

道路遮音壁先端に設置する騒音低減装置の開発

庄野 豊*・吉田幸信**・山本貢平***

高速道路沿道における音環境改善のために、新しいタイプの遮音壁を開発した。この遮音壁は壁先端部にノイズリデューサーと呼ぶ騒音低減装置を付加することによって、従来の遮音壁よりも高い減音効果を得ようとするものである。縮尺模型実験とフルスケールモデル実験によって、ノイズリデューサーの形状、サイズ、構造を検討した。このノイズリデューサーを高速道路における従来型遮音壁に付加することで、道路交通騒音を2dB~3dB低減できる結果が得られた。

Key Words: noise barrier, diffraction, road traffic noise, absorptive device

1. はじめに

高速道路等における交通騒音からの沿道生活環境保全のため、道路沿いに遮音壁がしばしば設置されてきた。しかしながら近年、通過交通量の増加とりわけ大型車両台数の増大から、騒音値が高くなる傾向が見られ、これに伴い既設の遮音壁の嵩上げ等による対応が迫られている。ところが嵩上げをした場合、沿道住宅等に対して日照阻害や電波障害が生じたり、また走行車に対しては眺望を悪化させるほか、景観に圧迫感をもたらす恐れがある。現地状況如何によってはこの種の対応には限界がある。

このような事態への対応として筆者らは、壁を高くすることなく遮音効果が得られ、しかも走行景観上ドライバーに対して違和感を与えないような意匠的にも優れた新たな騒音低減装置（以下ノイズリデューサーと呼ぶ）の研究開発を進めてきた。ノイズリデューサーは、このような目的のもとに開発された新技術で、遮音壁の上端に設置する音響装置である。

この装置の研究開発は理論的解析の限界を考慮し、縮尺模型実験や実物大のプロトタイプによる実験によって実証的に進めた。その結果、騒音対策のみならず景観対策や緑化機能を兼ねそなえた新しい形状の装置の開発に至ることができた。さらに実際の高速道路への試験施工を行い、この装置が騒音対策上有効であることが確認された。

本論文はこれまでの一連の研究開発成果を総括的にとりまとめ、報告するものである。

2. ノイズリデューサーの理論的背景と模型実験

(1) 理論的背景

遮音壁による騒音対策とは、騒音源を衝立状の壁により遮蔽することによって、沿道生活環境などにおける騒音を低減させることである。その低減効果は、一般に回折行路差と音の周波数で決まるフレネル数（回折行路差を半波長で除した値）によって、ほぼ一義的に関係付けられている¹⁾。さらに、障壁の上部先端に吸音性の物体を設置すれば、背後の音場での音圧レベルをより一層低減できることが知られている²⁾。ノイズリデューサーは、この原理を遮音壁に応用することにより、遮音壁の大きな嵩上げを伴うことなく、嵩上げによる或いはそれ以上の道路騒音の低減を図ろうとするものである。

この理論的な検討は、例えば藤原の研究³⁾にみられる。藤原は半無限障壁が先端に反射性円筒状エッジを持つ条件でのJ. B. Kellerによる回折理論解⁴⁾に注目して、円筒エッジが吸音性となる場合を検討した。しかし、吸音性円筒を持つ遮音壁は解析的には非常に複雑であり、藤原はこれを完全吸音という特殊な条件を与えて近似解を求めている。ところが、この境界条件は現実には達成の困難な特殊な設定であったため、実験値との対応は必ずしも十分ではなく、そのため数値計算による定性的議論に止まっている。

そこで筆者らは、現時点における理論的解析の限界を考慮し、実験を基本とした検討による方が妥当な結論に至るであろうと判断し、模型実験や現地実験による結果の解析により実証的に研究を進めていくこととした。

(2) 縮尺模型実験の概要

研究開発は、まず縮尺模型実験を行って、ノイズリデューサーの最適な幾何形状、基本構造及びサイズ等を定めることから始めた。

模型実験は、実験用無響室の広さの制約及び相似則等

*正会員 (財) 道路施設協会 管理第一部
(〒107 東京都港区南青山1-1-1, 新青山ビル東館)

**JH 日本道路公団 福岡管理局 技術部

*** (財) 小林理学研究所 騒音振動第4研究室

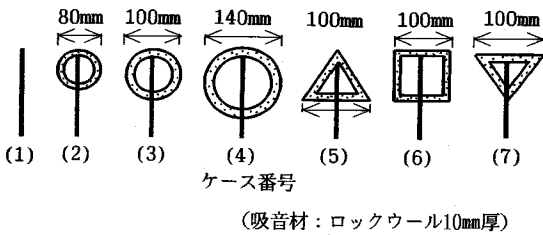


図-1 1/5縮尺模型実験における主な実験ケース

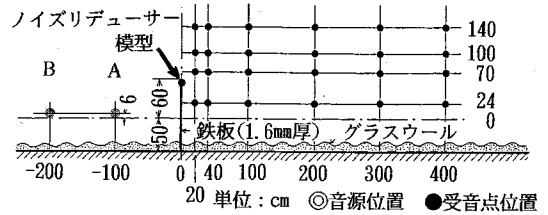


図-2 縮尺模型実験の音源、受音点配置

を考慮して縮尺比 1/5 を想定し、遮音壁の高さは 60cm (実物換算で高さ 3m の壁) を基本として実施した。実験では、厚みのない障壁を基準とし、断面形状や構造が異なっても壁先端が同一の高さとなるような種々のケースを考えた。図-1 に 7 種類の代表的な実験ケースを示す。実験ケースの内、ケース 1 は基準となる通常型遮音壁、ケース 2~4 は断面が円筒形で外径がそれぞれ、8cm, 10cm, 14cm (実物換算で 40cm, 50cm, 70cm) の装置である。また、ケース 5~7 は断面が三角形、矩形、逆三角形の装置で一辺の長さが 10cm である。遮音壁模型は厚さ 1.6mm の鉄板で製作し、ノイズリデューサー模型は密度 150kg/m³ のロックウールを加工して製作した。

