を緩和する		・道路横断施設(ボックスカルバート等) ・フェンスの工夫、側溝のフタかけ
道路空間の活用	道路空間を利用した新たなハビタットの提供	・生物種の生活に必要なハビタットを単独で創出する ・隣接するハビタットと合わせて面積の拡大を図る	・連絡等施設(インターチェンジ等) ・休憩施設(道の駅等) ・環境施設帯(植樹帯) ・のり面
	道路空間を利用した新たな移動空間の提供	・連続的な移動経路を提供する	・環境施設帯 ・のり面 ・街路樹
		・飛び石的な移動経路を提供する	

に考慮すべき生態系ネットワークの保全、創出のための道路整備の視点と対策例を整理した。

今後は、基本計画、整備計画の計画プロセスの具体的な検討内容を示す必要がある。また、最初にも述べたように、本稿は、主に道路整備の視点に立つ筆者らによる一提案であり、計画プロセスの確立のためには、他分野の関係者の参加によるより一層の議論が必要と考える。

参考文献

1) エコロード検討委員会：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),大成出版,1995.12
2) 平田真理子：環境の創造・保全と国土建設-国土生態ネットワークの形成に向けて-,平成9年度土木研究所講演集,pp.39-84,1998.1
3) ヨーロッパ環境政策研究所：エコロジカル・ネットワーク-環境軸は国境を越えて-,(財)日本生態系保護協会,1995.12
4) 日置佳之：オランダにおける国土生態ネットワーク計画とその実現戦略に関する研究,日本造園学会誌ランドスケープ研究第59巻,第5号,pp.205-208,1996.3
5) 日置佳之、井手佳季子：オランダの3つの生態ネットワーク計画の比較による計画プロセスの研究,日本造園学会誌ランドスケープ研究第60巻,第5号,pp.501-506,1997.3
6) 沼田真：生態学事典,築地書店,1974.12
7) Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries of Netherlands : Nature Conservation Policy in the Netherlands,1996.
8) 樋口広芳：保全生物学,(財)東京大学出版会,1996.7
9) 地球環境保全に関する関係閣僚会議決定：生物多様性国家戦略,1995.10
10) 横浜市公害対策局：横浜市陸域の生物相・生態系調査報告書,1991.3
11) 神奈川県環境部自然保護課：かながわの鳥と獣-神奈川県鳥獣生息分布調査報告書-,1992.3
12) 横浜市環境保全局：土地利用・植生の変化及び文化財等分布図,1993.3
13) 横浜市環境保全局：現存植生図(環境分類図),1993.3
14) 神奈川県レッドデータ生物調査団：神奈川県レッドデータ生物調査報告書,神奈川県立生命の星・地球博物館,1995.3
15) 横浜市緑政局公園緑地計画課：横浜市公園緑地配置図,1996.3
16) 亀山章：エコロード(生き物にやさしい道づくり),ソフトサイエンス社,1997.3
17) Ministry of Transportation, Public Works and Water Management : Nature over wegen (Nature across motorways), 1995.


大西博文*
建設省土木研究所
環境部
交通環境研究室長
Hirofumi OHNISHI


上坂克巳**
同　交通環境研究室
主任研究員
Katsumi UESAKA


小根山裕之***
同　交通環境研究室
研究員
Hiroyuki ONEYAMA


川上篤史****
同　交通環境研究室
Atsushi KAWAKAMI


小菅敏裕*****
(前　交通環境研究室
交流研究員)
Toshihiro KOSUGE

（平成10年度の研究成果）

Ⅳ. その他の研究

Ⅳ－1 バス乗降時間短縮によるバス運行および一般交通の改善に関する研究

A Study on Improvement of Bus Operation and Road Traffic with Reducing Bus Dwelling Time

大城 温*・中村文彦**・大蔵 泉**
Noloka Oshiro, Fumihiko Nakamura and Izumi Okura

This paper focuses on the effect on improvement of bus operation and road traffic with reducing bus dwell time. At present, bus bay is established as a measure for improving road traffic. But establishing bus bay raise a problem that bus dwell time increases due to confluence loss. First, "total delay time of road traffic" as an index indicating delay time of bus transit and road traffic is proposed. Second, It is explained quantitatively that reducing bus dwell time is often more effective to reduce "total delay time of road traffic" than establishment of bus bay through simulation of bus stopping at a bus stop between two signalized intersections. The simulation model is based on Shock-wave theory. Finally, efficiency of reducing bus dwell time measure is shown by cost-benefit analysis.

Keywords : Bus Dwelling Time, Bus Operation Improvement, Simulation, Total Delay Time of Road Traffic
バス乗降時間、バス運行改善、シミュレーション、道路交通総遅れ時間

1． はじめに

バス交通は都市に欠かせない交通機関であるが、定時性の悪化、表定速度の低下に伴う所要時間の増加などにより利用者が年々減少の一途をたどっており、所要時間の短縮はバス交通にとって大きな課題の１つである。

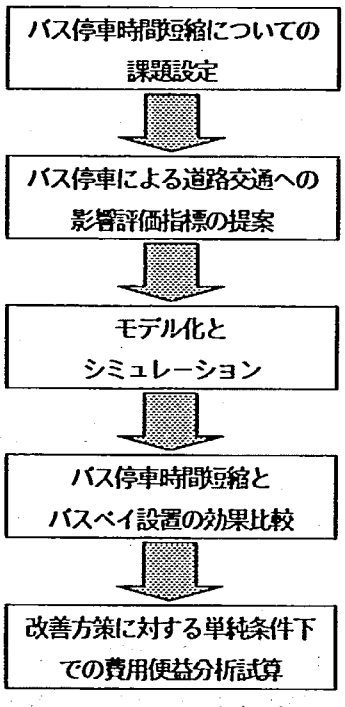
また一方で、頻繁に繰り返されるバスの停車は後続交通に大きな影響を与える。特に片側１車線道路においてはその影響が顕著であり、その緩和も大きな課題の１つであると言える。

これら２つの課題に対して共通する影響因子は「バス停車時間」である。つまりバス停車時間の短縮により、バス・自動車両方の所要時間を短縮できると考えられるが、その効果は現在まで定量的には論じられていない。

そのため、現状では一般車の遅れ時間増加の対策としてバスベイ[補注(1)]設置が一般的である。これはバスにとってはバスベイから発車する際に一般車の車頭間隔が開いて合流可能になるまでの遅れ時間が生ずるデメリットがある。そこでバスベイ設置よりも、バス・自動車双方にメリットがあるバス停車時間短縮が有効である交通条件が存在すると考えられる。

本研究では片側１車線道路を対象に、バス停車時間短縮方策の実施によるバス交通及び一般交通への影響を定量的に把握するとともに、バスベイとの比較によりその有効性を明らかにすることを目的とする。

まず２章では過去の研究の課題を整理して研究の意義を述べ、次に３章ではバス停車によるバス交通及び一般交通の遅れによる損失を表す指標を提案する。さらに４章では、バス停車による道路交通への影響のモデル化とシミュレーションを行い、バス停車時間短縮の有効性をバスベイ設置との比較を通して明らかにする。最後に５章において道路交通への影響緩和方策を比較検討するために単純な条件下で費用便益分析による試算を行う。
（研究の流れは図－１を参照）

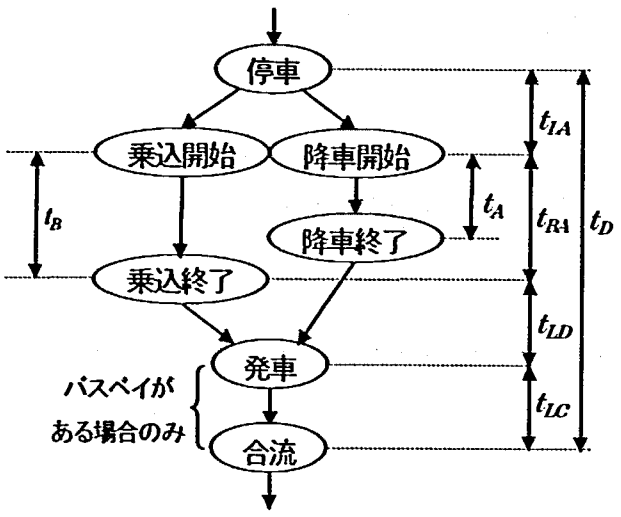


図－１ 本研究の流れ

2． 過去の研究と本研究の意義

バスの停車時間 t_D は一般的には図－２のように考えられる。

*正会員 建設省 土木研究所 環境部 交通環境研究室 (Ministry of Construction)
**正会員 横浜国立大学 工学部 建設学科 (Yokohama Nat'l Univ.)



図－２　バス停車時間 t_sの構造

ここで、t_{IA}は乗降時間、t_{IA}は到着損失、t_{LD}出発損失、t_{LC}は合流損失。また、乗降時間 t_{IA}は乗込時間 t_Bと降車時間 t_Aのうち大きい値である。

海外における乗降時間に関する研究には、Feder、Kraft ら、Guenthner ら(1988)の例[1]などがあり、損失時間に関する研究では、Cunitll ら(1973)の例[2]、Scheel ら(1962)の例[3]などがある。また我が国では、大城ら(1996～1997)[4][5]が乗降時間特性解析を行い、影響要因を重回帰分析により定量的に明らかにしている。さらに大城らの研究(1997)[1]では、いくつかの乗降時間短縮方策を設定し、それらの方策の実施による乗降時間の短縮効果とそれに伴うバスターミナルの所要バース数の削減効果を計算している。

また、走行時も含めたバス運行遅れ時間の影響要因については、河上ら(1966)[7]によってバス運行遅れ時間の基礎的な定式化がなされ、小谷ら(1981～1982)[8][9]によりバス運行阻害要因が明らかになっている。また中村ら(1986)[10]により、曜日や時間帯・天候等の要因によるバス運行時間への影響分析が行われ、その影響が明らかになっている。

しかし、上述の研究においてはバスベイを設置した場合のバスの合流損失を取り上げて論じた文献は見当たらない。また、バス停車が一般交通に与える影響については、定量的に明らかにする試みはされておらず、バスの運行改善がバス交通及び一般交通両方に与える効果を総合的に評価した文献も見当たらない。

以上からわかるように、バス停車時間短縮方策を実施した場合のバス交通及び一般交通の遅れ時間解消に及ぼす効果を、バスベイを設置した場合との比較を通して定量的に把握された例はなく、本研究の意義は大きいと考えられる。

３．　道路交通総遅れ時間

都市の一般街路においては、頻繁に繰り返されるバスの停車によって後続交通は大きな影響を受ける。その結果、バス停車によりバス乗客の遅れ時間（以降「バス乗客総遅れ時間」と言う。）だけでなく、一般交通にとって道路交通容量の低下および停車を余儀なくされたことによる遅れ時間（以降「一般車乗員総遅れ時間」と言う。）という形で不利益を受けることになる。

特に、追い越しをすることに困難が伴う交通量の多い片側１車線道路上にあるバス停においては、一般的にバスベイを設けた方が良いとされる。

しかしバスベイがある場合、バスが発進するためには車頭間隔が開いたタイミングを見計らって一般車線に合流しなければならない。そのため後続交通への影響がほとんどない代わりに、バスベイがないときと比較してバスの乗客にとっては合流に要する待ち時間の分だけ余計に「バス乗客総遅れ時間」が増加することになる。つまり、「一般車乗員総遅れ時間」の短縮方策を検討する場合には、一般車乗員とバス乗客の時間価値が同じだと仮定すれば、「一般車乗員総遅れ時間」と「バス乗客総遅れ時間」の和（「道路交通総遅れ時間」と定義する）がなるべく小さくなるような方策を選択する必要があると考えられる。

そこで本研究では、道路交通改善の評価指標として（１）式で表される「道路交通総遅れ時間」を用いることとする。ただし、本研究では一般車乗員とバス乗客の時間価値は同一であると仮定し、重み係数は双方とも１に設定している。なお、表－１にバス停車時間と一般車総遅れ時間の影響要因の関係を定性的に示した。

（重み付き）道路交通総遅れ時間
＝バス乗客総遅れ時間＋一般車乗員総遅れ時間
＝バス停車時間×バス平均乗車人員×（重み係数）
＋一般車総遅れ時間×平均乗車人数×（重み係数）
…（１）

表－１　バス乗客総遅れ時間と一般車乗員総遅れ時間の影響要因とその傾向

	バス停車時間	一般車総遅れ時間
バス停車時間短縮	減少	減少
バスベイ設置	増加	ほぼ0に減少
交通量増加	変化なし	増加
バス乗車人員増加	増加	変化なし

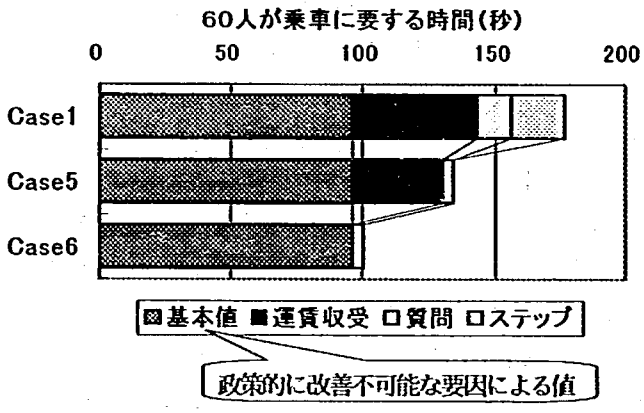
４．　バス停車による一般交通への影響のシミュレーションとその結果

この「道路交通総遅れ時間」の短縮方策の効果を定量的に求めるため、バス停車による道路交通への影響をモ

デル化しシミュレーションを行った。シミュレーションを行うにあたっては、前述のようにバスベイがない場合とある場合とでは大きく「道路交通総遅れ時間」が変わってくると考えられるため、それぞれ分けてモデル化した。

（1）採用したバス乗降時間短縮方策

シミュレーションのバス乗降時間短縮方策には大城[9]らの研究で提案された前払い方式の7方策のうち、都市部で採用されている乗降方式で短縮方策実施前の Case1、乗降システムの改善方策をすべて行う Case5、さらに理想的な改善案である Case6 の3つをここで取り上げることとした。その短縮効果を図－3に示す。



Case1…前乗り前払い均一運賃方式

Case5…同方式で、全車ノンステップバス、非接触式バスカード利用、案内充実により乗客の質問1/3

Case6…同方式で、Case5に加え乗客全員が非接触式運賃収受（定期券または非接触式バスカード）を利用

図－3　乗降時間短縮方策の効果とその要因の内訳

（2）シミュレーションの前提条件

シミュレーションの前提条件は以下のように考えた。

ここでは、片側1車線で比較的交通量の多い都市街路において、2つの信号交差点間に存在するバス停留所を想定した。したがって、交通量の多い道路を想定しているため、バスの後続の車両はバスベイがない場合、バス停車中には後ろで発車を待ち、追い越さないと考えた。なお、2つの信号は同じサイクル・スプリット、同時オフセットで制御されるとした。

一般車はランダムに到着するが、信号1サイクル間の交通量は一様であると仮定している。加減速による遅れ時間はバス停車による遅れに対してかなり小さいので、一般車・バスともに無視している。また、大型車の混入は乗用車に換算し、すべて乗用車として扱うものとする。

大木らの駐車場からの出庫に関する研究[10]や、品川らの右折入庫挙動に関する研究[11]から、バスの合流についても同様なギャップアクセプタンス[補注(1)]によると仮定し、バスベイから一般車線に合流可能な最小車頭間隔を5秒に設定した。

