

マイクロフィルム用資料

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3705号

土木研究所資料

低層遮音壁の設計方法に関する研究

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。

低層遮音壁の設計方法に関する研究

交通環境研究室 主任研究員 上 坂 克 巳^{※1}
室 長 大 西 博 文^{※1}
研 究 員 木 村 健 治
元 研究員 鉢 嶺 清 範^{※2}

要 旨

本研究では、一般道路における騒音対策の一つである低層遮音壁の設計方法の提案を行った。低層遮音壁は、車両の沿道へのアクセス確保のため多くの開口部を有する。そのため、騒音低減効果の予測・評価方法が確立しておらず、設計の考え方も明らかにされていなかった。ここでは減音効果の区間評価という概念を導入し、区間平均挿入損失 ($SA \cdot IL$) の予測計算方法を提案した。さらに、これらの予測・評価方法を用いた遮音設計の基本的な考え方を示すとともに、道路利用者の安全性と快適性に配慮して詳細設計を行う場合の留意点を示した。

キーワード：低層遮音壁，区間平均挿入損失 ($SA \cdot IL$)，予測・評価方法，設計方法，
道路交通騒音

※1 博士（工学） ※2 現 建設省関東地方建設局高崎工事事務所

目 次

第1章 総 則	1
1.1 本資料の目的	2
1.2 低層遮音壁の定義	2
1.3 適用範囲	4
1.4 低層遮音壁の計画・設計の手順	5
第2章 基本設計の考え方	7
2.1 低層遮音壁による減音効果の評価方法	8
2.2 評価区間の設定	9
2.3 評価地点の設定	9
2.4 目標とする減音効果	10
2.5 設置可能空間	10
2.6 減音効果の予測計算	12
2.6.1 減音効果の予測計算の手順	12
2.6.2 車線別の $SA \cdot IL$ の計算方法	12
2.6.3 車線別の IL の計算方法	14
2.6.4 全車線の $SA \cdot IL_{all}$ の計算方法	14
2.6.5 全車線の IL_{all} の計算方法	14
2.6.6 低層遮音壁設置後の騒音レベルの計算方法	15
第3章 詳細設計にあたっての留意事項	17
3.1 低層遮音壁の構造	18
3.1.1 パネルタイプの材料	18
3.1.2 パネルタイプにおける工夫	19
3.1.3 植栽柵タイプの材料	21
3.1.4 植栽柵タイプにおける工夫	22
3.2 道路利用者の安全性の検討	24
3.3 道路利用者の快適性の検討	26
3.3.1 圧迫感の低減	26
3.3.2 たまり空間との一体的整備	27
3.3.3 植栽を行う場合の留意事項	29
3.3.4 地域特性に応じた景観設計	30
3.4 低層遮音壁の設計例	33
謝辞	45
引用文献	46
低層遮音壁に関する参考文献	46
補足資料	49

第 1 章

総 則

1.1 本資料の目的

本資料は道路用低層遮音壁(以下、「低層遮音壁」という)の設置に関する一般的な技術的事項を定め、その合理的な計画及び設計に資することを目的とする。

本資料で取り扱う低層遮音壁は、「1.2 低層遮音壁の定義」で示すとおりである。本資料では、その計画及び設計の手順、遮音性能の基本設計、並びに安全性、景観等に配慮した設計上の留意点を示す。

1.2 低層遮音壁の定義

低層遮音壁とは、都市内の一般道路周辺における騒音の低減を主な目的として歩道上の歩車道境界付近に設置される高さ1～1.5m程度の遮音壁のことをいう。

(1) 低層遮音壁設置の主目的と付加機能

低層遮音壁設置の主目的は、

①沿道住居（1階に限る）及び歩行空間における道路交通騒音の低減である。

さらに、低層遮音壁は、次の例のように安全性、快適性の向上等の付加機能を有している。

② 道路利用者の安全性の向上

- ・ 車両の歩道への逸脱防止
- ・ ドライバーの視線誘導
- ・ 歩行者のみだりな横断の抑制

③ 道路利用者の快適性の向上

- ・ 歩行者に対する走行車両の圧迫感や不安感の軽減
- ・ ベンチ等を利用した、たまり空間の形成と休憩の場の提供
- ・ 高木や低木等の植栽整備による潤いの提供

④ 小動物の生息空間の提供

- ・ 植樹帯、プランターボックス等を利用した高木、低木、草花等の植栽による鳥類、昆虫類等の生息空間の提供

(2) 低層遮音壁の基本構造

ドライバーの視界^{*1}の確保や良好な道路景観の形成の観点から、低層遮音壁の高さは車道面より1m程度を標準とする。ただし、次のような場合には、その高さを1.5m程度以下の範囲で嵩上げすることができる。

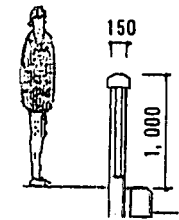
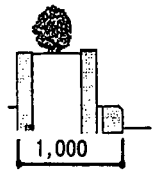
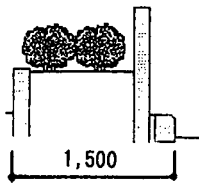
- ①低層遮音壁を長い区間にわたって連続設置でき、車道への歩行者や車の出入りを防止できる場合
 - ②透光板の利用等により、ドライバーの視界を確保することができる場合
- なお、高さ1.5m程度を越える遮音壁は、本資料の対象外とする。

*1 道路構造令第二条の十九視距によると、ドライバーの視点の高さは車道上1.2mとされている。

低層遮音壁の設置位置は、歩道上の歩車道境界とし、植樹帯が確保できる場合はそれを利用して設置する。道路構造令第十一条の四第2項では植樹帯の幅員は1.5mを標準とされているため、本資料で扱う低層遮音壁の奥行きは最大でも1.5mとする。また、下図に示すように、低層遮音壁はパネルタイプ、植栽柵タイプ及びそれらが混在したタイプに大別される。

都市内の一般道路に設置されることが多い低層遮音壁の大きな特徴の一つは、沿道アクセスの確保のため多くの開口部を有することである。このことは、低層遮音壁の減音効果の予測・評価に大きく関係するが、その詳細については第2章を参照されたい。

また、遮音板は多様な材質をとりうるが、それについては第3章を参照されたい。

植樹帯 の有無	植樹が確保できない場合	植樹帯が確保できる場合	
		幅員1m	幅員1.5m
遮音壁の 高さ1m	 パネルタイプ	 植栽柵タイプ	 パネルタイプ+植栽柵 タイプ

(単位:mm)

図1-1 低層遮音壁の基本構造の例

1.3 適用範囲

低層遮音壁の設置対象とする道路は、沿道の騒音低減を必要とし、かつ車道から構造的に分離された幅員3m～3.5m以上の歩道を有する平面道路とする。

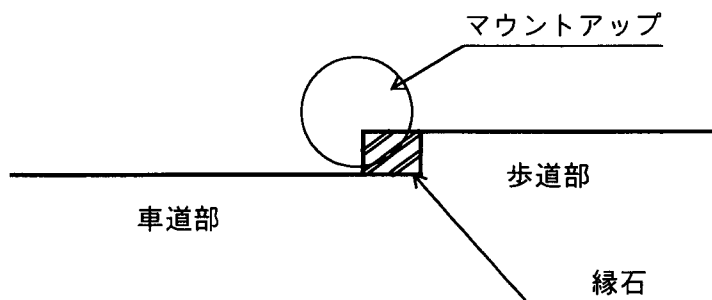
低層遮音壁設置の主目的は道路交通騒音の低減である。したがって、沿道の道路交通騒音の低減が必要な場合に、騒音対策方法の一つとしてその設置の検討を行う。

また、交通安全上の観点から、低層遮音壁は車道から構造的に分離された歩道（下図参照）に設置することを原則とする。

さらに、歩行者の通行、道路景観への配慮、騒音低減効果の確保の観点から、歩道の幅員（植樹帯部分を除く）は道路構造令第十一条第3項に示された第四種第一級～第二級の道路の歩道幅員と同等した。なお、この歩道幅員は、平成5年の道路構造令改正により3m以上から3.5m以上に改められている。

なお、高架道路が併設された平面道路に低層遮音壁を設置する場合は、併せて高架裏面吸音板の設置を行うと効果的である¹⁾。

①マウントアップ型



②フラット型

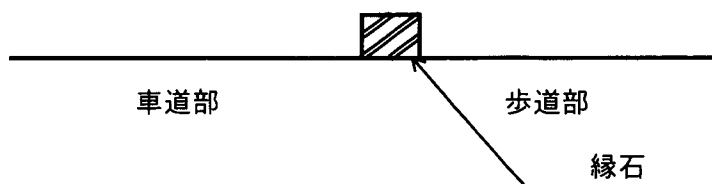


図1-2 構造的に分離された歩道の例

1.4 低層遮音壁の計画・設計の手順

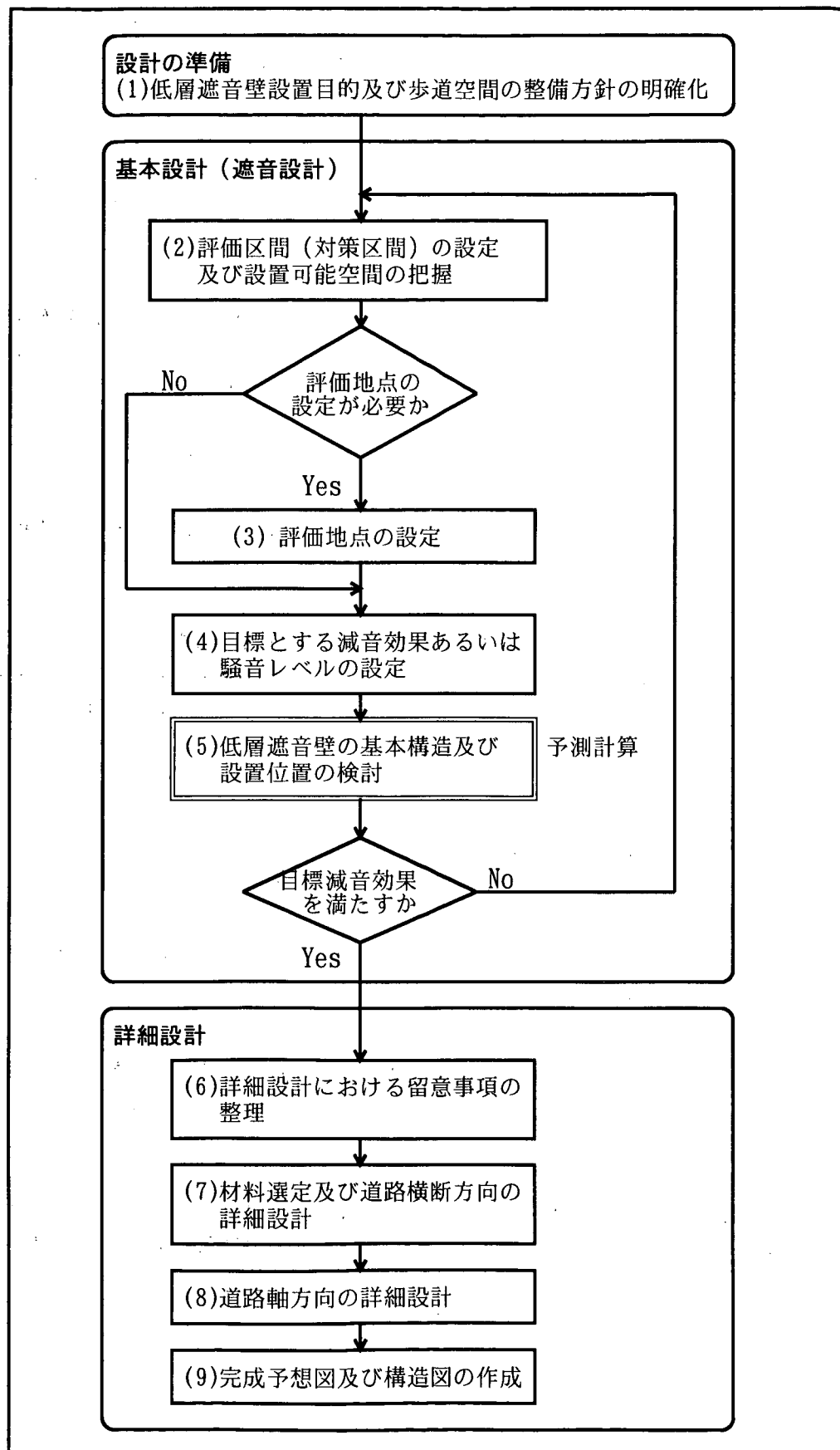


図 1－3 低層遮音壁の計画・設計のフローチャート

1. 設計の準備

(1) 低層遮音壁設置目的及び歩道空間の整備方針の明確化

道路交通騒音に対する保全対象（沿道住民 and/or 歩行者）を明確化する。また、歩道空間の整備方針（たとえば、歩道におけるたまり空間の整備等）を明確化する。

2. 基本設計（遮音設計）

基本設計（遮音設計）では、目標とする減音効果を満足するように低層遮音壁の基本構造及び設置位置を定める。なお、語句の定義や基本設計の具体的な考え方については、第2章を参照されたい。

(2) 評価区間（対策区間）の設定及び設置可能空間の把握

低層遮音壁による対策を講じ、その減音効果の評価を行う評価区間（対策区間）を設定する。次に評価区間において、沿道アクセスの必要性、歩道幅員、歩道上の占有物の状況等を調査し、遮音壁の設置が可能な区間を把握する。また、遮音壁の高さの限界も明らかにする。

(3) 評価地点の設定

特定地点における減音効果あるいは騒音レベルの評価が必要な場合は、評価地点を設定する。

(4) 目標とする減音効果あるいは騒音レベルの設定

評価区間及び評価地点において、低層遮音壁設置による減音効果あるいは低層遮音壁設置後の騒音レベルの目標を設定する。

(5) 低層遮音壁の基本構造及び設置位置の検討

低層遮音壁の形状（植栽柵タイプ・パネルタイプの別、遮音壁の高さ、パネル材料の透過損失等）及び設置位置をパラメータとして予測計算を行い、目標とする減音効果あるいは騒音レベルを満足するかどうかを検討する。満足する場合は詳細設計に進み、満足しない場合は手順(2)に戻る。

3. 詳細設計

詳細設計では、主に、道路利用者の安全性や快適性の観点から低層遮音壁のデザインを定める。なお、具体的な設計上の留意点については、第3章を参照されたい。

(6) 詳細設計における留意事項の整理

基本設計（遮音設計）の結果を踏まえ、詳細設計を行うための留意事項（遮音壁の構造、利用者の安全性、景観設計等）を整理する。

(7) 材料選定及び道路横断方向の詳細設計

低層遮音壁のタイプ（パネルタイプ、植栽柵タイプ等）、植栽の構成（配植、樹高、樹種）、透光板との組み合わせ等について検討する。これをもとに低層遮音壁に使用する材料の選定、及び道路横断方向の詳細設計を行う。

(8) 道路軸方向の詳細設計

低層遮音壁が設置される植樹帯幅、遮音壁の設置延長、歩道切り下げの頻度、地域特性、各利用者の視点（歩行者、ドライバー、沿道住民等）を考慮して、道路軸方向の詳細設計を行う。

(9) 完成予想図及び構造図の作成

詳細設計の結果を踏まえ、完成予想図及び構造図の作成を行う。

第2章

基本設計の考え方

2.1 低層遮音壁による減音効果の評価方法

低層遮音壁による減音効果の評価では、区間評価を基本とし、必要に応じ地点評価を併せて行う。

(1) 地点評価

低層遮音壁による減音効果を特定地点において評価するものである。評価指標は挿入損失 (IL) であり、これは低層遮音壁設置前後の評価地点における等価騒音レベル (L_{Aeq}) の差で表す。

(2) 区間評価

低層遮音壁による減音効果を評価区間 (対策区間) 全体において評価するものである。評価指標は区間平均挿入損失 ($SA \cdot IL$ 又は $\overline{IL}$) であり、これは低層遮音壁設置前後の評価区間における区間平均等価騒音レベル ($SA \cdot L_{Aeq}$ 又は $\overline{L_{Aeq}}$) の差で表す。

ここで、

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

x_1, x_2 : 評価区間の始点, 終点

都市内の一般道路に設置されることが多い低層遮音壁は、車両の沿道アクセスの確保のため、開口部を有することが多い。この結果、低層遮音壁背後における騒音レベルは、評価地点と開口部の位置関係により複雑に変化するため、評価区間 (対策区間) *1 の騒音の状況を代表する地点の設定は極めて困難である。したがって、評価地点を特定せずに評価区間全体の騒音の状況を代表できる指標として、区間平均等価騒音レベル (Section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level) を定義した。この指標は、道路から一定距離隔たった一定高さの評価区間の L_{Aeq} の空間的なエネルギー平均値を意味する。

低層遮音壁による減音効果の評価にあたっては、同様の理由から、低層遮音壁の設置前後の区間平均等価騒音レベルの差として定義される区間平均挿入損失 (Section-averaged Insertion Loss) を評価指標として区間評価を行うことを基本とする。なお、低層遮音壁による減音効果を特定地点において評価する必要がある場合は、地点評価を併せて行う。これには、特定の住居等を対象に騒音レベルの評価を行う場合、歩道上に設置したベンチ周辺の騒音レベルの評価を行う場合などがあたる。

*1 低層遮音壁による減音効果の評価は、対策が講じられた区間で行うことが一般的であるため、本資料では評価区間と対策区間は同義とする。

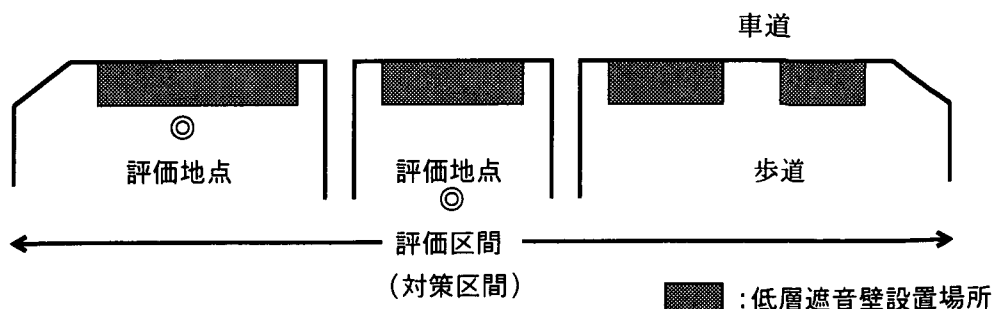


図 2 - 1 評価地点と評価区間 (対策区間)

2.2 評価区間の設定

評価区間（対策区間）は、原則として単独又は複数の街区を単位として設定し、その延長は50m程度以上とする。また評価区間の位置は、原則として、住居等を保全対象とする場合は建物の道路側壁面位置で高さ1.2mとし、歩行者を対象とする場合は歩行者動線上高さ1.5mとする。

低層遮音壁による対策は、一般的には一街区を最小単位として行うことが考えられる。また、複数の街区を対象とする場合もある。

下図に高さ1mの低層遮音壁の開口率 α （「2.6.2 車線別の $SA \cdot IL$ の計算方法」参照）が0%から50%の場合の、評価区間長 l と区間平均挿入損失 $SA \cdot IL$ の関係を示した²⁾。なお、音源位置は地面上で低層遮音壁の車道側壁面から4m、評価区間は壁面の後方5m、高さ1.4m（歩道面からの高さ1.2m、歩道面が車道面から0.2mマウントアップされていることを想定）である。

この図から、区間平均挿入損失を3 dB程度得るためには、開口率 α を30%程度以下にする必要があることがわかる（3 dBは「2.4 目標とする減音効果」で最低限必要とされる減音効果）。

また、無限長に対して $SA \cdot IL$ の減少を0.5dB程度に押さえることのできる l は、 α が0%の時100m、 α が30%の時50m程度である。また、 l が50m以下では $SA \cdot IL$ は急激に減少する。これより低層遮音壁の評価（対策）区間長 l は、少なくとも50m程度以上必要だと考えられる。

歩行者を対象とする場合の評価区間の高さ(1.5m)は、歩行者の平均的な耳の高さ程度とした。

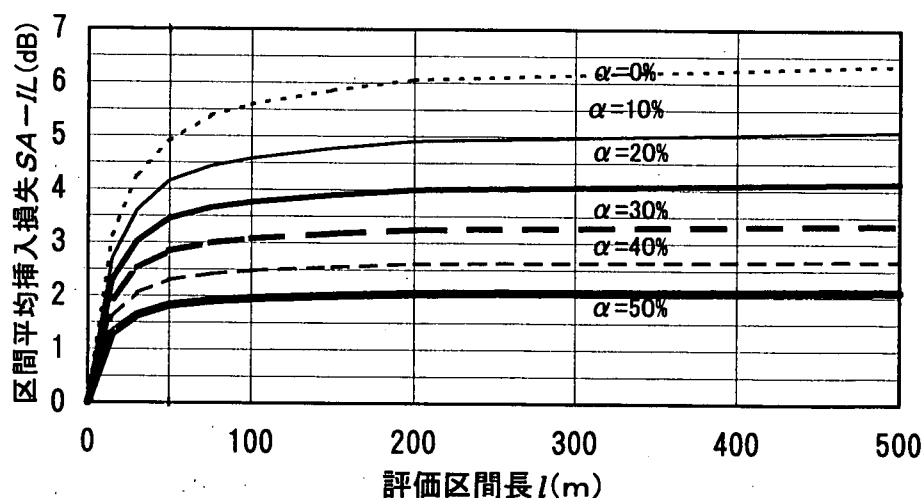


図 2-2 開口率 α ，評価区間長 l と区間平均挿入損失 $SA \cdot IL$ の関係

2.3 評価地点の設定

特定の住居等における騒音レベルを評価する場合、あるいは歩道上にベンチ等の休憩施設を設置し、その周辺の騒音レベルを評価する場合は、評価地点を設定する。評価地点の高さは原則として歩道面から1.2mとする。

ベンチに座った人の平均的な耳の高さは1.2mとした。

2.4 目標とする減音効果

区間評価及び地点評価において目標とする減音効果は、低層遮音壁設置前の騒音レベル及び騒音に係る環境基準等を勘案し、適切に設定する。

なお、区間評価において目標とする区間平均挿入損失は原則として3dB程度以上とする。

低層遮音壁は高さに制約があり、開口部も存在することから、その区間平均挿入損失 $SA \cdot IL$ は3～5 dB程度のことが多い。このような限界を考慮し、現実的な減音効果の目標を設定することが必要である。ただし、区間平均挿入損失が3dB程度を下回るような小さい効果しか期待できない場合は、低層遮音壁の設置そのものを再検討する必要がある。

また、排水性舗装等の低騒音舗装による対策を併せて実施することが効果的である。

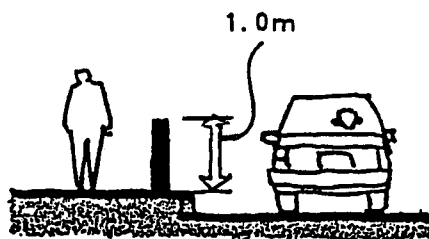
2.5 設置可能空間

低層遮音壁は、原則として歩車道境界若しくは植樹帯又は中央分離帯に設置するものとする。ただし、視距の確保が必要な交差点部や沿道へのアクセスが必要な歩道切り下げ部には設置しない。

(1) 標準的な遮音壁の高さ

低層遮音壁の標準的な高さは、1 m程度とする。1 m以上の高さを必要とする際には、交差点部、歩道切り下げ部の周辺においてドライバーの視距に配慮して透光板の利用を検討する必要がある。

① 標準的な高さの遮音壁



② 1 m以上の高さの遮音壁

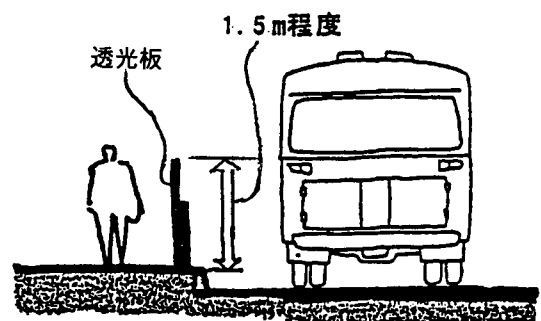


図 2 - 3 低層遮音壁の高さ

(2) 設置箇所

次に示すような箇所に低層遮音壁を設置するものとする。

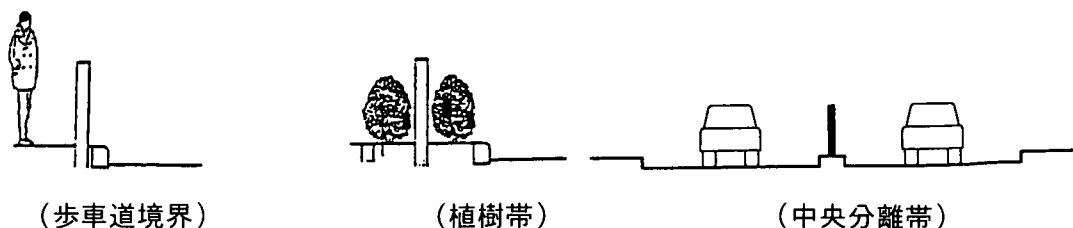
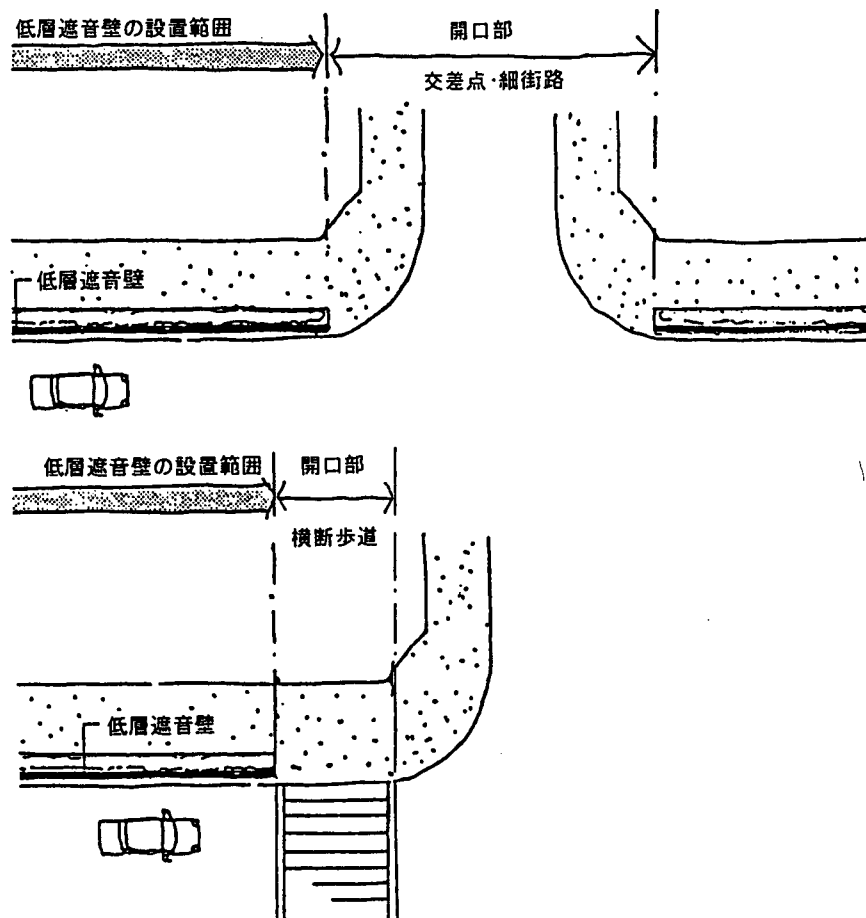


図 2 - 4 低層遮音壁の設置例

(3) 設置できない箇所

ドライバーの視距の確保が必要な交差点周辺や歩道切り下げ部には低層遮音壁は設置しない。

① 交差点（細街路を含む）及び横断歩道



② 歩道切り下げ部

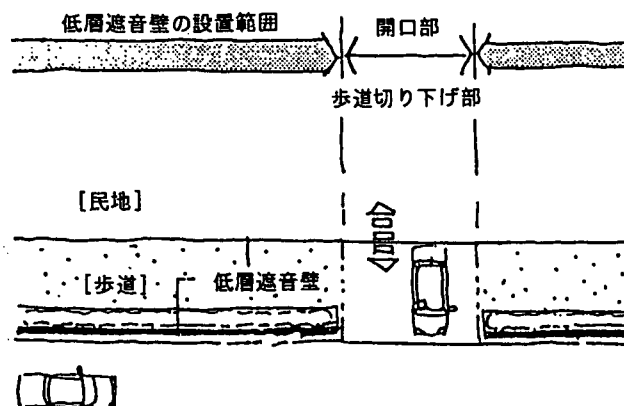


図 2 - 5 低層遮音壁を設置できない箇所

2.6 減音効果の予測計算

2.6.1 減音効果の予測計算の手順

減音効果の予測計算の手順は以下のとおりとする。

- (1) 車線別の減音効果 ($SA \cdot IL$ 、 IL) の算出
- (2) 全車線の減音効果 ($SA \cdot IL_{all}$ 、 IL_{all}) の算出
- (3) 低層遮音壁設置後の騒音レベル ($SA \cdot L_{Aeq, all}$ 、 $L_{Aeq, all}$) の算出

低層遮音壁による減音効果、低層遮音壁設置後の騒音レベルの計算では、各車線の中央に音源を設定する。

(1)～(3)の計算方法について、2.6.2～2.6.6を参照されたい。

2.6.2 車線別の $SA \cdot IL$ の計算方法

車線別の区間平均挿入損失 $SA \cdot IL$ の計算は、次式による。

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

ここで、

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

$SA \cdot IL$: 評価区間の区間平均挿入損失 [dB]

$SA \cdot IL_0$: 評価区間に有限長で連続した仮想の低層遮音壁を設置した場合の評価区間の区間平均挿入損失 [dB]

IL_0 : 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 [dB]

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総延長の割合)

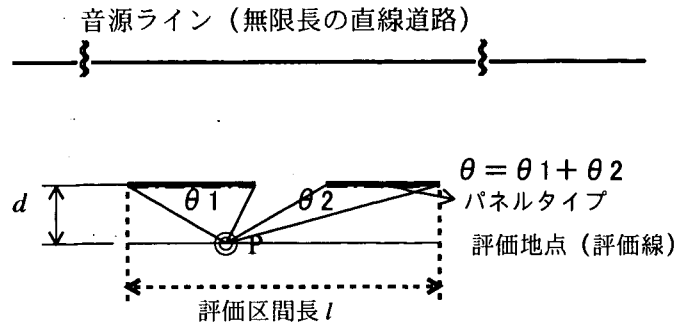
l : 評価区間長 [m]

d : 低層遮音壁の歩道側壁面と評価線までの距離 [m]。

TL : 低層遮音壁に使用する材料の透過損失 [dB]。

植栽柵タイプの場合の IL_0 の計算方法は、文献2)(補足資料3)を参考されたい。

①パネルタイプ



②植栽樹タイプ

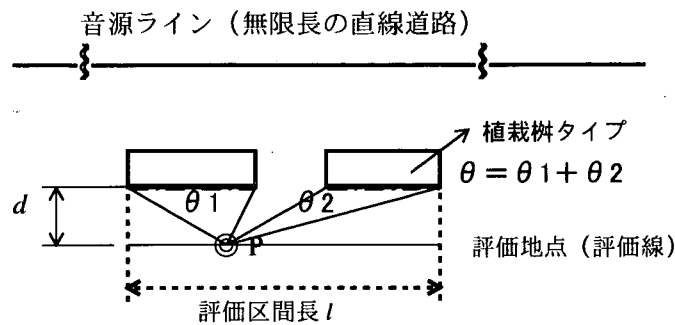


図 2-6 十分に長い直線道路に設置された低層遮音壁による減音効果計算のための模式図

下図に高さ1mの低層遮音壁の開口率 α が0%から50%の場合の、パネル材料の透過損失 TL と $SA \cdot IL$ の関係を示した²⁾。なお、音源位置は地面上で低層遮音壁の車道側壁面から4m、評価区間は壁面の後方5m、高さ1.4m（歩道面からの高さ1.2m、歩道面が車道面から0.2mマウントアップされていることを想定）である。また、評価区間長は $l = 100\text{m}$ である。

