



土 木 研 究 所 資 料

第 707 号

遮音塀に関する基礎的研究

昭和46年12月

建設省土木研究所
道路部 交通環境研究室

目 次

ま え が き	1
1. 遮音塀に関する従来の研究	2
2. 遮音塀の実物実験	4
2.1 実験概要	4
2.2 遮音板の効果	4
2.3 遮音板の理論減衰値と実験値	4
3. 自動車音の周波数分析	10
3.1 走行速度による分布形状の推移	10
3.2 走行状態による分布形状の推移	10
3.3 一般交通の実態	11
4. 自動車騒音の指向性	12
4.1 横断面指向性	12
4.2 縦断面指向性	12
4.3 水平断面指向性	13
5. 自動車騒音の音源位置	14
5.1 走行音の地上高	14
5.2 機関音の地上高	14
6. 地面反射	15
7. 単音源と複数音源の効果	16
8. 遮音塀に備えるべき音響的特質	17
9. 簡略計算法	18
9.1 遮音塀による減衰値の簡略計算	18
9.2 受音点におけるレベルの求め方	19
あ と が き	21

遮音塀に関する基礎的研究

ま え が き

公害対策基本法第9条に基づく環境基準として「騒音に係る環境基準」が、昭和46年5月25日に閣議決定され、同年6月3日公布された。この環境基準では、騒音に係る一般の基準と併せて道路に面する地域の基準が定められている。

この環境基準に定められた基準値に対して、既存の幹線道路における騒音の実測値は10～15ホン(A)程度超過しており、いかにして環境基準に適合させるかということが、今後の道路建設および道路管理上、極めて重要な問題である。

道路交通騒音の対策としては、自動車構造の改善、道路構造の改良、都市再開発の推進、土地利用の規制、交通規制の実施、交通取締の強化等の施策の総合的推進が必要であり、これらの各種施策をいかに組合せて具体性のある解決策を見出すかということが今後の課題である。

これらの施策のうち、道路管理者のとるべき対策としては道路構造の改良であり、路側余裕幅の確保、植樹帯の設置、舗装路面の改良、道路構造自体の改良、遮音塀の設置等が挙げられる。これらの手法は単独ではその効果は薄く総合的な効果を検討する必要があるが、特に、高架、切土、掘割等の工法の採用および遮音塀の設置についてはかなりの効果が期待できる。しかし、前者については、地域、地形の条件および経済性の面から一般的に採用することが困難な点があるが、後者の遮音塀については、地方部の平地部、都市部の高架道路等において比較的採用しやすく、また設置費に対する減音効果も高いので、今後、既設、新設を問わず、道路の騒音対策としてかなり採用される傾向にある。

騒音対策として遮音塀を考える場合、塀周辺の音場特性、塀自体の音響的、力学的要素が問題となってくるが、本文では主に前者について、実物実験による基礎的な研究について述べ、これらの結果から遮音塀の設置についての簡略計算法を提案するものである。

1. 遮音塀に関する従来の研究

塀などの障壁の効果が騒音の低減にどの程度効果があるかを知るには、その障壁を回折して伝搬する音波の様相を知る必要がある。従来はもっぱら、電磁波における回折理論を応用した近似計算による計算図表が利用されてきている。

自由空間における半無限平面障壁による減衰値として、Kirchhoff の近似理論による図-1と、S. W. Redfearn の理論による図-2がある。

図は塀の高さを h 、音源 S から塀までの距離を a 、塀から受音点 P までの距離を b 、波長を λ とした場合に、図-1では、 $y = h \sqrt{2(a+b)/\lambda ab}$ によって減衰値が定まり、図-2では h/λ と角 α によって減衰値が定まるとしたものである。これらは、障壁以外の物体、例えば地面などについては考慮されていないが、地面による反射の影響は誤差範囲であると考えられている。

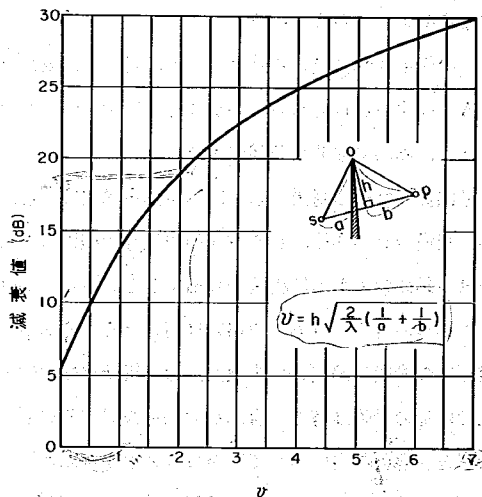


図-1 Kirchhoff の近似理論値

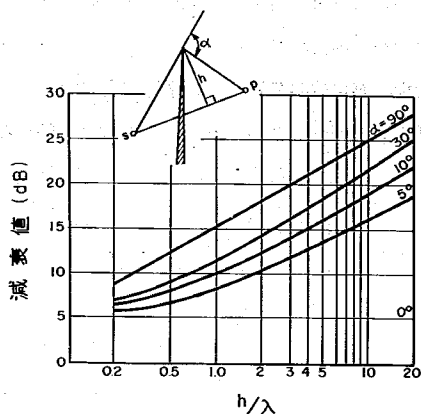


図-2 S. W. Redfearnの理論値

次に、音源、受音点ともに地上にある場合、すなわち地面反射を考慮したものとしてR. O. Fehr の表わした図-3がある。これは、 $N=2\delta/\lambda$ によって減衰値を

