

高速交通用外景可視型山形防音壁の開発

田中俊光(工博)*・山田隆博*・杉本理恵*・吉村登志雄**・林 信輝**・藤波 玄**

*技術開発本部・機械研究所 **都市環境カンパニー・構造技術部

Development of “ Mountain Shaped Noise Barriers ” for High Speed Transportation

Dr. Toshimitsu Tanaka・Takahiro Yamada・Rie Sugimoto・Toshio Yoshimura・Nobuteru Hayashi・Gen Fujinami

As noise barrier height increases noise attenuation also increases. But excessive barrier height results in obstacles to see view outside, so sometimes transparent barriers are used. A new mountain shaped noise barrier originally proposed by Wirt was developed, through numerical simulations and model experiments considering moving noise sources. It is shown that the new mountain shaped noise barriers has excellent noise attenuation characteristic and good transparency.

まえがき = 高速道路や新幹線沿線の騒音対策として、防音壁が広くもちいられている。防音壁を高くすると騒音低減量は増加するが、景色が見えなくなる場合があり、透明板が採用されることが多い。しかし、その透明度の保持には、何らかの対策が必要となる。

当社では、これまでに、貫通スリットを設けた高速道路用防音壁ピスタウォール¹⁾や、新幹線用張り出し型防音壁²⁾を開発し、外景が見え、かつ防音性能を有する新しい防音壁構造を追及してきた。

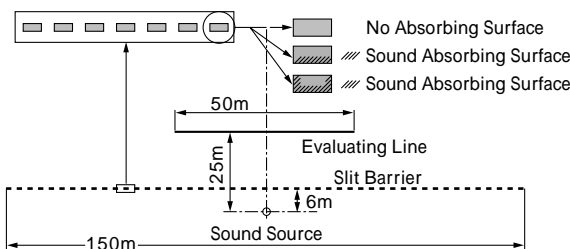
このたび、Wirt によって提案された山形形状³⁾の防音壁に対して、対象騒音の特性に最適な山形形状と音響構造とを数値シミュレーションと模型実験とにより検討し、三面吸音の有効性を見いだした。また、先述の論文などこれまででは、定置音源を対象として検討されてきているが、本稿では、交通騒音に特有の、音源が移動する場合についての検討を加えて、最適構造を見いだしている。そして、実際への適用により、所要の低減効果を有することを確認した。

1. 山形防音壁の理論

1.1 周期的開口を有する防音壁の基本特性

山形防音壁やスリット防音壁などの周期的開口を有する防音壁の基本特性を把握するために、自社開発ソフト ACOUSISTM をもちいて、境界要素法による二次元音場の数値シミュレーションを実施した。

これらの周期開口を設けた防音壁の二次元音場のモデルを第1図に示す。防音壁面の吸音状況については、吸音率が0%、音源側の面のみ100%、側面も100%の場合(同図参照)について、またスリット部と閉部との比



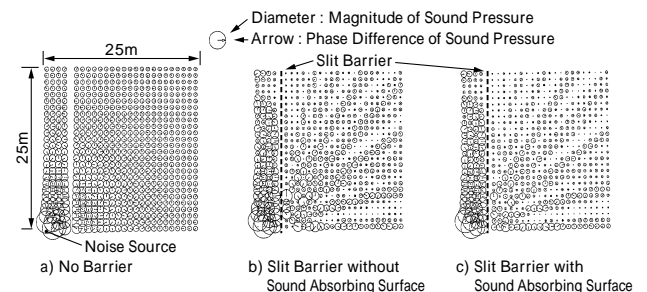
第1図 スリット開口を有する防音壁の音場シミュレーションモデル
Fig. 1 Analysis model of sound field with slit type barrier for simulation

