

3404 新幹線トンネル出口騒音低減の研究

A practical study of Shinkansen tunnel portal noise reduction

土 緒方正剛 (交通研)

土 高橋亮一 (JR西日本)

関 四郎 (三菱重工長崎造船) 機 原 忠彦 (三菱重工長崎研)

Seigo OGATA, National Traffic Safety Environment Laboratory, 7-42-27, Jindaiji, Chofu, Tokyo
Ryoichi TAKAHASHI, West Japan Railway Company
Shiro SEKI, Mitsubishi Heavy Industries, LTD
Tadahiko HARA, Mitsubishi Heavy Industries, LTD

The noise from a tunnel portal is the echoing noise emitted from railway cars running in the tunnel. There are two methods to reduce the noise from the tunnel. The first is to interrupt the tunnel portal with a sound Insulating board plate that is commonly method. The second methods is to install sound absorbing plate in the tunnel portal. This report describes to the later method with field sound test result.

Key word : Shinkansen, noise reduction, tunnel, sound absorb

1. はじめに

日本では、新幹線沿線に居住エリアが多いためトンネル出口騒音を極力低減することを要求される場所も発生する。最近の新幹線トンネルは、ほとんどがスラブ軌道のためバラス軌道に比べると騒音が拡大されていると考えられる。トンネル出口騒音の低減法には出口の明かり部に防音壁(遮音板)を設置する方法が一般的であるが、トンネル内部の反射音を吸音する方法もある。本論文は後者の方法を我が国で始めて運用中の新幹線の実際のトンネルに施工し効果を確認したので報告するものである。

2. トンネル吸音板とその効果

2.1 列車走行時騒音計測結果

図1はJR西日本山陽新幹線Aトンネル内部にセラミック製吸音板を施工した状況を示したものである。トンネル出口から奥に向かって50mに亘って両側壁に吸音板を設置したものである。図2は沿線25m地点における騒音計測結果で吸音板設置前後の比較を示す。施工前後で2~4dBの効果が認められる⁽¹⁾。また、500系車両よりも700系車両の方が効果が大きいといえる。

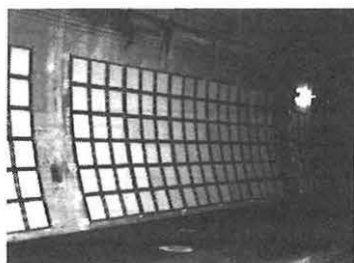


図1 トンネル吸音板の設置

2.2 スピーカー試験による結果

図3は新幹線Wトンネルに吸音板を施工した状況を示したものである。このトンネルでは両側壁に設置可能な面積が少なかったため奥行きを150mに延ばし総面積を確保した。吸音板の効果を確認するためにスピーカーによる音

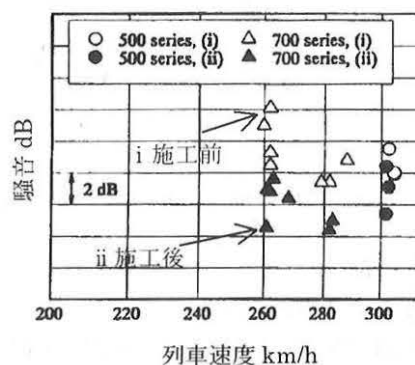


図2 トンネル吸音板の効果



図3 吸音板とスピーカー試験

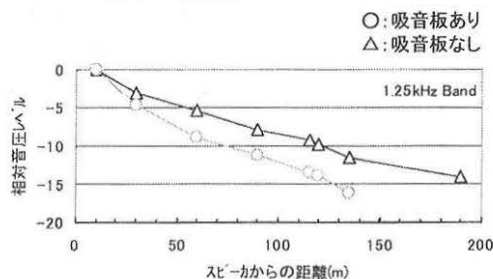


図4 基準音源法による効果推定

響試験を行った。音源には基準音源を用いたものであるが、図4は中心周波数1250Hzに着目して音源からの距離減衰を表した結果であるが3dB程度低減することが確認できた。

