

新幹線トンネル出口騒音の低減に関する研究

交通システム研究領域
三菱重工業(株)長崎造船所
三菱重工業(株)長崎研究所

緒方 正剛
関 四郎
原 忠彦

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ト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初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かめ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。吸音板の効果を確かめるためにスピーカーによる音響試験を行っ

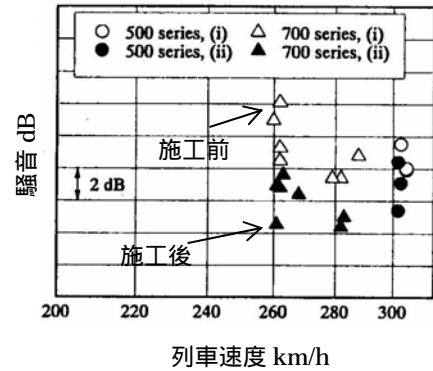


図2 トンネル吸音板の効果



図3 吸音板とスピーカー試験

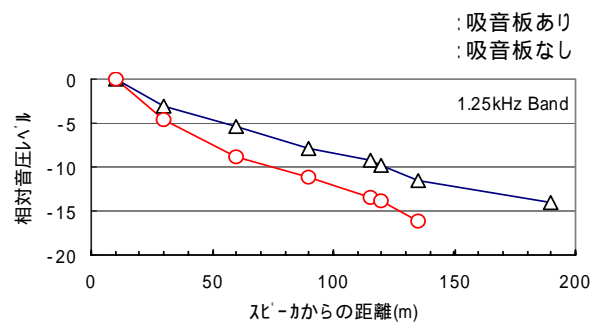


図4 基準音源法による効果推定

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の場合でほぼ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。