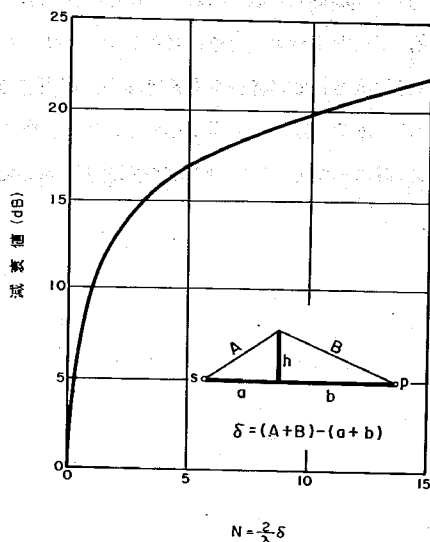


図-3 R. O. Fehr による計算値

求めることができるとしたものである。ここで、 δ は行路差 $(A+B) - (a+b)$ である。

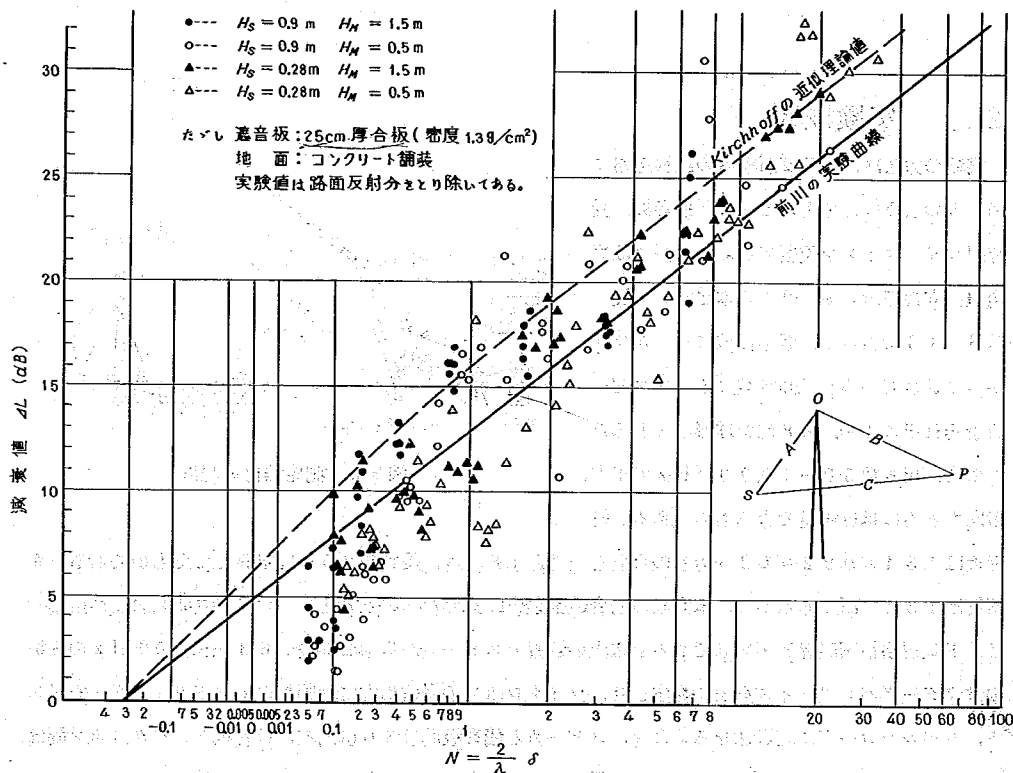


図-4 前川の実験式および土研の実験値

図-1のように1本の曲線で遮音効果を表わし、さらに近似を改善するため、図-3の方法と同様に変数 $v = 2N$ の関係で Fresnel zone 番号 N に変換して実験曲線を示したものが前川の実験曲線図-4である。図-4の横軸は $N > 1$ で対数、 $N < 1$ では実験曲線が一直線となるようにスケールを調整したものである。

この実験式は模型障壁により、室内で $5 \sim 40 \text{ KHz}$ の短音で得られたものであり、実物障壁、可聴周波数への適用の検討資料は現在1例をみるのみで充分とはいえない。したがって、この実験式が現実の道路の遮音壁にそのまま適用できるかの検証の意味で実物模型による実験を行なった。

2. 遮音板の実物実験

2.1 実験概要

実験の方法は、千葉支所構内の試験走路に図-5のように音源用スピーカ、遮音板、受音用マイクロホンを配置する。スピーカは完全無指向性球形スピーカ（日本ビクター製GB-1）であって、低中音域にロールフリーエッジスピーカを、高音域にホーンスピーカをそれぞれ4個、計8個を球形にまとめたもので、周波数50～10,000Hzで出力、指向性ともにほぼ満足できるものである。遮

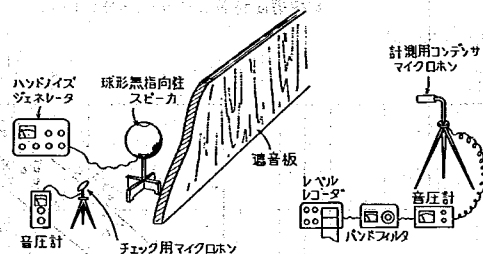


図-5 測定器材の配置

音板は 1.84×0.92 mで2.5 cm厚の合板を、高さ1.84 m、長さ約2.0 mに組み立てたものである。面密度は 1.3 g/cm^2 であるから、本実験の場合透過損失は充分なものである。マイクロホンおよび指示計はIEC規格精密騒音計相当品である。以上の装置でスピーカから中心周波数63～8,000 Hzの8種のオクターブバンドノイズを順に発生させ、マイクロホンの受信出力は前同様のバンドフィルターを通して、レベルレコーダに記録させる。なお、スピーカと遮音板間は3 mに固定、遮音板とマイクロホン間は、2.5, 5, 10, 20, 40, 60 mの6種、音源地上高は0.3 mおよび0.9 mの2種、マイクロホン地上高は0.5および1.5 mの2種とした。

2.2 遮音板の効果

測定結果を図-6～図-9に示す。図の縦横は音圧レベル、横軸は音源と受音点間の距離であり、測定値を実線で、前川の実験式による計算値を点線で、自由音場での理論減衰値を破線で示した。いずれも遮音板上端の音圧を基準とした相対値である。よって破線との差が遮音板による減衰分すなわち遮音板の効果である。

この結果、実測値と計算値とは、おおまかに対応しているが、概して減衰値の小さい範囲では計算値が小さく、減衰値の大きい範囲では計算値が大きくなっている。これは別ないい方をすれば、前川の実験式による計算値は、遮音板の効果が少ない場合は危険側に、逆に遮音板の効果が大きな場合には安全側となっているということである。

2.3 遮音板の理論減衰値と実験値

前述の前川の実験曲線図-4に示した○印等は、実験結果をプロットしたものである。この場合、地面反射による影響分は実測値から差し引いてある。

図-4に見るとおり、実験値のばらつきが大きく、明確な結論を下すわけにはいかないが、強いていうならば、

$N > 10$ ではKirchhoffの理論値に近く、

$0.4 < N < 10$ では前川の曲線とほぼ同等、

$N < 0.3$ では、両者をはるかに下まわっている。

このことは、前項で述べた関係とよく符合する。一般に遮音壁を計画する場合にはN数は少なくとも0.5以上であろうから、本結果からみて、前川の実験式を用いることは妥当であるといえることができる。