3. セラミック吸音板の設計

3.1 複合型セラミック吸音板

セラミックスは耐久性に優れた材料で、湿気や風圧などによる劣化や変形が生じないばかりか、多孔質材料であるため音が通過する際に大きな減衰を発生させることから従来の繊維系吸音板に比べても遜色ない吸音特性が得られる。図5に複合型セラミックの吸音率を示す。本図は背後空気層が50mmの場合ではば1000Hz付近が最も吸音率が高い。背後空気層を深くすると低い周波数で吸音率が高くなる。セラミックスには焼結型と複合型があるが鉄道騒音関係では対高温性よりも対強度が優先するため複合型セラミック吸音板を採用した。特徴をまとめると表1に示すようになる。

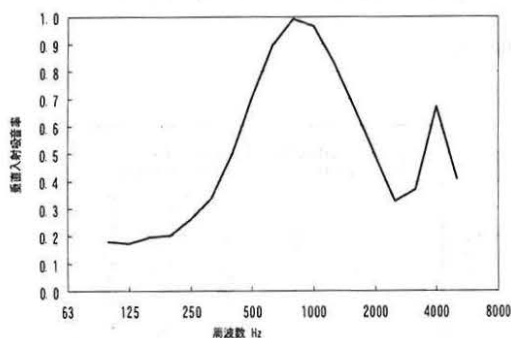


図5 セラミックスの吸音特性

3.2 新幹線トンネル内部の力

吸音板の設計に先立ち実際のトンネル内部の出口付近ではどのような圧力が発生するのかトンネル側壁面に、十分な安全な試験的な吸音板を設置してその周囲の圧力計測と振

表1 セラミック吸音板の特徴

安定性、耐久性	雨風にさらされてもセラミックスの劣化はなく、吸音率低下せず
安全性が高い (耐衝撃性の向上)	エキスパンドメタルの使用によりも破片の飛散なし
吸音効果大きい	表面材として使用できるため、開口部を大きく取れる
耐候性に優れる	耐水性、耐食、耐熱性に優れる。
不燃性	車材燃試14-458K 日本鉄道車両機械技術協会
脱水性	保水率5%

動計測を行った。図6は計測した圧力の一例でトンネル内を衝撃波(矢印)が7.76秒で往復しながら減衰しているのがわかる。最大圧力は列車の先頭部が圧力計前面を通過する時の負圧と最後尾部が通過する時の正圧が発生している。計測最大値は1800Paであった。なお、発生圧力は列車速度や列車形状に依存することがわかった。

3.3 荷重を考慮した吸音板の設計

計測された最大圧力と文献⁽⁴⁾に示された模型試験の圧力計測結果などから、トンネル内で吸音パネルに作用する圧力は3000Paを考慮した設計とし安全率3を確保することとした。この理由はトンネル中央で上下列車が遭遇するとき9000Paが発生する可能性があることを考慮した設計としたためである。図7にFEM解析結果を示す。吸音板の写真を図8に、構造の概要を図9に示す。重量は施工時のハンドリングを考慮して最大20kgを確保した。支持枠は溶融亜鉛鍍金材1.6mmである。表面にはアルミのメッシュ(エキスパンドメタル)を配置し衝撃および曲げ強度を増加しているほか、万一の場合の飛散防止の役目を持たせている。また、トンネル内での施工性を向上させるためトンネル壁に溝型レールを取り付けこのレールに

