

新幹線高架橋防音壁の更新に向けた軽量吸遮音壁の適用性評価

佐藤 大悟* 豊原 匡志 (鉄道総研)

阿部 幸夫 山本 健次郎 中村 祐太 (日鉄建材)

Evaluation of Applicability of Lightweight Noise Barrier for Large-scale Renovation of Shinkansen Viaducts

Daigo Sato*, Tadashi Toyohara, (Railway Technical Research Institute)

Yukio Abe, Kenjiro Yamamoto and Yuta Nakamura (Nippon Steel Metal Products Co., Ltd.)

Large-scale repairs are planned for railway viaducts in the near future, and noise barriers will be replaced with new ones. In preparation for this, the authors have been developing a new noise barrier that is easy to be installed and has high noise reduction performance. In this paper, various tests related to the acoustic and structure performances were conducted. As results, it is determined that the noise barrier has reached a practical level.

キーワード：防音壁，大規模改修，音響透過損失，残響室法吸音率，風荷重

(Noise Barrier, Large-scale Renovation, Sound Transmission loss, Reverberant sound absorption, Wind load)

1. はじめに

現在，一部の新幹線高架橋では，老朽化したコンクリート製防音壁の撤去および新規の設置による取替え修繕が計画されている。新規に設置される防音壁には，効率的な修繕の実施と将来的な列車速度向上を実現するため，施工性に優れかつ高い騒音低減性能を有することが望まれる。

こうした背景の下，著者らは取替用の新たな防音壁構造として，鋼製無支柱構造のユニット型吸遮音壁の開発を進めている。開発に際しては，防音壁としての基本的な音響性能の高さに加え，破壊強度や耐疲労特性等の構造上の強度と高めることが重要である。そこで，新幹線高架橋でのユニット型吸遮音壁の実用化に向けて，各種性能の目標を設定するとともに，試作品を用いて各種性能評価を実施した。また，評価結果により，新幹線防音壁としての適用性を検証した。以下，詳細を報告する。

2. ユニット型吸遮音壁の概要

〈2・1〉 実用化に向けた目標性能

従来より，鉄道用防音壁では破壊強度として風荷重 3kN/m^2 の負荷に対する安全性が求められてきた⁽¹⁾。一方で，その他の構造上の仕様や騒音低減効果に関わる音響性能等については，明確な規定等が設けられてこなかった。そこで，本研究では既往の知見等を参考に^{(2)~(4)}，ユニット型吸遮音壁の実用化に向け，音響性能および構造に関わる各種性能目標を設定した。

表 1 に，設定した目標性能を示す。遮音性能と吸音性能は

表 1 ユニット型吸遮音壁の目標性能

項目	数値目標
遮音性能	音響透過損失： [遮音部材単体] 400Hz:25dB 以上, 1kHz:30dB 以上 [吸遮音壁全体] 500Hz:25dB 以上, 2kHz:35dB 以上
吸音性能	800Hz~4kHz での残響室法吸音率 0.9 以上
破壊強度	風荷重 3kN/m^2 で破壊しないこと
耐疲労特性	風荷重 2.1kN/m^2 に対し十分な耐力を有すること
振動特性	固有振動数が 6Hz 以上

既往の研究等を参考とし，破壊強度は従来仕様を踏襲した。耐疲労特性は，従来より 1.0kN/m^2 の列車風圧による繰返し負荷が想定されてきたが，本研究では将来的な速度向上の伴う列車風圧の増加等を考慮して風荷重 2.1kN/m^2 を目標とした。振動特性については，近年の鉄道構造物に関わる動的設計法の知見に基づき列車風圧との共振を防止することを目的とした。

〈2・2〉 構造の検討

ユニット型吸遮音壁は，既設の防音壁に替えて床版張出し部上へ設置されるものである。取替工事を早期に完了し，必要な工事機材数を少なくする等，表 1 の目標性能に加えて，施工性が高く維持管理も容易であることが望まれる。