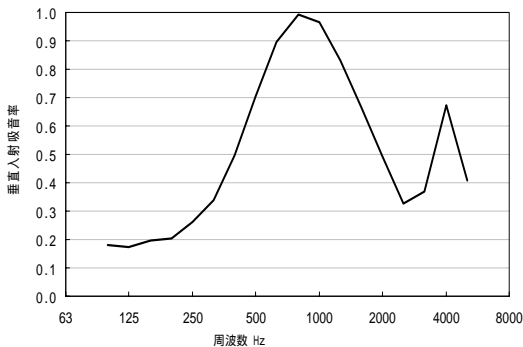


図5 セラミックスの吸音特性

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%

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

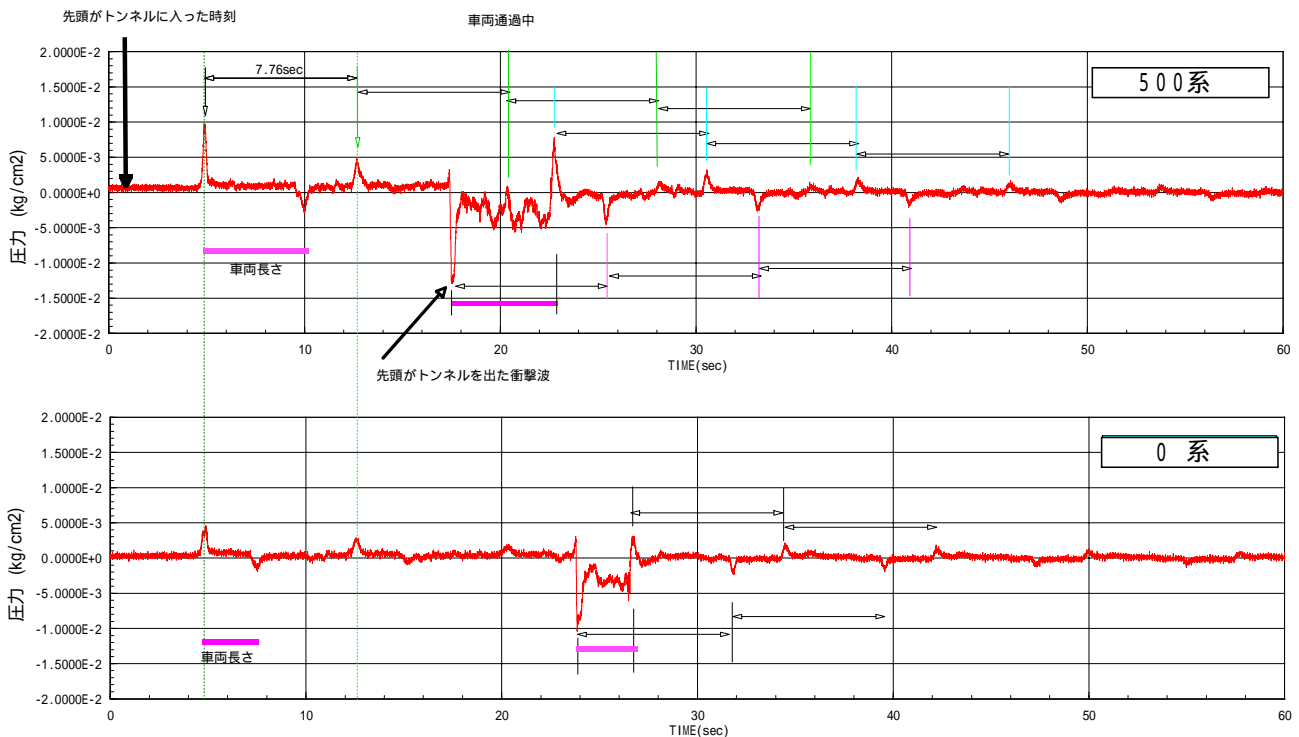


図6 新幹線トンネル内の圧力測定結果

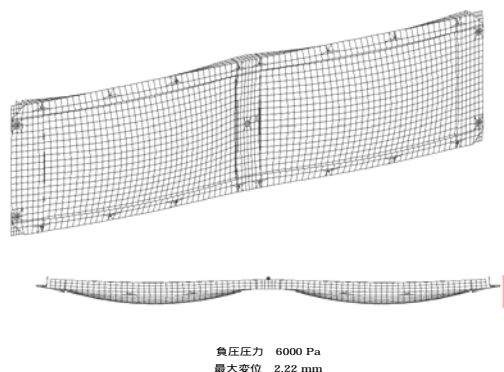


図7 FEM解析結果

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



図10 砂を搭載した吸音板の振動試験の様子

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280×365×30=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

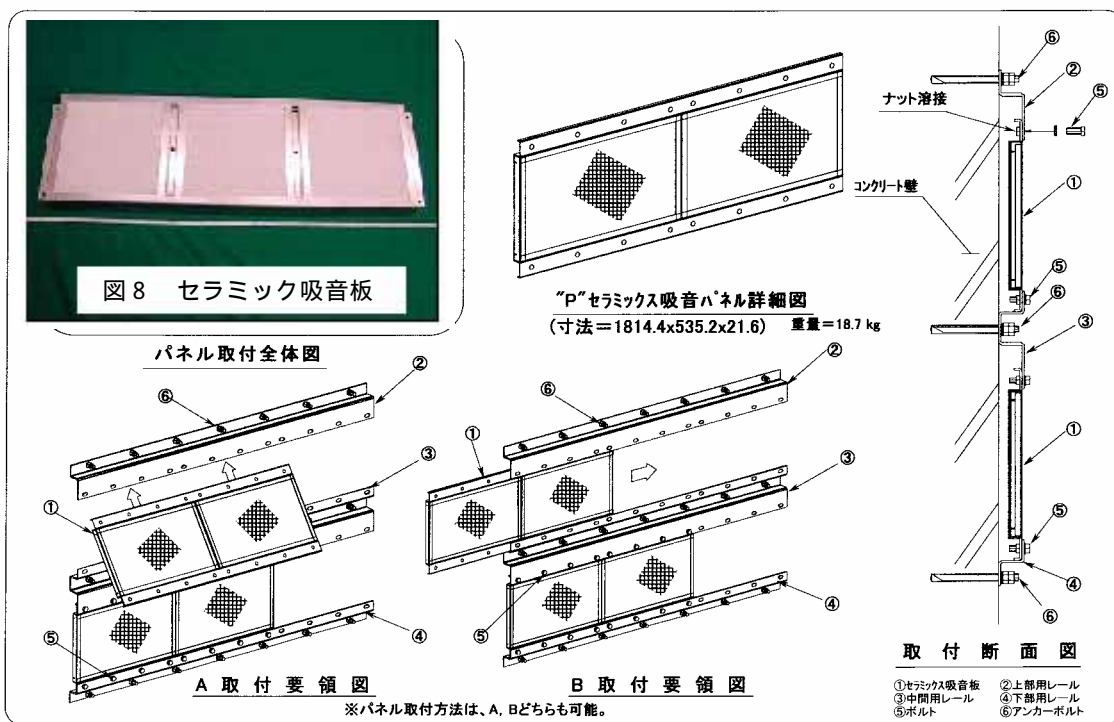
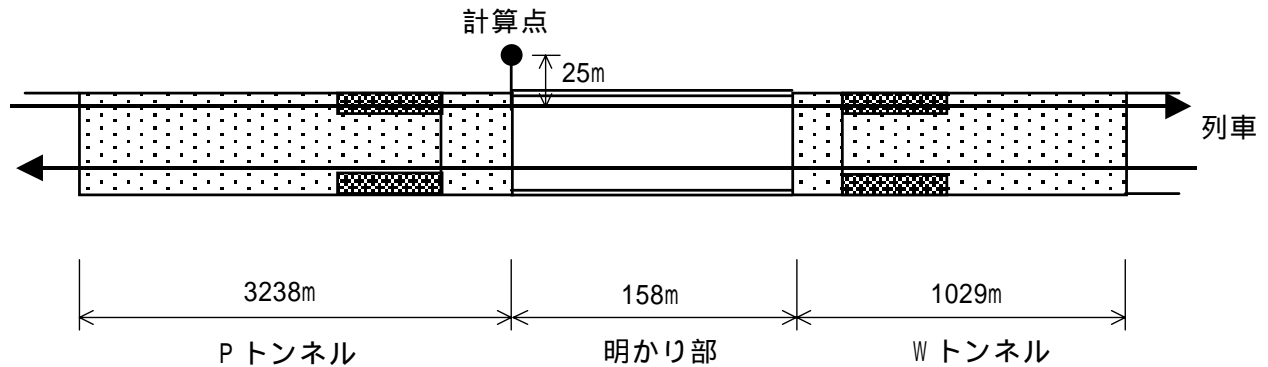