実験では音源に円筒チューブを取り付けたドライバユニット (スピーカ) を用い、試験音として、継続時間 8 msec のトーンバーストを放射した。実験周波数は道路交通騒音の主要帯域から 250Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz を選定した。実験で実際に発生させたのはこれらの 5 倍の 1.25kHz, 2.5kHz, 5kHz, 10kHz である。音源から放射された試験音は、遮音壁背後に設置したマイクロホン系列で検出した。マイクロホン出力はレベル記録紙に書かせ、遮音壁上端からの回折波と実験室周辺からの不必要な反射波の区別を行い、回折波のみの成分を読み取った。

実験配置を図-2 に示す。音源は地面 (床からの高さが 50cm の平面を仮想地面と考える) からの高さ 6cm (実物換算 0.3m)、遮音壁からの距離を 100cm と 200cm (実物換算で 5m, 10m) の 2 通りとした。一方、受音点は地面からの高さ 24cm, 70cm, 100cm, 140cm (実物換算で 1.2m, 3.5m, 5m, 7m)、遮音壁からの水平距離が 20cm, 40cm, 100cm, 200cm, 300cm, 400cm (実物換算で 1m, 2m, 5m, 10m, 15m, 20m) の各場所とした。なお、実験室床面からの不必要な反射の影響を避けるため、吸音材 (グラスウール) を床面上に敷き詰めた。

実験結果は、壁が存在するときの音圧レベル測定値と、逆自乗則から求められる自由空間中の同一距離における音圧レベル値の差で定義される減音量で評価を行った。

(3) 縮尺模型実験の結果

実験結果からは、全ての試験体に対して基準とした従

来型遮音壁 (ケース 1: 直壁) を上回る減音効果が認められ、藤原らの報告を実証する結果が得られた。従来型遮音壁に比べて、試験体付きの遮音壁が騒音低減効果に優れていることを示すために、減音量とフレネル数 N の関係を調べた。図-3 は、今回の試験体の中で減音効果の優れた外径 10cm の円筒ケースの結果である。図中の実線は、遮音壁設計に広く使われている前川のチャート¹⁾であり、点線は Fresnel-Kirchhoff の近似解²⁾である。両者の違いは、前川のチャートが反射性障壁に対応するのに対して、Fresnel-Kirchhoff の近似解は吸音性障壁に対応することである。いずれもフレネル数が正と負 (正は受音点が壁の影部にある条件、負は受音点から音源を見通せる条件) の場合の解が示されており、減音量が 5dB (前川) または 6dB (Fresnel-Kirchhoff の近似解) を境にして、曲線が右上がりに増加するのが正の範囲、逆に減少するのが負の範囲の減音量を表している。

実験値 (▲印は正、×印は負のフレネル数) は正のフレネル数範囲で、前川の曲線よりも高い値を示し、かつ、フレネル数が 5 を越えると大幅に増加することを示している。また、Fresnel-Kirchhoff 近似値と比較してもフレネル数 5 まではほぼ同程度、5 以上ではそれを上回るようになっている。すなわち、ノイズリデューサーを先端に取り付けた遮音壁は、従来型の壁に比べて減音効果が高いこと、さらにその効果は壁背後下方の行路差が大きい場所か、または周波数が高い場合か、またはその両方の場合に顕著に現れるということが出来る。

一方、負のフレネル数範囲に対しても前川の曲線を超えるデータが得られている。データのばらつきは多少大きい壁先端の吸音効果は音源を直接見通せる範囲にも及んでいることが分かった。

次に実験結果から、フレネル数 N の比較的大きい $N \geq 1$ の範囲について、従来型遮音壁の実験値との差を整理した結果を表-1 に示す。その結果、試験体サイズのほぼ等しいケース 3 とケース 5~7 の比較から、三角形の効果はなかでも劣っていること、円筒形が逆三角、矩形に比べるとやや優れていることが分かった。また、円筒形の外径の違いに着目すると、平均値でみれば 14cm の大きなものより 10cm の小さい方がやや減音効果に優

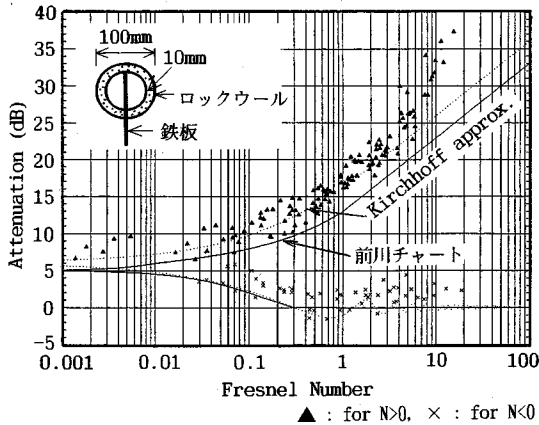


図-3 円筒型試験体（ケース3）の減音量とフレネル数の関係

表-1 フレネル数 $N \geq 1$ における各種試験体と従来型の減音量の差（範囲別平均値）

フレネル数Nの範囲	$1 \leq N < 10$	$N \geq 10$	$N \geq 1$
データ数	64	5	69
Case No.1 (Ref.)	0dB	0dB	0dB
No.2 Cyl. 80mm	2.5	8.3	2.9
No.3 Cyl. 100mm	4.0	9.6	4.4
No.4 Cyl. 140mm	3.4	11.3	4.0
No.5 Triangle	2.5	5.6	2.7
No.6 Square	3.7	8.5	4.0
No.7 Inv. Tri.	4.0	8.1	4.3

