

(解説)

# 高速交通環境騒音低減技術の開発

田中俊光(工博)\*・木下伸一\*・山田隆博\*・林 信輝\*\*・吉村登志雄\*\*\*・箕浦忠行(工博)\*\*\*\*

\*技術開発本部・機械研究所 \*\*都市環境・エンジニアリングカンパニー・鉄鋼橋梁営業部 \*\*\*都市環境・エンジニアリングカンパニー・構造技術部  
\*\*\*\*アルミ・鋼カンパニー・技術部

## Research and Development of Noise Reducing Technologies for High Speed Surface Transportation

Dr. Toshimitsu Tanaka・Shinichi Kinoshita・Takahiro Yamada・Nobuteru Hayashi・Toshio Yoshimura・Dr. Tadayuki Minoura

New technologies for numerical simulation and scale model and full-sized model experimentation in our large anechoic room have been developed. New methods of noise control for surface transportation have been developed using these technologies and were found to highly effective in reducing noise levels. In this paper, some application examples for sound barriers alongside super express rail ways, and sound absorption panels under elevated and the trench-shaped roads are introduced.

まえばき = 新幹線の速度向上や高速道路の交通量増大に見られる近年の交通システムの発展にともない、騒音の発生量も増加している。このような状況の中で沿線の環境騒音を保ち、さらには改善するための技術開発が、音源となる鉄道車両や自動車の側と防音壁あるいは軌道や路面などの地上設備の側とで精力的に取り組まれてきている。

当社でも、本技術の開発に着手してからすでに10年以上を経過し、各種の対策技術を開発するとともに、それらを実用化してきた。

とくに、これらの技術開発においては、独自に開発した後述のコンピュータシミュレーション技術などの要素技術を援用することにより、性能予測の精度を高めるとともに、より効果的で合理的な構造の立案につなげ、開発期間短縮化と所要性能達成を実現してきた。

本稿では、これまでに開発し実用化された主要な案件とその際に活用した自社開発の要素技術の概要について、車外の沿線や沿道を対象とした住環境での低減技術を紹介する。

### 1. 外景可視型防音壁の開発

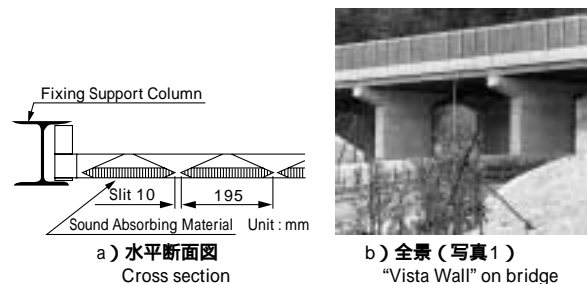
防音壁高さの延伸により防音性能は向上可能であるが、車窓の景色が遮断される、沿線に新たな日陰帯域が生じる、風圧荷重が増加する、といった問題が発生する。この解決策として透明板がもちいられているが、その透明度の保持にはさらに別の対策が必要になる。

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<sup>1)</sup>や、新幹線用張出し型防音壁<sup>2)</sup>を開発し、外の景色が見え、かつ所要の防音性能を有する新しい防音壁構造を追及してきた。

形状と構造との最適化の追求には、自社開発の境界要素法による音場解析ソフトウェア ACOUSIS<sup>3)</sup>と縮尺模型実験とを併用し、また交通騒音に特有の音源が移動する場合の防音効果量を検討するために、車両通過時の騒音量の時刻歴応答を計算できるソフトウェア ASLOWを開発して対応している。

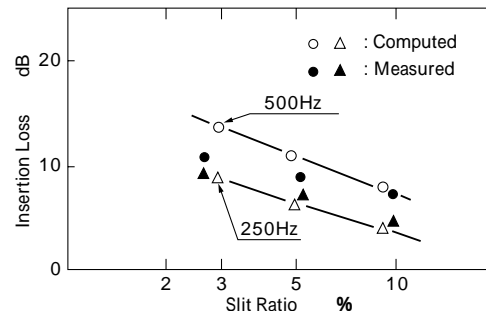
#### 1.1 スリット型防音壁

第1図にスリット型防音壁の水平断面図を示す。断面



第1図 スリット型防音壁(ピスタウォール)