この図から、区間平均挿入損失を3 dB程度得るためには、開口率 α を30%程度以下にする必要があることがわかる（3 dBは「2.4 目標とする減音効果」で最低限必要とされる減音効果）。

また、 $SA \cdot IL$ の減少を0.5dB程度に押さえることができる TL は、 α が0%の場合は14dB、 α が20%の場合は11dBであり、この程度の透過損失があれば、パネルタイプの低層遮音壁の材料として十分用いることができると考えられる。

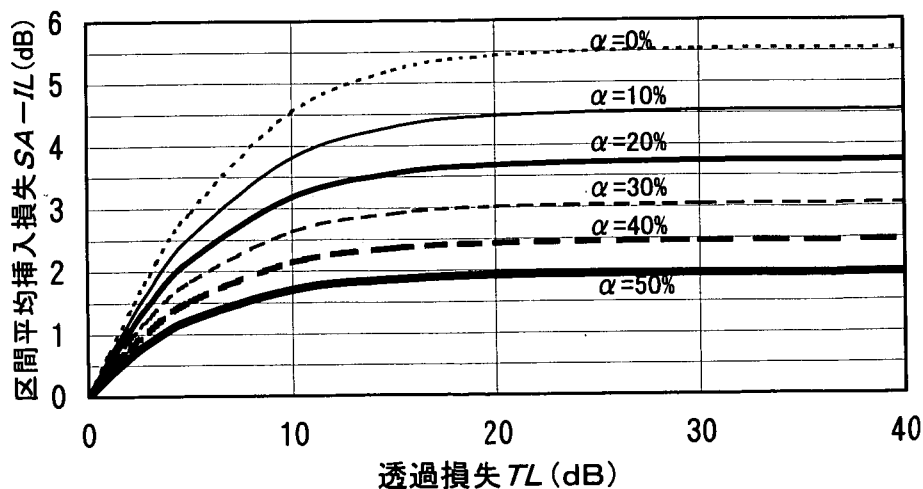


図 2-7 開口率 α ，透過損失 TL と区間平均挿入損失 $SA \cdot IL$ の関係

2. 6. 3 車線別の IL の計算方法

車線別の挿入損失 IL の計算は、次式による。

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

ここで、

IL_0 : 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[dB]

θ : 評価地点から低層遮音壁を見通した時の角度の和[rad]

TL : 低層遮音壁に使用する材料の透過損失[dB]。

2. 6. 4 全車線の $SA \cdot IL_{all}$ の計算方法

全車線に音源を設定した場合の区間平均挿入損失 $SA \cdot IL_{all}$ の計算は、次式による。

$$SA \cdot IL_{all} = -10 \log_{10} \left(\frac{\sum a_i \cdot 10^{\frac{SA \cdot IL_i}{10}}}{\sum a_i} \right)$$

ここで、

$$a_i = \frac{10^{\frac{LA_{eq,i}(before)}{10}}}{\sum 10^{\frac{LA_{eq,i}(before)}{10}}}$$

$SA \cdot IL_i$: i 番目の車線に音源を設定した場合の区間平均挿入損失[dB]

a_i : 低層遮音壁設置前の各車線からの音響エネルギーの寄与の比

$LA_{eq,i}(before)$: i 番目の車線に音源を設定した場合の低層遮音壁設置前の等価騒音レベル[dB]

たとえば、各車線の交通条件が等しいとみなせる場合は、

$$a_i = 1/d_i$$

ここで、 d_i : i 番目の車線中央から評価区間までの距離[m]

となる。

2. 6. 5 全車線の IL_{all} の計算方法

全車線に音源を設定した場合の挿入損失 IL_{all} の計算は、次式による。

$$IL_{all} = -10 \log_{10} \left(\frac{\sum a_i \cdot 10^{\frac{IL_i}{10}}}{\sum a_i} \right)$$

ここで、

IL_i : i 番目の車線に音源を設定した場合の挿入損失[dB]

a_i : 低層遮音壁設置前の各車線からの音響エネルギーの寄与の比

たとえば、各車線の交通条件が等しいとみなせる場合は、

$$a_i = 1/d_i$$

ここで d_i : i 番目の車線中央から評価区間までの距離[m]
となる。

2. 6. 6 低層遮音壁設置後の騒音レベルの計算方法

全車線に音源を設定した場合における低層遮音壁設置後の騒音レベル ($SA \cdot LA_{eq,all}$ 、 $LA_{eq,all}$) の計算は、次式による。

$$SA \cdot LA_{eq,all} = LA_{eq,all}(\text{before}) - SA \cdot IL_{all}$$

$$LA_{eq,all} = LA_{eq,all}(\text{before}) - IL_{all}$$

ここで、

$LA_{eq,all}(\text{before})$: 全車線に音源を設定した場合における低層遮音壁設置前の等価騒音レベル

$LA_{eq,all}(\text{before})$ は測定または (社) 日本音響学会提案の ASJ Model 1998³⁾ により計算する。

第3章

詳細設計にあたっての留意事項

3.1 低層遮音壁の構造

3.1.1 パネルタイプの材料

低層遮音壁の材料は、特に高い透過損失を必要としない。このため、パネルタイプの低層遮音壁には、沿道の地域特性、当該道路の歩道幅員、植樹帯幅等を考慮して、コンクリート、金属、木材等の幅広い材料を用いることができる。

低層遮音壁は高さが低いため、遮音壁上部や開口部からの直達音や回折音の影響が大きく、材料に特に高い透過損失を求める必要がない（「2.6.2 車線別の $SA \cdot IL$ の計算方法」参照）。このため、設置する区間の景観性も考慮して幅広い材料を選択することができる。以下に材料別に遮音壁の構造を整理する。

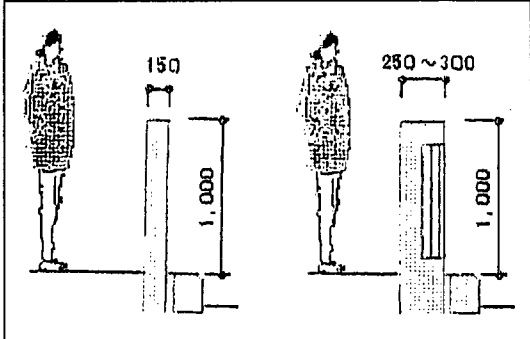
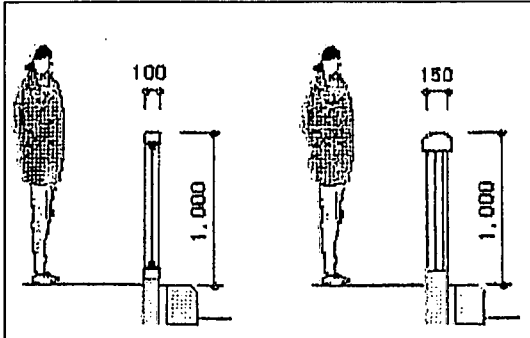
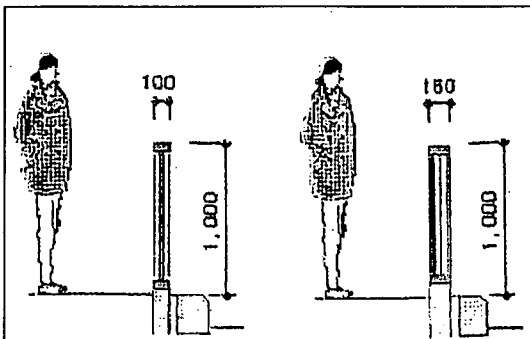
コン ク リ ー ト タ イ プ	・ 植栽との調和が良く、仕上げもタイル張りや化粧型枠、塗装など多様な工夫が考えられる。	
金 属 タ イ プ	・ コンクリートタイプに比べ遮音壁の幅を狭くすることができる。 ・ デザインパネルや塗装による工夫が考えられる。	
木 材 タ イ プ	・ コンクリートタイプに比べ遮音壁の幅を狭くすることができる。 ・ 植栽との調和が特に良い。	

図3-1 パネルタイプの低層遮音壁の材料

3. 1. 2 パネルタイプにおける工夫

パネルタイプの低層遮音壁の具体的な構造を検討する際には、既に設定されている遮音壁の高さ、吸音板の有無、植樹帯幅を踏まえ、次のような工夫を検討する。

- ①歩道空間の閉鎖性、圧迫感を緩和するための工夫
- ②植樹帯幅に応じた設計の工夫

(1)歩道空間の閉鎖性、圧迫感を緩和するための工夫

歩道幅員が狭い場合や沿道敷地にゆとりがない場合、歩道空間は閉鎖的なものとなり、歩道利用者、沿道住民等は圧迫感を受けることになる。これに対しては、透光板や植栽を採用し、歩道空間の閉鎖性や圧迫感を緩らげることが望まれる。

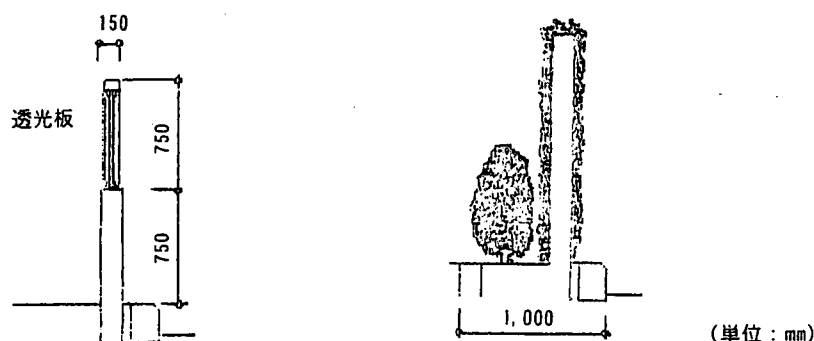


図 3 - 2 透光板や植栽を利用した低層遮音壁

(2)植樹帯幅に応じた設計の工夫

①植樹帯がない場合

a. 歩道幅をいたずらに狭めないように幅をとらないタイプを用いることが望まれる。

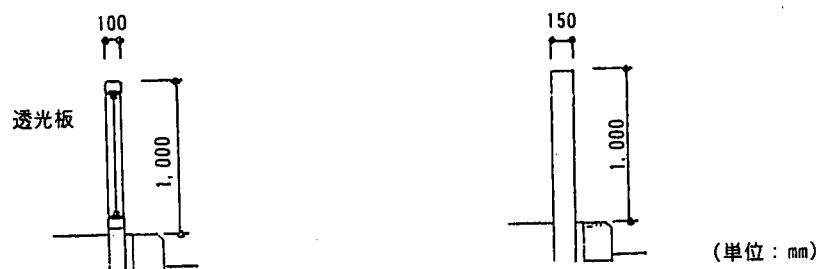


図 3 - 3 植樹帯がない場合の低層遮音壁(1)

- b. 植栽を用いることができないため、歩道利用者は低層遮音壁を直接近景で見たり、あるいは触れることになる。この点に配慮し、低層遮音壁の壁面、天端の処理を工夫することが望まれる。

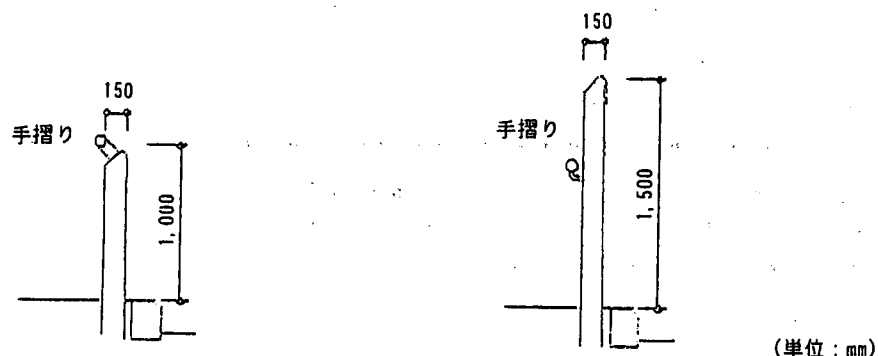


図 3-4 植樹帯がない場合の低層遮音壁(2)

②植樹帯がある場合

- a. 植樹帯幅が狭い場合 (1.0m程度) は、ツタや緑量の少ない低木等を植栽するとともに、壁面処理を工夫することが望まれる。

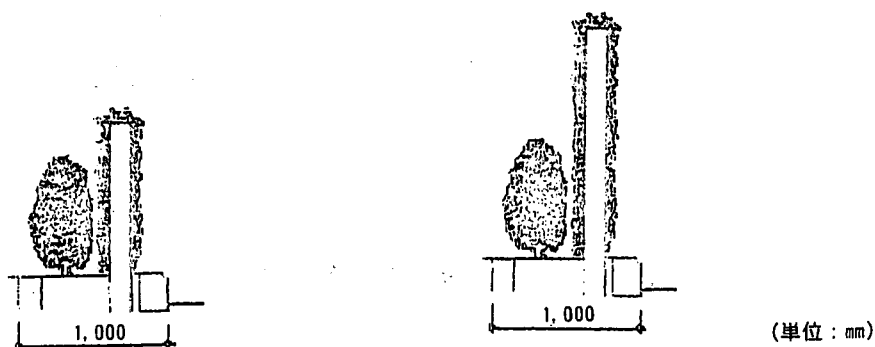


図 3-5 植樹帯が狭い場合の低層遮音壁

- b. 植樹帯が広い場合 (1.5m程度以上) は、ゆとりある歩道空間を生かして緑量の多い植栽や花壇を設置し、潤いのある空間を整備することが考えられる。また、ベンチ等を用い、たまり空間を整備する工夫が考えられる。その他、車道側にも植栽を施すなどドライバーに対して配慮することも考えられる。

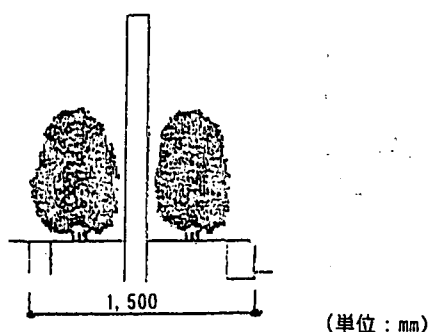


図 3-6 植樹帯が広い場合の低層遮音壁

3. 1. 3 植栽柵タイプの材料

植栽柵タイプの低層遮音壁の材料には、コンクリートやレンガを使用することが多い。しかし、親しみやすい沿道空間を演出するような場合には、植栽柵に他の材料を使用するなど、設置する箇所に応じた材料を使用することが望ましい。

植栽柵タイプの低層遮音壁は、植樹の種類や、植栽柵のデザインなどについて多様な工夫が考えられる。なお、設置にあたっては一定の設置幅が必要となるため、利用者に圧迫感を与えないように配慮する必要がある。以下に植栽柵タイプの低層遮音壁の設置例を示す。



写真 3 - 1 植栽柵タイプの低層遮音壁（国道23号三重県四日市市）



写真 3 - 2 パネルタイプ+植栽柵タイプの低層遮音壁（国道4号東京都足立区南千住）

3. 1. 4 植栽樹タイプにおける工夫

C・C・BOXやCABを設置している区間では、可動式のプランターボックスを設置するなど、箇所に応じた工夫を検討する。

(1) C・C・BOX、CAB設置区間における工夫

歩道に所定の植樹帯幅が確保でき、C・C・BOXやCABを整備する場合等には可動式のプランターボックスを設置することが考えられる。その設置方法としては次の二つが考えられる。

■プランターボックスの部分的な配置

低層遮音壁にプランターボックスを部分的に併設する方法が考えられる。なおこの場合、プランターボックスは遮音機能を有していない。

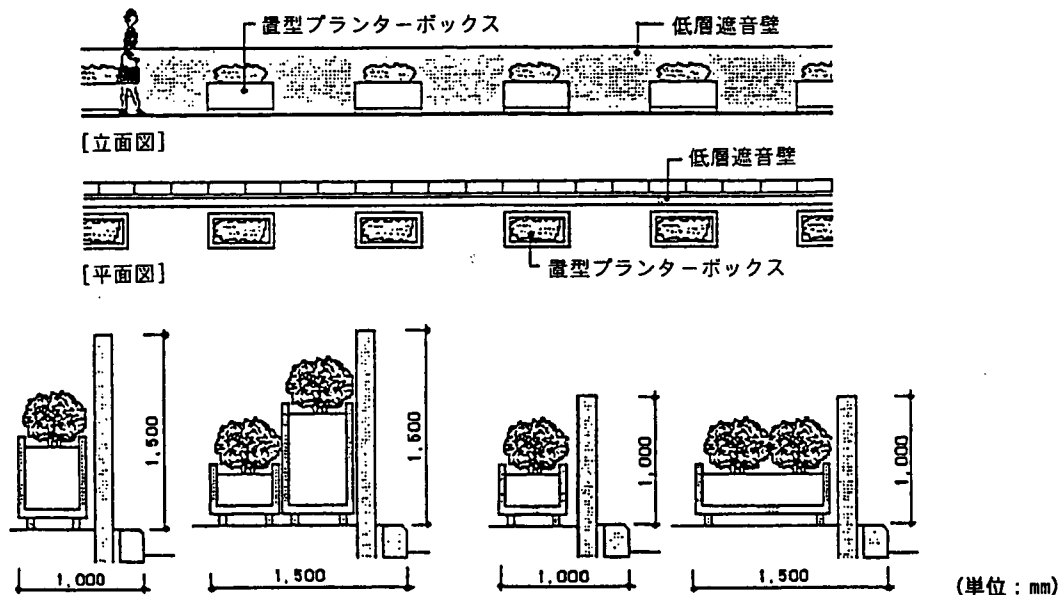


図 3-7 低層遮音壁にプランターボックスを部分的に併設した例

■プランターボックスの連続的な配置

遮音機能を持たせるためにプランターボックスを単独で連続的に設置する方法が考えられる。この場合、遮音機能が低下しないようにプランターボックスの下端や接続部分にすき間の出来ないよう十分留意する必要がある。

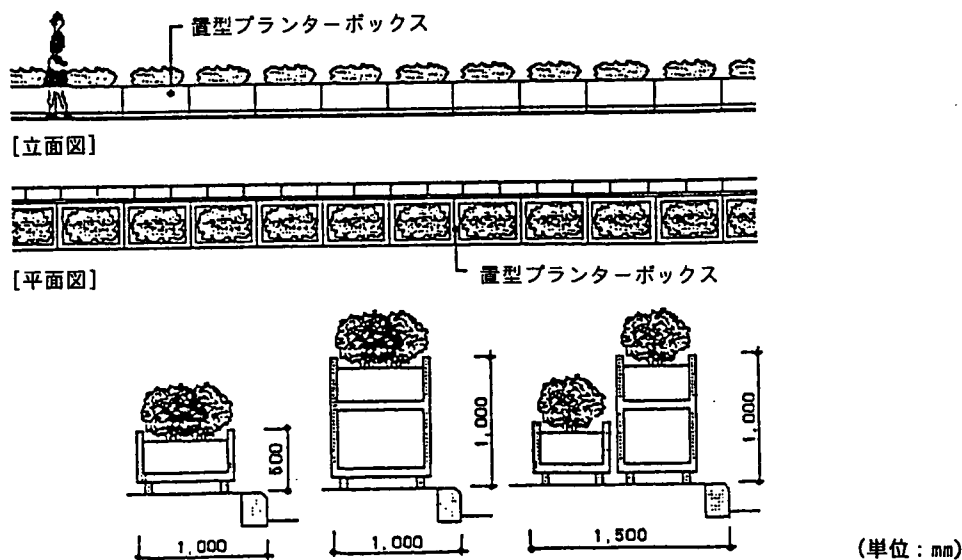


図 3-8 プランターボックスを単独で連続的に設置した例

(2)遮音低減効果に対する工夫

歩道切り下げ部や交差点部では、開口部からの音の進入を低減するため遮音壁の端部にまき込みを設ける工夫が考えられる。

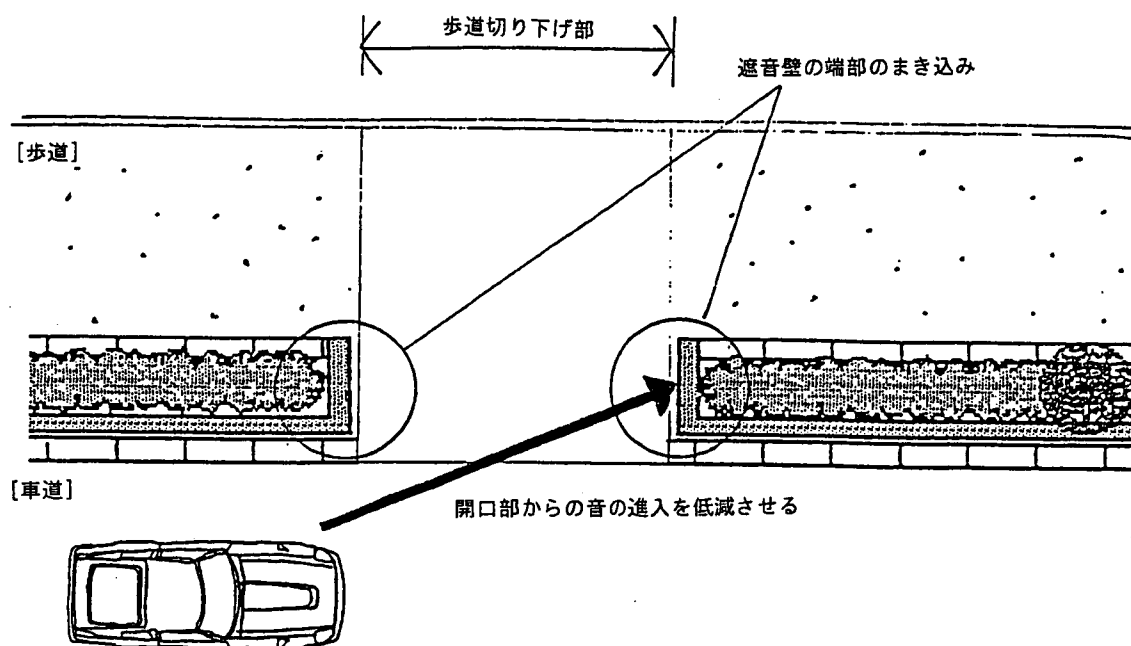


図 3 - 9 低層遮音壁の巻き込み部における工夫

3.2 道路利用者の安全性の検討

道路利用者（歩道利用者、ドライバー、沿道住民等）の安全性を確保するため、低層遮音壁を交差点部や歩道切り下げ部の周辺に設置する場合、以下の方法によりドライバーの視距を確保する。

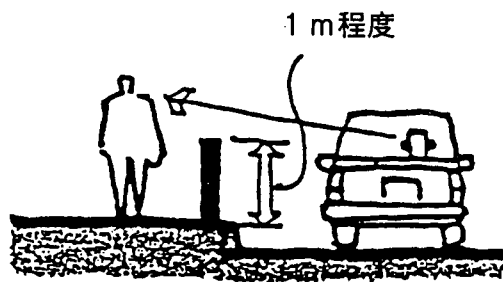
- ①低層遮音壁の高さを1 m程度に抑える。
- ②透光板を利用する。

(1)交差点部、歩道切り下げ部周辺における遮音壁の高さ

交差点部や歩道切り下げ部周辺においてドライバーの視距を確保するには、遮音壁の高さを1 m程度に抑える必要がある。しかし、遮音壁の基本となる高さを1.5 mとして設計したような場合には、これら開口部周辺の遮音壁の高さが1 m程度になるように段階的にすりつける必要がある。

①高さ1 m程度の場合

遮音壁の高さが1 m程度であれば、視距はおおむね確保できる



②高さ1.5 mの場合

遮音壁の高さが1 m程度を越えると視距の確保が難しくなる

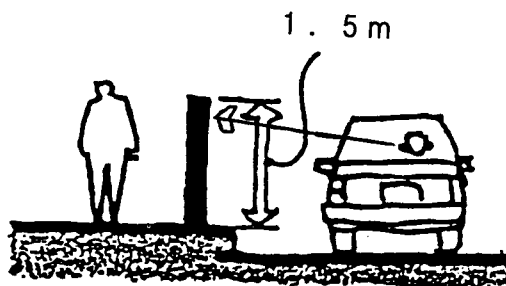


図3-10 視距と低層遮音壁の高さ

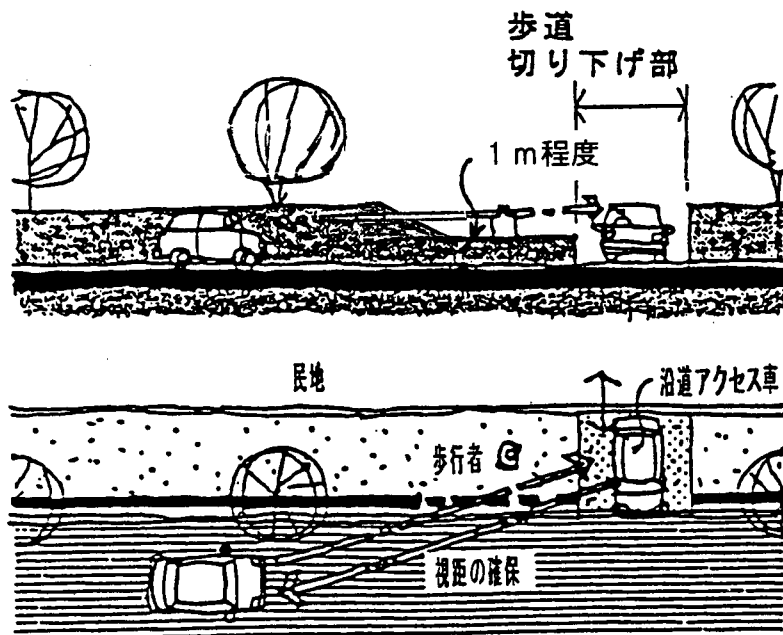
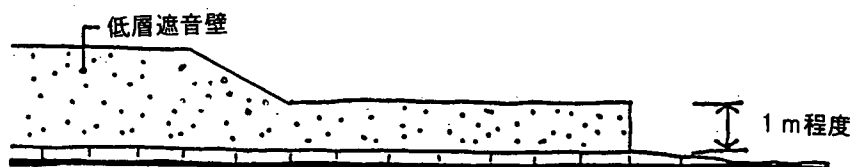


図3-11 歩道切り下げ部周辺における視距

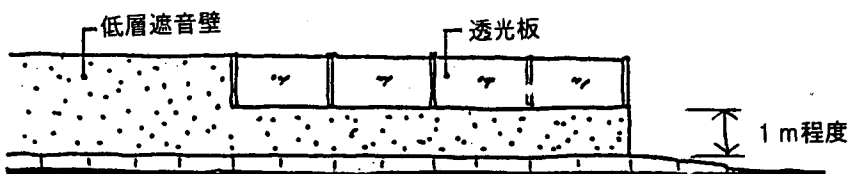
(2)透光板の利用

透光板を利用することなどにより、ドライバーの視距が確保できる場合には交差点部、歩道切り下げ部周辺の低層遮音壁の高さを1 m以上とすることができる。

①低層遮音壁の高さを段階的にすりつけたケース



②透光板を用いたケース(1)



③透光板を用いたケース(2)

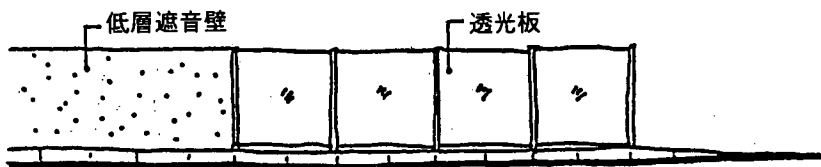


図 3 - 12 交差点部、歩道切り下げ部周辺の設計例

3.3 道路利用者の快適性の検討

3.3.1 圧迫感の低減

景観設計にあたっては、道路利用者（歩道利用者、ドライバー、沿道住民等）が、できるだけ圧迫感・閉鎖感を受けないように工夫する。また、沿道空間との調和にも配慮する。

(1) 歩道利用者

歩道利用者に対しては、圧迫感・閉鎖感を与えない配慮が必要である。また、歩車分離の安心感を与えると同時に、休憩の場や潤いの提供、沿道景観との調和、低層遮音壁の汚れに対する配慮等が必要となる。

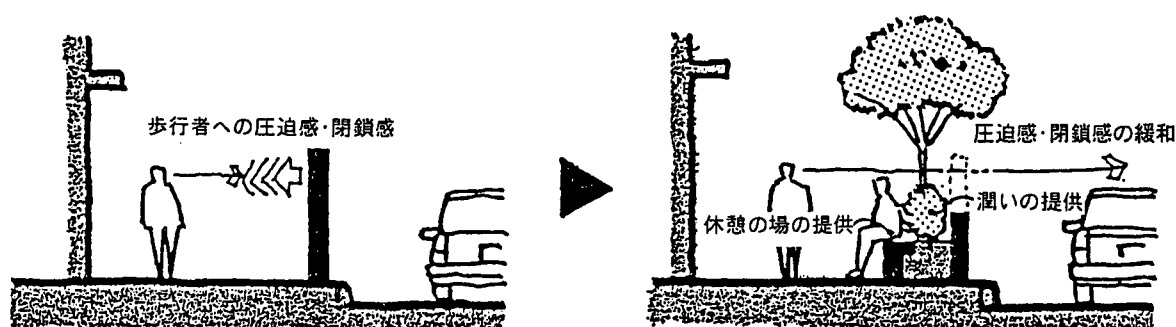


図 3-13 歩道利用者への配慮事項

(2) ドライバー

ドライバーに対しては、圧迫感を与えない配慮、潤いの提供、沿道景観との調和、低層遮音壁の汚れに対する配慮等が必要となる。

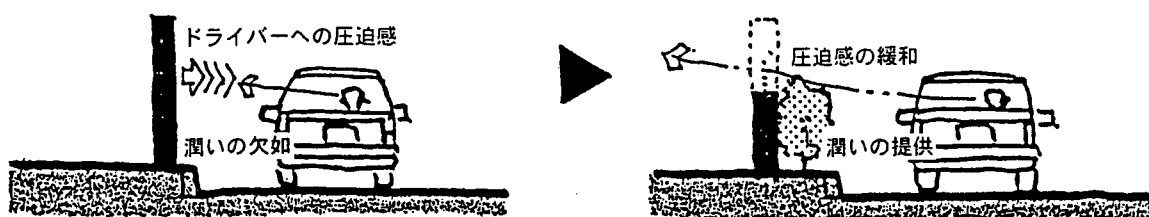


図 3-14 ドライバーへの配慮事項

(3) 沿道住民

沿道住民に対しては、圧迫感、閉鎖感を与えない配慮、潤いの提供、沿道景観との調和、低層遮音壁の汚れに対する配慮等が必要となる。

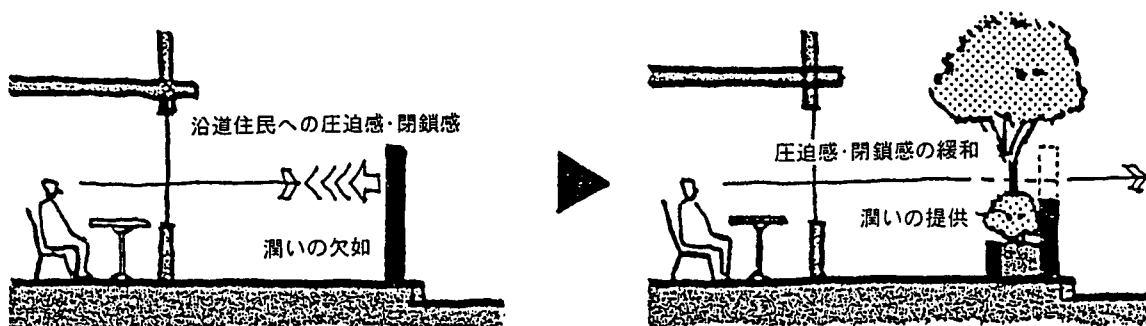


図 3-15 沿道住民への配慮事項

3. 3. 2 たまり空間との一体的整備

休息・交流の場や、バス停などの「たまり空間」の周辺に低層遮音壁を設置する場合には、必要に応じて、これらを一体的に整備する。

(1) 休憩・交流の場としての整備

休憩・交流等のためのたまり空間を整備する場合においては、木陰等にベンチを設置し、それと一体的に低層遮音壁やプランターボックスを設置することが考えられる。また必要に応じてくず入れや吸い殻入れを設置することが考えられる。