やスリット幅を変えた場合について基本特性を求めた。

1.1.1 静的防音特性の数値シミュレーション

音源が定置されている場合を、本稿では静的と呼ぶ。第2図に、同防音壁の有無時の音場解析例を示す。音源中心を通る水平方向の中心線で対称となるので、半面のみを部分的に取出した図である。同図において、防音壁が無いa)図の場合には、音源から同心円状に音圧が小さくなる。二次元音場であるので、その大きさは、半径に逆比例する。いっぽう、b)図のスリット防音壁が存在する場合には、干渉効果によりa)図の場合よりも音圧が低くなる領域が生じ、同防音壁の音源側と両側面とを100%吸音の表面とすると、c)図に示すように、音圧が低くなる領域がさらに拡大する。

防音壁の幅を0.5mと一定にし、開口率を80%、50



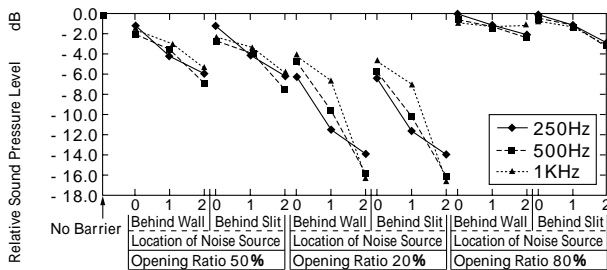
第2図 スリット開口を有する防音壁有無時の音場シミュレーション例
(壁幅0.25m スリット開口幅0.25m 壁厚み0.1m 音源周波数500Hz)
Fig. 2 Simulated sound field with and without sound barriers
(width of barrier : 0.25m, width of slit : 0.25m, thickness of barrier : 0.1m, Sound frequency : 500Hz)

%, 20%と変化させ、かつ吸音面無しと一面吸音、三面吸音との場合について、第1図に示す長さ50mの評価線上0.1mごとの音圧値の平均を求めた。防音壁がない場合を基準とした相対音圧レベル差を第3図に示す。なお、壁厚みは、0.1mである。本シミュレーションにおいて、防音壁両端からの回折量は後述するように、十分に無視できる値である。

主な結果は次のとおりである。

スリット開口により音波が相互干渉し、減音効果が生じる。開口率が増すと減音効果量は低下し、吸音しない場合には20%開口で約5dB、50%開口で約2dBである。

三面吸音表面とすることにより減音効果量は増加し、



第3図 スリット開口を有する防音壁の開口率、吸音表面程度と評価線上の相対音圧レベルのシミュレーション結果 (0: 吸音なし, 1: 一面吸音, 2: 三面吸音)

Fig. 3 Simulated relative sound pressure level for slit barrier related to opening ratio with and without sound absorbing surface (0: without, 1: with one surface, 2: with three surfaces)

とくに側面も吸音面とすることにより 20% 開口で約 9 dB, 50% 開口で約 4dB 向上する。

音源位置が壁の背後、および、スリット開口の背後にある場合での、防音壁に平行にとった評価線上の音圧平均値はとまにほぼ等しい。

1.1.2 動的防音特性の数値シミュレーション

交通騒音の音源は、定置ではなく移動する。移動音源に対する防音特性を、ここでは動的防音特性と呼ぶ。

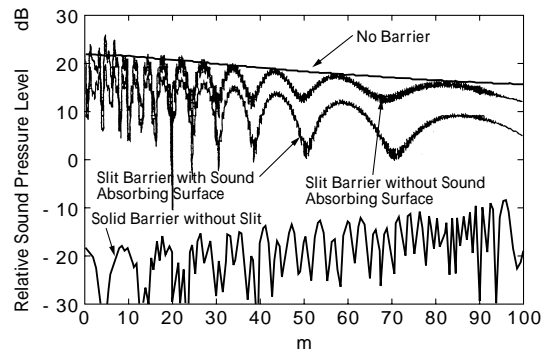
第1図と同様の配置において、防音壁長さを 200m とした場合、評価線上 200m の音圧の大きさを 4cm ごとにプロットし、音源を通過する中心線と評価線との交点を起点として示したのが第4図である。防音壁がない場合は、起点から離れるにしたがい単調に音圧レベルが減少する。