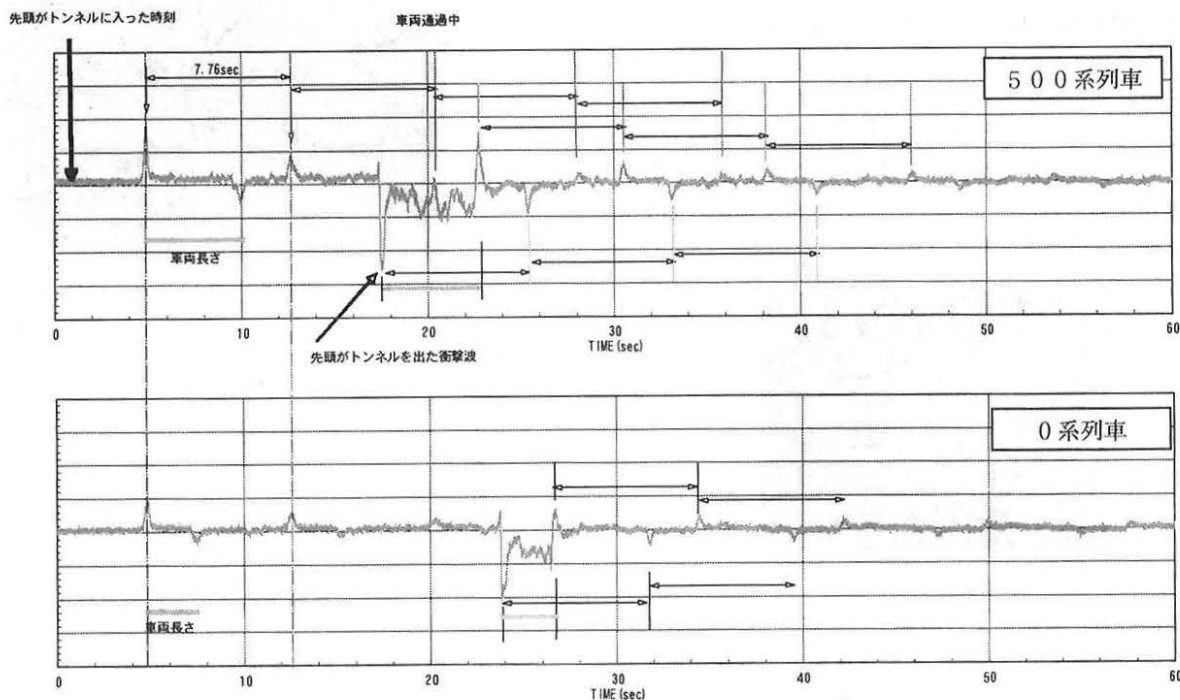


図6 新幹線トンネル内の圧力測定結果

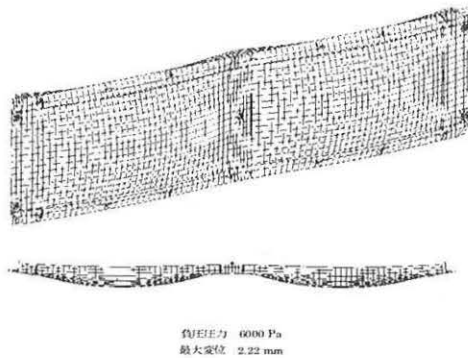


図7 FEM解析結果

セラミック吸音板をボルトアップした。吸音板はレールの溝を滑らして挿入したり、途中から雨どい方式で挿入、抜き出しが可能であることが特徴である。

3.4 各種強度試験

3.4.1 振動試験

前述したように吸音板はトンネル内では列車通過時に正負の3000Paが作用する。これを1サイクルとみなし1日に上下合わせて280本の列車が通過し30年間使用したとすると $280 \times 365 \times 30 \approx 300$ 万回の繰り返し荷重が作用する。繰り返しの圧力試験は困難であるため、図10に示すように振動試験機上に設置した吸音板に砂袋50kgを搭載して加速度3Gで300万回の加振試験を行い異常が発生しないことを確認した。

3.4.2 静荷重試験

9000Paに相当する荷重(9000kg/m²)を鉄のブロックで搭載して異常が発生しないことを確認した。試験は表面荷重搭載と裏面荷重搭載について実施した。



図10 砂を搭載した吸音板の振動試験の様子

3.4.3 落下・高速風洞衝撃試験

500grの鋼球を高さ2mから落とし損傷の有無を調査した。試験は表面(エキスパンドメタル側)と裏面について実施した。表面からの衝撃時にはセラミックの微細な剥離が生じるが裏面からの衝撃には問題ないことがわかった。このため鉄道トンネルではエキスパンドメタル側をレール側にすることが負圧に対する強度上と飛散防止の観点から有利である。又、トンネル内を模擬した減圧風洞で9000Paの衝撃負圧を作用させた試験を行い異常がないことを確認した。