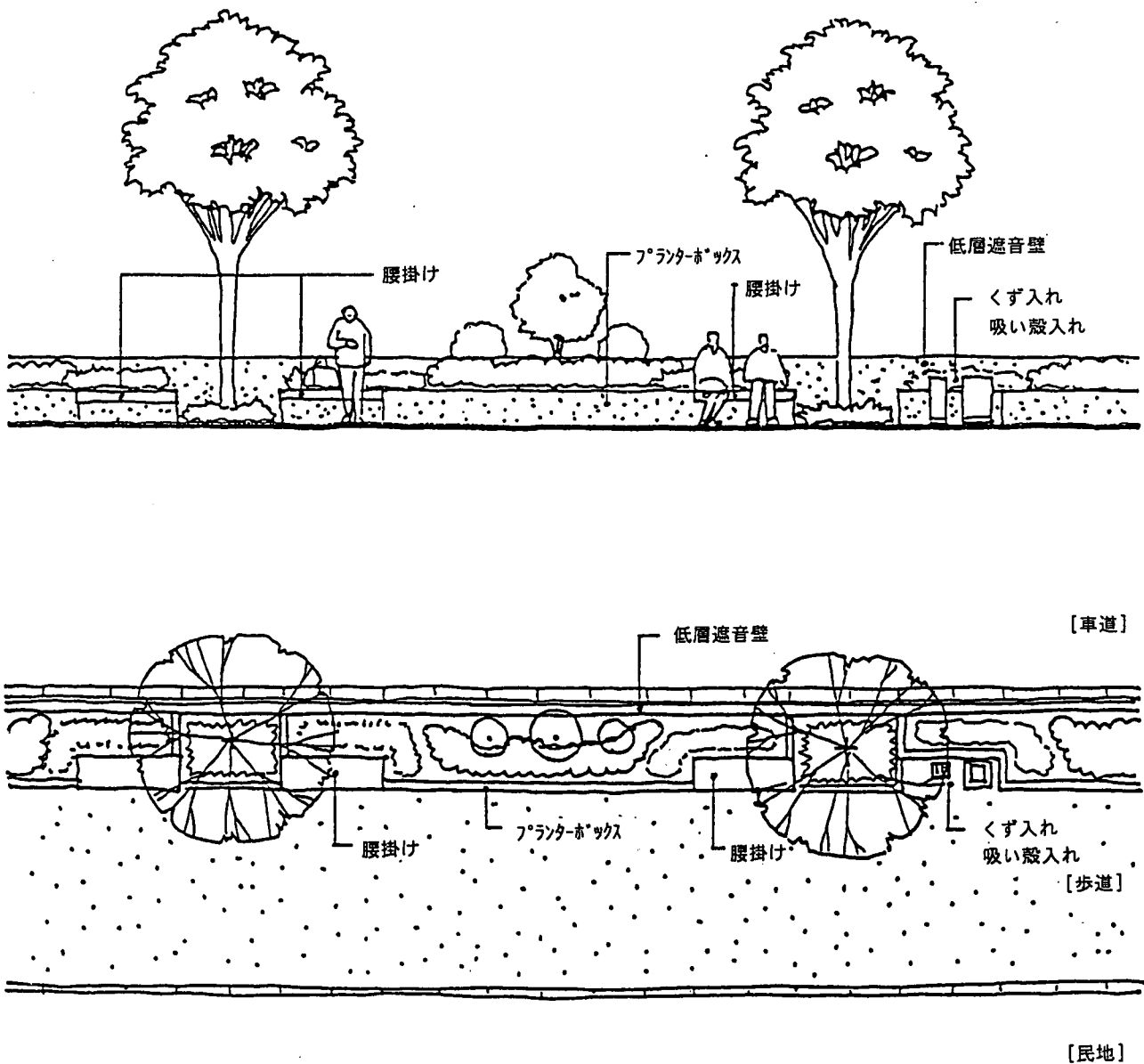


図 3-16 休息・交流の場としての整備

(2)バス停における整備

バス停においては、バス停利用者の快適なバス待ち空間を確保することが必要である。ベンチの設置や遮音機能を兼ねたバスシェルターと一体的に低層遮音壁を整備することが考えられる。

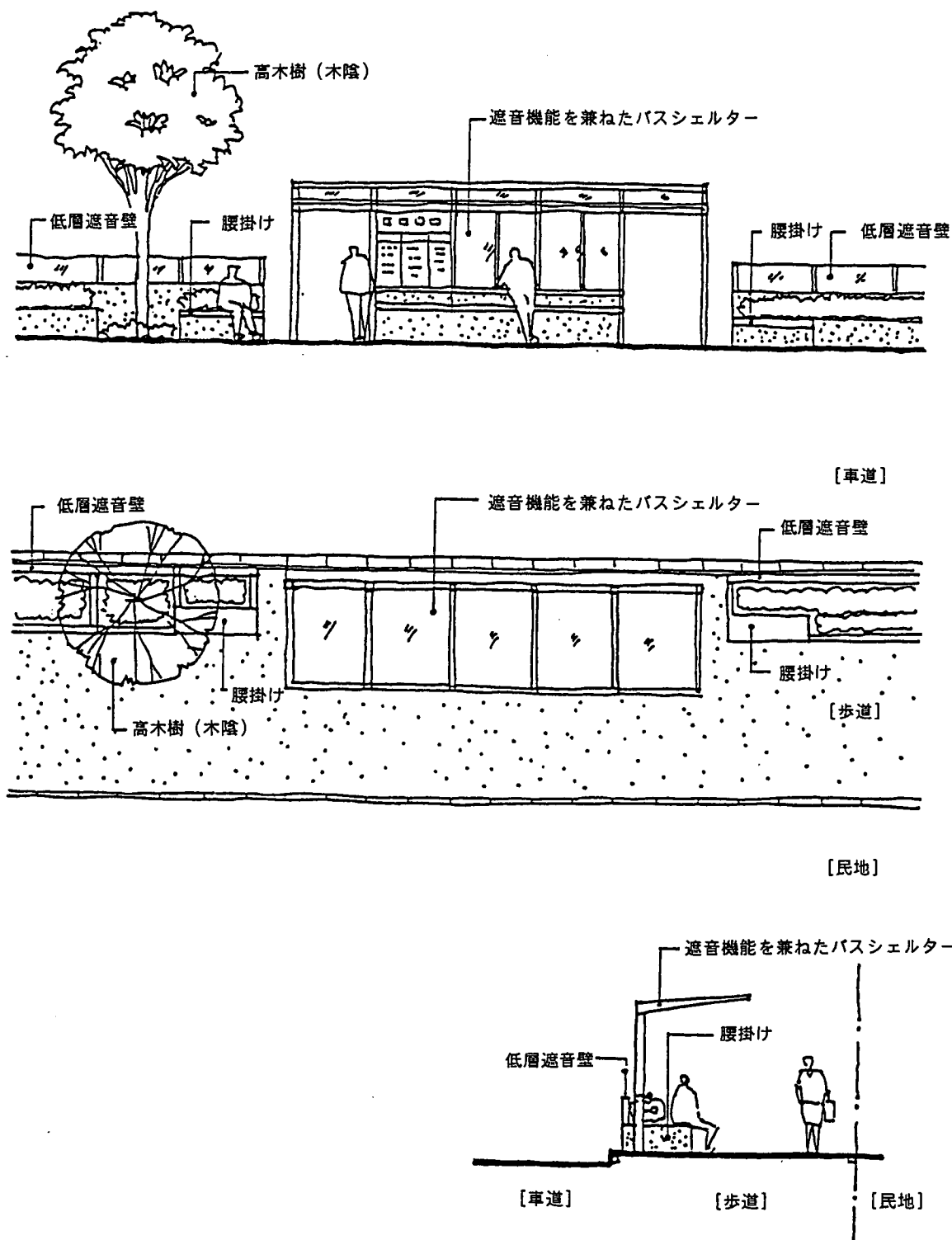


図 3-17 バス停における整備

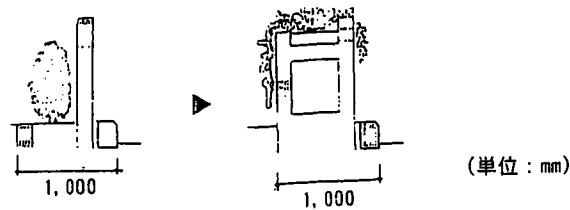
3. 3. 3 植栽を行う場合の留意事項

低層遮音壁に植栽を行う場合には日照、灌水に配慮する。

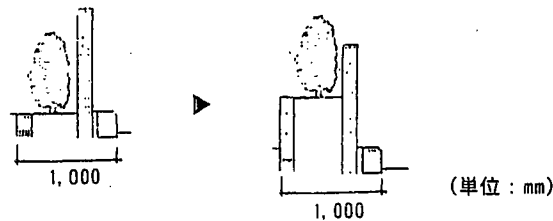
(1)日照

一般に遮音壁に併設される植栽の日照条件が悪い場所では、植栽の生育が妨げられたり、生育可能な樹種が限定される。このため、次に示すような低層遮音壁の構造を工夫する、あるいは植栽の樹種選定に配慮することが必要である。

①低層遮音壁を箱形にし、ツタを上面にはわすことで日照を確保する。



②植栽の位置を上げ、遮音壁が日照を遮る度合いを軽減する。



③透光板を用い、日照を確保する。

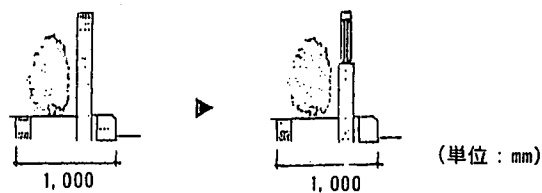


図 3-18 低層遮音壁の構造の工夫

表 3-1 耐陰性のある樹種

針葉低木	ヒメアスナロ
常緑低木	アオキ、アセビ、アベリア、イヌツゲ、クチナシ、シキミ、シャクナゲ、シロヤマブキ、センリョウ、チャ、ヒイラギナンテン、ヒサカキ、マサキ、マメツゲ、マンリョウ、ヤツデ
落葉低木	アジサイ、ガクアジサイ、ムラサキシキブ
つる性	イタビカズラ、サネカズラ、テイカカズラ、ツタ

(2)灌水

プランターボックスを用いた場合等、土壌水分が不足し樹木の生育に支障をきたす恐れがある時は、適宜灌水を行う必要がある。

3. 3. 4 地域特性に応じた景観設計

沿道の地域特性に応じた街並みを演出するように、低層遮音壁の形状、材質、表面処理、植栽について検討を行う。

(1)土地利用の特性を考慮した低層遮音壁の整備例

以下に住居系、業務系、商業系の土地利用の特性を考慮した低層遮音壁の整備例を示す。

①住居系地域／静寂、うるおいのある街並みの演出

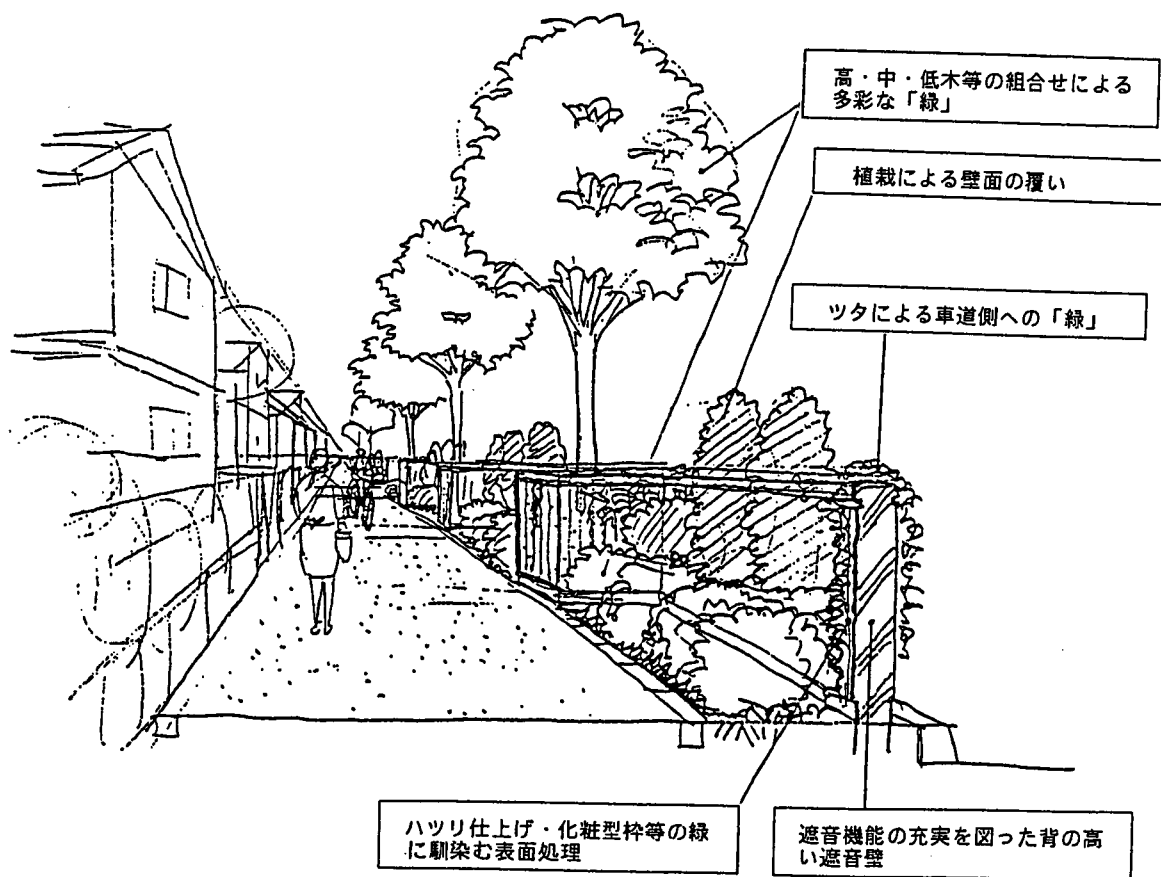


図 3-19 住居系地域における低層遮音壁の整備例

②商業系地域／楽しさ、華やかさのある街並みの演出

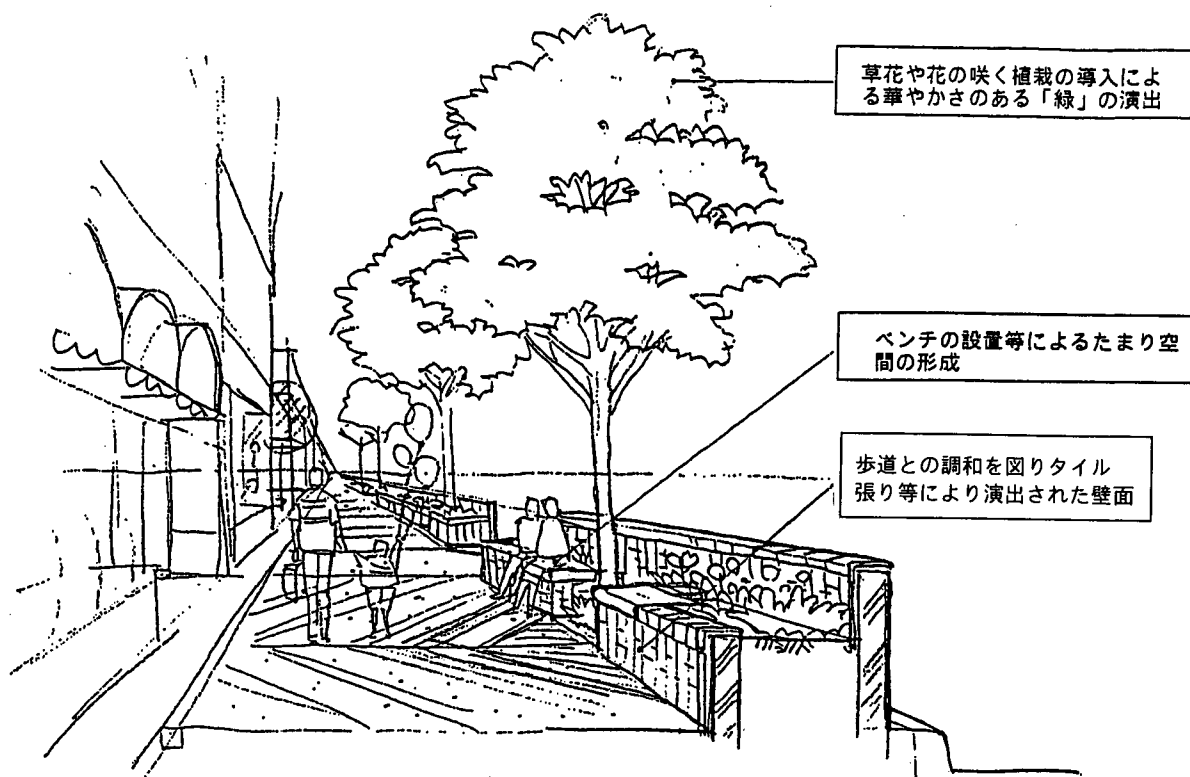


図 3-20 商業系地域における低層遮音壁の整備例

③業務系地域／整然とした街並みの演出

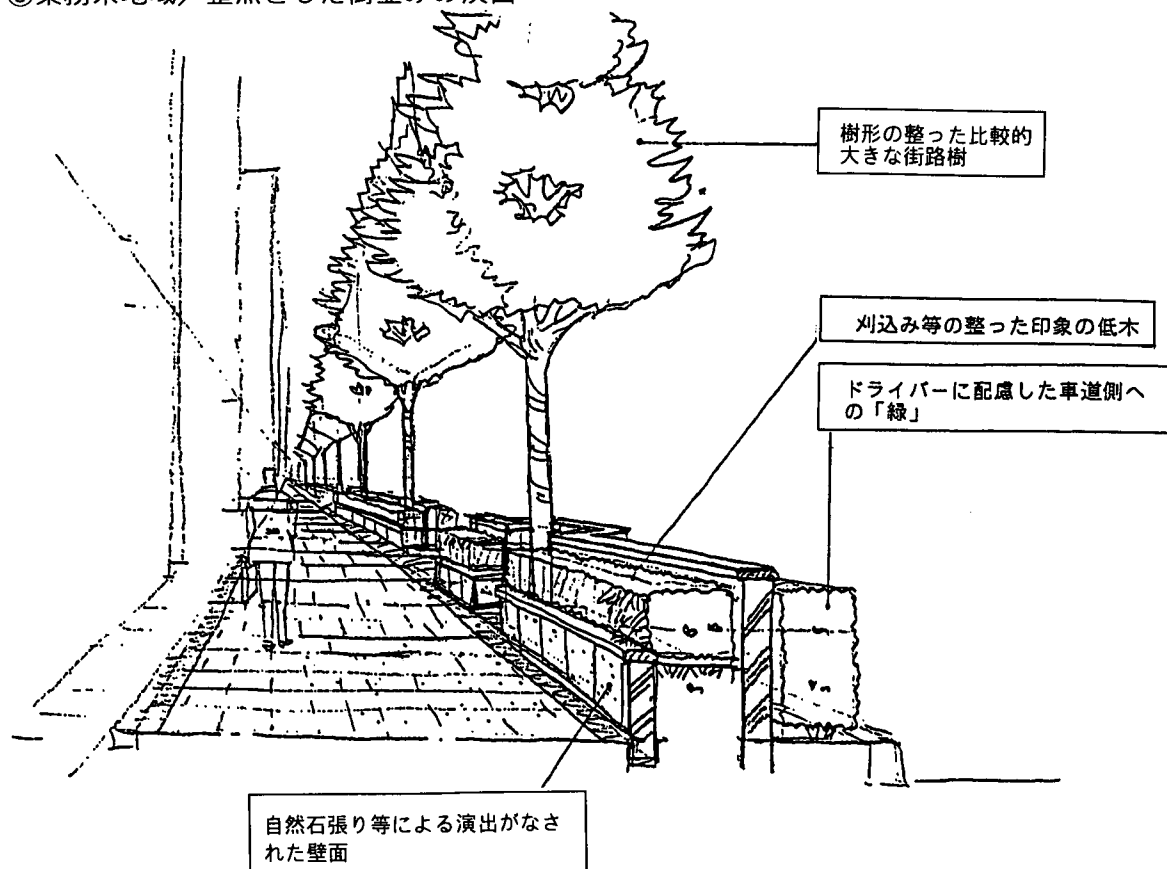
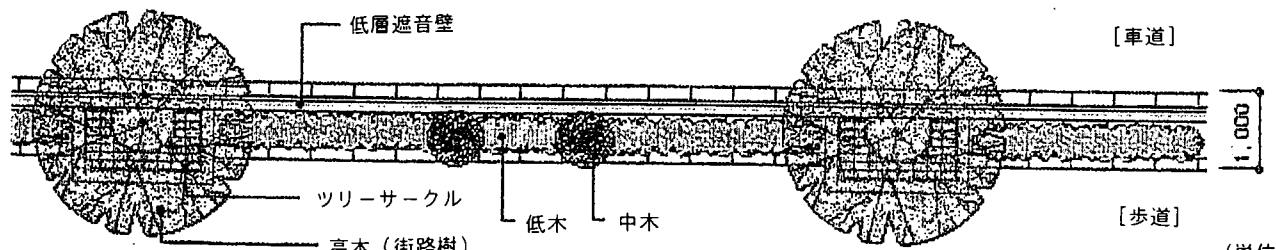
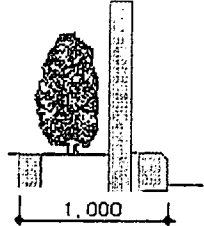
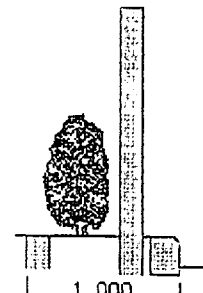
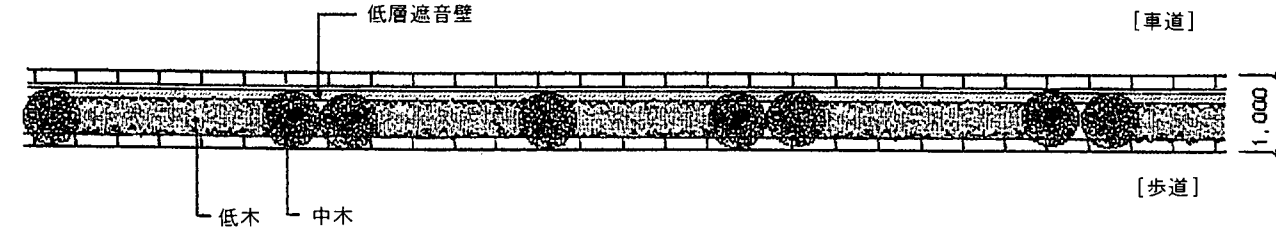
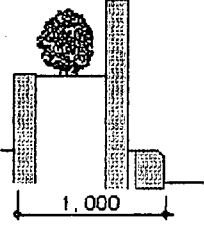
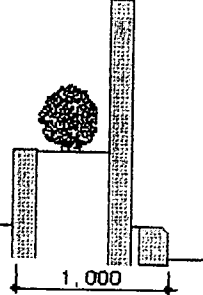
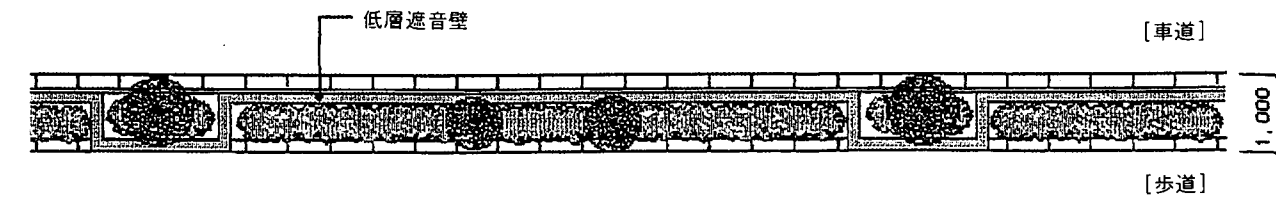
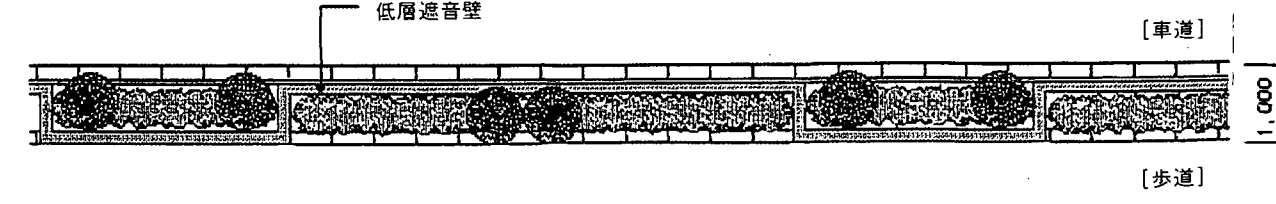
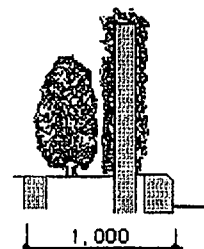
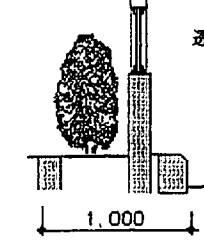
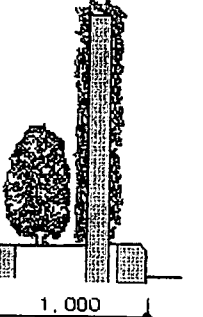
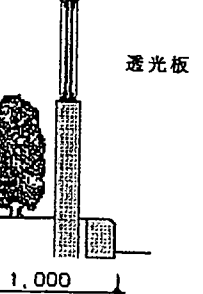
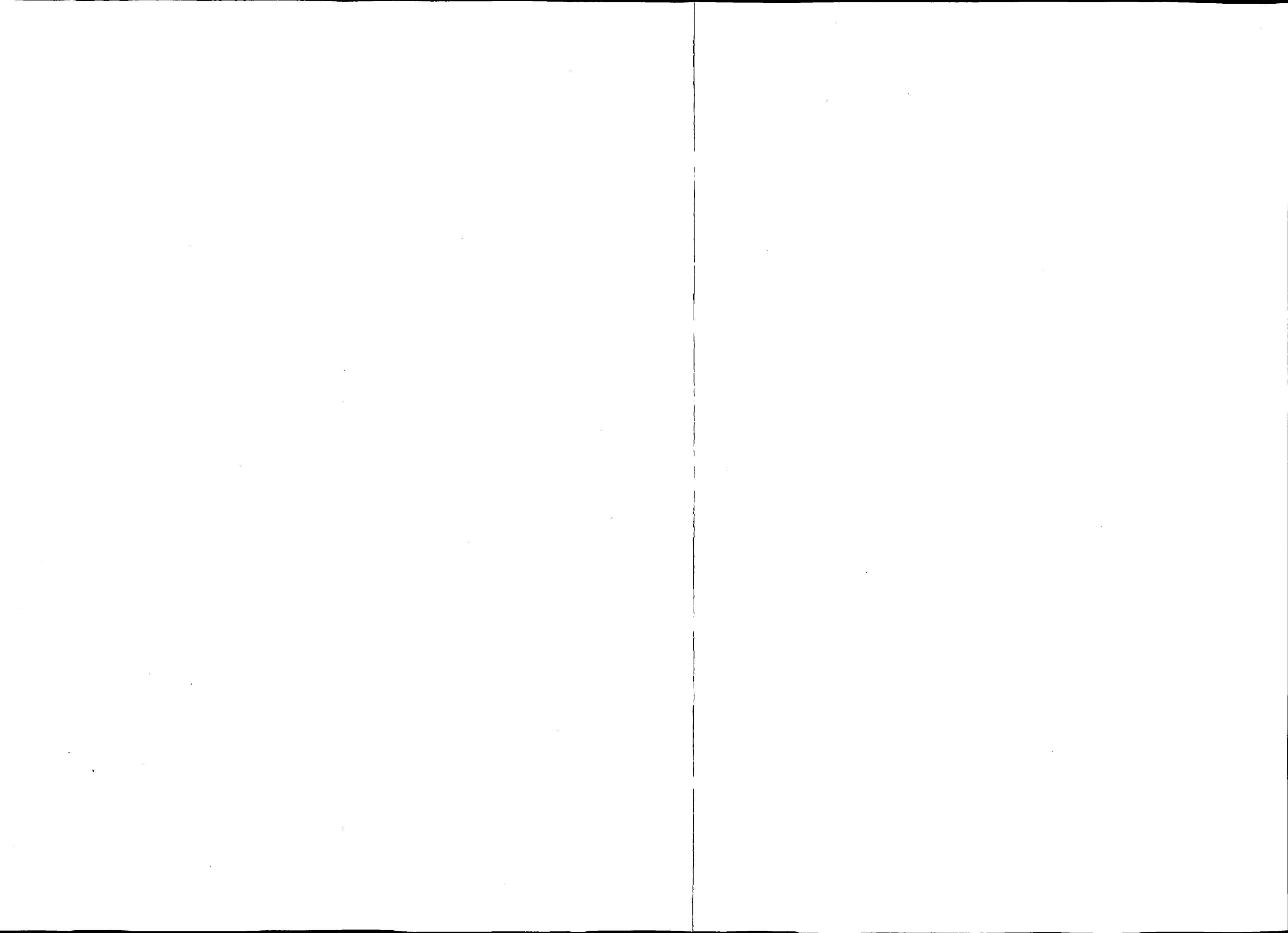


図 3-21 業務系地域における低層遮音壁の整備例

3.4 低層遮音壁の設計例

(1) 植樹帯幅 1.0 m の場合

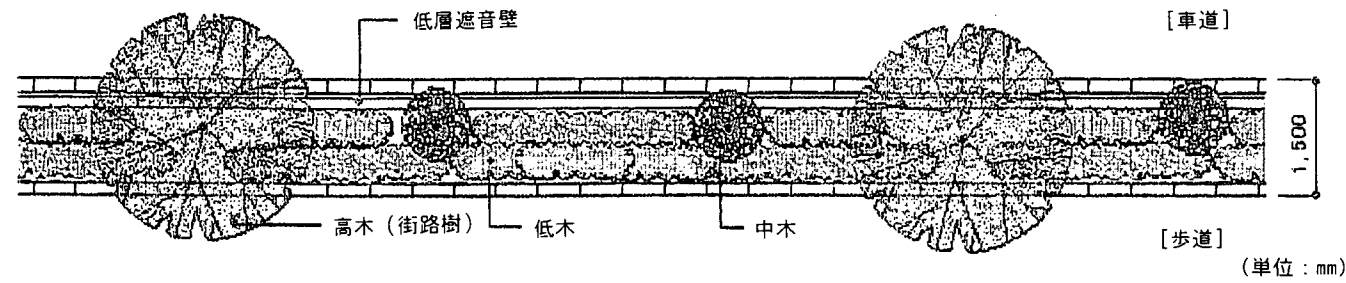
平面展開例	断面形状との組み合わせ	
	高さ 1.0 m	高さ 1.5 m
■歩道側のみ植栽を見せ街路樹（高木）を入れる場合 —街路樹の部分はツリーサークルとする。  (単位：mm)		
■歩道側のみ植栽を見せ中・低木植栽を施す場合  (単位：mm)		
■車道側にも植栽を見せる場合 —遮音壁をジグザグにし歩道側、車道側ともに植栽を施す。   (単位：mm)	  (単位：mm)	  (単位：mm)