れているが、フレネル数 N が $N \geq 10$ のような大きな値をとる範囲に対しては、明らかに外径が大きいものほど減音効果に優れる傾向がみられた。

このほか、ノイズリデューサーの内部構造に関しては、中央芯部に遮音性の高い板状の材料を挿入した方が、減音効果をより安定に維持する上で好ましいとの結論を別途得ている⁷⁾。逆にこの遮音性板がない場合、壁背後の音場が不安定なものとなった。芯部を透過して行く音波の干渉によると考えられる。

3. 実物大野外実験の概要と結果の検討

縮尺模型実験では、ある程度単純化した境界条件を設定して、ノイズリデューサーの音響効果を検討してきた。しかし、製品を実際に開発するとすると、より複雑で詳細な境界条件が実物に設定されることになる。したがって、ここでは現実的な製品開発の議論を進めるために、フルスケールモデル、すなわち実物大の試験体による実験的研究を行っている。併せて、景観対応を考慮したタイプの開発まで議論を進めている。

そこで縮尺模型実験結果を基にして、ノイズリデューサーのプロトタイプについて検討する。まず、ノイズリデューサーの形状は、基本的には円筒またはそれに近い形状とすることとした。またそのサイズに関しては、一般にはサイズの大きい装置が有利となることが予想され

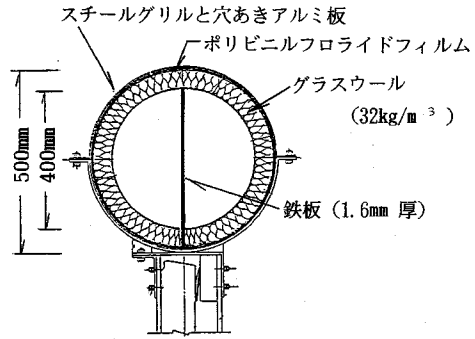


図-4 プロトタイプのノイズリデューサー標準断面図

る。しかし、表-1の平均値で示したように、直径が10cmと14cm（実物換算で50cmと70cm）とを比較した場合の効果に大差がなかったことから、経済性、高速道路における既設遮音壁の標準設計のパネルサイズ、建築限界の余裕等を勘案して、ここでは実物の直径50cmを汎用性タイプの基本サイズとした。さらに、吸音体中央芯部の透過音を遮断するために、1.6mm厚さの鉄板またはそれに相当する遮音材を挿入するタイプを採用することとした。

(1) プロトタイプのノイズリデューサーに関する実験

断面形状が図-4に示すようなプロトタイプのノイズリデューサーを試作した。このノイズリデューサーは密度 32kg/m^3 のグラスウール筒、防水のためのPVFフィルム、パンチングメタル、全体の強度を持たせるためと吸音材保護用のステンレスグリル、透過音防止のための亜鉛鉄板（1.6mm厚）によって構成されている。

野外実験ではまず標準タイプの吸音性遮音壁（日本道路公団統一型）を屋外のグラウンドに設置した。このとき高さは3.5m、延長は16mとした。この条件で音響試験を行った後、上端から0.5m（一枚分）のパネルを取り外し、プロトタイプのノイズリデューサーとの入れ替えを行った。したがって、実験は従来型遮音壁とノイズリデューサー付遮音壁の2種類について、遮音壁先端までの高さが等しい条件で行った。

実験はグラウンド周辺建物からの反射音の影響を避けるために、模型実験と同じようなトーンバースト信号を用いて行い、スピーカから250Hz、500Hz、1kHz、2kHzの試験音を放射した。遮音壁背後では騒音計のマイクロホンで信号音を受け、模型実験と同様の測定系列で回折音成分の検出を行った。また音源と受音点の配置は模型実験とほぼ同じとした。

実験結果から、音源が壁から5m、受音点高さが1.2mのデータを図-5に示す。図の縦軸は従来型直壁で測定された音圧レベルを基準（0dB）として、ノイズリデュー

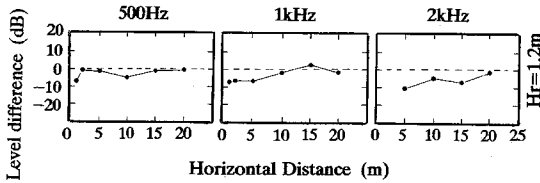


図-5 従来型とプロトタイプノイズリデューサーの壁背後における音圧レベル差（音源位置：壁から5m）

サ-設置型の測定値がそれよりも低くなったか（マイナス側）、高くなったか（プラス側）をレベル表示したものである。図によれば周波数が高くなるにつれて、ノイズリデューサー設置型遮音壁の減音効果が顕著となって現れる傾向が認められた。またデータにばらつきはあるものの、測定点が遮音壁に近づくにしたがって減音効果は高くなる傾向もみられた。（2kHzの1m点と2m点では、試験音に比べてバックグラウンドノイズが高かったためデータがとれていない）

このように、フルスケールモデルに対しても、ノイズリデューサー設置型遮音壁は通常遮音壁に比べて騒音低減効果に優れているという結果が得られた。

（2）緑化型ノイズリデューサーの実験

図-6はノイズリデューサーの内部空間を活かして、緑化機能を持たせた新しいタイプである。本体の形状も緑化に対応させて、柔らかな落ち着きのあるマッシュルーム型の形状とした。橋梁高架区間の高欄上などに設置すれば、遮音壁と道路の緑化対策とを兼ねた設備と成り得るものである（写真-1）。