4. 騒音低減効果の推定

トンネル坑口からの騒音を低減するためトンネル内にセラミックス吸音板を施工した際の効果について予測計算を行った。

4.1 トンネルと計算点の配置

図11に示すようにPトンネル(L=3220m+緩衝工18m)とWトンネル(L=1017m+緩衝工12m)に挟まれた明かり部

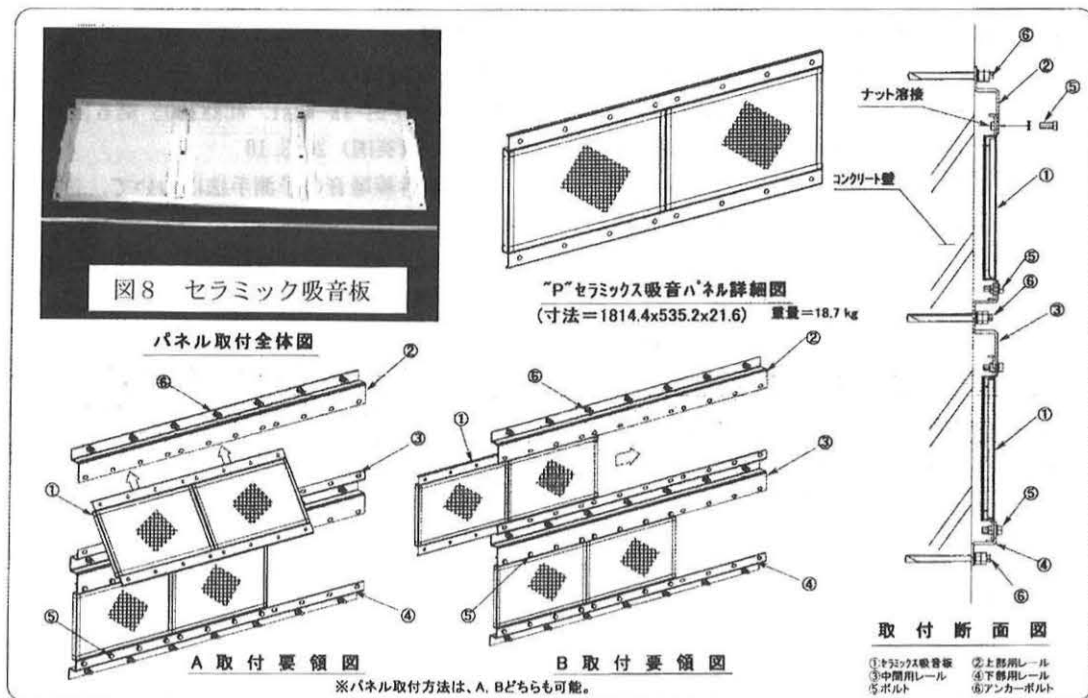
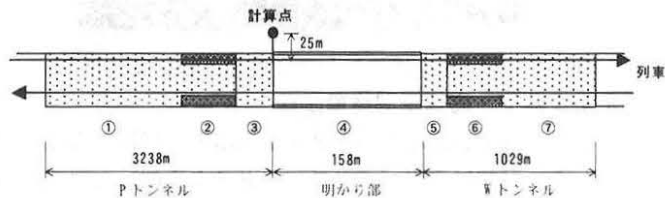


図9 セラミック吸音板の構造

($L=158\text{m}$)を想定してトンネルをモデル化した。ただし、予測計算の一般性を考慮して当該地域の具体的地形は無視し、地表面上の一直線上に両トンネルを配置した。両トンネル緩衝工間の明かり部には高さ3mの防音壁が設置されるものとした。計算点はPトンネル緩衝工出口から直角方向に25m離れた地上1.2mの位置とした。使用した新幹線列車の諸元は700系車両で8両編成200m、速度は260km/hと仮定した。



- (1) ②⑥は吸音板施工区間(50mまたは70m)
- (2) ③⑤は緩衝工(③は18m、⑤は12m)で吸音無しと想定
- (3) ④の明かり部は高さ3mの防音壁を設置
- (4) 計算点は地上1.2m
- (5) 新幹線は上り線の走行を想定