いっぽうスリット開口を有する防音壁の場合には、山と谷を繰り返す。吸音表面を持たない場合は、防音壁がない場合よりも音圧レベルが一部上回る箇所も存在する。これらの現象は、干渉効果によるものである。前述の三面が吸音表面の場合には、評価線上のどの位置でも、防音壁がない場合よりも小さなレベルとなっている。

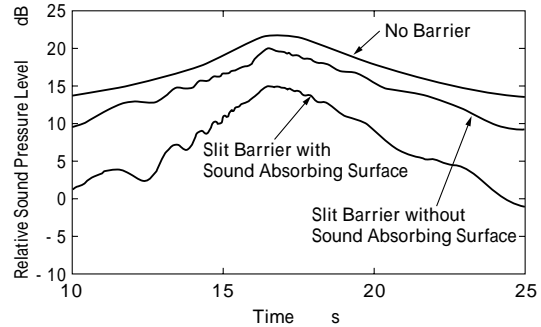
ちなみに、防音壁両端からの回り込みが、本計算に影響しないことを確認するために、無限大の透過損失を持つスリットなしの全閉型防音壁を同位置に配置した場合の評価線上音圧レベルを第4図の下部に示す。防音壁右端部においても 10dB 以上小さな値であり、回り込みの影響を無視しうることを確認した。

音源が移動する場合には、この音圧分布が移動すると近似し、時刻歴の応答波形を求めたのが第5図である。同図では時定数が 1 秒の SLOW 特性での応答波形を示す。この場合には防音壁がない場合の音圧レベル値を上回ることはない。時定数をもつため短時間の超過は卓越的な応答としては現れない。ここには図示していないが、時定数が 1/8 秒となる FAST 特性の場合も同様であった。吸音面を有する場合には、同図に示すように音圧レベルはさらに低下する。

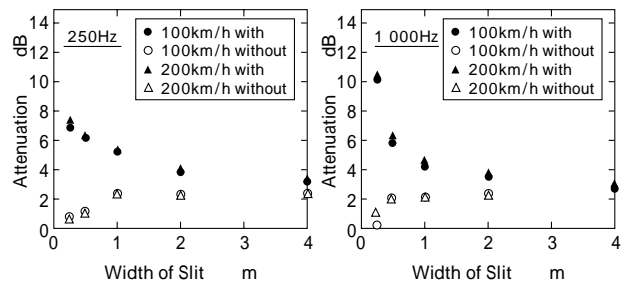
第6図は、上述のようにして求めた時刻歴応答におけるピークレベル値の、防音壁なしの場合を基準とした低減量を、スリット間隔と速度とに対して求めた一例である。低減量は吸音表面とすることにより、ピッチ間隔が短くなると急激に増大し、この傾向は速度にほとんど依存しない。



第4図 評価線上(第1図参照)の音圧分布のシミュレーション
Fig. 4 Simulated space distribution of sound pressure level on evaluating line (Fig.1) at 500Hz



第5図 移動音源に対する定点での相対的な音圧レベルの時刻歴応答のシミュレーション例
Fig. 5 Simulated time response of relative sound pressure level for moving noise source (100km/h, 500Hz)



第6図 スリット型防音壁の動的防音特性のシミュレーション結果 (音源速度 100km/h, 200km/h, 吸音表面有無の場合)
Fig. 6 Simulated dynamic attenuation of slit type barrier (Velocity of noise source: 100km/h, 200km/h, with and without sound absorbing surface)

1.2 山形防音壁の基本特性

山形形状の場合は、1.1 節で述べたスリットの幅が垂直方向に連続的に変化したものと見ることができる。したがって、吸音表面を持たない場合には、その基本的傾向は平行スリットの場合と同様である⁴⁾。

本山形防音壁では、適切な間隔で配置して音波干渉による空間的音圧変化を誘起させ、前述の音源の移動作用により注目点での減音効果をはかるとともに、加えて吸音効果を付加してその性能を向上させている。