建物の屋上を高架道路の路面に見立てて、緑化型ノイズリデューサーのフルスケールモデル実験を実施した。実験配置とケースを図-7に示す。建物屋上では高さ1mのコンクリート壁を端部の手摺を利用して固定し、約20mにわたって設置した。このとき両端からの音の回り込みがないように、壁端から直角に内側方向へ壁を約4m延長した。実験ケースは高さ1mの壁のほか、0.5mの直壁による嵩上げ、緑化型ノイズリデューサーによる0.5mの嵩上げの3種類である。実験場が屋上であり、周辺からの反射音の影響がなかったため、実験ではトーンバーストは使わず、より現実に近い試験音として、道路騒音の周波数特性⁹⁾を模擬した人工音をスピーカから連続して放射した。観測点では騒音計によって騒音のレベルを測定した。測定結果（音源位置5mと10mの結果の平均値）を図-8に示す。今回、音源から観測点までの最大離れは80mであったが、各地点において、0.5mの直壁による嵩上げ効果はほとんどみられなかった。一方、緑化型ノイズリデューサーでは同一高さの直壁（1.5m）に対して約2.6dB～3.6dBの減音効果を確認することができた。つまり、緑化機能を付加できる構造の場合で

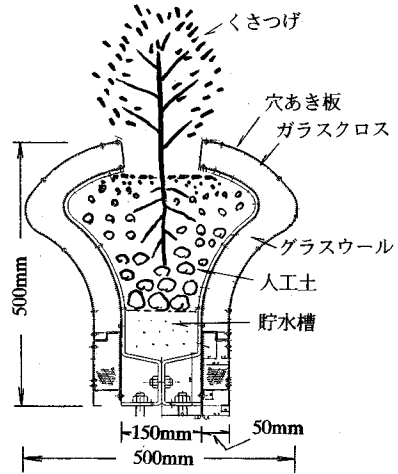


図-6 緑化型ノイズリデューサーの構造

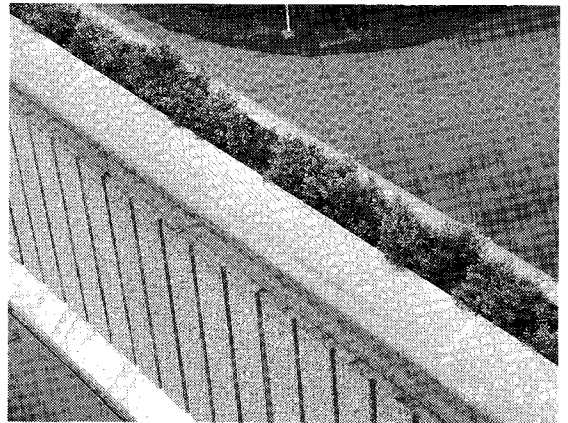


写真-1 緑化型ノイズリデューサー

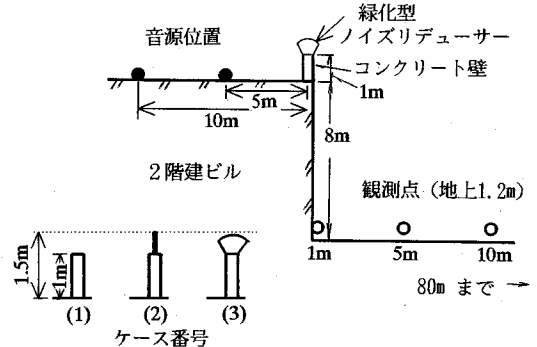


図-7 緑化型ノイズリデューサーの実験配置と実験ケース

も、それを付加しない円筒型構造と同様に、騒音低減効果が得られるという結論が得られた。

4. 高速道路における現地実験

縮尺模型実験とフルスケールモデル実験を経て、ノイズリデューサーの減音効果が確認できたため、次に実際

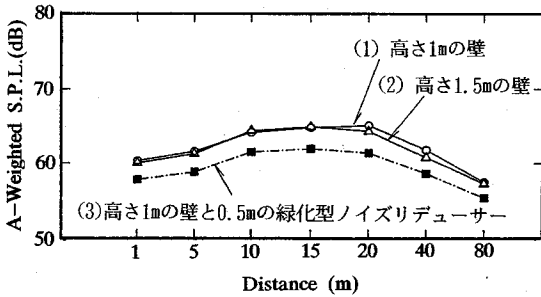


図-8 緑化型ノイズリデューサーと従来型壁の実験値比較

の高速道路にこれらを設置して騒音低減効果の検証を行っている。

(1) 盛土区間における現地実験

a) 実験概要

高速道路の標準的な盛土区間で、円筒型ノイズリデューサーの音響効果試験を実施した。対象区間は盛土高さが6m程度、路肩に3m高さの遮音壁(統一型)が既に設置されている場所である。この既設遮音壁の150m区間についてノイズリデューサーを設置し、設置前後における道路交通騒音のレベル変化を観測した。測定点は遮音壁から6.6m, 11.2m, 19.2m, 29.2mの距離で高さがそれぞれ1.2m, 3.5m, 7mの位置に設けた。

一方、ノイズリデューサーの効果を騒音測定値から抽出するためには交通条件の違いを取り除く必要がある。一つの方法として騒音測定時の交通条件(交通量、車速、混入率)を使って騒音値を別途計算し、その変化分を使って測定値を基準化する方法が考えられる。しかし、車両の放射音パワーレベルは車種や速度に対してゆらぎがあるため⁹⁾、交通条件が仮に同一であっても同じ騒音レベルが観測されるとは限らない。そこで、交通条件で基準化すると基準化自身による誤差を与える恐れがあると判断した。これに代わる方法として交通条件の変化に伴う騒音変化を直接監視できる基準点の一つを設け、その点の騒音測定値を基準に取る方法¹⁰⁾を採用した。