図11 トンネルと計算点の配置模式

4.2 計算方法

騒音伝搬計算は、「新幹線騒音の予測手法について」⁽²⁾ および「トンネル坑口周辺部の騒音予測法について」⁽³⁾ に基づいて行った。

新幹線騒音は、[1]車両下部騒音、[2]構造物騒音、[3]車両上部空気騒音、[4]集電系騒音に大別されるが、このうち[1][3][4]を計26個の点音源で表すとともに、それぞれに表2に示すような音響パワーレベルを与えた。なお、パワーレベルは700系に適用する値を用いた。

列車先頭が計算点断面から3500m手前の位置の時点時刻0とし、両トンネルを通過するまでの75秒間について、1列車通過時のユニットパターン(計算点における騒音レベルの変動:動特性SLOW)を計算した。その結果から、列車通過時の騒音レベルピーク値 $L_{A,SMAX}$ および単発騒音曝露レベル L_{AE} を求めた。

表2 新幹線騒音を表す音源の設定

単位: dB

音源の種類	点音源 個数	パワーレベル周波数特性 (A特性)						
		0A	125	250	500	1k	2k	4k
車両下部騒音	16個	117	99	102	104	109	114	111
車両上部空気騒音 (車間)	1個	95	88	87	88	87	88	84
車両上部空気騒音 (先頭)	7個	102	95	94	95	94	95	91
集電系騒音	2個	104	97	96	97	96	97	93

4.3 施工面積による効果の比較

セラミックス吸音板の空気層と施工面積を変化させたケースを計算した。計算結果を図12に示す。新幹線騒音の評価値として一般に用いられる最大値 $L_{A,SMAX}$ の計算値は、未施工の場合と比較して2.4dBの低減効果が得られると予測された。列車1車両通過時の単発騒音曝露レベル L_{AE} の結果も $L_{A,SMAX}$ と同じ傾向を示すが、施工長による差が $L_{A,SMAX}$

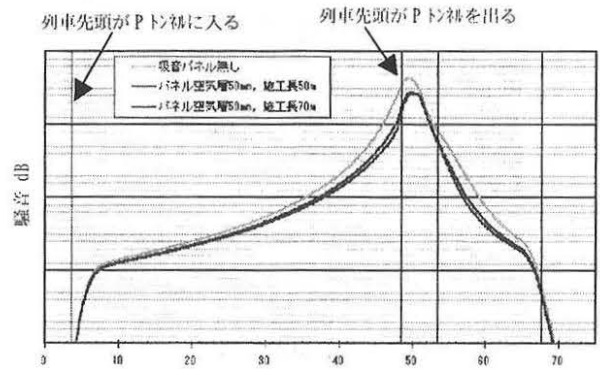


図12 ユニットパターンの比較

よりも大きめとなっている。これは列車がトンネル内を走行している間に坑口から放射される騒音の差が現れたためと判断される。

4.4 実験との比較

本トンネルのスピーカー試験による減音量は2~3dBであった。推定された2.4dBに対して良い一致をしていることから、本推定法が妥当であると考えられる。

5. まとめ

新幹線トンネル出口騒音低減の対策のひとつの方法としてトンネル内部にセラミックス吸音板を設置する方法を提案した。さらにわが国で始めて実際に運用中の新幹線トンネルに施工し現地試験で騒音低減量は2~4dBあることが確認された。また、設計にあたり実施した各種の吸音板強度試験の結果および騒音低減効果の推定手法を示した。

参考文献

- (1) Countermeasures of noise reduction for Shinkansen of JR-West. WCR2003 第6回世界鉄道研究会議 (英国) 2003. 10
- (2) 新幹線騒音の予測手法について, 日本音響学会騒音振動研究会資料 N-2000-01
- (3) トンネル坑口周辺部の騒音予測法について, 騒音制御 Vol. 24, No. 2, 2000, pp127-135
- (4) 高速列車トンネル突入による低周波音問題, 日本航空宇宙学会誌 49 巻 571 号 2001. 8p170~175
- (5) 新幹線沿線騒音予測法, 鉄道総研報告 vol14, no9, 2000. 9