飽和交通流率および自由流空間平均速度は、桑原らの研究[12]を参考に、それぞれ1800台/h、36km/hとした。

（3）モデル化

（I）バスベイがない場合のモデル化

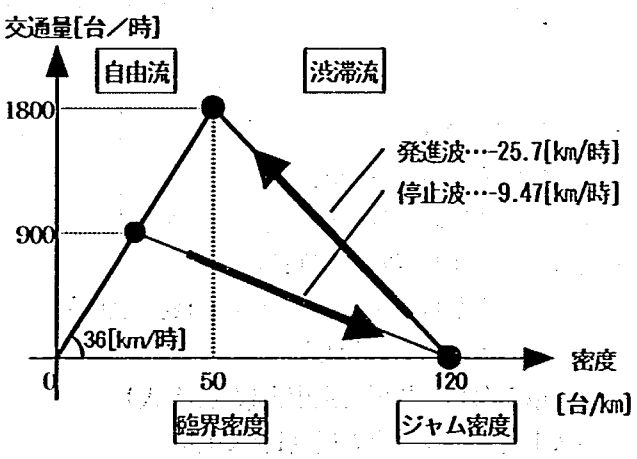
本研究では交通流をショックウェーブ理論[補注(1)]に基づいてモデル化した。このとき、一般交通は一定の流率q、空間平均速度vで流れ、流率qと交通密度kの間にはq＝kvの線形関係が成立している。（図－4）

図－5にバスベイのない場合の交通流モデル図を示す。縦軸に下流交差点からの距離、横軸に時刻をとっている。また、この図の領域の濃度は交通密度の高低を示している。黒の領域は渋滞流であり、車列ができ車がほとんど停止した状態である。車がこの領域にさしかかると、停止せざるを得ないことを示している。このことから、バスの停車によりできるこの渋滞領域内に車が存在する時間が、「一般車総遅れ時間」であり、この領域の「面積／ジャム密度[補注(1)]」に一致する。（図－4参照）

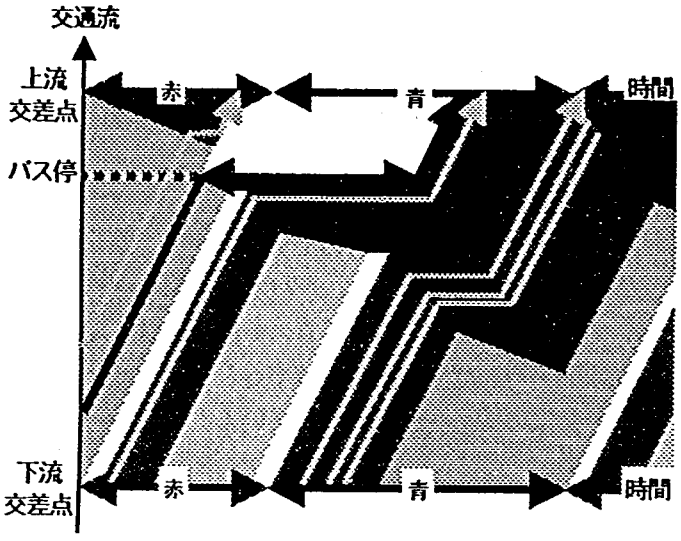
濃い灰色の領域は飽和流であり、このときの密度が臨界密度である。薄い灰色の領域は自由流である。

（II）バスベイがある場合のモデル化

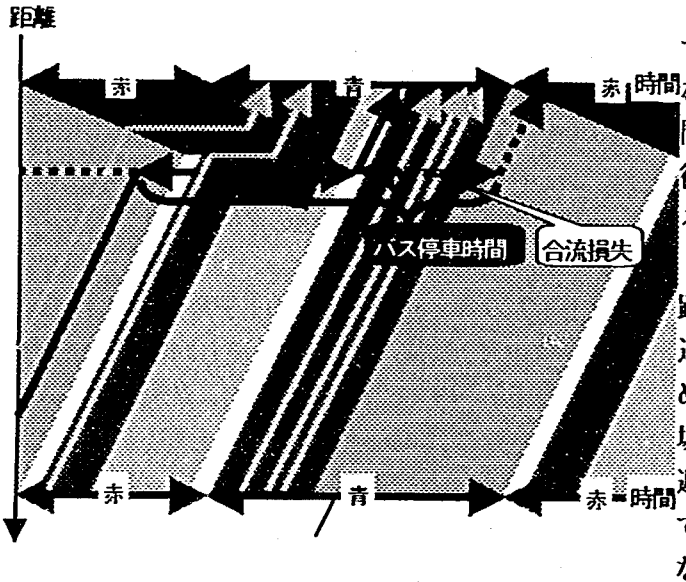
バスベイがある場合の交通流も同様にモデル化した（図－6）。バスベイがある場合、加減速損失を無視すれば一般車遅れ時間は0である。しかし、バスの乗降が終了し発進準備が完了しても、車線上の車頭間隔が一定（本研究では前述の通り5秒）以上開くまでバスベイ内に停車し続けなければならないため、バス停車時間は増加する。この損失時間が合流損失であり、合流損失にバス乗車人員を乗じた分が、バスベイ設置によって増加する遅れ時間である。



図－4　Q－K相関とショックウェーブの伝播速度[13]
（交通量900台／時の場合）



図－５　バスベイがない場合の交通流概念図



図－６　バスベイがある場合の交通流概念図

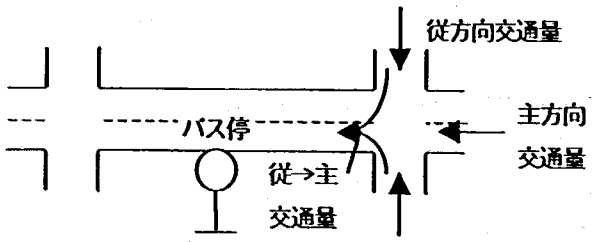
（４）交通条件

交通条件としてシミュレーションに投入した変数を以下に示す。

- 主方向交通量（150～900台／時）
- 従方向交通量（50～300台／時）
- 従方向から主方向への流入は従方向交通量の半分（25～150台／時）

} 図－７参照

- 信号サイクル長（75～120秒）
- 下流交差点からバス停までの距離（20～160m）
- 交差点間隔（200m～500m）
- 一般車１台あたり平均乗車人数（1.5人）
- バス１台あたり乗車人員（10～60人）
- バス停での１停車あたり平均乗降人数（5～10人）
- 乗降時間の各影響要因による影響度は大城らの研究[1]で求められた値を用いる。
- 乗客の属性（ハンディの有無・運賃支払手段など）割合は、ビデオ撮影による実測データの値。



図－７　交通量の定義

このような条件下でバスと一般車の上流交差点通過時刻をコンピュータによる擬似乱数で決定し、一般車総遅れ時間とバス総遅れ時間を計算した。

（５）シミュレーション結果の考察

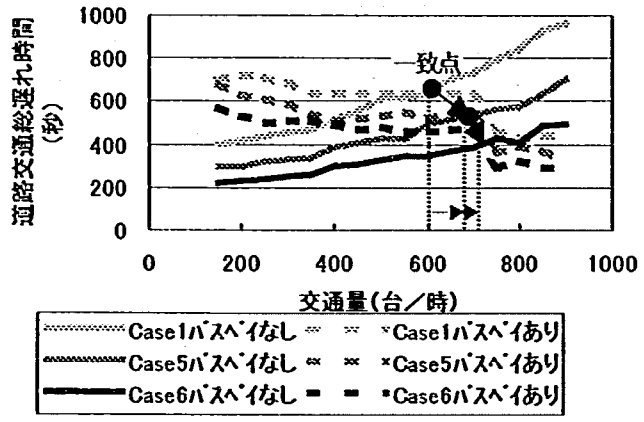
４－（４）に挙げたように交通条件を様々に変化させながらシミュレーションを行った結果、道路交通総遅れ時間は、主に交通量とバス平均乗車人数、バス停車時間、バスベイの有無に大きく左右されることがわかった。従って、以下にバスベイの有無および停車時間短縮による道路交通総遅れ時間の短縮効果を交通量別に示す。

図－８では、バスベイの有無による交通量ごとの道路交通総遅れ時間を比較した。バスベイのない場合、交通量が多いほどバスの後続に停車する車両が増加するため、一般車遅れ時間が増加する。また、バスベイがある場合は交通量が一定水準を上回ると、急激に道路交通総遅れ時間が減少しているが、これは交通量の増加によってバスベイの脇まで信号待ちの車列が達する確率が高くなることにより、合流が容易になりバス総遅れ時間が減少するためと考えられる。

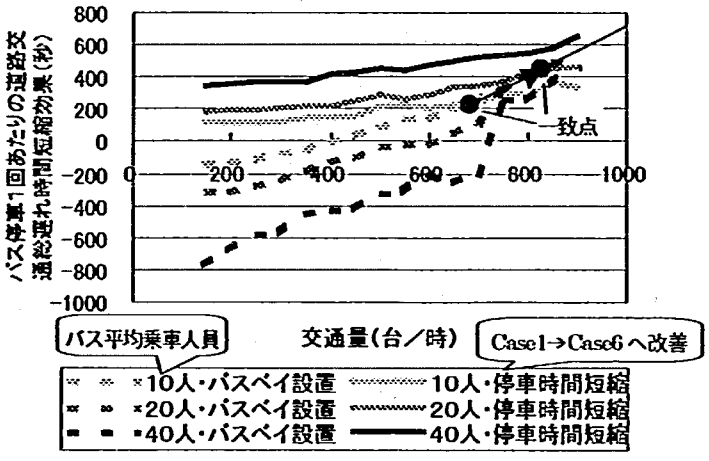
この２つの現象によって図－８に示したように、交通量が少ない場合はバスベイがない方が道路交通総遅れ時間が少なく、交通量が多い場合はバスベイがある方が道路交通総遅れ時間が少なくなる。つまり、バスベイのない場合とある場合とで道路交通総遅れ時間の一致点が存在するということである。また、Case1→Case5→Case6 とバス乗降時間が短縮されていくとともに、その一致点が徐々に交通量が多い方へ移る傾向がある。このことは、バス乗降時間短縮方策の実施により、バスベイを設置しない方が「道路交通総遅れ時間」の点で有利になる交通条件が拡大可能であることを示している。

図－９ではバス停車時間短縮とバスベイ設置によるバス停車１回あたりの「道路交通総遅れ時間」短縮効果をバス平均乗車人員別に示した。このグラフから交通量が道路交通容量に近い場合を除くと、バスベイ設置より

もバス停車時間短縮を行った方が道路交通総遅れ時間の短縮効果が高いこと、交通量が少ない場合にはバスベイ設置がバス総遅れ時間を増加させ、かえって道路交通総遅れ時間を増加させることがわかる。また、バス平均乗車人員の多い路線では、交通量が多い場合でもバス停車時間短縮方策が有利であると言える。



図－8 バスベイの有無と道路交通総遅れ時間の関係
（バス平均乗車人員20人の場合）



図－9 バス停車時間短縮とバスベイ設置の効果比較

5． 費用便益分析

（1）基本的枠組み

3章で提案した「道路交通総遅れ時間」と、4章で行ったシミュレーションを用いて、バス停車が道路交通に与える影響を緩和する方策を比較検討するための費用便益分析の枠組みを検討する。

ここでは、道路交通総遅れ時間の短縮効果に時間価値を乗じたものを便益とし、バス停車時間短縮またはバスベイ設置に要する費用と比較することとする。ただし、バス停車時間短縮とバスベイ設置の効果の比較を行う場合、バス停車時間短縮方策はすべてのバス停におけるバス停車に対して道路交通総遅れ時間短縮効果があるが、バスベイ設置はそのバス停にしか効果をもたないので、単純な比較はできない。逆に、費用についてはバス停車時間短縮方策には運賃収受システムの改善やノンステップバスの導入などが含まれ、費用を投じる対象が広い。

そこでこの点を考慮する必要があるが、本研究では費用を投じる範囲をバス路線単位とし、（2）に示すようなごく単純な仮定により費用便益分析を行った。

（2）仮定条件

・東京近郊の路線長4kmのバス路線を想定
・バス停留所平均間隔400m（→バス停数11）
・バスには平均20人が乗車
・終点を除くすべてのバス停で乗車あり
・1日あたり片道バス本数60本、往復120本
（1時間あたり最大片道6本）
・バス所要台数10台（予備車含む）
・時間便益は2017円／時
（平成10年3月労働省勤労統計調査より）
・交通量は700台／時、信号サイクル長90秒

（3）バス停車時間短縮とバスベイ設置の比較

（I）バス停車時間短縮の費用と便益

・道路交通総遅れ時間は1停車あたり347秒の短縮
・非接触式バスカードリーダつきノンステップバスは1台あたり3000万円（近年のノンステップバスの価格を参考にカードリーダ分を上乗せ）
・バスの耐久年数は10年

［1年あたり便益］
＝2017×(347／3600)×10×120×365＝8540万円／年
［1年あたり費用］
＝30000000×10／10　　＝3000万円／年

（II）バスベイ設置の費用と便益

・道路交通総遅れ時間は1停車あたり110秒の短縮
・バスベイの面積は15m×3m＝45㎡
・1㎡あたりの地価は30万円（国土庁地価公示を参考）
・バスベイ設置の費用は用地費のみ
・起終点を除くすべてのバス停に両方向共にバスベイを設置
・バスベイは20年間管理費用が不要とし、20年毎に設置と同じ費用が必要

［1年あたり便益］
＝2017×(110／3600)×9×120×365＝2430万円／年
［1年あたり費用］
＝300000×45×9×2／20　　＝1220万円／年

表－3 費用便益分析の結果

	バス停車時間短縮	バスベイ設置
1停車あたり短縮効果	347秒	110秒
1年あたり便益	85,400,000円	24,300,000円
1年あたり費用	30,000,000円	12,200,000円
便益／費用	2.85	1.99

分析の結果（表－3）から、バス停車時間の短縮はバスベイ設置と比較して費用は大幅にかかるものの、得られる便益はそれ以上に大きいことがわかる。また、バス停車時間短縮には大城ら[1]の研究で明らかになっているように、「道路交通総遅れ時間」の短縮効果だけでなく、バスバース容量増加効果やバスの乗降性向上など様々な便益があり、それらも含めるとさらに大きな便益があると考える。それらも含めた評価も、今後研究していく必要がある。

6．まとめ

本研究では、バス乗降特性解析を通して提案された乗降時間短縮方策を用いた場合と、バスベイを設置した場合のバス停車により生ずる道路交通総遅れ時間の短縮効果についてシミュレーションによって計算し、以下の成果が得られた。

① バス停車による道路交通への影響を緩和する方策の効果指標として、「一般車乗員総遅れ時間」と「バス乗客総遅れ時間」を合わせた「道路交通総遅れ時間」を提案し、この指標を用いることによってバスの停車が道路交通に与える影響の定量化を行った。

② バス停車による道路交通への影響緩和を目的として、バス停車時間短縮の効果を定量的に求め、道路交通総遅れ時間の観点からバスベイ設置と比較してバス乗降時間短縮がより有効である交通条件が多く存在することを示した。

③ 道路交通総遅れ時間短縮方策を定量的な比較検討するための費用便益分析の枠組みを提案し、ごく簡単な試算を行い、バス乗降時間短縮方策の有効性を貨幣価値で示した。

今後の課題としては、シミュレーションや費用便益分析に用いたいくつかのデータについて仮定をしているものがあるため、個々のデータについてより現実に近くなるように精緻化し、全体の精度を高める研究を進めていく必要があることが挙げられる。

<補注>

（1） バス停部路側の歩道部分を削り、バス停車により交通流を乱さないために、車道から分離した空間。

（2） 車頭間隔を認知し、右左折、合流、横断、追い越しなどが安全と判断して行動に踏み切ること。

（3） 交通流を流体力学的に取り扱った理論で、交通状態の不連続波が交通流の上下流に伝播していくと考える。q－k関係から求められる。

（4） 渋滞により平均速度が0になり、交通流が停止した状態。このとき密度は最大値となる。

<参考文献>

1) Guenthner R. P. & Hamat K. (1988), "Transit dwell time under complex fare structure." Journal of Transportation Engineering Vol.114 No.3, pp.367-379

2) Cuntill, M. A., and Watts, P. F., "Bus Boarding and Alighting Times." Great Britain Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, England, Report LR 521 (1973).

3) Scheel, W., and Foote, J. E., "Bus Operation in Single Lane Platoons and Their Ventilation Needs for Operation in Tunnels." Research Publication GMR-808, General Motors Research Laboratories, Warren, Michigan (1962).