基準点はノイズリデューサー設置区間外で、測定断面から120m離れた同一道路の遮音壁上方(路面から4mの高さ)に設けた。騒音測定はノイズリデューサー設置前後で、高速道路以外の騒音のない深夜に、それぞれ8回実施した。測定値はすべて基準点の騒音値で基準化し、最終的に基準化した測定データから設置前に対する設置後の騒音レベル減音量を算出した。

また、この騒音測定と並行して遮音壁から6.6mの距離で高さ3.5mの位置に騒音自動測定器を設置し、ノイズリデューサー設置前後それぞれ一週間にわたって騒音を観測した。

b) 実験結果

図-9はノイズリデューサー設置前後における騒音レ

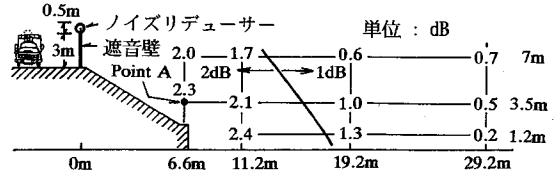


図-9 ノイズリデューサー設置前後における騒音レベル(L₅₀)減音量の分布

ベル中央値(L₅₀)の減音量の断面分布を表すものである。図によれば、遮音壁から15mまでの、道路に近い範囲において2.0dB~2.5dB、それ以遠の範囲において1.0dB以下の減音量が認められている。

また、図-10はノイズリデューサーの設置前後における騒音の周波数変化を調べたものである。周波数変化も基準点による基準化操作を行って求めている。観測位置は遮音壁から距離6.6mで高さが3.5m、と7.0mである。いずれも周波数の上昇とともにレベル差も大きくなる傾向にある。最高周波数の4kHzでは高さ3.5mでおよそ5dB、高さ7mでも4dB近い減音量が認められている。

さらに、図-11は騒音(L_{Aeq,10min})をノイズリデューサーの設置前後一週間にわたって観測した結果である。騒音観測はそれぞれ7日間について午後7時から翌朝7時までの間、連続して実施した。同図は観測値そのものを同一時刻について平均化し、その平均値と標準偏差を示したもので、基準点による騒音の基準化操作は行っていない。

騒音の長期観測結果は、交通量の変化や騒音伝搬に影響を与えるといわれる気象条件変化などの不確定要素が存在しても、ノイズリデューサー設置が騒音を確実に低減させることを示している。

c) 評価と検討

実際の高速道路での道路騒音を対象にして、現地実験を実施したが、予想通りノイズリデューサー設置による騒音低減効果を得ることができた。また、ノイズリデューサーの施工作業も比較的短期間で容易に実施できることが判明したので、今後はその応用、景観、経済性、耐久性なども合わせて検討する必要があると考えられた。

(2) 高架区間における現地実験

ノイズリデューサーは、基本的に道路の民地側に建つ遮音壁の先端に設置して、音響的に高い壁の実現を目指すものである。しかし、次の事例は、民地側の壁ではなく、上下線が分離した高架道路の中央側高欄上にノイズリデューサーを取り付けている。対策の考え方は、ドライバーからの景観に配慮して、高欄部に遮音壁を設けない代わりに、ノイズリデューサーでその代替えを行うことである。この対策は、道路から観測点至る直接

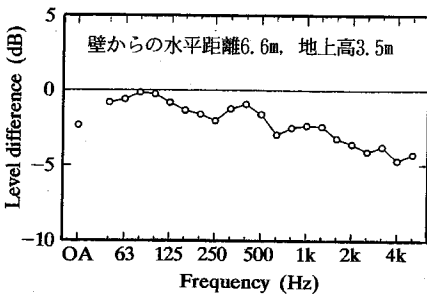
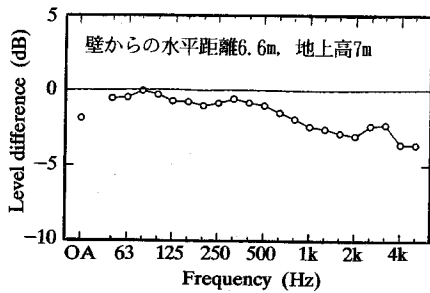


図-10 ノイズリデューサー設置後の騒音周波数特性の変化

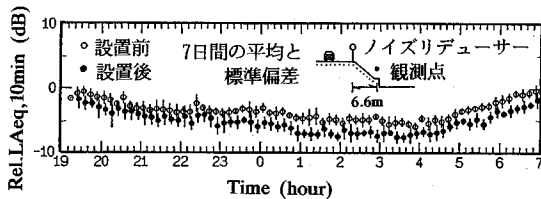


図-11 一週間観測におけるノイズリデューサー設置前後の騒音レベル ($L_{Aeq,10min}$) 比較

的な騒音の寄与を低減するのではなく、高架中央分離部からの漏洩音の対策の一つである。

a) 実験概要

未供用の高速道路高架部において実験を実施した。当該高架橋は、高さが8m~10m、1.5mから10mの間隔で上下線が分離しており、各々中央側の高欄上約400m区間にノイズリデューサーを設置した。なお、車道外側にはそれぞれ高欄上に高さ2m(路面から3m)の吸音性遮音壁(統一型)が設置されている。現地の状況を写真-2に示す。