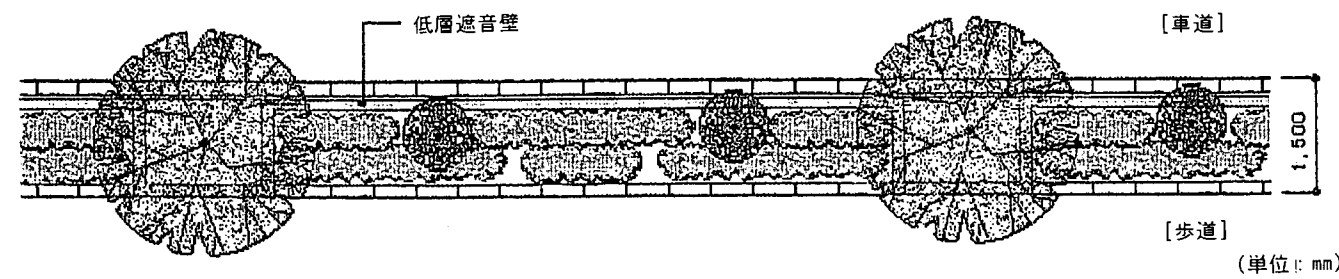
(2) 植樹帯幅 1.5 m の場合

平面展開例

■歩道側のみ植栽を施す場合

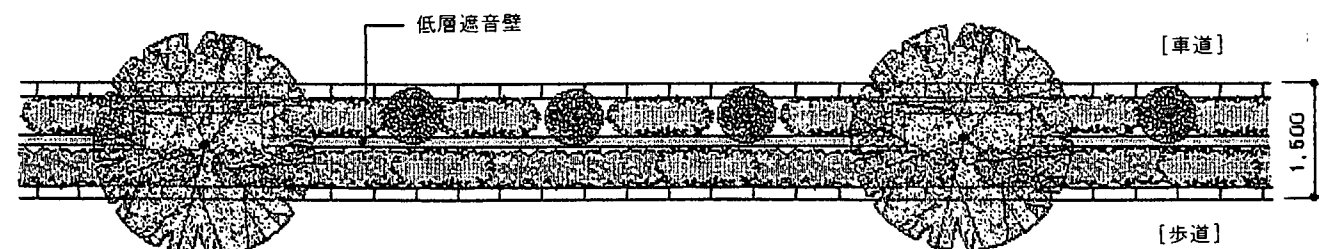


■歩道側に主として植栽を施す場合 (車道側にも配慮)
— 街路樹を車道側に見せる。

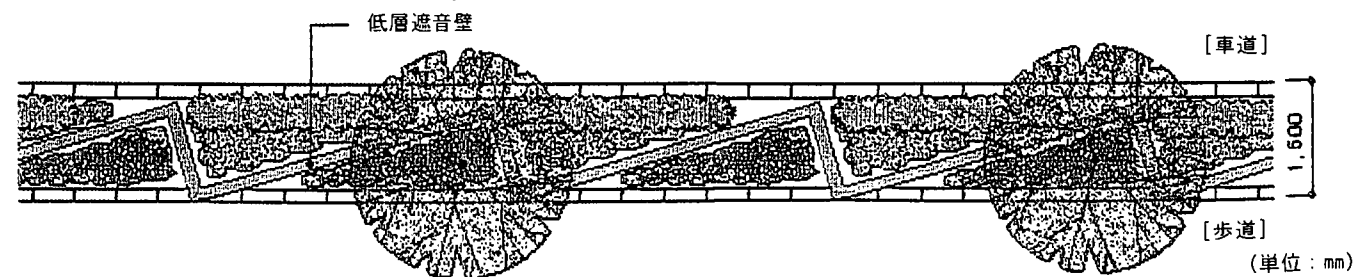


■車道側にも植栽を見せる場合

— 中・低木の連続的な植栽を車道側に見せる。

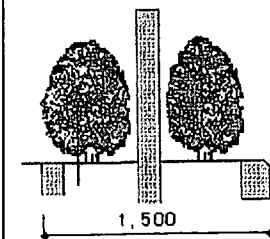
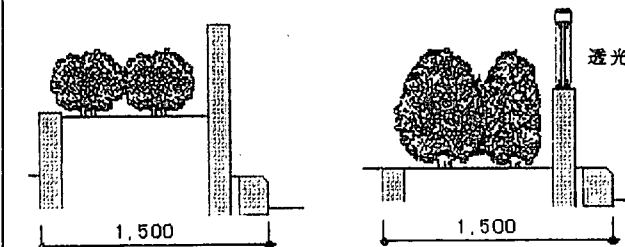
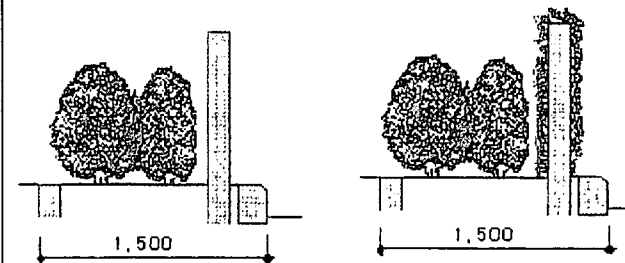


— 遮音壁をジグザグに構成する。(透光板の併用により見通しに配慮した工夫が施せる。)



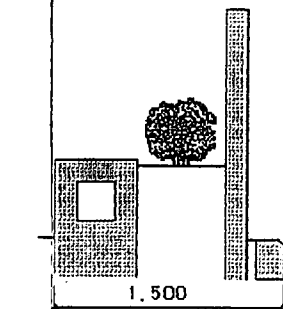
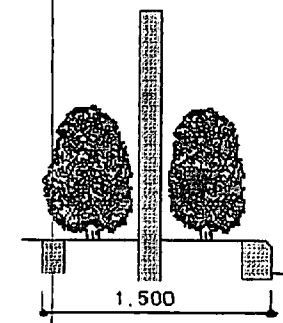
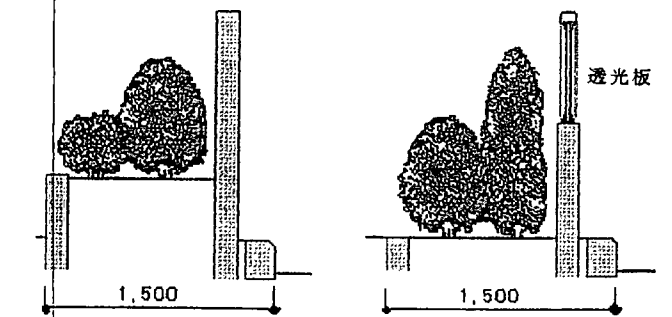
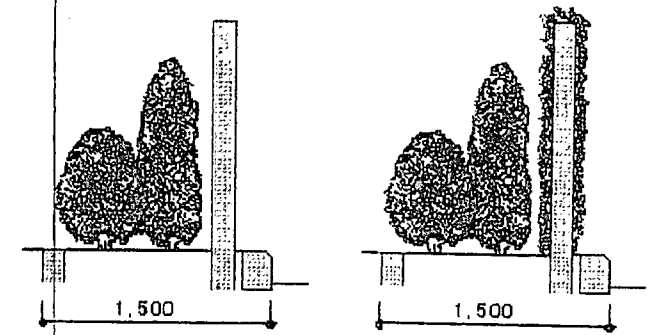
断面形状との組み合わせ

高さ 1.0 m



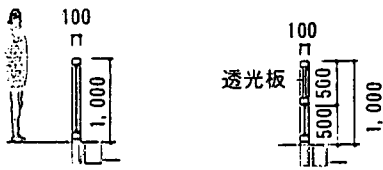
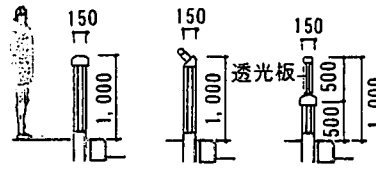
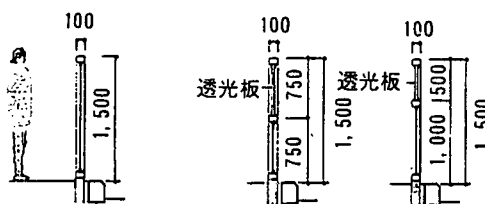
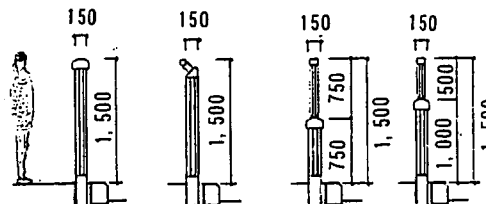
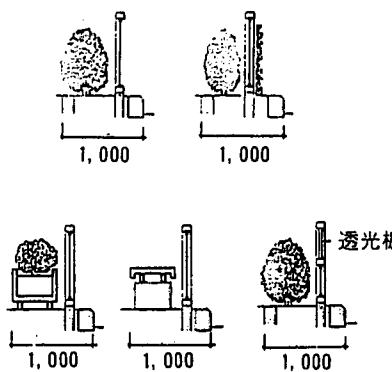
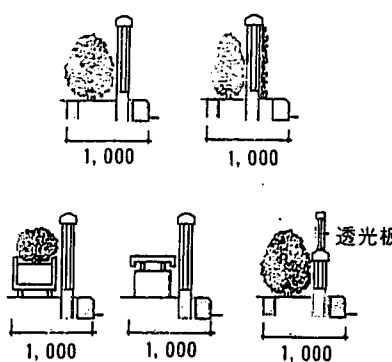
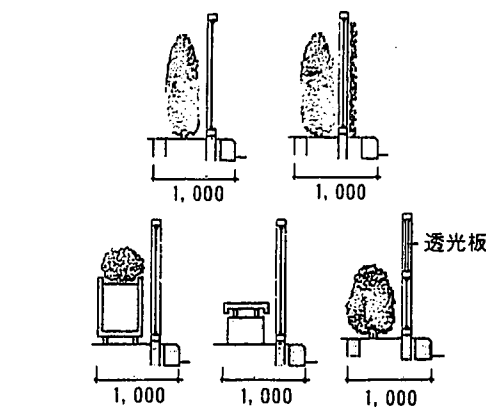
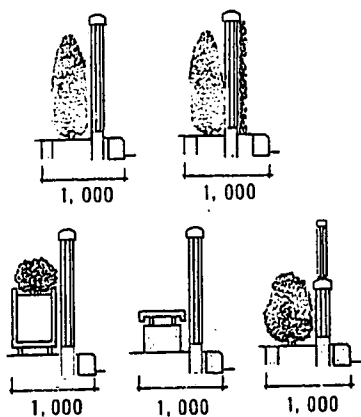
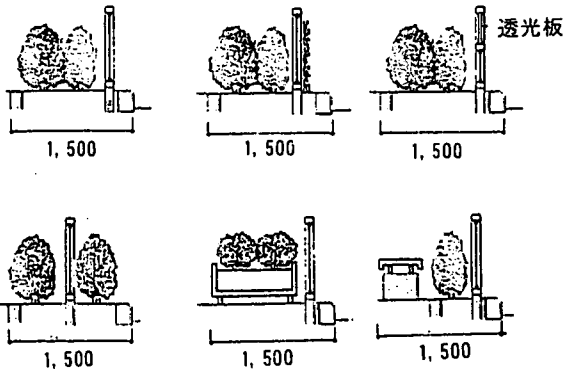
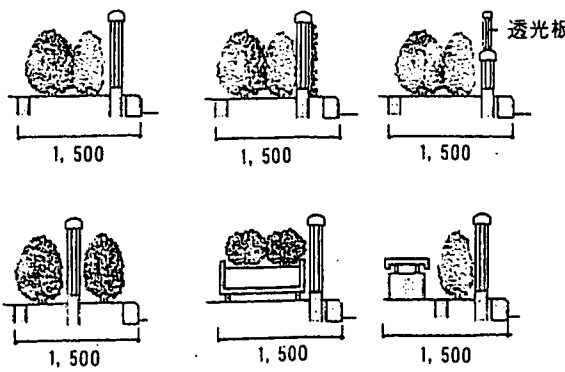
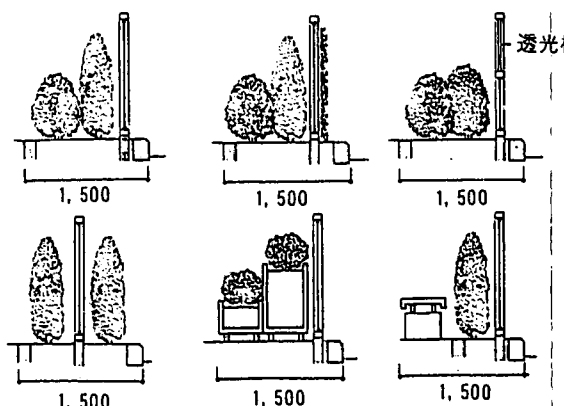
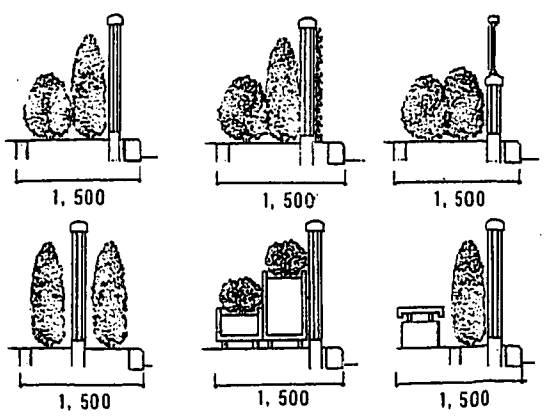
(単位: mm)

高さ 1.5 m

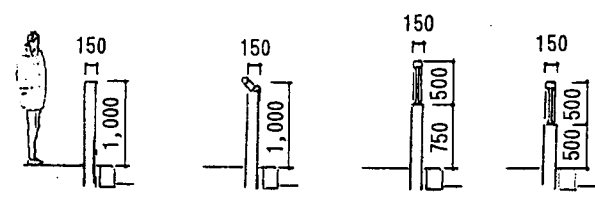
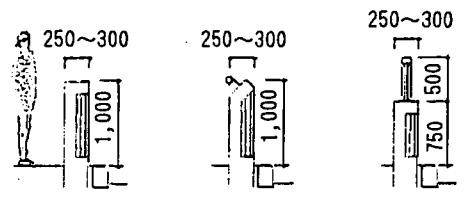
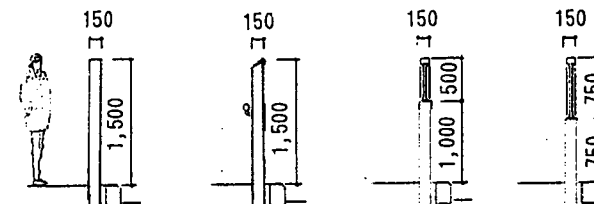
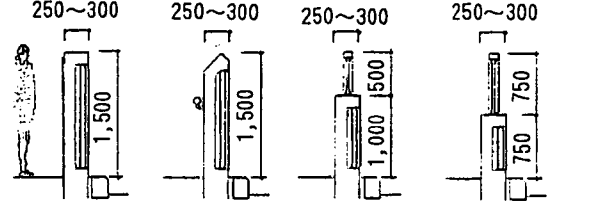
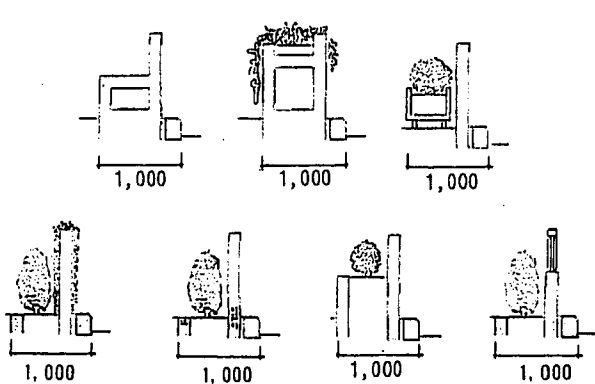
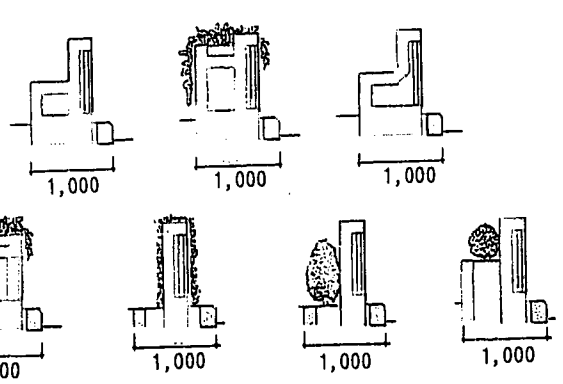
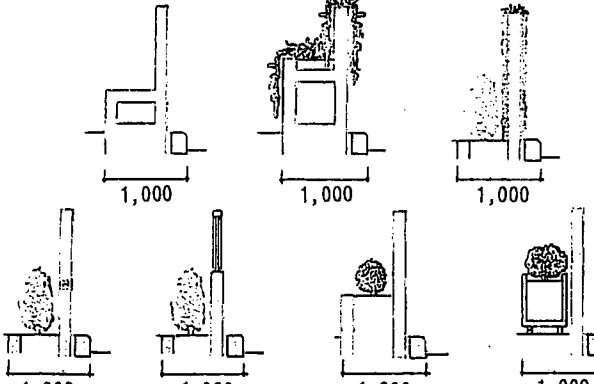
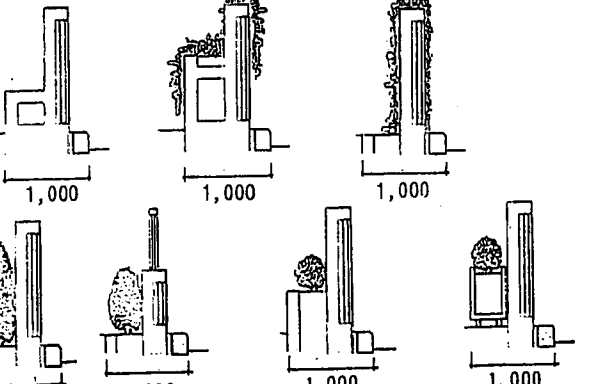
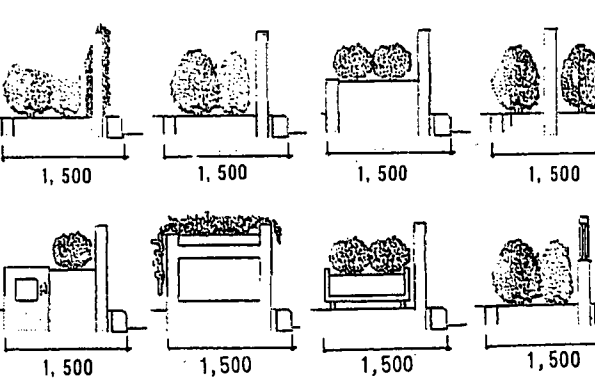
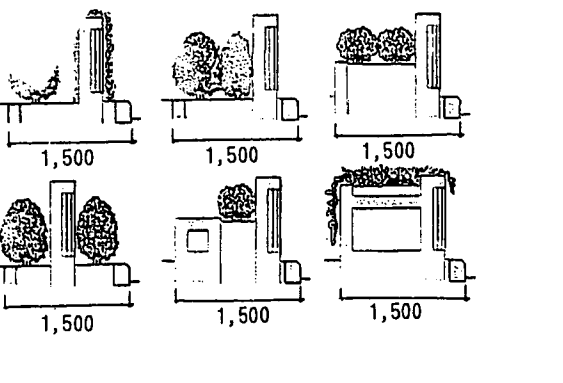
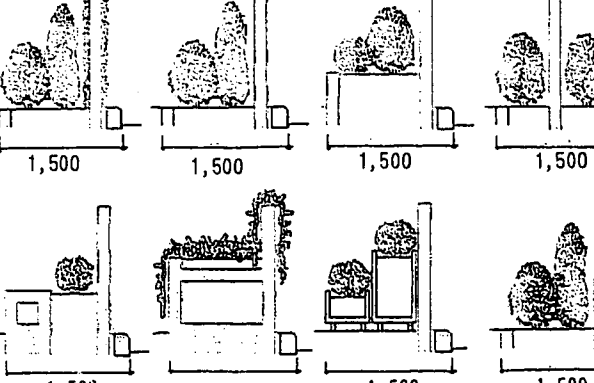
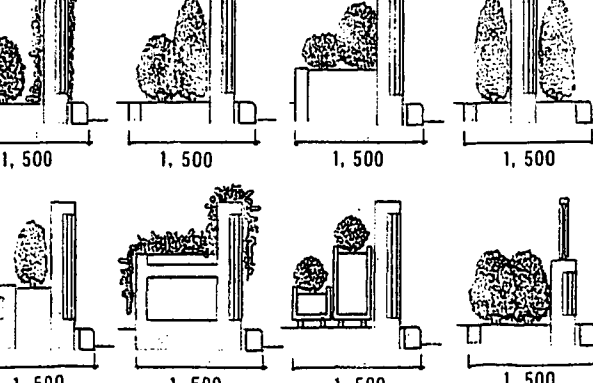


(単位: mm)

(3)コンクリート壁を使用した場合の断面形状

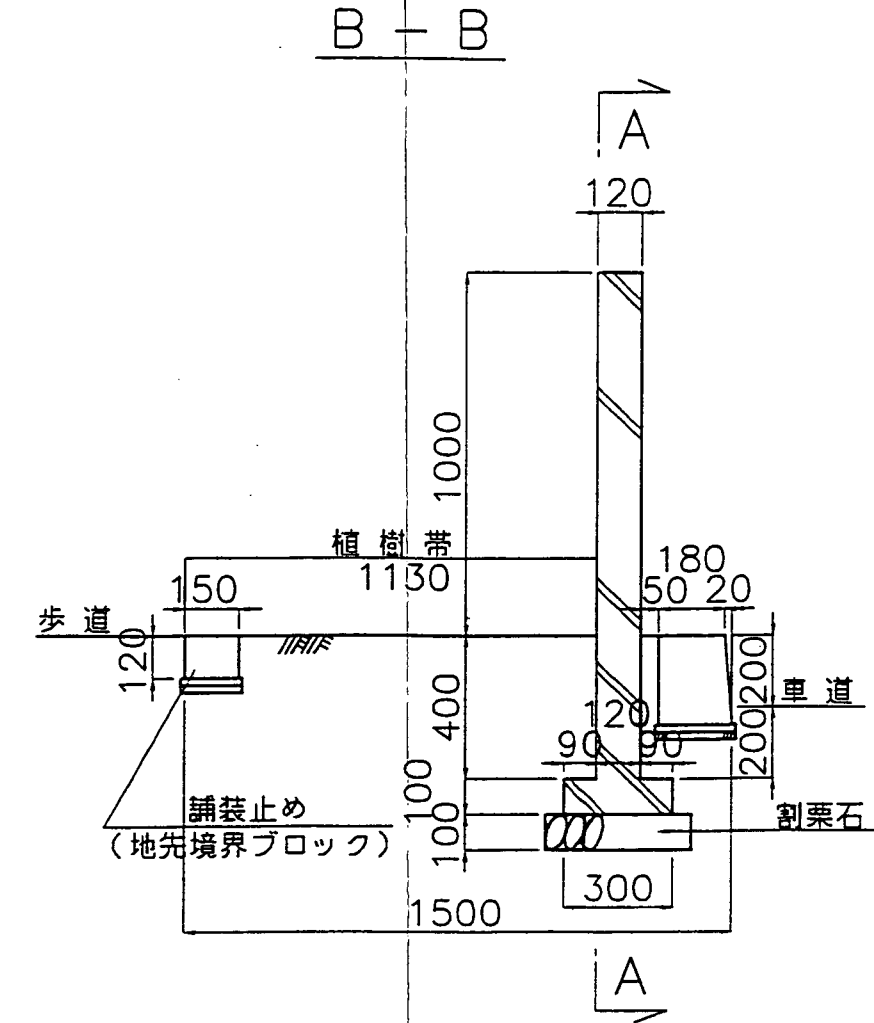
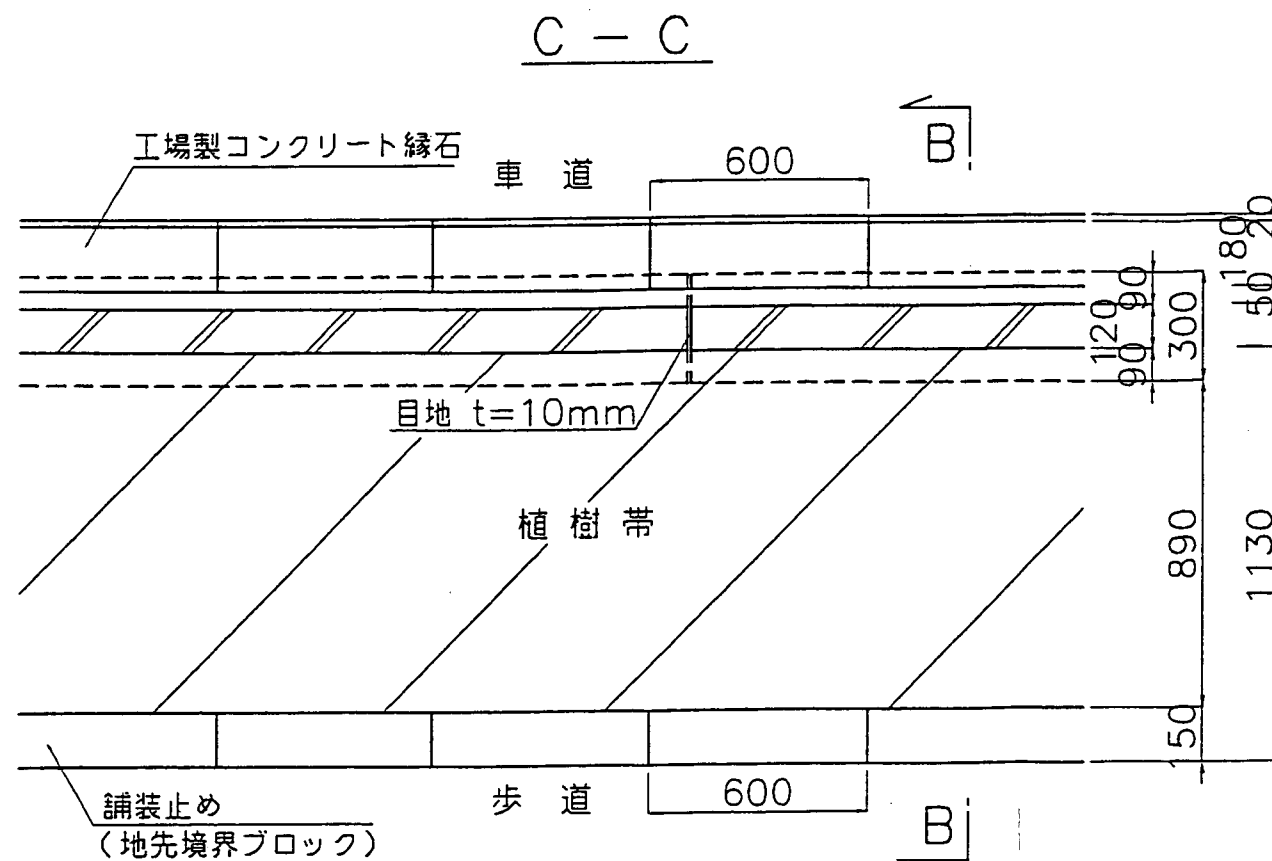
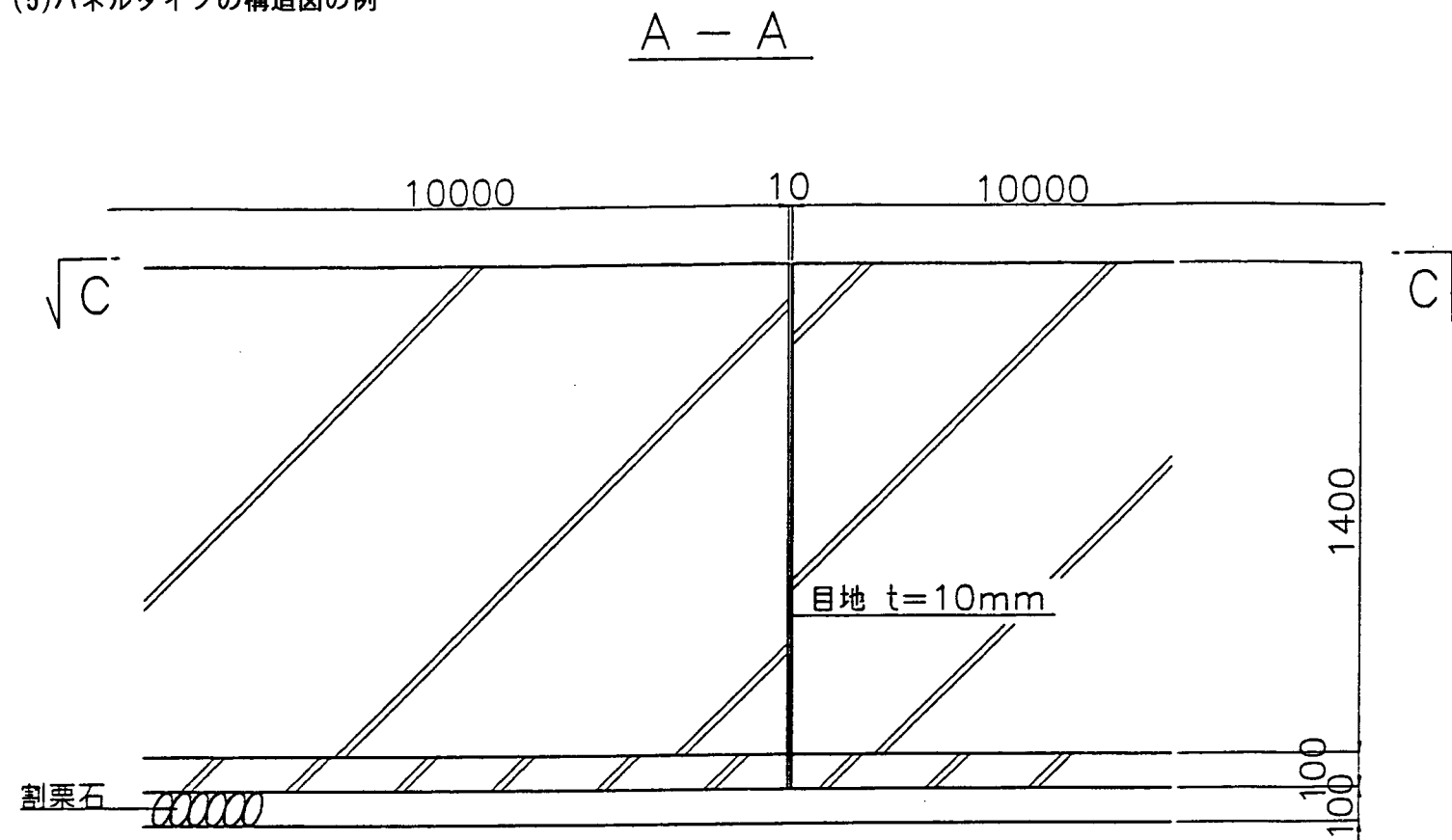
植樹帯幅	高さ 1.0 m		高さ 1.5 m	
	吸音板なし	吸音板有り	吸音板なし	吸音板有り
0 m	 (単位: mm)	 (単位: mm)	 (単位: mm)	 (単位: mm)
1.0 m	 (単位: mm)	 (単位: mm)	 (単位: mm)	 (単位: mm)
1.5 m	 (単位: mm)	 (単位: mm)	 (単位: mm)	 (単位: mm)