図9 セラミック吸音板の構造



- (1) は吸音板施工区間(50m または 70m)
- (2) は緩衝工 (は 18m、 は 12m) で吸音無しと想定
- (3) 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 1 1 トンネルと計算点の配置模式

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 (900kg/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。

3.4.3. 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 1 1 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 (L=158m) 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

表 2 新幹線騒音を表す音源の設定

単位 : dB

音源の種別	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
車両上部空力騒音 (車間)	1個	95	88	87	88	87	88	84
車両上部空力騒音 (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

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。

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⁾⁽⁵⁾ 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]車両上部空力騒音、[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

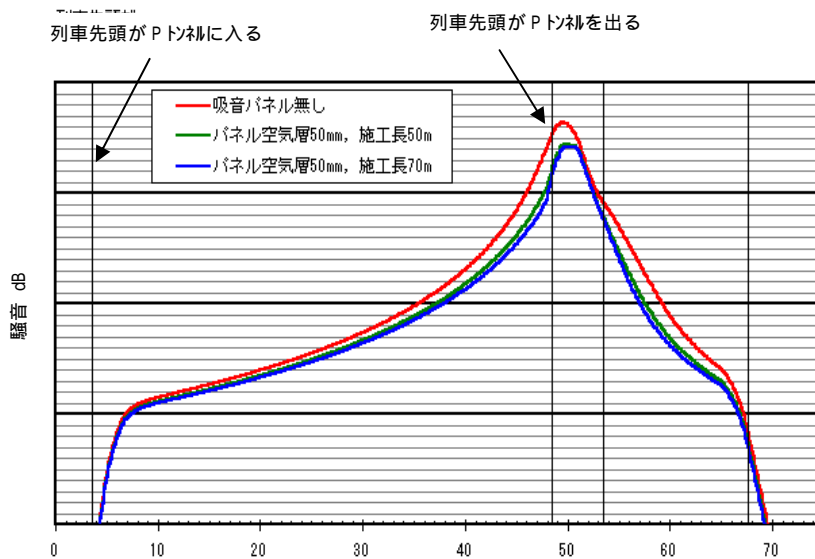


図 1 2 ユニットパターンの比較

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。

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 1 2 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 2.4 dB 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 $L_{A,SMAX}$ 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 ~ 3 dB であった。推定された 2.4 dB 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。さらにわが国で初めて実際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 ~ 4 dB 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. WCRR2003 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