実験状況の内、分離部の間隔が2mである箇所の横断面図を図-12に示す。観測点は高架高速道路の中央分離部直下、高架高欄直下から0m、10m、20mのそれぞれ地上1.2mに設けた。音源は、自動車騒音を模擬したスピーカ、マフラーに穴を開けて大音量を発生させるようにした小型モーターバイクの2種類を用いた。このうちスピーカを用いた実験では、道路のセンターライン上にスピーカを設置し、暗騒音との区別を容易にするために断続した試験音(2秒 on, 2秒 off)を約10分間放射した。

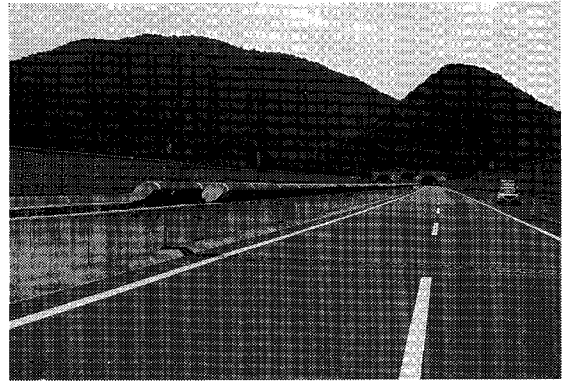


写真-2 ノイズリデューサーの高架中央分離部への設置

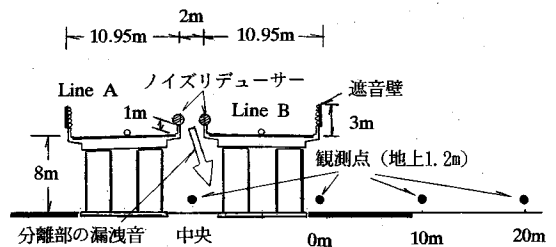


図-12 ノイズリデューサーの高架中央分離部への応用

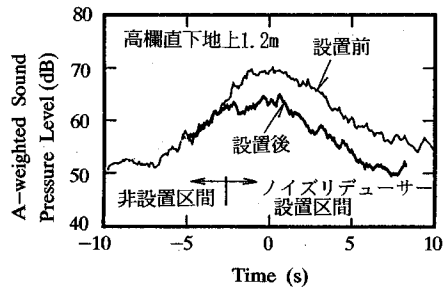


図-13 小型バイク実験によるノイズリデューサー設置前後の騒音レベルパターン比較

測定点で確実に音を録音できたことを確認した後、センターラインに沿ってスピーカを25m移動し同一の試験を行うという作業を約500mの区間にわたって実施した。一方、小型バイクの方は音量が一定となるようにアクセルを一杯に踏み込んで、センターライン上を一定速度約50km/時で連続的に移動させて(約700mの区間)試験を行った。このバイクの騒音は1kHzに主要成分を持つ広帯域騒音であった。実験はノイズリデューサー設置前後の2回実施した。

b) 実験結果

図-13は高欄直下0mの位置で観測された小型バイク(図-12のLine A)による騒音レベル波形であり、ノイズリデューサー設置前後の波形が比較されている。

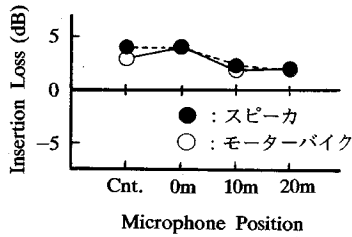


図-14 騒音レベルパターン積分値における挿入損失（スピーカー、小型バイク）

図の横軸は時間であり、0秒の位置はバイクが丁度直前を通過したことを表している。図によれば、小型バイクがノイズリデューサー設置区間を走行するときに、騒音のレベルが3dB~4dB低減される様子が現れている。これに対して、未設置区間（図の左側）を走行するときにレベルの変化がない。

道路騒音はこのような波形の積分値で評価される。そこで小型バイク実験、スピーカー実験の両者についてそれぞれレベル波形のエネルギー積分値（一分相当）を求め、さらに上下線の合成値を計算した。図-14はこのような合成値における、ノイズリデューサーの減音量である。2種類の音源による結果は概ね同じであり、上下線の分離部間隔が2mの場所では高欄直下0mで4dB、官民境界と考えられる10m点でも2dB~3dBの効果が得られた。またそのほか分離部がより広い箇所でも1dB~4dBの減音効果が得られている。

c) 評価と検討

現地実験の結果、上下線に分離部をもつ高架橋梁区間においても、ノイズリデューサーが実用性を十分に備えているものと判断できる。また、高架区間の中央分離部に遮音壁を建てなくても済むことは、道路空間を広く見せることができ、したがってドライバーの遮音壁による走行景観上の圧迫感の解消にも役立つものと思われる。さらに、この場合のノイズリデューサーはドライバーの目の高さに近くなるので、デザインを工夫すれば、景観対策としても好ましい結果を得ることができるものと考えられる。

(3) 景観考慮（マッシュルーム）型ノイズリデューサーの現地実験

景観考慮型ノイズリデューサーは3.(2)で述べたタイプから緑化機能を外して先端部を閉じ、騒音対策だけでなく景観対策も考慮して開発したものである。形状は緑化型マッシュルームよりもやや丸みを持たせ、遮音壁の先端において壁との一体感があり且つその曲線美から景観上も柔らかな落ち着きのある印象を与えるデザインを目指している。このタイプをここでは単にマッシュルーム型ノイズリデューサーと呼んでいる。次の事例では、実際の高速道路に試験施工を行って、騒音と景観の