(4)金属板、木材を使用した場合の断面形状

植樹帯幅	高さ 1.0 m		高さ 1.5 m	
	吸音板なし	吸音板有り	吸音板なし	吸音板有り
0 m	 (単位: mm)	 (単位: mm)	 (単位: mm)	 (単位: mm)
1.0 m	 (単位: mm)	 (単位: mm)	 (単位: mm)	 (単位: mm)
1.5 m	 (単位: mm)	 (単位: mm)	 (単位: mm)	 (単位: mm)

場所打ちコンクリート壁 S=1/20

(5) パネルタイプの構造図の例



謝 辞

本資料は、建設省土木研究所交通環境研究室において主に平成八年度以降に行われた低層遮音壁に関する研究成果を取り纏めたものである。低層遮音壁に関する研究は、建設省道路局と土木研究所で策定した道路環境技術開発三箇年計画（平成八年度～平成十年度）の研究テーマの一つである。

本資料で提案した低層遮音壁による減音効果の予測・評価方法の検討にあたり、終始多大の労を厭わずご指導、ご鞭撻を賜りました 京都大学 高木興一 教授に対し、ここに深甚なる謝意を表します。また、模型実験の方法等について、いつも貴重なご助言を頂いた （財）小林理学研究所 山本貢平 所長に心から感謝の意を表します。

本資料に関連した論文執筆において連名者としてご協力いただいた (株)オリエンタルコンサルタントの石川賢一氏、(株)公共計画研究所の千葉隆氏 に謝意を表します。

●引用文献

第1章

1) 大西博文, 上坂克巳, 鉢嶺清範: 低層遮音壁の種々の道路条件における効果, 日本音響学会講演論文集, 春季, II, pp.825~826 (1997.3)

第2章

2) 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, pp.99~109 (1999.4)

3) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会: 道路交通騒音の予測モデル” ASJ Model 1998”, (1999.5)

●低層遮音壁に関する参考文献

■土木研究所

1. 原著論文

1) 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回環境工学研究フォーラム), 第34巻, pp.307~317 (1997.11)

2) 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, pp.153~161 (1998.6)

3) 上坂克巳, 大西博文, 鉢嶺清範, 石川賢一, 高木興一: 種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究, 騒音制御, Vol.23, No.2, pp.99~109 (1999.4)

2. 報文, 技術報告等

1) 石田稔, 木嶋健, 上坂克巳, 次郎丸敬太: 都市内道路の騒音対策, 土木技術資料, Vol.35, No.11, pp.45~50 (1993.11)

2) 大西博文, 鉢嶺清範: 低層遮音壁, 道路, Vol.673, pp.64~66 (1997.3)

3) 鉢嶺清範, 上坂克巳: これからの低層遮音壁, 騒音制御, Vol.23, No.3, pp.148~152 (1999.6)

4) 鉢嶺清範, 上坂克巳, 大西博文: 低層遮音壁の騒音低減効果とその設計, 土木技術資料, Vol.41, No.8, pp.20~25 (1999.8)

3. 学会での発表

1) 上坂克巳, 石田稔, 次郎丸敬太: 都市内道路における吸音による騒音対策 (模型実験), 日本道路会議第20回一般論文集, pp.54~55 (1993.10)

2) 石田稔, 上坂克巳, 鉢嶺清範: 低い遮音壁による減音効果, 日本音響学会講演論文集, 春季, II, pp.713~714 (1995.3)

3) 大西博文, 上坂克巳, 鉢嶺清範: 低層遮音壁の種々の道路条件における効果, 日本音響学会講演論文集, 春季, II, pp.825~826 (1997.3)

4) 上坂克巳, 大西博文, 鉢嶺清範, 千葉隆, 高木興一: 低層遮音壁による回折効果の計算方法について, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, pp.209~212 (1997.9)

5) 上坂克巳, 大西博文, 鉢嶺清範, 千葉隆, 高木興一: 複数の低層遮音壁による減音効果の予測・評価について, 日本音響学会講演論文集, 秋季, II, pp.735~736 (1997.9)

6) 鉢嶺清範, 上坂克巳, 大西博文, 石川賢一, 高木興一: 低層遮音壁による減音効果について—中央分離帯と歩車道境界に併設した場合—, 日本音響学会講演論文集, 春季, II, pp.703~704 (1999.3)

7) 木村健治, 上坂克巳, 大西博文: 低層遮音壁の設計方法について, 第23回日本道路会議一般論文集, A, pp.54~55 (1999.10)

■他の機関

1) 矢野博夫, 日高新人, 朱鎮洙, 橘秀樹, 押野康夫, 筑井啓介: テストコースにおける自動車の走行騒音放射特性の検討 (その2. 音圧測定による近傍音場の解析), 日本音響学会講演論文集, pp.627~628 (1992.3)

2) 筑井啓介, 押野康夫: 背の低い遮音塀による自動車騒音低減効果の検討, 自動車研究, 17巻9号, pp.441~444 (1995)

3) 筑井啓介, 押野康夫, 橘秀樹: 実車を用いた遮音塀の回折減音量に関する検討, 日本音響学会講演論文集, pp.687-688 (1996.3)

4) 高村貴洋, 渡辺義則, 中島勝哉: 道路端に低い壁を設置することによる減音量の推定, 土木学会第51回年次学術講演会, pp.300-301 (1996.9)



補 足 資 料

1. 鉢嶺清範, 上坂克巳, 大西博文: 低層遮音壁の騒音低減効果とその設計, 土木技術資料, Vol.41, No.8, pp.20~25(1999.8) <pp.50~55>
2. 上坂克巳, 大西博文, 鉢嶺清範, 千葉隆, 高木興一: 低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究, 土木学会環境工学研究論文集(第34回環境工学研究フォーラム), 第34巻, pp.307~317 (1997.11) <pp.56~66>
3. 上坂克巳, 大西博文, 鉢嶺清範, 石川賢一, 高木興一: 種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究, 騒音制御, Vol.23, No.2, pp.99~109 (1999.4) <pp.67~77>
4. 大西博文, 上坂克巳, 鉢嶺清範: 低層遮音壁の種々の道路条件における効果, 日本音響学会講演論文集, 春季, II, pp.825~826 (1997.3) <pp.78~79>
5. 鉢嶺清範, 上坂克巳, 大西博文, 石川賢一, 高木興一: 低層遮音壁による減音効果について—中央分離帯と歩車道境界に併設した場合—, 日本音響学会講演論文集, 春季, II, pp.703~704 (1999.3) <pp.80~81>

◆ 道路環境特集 ◆

低層遮音壁の騒音低減効果とその設計

鉢嶺清範* 上坂克巳** 大西博文***

1. 低層遮音壁とは

低層遮音壁とは、写真-1 に示されるような歩道の境界に設置される高さ 1m 程度の高さの低い遮音壁のことである。これは、国道 4 号東京都足立区南千住に試験施工された低層遮音壁の一例である。

普通、遮音壁というと、高さが 3m、5m の背の高い遮音壁を想像する。しかし、このような道路交通騒音対策用として使われている遮音壁は、高速道路など沿道利用のない自動車専用道路に設置する場合には問題ないが、都市内の一般の道路に設置する場合には問題が残る。なぜなら、遮音壁を設置することによって、道路と沿道とのアクセスが制限されたり、歩道上の歩行者に圧迫感を与えたり、沿道地域に対して日照障害や電波障害を引き起こしたり、さらには、良好な景観を保つことにも影響を与えてしまう。そこで、これまでの背の高い遮音壁が設置できないのであれば、上記のような沿道への影響が小さい背の低い遮音壁の設置を考えた。

遮音壁は、主に音を遮蔽することによって減音効果を得ていることはよく知られている。たとえ高さ 1m 程度の低い遮音壁でも、ある程度の減音効果が期待できるはずである。これまでも沿道利用がある道路では、歩車道境界に植樹を行ったり、

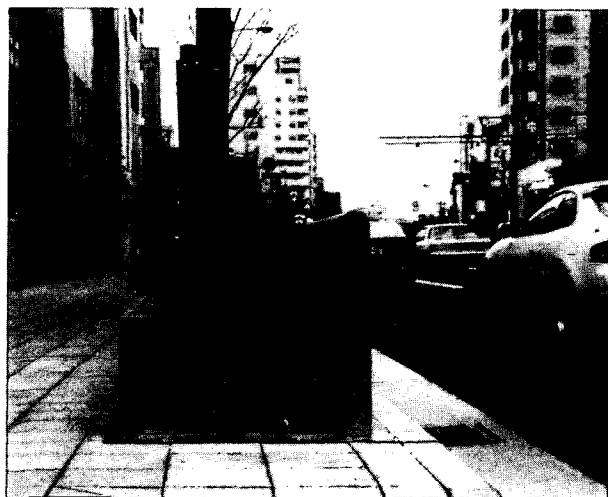


写真-1 低層遮音壁 (国道 4 号東京都足立区南千住)

Noise Reduction Effect of Low-Height Noise Barrier and Its Design

横断防止柵を設置してきた。このような場合、植栽柵やガードパイプを少し工夫して設置することにより、その背後ではある程度の減音効果を得ることができるはずである。このような考えのもとに、研究を始めたのが高さ 1m 程度の背の低い遮音壁である。

図-1 は、前述の国道 4 号の低層遮音壁が道路延長方向に設置されている様子を示した平面図である。これを見ると、低層遮音壁は道路延長方向に、途切れることなく連続して設置されていないことがわかる。これは、道路と沿道のアクセスの障害とならないように、遮音壁の所々に開口部を設けているためである。しかし、このような開口部があれば、当然、そこから音が漏れ、遮音壁の役目を果たせないのではないかと考えられる。背の高い遮音壁では、開口部ができないように連続して設置されていて、このような場合の減音効果は、容易に予測することが可能である。では、低層遮音壁のように、所々に開口部があるような場合、その減音効果をどのように予測・評価するかが問題になる。

もう一つ低層遮音壁の設置例がある。三重県四日市市の国道 23 号に設置されているものである (写真-2)。

この例と写真-1 の例を比較すると、低層遮音壁の形状やデザインが異なっていることに気づく。このようにデザインや構造物の形状、用いられる材料が違っていても、低層遮音壁としての減音効果はほとんど変わらないのだろうか。また、低層遮音壁の設置を考えた場合、どのように設計し、どのような

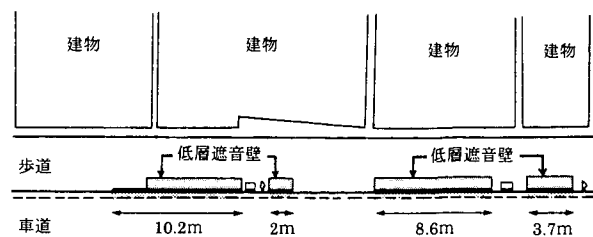


図-1 低層遮音壁 (国道 4 号東京都足立区南千住) 平面図



写真-2 低層遮音壁 (国道 23 号三重県四日市市)
※歩道より撮影。写真左側が植栽柵タイプ低層遮音壁。

材料を用いて、どのような形状・デザインにしたらいののであらうか。

このように、現在、低層遮音壁が広く普及していない理由として考えられるのは、高さが低いと、また所々に開口部があると効果がないのではない、開口部があるような低層遮音壁の減音効果の予測は難しいのではない、どのように低層遮音壁を設計したらよいのか、という疑問があるからであらう。以下では、これらの疑問点について述べていくことにする。

2. 連続した低層遮音壁の騒音低減効果

低層遮音壁は、奥行きがほとんどないパネルタイプとある程度の奥行きを有する植栽柵タイプに大別できる。ここでは、パネルタイプの低層遮音壁が道路延長方向に連続して設置された場合の減音効果の測定例を紹介する。まず、高さ 0.9m、厚さ 20mm、設置延長 18m の低層遮音壁を、自動車の走行ライン (車両幅中心線) から側方 2.5m の位置に設置し、設置延長中央の遮音壁面から 2m、地上高さ 1.2m の位置において騒音低減量を実測した例¹⁾がある。これによると低層遮音壁の騒音低減量は、ピーク時において、乗用車の場合で 7dB(A)、大型車の場合で 6dB(A) となっている。

また、土木研究所の試験走路において、低層遮音壁 (奥行 10cm、高さ 100cm、延長 120m 相当) を設置し減音効果の測定 (写真-3) を行った例がある。この測定では、点音源を離散的に配置して騒音レベルを測定した。これより各受音点毎にユ

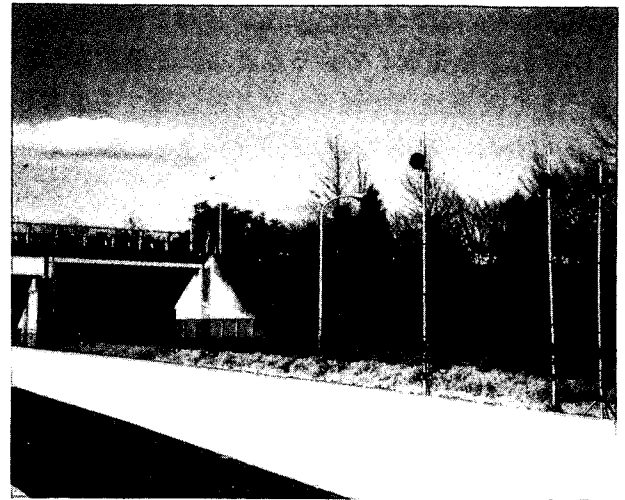


写真-3 低層遮音壁 (土木研究所試験走路)

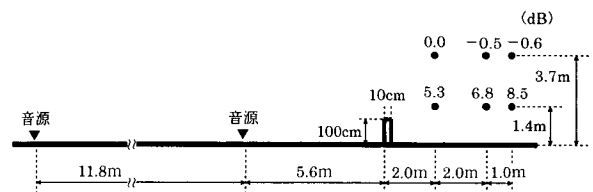


図-2 低層遮音壁の減音効果

ニットパターンをもとめ、これを基に各受音点の減音効果を計算している。受音点位置は、図-2 に示す 6 点とし、音源位置は、上下あわせて 6 車線の道路を想定して遮音壁車道側表面よりそれぞれ 5.6m、17.4m の位置、高さは 0.3m である。受音点高さ 1.4m の場合、 L_{50} 相当にして 5~8dB 程度の減音効果があることがわかる。

なお、図-2 の例では受音点の上に実測された減音効果を示している。

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

3. 開口部を有する低層遮音壁の騒音低減効果

3.1 簡易計算法

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

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

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

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

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

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

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

ここで、

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

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

l : 評価区間長

d : 遮音壁の評価点側の側面と評価点 (線) の距離

θ : 評価点から遮音壁の評価点側壁面の見込み角の和

α (開口率) : 評価区間長に対する低層遮音壁の未設置区間の延長の割合

TL : パネル材料の透過損失

IL_0 : 無限長の連続した低層遮音壁を仮定した

音源ライン (無限長の直線道路)

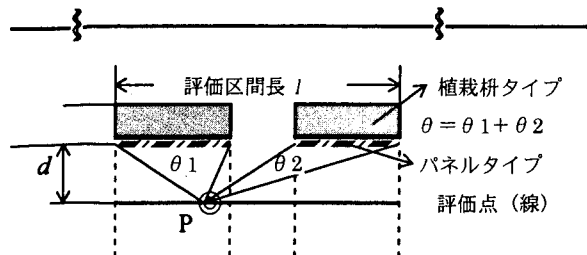


図-3 低層遮音壁の減音効果計算のための模式図³⁾

場合の挿入損失

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

なお、低層遮音壁の評価区間長 l 等、減音効果計算に用いる変数の定義を図-3 に示す。

3.2 予測計算のケーススタディ

図-4(a),(b) に示すように 100m の評価区間に、開口率が 20% のパネルタイプの低層遮音壁が設置されている場合に、遮音壁の数、設置位置が異なる 2 ケースを設定して、(1),(2) 式の妥当性の検証を行った。開口率 20% は、現実の沿道利用のある道路において一般的と考えられる開口率として設定した。評価区間を 40 等分し、各区間の中央の道路端上で、車道面からの高さ 1.4m の位置に 40 の評価地点を設定する。一方、交通条件は、道路交通騒音の予測計算を行う場合の一般的な条件を用いて、近車線側の交通量 1,000 台/h、走行速度 60km/h、大型車混入率 15% と設定し、各評価地点における L_{Aeq} を、日本音響学会提案のエネルギーベース騒音予測法により算出した。開口率が同じで設置位置の異なる (a),(b) の 2 ケースについて、低層遮音壁の上方、側方の回折音の寄与を合成する方法 (回折音の伝搬経路を考えて減音効果を詳細に計算する方法、詳しくは参考文献 2),3) を参照) と、見込み角 θ と開口率 α を用いた簡易計算式 (式 (1),(2)) による方法で計算し、地点別挿入損失 (IL) と区間平均挿入損失 ($SA \cdot IL$) を比較した。図-4 により二つの計算方法の差異を比較すると、(a),(b) どちらのケースにおいても、 IL と $SA \cdot IL$ の 2 つの計算値は、図上で区別ができないほどよく一致している。これより、 IL と $SA \cdot IL$ の算出は、3.1 で示した簡易計算式を用いても実用上問題ないことがわかる。さらに、(a),(b) それぞれの IL と $SA \cdot IL$ を比較すると、両者の IL の分布状況について開口部の位置の違いによる大きな差が認められるが、 $SA \cdot IL$ に関しては、両者の差はほとんど見られない。これは、 $SA \cdot IL$ が低層遮音壁の開口部の位置にかかわらず、開口率によって求められることを示している。

次に、式 (2) を用いて、開口率を 0%、10%、20% とした場合に、遮音壁パネル材料の透過損失と $SA \cdot IL$ の関係を求め、図-5 に示す。これに

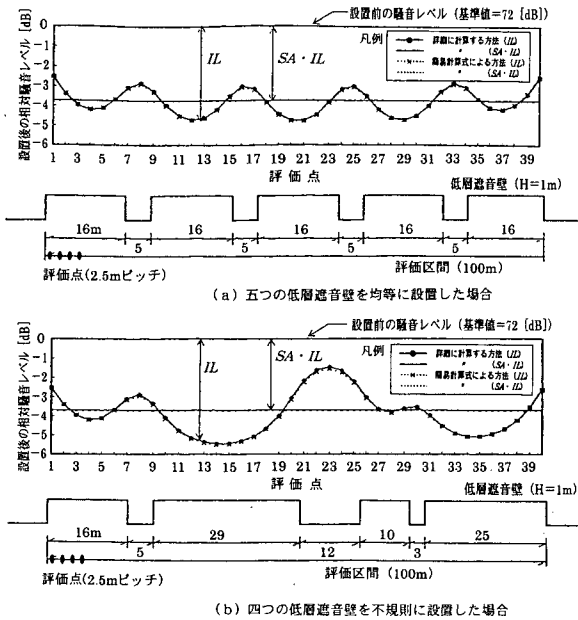


図-4 IL と $SA \cdot IL$ の計算結果の比較²⁾

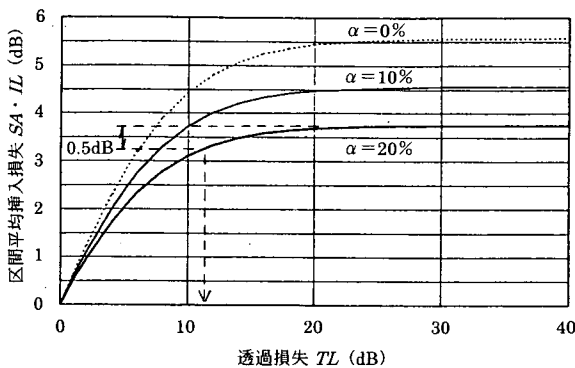


図-5 低層遮音壁に許容される透過損失³⁾

よると、 $SA \cdot IL$ の減少を 0.5dB 程度に抑えることのできる透過損失は、開口率が 0% で 14dB、20% で 11dB である。この程度の透過損失があれば、低層遮音壁の材料として利用できることがわかる。

なお、パネルタイプを植栽柵タイプに変えることや、歩車道境界と中央分離帯にパネルタイプを併設することにより減音効果を高めることができること、及び、簡易計算式による方法と詳細な計算による方法の計算結果は、模型実験による実測値と整合がとれることも明らかになっている^{3),4)}。

4. 低層遮音壁のデザイン

低層遮音壁を設計する場合、その構造は、道路構造、歩道幅員や植樹帯幅及び沿道状況等に応じて低層遮音壁の構造を使い分けることが必要であ

る。低層遮音壁の具体的な構造を検討する際には、減音効果の予測計算の結果により設定された遮音壁の高さ、吸音板の有無、植樹帯幅を踏まえ、低層遮音壁の材料、断面形状、道路延長方向のデザインの工夫を行うことが必要である。

4.1 歩道空間の閉鎖性、圧迫感をやわらげる工夫

歩道幅員が狭い、沿道敷地にゆとりがない、遮音壁が高くなる等の場合、低層遮音壁を設置すると歩道空間は閉鎖的なものとなり、歩行者、沿道住民は、圧迫感を受けることになる。このような場合には、植栽柵タイプではなくパネルタイプの低層遮音壁にする、あるいは低層遮音壁の材料として透光板を採用したりすることにより、歩道空間の閉鎖性や圧迫感をやわらげることを検討する。

4.2 歩道幅員、植樹帯幅の違いへの対応

4.2.1 植樹帯を設置できない場合

歩道幅員が狭い場所は、植樹帯が設置されていない場合がほとんどである。このような場所に低層遮音壁を設置する場合には、既存の横断防止柵やガードパイプ等の代わりに、厚さの薄いパネルタイプを設置するとよい。さらに、このような場所では、歩行者が低層遮音壁を近くで見たり、あるいは、直接触れることになる点に配慮し、低層遮音壁の壁面や天端の処理を工夫する。

4.2.2 植栽がとれる場合

歩道幅員に余裕のある場所では、既存の植樹帯の中に低層遮音壁を設置する、また既存の植樹帯がない場合には、新たに奥行きのある植栽柵タイプの低層遮音壁を設置するとよい。

なお、植樹帯幅が狭い場合 (1.0m 程度) は、ツタ類や低中木等を植栽するとともに、低層遮音壁の壁面処理を工夫する。

植樹帯幅が広い場合 (1.0m 程度以上) は、ゆとりある歩道空間を生かし、低中高木の植栽構成を工夫し、変化に富んだ緑量の多い植栽や花壇とするなど、潤いのある空間を整備するとよい。また、ベンチ等を用い、人のたまり空間を整備する工夫も必要である。その他、車道側にも植栽を施すなどドライバーに対して配慮すること可能である。

日照条件が厳しい場合には、植え込まれる植物については、耐陰性のある樹種を選定する、低層遮音壁の壁材料として透光性のあるものを用いる等の工夫も必要である。

4.3 低層遮音壁の断面形状、道路延長方向のデザインの工夫

低層遮音壁の構造について、断面形状及び道路延長方向のデザイン展開を工夫する。

4.3.1 断面形状のデザイン

断面形状は、低層遮音壁のタイプ(パネルタイプ、植栽柵タイプ等)、植栽の構成(配植、樹高、樹種)、透光板との組み合わせ等によりデザインの基調となる各種の断面形状が設定できる。図-6に低層遮音壁の断面形状の例を示す。

4.3.2 道路延長方向のデザイン

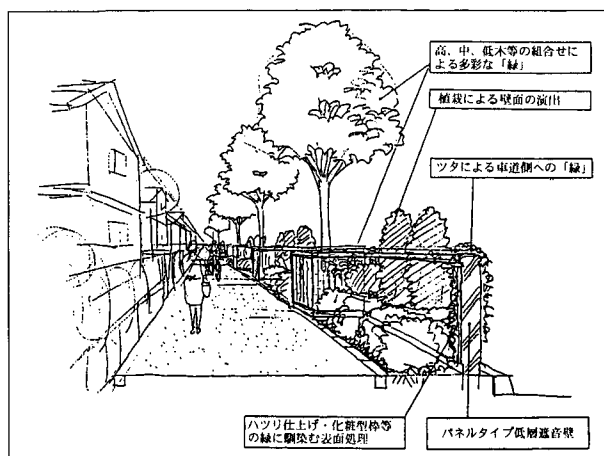
低層遮音壁の道路延長方向の展開は、低層遮音壁が設置される植樹帯幅、遮音壁の設置延長、歩道切り下げの頻度、地域特性、各利用者の視点(歩行者、ドライバー、沿道住民等)を考慮して、デザインを工夫する。図-7に低層遮音壁の道路延長方向のデザイン例を示す。

4.4 個別の低層遮音壁に対する工夫

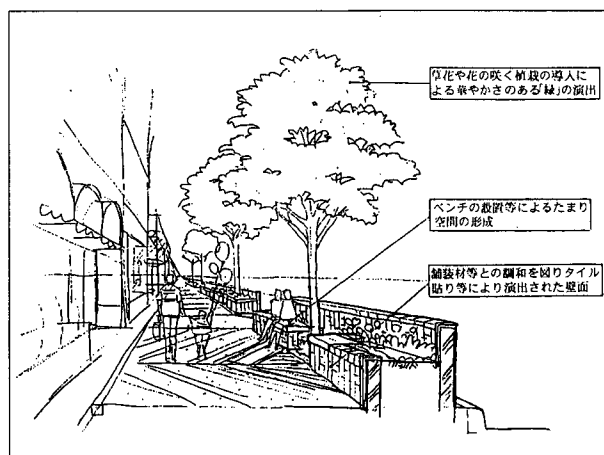
個々の低層遮音壁について、できるかぎり設置延長を長くし開口部を少なくする。やむをえず途中で開口部を設ける場合でも、低層遮音壁同士の

間隔を小さくするなど連続性を高める工夫が必要である。

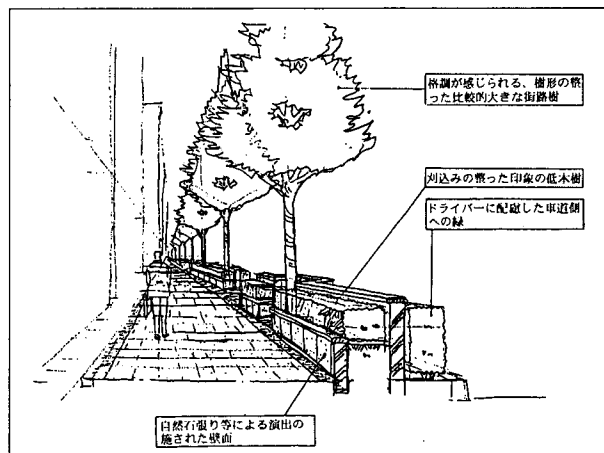
また、低層遮音壁では、背が低く開口部があるために直接届く音があったり、回折減衰がそれほど大きくないため、材料に高い透過損失を求める必要がない。このため3.2で示した程度の透過損失を持つ材料を選択すればよく、幅広い材料、及びデザインの選択が可能で、設置する区間の景観性



(a) 住居系



(b) 商業系



(c) 業務系

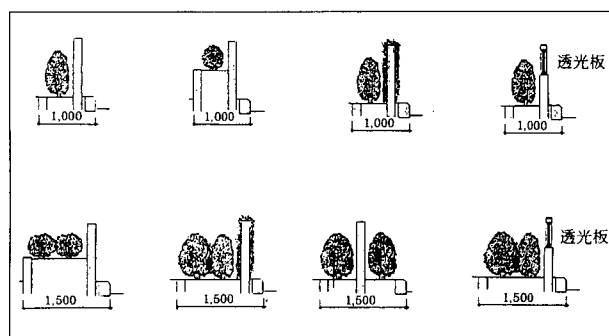


図-6 断面形状の例

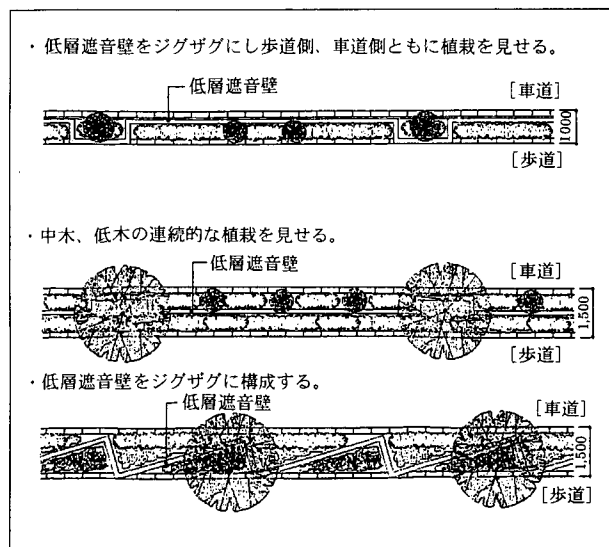


図-7 道路延長方向のデザイン例

図-8 低層遮音壁のイメージ図

を高める工夫を十分に盛り込むことができる。例えば低層遮音壁の材料として木材を使ったり、低層遮音壁の形状を徐々に変化させたり、植え込む樹種やその配置に工夫をこらすことで、遮音壁という無機質なイメージをなくし、親しみやすい沿道環境を演出することができる。

4.5 地域特性に応じた工夫

沿道土地利用や景観等地域特性にふさわしい、適切な低層遮音壁の形状、材質、表面処理、植栽の構成、あるいはたまり空間としての機能等について工夫することが必要である。

図-8 (a), (b), (c) に、住居系、業務系、商業系の土地利用の特性に配慮した低層遮音壁の設置例を示す。

5. 最後に

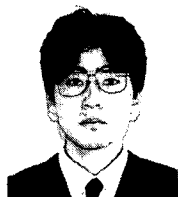
ここまで述べたように、低層遮音壁の設計にあたっては、その高さ(減音効果)にだけ重点を置いて設計するのではなく、評価(対策)区間の延長、開口率、遮音壁の形状・材質・デザイン等の設定にも配慮して設計することによって、沿道環境の向上を図ることができる。

今後、低層遮音壁の設置を検討する際には、沿道景観と調和した、親しみやすい設計が望まれる。残された課題として、低層遮音壁の減音効果の予測・評価方法のさらなる充実と、良好な沿道環境を作り出すことのできる質の高い景観も含めた設計技術の充実を図っていく必要がある。

参考文献

- 1) 筑井啓介、押野康夫：背の低い遮音壁による自動車騒音低減効果の検討, 自動車研究, 17 巻 9 号, pp.19-22, 1995.
- 2) 上坂克巳、大西博文、鉢嶺清範、千葉隆、高木興一：低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究, 土木学会環境工学研究論文集, 34 巻, pp.307-317, 1997.
- 3) 上坂克巳、大西博文、鉢嶺清範、石川賢一、高木興一：種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究, 騒音制御, 23 巻 2 号, pp.99-109, 1999.
- 4) 鉢嶺清範、上坂克巳、大西博文、石川賢一、高木興一：低層遮音壁による減音効果について～中央分離帯と歩車道境界に併設した場合～, 日本音響学会平成 11 年度春季講演論文集, pp.703-704, 1999.