4) 大城温，大蔵泉，中村文彦(1996)、「バス停留所におけるバス乗込時間の影響要因に関する研究」、土木学会第 51 回年次学術講演会概要集第IV部、pp.240-241

5) 大城温，大蔵泉，中村文彦(1997)、「運賃収受方法がバス乗降特性に与える影響」、土木学会第 52 回年次学術講演会概要集第IV部、pp.6-7

6) 大城温、中村文彦、大蔵泉(1997)、「バス停留所におけるバス乗降特性とバス交通容量への影響」、第 17 回交通工学研究発表会論文報告集、pp.233-236

7) 河上省吾、米谷栄二(1966)、「バス運転における遅延について」、第8回日本道路会議論文集、pp.1089-1092

8) 小谷通泰、荒井俊博、深沢成年(1981)、「バス運行挙動の観測方法と運行阻害要因の解析について」、土木学会第 36 回年次学術講演会概要集第IV部、pp.67-68

9) 小谷通泰、荒井俊博、藤井謙吾(1982)、「バス運行所要時間調査とその結果について」、土木学会第 37 回年次学術講演会概要集第IV部、pp.289-290

10) 中村文彦、新谷洋二、太田勝敏(1986)、「バス運行実績を用いたバス運行状況に関する分析」、土木学会第 41 回年次学術講演会概要集第IV部、pp.247-248

11) 大木智明、桑原雅夫、赤羽弘和、寺原和彦、森本貴之(1996)、「駐車場出庫車両が本線交通に与える影響の評価、分析に関する基礎的研究」、土木学会第 51 回年次学術講演会概要集第IV部、pp.446-447

12) 品川泰宏、山田稔、山形耕一(1996)、「沿道型大規模店舗への右折入庫挙動のモデル化に関する研究」、土木学会第 51 回年次学術講演会概要集第IV部、pp.448-449

13) 桑原雅夫、吉井稔雄、堀口良太(1997)、「ブロック密度法を用いた交通流の表現方法について」、交通工学、Vol.32、No.4、pp.39-43

14) "Highway Capacity Manual"(1985),pp.418-423

Ⅳ－2 大規模施設の利用者の変動特性について

建設省土木研究所　正会員　○川上篤史
建設省土木研究所　正会員　大城　温
建設省土木研究所　正会員　上坂克巳
建設省土木研究所　正会員　大西博文

1．はじめに

都市部、地方部にかかわらず大規模施設の開発が行われた場合、局所的に自動車交通が集中することにより交通渋滞等が発生し、それに伴い交通の安全性および沿道の生活環境等の確保が困難になることがある。これらの問題を検討し、効果的な対策を講じるためには、大規模施設における発生・集中交通量を適切に予測することが必要不可欠である。

大規模施設における自動車交通の発生原単位については種々の研究[1)・2)]が行われているが、それらは原則として年間の平均的な交通状況を対象としている。しかし、集客、イベント施設等利用者のピーク性が高い施設についてはピーク日の交通影響を重視する必要があるが、いままでピーク性が高い施設について用途別に利用者数の変動特性の違いを比較、分析した文献はあまり見られない。

そこで本稿では、大規模施設の例として、集客・イベント施設、レジャー施設及び商業施設を取り上げ、これらの施設における来場者（または来場車）の年間あるいは一日の変動特性を調査し、各施設毎の特徴を示すとともに、その要因に関して考察を行うこととする。

2．調査方法

大規模施設のうち、来場者数の年間における変動特性が異なると思われる集客・イベント施設（ホール、展示場など）、レジャー施設（テーマパーク、遊園地など）及び商業施設（デパート、ショッピングセンター、スーパーマーケットなど）を取り上げた。これらの施設の日別の来場者数を調査し、日来場者数の年平均日来場者数に対する比率（変動係数）を求めた。調査はヒアリングで行い、調査対象、調査時期については、表１に示す。また、大規模商業施設のみ時間帯別変動パターンについても分析した。

表１　調査の対象及び時期

大規模施設の分類	調査対象施設	調査対象時期
(1)集客・イベント施設	地方中核都市にあるドーム施設	1995年4月～1996年3月
(2)レジャー施設	博覧会（科学万博、ポートピア、横浜博、アジア太平洋博、デザイン博、花の万博）	各博覧会の開催期間
	都内某水族館	1991年4月～1996年3月
(3)商業施設	都内某ショッピングセンター	1997年1月～12月

3．調査結果

3．1　施設毎の年間における日来場者数の変動パターン

（1）大規模集客・イベント施設の変動パターン

①対象施設の特性

分析の対象とした集客・イベント施設は、地方の中核都市にあるドーム施設で、地下１階、地上６階でアリーナを有するメインイベントエリアとサブイベントエリア、会議室などからなる。最大収容人員は20,000人で4,000台収容の駐車場を有する。この施設で催される主なイベントはスポーツ（競輪）で、それ以外では、音楽、芸能、見本市、展示会、集会、式典などが開かれる。イベントの開かれていない準備・撤

去日等も含め、メインイベントエリアの営業日に対する稼働率は平成７年度で9割を超え、約130万人の入場者があった。

②日変動パターン

メインイベントエリアの入場者について全イベント時と競輪時の日変動を分析した(図１参照)。イベント別の入場者数のデータしかないため、複数日にわたって開催されたイベントについては開催日数で除したデータで変動をみることとする。

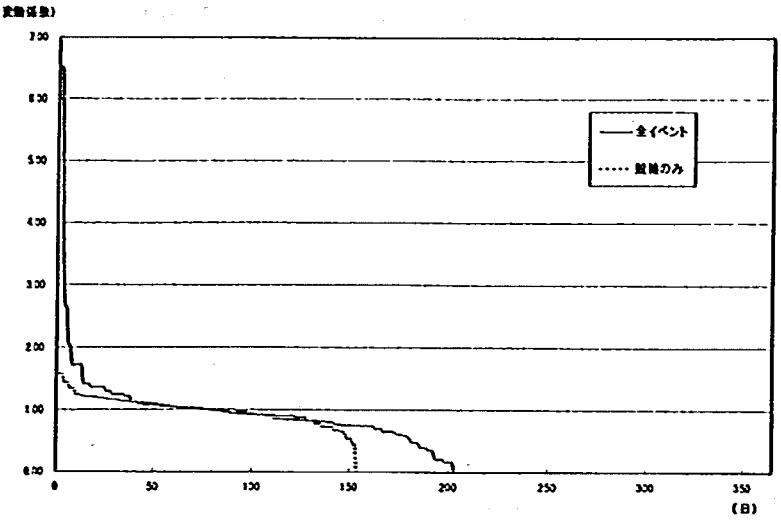


図１　某ドーム施設の日変動の順位

まず、全イベントについての日変動をみる。イベントの開催があったのは202日であり、この平均日入場者数に対する変動係数をみると、ピーク日の変動係数は6.5となっており、ピーク率はかなり高い。しかし、変動係数が2.0を超えているのはわずか７日に過ぎず、ごく特殊なイベントを除いて変動はさほど大きくない。ピーク日のイベントは施設の最大収容人数を大きく上回る入場者となっており、入場者が入れ替わる特殊なイベントと考えてよい。通常のイベント時においては施設の最大収容人数の範囲内に収まっているため、変動は大きくならない。

次に、この施設の主要イベントである競輪関係のイベントの日変動について見てみる。競輪関係のイベントが開催されたのは153日であり、この平均日入場者数に対する変動でみていく。ピーク日の変動係数は1.58に過ぎず、変動幅は極めて小さいことがわかる。イベント施設とイベントの種類が同じであれば、ほぼ、集客数が決まってくるのが実態であると捉えることができよう。

イベント・集客施設に関しては、施設の収容規模によって上限が定められるため、特殊なイベントを除き、日変動は小さい範囲に収まると考えられる。

（２）大規模レジャー施設の変動パターン

１）主要博覧会

①対象施設の特性

博覧会は、テーマパークや遊園地のような恒常的な施設としてのレジャー施設ではなく、会期の限られた集客イベントである。しかし、開催期間の長い大規模な博覧会については、テーマパーク等の屋外型の大規模レジャー施設と類似した変動パターンを示すと想定されるため、ここでは、大規模レジャー施設の変動パターンの分析に当たり、データを入手しやすい主要な博覧会を対象とすることとした。

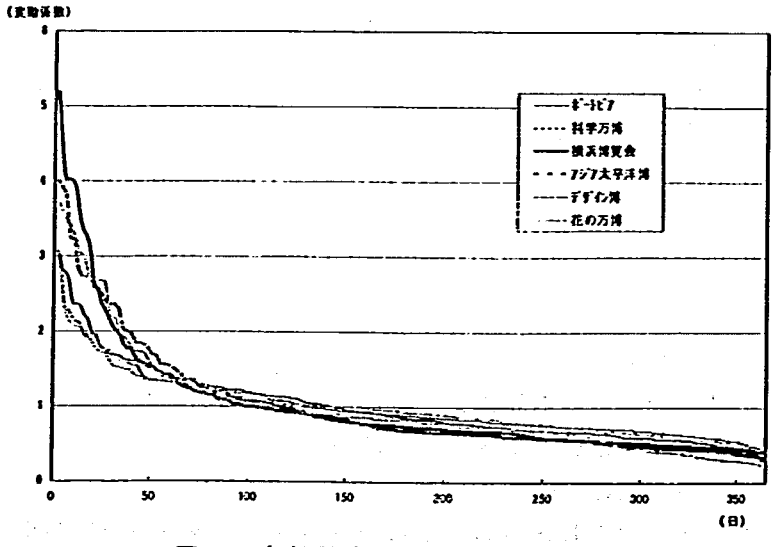


図２　各博覧会の日変動の順位

分析の対象とした博覧会は、つくばで開かれた科学万博、神戸で開かれたポートピア、横浜で開かれた横浜博、福岡で開かれたアジア太平洋博、名古屋で開かれたデザイン博、大阪で開かれた花の万博である。

②日変動パターン

博覧会はそれぞれ会期が異なるため、比較分析しやすいよう、会期を365日の変動に置き換えて分析を行うこととした。

ここで、ピーク日の変動係数をみると、最も大きいのが横浜博の5.19、次いでアジア太平洋博4.00で、デザイン博3.71、科学博3.06、ポートピア3.00、花博2.93となっている(図２参照)。博覧会によってばらつきはあるものの、おおよそ３以上になるとみて良いようである。

いずれの博覧会も50日目あたりまでの勾配がきつい傾向にあり、80日目あたりからは勾配がかなり緩くなり水平に近くなっているのが特徴である。

２）水族館

①対象施設の特性

分析の対象とした施設は首都圏に立地し、入場者が年間約360万人の大規模な水族館である。

②日変動パターン

定休日を除いた308日間の平均入場者数に対する変動係数でみると、ピーク日は3.47で40日目あたりまでの勾配がきつく、80日目ころから勾配はかなり緩くなっていくのが分かる(図３参照)。前述した6つの博覧会の入場者の変動パターンとかなり類似したパターンになっている。

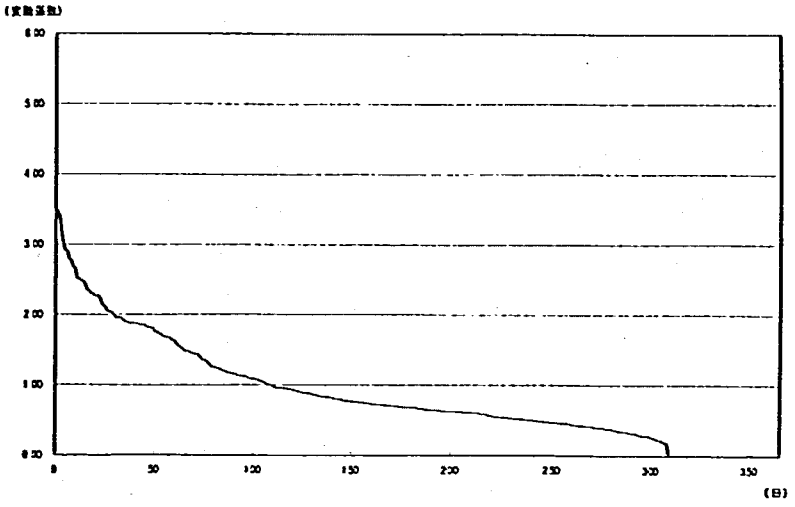


図３　某水族館の日変動の順位

このパターンは、一般的な大規模レジャー施設にあてはまると考えられる。

（３）大規模商業施設の変動パターン

①対象施設の特性

分析の対象とした商業施設は、都内にあるショッピングセンターである。大型店舗約30,000㎡、個割店舗約2,400㎡で、商業施設のほかに業務施設が約10,000㎡の複合施設となっている。駐車場は450台、駐輪場は600台設置されている。公共交通機関の利便性が高いため、車利用率は低く、同店舗の来店者アンケート調査では、平日で4%、休日で14%となっている。

②日変動パターン

駐車場利用台数の日変動パターンをみると、年間のピーク時で変動係数は2.45であり、さほど大きな変動とはなっていない。上位ピーク時の勾配は比較的緩くなっており、勾配が急になっているのは125日目付近、ちょうど平均値あたりとなっている(図４参照)。

ピーク時の勾配がさほど大きくないのは、来店者数ではなく、駐車場利用台数をとっているため、駐車場のキャパシティから自ずと

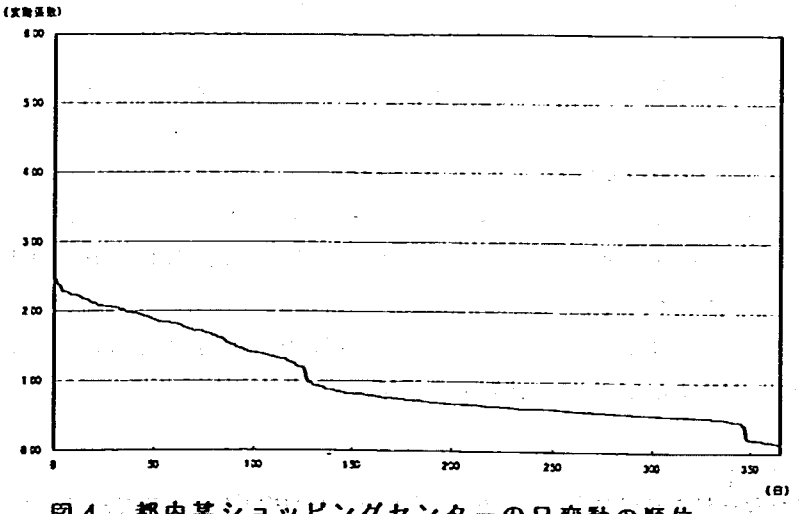


図４　都内某ショッピングセンターの日変動の順位

上限が決まってくることによるものであると思われる。平均付近で勾配が急になっているのは、土日祝祭日の利用台数と、平日の利用台数に格差があり、土日祝祭日の日数が約125日程度になることもあって、ちょうど平均値あたりの度数が少なくなっていると考えられる。来店者アンケートによると、休日の方が平日より車利用率がかなり大きくなっており、平日と休日の利用台数格差を大きくする要因になっているとみられる。347日以降に変動係数が極めて少ない日があるのは店舗が休みの日である。

3．2　大規模商業施設における平日，休日の時間帯別変動パターン

3．1（3）において、平日と土日祝日の利用台数に格差が見られたため、都内某ショッピングセンターの時間帯別駐車場利用台数の状況について、1ヶ月間の日曜・休日と、土曜日、平日の1日平均値をとり、入庫、出庫、在庫、空庫の状況をまとめた（図5参照）。その結果、曜日に関わらず、入庫・出庫とも店舗営業時間帯においては比較的平坦な動きを示しており、時間帯による極端な偏りはないことがわかった。また、在庫の状況をみると、いずれの曜日においても15時～17時あたりがピークとなっている。平日のピーク時においても十分な空庫があるが、土曜日の15時から17時にかけてはゼロに近くなっている。日曜・休日においては、午後から夕方にかけてマイナスになっている。これは、駐車場収容台数以上に在庫している状況で、満車の状態となっており、駐車場外部に入庫待ちの滞留車が発生していることを示している。休日においては恒常的に滞留が発生しているといえる。