そこで，図 1 に示すユニット型吸遮音壁の構造を検討した。特徴を以下に示す。

- ①一定幅の柱状構造を構成単位 (1 ユニット) とし，これを線路方向に連結して防音壁壁面を構成する。
- ②1 ユニットは，遮音部材と吸音部材で構成される。高架橋外側 (民地側) となる遮音部材は，音の遮蔽性と軽量化の両立を図る構造とした一方で，軌道側は車体側面との音の

多重反射を抑制するため全面を吸音性とした。

- ③隣接するユニット型吸遮音壁同士は密な連結が可能な構造とし、隙間からの音漏れを防止した。
- ④床版張出し部上への設置については、1 ユニット毎に接合する方法とした。これにより、H 型鋼の支柱間にコンクリート板を落とし込むような有支柱構造と比較して防音壁への風荷重の負荷が線路方向に分散し、接合箇所での最大負荷の低減が期待できる。

本研究では、以上の構造について実際に試作を行い、以降に示す各種性能評価を行った。

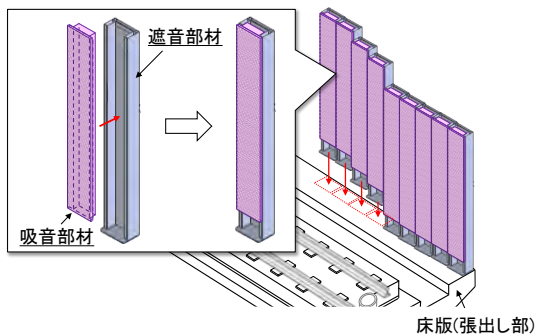


図1 ユニット型吸遮音壁の構造

3. 音響性能評価

ユニット型吸遮音壁の騒音低減性能は、図1に示す遮音部材と吸音部材で使用する各材料の特性に加え、各部材の形状や複数を連結状態した際の隙間の影響等によっても変化すると考えられる。そこで、こうした点を念頭に、音響性能に関わる以下の試験を行った。

(3-1) 遮音性能

(1) 試験方法および試験条件

ユニット型吸遮音壁の遮音性能を評価するため、JIS A 1416:2000 (実験室における建築部材の空気音遮断性能の測定方法) に準じて音響透過損失を測定した。試験では、2つの残響室間に設けられた約10m²の開口部にユニット型吸遮音壁12ユニットを配置し、遮音部材単体および吸音部材を併用した状態で測定した。吸音材には密度24g/cm³と40g/cm³の2種類を用い、それぞれ厚さは現行品を参考として70mmと120mmとした。

(2) 試験結果

図2に、音響透過損失の測定結果を示す。同図には、比較のため厚さ100mmのコンクリート板と嵩上げ用遮音板で実績のある厚さ8mmのポリカーボネート板の特性も示す⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

この結果、遮音部材単体の音響透過損失は400Hzで約28dB、1kHzで約33dBと目標性能を満たしたほか、厚さ8mmのポリカーボネート板と同等の遮音性能を有することを確

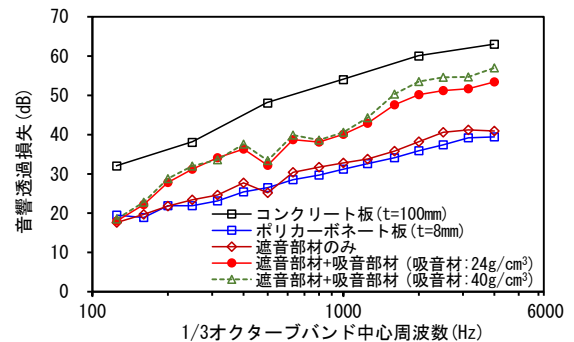


図2 音響透過損失の測定結果

認した。また、吸音部材併用時の音響透過損失は500Hzで約32dB、2kHzで約50dBと目標を満足し、250Hz以上で6~16dB増加するなど吸音材の併用による遮音性能の向上が認められた。一方、吸音材の密度や厚さの違いによる差異は小さい結果となった。なお、吸音部材との併用を含めて遮音部材では500Hzでやや音響透過損失が低下する状況が認められたが、これは遮音部材を構成する板部の固有振動数が同周波数付近に存在したためと考えられる。