2. 模型実験

三次元音場における山形防音壁の最適形状について、半無響室内に設置した縮尺模型実験装置をもちいて検討した。

2.1 実験方法

写真1は当社大型半無響室内に設置された高架道路の 1/20 縮尺模型である。模型実験用高架橋の断面寸法



写真 1 山形防音壁を有する高架道路模型
Photo 1 Model of elevated road with mountain shaped barriers

を第 7 図 a) に、供試防音壁模型形状を同図 b) に示す。シミュレーション結果から同図に示す直型と山形およびスリット形を選び、それぞれ吸音表面有無の場合について実験した。吸音表面有無時の防音壁の厚みは一定としている。

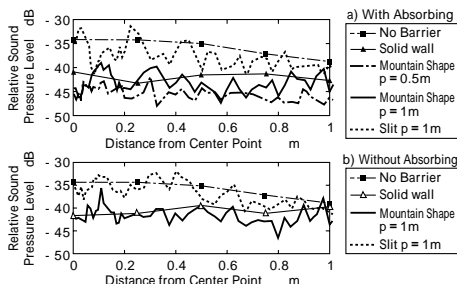
計測は、第 7 図 c) に示す地上 60mm (実寸換算 1.2 m) 高さで、高架橋から 750mm (実寸換算 15m) 離れた平行線上の各受音点位置において 1/4 インチマイクロフォンによりおこなった。防音壁がない場合と、直型防音壁の場合にはパターン A で、またスリット形と山形防音壁との場合にはパターン B の間隔で測定した。なお、騒音計出力を FFT により 1/3 オクターブバンド分析し、空気ジェット音を音源としてもいた。

2.2 実験結果

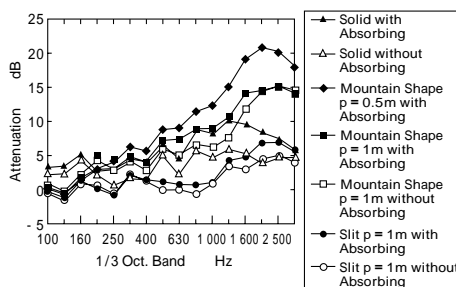
第 8 図に一例として 25kHz (実寸法換算 1250Hz) 1/3 オクターブ周波数帯における評価線上音源正面から 1m (実寸換算 20m) 点までの測定例を示す。縦軸は、受音点音圧レベルを音源の近接騒音レベルで除した値である。スリットおよび、山形防音壁では干渉効果により測定線方向に騒音レベルが山と谷を繰り返す。全閉の防音壁 (直防) とスリット形および山形で吸音ありの場合について比較すると、この周波数帯域では防音壁なしの場合とくらべて、山形はスリット形よりも効果量が大きく、直防よりも 3dB 程度上回っている。また、吸音なしの場合についても同様の傾向にあるが、防音効果は吸音ありの場合よりも全体に小さい。

次に、1 章に述べた動的防音特性について、音源が時速 50km/h で移動したと仮定した場合の受音点応答波形を静的実験値から計算し、SLOW 応答波形における防音壁の減音量を第 9 図に示す。同図から以下のことがわかる。

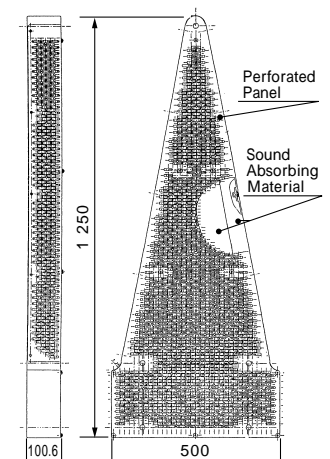
同一ピッチの山形防音壁とスリット型防音壁を比較すると、吸音表面を有する場合、山形防音壁の減音効果が