両面の効果について検討している。

a) 実験概要

高速道路の高架区間約250mにマッシュルーム型ノイズリデューサーを設置し、減音効果の現地測定を実施した。この高架はPC桁構造であり上下車線合わせて6車線が走行している。上下線の中央分離帯は完全に閉じており、ジョイント音などの高架構造物音はない。高架の高さは約10mであり、路面から高さ3mの既設遮音壁がある。マッシュルーム型ノイズリデューサーはこの壁の先端に施工した。音響試験の方法は、4.(1)と同様である。

b) 実験結果

実験結果のうち、ノイズリデューサー設置前後一週間の騒音観測 ($L_{Aeq, 10min}$) から求められたレベル差を図-15に示す。この騒音観測では高速道路上遮音壁の上方2mの位置に基準点を設けたので、測定値はすべて基準点の同時刻の測定値で基準化している。測定場所は高架高欄直下から5mと20mの2箇所、観測点高さはいずれも地上2mである。また、測定結果から得られた平均減音量、標準偏差、最大減音量、最小減音量を表-2に示す。なお、観測点高さを1.2mよりも高い2m位置としたのは測定場所が駐車場であり、駐車車両が音響的な障害物となるのを避けるためであった。

設置効果については予想どおり顕著なものが見られ、道路直近では最大減音量で約3dBの効果が認められた。また、道路から20m離れた観測点においても、最大で2.3dB、平均で1.5dB程度の減音効果が得られた。このうち19時~23時の減音量は0時以降の結果よりも小さくなっている。20m地点の周辺状況から考えて19時~23時の時間帯ではまだ対象外の騒音（生活道路その他）の寄与が残っていたためと考えられる。

c) 評価と検討

マッシュルーム型ノイズリデューサーの設置によって、円筒型タイプに比較して遜色のない低減効果が得られたことから、音響性能面からみた実用上の問題はないものと判断される。一方デザイン面については、写真-3に示すように格段の違和感はなく、ドライバーに好感を持って受け入れられている。今後のノイズリデューサーの標準タイプとしてこのタイプの可能性が考えられる。

(4) ノイズリデューサー設置の等価高さの検討

4.(1)の現場試験によって、官民境界地上1.2mで2.4dBの設置効果が確認できた。ノイズリデューサーの直径を考えれば、実質的に遮音壁を50cm嵩上げしたことになるが、逆に2.4dBの設置効果が音響的にみて何mの嵩上げに相当するかを検討した。

検討方法としては、環境影響評価やその他の道路騒音予測計算に現在最も広く使われている日本音響学会式⁹⁾

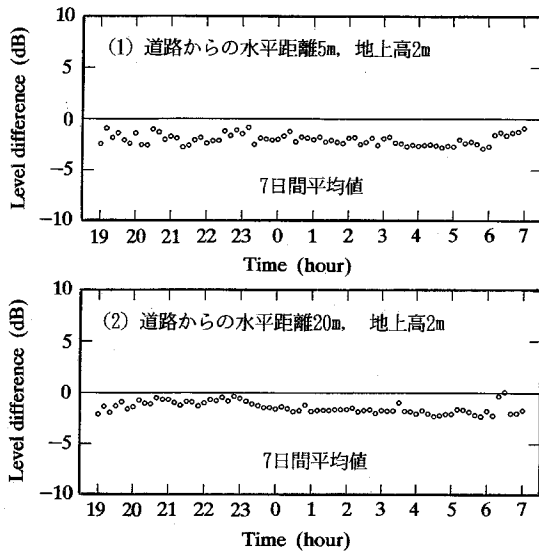


図-15 一週間観測によるマッシュルーム型ノイズリデューサーの設置効果 (高架部)

表-2 マッシュルーム型ノイズリデューサーの設置効果 (平均値, 標準偏差, 最大値, 最小値)

距離	Av.	S. D.	Max.	Min.
5m	2.0dB	0.5dB	2.9dB	0.9dB
20m	1.5dB	0.5dB	2.3dB	-0.1dB

の回折効果計算方法を用い、2.4dBの変化に相当する遮音壁の高上げ高さを逆算によって求めた。図-16は、遮音壁の高さと、高さ3mの遮音壁を基準とした騒音減音量変化の関係を示したものである。計算対象位置は、2.4dBの減音量が得られた場所、すなわち遮音壁からの水平距離11.2m、地上1.2mとした。図によれば、ノイズリデューサー設置効果と計算値との交点は、遮音壁高さが約5mに相当する位置にある。つまり、この観測点位置に対しては、ノイズリデューサーによる50cmの高上げが、音響的に見てその4倍の2mの高上げに相当するという結果が得られたことになる。逆に、2.4dB程度の減音効果を同地点において確保しようとするれば、既設遮音壁の基礎構造の変更や支柱であるH型鋼の取り替えを行なった上で、通常の遮音壁を2m分追加するという、やや大掛かりな工事が必要となることが推測される。

一方、官民境界地上1.2mでの減音量2.4dBはこの試験での測定点の中では最大値であった。そこで、この点以外でも等価な高上げ高を検討したところ、官民境界周辺とそれよりも道路に近い場所では1.5m前後、また20m付近の地上1.2mで0.9mが得られた。高上げ換算でみたノイズリデューサー設置効果は遮音壁に近く、かつ地上付近のいわゆる回折角が大きい範囲で顕著であるといえる。