なお、図の曲線を数式化するならば、減衰値 ΔL は、つぎのようになる。

$$\Delta L = 10 \log_{10} N + 13 \quad (1 \leq N)$$

$$\Delta L = 5 \log_{10} N + 13 \quad (0.1 \leq N < 1)$$

$$\Delta L = 2 \log_{10} N + 10 \quad (0.01 \leq N < 0.1)$$

$$\Delta L = 5 \quad (\leftarrow N \leq 0.01 \rightarrow) (N=0)$$

また、上の四つの領域を1個の式で近似するならば下式となる。

$$\Delta L = 10 \log_{10} \left(0.2 + \frac{2\delta}{\lambda} \right) + 12$$

$$\text{ただし } N > -0.14$$

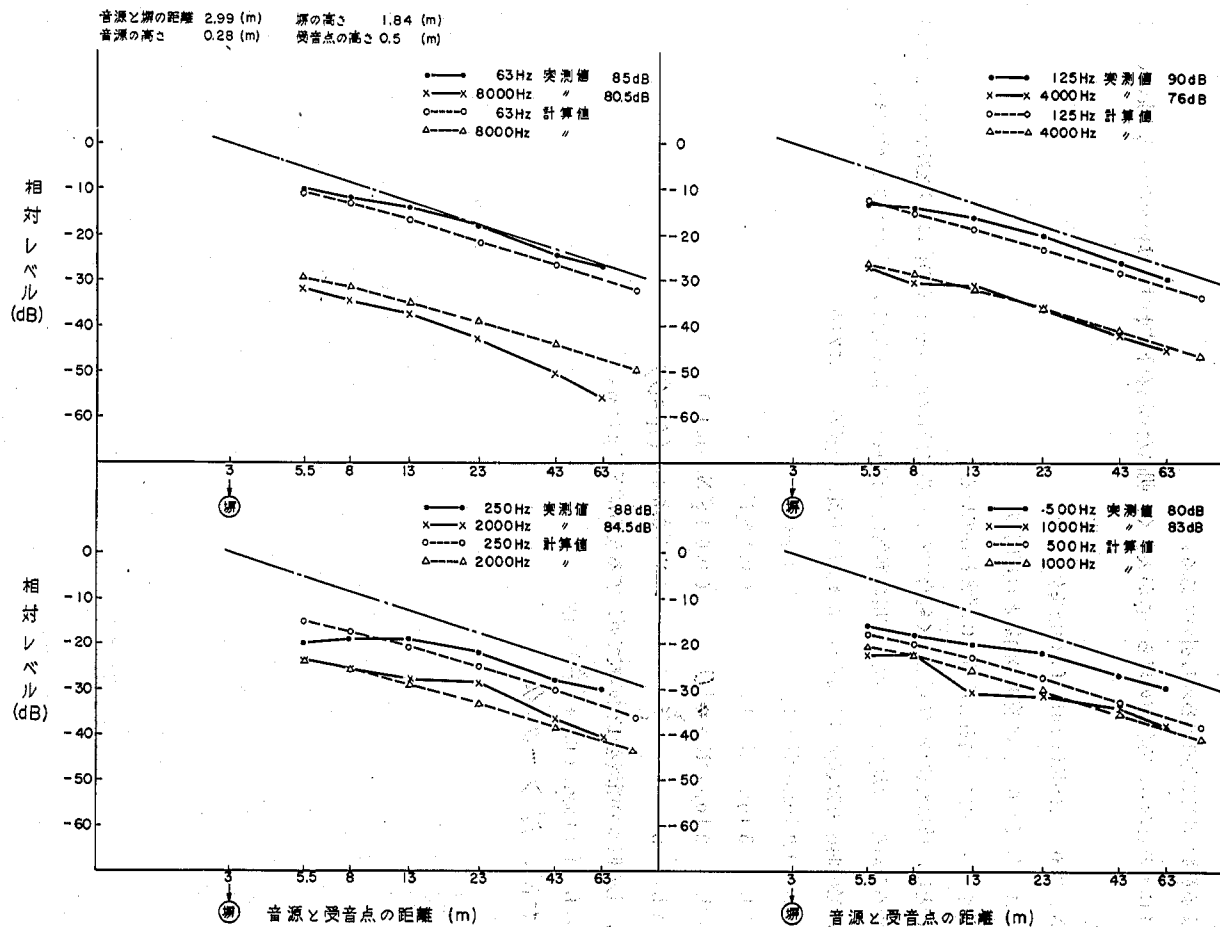


図-6 遮音板による減衰 (音源高 0.28 m, 受音点高 0.5 m)