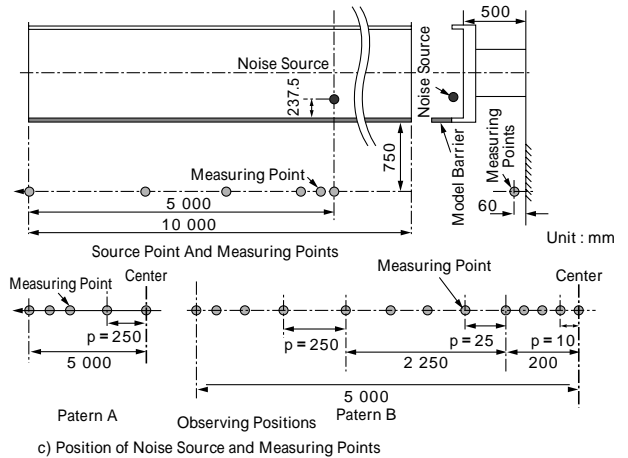
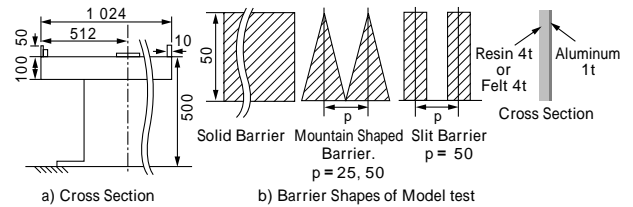
第 8 図 評価線上の測定相対音圧レベル分布
Fig. 8 Measured space distribution of relative sound pressure level on evaluation line (1/3 Oct. Band 25kHz)



第 9 図 動的防音周波数特性
Fig. 9 Frequency characteristic of dynamic attenuation



第 10 図 山形防音壁ユニット
Fig. 10 Mountain shaped noise barrier unit



第 7 図 山形防音壁を有する高架橋道路模型実験モデル

Fig. 7 Experimental model of elevated road with mountain shaped barriers

500Hz 以上で 5dB 以上大きい。

山形防音壁のピッチは小さいほど大きな減音効果がある。これは 1 章に述べた計算値と同様の傾向である。

吸音面を有する山形防音壁は 500Hz 以上の周波数帯で同じ高さの直型防音壁より大きな減音量となる。

3. 山形防音壁の構造

第 10 図に山形防音壁ユニットの外観を示す。枠体はガラス繊維強化プラスチック製で、軽量化と高強度化とを図っている。音源側表面と側面とは、高い開口率 (72%) の多孔板でおおわれ、内部の吸音材料 (グラスウール) 背後の空気層とあいまって、防水のためにビニール薄膜で被覆されているが、主要な騒音周波数帯域である 500Hz, 1000Hz でそれぞれ 1.0, 0.85 と高い吸音率 (残響室法) を達成している。

本ユニットを並べて設置した場合、全防音壁の開口率が 50% となり、全閉型防音壁と比較して、風荷重の減

少とかつ荷重重心位置が低くなるという負荷軽減の利点を有する。

なお、同図に寸法を示すコンパクトな大きさであり、重量も約5.6kgと軽く、一人での運搬が可能である。

4. 山形防音壁の防音性能

4.1 自動車騒音に対する防音性能

山形防音壁を道路脇に設置することを想定した実物実験を実施した。写真2に示すように山型防音壁を屋外のアスファルト面上に20m長さ設置し、音源として無指向性スピーカと自動車とをもちいた。中央位置に9m離してスピーカ（高さ0.3m）を、また、防音壁中心から10m離れた位置に受音点（高さ1.2m）を設けた。防音壁高さは1.25mと1.5m（下部0.25mを全閉でかさ上げ）とした。防音壁の形状寸法と構造は3章と同様である。

ランダムノイズを入力した12面体無指向性スピーカ音源の場合、防音壁から10m離れた地点の防音壁のない場合を基準とした山形防音壁の減音量を第11図に示す。前川チャート⁵⁾にもとづき地面反射を考慮した際の吸音なし全閉型防音壁の計算による減音量と比較すると、1.25m高さでは全閉を想定した前川チャートによる計算値が山形防音壁より大きな減音量となり、1.5m高さの場合には、500Hzから2.500Hzまでの周波数帯域において、山形防音壁が前川チャートによる計算値より大きな減音量を示す。なお、3.150Hzで防音壁の性能が落ち込んでいるのは地面反射音による位相干渉の影響と考えられる。