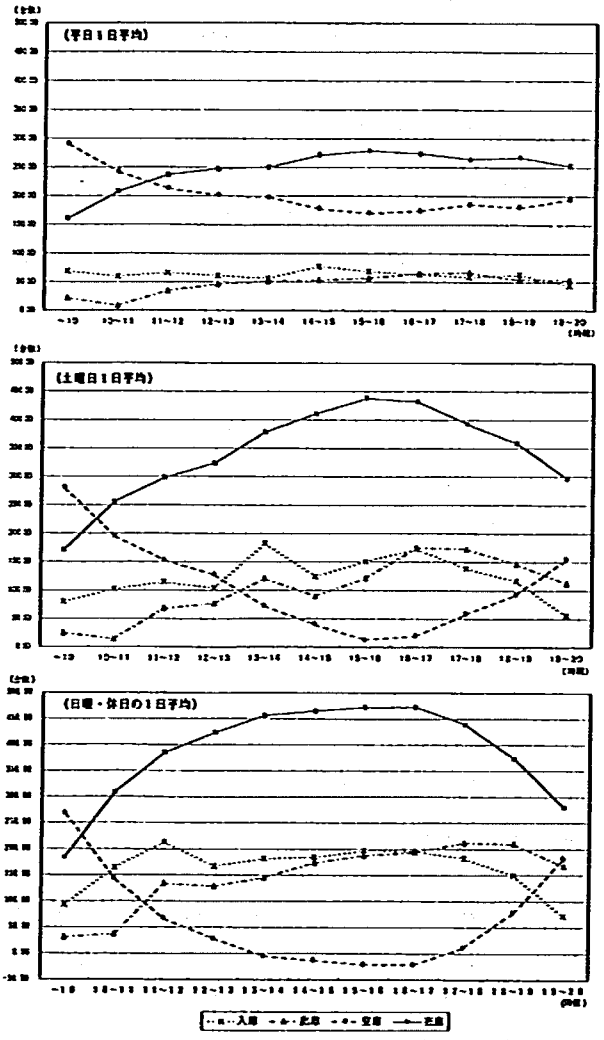


図5　都内某ショッピングセンターの時間帯別変動パターン

4．まとめ

今回、来場者数の変動特性について整理・分析を行った3種類の施設の来場者数のピーク特性を比較すると、大規模集客・イベント施設は，変動係数が6.5と非常に高い値を示した。しかし、このピーク値以外では変動幅が極めて小さいことから、大規模集客・イベント施設は特殊なイベントでない限り、来場者数は安定するといえる。また、大規模レジャー施設は、各博覧会、水族館の変動パターンから、変動係数のピーク値は3～5程度にばらつくが、それを除けば同じ様な変動曲線をたどることがわかった。一方、大規模商業施設においては、ピーク値からの変動係数の勾配も緩やかであり、土日祝祭日と平日との変動係数に明らかな差異が認められた。これは時間帯別の平日、土曜日、日曜日の変動パターンを見ても言えることである。

今後、これら大規模施設毎の来場者数の変動特性をもとに、自動車の発生・集中交通量の原単位の設定方法の検討を行うことが必要である。

参考文献
1)建設省都市局都市交通調査室：大規模開発地区関連交通計画検討マニュアル（案），1994
2)矢島隆：大規模都市開発に係る関連交通計画と発生集中原単位の適用に関する研究（学位論文），1997

Ⅳ－3 路面排水汚濁負荷量推定を目的とした現地調査手法に関する研究

（指導期間　平成10年4月～平成11年3月）

研究室名　交通環境研究室

氏　名　植村圭司

1．まえがき

公共用水域に流入する汚濁負荷の発生源の一つに、雨天時の道路からの排水が挙げられる。この排水は路面排水と呼ばれており、自動車の排ガス成分やタイヤの摩耗屑といった自動車由来の汚濁物や、鉄、亜鉛等のアスファルト、道路施設由来の汚濁物を含んでいる[1)2)]。こうした汚濁物が、公共用水域に流入すると、生活環境、自然環境へ影響を与えることが懸念され、その影響の程度に応じた適切な対策を行う必要がある。しかし、路面排水の環境へ及ぼす影響の程度を定量的に把握した現地調査例は少なく、定量的に推定する手法も確立されていない状態にある。そこで本稿では、主要な国道等で実施された現地調査結果を用いて、路面排水の実態とその影響要因を検討した。また、路面排水汚濁負荷流出量を定量的に推定するモデル式の検証を行ったので報告する。

2．研究目的

路面排水汚濁負荷流出量を定量的に把握するため、路面排水の成分調査、採水地点とその周辺の状況の整理、予測手法の検討をこれまでに行ってきた。しかし、国内において現地調査が統一的な手法で行われていないこと、予測結果を検証するデータがないなどの理由から、路面排水の汚濁負荷流出量を定量的に把握する手法はまだ確立されていない。そこで、本稿では、主要な国道等で実施された現地調査の結果を用いて、路面排水の実態を把握するとともに、路面排水汚濁負荷流出量を定量的に推定する予測モデルの検証を行い、現地調査手法と予測モデルの改善点を求めることを目的としている。

3．研究方法

主要な国道等で実施した現地調査の結果を整理するとともに、局所・短期予測モデル（採水地点の1降雨の汚濁負荷流出量を予測する）による数値計算を以下の方法で行い、路面排水汚濁負荷流出量を定量的に推定する手法の検討を行った。

3.1　現地調査項目の整理

都市部、平地部、山地部の主要な国道等で行った路面排水現地調査の結果を整理し、路面排水汚濁負荷流出量とその発生要因（道路構造、沿道状況、気象、交通量）の関係を検討した。表－1に現地調査地点の道路条件と交通量、表－2に現地調査の項目と方法を示す。

表－1　現地調査地点の道路条件と交通量

地点	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	路面清掃		
A	一般国道	平面	6	排水性舗装	8回／月	70,094	平地部
B	一般国道	盛土	4	排水性舗装	1.5回／月	61,272	山地部
C	高速道路	高架	4	排水性舗装	8回／月	98,231	人口集中地区
D	一般国道	切土	2	密粒舗装	0.5回／月	22,310	平地部

表－2　現地調査の項目と方法

調査の種類	調査項目	調査方法
現地調査	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：集水域からの路面排水が雨水桝に流入する直前。 分析方法：「排水基準を定め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。
関連情報調査	④気象 ⑤道路の状況 ⑥沿道の状況 ⑦交通量	

* 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。

3.2　局所・短期予測モデルを用いた数値計算

3.1 で整理した現地調査結果から表－3に示す短期予測モデル式の各係数を求め、数値計算を行った。これによる、路面排水汚濁負荷流出量の計算値と実測値を比較し、その整合性を検討した。検討に用いたモデルは、10分～1時間程度の降雨時の汚濁負荷流出量を予測するモデルである。

表－3　路面排水汚濁負荷流出量短期予測モデル

モデル	運動式	連続式	各係数
局所・短期予測モデル	$L = k \cdot S \cdot Q$	$S = S_0 - \int L dt$	L：路面排水汚濁負荷流出量($g/m^2/h$) S：路面排水汚濁負荷堆積量(g/m^2) Q：雨水流出強度(mm/h) k：汚濁負荷流出係数 S_0：初期汚濁負荷堆積量

(1)雨水流出強度 Q の設定

現地調査では、雨水流出強度を測定していない。そこで、ここでは降雨強度を雨水流出強度とした。

(2)汚濁負荷流出係数 k の設定

採水時の実測値 L、S、Q に対応する k を最小二乗法で各調査地点で1個求めた。

(3)初期汚濁負荷堆積量 S_0 の設定

降雨前の汚濁負荷堆積量は現地調査では測定していない。そこで、ここでは1サンプルあたりの降水量と水質濃度の積を汚濁負荷流出量として求め、1降雨イベントの汚濁負荷流出量の総和を算出した。予測計算時は、初期汚濁負荷堆積量として他に任意に2つの値を与えて、予測結果と実測値との整合性を比較した。

4．研究結果

4.1　現地調査項目の整理

主要な国道等で実施された現地調査項目の調査結果の一部を表－４に示す。単位面積あたり一降雨あたりの路面排水汚濁負荷流出量を比較すると、高架構造（C地点）の１回目の調査と切土構造（D地点）の１回目の調査で、SS、BOD、n－ヘキサン抽出物質の全ての項目で、他の道路構造よりも高い汚濁負荷流出量となった。また、切土構造（D地点）の２回目の調査で SS が比較的高い汚濁負荷流出量となった。この原因として、路面清掃後経過日数や先天先行日数が、他の地点や調査のときよりも多いことが挙げられる。一方、平面構造（A地点）については、２回の調査において、汚濁負荷流出量は、SS、BOD、n－ヘキサン抽出物質とも２回目が小さかった。これは、先行晴天日数は同じ程度であったが、路面清掃後経過日数が２回目の方が小さいためであると考えられる。従って、路面排水汚濁負荷流出量の増減には、路面清掃後経過日数や先行晴天日数が大きく影響していることが考えられる。今後の課題は、路面清掃後経過日数及び先行晴天日数が、どの程度汚濁負荷流出負荷量に関係しているのかを、道路構造や交通量などの他の要因との関係も考慮して把握することである。そのため、汚濁負荷堆積量と汚濁負荷流出量の両方を正確に把握する現地調査を行う必要がある。

表－４　路面排水実態調査の結果

地点	道路構造	舗装種類	交通量（台／日）	土地利用	調査実施回	路面清掃後経過日数（日）	先行晴天日数（日）	総降雨量 (mm)	単位面積当たり一降雨当たりの汚濁負荷流出量（mg/m²）		
	車線数	遮音壁の有無（舗装時期）	大型車混入率（%）	用途地域					SS	BOD	n-ヘキサン
A	平面	排水性舗装	70,094	人口集中地区	1回目	3.6	3.1	2.81	12.5	42.5	4.5
	6車線	無（新）	16.9	商業地域	2回目	2.3	3.1	3.40	9.4	18.3	1.6
B	盛土	排水性舗装	61,272	山地部	1回目	3.0	8.0	3.10	31.4	6.9	1.5
	4車線	無（新）	47.5	指定なし	2回目	8.0	4.0	3.60	27.1	15.0	2.6
C	高架	排水性舗装	98,231	人口集中地区	1回目	2.0	13.0	7.92	132.5	54.2	6.9
	4車線	有（旧）	30.3	一種住居地域	2回目	2.0	6.0	4.36	39.7	20.8	4.9
D	切土	密粒舗装	22,310	平地部	1回目	60.0	5.0	4.45	395.2	68.5	10.8
	2車線	無（旧）	16.8	指定なし	2回目	12.0	8.0	1.23	72.3	27.4	2.2

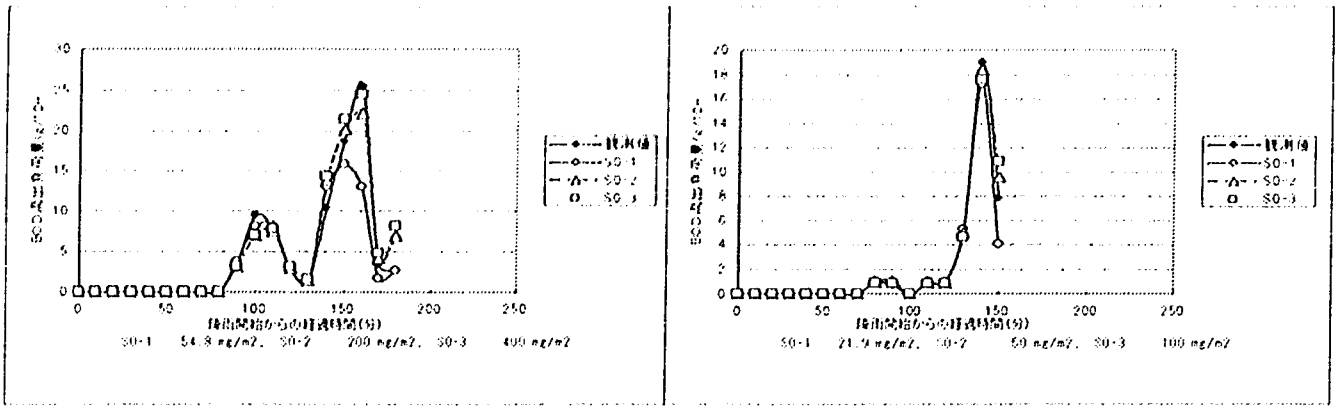
注）舗装時期は、調査日から１年未満を新、１年以上を旧として分類した。

4.2　局所・短期予測モデルを用いた数値計算

表－３に示した局所・短期予測モデルの初期汚濁負荷堆積量S_0は、１降雨イベントの総汚濁負荷流出量から推定した値をS_0-１、その他、任意に設定した初期汚濁負荷堆積量をS_0-２、S_0-３として与えた。１回の現地調査に対して３ケースの汚濁負荷流出量の経時変化を計算し、計算値と観測値とを比較した。図－１にD地点の BOD 汚濁負荷流出量の時間変化の計算値と観測値の比較を示す。D地点を示すのは、排水性舗装より密粒舗装の方が雨水流出係数を単純に考えられるからである。

これによると、初期汚濁負荷堆積量S_0は、総汚濁負荷流出量から推定したS_0-１の値より大きい値を用いる方が、経時変化をより正確に観測値を再現している。これは、汚濁負荷堆積物の全てが、実際の１降雨イベントで流出しきっていないことが主な原因であると考えられる。また、初期汚濁負荷堆積量S_0を過大に与えると観測値をうまく再現できない。よって、初期汚濁負荷堆積量S_0を適切

に与えることにより、汚濁負荷流出量の経時変化曲線は計算値と観測値はよく一致することがわかる。このとき、一降雨中の総汚濁負荷流出量を数値計算によって精度よく推定することもできると考える。



（1）　観測１回目　　（2）観測２回目

図－１　Ｄ地点のＢＯＤ汚濁負荷流出量の観測値と計算値の経時変化の比較

５．結　論

主要な国道等で実施された、路面排水の現地調査項目の結果を整理した。また、短期予測モデルに、初期汚濁負荷堆積量として、現地調査から推定される値とそれ以外の任意の値を与えて路面排水汚濁負荷流出量の経時変化を算出した。その結果、現地調査結果から、路面排水汚濁負荷流出量の増減には、路面清掃後経過日数や先行晴天日数が大きく影響していることが考えられた。また、短期予測モデルの検討結果から、初期汚濁負荷堆積量Ｓ₀を適切に与えることにより、汚濁負荷流出量の経時変化曲線は計算値と観測値はよく一致し、一降雨中の総汚濁負荷流出量を数値計算によって精度よく推定できると考えられる。

今後の課題は、路面清掃後経過日数と、先行晴天日数のどちらの要素がより、汚濁負荷流出量に密接に関係かあるのかを把握することと、適切な初期汚濁負荷堆積量の設定に必要なデータを得ることである。そのため、汚濁負荷堆積量と汚濁負荷流出量の両方を正確に把握する現地調査を行う必要がある。

６．謝　辞

本研究を行うにあたり、多大なるご指導、ご協力を頂いた交通環境研究室の大西室長、山田主任研究員、並びに交通環境研究室の皆様に深謝の意を表します。

＜参考文献＞

１）和田安彦：ノンポイント汚染源のモデル解析，技報堂出版、1990

２）和田安彦：都市域ノンポイント汚染源負荷の堆積・流動挙動モデルと流出制御に関する研究，土木学会論文集　Ｎｏ 559／Ⅶ－２，61-71，1997.2

（発表論文等）

Ⅴ．記事等

V－1　新型遮音壁とその減音効果

New types of noise barriers and their sound attenuation effects

上坂　克巳（Katsumi Uesaka）

建設省土木研究所（Public Works Research Institute, Ministry of Construction）

まえがき

昭和38年に名神高速道路に設置されたわが国最初の道路交通騒音対策用の遮音壁は，コンクリート製であった．この段階では，遮音壁は，文字通り，「遮音機能」しか持ち合わせていなかった．その後，遮音壁による反射音の影響を軽減するため，グラスウール等の吸音材を金属パネルに内包した，いわゆる吸音性パネルが開発され，ここに，遮音壁は，遮音機能に加えて「吸音機能」を有することになる．日本道路公団では，昭和51年に吸音性遮音壁を規格化し，以後20年以上にわたり，吸音性遮音壁は騒音対策の主役を務めるが，そのため，幸か不幸か，実用レベルでの道路交通騒音対策の技術開発は，停滞することになる．