写真-3 マッシュルーム型ノイズリデューサーの景観

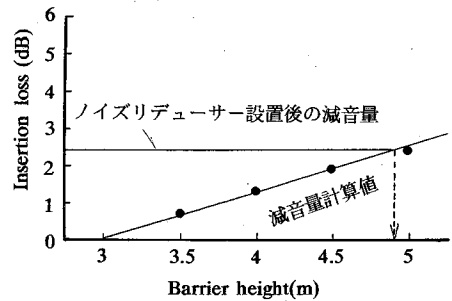


図-16 逆解析によるノイズリデューサーの遮音壁等価高さ

5. ノイズリデューサーの現地実験による知見

現在までの研究開発を通じて整理された、ノイズリデューサーを効果的に用いるための設置法について以下にまとめておく。

- ①高架構造で構造物自体より発する騒音が卓越している場合は、その発生源に対する対策を先に行う必要がある。例えば、ジョイント音や構造物固有振動による騒音がこれにあたる。ただし、このことは通常の遮音壁についても同じことがいえる。
- ②上下線が分離した高架構造区間の場合、中央分離部からの漏洩音を先に対策しておく必要がある。(ノイズリデューサーを中央分離部に設置しても効果がある)
- ③設置延長を十分な長さとする必要がある。本論文で紹介したノイズリデューサーに関する実測データからは、対象とする観測点から道路までの距離の4~6倍(片側方向の延長として)に設置して効果が得られるという結果が得られている。設置延長とその効果については引き続き検討を進めている。
- ④施工時の留意点であり、ノイズリデューサー底面と既設遮音壁との接点等、接続部分には十分注意して「隙間」

が生じないように、丁寧な施工を行う必要がある。

⑤道路周辺の他のバックグラウンドとなる騒音に対する注意が必要である。他の街路や工場音など十分な確認をして設置しなければならない。これについては通常の遮音壁についても同じことが言える。

6. まとめ

高速道路沿道における生活環境保全策の一つとして、新たな騒音低減装置（ノイズリデューサー）の開発を行った。この装置は障壁の上部先端をある大きさの物体で吸音処理することにより、背後音場の音圧レベルを低減するという原理を応用したものである。これは、既設遮音壁の高上げ等に伴う日照阻害の防止や、構造上高上げの困難な場所に対する対策を目的として開発したものであり、遮音壁に対する圧迫感を和らげ、新たな要望に応じた道路の内部景観対策面からもその形状を検討した。

具体的な減音効果については、その定量的な理論的解析の限界を考慮して、模型実験や実物実験により解析を行った。その結果、形状は円筒またはそれに近い形が優れていること、内部には騒音の透過を防止するための遮音板が必要であること、さらに経済性・安全性を考えると、装置の高さおよび巾が50cm程度が望ましいことが明らかとなった。実際の道路遮音壁に対してノイズリデューサーを適用したところ、道路交通騒音が2~3dB低減する結果が得られた。

今後この減音機能を維持しつつ、景観対策として有効と思われる種々の形状のノイズリデューサー（例えば本研究で開発した「マッシュルーム型」やその内部空間を利用して遮音と植栽機能を兼ねた「緑化型」など）の実用的な展開が期待される。

謝 辞

今回の研究開発にあたり、初期段階で応用原理につい

での丁寧なご指導と貴重なご助言を賜った九州芸術工科大学の藤原恭司教授、開発の各々過程に参加して頂いた日本道路公団の田中克則氏を始め多くの方々、音響実験の企画にご助力いただいた小林理学研究所の山下充康所長、および実験を担当していただいた同研究所の연구원各位に対し深く感謝します。

また、今回の論文のとりまとめは、山口大学の中川浩二教授のご助言のもとに行われたものであることを末尾ながら付記させていただきます。

参 考 文 献

- 1) Maekawa, Z.: Noise reduction by screens, Applied Acoustics, Vol. 1, pp. 157-173, 1968.
- 2) May, D.N. and Osman, M.M.: Highway Noise Barriers-New shapes, Journal of Sound and Vibration, Vol. 71, pp. 73-101, 1980.
- 3) 藤原恭司・小野一則: 円筒状エッジをもつ障壁による音波回折, 日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集, 昭和51年12月, pp. 153-156, 1976.
- 4) 藤原恭司: 吸音性円筒エッジをもつ防音塀の遮音性能について, 日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集, 昭和62年9月, pp. 257-260, 1987.
- 5) Keller, J. B.: Diffraction by a semi-infinite screen with a rounded end, Communications on Pure and Applied Mathematics, Vol. XIV, pp. 457-471, 1961.
- 6) マックス・ボルン, エミル・ウォルフ: 光学の原理II, 第八章, 東海大出版 (1975)
- 7) 田矢晃一・田中克則ほか: 回折エッジに吸音材を取り付けた遮音壁の効果について, 日本音響学会騒音研究会資料 N88-07-03, 1988.
- 8) 橋秀樹ほか: 道路一般部を対象としたエネルギーベースの騒音予測方法—日本音響学会・道路交通騒音調査研究委員会報告, 日本音響学会騒音研究会資料 N-92-61, 1992.
- 9) 石井聖光: 道路交通騒音予測計算方法に関する研究 (その1)—実用的な計算式について, 日本音響学会誌 31巻 8号, pp. 507-517, 1975.
- 10) ANSI S12. 8-1987: Methods for determination of insertion loss of outdoor noise barriers.

(1993.12.27 受付)

DEVELOPEMENT OF NOISE ABATEMENT DEVICES APPLIED AT THE TOP OF HIGHWAY NOISE BARRIERS

Yutaka SHONO, Yukinobu YOSHIDA and Kohei YAMAMOTO

Here is presented the noise abatement devices, named noise-reducer, which are absorptive devices and mounted at the top of highway noisebarriers. The noise-reducers are developed for the noise mitigation strategy against recent increase in noise pollution problems at residential areas around highways. Scale model and full scale model experiments are carried out in order to specify the form, the size and the structure. Results of field tests at actual highways show that the insertion loss due to the application of the noise-reducer is 2dB to 3dB for road traffic noise.