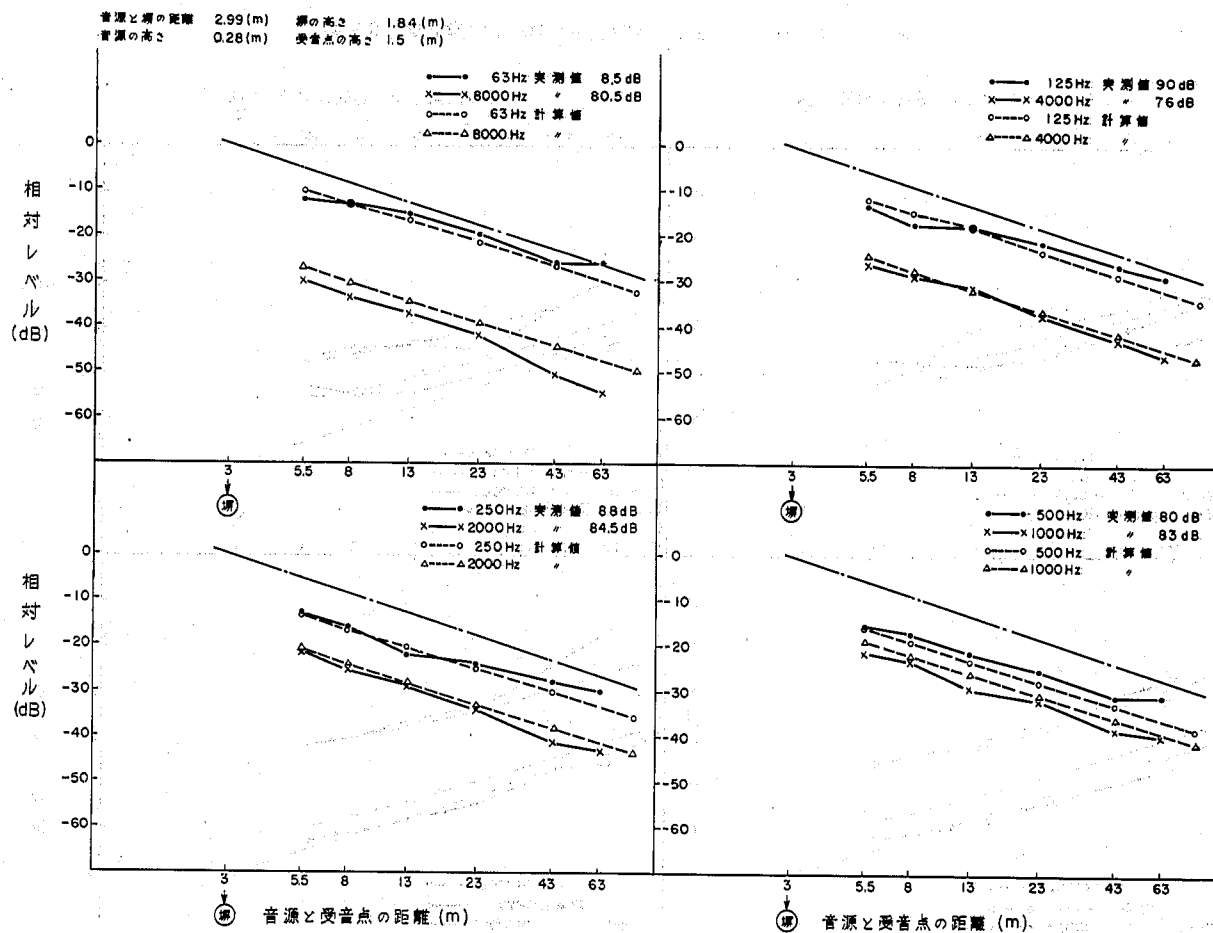


図-7 遮音板による減衰 (音源高 0.28 m, 受音点高 1.5 m)

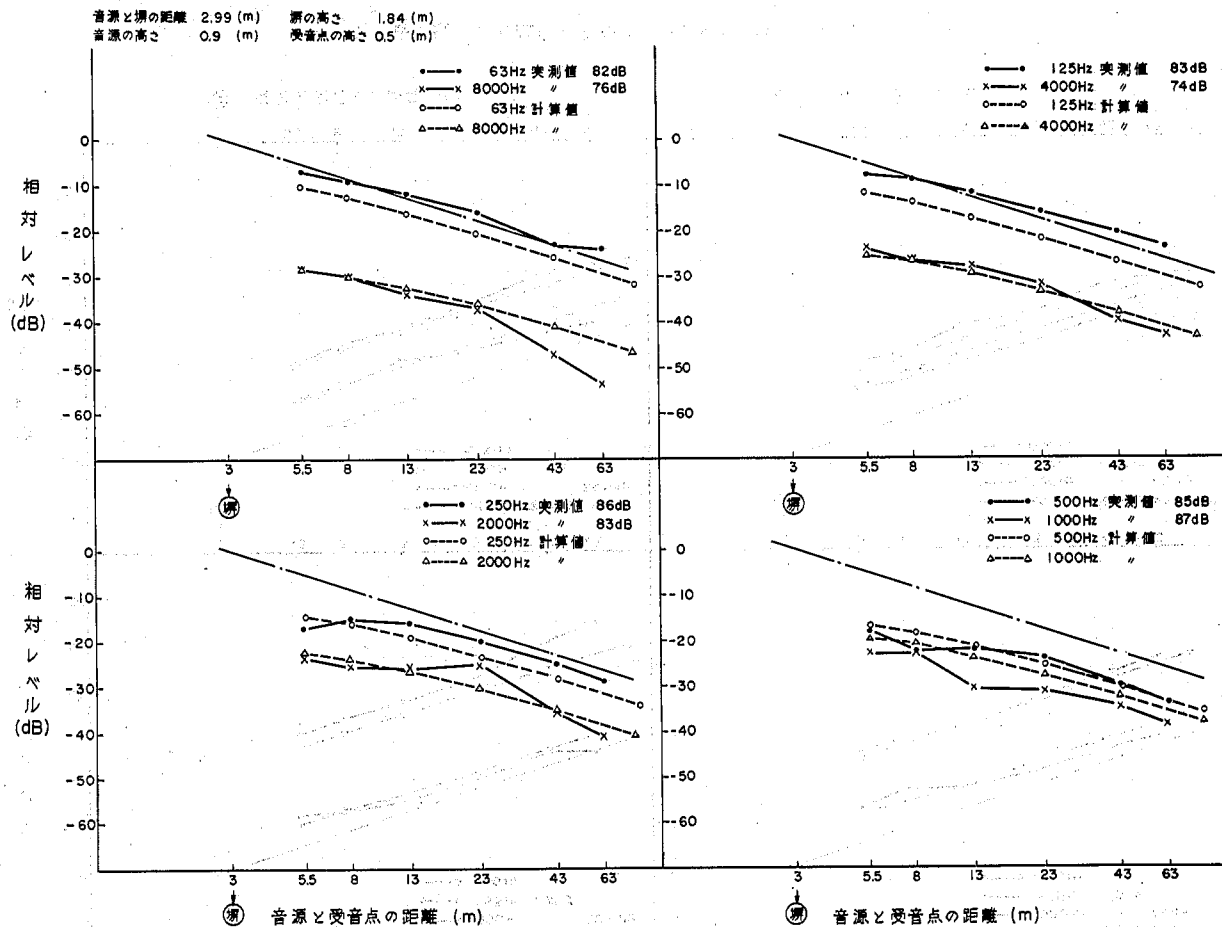


図-8 遮音板による減衰 (音源高 0.9 m, 受音点高 0.5 m.)