ところが，最近，騒音対策「ビッグバン」とでも呼ぶべき，騒音対策技術開発の大きなうねりが生じている．「一般国道43号等騒音排気ガス規制等請求事件」に対する最高裁判決(平成７年)，環境アセスメント法の制定(平成９年)，騒音に係る環境基準の改正(平成10年予定)等に代表される騒音対策に対するニーズの大きな高まりのもと，建設省でも，建設技術評価制度「騒音低減効果の高い遮音壁の開発」(平成４年度)，同「騒音低減効果の大きい吸音板の開発」(平成７年度)の公募及び道路環境技術開発三箇年計画(平成８～10年度)の策定等により，民間等に対して技術開発のインセンティブを与えるとともに，道路管理者自らが分担して技術開発を行っている．

その結果，低騒音舗装，吸音板等の新技術が開発され，現在，普及されつつあるが，遮音壁に関しても，従来の遮音機能，吸音機能以外の「第３の機能」を有する「新型遮音壁」(本稿では，このように定義する．)の開発が産官学で競って行われている．

本稿では，まず，従来型遮音壁の減音効果の実務的な計算方法の考え方を簡単に示すとともに，新型遮音壁のうち，特に(1)エッジを工夫した遮音壁，(2)低層遮音壁，(3)アクティブ・ノイズ・コントロール(ANC)技術を併用した遮音壁の開発・研究状況を紹介する．また，最後に，新型遮音壁の普及のために解決すべき課題についても述べる．

１．従来型遮音壁の減音効果計算の考え方

まず，従来型の反射性及び吸音性遮音壁による減音効果計算の考え方を示す．なお，遮音壁による減音効果は，一般的に遮音壁設置前後の音圧レベル差である挿入損失(insertion loss)で表されるが，特に，遮音壁設置前の状態が自由空間である時，その効果は，減音量(attenuation)と呼ばれる．

(1)　反射性遮音壁

コンクリートパネル等を用いた反射性の遮音壁による減音量は，前川の実験チャートを用いて求めることが多い．これは，遮音壁設置前後による音の伝搬パスの行路差と周波数から減音量を求めるものであり，その関数も数式化されている[1]．

道路交通騒音に対する遮音壁の減音効果を計算するためには，そのパワースペクトルが必要不可欠である．図１には，通常舗装と低騒音舗装(排水性舗装)上を走行する自動車のスペクトルモデル[2]を示したが，通常舗装では，1250HzがＡ特性補正バンド音圧レベルのピークになっているのに対して，低騒音舗装では630

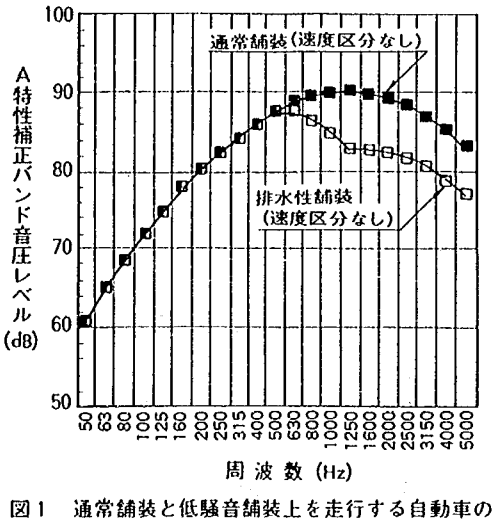


図１　通常舗装と低騒音舗装上を走行する自動車のパワースペクトルモデル[2]

Hzがピークになっている．この周波数特性の違いは，遮音壁の減音効果に影響をもたらすが，その問題については，後述する．

(2) 吸音性遮音壁

吸音性遮音壁は，音源側，すなわち道路側の表面を吸音性にした遮音壁である．吸音板は，音源側へ伝搬する反射音を減じるだけではなく，反射後，回折して遮音壁背後に伝搬する音も減じることになる．吸音性遮音壁による減音量は，波動音響理論を用いて求めることができるが[3]，一般に反射性遮音壁に比べて，1～2dB程度の減音量の増加が見込める．

2．エッジを工夫した遮音壁

2.1 開発動向

狭義には，このタイプの遮音壁を指して「新型遮音壁」と呼ぶこともある．これは，遮音壁のエッジ部分を工夫することにより，従来型遮音壁と同じ高さで，より大きな減音量を与えるものである．すなわち，「回折効果改善機能」(改善とは，減音量を大きくすることを言う．)というべき第3の機能を有する遮音壁と言える．遮音壁の高さを低くできることにより，日照阻害，電波障害の緩和や風荷重の軽減を図ることができる．特に，高架道路に既に遮音壁が設置されている場合等で，道路構造上，遮音壁の嵩上げが困難な場合には，特に有効となる．

(1) エッジに吸音体を設置した遮音壁

わが国で初めて実用化されたのは，エッジに吸音体を設置したタイプである．上記の建設技術評価制度においても2製品が評価され，その後，これらは実用化され，高架道路等を中心に普及することになる．

(2) エッジ形状を変形した遮音壁

上記評価制度の後，エッジの工夫は，その形状の変形に向かう．産官学で競い合って研究が進められ，種々のタイプの遮音壁が提案されるが，国内におけるごく最近の例を図2に挙げた．(a)，(b)は学が提案するものであり，エッジ部分に音響的にソフトな表面(音圧反射率－1の表面)を物理的に作り出すことをねらったものである．(c)，(d)は産官が共同で開発を進めているタイプであり，多重回折と干渉作用が減音効果を高めていると言われている．しかし，これらの遮音壁の減音メカニズムに関しては，まだ，学会等でも活発な議論が行われている段階である．

なお，(1)，(2)で示した遮音壁は，研究レベルでは20年以上前から検討が行われている．これらの遮音壁開発の歴史的経緯については，文献4)に詳細に述べられているので，参考にされたい．

2.2 減音効果の比較

日本音響学会騒音・振動研究委員会では，昨年7月に2.1で紹介したタイプの遮音壁の減音効果のコンペを行っている[2]．このコンペは，音源，受音点配置，地表面条件等を同一にし，2次元境界要素法による数値計算により，挿入損失を算出・比較するものである．なお，評価は複数の受音点における挿入損失の算術平均値により行われている．その結果，遮音壁高さを3m，エッジの工夫できるスペースを，高さ，幅とも50cmに限定した場合は，(1)のタイプの遮音壁が従来型に比べて1.4dB，(2)の(a)，(b)の遮音壁が従来型に比べて3dB程度挿入損失が大きいことが示されている．

また，(2)の(c)，(d)の遮音壁については，現道での試験施工により，従来型より3dB程度以上減音効果が大きいことが確認されている[5),6)]．

このように，(2)のタイプの遮音壁は，(1)のタイプの遮音壁より減音効果が大きいことが明らかになりつつあり，早期の実用化，普及が望まれている．

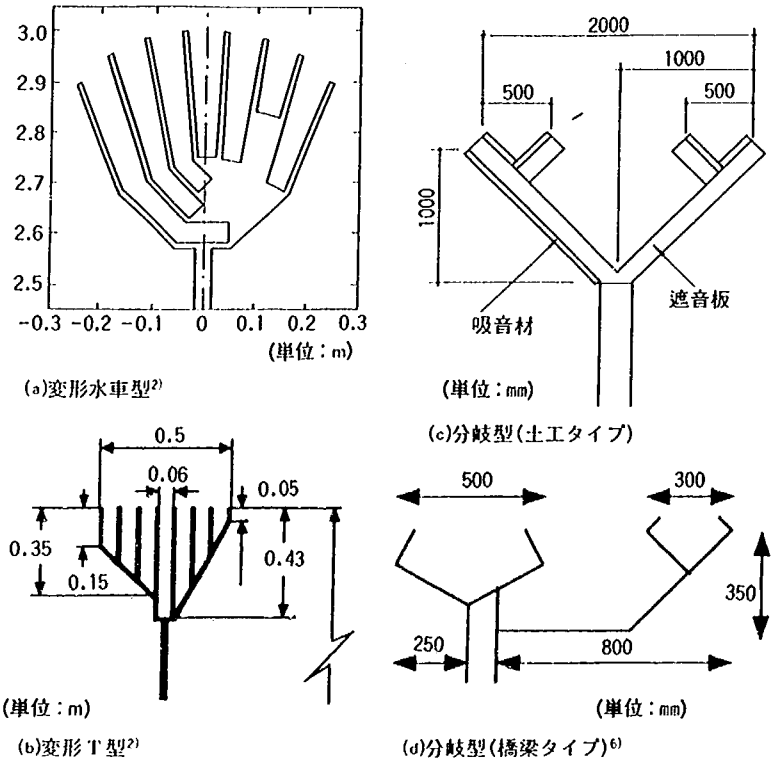


図2 エッジ形状を変形した遮音壁の例

3．低層遮音壁

3.1　普及のための課題

低層遮音壁とは，都市内の一般道路に設置する高さが1m程度の低い遮音壁である．パネルタイプ，植栽桝等を兼ねた奥行きを有するタイプに大別される．低層遮音壁は，一般道路に設置されるため，第3の機能として「沿道アクセス機能」を要求されるため，多くの開口部を要することになる．また，「景観形成機能」も重視される．

低層遮音壁は，いまだ広く普及していないが，大きな原因として，以下の2つが挙げられる．まず，「沿道アクセス機能」の確保のため必要な開口部の存在は，低層遮音壁背後の騒音レベルを複雑に変化させ，減音効果の予測・評価が困難なこと，次に，「景観形成機能」，つまり，デザインの検討が不十分なことである．

3.2　減音効果の評価・予測手法[7]

3.1の最初の問題を解決するため，筆者らは，区間平均等価騒音レベル(Section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level, $SA\cdot L_{Aeq}$)という騒音評価指標を提案している．

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

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．

ここで，低層遮音壁設置前後の$SA\cdot L_{Aeq}$の差として表される区間平均挿入損失(Section-averaged Insertion Loss, $SA\cdot IL$)の特徴及び簡易計算方法を紹介する．

今，高さ1mの低層遮音壁(パネルタイプ)において，設置延長(＝評価延長)100m，開口率20%は等しいが，開口部の数と位置が異なる場合の減音効果を比較する(図3)．この場合，音源である自動車と低層遮音壁の距離は4mとし，評価点(低層遮音壁と平行に配置)は低層遮音壁から5m離れ，高さは1.4mとしている．

図3の横軸は，評価地点の位置を表し，図中の曲線は，地点毎のIL(等価騒音レベルの差)，直線は，$SA\cdot IL$を示している．この図によると，(a)，(b)で地点別ILの分布は異なるが，$SA\cdot IL$は一致することが分かる．すなわち，低層遮音壁の開口率が同じであれば，開口部の数や配置が異なっても，$SA\cdot IL$はほぼ等しい．

そのことを活用し，無限線音源に対する低層遮音壁の$SA\cdot IL$は以下の式で計算できる．

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

ここで，

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

ただし，αは開口率，$SA\cdot IL'$は開口部がない場合の区間平均挿入損失，IL_0は低層遮音壁の設置延長が無限の場合の挿入損失，lは低層遮音壁の設置延長，dは低層遮音壁と評価点(線)の距離を示す．

3.3　低層遮音壁の景観設計

図4に，低層遮音壁(植樹帯1.5mを活用する場合)の設計例を示す．設計に当たっては，騒音の防止とともに，良好な都市空間，歩行空間の形成が重視される．景観設計においては，目標とする挿入損失が小さいことも考慮すべきである．すなわち，低層遮音壁では，通常の遮音壁ほど高い透過損失は要求されないため，幅広い材料またはデザインの選定が可能となる．極論すれば，隙間のある丸太等も許容される場合もある．

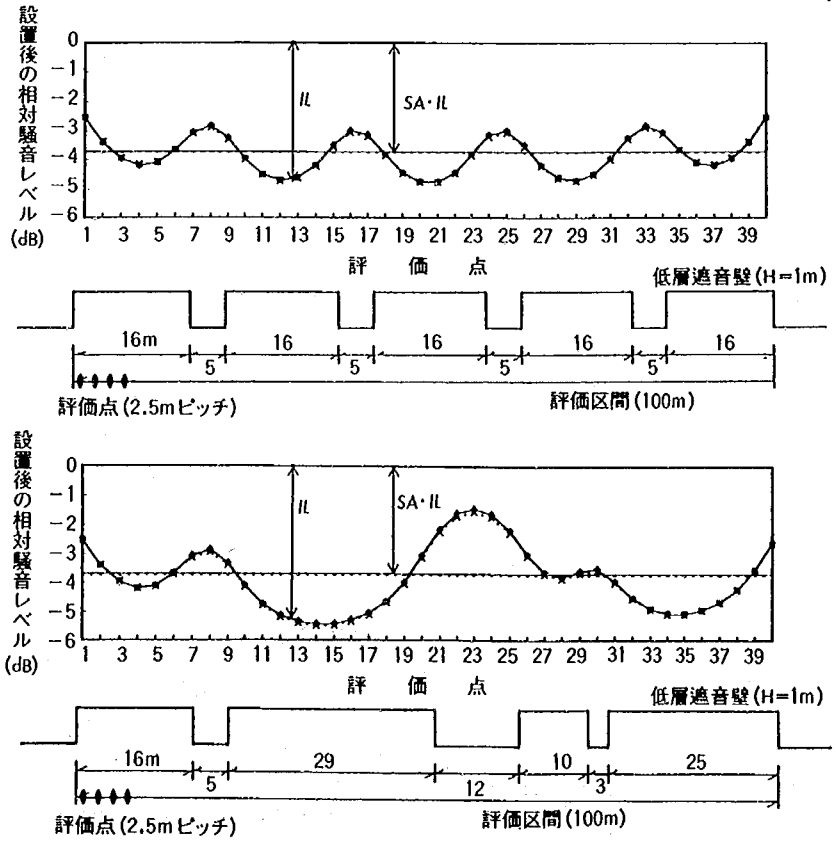


図3　低層遮音壁による減音効果[7]

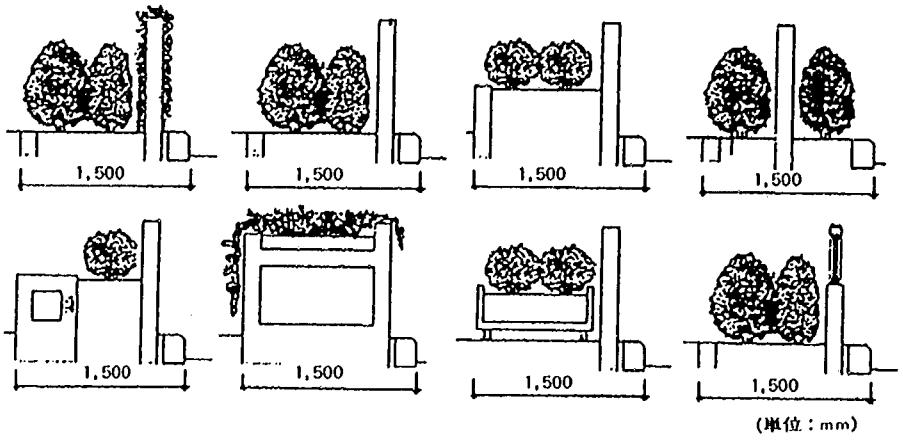


図4　低層遮音壁の設計例

4．ANC技術を併用した遮音壁

4.1　研究の背景

ANC技術を併用した遮音壁が持つ第3の機能は，言うまでもなく「能動消音機能」である．自ら音を発生し，道路交通騒音を低減する．では，なぜ，ANC技術が必要なのであろうか．

図1に通常舗装と低騒音舗装上を走行する自動車のパワーレベルの差異を示した．図1では，低騒音舗装の効果として3.6dBが認められるが，これに通常舗装に関して15dBの減音効果を有する遮音壁を組み合わせても3.6＋15＝18.6(dB)の効果は得られない．それは，低騒音舗装上のパワースペクトルのピークが，遮音壁の苦手な低周波数域に移行したためである．この例から分かるように，低騒音舗装，遮音壁等(吸音板も同様)のパッシブ対策は，共通して低周波数域での減音が苦手なため，これらの対策を組み合わせた場合(特に20～30dB以上の大きな減音量を目標とする場合)，減音効果は限界にぶつかることが予想される．その際，最後の切り札として登場するのが，低い音の減音が得意なANC技術である．