Fig. 1 "Vista Wall" Slit type sound barrier

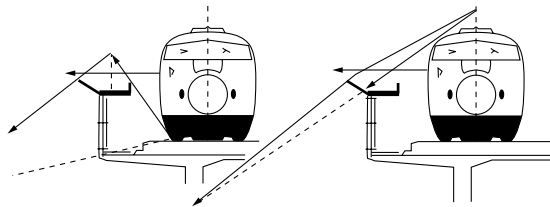


第2図 スリット開口率と防音効果量の実験と計算との比較

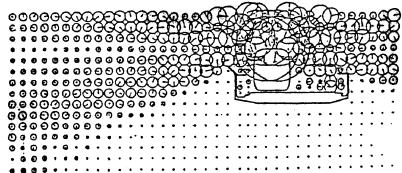
Fig. 2 Measured and computed attenuation of slit type barrier with different opening ratio of slit

がほぼ台形の筐体を一定の間隔で配置した防音構造で、スリット部からの光による残像効果で外の景色を連続的に視認することが出来る。視界を広角化するために同図の形状を採用した。各筐体の音源側である道路内に向かう面は発泡アルミニウム材をもちいて吸音性を付加し、また筐体部は空気層を構成し、他の外面は遮音材として作用する。筐体部の材質はアルミニウムまたはカラーチタンで高い耐候性を持たせている。写真1にその外観を示す。

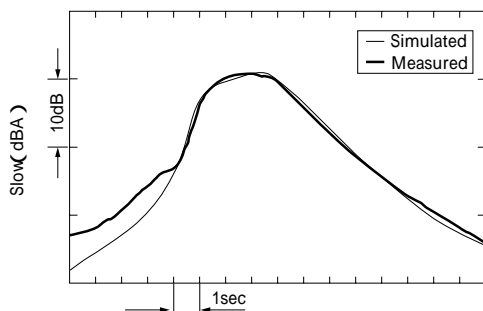
スリットの面から漏出る騒音エネルギーが、防音壁の本来持つ防音効果量を低減させないように、吸音特性と間隔量とを設定する必要がある。そのため、第1図a)の水平断面を2次元音場としてACOUSISにより解析し(第2図)、その結果に基づいて最適なスリット間隔を決定した<sup>4)</sup>。設置後、防音壁減音量のスリットの無い場合の理論値と本防音壁における実測値とを比較したところ前者と同等の減音量(約10dB)を有し、スリットによる防音



第3図 張出し型防音壁における音線軌跡  
Fig. 3 Locus of sound ray on overhanging type sound barrier



第4図 集電系音源に対する音圧分布の計算例  
(円の直径は音圧の大きさに比例)  
Fig. 4 Computed spatial distribution of sound pressure  
(Diameter relates to magnitude of sound pressure)



第5図 列車通過時騒音レベル時刻歴変化(25m地点)の計算と実験との比較  
Fig. 5 Measured and computed time response of noise level (at 25m far) as train passing



写真2 新幹線用張出し型防音壁  
Photo 2 Overhanging type sound barrier for super express railway

性能低下は生じていないことが確認された<sup>1)</sup>。

## 1.2 張り出し型防音壁

この防音壁では、張出し部を設けることにより、転動音など車体下部音に対して、第3図に示す音線軌跡から類推される背の高い防音壁と同等な回折効果量と当時従来の防音壁では低減出来ていなかった集電系音の低減とを狙ったものである。窓外の景色を見る際に妨げにならぬ範囲で張出し部の長さや角度を調整して最適形状を定めている<sup>2)A)</sup>。その検討に音場数値シミュレーション技術を活用し、最適化をはかった。第4図に、集電系音源の代表位置として架線とパンタグラフとの接点とした場合の音圧分布の計算結果例を示す。新幹線騒音の主要音源は、他に転動音など車体下部音と側面空力音とから構成される。各音源に対する防音壁形状案の相対的減音周波数特性比較は、これらに対する2次元音場数値シミュレーションにより定量的評価が可能となる。一方、絶対値としての低減量は、3次元音場での評価が必要とな