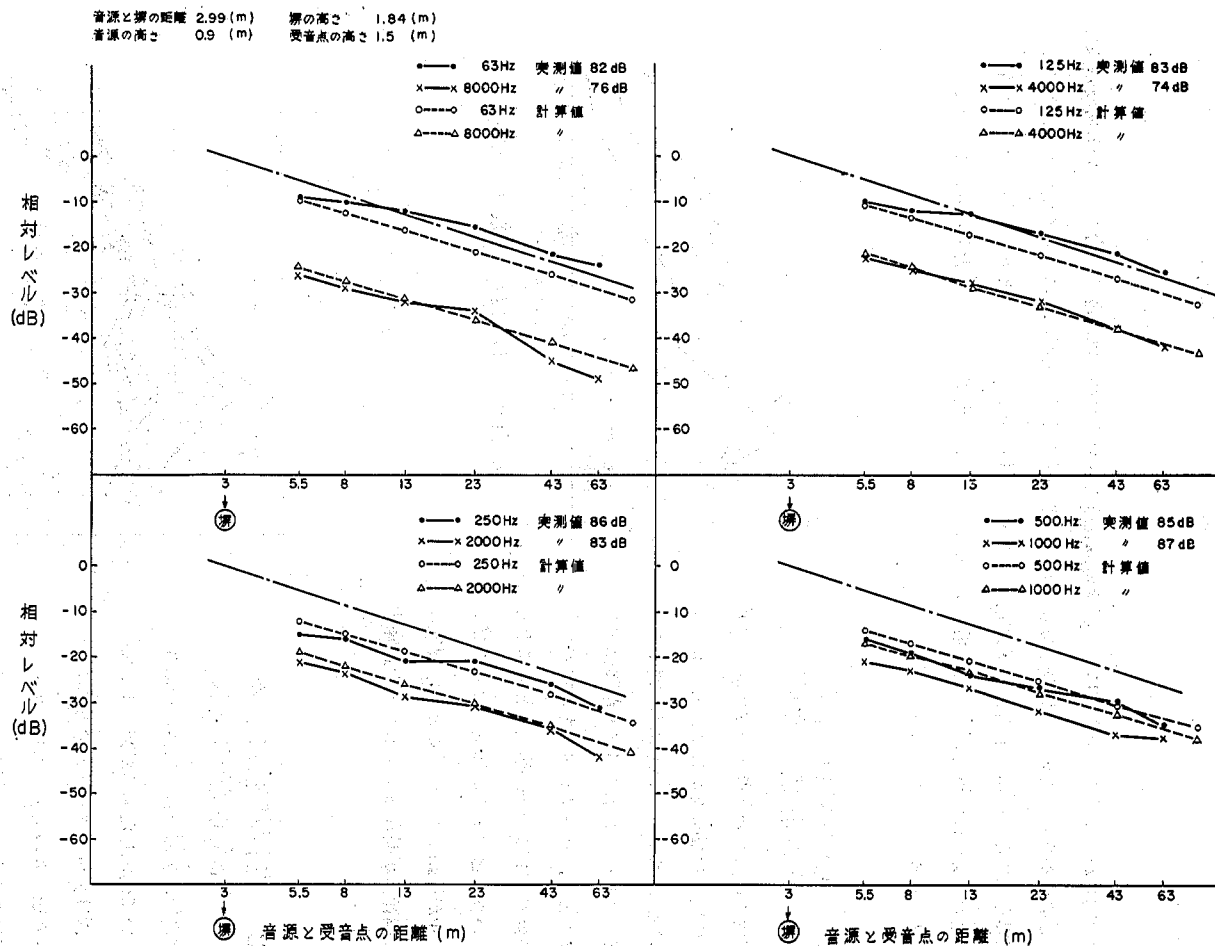


図-9 遮音板による減衰 (音源高 0.9 m, 受音点高 1.5 m)

3. 自動車音の周波数分析

前節で明らかなように、遮音壁による騒音の減衰値を求めるためには、騒音に含まれている周波数成分比を知る必要がある。この周波数の分布形状は、車種、車速、運転状態などによって変化する。これらによる相異を求めるために、千葉文所試験走路において実車の実験を行なうとともに、現場での実態を調査した。なお、実験に使用した車両は、乗用車、小型トラック、大型トラック、大型バスの4車種であり、速度は20～80 Km/hである。

3.1 走行速度による分布形状の推移

速度変化による分布形状の変化は、全車種ともに同一な傾向を示した。図-10はその典型的な例である。特徴は、速度によってピークレベルを示すバンドが移動するということと、ピークレベルを示すバンド以外の全バンドは一様に速度とともに上昇するという点である。速度によってピークレベルが移動するということは、速度によって遮音量が異なってくることを意味する。

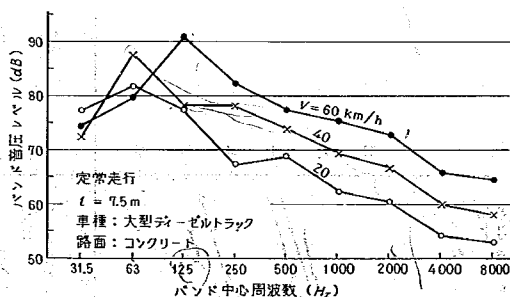


図-10 走行速度と周波数成分の推移

3.2 走行状態による分布形状の推移

定常走行、加速走行、情性走行の3状態において例示したものが図-11である。図は大型トラックと乗用車について60 Km/hのものであり、小型トラックはこの中間位に相当している。このように大型車では、アクセルペダルを踏みこむことにより、63～125 Hzのバンドレベルが大幅に上昇する。これは排気音によることが明らかであ

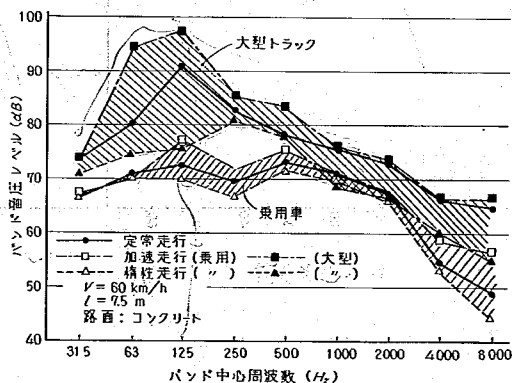


図-11 走行方法と周波数成分

るから、消音器を完全にすることによって、自動車騒音を改善できる余地があることを示し、登坂部では遮音量の得にくい低周波数の勢力が増大することを示す。

次に60 Km/hの定常走行音は、大型トラックと小型トラックは12.5 Hzにピークを持つ右下りの分布形となっているが、乗用車および大馬力のディーゼルエンジンを積んだ高速バスでは、63~2000 Hzではほぼ平坦な分布形を示している。

3.3 一般交通の実態

実験の結果から路側における一般交通騒音の実態は、車種構成、通過速度、縦断勾配から推計することができるが、念のため実態調査の結果について述べる。

測定場所は滋賀県水口町の国道1号線で、測定部を含む前後は、アスファルト舗装、2車線、勾配0%の直線で、両側は水田（稲なし）となっている。測定点の位置は、地上約1.5 mで、路肩部（中央線より4 m）、路肩から10 m、20 mの3地点である。この3点において、それぞれ約3分間録音を行ない、実験室に持ち帰った録音テープをくり返し再生することにより得られたバンドごとの連続記録から求めた中央値をプロットしたのが図-12(a)である。図の分布形状は、実験結果から予想されたものとなっている。そしてこの形状を簡略化したのが同図(b)である。以上のようなわけで郊外の平坦道路における騒音の周波数は図-12(b)のようになっているものとしてよい。ただし、先に述べたように、車種構成、走行条件、道路条件等によっては異なってくる。ちなみに他の実測例では図のような台形ではなく、山形（図-11のような）となることもあり、過去の遮音計算には、山形として取り扱った例が多い。

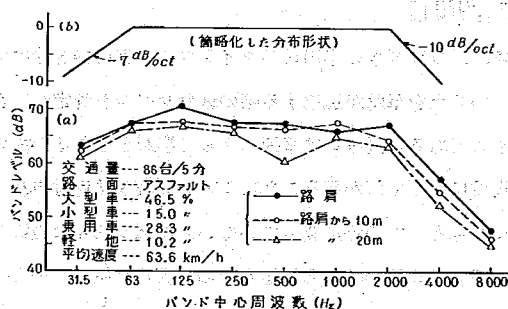


図-12 幹線道路郊外部定常走行時周波数成分

4. 自動車騒音の指向性

自動車から放射される騒音の強さは、方向によって差があるものかどうか。前述の遮音壁を含めて、音響計算には通常音源に方向性はない、すなわち無指向性音源としてとり扱われている。遮音壁の減衰値は無指向性音源によって求めたものであるから、もしも自動車騒音が極端な指向性を示すようなものであるならば、減衰計算は成立たなくなる。この点について実験を行なった結果を以下に述べる。