そこで，筆者らは，ADC(Active Direct Cancellation)方式とASE(Active Soft Edge)方式のANC技術を併用した遮音壁の開発を進めているので，以下に紹介する．

4.2　ADC方式の開発状況

ADC方式とは，遮音壁にfeedforward方式のANCシステム(検出マイクロホン，制御スピーカ，コントローラ及び(適応制御の場合は)誤差マイクロホン)を設置し，自動車騒音を，遮音壁上部に設置した制御スピーカからの発生音で直接，消音する方式である．筆者らは，伊勢らの方式[8]を改良し，コスト低減を目指したLSC(Lined-Single-Channel)-ANCシステムを開発した[9]．しかし，この方式は，固定音源に対してはある程度の効果を有するものの，移動音源に対しては，現在のコントローラ，マイクの性能では，限られた周波数帯域にしか効果が小さく(200Hzで3dB程度)[10]，実用化には時間がかかると考えられる．ただし，建設機械から発生する騒音や，高架道路のジョイント音のような固定音源に対しては有効と考えられ，原理的には，遮音壁より高い受音点での消音も期待できる．

4.3　ASE方式の開発状況

ASE方式は，図5のように，遮音壁上端にASEセルを複数を設置したものでエッジを工夫した遮音壁と言える．原理も図2(a)，(b)と同様であり，音響的にソフトな境界を，ANC技術(feedback制御による局所的消音)を活用して実現したものである[11]．図2(a)，(b)のタイプと比べ，広帯域で面積的にも大きいソフト面を実現できる可能性がある．

この方式は，移動音源に対しても有効であることが確認されており，現在，実用化に最も近いANC技術として，開発に取り組んでいる．

5．新型遮音壁普及のために -あとがきに代えて-

以上の新型遮音壁の普及のためには，ハード面での改良の他，以下のようなソフト面での技術開発が必要不可欠であることを忘れてはならない．

第一に，減音効果の計算方法の充実である．上述の新型遮音壁による減音効果の計算には，研究レベルでは，2次元境界要素法が用いられることが多いが，現場の実務者のためには，簡易な実用的な計算方法の開発が必要である．

次に，遮音壁の設計方法の充実である．従来のように遮音壁の高さを決めるのが設計という時代は終わり，図2や図5の遮音壁では，ターゲットとする周波数帯

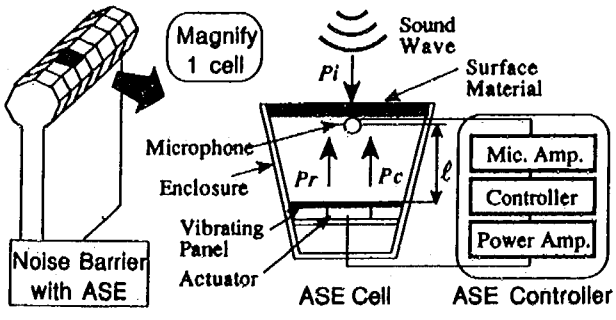


図5　ASE方式の構成[11]

域に応じたエッジの設計が可能となった．ただし，ここで注意すべきは，これらの遮音壁は，壁の背後での減音効果は高めるものの，音源が見通せるような高い受音点では増音させる可能性があることである．保全対象の位置を考慮した遮音壁の種類の選択と設計が必要となる．また，低層遮音壁に代表されるように，今後は，高い景観設計技術も要求される．

最後になったが，本稿で紹介した新型遮音壁以外にも，「防音以外の環境保全機能」を有するタイプがあることを付記しておく．日照障害の防止のための透光型遮音壁，電波透過型遮音壁などである．また，遮音壁に光触媒を塗布しNOxの除去に役立てる等の試みも行われている．

新型遮音壁の普及までの道のりはたやすくない．しかし，そこには，ハード，ソフトの技術開発の両面において，大きなビジネスチャンスとリサーチチャンスが潜んでいることは間違いないであろう．

【参考文献】

1） K. Yamamoto, K. Takagi: Expression of Maekawa's chart for computation, Applied Acoustics 37 (1922), pp. 75～82

2） 新型遮音壁の音響効果の評価方法について，日本音響学会誌，54 (1998)，pp. 333～338

3） 松井利仁他：吸音性ウエッジ上での音波の伝搬，日本音響学会誌，44(1988)，pp. 581～587

4） 山本貢平：新型の道路用遮音壁について，日本音響学会誌，54 (1998)，pp. 327～332

5） 長船寿一他：分岐型遮音壁による自動車交通騒音の低減効果に関する調査研究，騒音制御工学会講論集(1996)，pp. 167～170

6） 長船寿一他：分岐型遮音壁による自動車交通騒音の低減効果に関する調査研究―第二報　橋梁部用小型タイプの騒音低減効果―，音響学会秋季講論集，II (1997. 9)，pp. 727～728

7） 上坂克巳他：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，第34巻，(1997)，pp. 307～317

8） S. Ise et al., Basic study on active noise barrier, J. Acoust. Soc. Jpn (E) 12 (1991), pp. 299～306

9） K. UESAKA et al: Applicabiliry of Active Noise Control System as Countermeasure against Rosd Noise, Inter-Noise 96 (1996) pp. 1171～1174

10） K. UESAKA et al: Active Control of Sound from a Moving Source, Active 97 (1997), pp. 1125～1134

11） 大西慶三他：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―，音響学会秋季講論集，II (1997. 9)，pp. 739～740

V－2 生態保全技術の向上を目指して

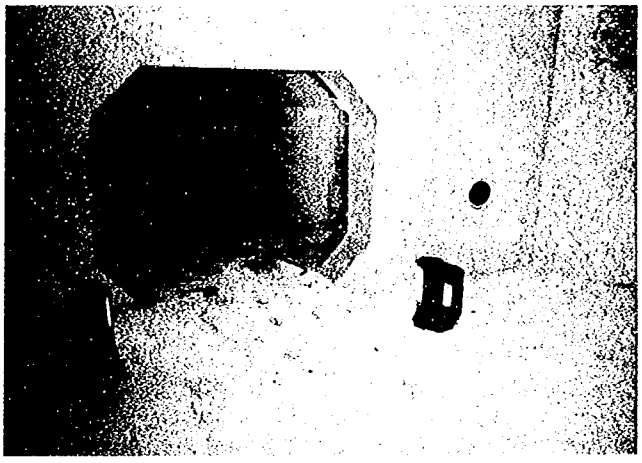
私達が生活していく上で必要な生活基盤整備としての公共事業の実施が、自然環境に何らかの影響を与えることがあります。そのため、その影響を少しでも和らげるための様々な環境保全技術が研究されています。

ここでは、生物と生物をとりまく環境が複雑に関係し合う生態系への影響を緩和するための生態保全技術について、その一端を道路の事例と土木研究所で実施している河川及び湿地における研究事例を通してご紹介します。

● 道路による動物生息域の分断を軽減する技術

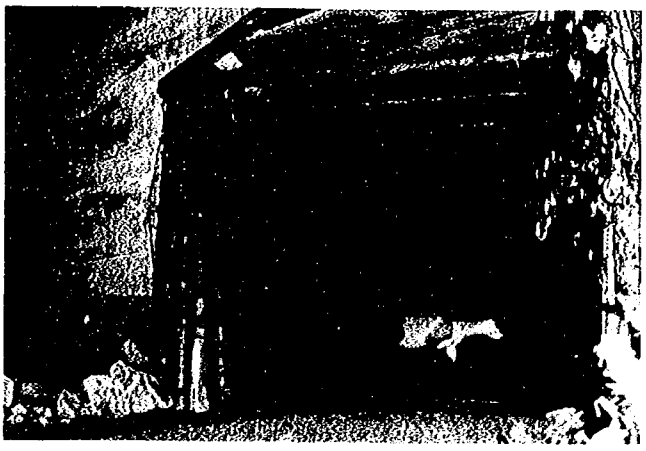


① 人間の移動や水道管の横断等の目的で設置したボックスカルバート、オーバーブリッジなども場所によっては動物の格好の移動経路として利用されています。これらの施設を動物が利用しやすいように配慮することにより、動物の生息域の分断の影響を 軽減することができます。写真は水道管用オーバーブリッジを通るテンです(宮崎自動車道：宮崎県)。



② 山から産卵のため海岸に移動するオカガニが道路を渡ろうとして自動車に轢かれるのを防ぐため、道路の下にボックスカルバートが設置されています。道路側に出ようとしたオカガニをスロープを用いてトンネル前に誘導するなどの配慮もされています(国道58号：沖縄県)。

(写真提供：沖縄総合事務局)



③ 動物の生息域を道路が盛土で通過することによる分断の影響を軽減するため、動物専用のボックスカルバートが設置されています。写真のカモシカをはじめとして、タヌキ、キツネ、ノウサギなどの利用が確認されています(国道108号鬼首道路：秋田県)。

(写真提供：東北地方建設局湯沢工事事務所)



④ オランダでは、国立公園の森林を通過する高速道路による動物の移動阻害の影響を軽減するため“エコダクト”と呼ばれる動物用の横断施設が設置されています。シカをはじめとする様々な動物の移動が確認されています。また、この人工地盤のような大規模な施設は分断された植生の連続性の確保にも資すると考えられます(オランダ：A50)。

● 河原植物の保全技術

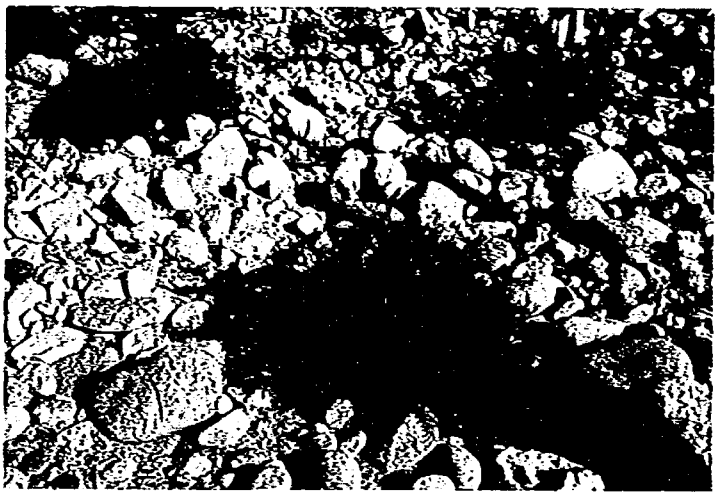
河原は洪水による破壊とその後の再生が繰り返される場であり、他にこのような特徴を持った空間は無く河川固有の空間といえます。河原には河原に特化した種々の生物(カワラノギク、カワラサイコ等の植物、カワラバッタ、ツマグロチョウ等の昆虫等)が生息していることが知られています。

しかしながら、現在、河原は減少する傾向にあり、これに伴い、これらの生物の減少が報告されています。生物多様性の保全を図る上においても、河原固有の生物の保全はきわめて意義深く、その手法を確立することが必要とされています。

現在、木曽川北派川地区に建設中の自然共生研究センターでは、建設地内に成立していたカワラサイコ、カワラヨモギを河原植物保全研究ゾーンに移植し、その後の定着についてモニタリングを行い、河原植物の保全技術の検討を行っています。



自然共生研究センターにおいて、木曽川上流工事事務所と木曽川を愛する会の方々に協力を頂いて実施したカワラヨモギ、カワラサイコの移植の状況(H9.8.27)。

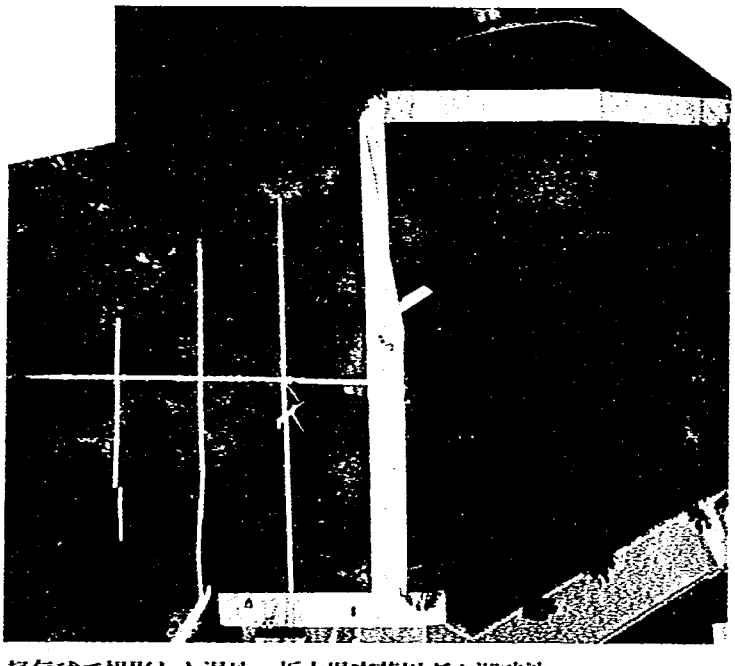


移植後2週間のカワラヨモギの生育状況。
移植後の生存率：カワラヨモギ82%、カワラサイコ66%

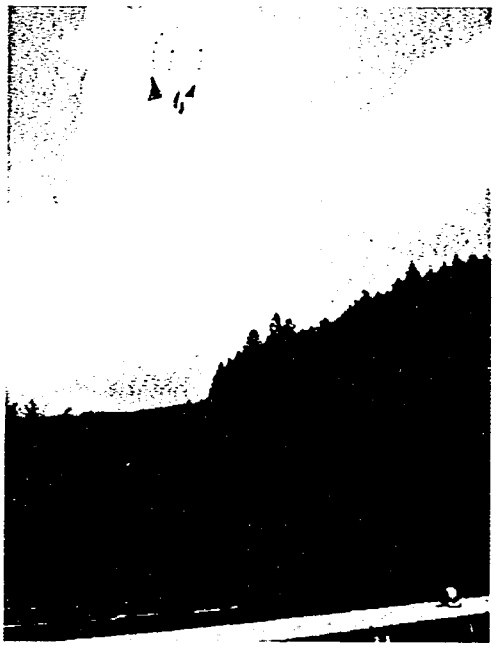
● 軽気球による湿地の環境調査技術

水生昆虫や水生植物など多様な生物が生息する低湿地が減少する中、現地を踏み荒らさずに環境調査を行う手法が必要となっています。軽気球による環境調査技術はその一つの手法として注目されているものです。

軽気球にビデオカメラ・写真機を搭載して上空から撮影することにより植生の分布を把握することができます。気球は高度約40mに係留し、ビデオカメラを見ながら撮影方向を調節します。この方法を用いることで大縮尺での撮影が可能になり、写真から各植生要素を読み取って、植生図を作成します。



軽気球で撮影した湿地：栃木県東荒川ダム湖畔池
太い帯は散策用の木道、細い帯は湿地調査のための仮設足場



軽気球による撮影風景

前　建設省土木研究所環境部環境技術総括研究官　寺本和子
同　河川環境研究室研究員　皆川朋子
同　交通環境研究室研究員　小根山裕之
同　緑化生態研究室研究員　木部直美

V－3　大気汚染実験施設

1．はじめに

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施設です。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る中で、大都市圏を中心として幹線道路の沿道においては、自動車の排出ガスによる大気汚染が問題となっています。

自動車排気ガスに含まれる大気汚染物質の拡散は、道路構造や道路周辺の地形、地物および気象条件等によって大きく影響を受ける複雑な現象であるため、現地実測・理論解析だけでは排出ガスの拡散性状を十分把握できません。それに対して、拡散風洞を用いた模型実験では様々な条件を整えることができるため、大気汚染物質の拡散性状を明確に把握することが可能となります。

2．大気汚染実験施設の概要

大気汚染実験施設は、拡散風洞(図-1)と計測装置等から構成されています。拡散風洞の測定胴には道路模型(写真-1)や地形模型(写真-2)が設置され、放出されるトレーサーガスの拡散性状が模型等により受ける影響を計測装置等を用いて計測したり、煙を用いて可視化実験を行うことによって、実際の大気汚染状況を解析できます。