る場合が多い。現行のコンピュータ環境では数値解析が巨大規模化して実用的でない。そのため縮尺模型実験を併用し、両者の結果を総合して形状決定に至っている。

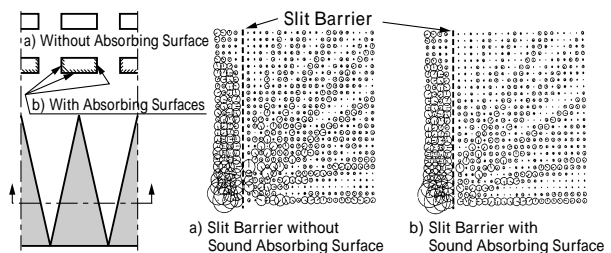
さらに、沿線の騒音値を予測するためには、新幹線走行時の個々の音源の大きさや寄与度が定量的に把握されておかなければならない。これらの量から各音源に対する防音壁の低減量を減じることにより、新防音壁設置後の沿線騒音値が求まる。そのため、各音源の寄与度を超指向性マイクロフォンシステムをもちいて現地で計測評価する技術を開発<sup>2)</sup>し、その後も改良を進めている。第5図に沿線における新幹線列車通過時の騒音レベルの時刻歴変化のASLOWによる計算値と実測値との比較例を示す。良い一致がえられており、逆にこれから各音源の寄与度の見積もりの妥当性を確認する手段にもなっている。

写真2に同防音壁の全景を示す。目標減音量の達成と前述の手法の有効性が確認されている<sup>2)</sup>。

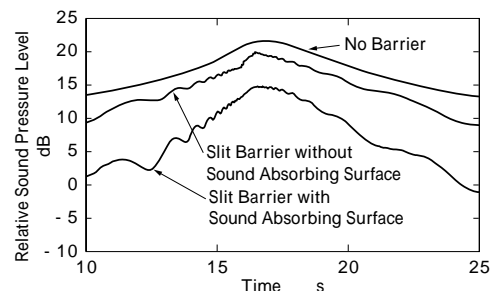
## 1.3 山形防音壁

スリット型防音壁に対して開口率の拡大による景色像の明るさの改善と風荷重の低減とを狙い、開口率50%の防音壁を開発した。開口による遮音度の低下を、山形状による音波干渉作用と吸音面の効果的な配置とにより補い、透明板と同等以上の防音性能を実現した。また、残像効果により透明板とそん色無い透明性がえられている。

開口部と防音壁部との開口比率や防音壁吸音性付加部位と防音量との関係を、各高さごとの階層での水平面内における2次元音場シミュレーション結果に基づき定量化し、実設計に反映した。第6図に音圧分布の計算結果の一例を示す。同図では、左下位置に音源を配置し、防音壁(破線部)の外側空間の2次元音場が同図破線の右部分になる。干渉効果のみの場合に比べ、同右図に示すように個々の防音壁の三面に吸音性を与えることにより、より低騒音化が可能であることがわかる。この音源



第6図 水平断面内の山形防音壁開口スリット列が作り出す音圧分布の計算結果  
Fig. 6 Computed sound field on horizontal cross section with slits of mountain shaped barrier



第7図 移動音源の定点での相対的音圧レベル時刻歴変化の計算値  
Fig. 7 Computed time response of relative sound pressure level for moving source



写真3 新幹線用山形防音壁  
Photo 3 Mountain shaped barrier alongside super express railway

が移動する場合の定点における音圧レベルの時刻歴変化を時定数1秒のSLOW特性で計算し、第7図に示す。これらの解析検討結果に基づき諸元を選定し、前述の場合と同様に、1/20縮尺模型による3次元音場での性能確認の後、最終仕様を決定した<sup>6)</sup>。

写真3は、高架橋区間の既設防音壁上に山形防音壁を増設した例である。目標の減音改善量の達成が確認されている<sup>7)</sup>。

## 2. 道路用吸音板の開発

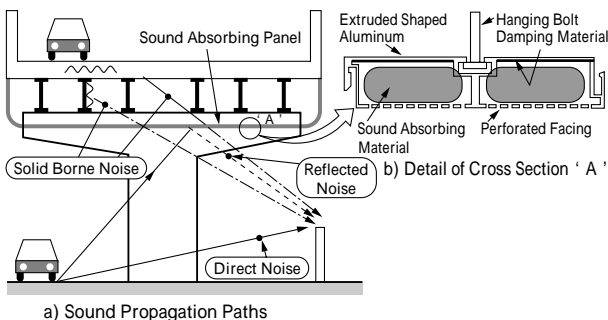
交通量の増大にともない、沿道の環境騒音改善への社会の関心は高まっている。

大都市やその周辺の道路では、多層構造の道路も多く、下層の道路を走行する自動車騒音が上層の高架道路の裏面で反射され、沿道の騒音を増加させている場合も多い。また、掘割道路や半地下道路では上部の開口から外部空間へ放射された自動車騒音が、沿道の高層住宅の環境騒音に影響を与えている場合もある。