鉢嶺清範*



建設省関東地方建設局
高崎工事事務所
(前 交通環境研究室研究員)
Kiyonori HACHIMINE

上坂克巳**



建設省土木研究所環境部
交通環境研究室主任研究員
Katsumi UESAKA

大西博文***



同 交通環境研究室長
Hirofumi OHNISHI

(34) 低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究

Study on prediction and evaluation of sound attenuation by low noise barriers

上坂克巳*, 大西博文*, 鉢嶺清範*, 千葉隆**, 高木興一***

Katsumi UESAKA*, Hirofumi OHNISHI*, Kiyonori HACHIMINE*, Takashi CHIBA**, Koichi TAKAGI***

ABSTRACT ; This paper presents practical methods for predicting and evaluating sound diffraction by plural low noise barriers erected with intervals. First of all, two calculating methods for sound diffraction by the plural barriers of finite length are verified by a model test. Secondly, we propose the section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level ($SA \cdot L_{Aeq}$) and the section-averaged insertion loss ($SA \cdot IL$) as evaluation indices and show through mathematical simulations that the $SA \cdot IL$ depends on the opening ratio of the barriers regardless of the position of the openings. Finally, we also propose a simple practical method for calculating the $SA \cdot IL$ by the low noise barriers.

KEYWORDS ; Low noise barriers, Plural finite length barriers, Section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level ($SA \cdot L_{Aeq}$), Section-averaged insertion loss ($SA \cdot IL$), Road traffic noise

1 はじめに

都市内の一般道路における道路交通騒音対策の一手法として、高さが1 m程度の低い遮音壁（以下、「低層遮音壁」といい、本論文では、特に板状のものを指し植栽柵のような奥行きを有するものは含めない。）に関する研究が行われているが、まだ実際の騒音対策手法として広く普及していない。この原因の1つとして、低層遮音壁の減音効果の予測、評価のための実用的な手法が確立していないことが挙げられる。

減音効果の予測の困難性は、都市内の街路に設置することが多い低層遮音壁が交差道路の存在、沿道建物への自動車の出入りのため開口部を有することによる。言い換えれば、低層遮音壁は、複数の有限長障壁の集合体とみることができるが、その減音効果に関する従来の研究では、開口部がなく連続して設置されている場合を対象としているものが多い^{1)・2)}。また、山本、高木らは、半無限障壁による減音効果の組み合わせとして単独の有限長障壁の回折効果を計算する実用的な方法を提案し、それによる計算結果を自由空間における模型実験により検証しているが^{3)・4)}、平坦道路に遮音壁を設置する場合のように反射面を有する半自由空間での検証は行われておらず、複数の有限長障壁の回折効果に関しては具体的な計算式は示されていない。さらに、低層遮音壁の開口部の影響の計算例も見受けられるが⁵⁾、これについても複数の有限長障壁の回折効果を計算できる式としては示されていない。

一方、開口部の存在は、減音効果の評価にあたっても問題となる。一般に道路交通騒音の評価は、対象とする道路空間の騒音を代表する地点を評価地点として選定して行われることが多い。しかし、開口部を有する複数の低層遮音壁を設置した場合は、評価地点と開口部の位置関係において減音効果が複雑に変化するため、代表性のある評価地点を選定することが困難である。したがって、評価区間全体の減音効果を代表して示す評価指標が必要である。しかし、道路交通騒音の評価に、区間全体の騒音レベルを代表して示す指標を用い、その有効性について検討したものはほとんどみられない。

したがって、本論文では、低層遮音壁の回折効果の予測及び評価のための実用的方法を考案することを目的とする。まず、複数の低層遮音壁の回折効果を計算する方法として、半無限障壁による減音量の組み合わせによる方法及び上方の回折効果だけを考える方法を示し、それらの適合性を模型実験等により検証する。

*建設省土木研究所交通環境研究室 (Traffic Environment Division, Public Works Research Institute, Ministry of Construction)

**㈱オリエンタルコンサルタンツ (Oriental Consultants Co., Ltd.)

***京都大学工学部 (Environmental and Sanitary Engineering, Kyoto University)

次に、評価区間全体の平均的な道路交通騒音レベルを表す指標として区間平均等価騒音レベルを提案し、この評価量を用いて区間平均挿入損失を求めることにより、低層遮音壁による減音量効果は、近似的に開口部の位置にかかわらず開口率により求められることを、数値シミュレーション結果により示す。最後に、低層遮音壁設置による区間平均挿入損失を求めるための実用的な簡易計算法を提案する。

2 低層遮音壁の回折効果の計算方法

低層遮音壁を複数の有限長障壁の集合体としてとらえ、それによる回折効果を計算する方法を2通り示し、それらの適合性を模型実験により検証する。

2.1 半無限障壁による回折減音量の組み合わせとして求める（上方及び側方の回折を考慮する）方法

(1) 単独の有限長障壁による回折減音量

山本、高木ら^{3), 4)}によると、単独の有限長障壁（図-1 網掛）による回折減音量（正の値） $\Delta L_{i \sim s}$ は、点音源Sと予測点Pの間に無限平面を考え、図-1に示すような4本の直線X1, X2, Y1, Y2で分割される九の領域からの音の寄与を考え、半無限障壁による減音量の組み合わせとして以下のように求められる。

$$\Delta L_{i \sim s} = -10 \log_{10} \left\{ 10^{-\Delta L_{i \sim s}/10} + \left(10^{-\Delta L_{0 \sim s}/10} - 10^{-\Delta L_{1 \sim s}/10} \right) \left(10^{-\Delta L_{1 \sim s}/10} + 10^{-\Delta L_{3 \sim s}/10} \right) \right\} \quad (1)$$

ここで、 ΔL_i は、領域*i*が開放されている場合の減音量である。

(2) 複数の有限長障壁による回折減音量

まず、二つの同一高さの有限長障壁の場合を例に上げ、2.1(1)の方法を応用して、その回折効果を算出する方法を示す。図-2 ①の網掛部のうちC₀及びC₁₄が記入された空間が、二つの並んだ有限長障壁を示している。①における音の寄与C_{1-5,11-13}（エネルギー量）を求めるには、②及び③における音の寄与を加え、④における音の寄与を除けばよいので、①における減音量は

$$\begin{aligned} \Delta L_{1 \sim 5,11 \sim 13} &= -10 \log_{10} \left(\frac{C_{1 \sim 5,11 \sim 14} + C_{0 \sim 5,11 \sim 13} - C_{0 \sim 5,11 \sim 14}}{C_{0 \sim 14}} \right) \\ &= -10 \log_{10} \left(10^{-\Delta L_{1 \sim 5,11 \sim 14}/10} + 10^{-\Delta L_{0 \sim 5,11 \sim 13}/10} - 10^{-\Delta L_{0 \sim 5,11 \sim 14}/10} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

となり、二つの有限長障壁の減音量についても、単独の有限長障壁による減音量、ひいては半無限障壁の減音量の組み合わせで求めることができる。

同様に、*n*個の有限長障壁による減音量 ΔL を算出する場合は、以下の式で求められる。

$$\Delta L = -10 \log_{10} \left\{ \sum_{i=1}^n 10^{-\Delta L_i/10} - (n-1) \times 10^{-\Delta L_0/10} \right\} \quad (3)$$

ここで、 ΔL_i (*i*=1 ~ *n*)は*i*番目の有限長障壁による減音量、 ΔL_0 は、底辺部の半無限障壁による減音量である。

なお、底辺部の半無限障壁が共通であれば、複数の有限長障壁の高さが異なっても(3)式が適用できることは明らかである。

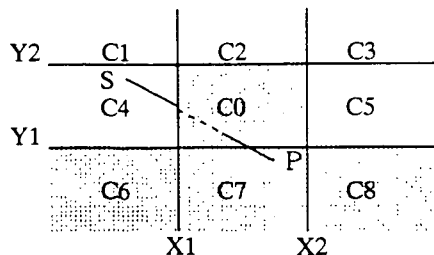


図-1 有限長障壁の回折効果計算のための空間分割模式図（山本、高木らによる^{3), 4)}）

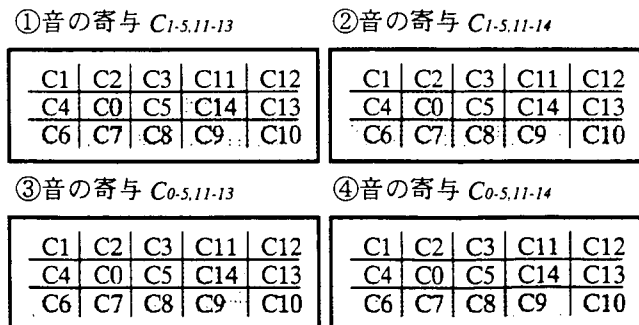


図-2 二つの同一高さの有限長障壁の減音量算定のための模式図

(3) 複数の低層遮音壁の設置による挿入損失

複数の低層遮音壁を一般道路に設置する場合は、底辺部の半無限障壁の上端の位置（図-1 では Y1 の位置にあたる。）に地面があると考える。その際の低層遮音壁設置による挿入損失 IL は、底辺部の半無限障壁の減音量 ΔL_0 を (3) 式から差し引き、次式で与えられる。

$$IL = -10 \log_{10} \left\{ \sum_{i=1}^n 10^{-\Delta L_i/10} - (n-1) \times 10^{-\Delta L_0/10} \right\} - \Delta L_0 \quad (4)$$

ただし、開口部を有する低層遮音壁においては、(3) 式と (4) 式の差異（ $-\Delta L_0$ の項の有無）が、騒音レベルのエネルギー平均値に与える影響は、通常（予測点の高さが 1.2m 以上）、無視できるほど小さい。たとえば、後述する図-4、図-5 の計算条件では、その影響は 0.2dB 以下である。

2.2 上方の回折効果だけを考える方法

最も単純な計算方法としては、遮音壁上方の回折効果だけを考える方法がある。これは、音源と測定点を直線で結んだパス上に有限長障壁（または低層遮音壁）が存在する場合のみ、水平のエッジを有する半無限障壁を想定してその上方の回折効果を計算する方法である。

2.3 模型実験値との比較

(1) 実験方法

二つの低層遮音壁が設置された場合について、縮尺比 1/10 の模型実験を無響室で行い、実験値と計算値の比較検討を行った。低層遮音壁の材料として、厚さ 5mm のアクリル板（反射性）を用い、車道面、歩道面にも厚さ 3mm のアクリル板（反射性）を敷設した。音源にはジェットノイズの点音源を用い、中心高さ 4cm（実物換算で 0.4m となる。以下、距離などはすべて実物換算で表示する。）で、低層遮音壁に沿って平行に移動させ、低層遮音壁背後の音圧レベルの変化を測定し、1/3 オクターブバンド周波数分析を行った。

図-3 に実験配置を示す。遮音壁は、車道面からの高さ 1m、延長は 5m と 10m の二つを 3m 間隔で設置した。音源は、4 車線の幹線道路の近車線側の中心（低層遮音壁から 4m）を 0.25m 間隔で 40m の区間にわたって移動させた。測定点は、延長 10m の遮音壁及び開口部の中央で、遮音壁の後方 5m（植樹帯を有する幅員 5m の歩道を想定）の高さ 1.4m（歩道面からの高さを 1.2m とし、歩道の車道面からのマウンドアップを 0.2m と見込んでいる。）の 2 地点とした。

(2) 実験値と計算値のユニットパターンの比較

実験値と計算値との比較検討を行う。音圧レベル (SPL) の計算値は、音源（高さ 0m）のパワーレベル (PWL) と半自由空間における距離減衰（距離 r ）及び低層遮音壁による挿入損失 IL を用いて、

$$SPL = PWL - 8 - 20 \log_{10} r - IL$$

により求めた。 IL の算出は、(4) 式の方法と 2.2 の方法を用いて行った。音源には 1 台の自動車を想定し、そのパワースペクトルとして 80km/h 以下の自動車走行騒音の代表スペクトル⁶⁾（対象周波数は 100Hz ～ 2.5kHz とした。）を与え、PWL は 100dB (A 特性) とした。半無限障壁の回折効果については、1/3 オクターブバンド毎に前川の実験チャートから求めることとし、その数式表現⁷⁾を計算プログラムに用いた。

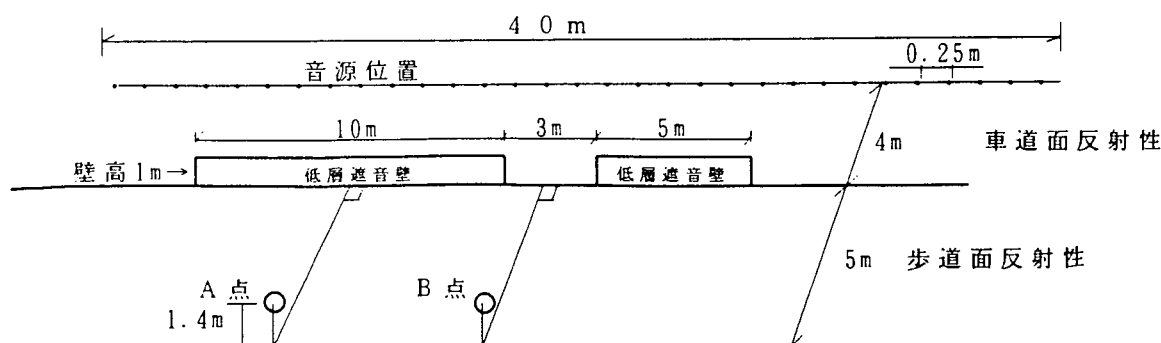


図-3 模型実験の配置

一方、実験値の算出に当たっては、別途、音源の PWL を測定し、音源のパワースペクトル及び PWL が計算値における設定と一致するように、 $1/3$ オクターブバンド毎の一定の補正を各測定値に対して行った。

図-4、図-5 に計算値と模型実験値のユニットパターンの比較結果を示す。ただし、実験値は図の都合上、音源の移動間隔を 0.5m として表示している。これらによると、測定点であるA点、B点の両方において、(4)式を用いた計算結果は、実験結果と非常によい対応を示しており、(4)式は二つの低層遮音壁の回折効果の計算に十分利用できることが明らかとなった。また、上方回折だけを計算する方法は、予想されたとおり階段状の騒音レベル（A特性における音圧レベルをいう。以下、同じ。）の変化を示したが、遮音壁の背後及び開口部の中央付近では実験値とよい整合を示している。さらに、音源を 40m の区間移動させた時の騒音レベルのエネルギー平均値（ L_{eq} に相当）を比較すると、A点、B点の両方において、(4)式を用いた方法及び2.2の方法とも実験値とよい整合を示しており、計算値と実測値の差は 0.2dB 以下である。

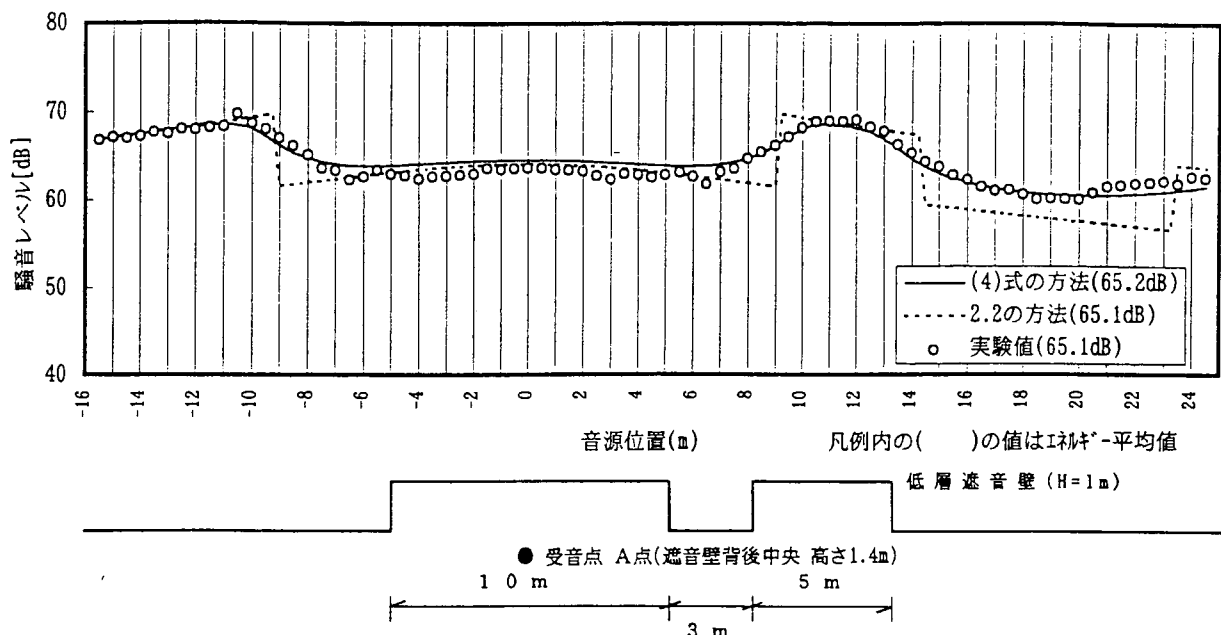


図-4 計算値と模型実験値のユニットパターンの比較（遮音壁背後A点）

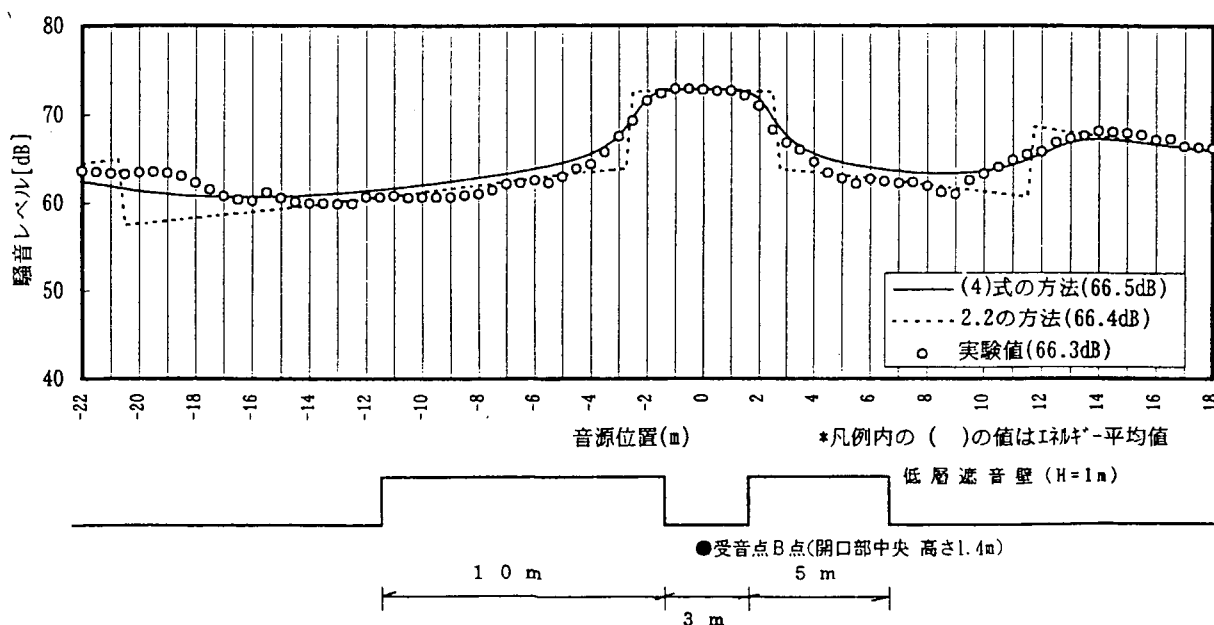


図-5 計算値と模型実験値のユニットパターンの比較（開口部背後B点）

3 低層遮音壁による減音効果の区間評価

3.1 区間平均等価騒音レベル

本論文における低層遮音壁の設置区間及び評価区間の定義を図-6 に示す。設置区間とは、複数の低層遮音壁を設置する場合において、各々の低層遮音壁が設置されている区間を指し開口部は除く。評価区間とは、評価の対象となる区間で、図-6 のように一街区を想定している場合は街区全体となり、両端の低層遮音壁の外側に空間が存在する場合はその空間も含める。

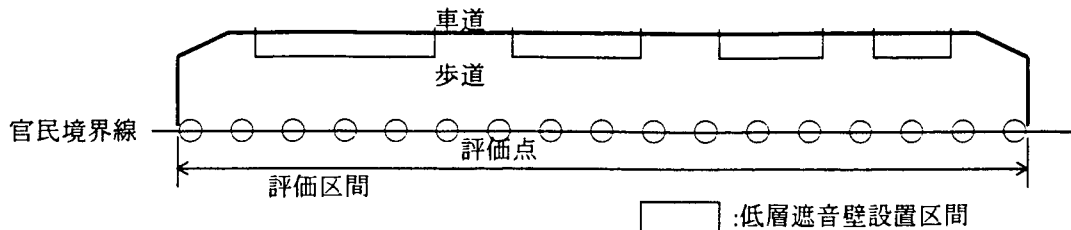


図-6 低層遮音壁の設置区間と評価区間の定義

低層遮音壁は歩道上の車道との境界に設置されるが、沿道建物と車道の間で車の出入り等があるため、その設置が困難な区間が存在する。なお、評価区間が一街区より長くなることもあり、その場合は街区の切れ目、すなわち交差道路と接続する部分も開口部となる。道路交通騒音の評価は、その評価区間の騒音の状況を代表する官民境界（道路端）上の歩道面からの高さ 1.2 m の地点で行われることが多いが、図-6 で示すような場合、道路交通条件及び低層遮音壁の高さが一定であっても、道路端における騒音レベルは、開口部と評価点の位置関係により複雑に変化し、評価区間を代表する評価点の選定は困難である。

したがって、ここでは、等価騒音レベル L_{Aeq} の評価区間全体にわたるエネルギー平均値を、評価区間の騒音レベルを代表する指標として新たに定義し、これを、区間平均等価騒音レベル（Section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level, $SA \cdot L_{Aeq}$ ）と呼ぶこととする。つまり、

$$SA \cdot L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} 10^{L_{Aeq}(x)/10} dx \right) \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

と表せる。ここで、 x_1 、 x_2 は、評価区間の始まりと終わりの点を示す。

実用的には、 $SA \cdot L_{Aeq}$ 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、

$$SA \cdot L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{Aeq}(i)/10} \right) \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

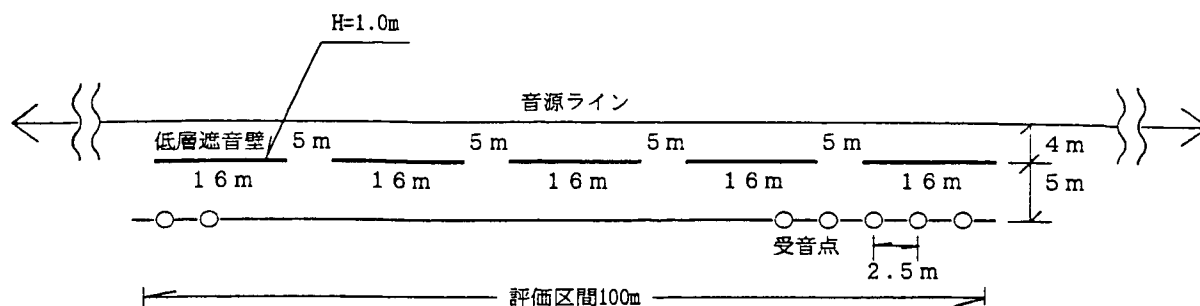
として、求めることとなる。

なお、この指標の物理的意味は、ある評価区間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である。また、評価区間の定め方によって本指標の値は変化するため、評価区間設定の際には注意を要する。

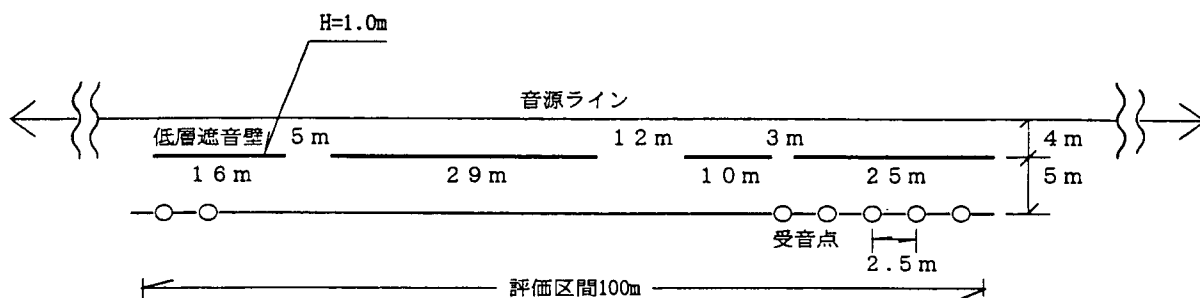
3.2 区間平均挿入損失と低層遮音壁群の開口率の関係

図-7 に示すように、図-3 と同様の横断面を有する無限長道路において、一般的な一街区を想定し 100m の評価区間を設定した。低層遮音壁群の開口率（評価区間延長に対する低層遮音壁が設置されていない区間の総延長の割合をいう。）は 20%と同じだが、遮音壁の数、設置位置が異なる 2 種類の場合を想定した。ただし、いずれの場合も、評価区間の両端と低層遮音壁群の両端は一致させた。評価区間は 2.5m 間隔で 40 等分し、各区間の中央で官民境界上、車道面からの高さ 1.4m に 40 の評価地点を設定した。

遮音壁設置前後における各評価地点の L_{Aeq} の差を挿入損失 (Insertion Loss, IL) として求め、さらに、評価区間の $SA \cdot L_{Aeq}$ の差を区間平均挿入損失 (Section-averaged Insertion Loss, 以下、 $SA \cdot IL$ と表す。) と新たに定義して求めることとした。 $SA \cdot L_{Aeq}$ は、40 の評価地点における L_{Aeq} から (6) 式により求めた。なお、ここ



(a) 五つの低層遮音壁を均等に設置した場合



(b) 四つの低層遮音壁を不規則に設置した場合

図-7 無限長直線道路に設置した低層遮音壁

では無限長道路を想定しているため、遮音壁設置前においては、 L_{Aeq} の評価区間にわたる分布は一定であり、 $SA \cdot L_{Aeq}$ と一致する。

交通条件は、近車線側の片側時間交通量は 1000 台、走行速度 60km/h、大型車混入率 15%として、各評価地点における L_{Aeq} は、基本的に、日本音響学会提案のエネルギーベース騒音予測法⁶⁾により算出した。その際、平均パワーレベルの算出には、2車種分類のパワーレベル式を用い、伝搬計算方法B法において、地表面効果による補正值 $\Delta L_g = 0$ 、気象条件による補正值 $\Delta L_m = 0$ とした。回折効果による補正值 ΔL_d の算出には、音源に 80km/h 以下の自動車交通騒音の代表スペクトル⁶⁾ (ただし、対象周波数 63Hz ~ 4kHz) を与え、オクターブバンド別に回折効果の計算を行った。計算方法は、(4)式による方法 (音源は 2000m 区間に 0.25m 間隔で配置) と 2.2 による方法を用いた。

2.2 による方法の具体的計算手順としては、まず、図-8 に示す無限線音源 (2000m) に対する回折計算チャート (上記代表スペクトル⁶⁾ と前川の実験チャートの数式表現⁷⁾ を用いて作成した。ただし、低層遮音壁設置による行路差の上限値を 1m とした。) から低層遮音壁が無限長の場合の挿入損失 IL_0 を求め、遮音壁上方の回折だけを考慮した見通し角補正を行った。

なお、見通し角法補正の方法は、以下のとおりである。ここでは、有限長の線音源から受けるエネルギー密度は、受信点から線音源の両端を見通す角度に比例するという基本的原理⁹⁾ を、遮音壁設置時にも拡張して適用した。つまり、無限長線音源に対して、低層遮音壁がない場合の騒音レベル L_0 、無限長の低層遮音壁を設置した場合の騒音レベルを L_1 、複数の低層遮音壁を設置した場合の騒音レベルを L_2 とすると、

$$L_2(\theta) = 10 \log_{10} \left(\frac{\theta}{\pi} 10^{L_1/10} + \frac{\pi - \theta}{\pi} 10^{L_0/10} \right)$$

と表せる。ここで、 $\theta = \sum \theta_i$ (θ_i は評価地点から i 番目の低層遮音壁の両端を見通した時の角度 [rad]) である。さらに、この式に $L_1 = L_0 - IL_0$ を代入すれば、複数の低層遮音壁を設置した場合の挿入損失 $IL(\theta) = L_0 - L_2(\theta)$ は、次式となる。

$$IL(\theta) = -10 \log_{10} \left\{ 1 - \frac{\theta}{\pi} (1 - 10^{-IL_0/10}) \right\} \quad (7)$$

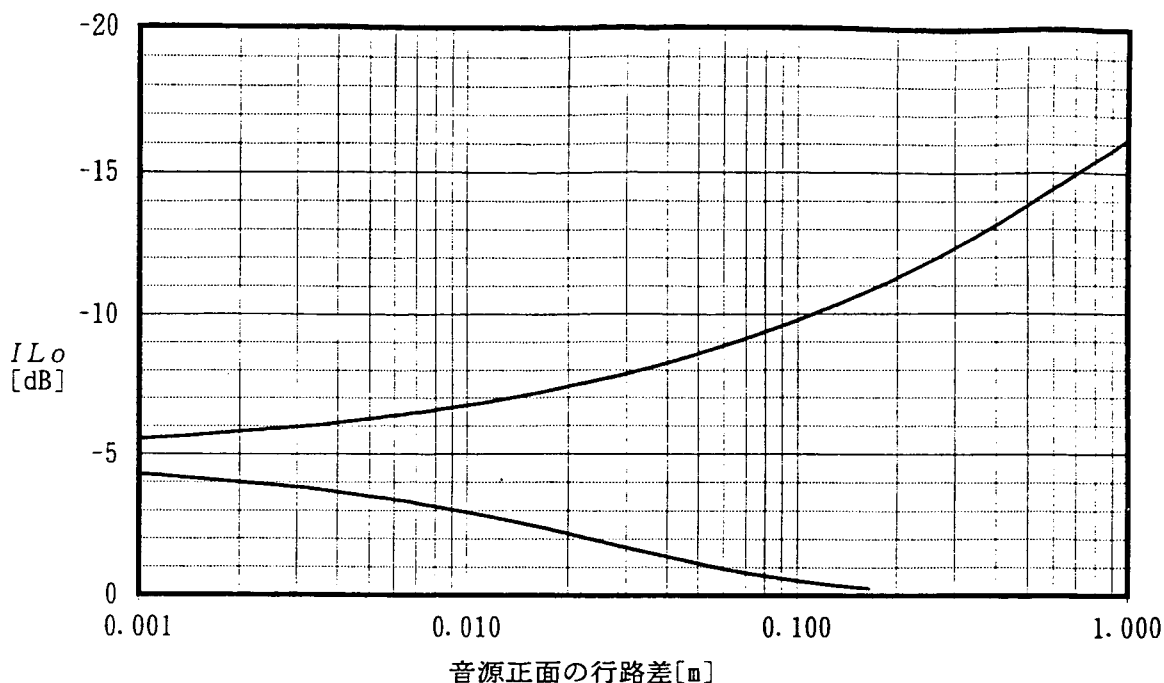


図-8 無限線音源に対する無限長低層遮音壁の回折計算チャート

図-9 に、(4)式の方法と(7)式の方法により求めた 40 の評価地点における IL の分布状況及び評価区間の $SA \cdot IL$ を示す。ここで、縦軸は、遮音壁設置後の設置前に対する相対騒音レベルである。

まず、二つの計算方法の差異を比較すると、(a)、(b)の両方の場合において、二つの方法による地点別 IL と $SA \cdot IL$ は共に非常によく一致している。さらに、開口率の異なる 7 ケース (10%及び 30～60%) を加え、(4)式の方法と(7)式の方法により求めた $SA \cdot IL$ を比較した結果を図-10 に示す。この図でも、両方法で求めた $SA \cdot IL$ は非常によく一致している。なお、これらのケースでは、地点別 IL についても、両計算方法で求めた結果が非常によく一致していることを確認した。以上より、図-7 で示したような十分長い直線道路において同一高さの複数の低層遮音壁を設置した場合の地点別 IL 及び $SA \cdot IL$ の算出は、(7)式の方法を用いれば実用上十分であることが判明した。