拡散風洞は、測定胴内に放出されたトレーサーガスの蓄積を避けるために吸込式エッフェル方式を採用しています。測定胴は幅6m、高さ3m、長さ24mの規模をもち、この種の拡散風洞では我が国最大級の施設です。風速設定範囲は0.2~15m/sであり、ガスの拡散性状の計測等、実験の性質上主に低風速域で使用します。この風洞の特徴は、

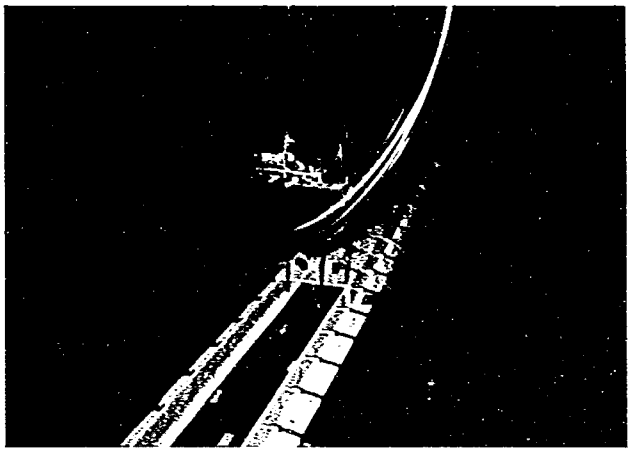


写真-1 道路模型によるトレーサーガス測定状況

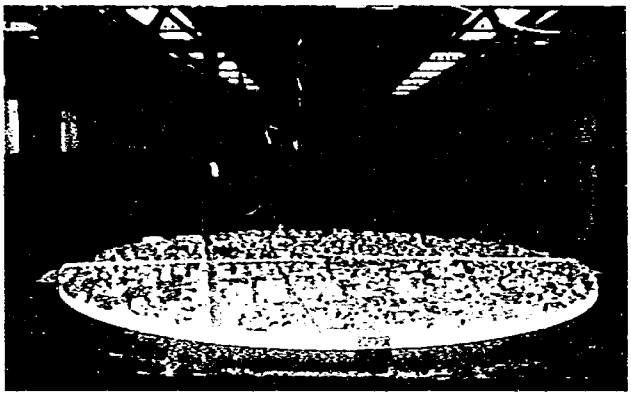


写真-2 地形模型によるトレーサーガス測定状況

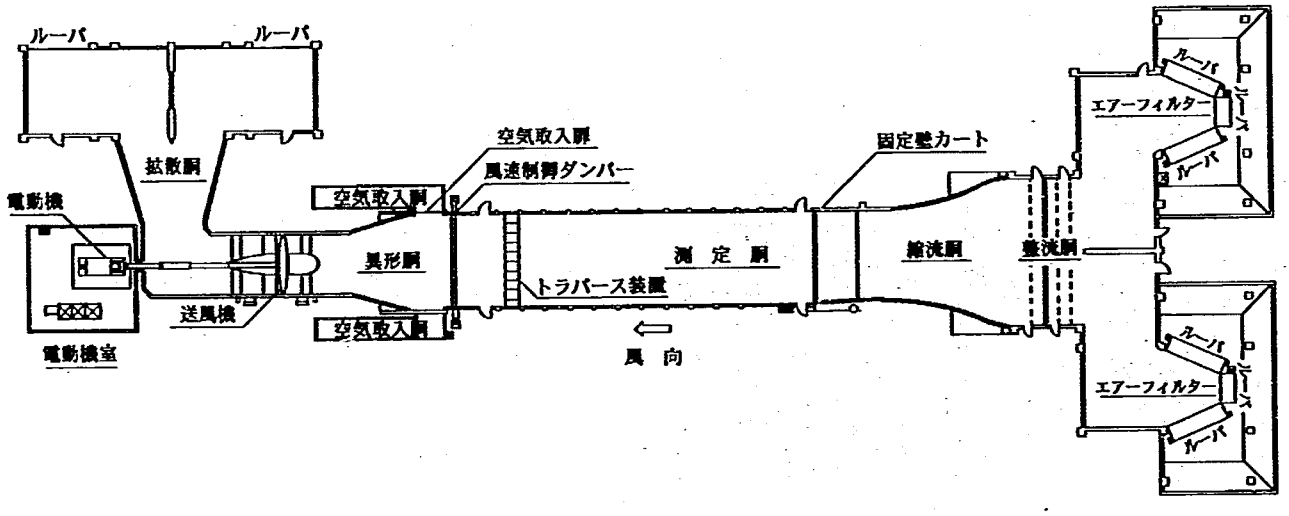


図-1 拡散風洞構造図

測定胴下流にバイパス風路および風速制御用ダンパーを設けていること、送風機を動翼可変ピッチ型としていることです。これらによって低風速域での風速を安定させ、測定胴断面の風速分布偏差を小さくし、外乱風の影響を防止する仕組みとなっています。

一方、計測装置は風洞内でトレーサーガス濃度、風速、温度を計測処理するためのもので、センサーを所定の位置に移動させるトラバース装置、その位置を制御するトラバース制御システム、トレーサーガス発生装置、煙発生装置ならびにデータ処理システムから構成されています。ここで、拡散風洞における大気拡散等の風洞模型実験の精度を高く保つためには、トラバース装置による風洞内の気流の変化を最小限に押さえることが重要です。そのため、風洞断面に対する閉塞率を小さくすることを目的に、平成9年度にトラバース装置の改修工事を行いました。その結果、約14%だった閉塞率が約4%に改善されました(写真-3)。また、トラバース制御システムの更新も行い、制御操作盤がタッチパネル方式となり計測位置の設定も容易になりました。



a. 改修前 (閉塞率約 14%)



b. 改修後 (閉塞率約 4%)

写真-3 トラバース装置の改修

測定胴中央部床面下には自動車模型を 10 ～ 60km/h の速度で走行させる模型自動車走行装置が設置されており、交通条件および自動車走行風の条件を変えて放出したガスの濃度を測定することができます。この装置により、自動車走行下における道路周辺の排出ガス濃度が測定でき、その拡散状態を把握できます。

3. 大気汚染実験施設による実験

本施設を用いて、これまでに次のような実験を行っています。

- 道路構造別および道路周辺部、特殊部(トンネル坑口、インターチェンジ等)における自動車排出ガスの拡散予測に関する実験
- 環境施設帯(植樹帯、遮音壁等)による自動車排出ガス拡散効果に関する実験
- ガスの拡散性状を把握するための可視化実験 (写真-4)



a. 走行風がない場合　　b. 走行風がある場合

(トンネル坑口から放出される自動車排出ガスの煙流中心が自動車の走行風によって曲げられているのを可視化している。)

写真-4 可視化実験状況

4. おわりに

今回のトラバース装置の改修により、一層精度の高い風洞模型実験が可能となりました。今後ともこれを用いた実験等により大気汚染状況の解明を進め、環境と調和した道路整備の推進に貢献したいと考えております。

建設省土木研究所環境部交通環境研究室長　大西博文
同　交通環境研究室　川上篤史
前　交通環境研究室研究員　稲沢太志

V－4 「騒音に係る環境基準」の改定

環境庁では、平成10年5月22日の中央環境審議会答申を受け、「騒音に係る環境基準」を9月30日付けで改定し告示しました。今後の環境アセスメント等においては、下記の基準を踏まえて、道路交通騒音の予測・評価および遮音壁等の騒音対策の検討を行うことになります。

改定のポイント

(1) 評価指標

評価指標が、従来の環境基準(昭和46年閣議決定)における騒音レベルの中央値(L_{50})から、等価騒音レベル(L_{Aeq})に改められました。

(2) 評価の考え方

評価は、個別住居等の騒音影響を受けやすい面(壁面)での騒音レベルによることを基本とすることが示されました。また、道路に面する地域における環境基準の達成状況は、基準値を超過する住居等の戸数及び超過する割合を把握することにより評価(面的評価)することとなりました。

(3) 時間区分等

基準値の時間区分は、従来は、朝、昼間、夕、夜間の4区分でしたが、昼間(午前6時から午後10時まで)、夜間(午後10時から午前6時まで)の2区分に改められました。また、地域類型の区分、道路に面する地域における車線数の区分も変更されました。

(4) 幹線道路近接空間の特例、屋内基準

道路に面する地域の特例として、幹線交通を担う道路に近接する空間に対して基準値の特例が設けれました。さらに、この幹線道路近接空間では、屋内へ透過する騒音に係る基準も併せて設定されました。

基準値とその考え方

今回定められた環境基準値を表-1に示します。

これらの基準値は、屋内での会話影響(45dB)、睡眠影響(道路に面する地域40dB、それ以外の地域35dB)をもとに、建物の平均的防音性能を加え、基本的には屋外における騒音レベルとして定められています。平均的防音性能は、窓を開放した場合に10dB((a)道路に面する地域以外の地域のA及びB類型に該当)、窓を閉めた場合に25dB((b)道路に面する地域の幹線道路近接空間の特例に該当)とし、窓を開けている度合いにより、10dBから25dBの間で5dB刻みの防音性能を想定しています。

環境基準の達成期間

新たな環境基準は、平成11年4月1日から施行されます。その達成期間については、道路に面する地域以外の地域や、環境基準の施行日以降に計画された道路の設置により新たに道路に面することとなる場合は、施行後、直ちに達成され、又は維持されるよう努めるものとされています。また、既設の道路に面する地域については、夜間の騒音レベルが73dBを超える住居等が存する地域における騒音対策を優先することが示されました。

表-1 環境基準値

(a) 道路に面する地域以外の地域

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
AA	50dB以下	40dB以下
A及びB	55dB以下	45dB以下
C	60dB以下	50dB以下

(注) 地域の類型は以下のとおりである。

AA：療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域など特に静穏を要する地域

A：専ら住居の用に供される地域

B：主として住居の用に供される地域

C：相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域

(b) 道路に面する地域

地域の区分	基準値	
	昼間	夜間
A地域のうち2車線以上の車線を有する道路に面する地域	60dB以下	55dB以下
B地域のうち2車線以上の車線を有する道路に面する地域及びC地域のうち車線を有する道路に面する地域	65dB以下	60dB以下

この場合において、幹線交通を担う道路に近接する空間については、上表にかかわらず、特例として次表の基準値の欄に掲げるとおりとする。

基準値	
昼間	夜間
70dB以下	65dB以下

備考

個別の住居等において騒音の影響を受けやすい面の窓を主として閉めた生活が営まれていると認められるときは、屋内へ透過する騒音に係る基準(昼間にあっては45dB以下、夜間にあっては40dB以下)によることができる。

建設省土木研究所環境部交通環境研究室主任研究員　土坂克巳

V－5

寄稿

第二十五回全国砕石業者「関西大会」

排水性舗装（低騒音舗装）の現状と課題



建設省土木研究所
環境部　交通環境研究室
主任研究員　近藤　昇

一、はじめに

排水性舗装は、細骨材分の少ないアスファルト混合物を用いるため舗装に連続空隙ができる。この空隙により雨天時における路面の滞水を排水できるため、雨天時の安全性、視認性が向上する。このように、主として排水性舗装（低騒音舗装）と言われるようになり、低騒音舗装が注目されるようになってきた。本稿では、空隙による騒音低減効果について述べる。

二、騒音低減効果の要因

排水性舗装の騒音低減効果は密粒舗装に比べ三～五dB程度であり、それはタイヤ路面騒音の発生抑制効果と騒音の伝搬過程における吸音効果によってもたらされる。

これらの効果に影響を及ぼす要因として、

①空隙率：空隙率が二〇%以上確保されていれば、小さいほど（五～一〇%）騒音低減効果が大きくなると言われる。

②骨材粒径：骨材粒径が小さいほど（五～一〇%）騒音低減効果が大きくなる。

③舗装厚：舗装厚の違いによる影響は少なく、三～五㌢の厚さを確保すればよい。

三、騒音低減効果の持続性

排水性舗装の騒音低減効果の低下要因は、初期には舗装の空隙潰れ（空隙が材料の流動変形によって減少すること）の影響が大きく、その後は空隙詰まり（空隙が土砂等によって閉塞されること）の影響によると思われる。

建設省では、骨材粒径の異なる排水性舗装に関して施工直後、半年後、一年後、二年後での騒音低減効果を測定し、効果の持続性を調査した。その結果、粒径が小さいほど（五～一〇%）騒音低減効果が大きく、かつ効果の経年的変化は小さかった。

四、今後の主な課題

(1)減音機能の持続性の向上：高粘度改質アスファルトの改良により、持続性は向上している。現在も追跡調査中である。

(2)機能回復手法の確立：空隙詰まりの対策として高圧水による洗浄やバキュームによる吸引方法があるが、その頻度については調査中である。

(3)排水性舗装の再生利用：高粘度改質アスファルトを使用するため、そのリサイクル技術を確立する必要がある。

(4)粗骨材の小粒径化および単粒化：より減音効果の大きい排水性舗装を施工するため、小粒径・単粒化された骨材の供給体制を確

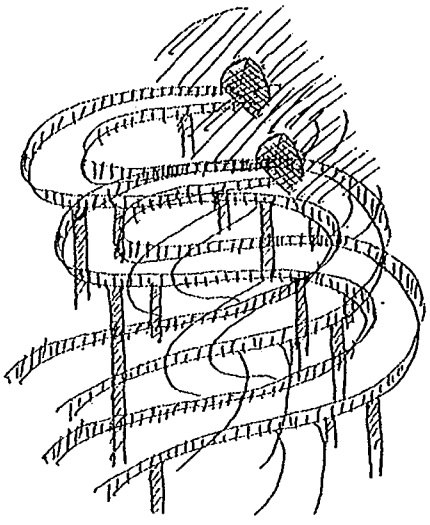
空隙詰まりの回復手法を検討

高粘度改質アスファルトのリサイクル技術の確立も

V－6

道路整備における自然環境保全の取り組み

小根山（おねやま）　裕之（ひろゆき）
建設省土木研究所　環境部交通環境研究室



近年の環境問題に対する関心の高まりの中、生態系や生物多様性の確保の重要性に対する意識も非常に高まってきている。このような中、道路事業においても、自然環境との共存・調和を図った道路整備（エコロード）が行われている。ここでは、道路整備における自然環境保全の取り組みの一つとして、道路による動物の移動阻害と生息域の分断に焦点を当ててその対策事例等を紹介する。

自然地域を横断するように道路ができると、今までその地域を生息域としていた動物が道路を横断できなくなる。動物は、繁殖、餌場、休息の場などとして様々な場所を利用しているため、行き来ができなくなることは生存上大きな問題となることもある。そのため、動物によっては生息域を移動するためやむを得ず道路上を横断し、自動車との交通事故（ロードキル）を引き起こす。ロードキルは動物にとっても危険であるとともに、人間にとっても重大事故につながるなど交通安全の面からも問題がある。

このような動物の生息域の分断に対してどのような対策が行われているのだろうか。まず考慮されるのは、道路のルート選定の段階で生息域となるような地域を通過しないこと、また通過するにしても、土地の改変量を少なくし、動物の移動経路を確保できるような道路構造にすることである。例えば、エコロードの先進事例である国道108号鬼首道路は、秋田、宮城県境に位置する栗駒国定公園の豊かな自然を通過する路線であるが、総延長の61％が自然の改変量が少ない橋梁、トンネルで作られており、カモシカなどの生息域の分断が抑えられている。

しかし、必ずしもルートの選定等のみで影響をゼロにすることはできないし、今後整備される高速道路などは、自然の豊かな山地部を通過する横断道などが多く、自然環境の豊かな地域を通過しなければならない場合も多い。

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には、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。そのような施設としては、道路の上を横断する橋梁、道路下のトンネル、水路用のパイプなどがある。また、道路の橋梁下の空間なども動物の横断に用いられる。しかし、これらの施設は高速道路などを整備する際、既存の道路交通を確保した

り、水路や小川の流れを確保するために普通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はないが、タヌキ、イタチ、キツネなど動物の利用が確認されている。

但し、利用状況は横断施設の構造、地域の環境、動物の性質によっても異なる。例えば、タヌキは臆病な動物であり、トンネルの隅にある側溝や、直径50～60cm程度のパイプなどの狭いところを好んで利用する傾向がある。動物の横断施設としての利用も考えられるような場合には、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。パイプの中に動物が歩くための犬走り（小段）を設けたり、橋梁の脇に動物が隠れることができるよう植栽を施すなどの細かい配慮を行い、効果をあげた事例もある。