次に、防音壁に沿い3m離れて実際に乗用車を走行させ、通過時騒音を同10m地点に設置した超指向性マイクロホンシステムで計測した。

FAST 応答ピーク値から求めた山形防音壁の減音量と、前節と同様に前川チャートにもとづき計算により求めた直型防音壁（前述の場合と音源位置が異なる）の減音量とを、オクターブ周波数帯域で比較したのが第12図である。同図から自動車走行時の山型防音壁による減音量は、スピーカ実験の場合より増大していることがわかる。すなわち、山形防音壁の動的防音特性は静的防音特性より大きく、1章に述べた計算値と同様の傾向となっている。

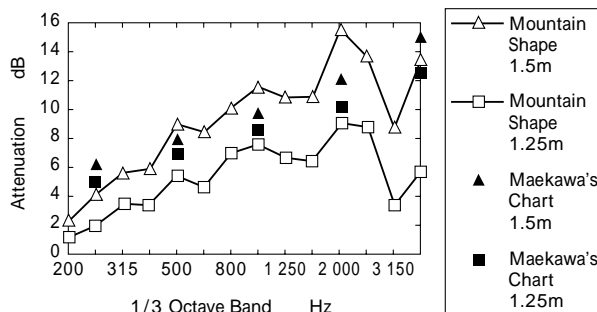
4.2 新幹線騒音に対する防音性能

新幹線高架橋区間で、既設防音壁上に山形防音壁を増設した場合（写真3）には、既設直型防音壁のみの場合と比較して、目標としたさらなる2dBの低減効果がえられている。また、車窓から防音壁の外の風景を十分に透視できることも確認された。

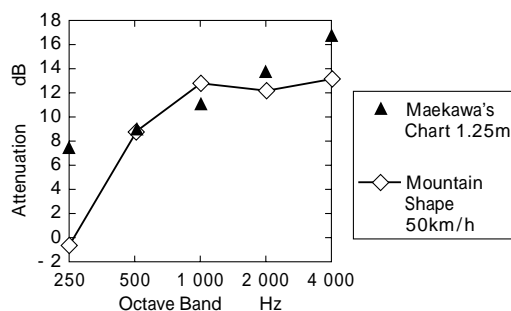
むしろ=交通騒音の音源は定置でなく移動することに注目して、外景を見ることができる新しい山形防音壁を開発した。境界要素法による音場シミュレーションと模型実験とにより、最適形状を見いだすとともに、全閉型防音壁と同等あるいはそれを上回る防音性能を有することを、自動車と新幹線との騒音について測定し、確認した。



写真2 実物山形防音壁
Photo 2 Mountain shaped barriers



第11図 スピーカ音による静的防音周波数特性
Fig. 11 Attenuation measured by speaker test



第12図 自動車走行時の動的防音周波数特性
Fig. 12 Attenuation measured by car running



写真3 新幹線用山形防音壁
Photo 3 Mountain shaped barrier alongside Shinkansen Line

また、外景可視であることを確認した。

なお、後者の場合については、東日本旅客鉄道(株)総合技術開発推進部（小野重亮氏ほか）にご援助を賜った。ここに、謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 林 信輝ほか：神戸製鋼技報，Vol.40，No.2（1990），p.49.
- 2) T. Tanaka et al.: Proceedings of STECH (1993), p.450.
- 3) L. S. Wirt: ACUSTICA, Vol.42, No.2 (1979), p.73.
- 4) Z. Maekawa: ARCHIVES OF ACOUSTICS, Vol.10, No.4 (1985), p.369.
- 5) 前川純一：音響学会誌，Vol.18，No.4（1962），p.187.