次に、図-9 において、(a)、(b)二通りの場合の地点別 IL の分布状況を比較してみると、(a)においては 2dB、(b)においては 4dB 程度の変動が見られ、両者の IL の分布状況には大きな差が認めれるが、 $SA \cdot IL$ に関して、両者の差はほとんど見られない。すなわち、この結果は、低層遮音壁群の開口率が同じ場合は、開口部の位置にかかわらず、 $SA \cdot IL$ を近似的に求められる可能性があることを示唆している。

そこで、このことを確かめるため、次のようなシミュレーション計算を行った。50m、100m、200m の 3 通りの評価区間に低層遮音壁を設置し、音源正面の行路差として 0.00002m、0.031m、0.033m、0.16m の 4 通り（これらは、図-7 において、低層遮音壁の高さを 1m または 1.5m、音源位置を近車線または遠車線側とした場合に相当する。）を与えた。これら 12 通りの各ケースにおいて、低層遮音壁群の開口率を 0% から 60%まで 1%刻みで変化させ、各開口率において、開口部の数、位置、延長を無作為に 40 通り程度変化させることにより、合計約 3 万通りの(7)式を用いたシミュレーション計算を行った。図-11 に遮音壁に音源正面の行路差が 0.031m（低層遮音壁の高さ 1m、音源位置は近車線）の場合の結果を示す。他の計算ケースにおいても同様の結果が得られ、これらによると、音源正面の行路差及び評価区間長が同じであれば、開口部の位置によらず、開口率から $SA \cdot IL$ をかなり高い精度で求められることが明らかとなった。また、音源正面の行路差 0.031m、評価区間長 100m で開口率が 60%と非常に大きい場合に、一つの延長 60m の低層遮音壁を評価区間の中央に設置（両側に 20m ずつの外側空間が存在）した場合及び評価区間の両側に二つの延長 30m の低層遮音壁を設置（中央に 40m の開口部が存在）した場合の極端な 2 ケースで $SA \cdot IL$ を比較したが、それでも両者の差は 0.3dB 以下と小さかった。したがって、評価区間の両側に低層遮音壁が設置されていない空間が存在する場合においても、 $SA \cdot IL$ は開口率により求められることが確認できた。

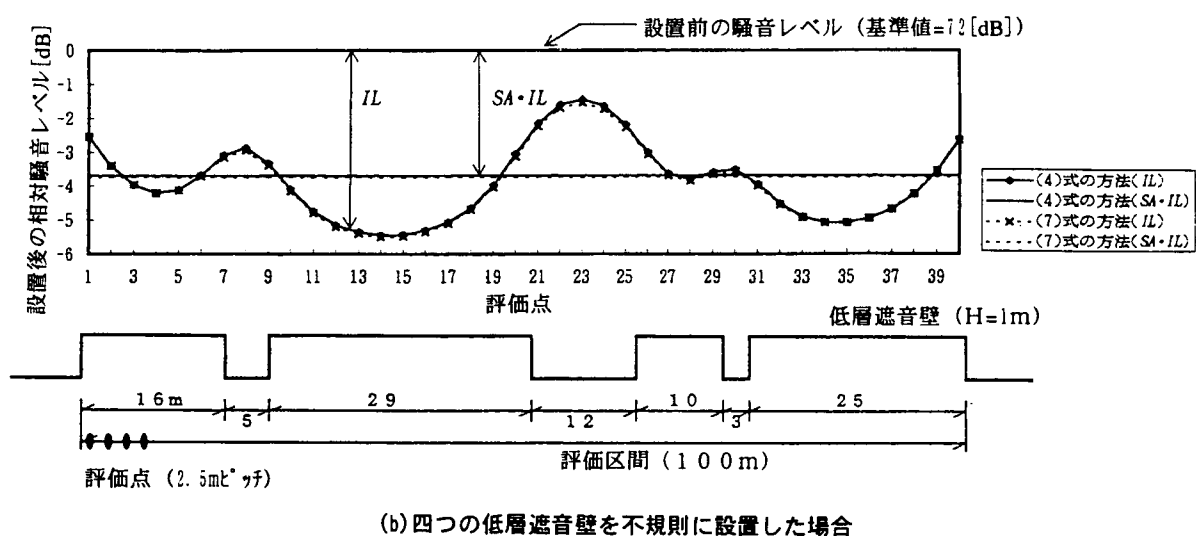
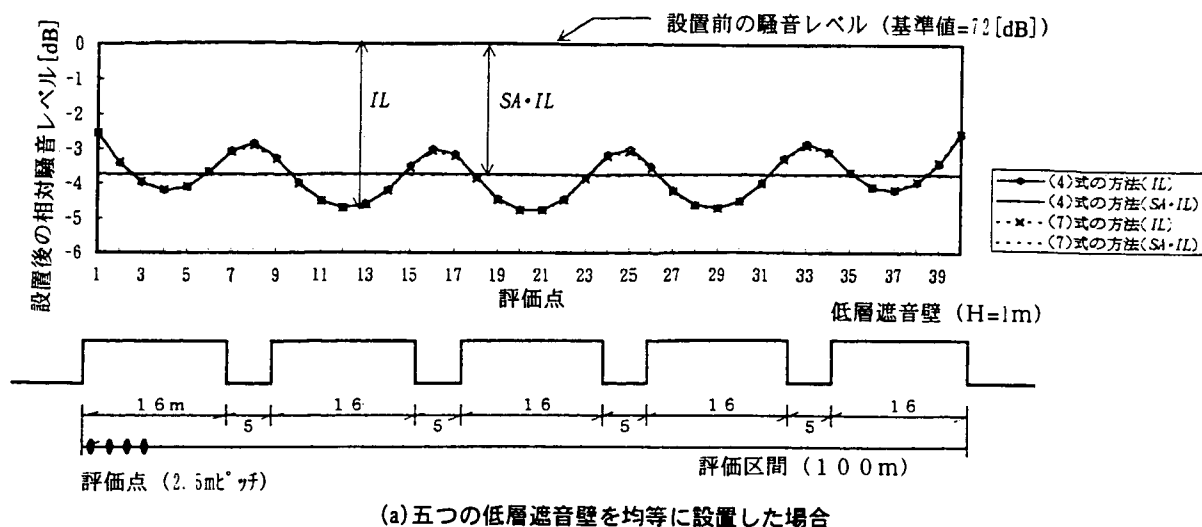


図-9 地点別挿入損失と区間平均挿入損失の計算結果の比較

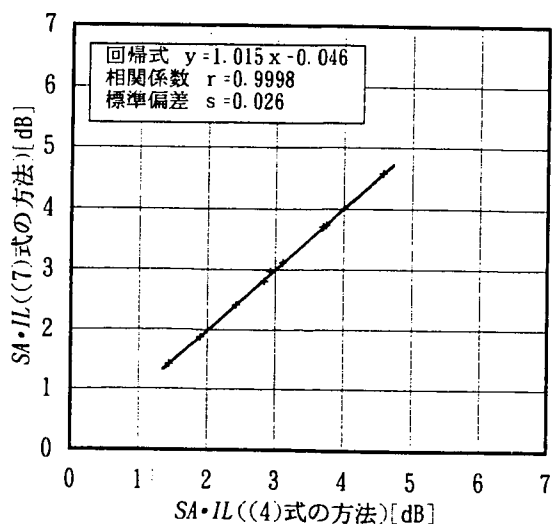


図-10 (4)式の方法と(7)式の方法による
SA・ILの計算結果の比較

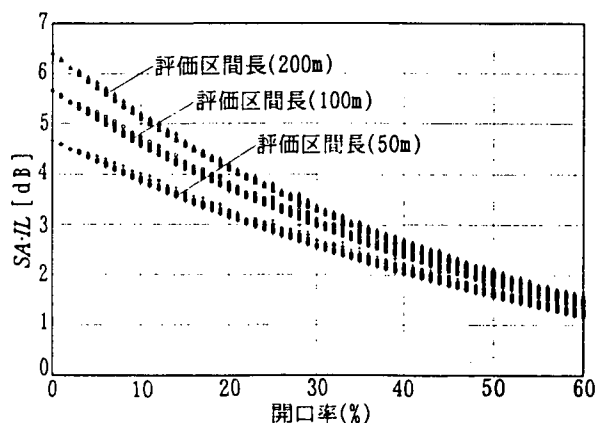


図-11 SA・ILと開口率の関係
(音源正面での行路差が0.031mの場合)

4 低層遮音壁設置による $SA \cdot IL$ の簡易計算法の提案

3.2 の検討において、十分長い直線道路に同一高さの複数の低層遮音壁を設置する場合、その減音効果を $SA \cdot IL$ として求めるときは、(4)式より簡便な(7)式による方法で実用上十分なことが明らかとなった。しかし、それでも $SA \cdot IL$ の算出には、コンピュータ等を用いた計算が必要で、実用性に優れているとは必ずしも言えない。したがって、ここでは、 $SA \cdot IL$ を簡易に求める方法を提案する。

簡易計算法の検討に際し、開口率が一定の場合は、3.2 の結果に基づき、開口部の位置による挿入損失の差は無視できるほど小さいという仮定をおいた。また、算出に当たって、①評価区間全体に連続して低層遮音壁が設置された場合の $SA \cdot IL'$ を求め、②開口率による補正を行い $SA \cdot IL$ を求めるという手順を設定した。

①の連続した低層遮音壁の $SA \cdot IL'$ については、(7)式から理論的に求めることができる。

今、評価区間の延長を l 、評価点から低層遮音壁までの距離を d とする。ある評価地点 P の評価区間の一方の端からの距離を x とすると、図-12 で示されるように、 P から評価区間全体に連続して立てられた低層遮音壁の両端を見通す角度 θ は、

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 = \tan^{-1} \frac{x}{d} + \tan^{-1} \frac{l-x}{d} \quad (8)$$

となる。今、 P 点における挿入損失を $IL(x)$ とおくと、評価区間の区間平均挿入損失 $SA \cdot IL'$ は、

$$SA \cdot IL' = -10 \log_{10} \frac{1}{l} \int_0^l 10^{-IL(x)/10} dx \quad (9)$$

と表せる。ここで、(7)、(8)式を(9)式に代入すると、

$$SA \cdot IL' = -10 \log_{10} \left\{ 1 - \frac{1}{\pi} \left\{ 2 \tan^{-1} \left(\frac{l}{d} \right) - \frac{d}{l} \ln \left(1 + \frac{l^2}{d^2} \right) \right\} \right\} \left(-10^{-IL_0/10} \right) \quad (10)$$

が得られ、図-8より求まる IL_0 を用いて $SA \cdot IL'$ を算出できる。なお、(10)式は以下のようになる。

$$\lim_{l \rightarrow \infty} SA \cdot IL' = IL_0, \quad \lim_{l \rightarrow 0} SA \cdot IL' = 0$$

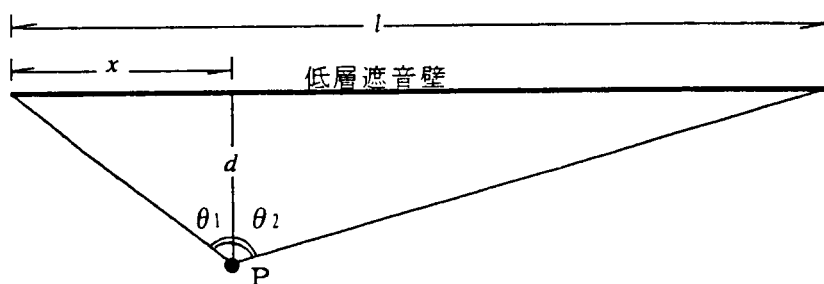


図-12 連続した低層遮音壁の見通し角

②に関しては次のように考えた。開口率 α を有する低層遮音壁群設置による区間平均挿入損失 $SA \cdot IL$ を求めるための、低層遮音壁の模式図を図-13に示す。まず、開口部のない連続した低層遮音壁が設置されている場合を考え、遮音壁を回折し評価区間に到達する音の寄与（エネルギー量）を C_0 、遮音壁に遮られ評価区間に到達しない音の寄与を C_1 とする。ここで、 $SA \cdot IL'$ は、以下の式で近似できると仮定した。

$$SA \cdot IL' = -10 \log_{10} \frac{C_0}{C_0 + C_1} \quad (11)$$

次に開口部を有する場合の $SA \cdot IL$ の算出に当たっては以下のように考えた。図-11で示された結果より、 $SA \cdot IL$ は開口部の位置等にかかわらず、開口率のみに支配される。これは、言い換えれば、区間全体の平均的挿入損失の算出に当たっては開口部の見通し角を考慮しなくてよいことになる。そこで、開口部を通過し

て評価区間に至るエネルギー C_2 の流れは遮音壁に垂直であり、 C_2 は開口率 α に比例すると仮定した。そこで、 $C_2 = \alpha C_1$ とし、 $SA \cdot IL$ は次式で近似できると仮定した。

$$\begin{aligned} SA \cdot IL &= -10 \log_{10} \frac{C_0 + \alpha C_1}{C_0 + C_1} \\ &= -10 \log_{10} \frac{C_0}{C_0 + C_1} \left(1 + \frac{C_1}{C_0} \alpha \right) \end{aligned} \quad (12)$$

さらに、(11)、(12)式より、

$$[SA \cdot IL] = [SA \cdot IL]' - 10 \log_{10} \left\{ 1 + \left(10^{[SA \cdot IL]'/10} - 1 \right) \alpha \right\} \quad (13)$$

が得られる。なお、(13)式は、 $\alpha=0$ の場合 $SA \cdot IL = SA \cdot IL'$ 、 $\alpha=1$ の場合 $SA \cdot IL=0$ となる。

したがって、図-8 及び(10)、(13)式を用いて、開口部を有する低層遮音壁の区間平均挿入損失 $SA \cdot IL$ を簡易に算出する（以下、簡易法という。）ことができる。

図-14 に $SA \cdot IL$ の簡易法での計算結果と 3.2 で行ったシミュレーションでの計算結果（732 データを任意に抽出）との比較を示す。簡易法の計算結果は、(7)式を用いたシミュレーション計算結果と非常によい一致を示している。すなわち、評価区間の $SA \cdot IL$ を算出するにあたって、評価区間に多数の評価地点を設定して個別に IL を計算し、さらに、それらから評価区間の $SA \cdot IL$ を計算するという煩雑な手順を踏まずとも、簡易法を用いることにより、実用上、十分な精度で、直接 $SA \cdot IL$ を計算できることが明らかとなった。

・ 開口部が無く連続設置される場合

・ 開口部を有する場合



C_0 : 遮音壁を回折し評価区間に到達するエネルギー

C_1 : 連続した遮音壁に遮られ評価区間に到達しないエネルギー

C_2 : 開口部を有する遮音壁の開口区間からの評価区間に到達するエネルギー [$C_2 = \alpha C_1$]

図-13 開口部を有する低層遮音壁の模式図

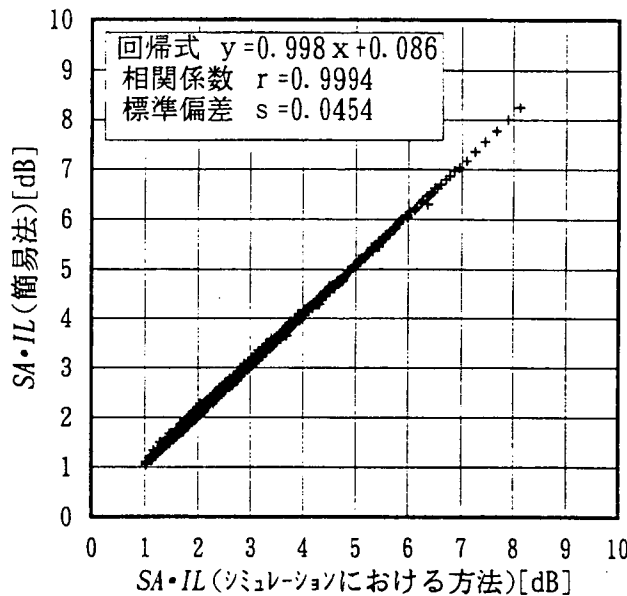


図-14 簡易法とシミュレーションにおける $SA \cdot IL$ の計算結果の比較

5 まとめ

都市内において開口部を有する複数の低層遮音壁を設置した場合の減音効果の予測及び評価方法に関して検討を行い、以下の結果を得た。

(1) 複数の低層遮音壁による回折効果の計算方法として、半無限障壁による減音量の組み合わせとして計算する方法と上方回折効果だけを考慮する方法を示し、反射面を有する半自由空間での模型実験によりユニットパターンの検証を行ったところ、前者の方法が実験値とよりよい一致をみた。ただし、ユニットパターンのエネルギー平均値 (L_{eq} に相当) は両計算方法とも実験値と非常によい一致を示した。

(2) 評価地点により騒音レベルが複雑に変化する場合、評価区間全体の平均的な道路交通騒音レベルを表す指標として区間平均等価騒音レベル ($SA \cdot L_{Aeq}$) を提案した。また、低層遮音壁の設置効果を表す指標として、遮音壁設置前後の $SA \cdot L_{Aeq}$ の差として定義される区間平均挿入損失 ($SA \cdot IL$) を提案した。

(3) 十分長い直線道路において、同一高さの複数の低層遮音壁を設置した場合の評価地点別の IL 及び評価区間の $SA \cdot IL$ の算出に当たっては、上方回折だけを考慮した見通し角補正による方法で実用上十分であることを、半無限障壁による回折減音量の組み合わせとして計算する方法との比較により明らかにした。

(4) 低層遮音壁の設置による $SA \cdot IL$ は、近似的には開口部の位置にかかわらず開口率により求められることを、数値シミュレーションの結果により明らかにした。

(5) 無限線音源に対する無限長の低層遮音壁の回折効果を表すチャートを作成し、これから求められる回折効果をもとに、有限長で連続な低層遮音壁及び開口部を有する低層遮音壁による $SA \cdot IL$ を簡単な計算式により順次求める実用的な簡易計算法を提案した。さらに、この方法が、多数の評価地点の IL を求め、それから評価区間の $SA \cdot IL$ を計算する煩雑なシミュレーションでの計算結果と整合性が非常によいことを示した。

また、本論文で示した種々の回折計算方法は、原理的には、一般的な複数の有限長障壁による回折効果を求める際に用いることができ、その適用条件は以下の通りである。

(1) 十分長い直線道路において、同一高さの複数の有限長障壁の設置による減音効果を評価区間の $SA \cdot IL$ を用いて評価する場合は、図-8及び(10)、(13)式による簡易法を用いればよい。

(2) 十分長い直線道路において、同一高さの複数の有限長障壁の設置による減音効果を評価地点毎の IL を用いて評価する場合は、障壁上方の回折効果だけを考慮した(7)式を用いればよい。一方、曲線道路あるいは複数の高さの異なる障壁を設置する場合に評価地点毎の IL を求める際は、障壁上方及び側方の回折効果を考慮した(3)式または(4)式の方法を用いればよい。

以上より、複数の低層遮音壁及び有限長障壁の減音効果の予測、評価のための実用的方法を提案できたと考える。今後の課題としては、低層遮音壁が奥行きを有する場合あるいは上部に植栽を施した場合の減音効果の予測方法、自動車と低層遮音壁の間の多重反射が騒音低減効果に及ぼす影響の検討等が挙げられる。

参考文献

- 1) 矢野博夫, 日高新人, 朱鎮洙, 橘秀樹, 押野康夫, 筑井啓介: テストコースにおける自動車の走行騒音放射特性の検討(その2. 音圧測定による近傍音場の解析), 日本音響学会講演論文集, pp.627-628, 1992.3
- 2) 筑井啓介, 押野康夫, 橘秀樹: 実車を用いた遮音塀の回折減衰量に関する検討, 日本音響学会講演論文集, pp.687-688, 1996.3
- 3) 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, 日本音響学会誌第50巻4号, pp.271-278, 1994
- 4) Koichi Takagi, Ryota Hotta, Kohei Yamamoto: A Simple Method for the Calculation of Noise Attenuation by a Finite Length Barrier, *Applied Acoustics*, 43, pp.353-365, 1994
- 5) 高村貴洋, 渡辺義則, 中島勝哉: 道路端に低い壁を設置することによる減音量の推定, 土木学会第51回年次学術講演会, pp.300-301, 1996.9
- 6) 曾根敏夫, 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, 日本音響学会誌第50巻3号, pp.238, 1994
- 7) 山本貢平, 高木興一: 前川チャートの数式表示について, 騒音制御 15(4), pp.42 (10)式, 1991
- 8) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会報告: 道路一般部を対象としたエネルギーベース騒音予測法, 日本音響学会誌第50巻3号, pp.227-252, 1994
- 9) 前川純一: 建築・環境音響学, pp.96, 共立出版株式会社, 1990

種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究*

上坂 克巳^{*1}・大西 博文^{*1}・鉢嶺 清範^{*1}・石川 賢一^{*2}・高木 興一^{*3}

(1998年6月15日受付, 1998年11月17日受理)

【要 旨】

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

【ABSTRACT】

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

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

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

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

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

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

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

1. はじめに

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

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

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

2. 低層遮音壁の特徴と予測・評価における課題

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

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

- (1) 低層遮音壁では、車両の沿道建物や交差道路への出入り確保のため、開口部を有することが多い。この結果、遮音壁後方の騒音レベルは複雑に変化し、減音効果の予測・評価が困難となる。
- (2) 植栽柵タイプの場合、その上面及び側壁面の厚み部分の減音効果を考慮する必要がある。また、目標とする挿入損失が小さい低層遮音壁では、景観面ですぐれた透過損失の小さい材料をパネルタイプに使用することも可能であり、その際は、透過音を考慮した計算方法が必要となる。
- (3) 通常の遮音壁の設計では、目標とする挿入損失を満たすよう、その高さを決めることが課題であるが、低層遮音壁の場合は、高さは1 m程度が標準であり、むしろ、評価（対策）区間の延長、開口率、遮音壁の形状・材質等（以下、「設計パラメータ」という）の設定が重要な役割を持つ。

以下、これらの課題の解決を目指し、3. において開口部を有する低層遮音壁による減音効果の評価方法を、4., 5. において種々の形状、材質の低層遮音壁による減音効果の予測方法を検討し、6. では、これらの方法を用いて、予測・評価のケーススタディ

を行い、設計パラメータと減音効果の関係を分析する。

3. 低層遮音壁による減音効果の評価方法

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

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

これは、ある評価区間（ $x_1 \sim x_2$ ）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。

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

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

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

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

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

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

4.1 植栽柵タイプによる減音量の計算方法

(1) 対象とする植栽柵タイプの特徴

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

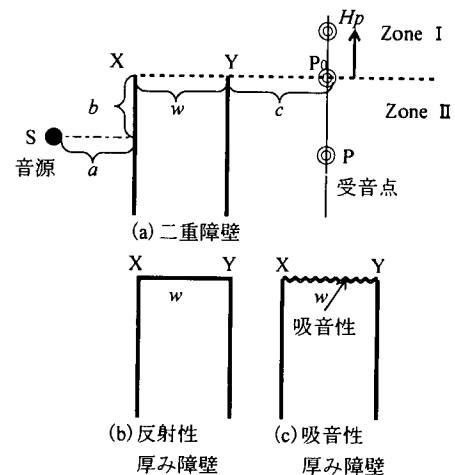
したがって、本論文では、対象とする植栽柵タイプとして、その上面が草花で覆われているものを取り上げる。この場合、減音効果の物理的意味が明確で、ある程度予測に信頼がかけ、効果の継続のための維持管理も比較的容易であると考えたからである。なお、この植栽柵タイプは、吸音性厚み障壁¹¹⁾（厚みのある障壁の厚み部分が吸音性の障壁、図-1参照）とみなすことができる。また、植栽柵タイプを道路構造令という植樹帯（標準幅員 1.5 m）を利用して設置することを想定すると、その奥行き（以下に示す w に相当）は 1~1.5 m 程度となる。

(2) 吸音性厚み障壁による減音量の計算方法

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

図-1 に、文献 11) における模型実験の配置から、

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



（単位 m, 実物換算）

図-1 模型実験の配置

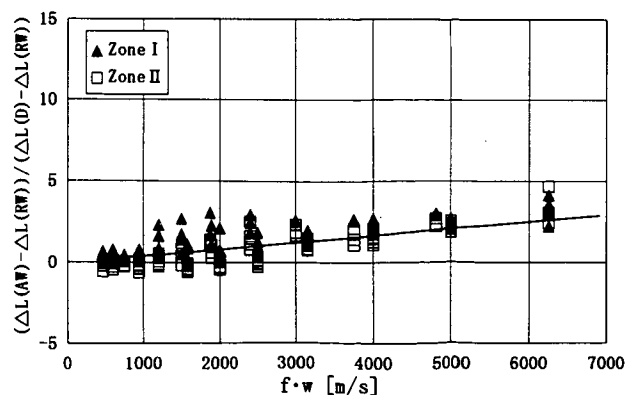


図-2 $(\Delta L(AW)_{SXP} - \Delta L(RW)_{SXP}) / (\Delta L(D)_{SXP} - \Delta L(RW)_{SXP})$ と $f \cdot w$ との関係

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

なお、吸音性厚み障壁の厚み部分に貼付した吸音材の流れ抵抗 σ は $140 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$ であったが、これは、植栽柵の上面が草花の場合におおむね相当する(文献12)によると、流れ抵抗 σ は、芝地、草地等で $300 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$ 、耕田等で $75 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$ である。

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

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

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

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

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

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

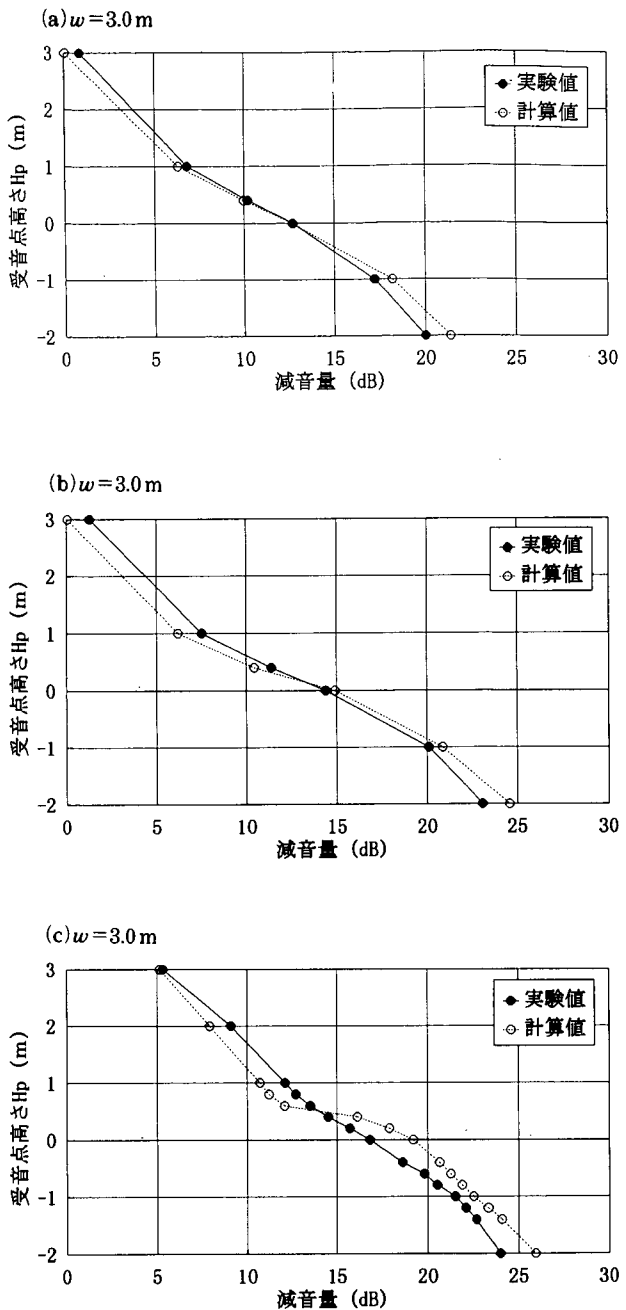


図-3 (2)式と模型実験値の比較

$(RW)_{SXY}$ である。また、 $w=0$ の時、 $\Delta L(AW)_{SXY} = \Delta L(RW)_{SXY}$ となる。

(3) 計算方法の適用範囲

(2) 式は、 $\Delta L(D)_{SXY} - \Delta L(RW)_{SXY} \geq 1 \text{ (dB)}$ となるデータから作成した回帰式である。ここでは、(2) 式の適用範囲並びに(2)式における $\Delta L(D)_{SXY}$ 、 $\Delta L(RW)_{SXY}$ の計算に文献11)の方法を用いた場合の計算値の妥当性を検討するため、(2)式による計算値と文献11)の模型実験値との比較を行った。なお、半無限障壁による減音量の計算には前川の実験チャート¹³⁾を用いた(5.1(2)、6.も同様)。

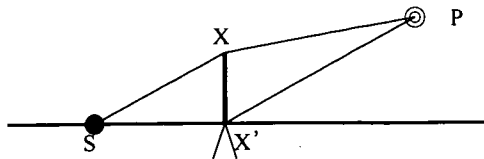


図-4 地面上のパネルタイプ（透過損失の小さい材料を用いる場合）による挿入損失

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

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

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

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

4.2 透過損失の小さいパネルタイプによる挿入損失の計算方法

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

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

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

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

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

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

となる。

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

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

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

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

5.1 植栽柵タイプに対する 1 パスの方法の適用

(1) 計算方法

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

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

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

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

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

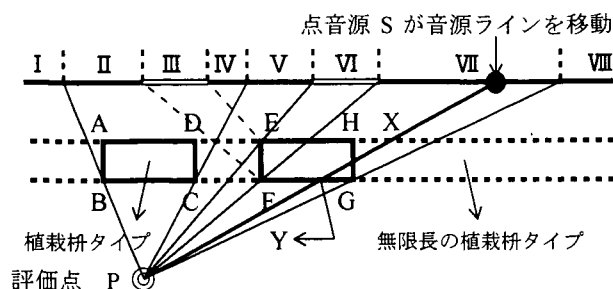


図-5 十分長い直線道路に設置された植栽柵タイプに対する1パスの方法の適用(平面図)

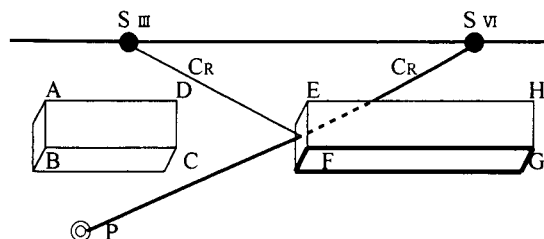


図-6 側壁面EFにおける1回反射音の扱い

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

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

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

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

ここで、 $\Delta L(AW)_{SXP}$ は無有限長の吸音性厚み障壁による減音量を表し、(2)式により計算する。ただし、回折点Xは、無有限長の植栽柵タイプの音源側・