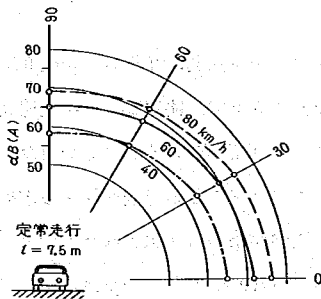


図-13・a 横断面速度別指向特性(乗用車)

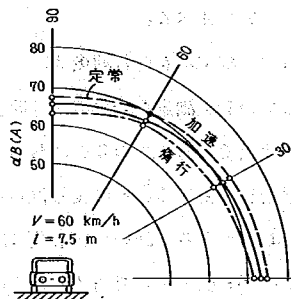


図-13・b 横断面、走行別指向特性(小型トラック)

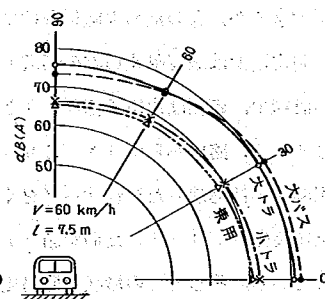


図-13・c 横断面指向性特性(定常走行)

4.1 横断面指向性

図-13は試験走路に、半径8mの半円状のマイクロホン支持枠を設けて、任意の点にマイクロホンを固定できるようにし、中心点を車両が通過する際の騒音レベルを測定し、さらに左右両側の値を平均して1/4円にまとめたものである。同図aは車速によって形がどうなるかを知るための例として掲げたものである。このように速度によって形が変わることはない。同図bは走行方法によってはどうかを知るためのものであるが、同様に全体としての形は変っていない。同図cは4車種の定常走行時のものであるが、この場合は車種によって多少の相異が認められるものの、大差は生じていない。以上から横断面上のレベルは、車種、速度、走行方法などによる形の変化はないものとしてよい。ただし側方方向(図の0°方向)と直上方向(同90°方向)とでは明らかなレベル差があり、その差は5~10dB(A)である。このように差異が生ずる理由として、自動車は発音体(エンジン、タイヤなど)の上に車体が覆いかぶさった形にできているからであるといえよう。

4.2 縦断面指向性

図-14は縦断面すなわち車両の左右中心線および鉛直線を含む面内で測定したレベルを、車両中心点

から12 mの距離に統一換算した値である。先の横断面の場合と同様に、上方がつぶれた形となっているが、車種によって明瞭な相異を生じている。つまり、キャブオーバー型では、直上軸(90°)をはさんで前後対称形であるが、フロントエンジン・ボンネット型では前方に、またリアエンジン型では後方に張り出した形となっている。

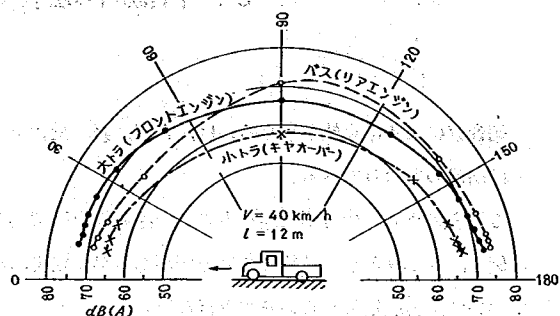


図-14 垂直断面指向特性(定常走行)

4.3 水平断面指向性

図-15は地上1.2 mの高さで、全周にわたる測定値を左右平均して半円に示したものである(平均前は排気管の開口方向のレベルが高い)。前掲の図-13, 14からもおよそそのところは想定できる形であるが、ハート形に近い形となるのが特徴である。

以上をまとめてみると、自動車の騒音レベルは、計る方向によって5~10 dBの違いがあること、一般に測定されているところの、地上1~1.5 mの側方レベルは全体からみる

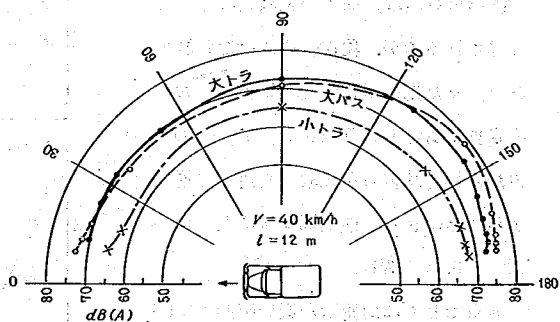


図-15 水平断面指向特性(定常走行)

とやや大き目のものであること、したがって側方レベルから計算されたパワーレベルは大き目(安全側)であることなどが判る。

遮音塀との関係からいうと、上方に潰れた形となっていることからして、塀上の音圧分布は塀上端から上方に離れるに従って減少するものと考えられるから、前述の遮音塀による減衰値は、そのまま適用できる。

5. 自動車騒音の音源位置

遮音壁による減衰値を求めるには、音源、壁、受音点の幾何学的な位置関係を明確にする必要があることは前述のとおりである。

これらのうち、最も不明瞭なものが音源の地上高である。現在、わが国では地上1 mとして計算している例と、0.3 mとして計算している例があるが、定説はない。したがって、ここでは、自動車の音源位置について、実験結果からの考察を行なう。

5.1 走行音の地上高

壁の減衰値は、前川の実験式によって計算されるのが、現在一般に行なわれており、また先に示した実験結果も、およそ妥当であるという結論を得ているので、実測された減衰値を実験式を用いて逆算することにより、地上高を求めたのが図-16.aである。

各車両ともに周波数が低い範囲(31.5~125Hz)で音源位置は高く1 m以上、中音部(250~2,000Hz)で0.2 m以下、そして高音部(4,000Hz以上)で0.3~0.8 mとなっている。

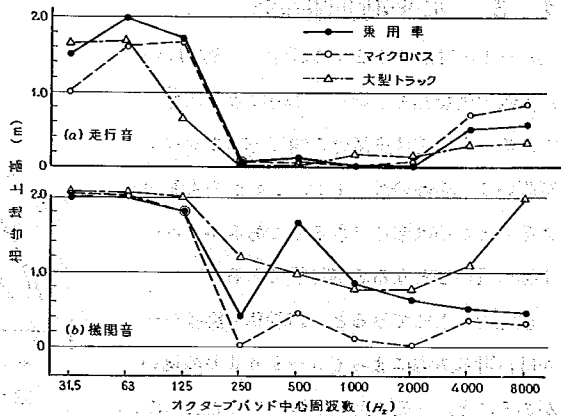


図-16 周波数と相当地上高の関係

($V=40, 50, 60$)