動物の移動経路を確保するために必要な場合は、動物専用の横断施設を設置することもある。この際、対象とする動物の種類に応じて、適切な構造の横断施設を設置することが必要である。例えば、タヌキ、キツネなど中型の哺乳類であれば、それほど大きな断面のトンネルでなくても移動するが、シカなどの大型哺乳類の場合には、より大きな断面とする必要がある。また、併せて進入防止柵の設置により道路への進入を防ぐとともに、横断施設へ動物を誘導することも必要となる。

動物のために横断施設を整備した事例をいくつか紹介しよう。先に紹介した鬼首道路では、盛土構造が続いている部分に動物専用のトンネル（エコボックス）を設置している。カモシカが利用できるよう、高さ３m、幅３mの断面とし、動物が利用しやすいように内壁面は丸太で覆い、地面には砂を撒いている。追跡調査の結果、カモシカ、タヌキなど多くの動物に利用されている。

また、北海道では、エゾシカの交通事故対策として、道路の両側にエゾシカが進入しないような2.5m程度のフェンスを設置するとともに、エゾシカが通れるように道路を橋梁形式に変更した事例がある。対策区間ではロードキルも発生しておらず、橋梁下の小川が流れる空間をエゾシカが横断している様子も確認されている。

さらに、ヨーロッパでは大がかりな対策として、エコダクトと呼ばれるものを設置している。これは、道路により分断されてしまった森林をつなぎ直すため、幅15～50m位の橋を架けて、一面に土を盛って植栽を施し、極めて自然に近い動物専用の移動経路を回復したものである。例えばオランダでは、エコダクトは国立公園地域など自然性の高い地域に３箇所ほど設置されており、シカなどの大型の哺乳類をはじめとして多くの動物に利用されている。

以上、いくつかの対策事例を見てきたが、まだまだ発展途上の分野であり、わかっていないことも多い。こうした事例を積み重ねていくことにより、より効果的な対策技術の確立がなされていくものと考えている。

参　考

交通環境研究室における研究・活動等(1)

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 河川環境 交通環境 水質 水工水資源	◎は幹事研究室

2. 民間との共同研究

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	H8～10	(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㈱、オーツタイヤ㈱、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㈱	

3. 国際会議での発表等

名　称	開催地	時　期	氏名・題名	備　考
Internoise '98	ニュージーランド(クライストチャーチ)	平成10年11月16日～18日	大西博文 Change in Noise Reduction Effect of Drainge Asphalt Pavement	交通環境研究室室長 口頭発表

交通環境研究室における研究・活動等(2)

4. 指針・手引き・マニュアルの作成等(過去3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) 池田拓哉(舗装研究室長) 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	環境部等メンバーが執筆
環境影響評価技術指針	土木研究所	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	

発表論文等一覧(1)

【平成10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
Ⅲ－3	生態系ネットワークの計画手順に関する一考察	大西博文 上坂克巳 小根山裕之 川上篤史 小菅敏裕	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.40 No.5	1998.5
Ⅰ－29	厚みのある障壁、二重構造による回折効果に関する実験的研究	上坂克巳 大西博文 鉾嶺清範 石川賢一 高木興一	騒音制御	(社)日本騒音制御工学会	vol.22,No.3	1998.06
Ⅰ－31	アクティブソフトエッジを用いた遮音壁について	大西慶三 西村正治 上坂克巳 大西博文	日本機械学会第8回環境工学総合シンポジウム	日本機械学会	No.98-6	1998.07
Ⅰ－9	実走行車両から発生する騒音の指向性について	森喜仁 大西慶三 大西博文 上坂克巳	日本音響学会平成10年度秋季研究発表会講演論文集	(社)日本音響学会	II	1998.09
Ⅰ－10	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	大西博文 明嵐政司 石川賢一 高木興一	日本音響学会平成10年度秋季研究発表会講演論文集	(社)日本音響学会	II	1998.09
Ⅰ－24	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	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		1998.09
Ⅰ－25	道路交通騒音の反射音(高架裏面反射音)計算手法について	鉾嶺清範 大西博文 上坂克巳 小寺隆司	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		1998.09
Ⅰ－26	幹線道路に面した建物周辺における騒音レベルの計算方法～単独の建物の場合～	上坂克巳 大西博文 三宅龍雄 高木興一	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		1998.09
Ⅰ－27	単体規制を踏まえた将来の自動車走行騒音パワーレベルの推定	青木理恵 上坂克巳 大西博文 那須猛士	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		1998.09
Ⅰ－28	新「騒音に係わる環境基準」と道路事業	大西博文	日本騒音制御工学会研究発表会特別企画シンポジウム	(社)日本騒音制御工学会		1998.09
Ⅱ－1	トンネル換気ガス中のSO2濃度変化について	大西博文 大城温	第39回大気環境学会年会講演要旨集	(社)大気環境学会		1998.09
Ⅱ－2	大気拡散模型実験における自動車模型走行装置とブロワーによるトンネル坑口の噴流性状	川上篤史 江橋英治 大西博文 太田義和 尾崎元春	第39回大気環境学会年会講演要旨集	(社)大気環境学会		1998.09
Ⅳ－1	バス乗降時間短縮によるバス運行および一般交通改善に関する研究	大城温 中村文彦 大蔵泉	都市計画論文集			1998.10
Ⅰ－3	Dvelopment of the Noise Barrier using Active Controlled Acoustical Soft Edge - phase 1 : Basic Concept -	K.Ohnishi M.Nishimura H.Ohnishi K.Uesaka	Proceedings of Internoise 98			1998.11
Ⅰ－4	Change in noise reduction effect of drainage asphalt pavement	H.Ohnishi Y.Nanri K.Takagi K.Ishikawa	Proceedings of Internoise 98			1998.11

発表論文等一覧(2)

【平成10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
I－6	幹線道路に直面した建物および建物群後方における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・振動研究会資料	(社)日本音響学会	N-98-59	1998.11
II－3	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	小根山裕之 大西博文	土木計画学研究講演集	(社)土木学会	第21巻(2)	1998.11
III－1	道路のり面の越冬期の鳥類による利用状況	今井亮子 大西博文 小根山裕之 川上篤史	第35回 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		1998.11
IV－2	大規模施設の利用者の変動特性について	川上篤史 大城温 上坂克巳 大西博文	交通工学研究発表会 論文報告集	(社)交通工学研究会		1998.11
I－5	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	上坂克巳 大西博文 千葉隆 高木興一	騒音・振動研究会資料	(社)日本音響学会	N-98-67	1998.12
II－4	大気拡散風洞模型実験におけるトンネル坑口の噴流再現に関する実験手法	川上篤史 上坂克巳 大西博文	土木研究所研究発表会 論文集	土木研究所		1998.12
I－7	道路環境センサスデータにおけるL_{50}とL_{Aeq}の関係について	植村圭司 上坂克巳 大西博文 那須猛士	騒音・振動研究会資料	(社)日本音響学会	N-98-66	1998.12
I－23	排水性舗装の空隙率低減の主要因に関する一考察	明嵐政司 大西博文	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.40 No.12	1998.12
I－1	Attenuation factors of vehicle noise reduction by drainage asphalt pavement	H.Ohnishi S.Meiarashi K.Takagi K.Ishikawa	The Journal of the Acoustical Society of Japan (E)	The Acoustical Society of Japan	Vol.20,No.1	1999.1
I－2	Investigation into road vehicle noise reduction by drainage asphalt pavement	Y.Oshino T.Mikami H.Ohnishi H.Tachibana	The Journal of the Acoustical Society of Japan (E)	The Acoustical Society of Japan	Vol.20,No.1	1999.1
I－22	排水性舗装の減音効果と空隙閉塞	大西博文	日本音響学会第9回 音響技術セミナー	(社)日本音響学会		1999.1
I－30	自動車騒音の単体規制を踏まえた将来の走行騒音パワーレベルの推定	青木理恵 上坂克巳 大西博文 石渡俊吾	騒音制御	(社)日本騒音制御工学会	vol.23,No.1	1999.2
I－8	高架構造物音の予測方法に関する検討	田近輝俊 飯森英哲 渡久地政樹 上坂克巳 山本晋平 橘秀樹	騒音・振動研究会資料	(社)日本音響学会	N-99-16	1999.3
I－11	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	大西博文 近藤升 石川賢一	日本音響学会 平成11年度 春季研究発表会 講演論文集	(社)日本音響学会	II	1999.3
I－12	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	近藤升 大西博文 石川賢一	日本音響学会 平成11年度 春季研究発表会 講演論文集	(社)日本音響学会	II	1999.3

発表論文等一覧(3)

【平成10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
I－15	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の両立および回折音のBEMシミュレーション～	大西慶三 西村正治 和田太郎 上坂克巳 大西博文	日本音響学会 平成11年度 春季研究発表会 講演論文集	(社)日本音響学会	II	1999.3
I－16	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～	上坂克巳 鈴嶺清範 大西博文 大西慶三 西村正治	日本音響学会 平成11年度 春季研究発表会 講演論文集	(社)日本音響学会	II	1999.3
I－17	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	紺野義仁 山本稔 飯森英哲 上坂克巳	日本音響学会 平成11年度 春季研究発表会 講演論文集	(社)日本音響学会	II	1999.3
I－18	幹線道路に面した単独建物の周辺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	日本音響学会 平成11年度 春季研究発表会 講演論文集	(社)日本音響学会	II	1999.3
I－19	自動車騒音規制を考慮した将来の走行騒音パワーレベルの推定	青木理恵 上坂克巳 大西博文 石渡俊吾	日本音響学会 平成11年度 春季研究発表会 講演論文集	(社)日本音響学会	II	1999.3
I－20	屋内騒音の推定方法に関する実験的研究	上坂克巳 植村圭司 大西博文 片岡真紀 千葉隆	日本音響学会 平成11年度 春季研究発表会 講演論文集	(社)日本音響学会	II	1999.3
I－21	実走行車両から発生する騒音の指向性について(第2報)	森喜仁 福島昭則 上坂克巳 大西博文	日本音響学会 平成11年度 春季研究発表会 講演論文集	(社)日本音響学会	II	1999.3
III－2	道路空間におけるビオトープ整備に関する研究(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)	今井亮子	第4回 環境部交流研究員 研究発表会	土研環境部		1999.3
IV－3	路面排水汚濁負荷量推定を目的とした現地調査手法に関する研究	植村圭司	第4回 環境部交流研究員 研究発表会	土研環境部		1999.3

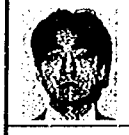
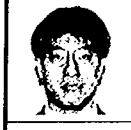
発表論文等一覧(4)

【平成10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
V－1	新型遮音壁とその減音効果	上坂克巳	音響技術	(社)全日本建設技術協会	No.102	1998.06
V－2	生態保全技術の向上を目指して	寺本和子 皆川朋子 小根山裕之 木部直美	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.40 No.5	1998.5
V－3	大気汚染実験施設	大西博文 川上篤史 稲沢太志	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.40 No.8	1998.8
V－4	「騒音に関わる環境基準」の改定	上坂克巳	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.40 No.12	1998.12
V－5	排水性舗装の現状と課題	近藤升	日刊建設産業新聞	建設産業新聞社		1998.5
V－6	道路整備における自然環境保全の取り組み	小根山裕之	予防時報	(社)日本損害保険協会	196号	1999.1

交通環境研究室メンバー

（平成10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
	江 橋 英 治	主任研究員 (H10. 6.30 転出)	環境アセスメント 大気汚染の予測と対策
	山 田 俊 哉	主任研究員 (H10. 7. 1 転入)	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
	鉢 嶺 清 範	研　究　員	騒音の予測と対策
	小根山裕之	研　究　員	エコロード 環境負荷の小さい都市交通整備
	大　城　温	研　究　員	大気汚染の予測と対策
	川 上 篤 史	技　　官	エコロード 大気汚染
	齊 木 理 恵	技　　官	低騒音舗装
	植 村 圭 司	交流研究員	路面排水
	今 井 亮 子	交流研究員	道路空間におけるビオトープ整備手法

出典一覧表

No.	書　籍　名	掲載頁
I－1	J. Acoust. Soc. Jpn (E) 20. 1 (1999)	p.p 45－53
I－2	J. Acoust. Soc. Jpn (E) 20. 1 (1999)	p.p 75－84
I－3	Proceedings of Intermoise 98	
I－4	Proceedings of Intermoise 98	
I－5	㈳日本音響学会騒音振動研究会資料　N－98－67	p.p 1－11
I－6	㈳日本音響学会騒音振動研究会資料　N－98－67	p.p 1－10
I－7		
I－8	㈳日本音響学会騒音振動研究会資料　N－99－16	p.p 1－8
I－9	㈳日本音響学会　1999年春季研究発表会講演論文集Ⅱ	p.p 691－692
I－10	㈳日本音響学会　平成10年9月日本音響学会講演論文集	p.p 737－738
I－11	㈳日本音響学会　1999年春季研究発表会講演論文集Ⅱ	p.p 697－680
I－12	㈳日本音響学会　1999年春季研究発表会講演論文集Ⅱ	p.p 683－684
I－13	㈳日本音響学会　1999年春季研究発表会講演論文集Ⅱ	p.p 703－704
I－14	㈳日本音響学会　1999年春季研究発表会講演論文集Ⅱ	p.p 705－706
I－15	㈳日本音響学会　1999年春季研究発表会講演論文集Ⅱ	p.p 693－694
I－16	㈳日本音響学会　1999年春季研究発表会講演論文集Ⅱ	p.p 695－696
I－17	㈳日本音響学会　1999年春季研究発表会講演論文集Ⅱ	p.p 697－698
I－18	㈳日本音響学会　1999年春季研究発表会講演論文集Ⅱ	p.p 707－708
I－19	㈳日本音響学会　1999年春季研究発表会講演論文集Ⅱ	p.p 689－690
I－20	㈳日本音響学会　1999年春季研究発表会講演論文集Ⅱ	p.p 711－712
I－21	㈳日本音響学会　1999年春季研究発表会講演論文集Ⅱ	p.p 691－692
I－22		
I－23	土木研究所　土木技術資料　Vol.40 No.12	p.p 44－49
I－24	㈳日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集　平成10年9月	p.p 239－242
I－25	㈳日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集　平成10年9月	p.p 263－266
I－26	㈳日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集　平成10年9月	p.p 179－182
I－27	㈳日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集　平成10年9月	p.p 243－246
I－28	㈳日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集　平成10年9月	
I－29	騒音制御　Vol.22 No. 3 (1998)	p.p 153－156
I－30	騒音制御　Vol.23 No. 1 (1999)	p.p 41－45

No.	書　籍　名	掲載頁
Ⅰ－31	日本機械機械学会第８回環境工学シンポジウム'98講演論文集　No.98－6	p.p 63－65
Ⅱ－１	㈳大気環境学会第39回大気環境学会年会講演要旨集	p. 401
Ⅱ－２	㈳大気環境学会第39回大気環境学会年会講演要旨集	p. 363
Ⅱ－３	土木計画学研究講演集　No.21(2) 1998年11月	p.p 685－688
Ⅱ－４	土木研究所　発表会論文集	
Ⅲ－１		
Ⅲ－２		
Ⅲ－３	土木研究所　土木技術資料　Vol.40 No. 5	p.p 32－37
Ⅳ－１		
Ⅳ－２	㈳交通工学研究会第18回交通工学研究会論文報告集（1998年11月）	p.p 129－132
Ⅳ－３		
Ⅴ－１	音響技術　No.102 Jun. 1998.	p.p 41－45
Ⅴ－２	土木研究所　土木技術資料　Vol.40 No. 5 (1998)	グラビア
Ⅴ－３	土木研究所　土木技術資料　Vol.40 No. 8 (1998)	p.p 2－3
Ⅴ－４	土木研究所　土木技術資料　Vol.40 No.12 (1998)	p. 9
Ⅴ－５	建設産業新聞　1998年５月21日	p. 10
Ⅴ－６	予防時報　No.196 (1999)	