壁面の上部エッジが平面SPと交差する点、回折点Yは、評価点側・壁面の上部エッジが平面SPと交差する点とする。

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

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

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

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

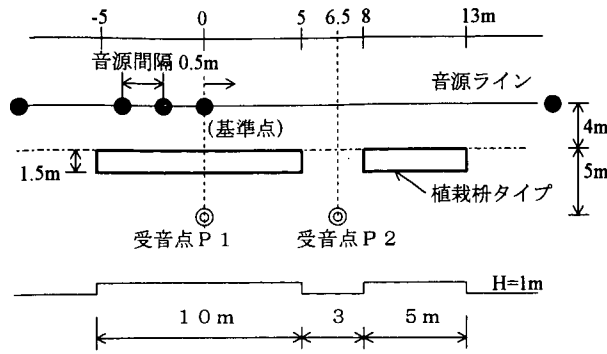


図-7 植栽柵タイプに対する1パスの方法の検証のための模型実験の配置

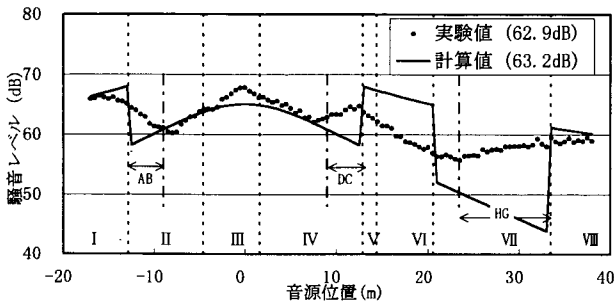


図-8 (a) 騒音レベルの計算値と模型実験値の比較 (受音点 P1)

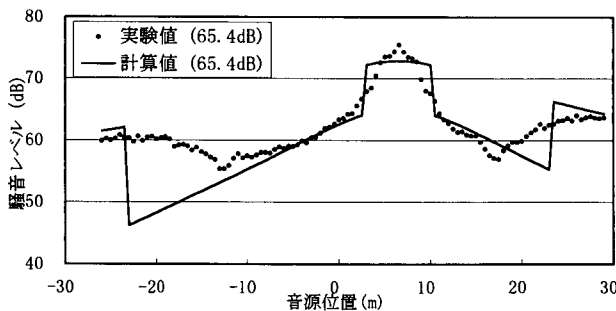


図-8 (b) 騒音レベルの計算値と模型実験値の比較 (受音点 P2)

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

(2) 模型実験による検証

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

実験配置を図-7に示す。床面は厚さ3mm(原寸)の亚克力板を用いて反射性とし、音源には、点音源としてのジェットノイズ音源(高さ0.4m)を用いた。低層遮音壁は、厚さ5mm(原寸)のアク

リル板を用いて製作(高さ1m,奥行き1.5m)し、その上面には、4.1(2)同様、流れ抵抗 $\sigma=140\text{ kPa}\cdot\text{s/m}^2$ の吸音材(ベルベット2枚重ね、厚み3.3mm,原寸)を貼付した。対象周波数は、4.1(2)より広帯域の200Hz~5kHzとし、自動車交通騒音の主要な周波数帯域を含むようにした。

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

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

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

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

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

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

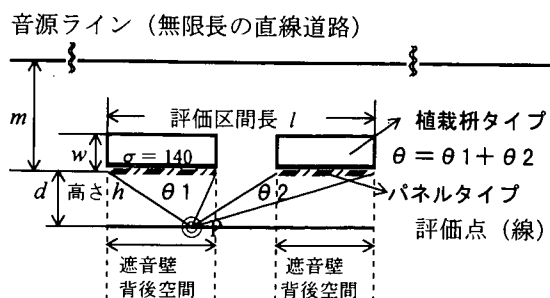


図-9 十分長い直線道路に設置された低層遮音壁による減音効果計算のための模式図

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

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

5.2 開口部を有する種々のタイプの低層遮音壁による減音効果の簡易計算式

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

(1) 地点評価の場合

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

(2) 区間評価（評価区間全体）の場合

$$SA \cdot IL = -10 \log_{10} \left\{ 10^{-[SA \cdot IL_0]/10} + (1 - 10^{-[SA \cdot IL_0]/10}) \alpha \right\} \quad (9)$$

ここで、

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

ここで、 θ は評価点から植栽柵タイプの評価点

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

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

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

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

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

6. 設計パラメータと減音効果の関係の分析

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

ここでは、植樹帯（幅員 1.5 m）を含む幅員 5 m の歩道上に高さ 1 m の低層遮音壁を設置する場合を想定して、予測・評価のケーススタディを行い、これらの設計パラメータと減音効果の関係を分析する。なお、音源位置は、幹線道路（4 車線）近車線側の第 1, 2 車線中央（歩車道境界から 4 m）、評価点は、官民境界（歩車道境界から 5 m）で高さ 1.4 m（歩道面からの高さ 1.2 m、歩道面が車道面から 0.2

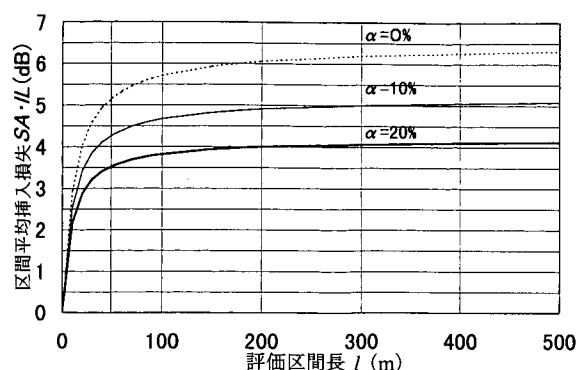


図-10 開口率 α 、評価区間長 l と $SA \cdot IL$ の関係

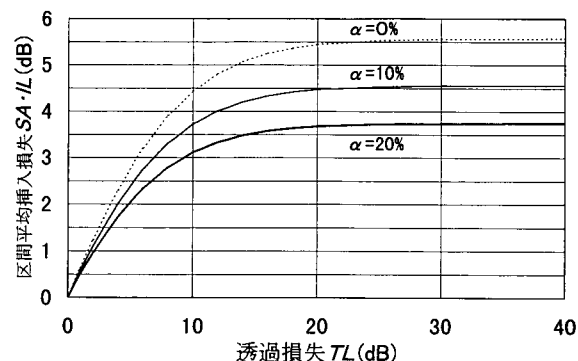


図-11 パネル材料の透過損失 TL と $SA \cdot IL$ の関係

m マウンドアップされていることを想定)とした。

6.1 評価区間長、開口率と $SA \cdot IL$ の関係

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

図-10より、無限長に対して、 $SA \cdot IL$ の減少を0.5 dB程度に抑えることのできる l は、 α が0%の時100 m、 α が20%の時50 m程度である。また、 l

が50 m以下では、 $SA \cdot IL$ は急激に減少する。したがって、低層遮音壁の評価(対策)区間長は、少なくとも50 m程度以上必要だと言える。また、 α が10%大きくなると $SA \cdot IL$ は1 dB程度減少する。

なお、以下の検討では、標準的な評価区間長として $l=100$ mを用いる。

6.2 パネルタイプに許容される透過損失

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

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

6.3 パネルタイプと植栽柵タイプの地点別 IL 、 $SA \cdot IL$ 、 $\overline{SA \cdot IL}$ の差異

(8)式、(9)式を用いて、 $\alpha=20\%$ の場合に、透過損失が十分大きいパネルタイプと植栽柵タイプ(上面の流れ抵抗 $\sigma=140$ kPa $\cdot$ s/m²)の挿入損失の差異を検討した。それらの配置は図-12のとおりである。

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

これらの結果から以下のことが分かる。

- (1) 植栽柵タイプはパネルタイプに比べ、遮音壁背後空間と開口部背後空間の地点別 IL の差異が大きく、 $\overline{SA \cdot IL}$ と $SA \cdot IL$ との差は0.8 dBである。
- (2) 植栽柵タイプとパネルタイプの減音効果の差は、 IL_0 では2.0 dBであるが、 $\overline{SA \cdot IL}$ では1.0 dB、 $SA \cdot IL$ では0.7 dBに縮まる。また、地点別

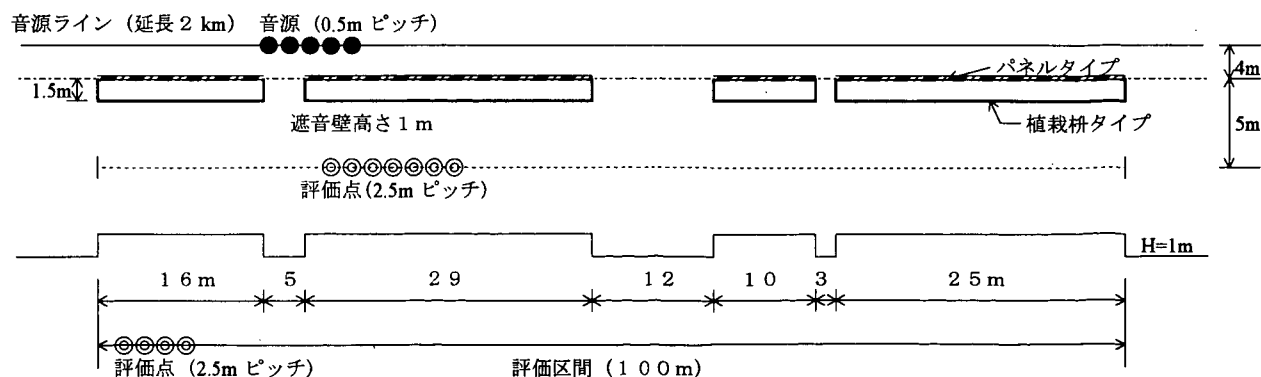


図-12 パネルタイプと植栽柵タイプの配置

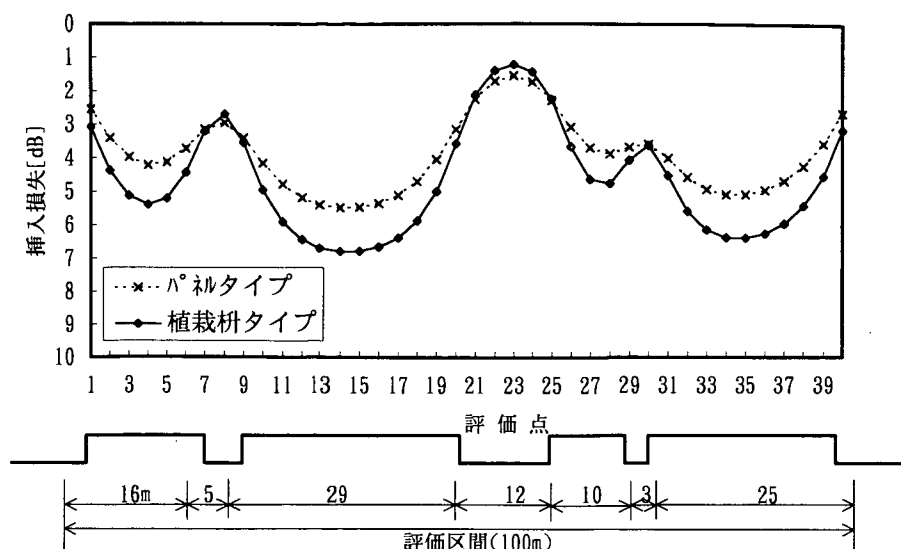


図-13 パネルタイプと植栽柵タイプによる地点別ILの比較

表-1 パネルタイプと植栽柵タイプによる減音効果の比較

(単位: dB)

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

(注) 1. $IL(14)$ は図-13の評価点14におけるILを表す。

2. $IL(14)$, $SA \cdot IL$, $\overline{SA \cdot IL}$ は(8)式で計算。ただし, $SA \cdot IL$ の () 内の数値は(9)式で計算。

IL が最も大きくなる評価点14では, その差は1.5dBである。

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

7. 実車に対する減音効果に関する考察

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

矢野らによるテストコースでの実験結果¹⁾によると, 走行車線の中心から3.3m隔てて設置された高さ0.9mの連続した塀(長さ20m)の背後5m, 高さ1.2mの地点で, 挿入損失の実測値と前川の実験

チャート¹³⁾による計算値を比較すると, 乗用車では実測値がやや大きく, 大型車では実測値と計算値がほぼ一致している。

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

8. ま と め

本論文で得られた主な成果は以下のとおりである。

- (1) 有限長で開口部を有する低層遮音壁による減音効果の区間評価の指標として, 評価区間全体を対象とした $SA \cdot IL$ 及び遮音壁背後空間を対象とした $\overline{SA \cdot IL}$ を示した。これらの指標は, 騒音の評価対象(住居, 歩行者)により適宜選択する必要がある。また, 歩道上にベンチを設置する場合のように, 特定の地点の騒音レベルを評価する場合は, 地点別ILを評価指標として用いればよい。
- (2) 植栽柵タイプの低層遮音壁を, 吸音性厚み障壁とみなし, その減音量を, 反射性厚み障壁及び二重障壁による減音量を用いて求める回帰式を作成した。この式は, 広い受音点領域に適用可能であるため, 低層遮音壁だけでなく, 他の

種類の吸音性厚み障壁にも拡張して利用することが期待できる。

- (3) 透過損失が小さい材料を用いたパネルタイプ及び植栽柵タイプを含め、低層遮音壁が開口部を有する場合の減音効果を地点別 IL 及び $SA \cdot IL$ として求める簡易計算式を、一般化して示した。
- (4) 音源が4車線道路の近車線側にある場合を想定して、高さ1mの低層遮音壁による減音効果を求めるケーススタディを行った。その結果、開口率が20%の場合は、評価(対策)区間長が50m程度以上必要なこと、パネルタイプの透過損失は11dBで十分なこと、植栽柵タイプはパネルタイプと比べ地点別 IL で最大1.5dB、 $SA \cdot IL$ で0.7dB減音効果が大きいこと等を示した。

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

今後の主な課題としては、以下が挙げられる。

- (1) 中央分離帯にも低層遮音壁を併設した場合の予測方法の検討
- (2) 植栽柵タイプの上面の流れ抵抗が変化した場合の減音量の検討及び現地実測等による検証
- (3) 予測式における自動車走行騒音の指向性の考慮
- (4) 低層遮音壁の合理的な設計方法の検討

参 考 文 献

- 1) 矢野博夫, 日高新人, 朱 鎮洙, 橘 秀樹, 押野康夫, 筑井啓介: テストコースにおける自動車の走行騒音放射特性の検討(その2. 音圧測定による近傍音場の解析), 日本音響学会講演論文集, pp. 627~628 (1992. 3)
- 2) 筑井啓介, 押野康夫, 橘 秀樹: 実車を用いた遮音塀の回折減音量に関する検討, 日本音響学会講演論文集, pp. 687~688 (1996. 3)
- 3) 高村貴洋, 渡辺義則, 中島勝哉: 道路端に低い壁を設置することによる減音量の推定, 土木学会第51回年次学術講演会, pp. 300~301 (1996)
- 4) 大西博文, 上坂克巳, 鉢嶺清範: 低層遮音壁の種々の道路条件における効果, 日本音響学会講演論文集, pp. 825~826 (1997. 3)
- 5) 上坂克巳, 大西博文, 鉢嶺清範, 千葉 隆, 高木興一: 低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究, 土木学会環境工学研究論文集, 34巻, pp. 307~317 (1997)
- 6) 渡辺敏夫, 山田伸志: 植物模型による音の散乱, 日本音響学会誌, 43巻11号, pp. 845~850 (1987)
- 7) 鹿島教昭, 田村明弘: 植樹帯による減音効果—実在する植樹帯の挿入損失—, 日本音響学会誌, 47巻10号, pp. 729~737 (1991)
- 8) 鹿島教昭, 田村明弘: 植樹帯による減音効果(第2報)—幼木を用いた縮尺模型実験—, 日本音響学会誌, 49巻10号, pp. 711~720 (1993)
- 9) 鹿島教昭, 田村明弘: 植樹帯による騒音低減効果, 騒音制御, 21巻3号, pp. 175~178 (1997)
- 10) 石井 貢: 低い塀を取り付けた植栽柵の防音効果, 日本音響学会騒音・振動研究会資料, N-94-10 (1992).
- 11) 上坂克巳, 大西博文, 鉢嶺清範, 石川賢一, 高木興一: 厚みのある障壁, 二重障壁による回折効果に関する実験的研究, 騒音制御, 22巻3号, pp. 153~161 (1998)
- 12) 高木興一, 山本貢平, 吉久光一: IV道路交通騒音予測における伝搬計算方法, 日本音響学会誌, 50巻3号, pp. 240~249 (1994)
- 13) K. Yamamoto, K. Takagi: Expression of Maekawa's chart for computation, Applied Acoustics Vol. 37, pp. 75~82 (1992)
- 14) 曾根敏夫, 香野俊一, 岩瀬昭雄: III自動車走行騒音のパワーレベルとスペクトル, 日本音響学会誌, 50巻3号, pp. 233~239 (1994)
- 15) K. Takagi: Some remarks on practical methods for calculating acoustical diffraction, Applied Acoustics Vol. 31, pp. 119~132 (1990)
- 16) 三宅龍雄, 上坂克巳, 大西博文: 透過音を考慮した遮音壁の騒音低減効果について, 日本音響学会騒音・振動研究会資料, N-97-50 (1997)
- 17) Department of Transportation, Federal Highway Administration, USA: FHWA Highway traffic noise prediction model, Report FHWA-RD-77-108 (1977)
- 18) 日本音響学会編: L_{Aeq} における道路交通騒音予測, 日本音響学会 第4回音響技術セミナー資料, pp. 37~49 (1995)
- 19) 橘 秀樹, 佐々木實: II予測計算法の概要, 日本音響学会誌, 50巻3号, pp. 229~232 (1994)
- 20) D.C. Hothersall, S.A. Tomlinson: High sided vehicles and road traffic noise barriers, Proc. Internoise 95, pp. 397~400 (1995)
- 21) 筑井啓介, 押野康夫, 橘 秀樹: 自動車走行騒音の指向性を考慮した道路交通騒音の予測手法に関する研究, 騒音制御, 22巻2号, pp. 108~116 (1998)

3-P-25 低層遮音壁の種々の道路条件における効果*

大西 博文, 上坂 克巳, ○鉢嶺 清範(建設省土木研究所)

1. まえがき

都市内の一般道路では、沿道利用があるため遮音壁の設置が困難なことが多い。そこで、都市内における道路交通騒音の低減を図るため、低層遮音壁の試験施工や研究が行われている。しかし、これまでの研究^{1) 2) 3) 4) 5)}では、平面道路に低層遮音壁を単独で設置した場合の減音効果の検討に主眼が置かれたものが多い。ここでは、道路状況や他の対策の実施状況を加味した、低層遮音壁の騒音低減効果について検討を行った。

2. 調査方法

無響室において、図-1の横断面を有する1/16の縮尺模型を設置し、図-3のような様々な道路条件(沿道建物の有無及び高架併設道路の有無)及び各種吸音対策(排水性舗装、高架裏面吸音及び沿道建物吸音)の実施状況のもとで、低層遮音壁の減音効果を測定した。音源には2つの軸回転式の線音源を用い、これらを4車線道路の上下車線にそれぞれ低層遮音壁の車道側表面より3.75m、13.75mの位置、高さは0.3mに設定した。また、受音点位置はP1～P6の6点、測定対象周波数は、実物換算で125Hz～4kHzとし、1/3オクターブバンド分析を行った。

なお図-2に、高架裏面、沿道建物、低層遮音壁(以上A図)、舗装(B図)の吸音処理に用いた吸音材の吸音特性(実物換算)を示す。

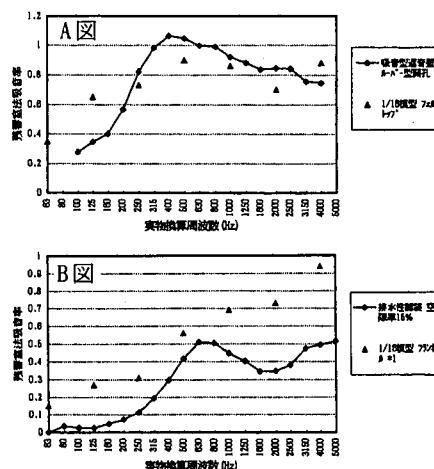
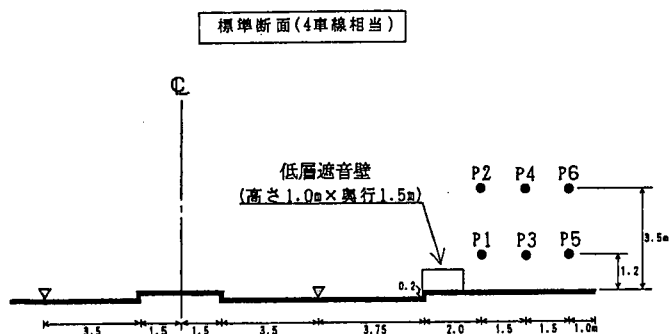


図-1 模型実験の道路断面形状と受音点位置 図-2 吸音材の吸音特性(実物換算)

3. 調査結果

各々の実験ケースにおいて、受音点P2およびP5での騒音レベル(L50)を図-3(各々上段、下段)に示した。L50の算出に当たっては、交通条件を、交通量片側1000台/時、速度60km/時、大型車混入率15%、道路交通騒音のスペクトルを文献⁶⁾の80km/時以下の場合に設定し、基本条件(通常舗装、沿道建物なし、高架道路なし)において、日本音響学会式⁷⁾よりL50(A特性)を算出した結果と整合するように、1/3オクターブバンド毎の補正を行った。図-3の適当な二つのケースを比較し、その差分を求めることによ

* Effect of Low Barrier on Road Traffic Noise Reduction
Hirofumi OHNISHI, Katsumi UESAKA and Kiyonori HACHIMINE
(Public Works Research Institute, Ministry of Construction)

実験ケース		a	b	c	d	e	f	g	h	i
騒音源 (自動車)	道路形状	遮音壁設置時	排水性舗装(車道)	排水性舗装(歩道)	植栽柵設置	植栽柵設置+ 排水性舗装(車道)	植栽柵設置+ 排水性舗装(歩道)	植栽柵反射	吸音材設置	植栽柵設置(中分帯)
A	なし	-71.0 -70.5	-69.3 -69.7	-68.3 -70.1	-71.3 -64.9	-69.5 -63.5	-69.5 -63.4			
B	建物	-72.6 -72.6	-71.0 -71.2	-70.8 -70.9	-72.2 -66.6	-70.3 -65.1	-70.3 -64.8	-72.4 -68.1	-72.0 -66.6	-71.4 -65.1
C	建物+高架	-75.6 -76.5	-73.8 -74.7	-73.2 -73.7	-75.0 -74.1	-73.2 -72.3	-72.9 -71.0			
D	建物+高架(吸音)	-74.0 -74.0	-71.9 -72.5	-71.6 -72.0	-73.2 -69.9	-71.4 -68.4	-71.3 -67.8	-70.7 -68.1	-70.8 -68.1	

注：図中の騒音源は歩車道境より上段：距離2.0m、高さ3.7m (P1)
下段：距離5.0m、高さ1.4m (P2)

図-3 各種実験ケースにおける受音点P2, P5での騒音レベル

り、各種対策の効果が計算できる。

ここで、低層遮音壁の設置効果について受音点P5において検討する。沿道建物がない場合(A-aとA-d、あるいはA-bとA-eの比較等)と沿道建物がある場合の減音効果(B-aとB-d、B-bとB-e等)は、両者とも6dB程度で同じであるが、沿道建物及び高架道路がある状況では、低層遮音壁の効果は、約2dB(C-aとC-d、C-bとC-e等)に減じる。ただし、高架裏面に吸音処理が施されれば、その効果は、約4dB(D-aとD-d、D-bとD-e等)に回復する。すなわち、高架裏面による反射音の影響が強く残っている状況では、低層遮音壁の効果は期待できないが、高架裏面に吸音板を設置すると低層遮音壁の背後において十分な効果を得ることができる。

また、低層遮音壁の植栽柵が吸音性か反射性かによる低減効果は、沿道建物がある場合、前者では約6dB(B-aとB-dの比較)、後者では約4dB(B-aとB-gの比較)と吸音性のほうが効果が大きい。これは植栽柵の側面、及び上面における吸音性が騒音低減効果に影響を与えるためであり、反射性の側面では吸音性のものに比べ低減効果がやや小さくなる。

5. まとめ

- (1)低層遮音壁の減音効果は、沿道建物の有無によらない。
- (2)高架併設道路においても、高架裏面を吸音することにより、低層遮音壁の効果を期待できる。
- (3)低層遮音壁を吸音処理することにより、減音効果を高めることができる。

今後は、有限長の低層遮音壁が断続して設置されている場合の騒音低減効果を検討する必要がある。

- 参考文献
- 1)矢野博夫,日高新人,朱 鎮朱,橋 秀樹,押野康夫,筑井啓介,「テストコースにおける自動車の走行騒音放射特性の検討(その2. 音圧測定における近傍音場の解析)」,日本音響学会講演論文集, P. 627-628(平成4年3月)
 - 2)筑井啓介,押野康夫,橋 秀樹,「実車を用いた遮音壁の回折減衰量に関する検討」,日本音響学会講演論文集, P. 687-688(平成8年3月)
 - 3)高村貴洋,渡辺義則,中島勝哉,「道路端に低い壁を設置することによる減音量の推定」,土木学会第51回年次学術講演会(平成8年9月)
 - 4)石田 稔,上坂克巳,鉢嶺清範,「低い遮音壁による減音効果」,日本音響学会講演論文集, P. 713-714(平成7年3月)
 - 5)石田 稔,大西博文,鉢嶺清範,「低い遮音壁の騒音低減効果」,日本音響学会講演論文集, P. 707-708(平成7年9月)
 - 6)「道路環境整備マニュアル」,(社)日本道路協会,(平成元年1月)
 - 7)曾根敏夫,香野俊一,岩瀬昭雄,「自動車走行騒音のパワーレベルとスペクトル」,日本音響学会誌50巻3号, P. 233-239(平成6年3月)

3—8—10

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柵タイプ)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、植栽柵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 $\alpha=20\%$ とした。低層遮音壁の設置ケースは図中のとおりであり、歩車道境界の植栽柵タイプ上面の吸音効果および植栽柵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 $\sigma=140kPa \cdot s/m^2$ 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柵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。

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

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

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

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 LA_{eq} 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 LA_{eq} ^{1)・2)}の差

θ : 評価点(受音点)から植栽柵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柵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

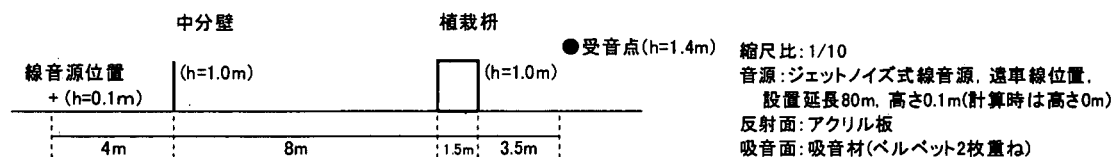


図-1a 模型実験における道路断面

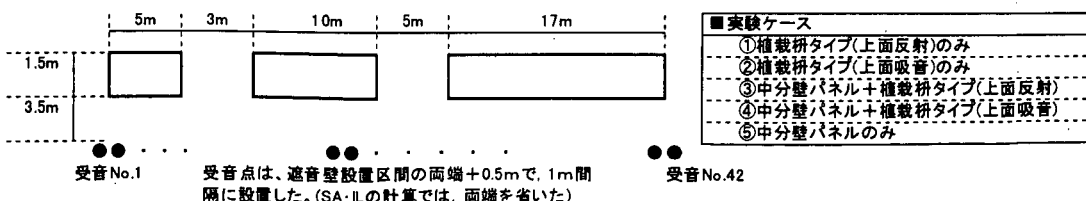


図-1b 植栽柵タイプ低層遮音壁および受音点の配置

* Sound Attenuation 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、植栽柵(上面反射)、植栽柵(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、 $SA \cdot IL$ の差は、0.5dB程度で非常によく一致している。なお、計算値($SA \cdot IL$)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、植栽柵(上面吸音)と植栽柵(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、 $SA \cdot IL$ 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、植栽柵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、 $SA \cdot IL$ は1dB程度大きくなることから分かる。

図-3bでは、植栽柵(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。植栽柵(吸音)+中分壁パネルでは、植栽柵(吸音)のみに比べ、 IL で約3~5dB、 $SA \cdot IL$ 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柵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。植栽柵(吸音)のみの場合の IL は、2~10dBの間で分布し、 $SA \cdot IL$ は5.7dBである。また、植栽柵(吸音)+中分壁パネルの場合には、植栽柵(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、 $SA \cdot IL$ 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 $SA \cdot IL$ 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、植栽柵の上面を反射性から吸音性にする、 $SA \cdot IL$ は、植栽柵のみ設置の場合で1.5dB程度、植栽柵(吸音)+中分壁パネルの場合で1.2dB程度大きい。さらに、植栽柵(吸音)より、植栽柵(吸音)+中分壁パネルのほうが、 $SA \cdot IL$ は2.7dB程度大きい。
- (3)遠車線+近車線に音源がある場合、植栽柵(吸音)のみの設置の場合、 $SA \cdot IL$ は約5.7dB、植栽柵(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)小林理化学研究所に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 上坂、大西、鉢嶺、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、鉢嶺、石川、高木、「種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究」、騒音制御(1999.春 掲載予定)

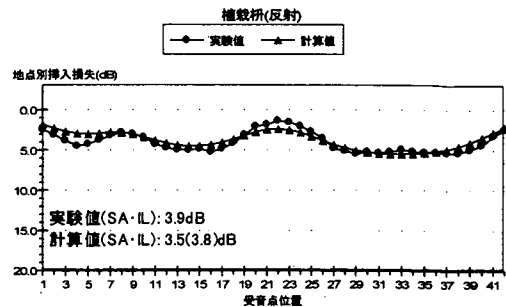


図-2a 植栽柵(上面反射)の実験値、計算値の比較

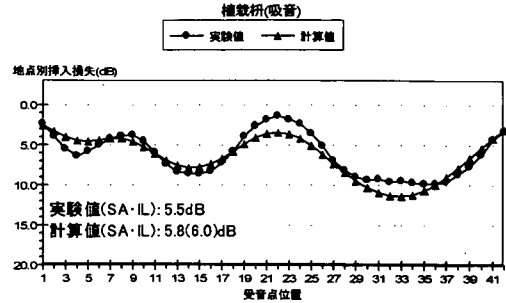


図-2b 植栽柵(上面吸音)の実験値、計算値の比較

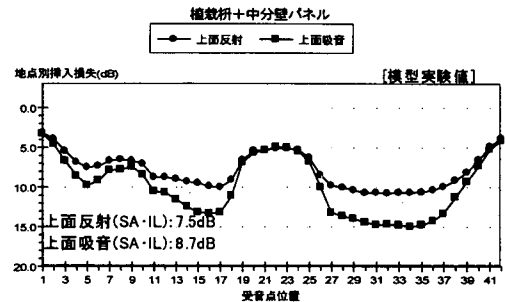


図-3a 植栽柵+中分パネルの上面反射、吸音の差

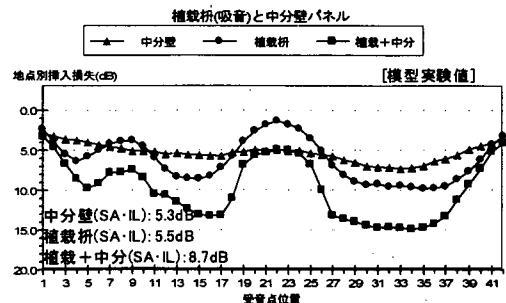


図-3b 植栽柵(上面吸音)+中分パネルの併設による効果

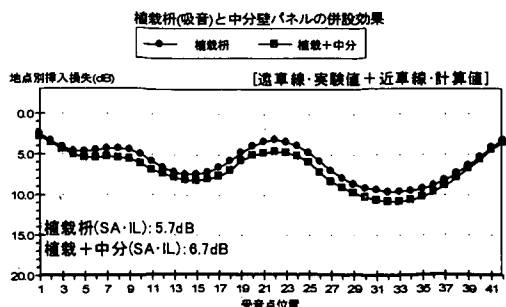


図-4 4車線道路の場合の減音効果