5.2 機関音の地上高

次に車両を停止させ、エンジンを50 km/h走行に相当する回転数にクラブカシしてエンジンおよび排気音の地上高を前同様にして求めたのが図-16.bである。走行音に類似した形となっているが、中音部の値が0~1.8 mというふうに、車種によって大きく異なったものとなっている。したがって中音部の地上高は一口にいうことはできないが、主に問題となる大型車では約0.8 mである。また車両の型式別に見るとボンネット型では高く、アンダフロア型では低くなっているとみることができる。

以上のことから、一般に問題とする周波数250~2,000Hzにおいて、走行音は0.1 m、機関音は0.8 mとしてよいこととなる。この両者の使いわけ、あるいは取り合わせは、通行車両の運転状況によって定めなければならないから、非常にややこしく、定常走行区間では0.1 m、停止、発進をくり返す交差点のようなどころでは0.8 m、そして、速度が低下し、ギヤチェンジを行なうような急坂路では0.1~0.8 mの間で選定しなければならない。

6. 地 面 反 射

前述のごとく、地面反射による値の変動は誤差範囲であるとして、無視する例も見られるのであるが、比較的精密な測定を行なった場合、明らかに地面反射の影響が現われてくる。原理的には受音点Pに対する鏡像の音圧分を足してやることであるから、減衰値としては小さくなるわけである。

減衰値の減少分は、受音点が地面に近いほど大きく、地面反射率が大きいほど大きくなる。一般に地面反射率は100%として取扱われており、受音点の地上高0mで減少分の最大値は3dBである。

7. 単音源と複数音源の効果

これまでの事柄は、すべて1個の音源に対するものであったが、現実には車線上に自動車すなわち音源が数多く配列されている。したがって、1個の音源の場合の数値をそのまま複数音源の場合に適用してよいものかどうか、問題である。

このことについての1例を図-17に示した。受音点の音圧は、直前に位置する車両だけによって定まるものではなく、直前位置の前後車線方向 6ℓ の範囲に存在する車両がすべて関与する。そのとき直前の車両に対する

δ と、前後に位置する車両の δ は当然異なったものとなり、直前の車両1台分の減衰値をさらに図-17のように修正する必要がある。修正すべき値は塀に近いほど大きく（図において $\ell=20^m$ で2.5dB）、塀から離れるにしたがって小さくなる。（同 $\ell=100^m$ で0.6dB）。

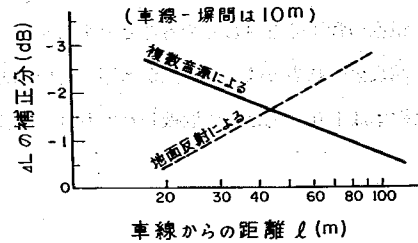


図-17 補正値の傾向

8. 遮音壁に備えるべき音響的特性

遮音壁を設計する際には音響的性質とともに構造物としての力学的性質が問題であるが、ここでは遮音の目的を達するために必要な条件について述べる。

遮音壁設置による遮音量は、回折による減衰値と、壁体を音が通過するときを生ずる減衰値との和であるから、壁体の透過による減衰値すなわち透過損失TLが大きいほどよいことになる。しかし、あまり大きくすることは、費用その他の点で問題を生ずるので、通常は、透過損失の値を目標値よりも5 dB位だけ大き目($TL > \Delta L + 5$)に選んでいる。この結果、壁体の透過による誤差を1 dB程度におさえることができる。

図-18は周波数とTLの関係を表す壁体の単位面積当り重量別に示したものである。

また、実用的には遮音効果の近似式としては、次式が用いられている。

$$[TL = 13 + 14.5 \log_{10} m \quad (\text{dB})]$$

$$\text{ただし、} TL = 18 \log_{10} mf - 43$$

TL = 透過損失 (dB)

m = 材料の面密度 (kg/m^2)

つぎに壁面の吸音性については、吸音処理を施した壁では減衰値はKirchhoffの理論値よりも大きく、吸音処理をしていない壁では、同理論値よりも小さい、といわれている。先の実験は吸音処理を施さない壁について行なわれたものである。

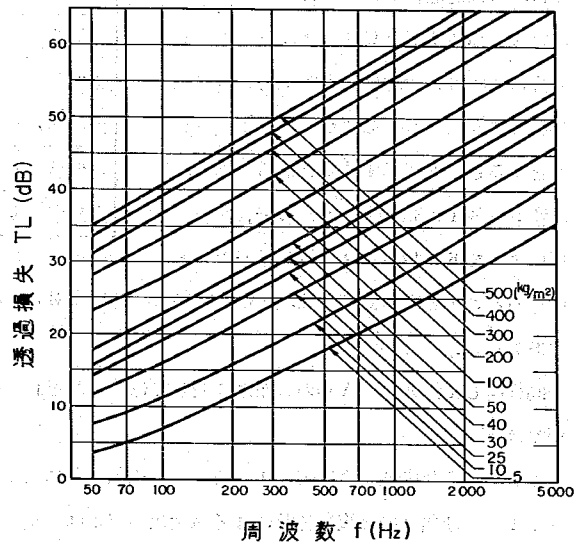


図-18 質量法則による透過損失(ランダム入射)

9. 簡 略 計 算 法

9.1 遮音塀による減衰値の簡略計算

(1) 回折による減衰値は、前述の次式で求める。

$$\Delta L = 10 \log_{10} \left(0.2 + \frac{2\delta}{\lambda} \right) + 12$$

(2) 周波数は、道路の性格、交通状況などを勘案して、表-1に示すような1個の周波数で代表させる。

表-1 提案する代表周波数及び音源の地上高

理由は、図-19において周波数分布形状が、例えばA(a)に属するものを考えるならば、A(a)を騒音レベルA特性(B曲線)によって荷重するとC曲線となり、これをさらに $\delta = 0.5$ の関係を有する遮音塀の減衰特性すなわちD₁の曲線によって減音したとすると、Eで示す曲線となる。結局、騒音レベル103.5dB(A)の騒音が遮音塀によって87dB(A)に減音されたこと

区 分	代表周波数	音源高さ
交差部	400 Hz	0.8 m
街路部 (V=45 km/h)	600	0.4
登坂部 (V<40 ")	400	0.6
登坂部 (V>40 ")	600	0.4
郊外部 (V<60 ")	600	0.2
郊外部 (V>60 ")	800	0.2