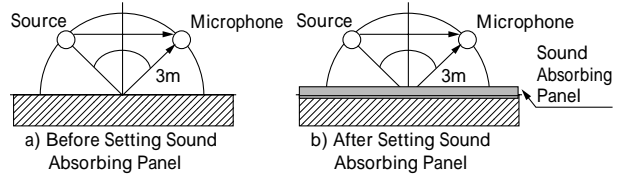
当社ではこれらの騒音に対して、吸音板をもちいた効果的な低減技術の開発を進めてきた。低コストで高性能な吸音板の合理的設計や吸音板の最適配置の検討のために、自社開発の1次元波動解析ソフトウェアや前述の2次元音場数値解析ソフトウェアを活用している。また、大型無響室(高さ8×19×15m)に供試体を搬入しての実物大実験による性能確認をおこなって最終仕様の決定をはかっている。

### 2.1 高架道路裏面吸音板

第8図a)に示すように、鋼桁や床版裏面からの固体音を取囲んで遮蔽するとともに、下層の道路からの自動車騒音を遮蔽体下面で吸音する。吸音板本体は、第8図b)に示す幅300mmのアルミ押し出し型材から成り、型材の内面に熱融着した制振材料による振動減衰性を有し、既開発の新幹線車両用床材の姉妹品としての高い遮音性を持



第8図 上層道路の裏面に設置された裏面吸音板  
Fig. 8 Sound absorbing panel under the elevated road



第9図 斜入射吸音率測定方法の概念図  
Fig. 9 Concept of measuring system for oblique incidence sound absorption coefficient



写真4 斜入射吸音率測定状況  
Photo 4 View of measurement of oblique incidence sound absorption coefficient

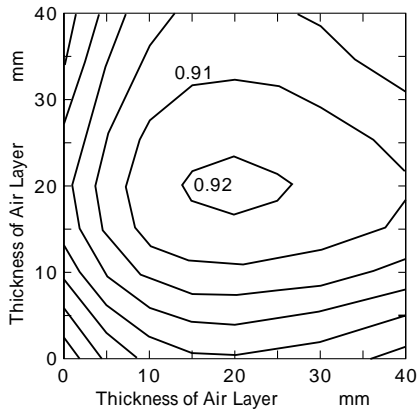
つ。また、本体下面の多孔板を通過して入射した音波をその内部にある吸音材により吸音する。吸音板本体の型材の両側面を嵌合構造にして隣接する吸音板間の気密度を上げ、音漏れを防止している。

建設省(現国土交通省)の技術評価制度では、吸音板の性能は、指定された異なる角度からの斜入射吸音率を平均して評価される。時間の短い試験音を使用すれば、第9図に示す直接到達する音波と反射して到達する音波とを時間軸上で分離できるので、床上の吸音板有無における反射波の大きさから斜入射吸音率の算定が可能となる。当社では、自社開発した斜入射吸音率測定システムOISACをもちいている(写真4)。

第9図に示す床面上の、吸音材有無におけるマイクロホン位置で観測される各音圧波形については、媒質が空気と吸音材で構成される第9図の2次元音場をモデル化し、ACOUSISによる定常応答解析解を逆フーリエ変換することにより、数値シミュレーションが可能となる。シミュレーションでえられた波形から求めた斜入射吸音率と上記計測システムの測定波形からえられた斜入射吸音率との差は数%以内であり、本数値シミュレーションは、実用上十分な精度を有していることが判明している<sup>9)</sup>。

このシミュレーション技術をもちいて、吸音板の断面形状が凸形、三角形、平行の各場合の斜入射吸音率の差異を求め、低コスト化につながる単純な平行でも吸音率0.9が可能であることを見出した<sup>9),10)</sup>。

さらに、吸音板の基本形は平型として、一層の低コスト化のために、吸音性能を確保しての吸音板厚さの薄肉化を目指した音響構造の最適化も可能である。第8図b)に示す吸音板において、グラスウールの厚み、かさ密度、背後と前面の各空気層の厚み、防水フィルムの厚み、および多孔板の開口率などが吸音性能に大きく影響する。そこで、1次元の伝達マトリックス法によりこれらの吸音板構造をモデル化<sup>11)</sup>して、パラメータ最適化をおこなっている。第10図に、異なるかさ密度のグラスウールを2層重ね、グラスウールの前面と背後に空気層を設け