になる。このときの減衰値は、 $103.5 - 87 = 16.5$ dB(A)であり、これは800Hzの減衰値と同じである。

同様にして、A(b)、A(c)の分布形に対しては、それぞれ600Hz、400Hzをもって代表させることができる。

(3) 音源の地上高は表-1による。理由は5.による。

(4) 地面反射と複数音源による減衰値の修正は、両側を合わせて一律に-3dBとする。

理由は図-17のように、地面反射の修正値は塀からの距離が大きくなるに従って大きくなり、最大3dBとなる。これに対し複数音源による修正値は、塀に近いほど大きく、最大が3dBであるから、両者を加えると距離とは無関係に、約3dBの修正が必要となるからである。

以上から最終的に得られる減衰値 ΔL_T は、次式となる。

$$\Delta L_T = 10 \log_{10} \left(0.2 + \frac{2\delta}{\lambda} \right) + 9$$

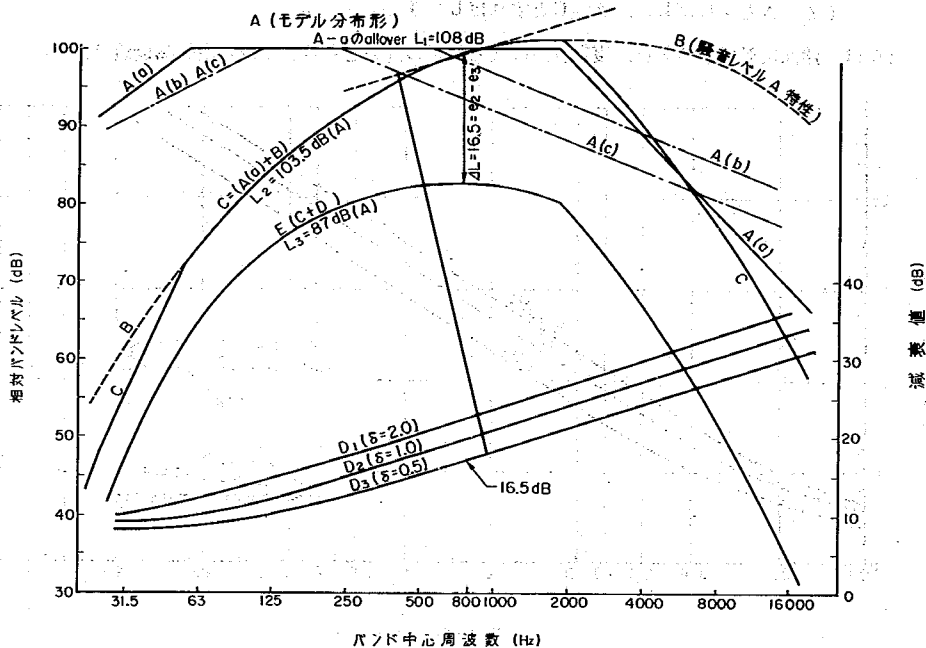


図-19 遮音壁によるバンドレベルの推移

9.2 受音点におけるレベル L の求め方

- (1) 塀上の点0における騒音レベル L_0 が判明している場合は、図-4の位置関係において

$$L = (L_0 - 10 \log_{10} \frac{C}{A}) - \Delta L_r$$

- (2) 塀がない時の受音点Pにおける騒音レベルが L' であるならば、

$$L = L' - \Delta L_r$$

- (3) L_0 、 L' がともに不明の場合は、次式によって求める。

$$L_0 \text{ or } L' = \text{PWL} - 33 + 10 \log_{10} \frac{N}{\ell} - 10 \log_{10} V$$

ただし、

N = 交通量 (台/時)

V = 平均速度 (km/h)

PWL = 車両1台ごとのパワーレベル = $0.2V + C$

(C は、大型車94, 小型車87, 常用車84とする)

ℓ = 音源からの距離 (m)

($\ell=A$ とすれば L_o 、 $\ell=C$ とすれば L')

図-20は、路面反射による修正、複数音源による修正の両方を考慮した後の最終減衰値である。

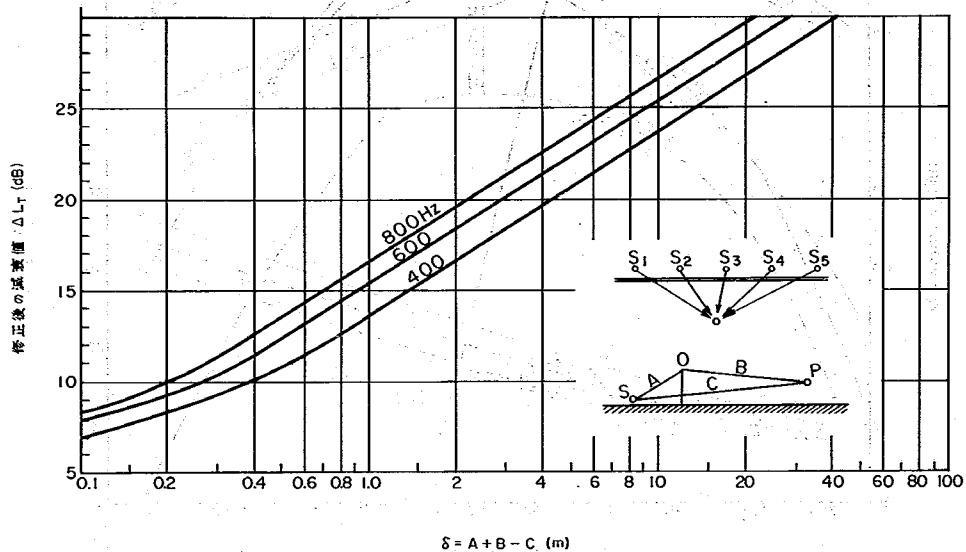


図-20 道路騒音の塀による減衰値

あ と が き

本報文は、遮音塀の主として音響的特性について述べ、現場において、簡便に塀による減音量を求める手法を提案したものである。

塀音塀については、音響的には材料の吸音効果、工学的には構造、工法等が今後問題となろう。これらについては、今後、実験室における材料試験、あるいは現場における施工例等を集積して、設計基準案作成のための試験研究を進める必要がある。

遮音塀に関する基礎的研究

土研資料第707号

昭46.12(1971)

キーワード：遮音塀，自動車騒音

要 旨

遮音塀についての実験結果から塀の減音効果，自動車の周波数分析，自動車騒音の指向性，音源位置等の音響的特性についてとりまとめ，遮音塀による減衰値の簡易計算法を提案した。

郵便はがき

七円切手を
はって下さ

2 8 0 - □ □

建設省土木研究所
交通環境研究室 御中

千葉県千葉市穴川
四丁目十二番五二号

N0003

N0003

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 707 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印