第10図 背後と前面の空気層厚みと吸音率についての計算値  
 Fig. 10 Computed sound absorption coefficient to thickness of front and back air layers



写真5 高架高速道路での施工例  
 Photo 5 Sound absorbing panels constructed under elevated road

る構造とした場合の、吸音率と空気層厚みとの関係についての同法によるシミュレーション例を示す。図中の数字が吸音率を示す。吸音率が最大となる前面と背後の空気層厚みの組み合わせ領域が存在することがわかる。道路と裏面との多重反射音による周辺環境騒音への裏面吸音板の有効性についてもシミュレーションにより確認済み<sup>10)</sup>である。

このようにして、厚み 93mm で平均斜入射吸音率 0.93 を実現した吸音板が、高架高速道路裏面に使われている(写真5)<sup>10)</sup>。なお構造物音に対しては、11dBから14dBの遮音性能であることを実物大実験により確認している<sup>10)</sup>。写真6は、構造物音の遮音性能を評価するために、当社大型無響室内に実物大の高架道路と鋼桁の部分構造を設けた装置風景の例である。

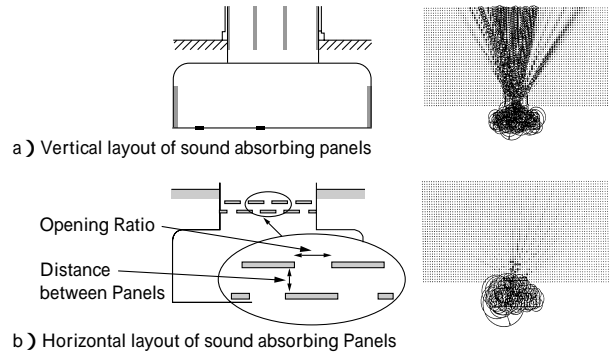
## 2.2 掘割道路水平吸音板ユニット

掘割道路の騒音対策として、開口部に吸音板で構成されるルーバを設置する場合がある。吸音単位面積当たりの防音量を最大にするための合理的な吸音板配置の検討に2次元音場シミュレーションを活用した例を示す。薄い吸音板を含む音場の解析では、解の一意性や誤差の問題があり、数値誤差を発生させない計算のモデル化が重要である<sup>12)</sup>。第11図に薄い吸音板を垂直または水平に配置した場合の、開口部からの音放射のシミュレーション結果の比較例を示す。水平型の性能が高い事が確認できる。後者の場合には同図に示す開口率と吸音板間距離が小さい程、防音性能は向上するが、換気性能など他の要求性能を満たさなくなる。両者を満足させる最適値の選定に、本技術が活用された。写真7に施工例を示す。

むすび= 自社開発のシミュレーション技術や計測技術を



写真6 構造物音の遮音性能実験のために大型無響室に設置された実物大部分高架道路  
 Photo 6 Full-sized partial elevated road in our large anechoic room to evaluate performance of cover for structure borne noise



第11図 吸音板の配置と放射音分布の計算値  
 Fig. 11 Computed sound field radiated from trench type road



写真7 掘割り道路用水平吸音板施工例  
 Photo 7 Horizontal type sound absorbing panel units constructed over the trench type road

活用した防音構造の最適化例と実施工例とを紹介した。施工の実現に際しご支援頂いた方々に深謝申し上げる次第である。今後もこれらの要素技術を進展させ、一層の合理的な環境騒音低減方法の開発に活用し、製品に反映させて行く所存である。

## 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) 田中俊光ほか:機械学会論文集, 50-453(C)(1984) p.848.
- 4) 田中俊光ほか:神戸製鋼技報, Vol.40, No.2(1990) p.53.
- 5) 田中俊光ほか:騒音制御工学会講演論文集(1990)10, p.57.
- 6) 山田隆博ほか:騒音制御工学会講演論文集(2000)9, p.133.
- 7) 田中俊光ほか:神戸製鋼技報, Vol.49, No.2(1999) p.74.
- 8) 杉本理恵ほか:機械学会講演論文集, No.97-2(1997) p.125.
- 9) 杉本理恵ほか:騒音制御工学会講演論文集(1997)9, p.53.
- 10) 田中俊光ほか:神戸製鋼技報, Vol.49, No.2(1999) p.69.
- 11) 木下伸一ほか:騒音制御工学会講演論文集(1999)9, p.117.
- 12) 杉本理恵ほか:騒音制御工学会講演論文集(1999)9, p.129.