(3-2) 吸音性能

(1) 試験方法および試験条件

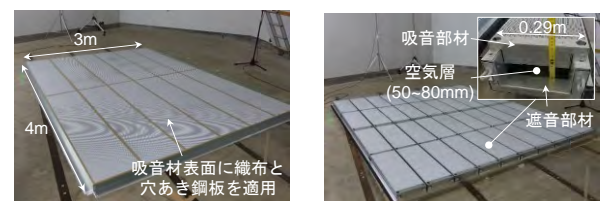
吸音部材の吸音性能は、使用する吸音材単体の性能に加えて、吸音材の表面に用いる織布や穴あき鋼板等の保護材の影響により変化する。そこで、JIS A 1409 (残響室法吸音率の測定方法) に準じた残響室法吸音率の測定により、これらの影響を評価した。

表1に、試験条件を示す。条件1は吸音材単体、条件2は条件1に対して表面保護用の織布 (目付120g/m²) および開孔率58%の穴あき鋼板を音源側表面に適用した条件である。条件3はユニット型吸遮音壁の実用状態であり、吸音材の上記表面保護材を適用するとともに、吸音部材と遮音部材間に50mm~80mmの空気層を有している。なお、吸音材には、3.1節とは異なり厚さ70mmの積層型吸音材を用いた。積層型吸音材は、列車走行に伴う車両下部騒音に適した周波数特性の実現のため新たに開発したものである⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

図3に、条件2および条件3の測定状況を示す。

(2) 試験結果

図4に、試験結果を示す。この結果、条件1と条件2では



(a) 条件2

(b) 条件3

図3 音響透過損失の測定結果

400Hz 以上の帯域で約 1.0 の残響室法吸音率を示した。これにより、吸音材表面に織布や穴あき鋼板等の保護材を適用した状態およびこれらを金枠に収納した状態においても、吸音材本来の吸音性能が概ね保持されることが確認された。さらに、条件 3 では 200Hz 以上の帯域で約 1.0 の残響室法吸音率を示し、吸音部材と遮音部材間での背後空気層の影響により、吸音材単体と比較して低い周波数帯域での吸音率の向上が確認された。以上、吸音性能は、表 1 の目標性能を十分に満足することを確認した。

なお、3.1 節と 3.2 節では異なる吸音材を用いて評価を行ったが、実用時は 3.2 節で用いた積層型吸音材を適用する予定である。積層型吸音材は 3.1 節で用いた密度 $24\text{g}/\text{cm}^3$ の吸音材と同厚さである一方で減音効果が高く、密度も高い⁽⁵⁾。そのため、積層型吸音材を用いた場合の音響透過損失は、少なくとも密度 $24\text{g}/\text{cm}^3$ より低下することは無いと考えられ

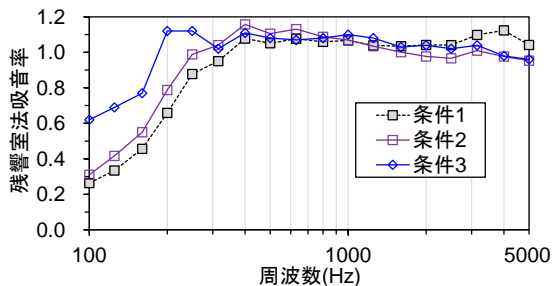


図 4 残響室法吸音率の測定結果

る。

4. 構造に関わる性能評価

構造に関わる性能評価では、ユニット型吸遮音壁の高さに応じて特性が変化すると考えられる。一方で、取替対象と想定される建設初期の防音壁の高さがレールレベルから 2m 程度であると考えられた。そこで、本研究ではユニット型吸遮音壁の高さを、床版上面からの立ち上げ高さ等を考慮して高さを 2.6m として以下の試験を実施した。

〈4・1〉 破壊強度

(1) 試験方法および試験条件

ユニット型吸遮音壁試作品を対象に、風荷重を想定した強度試験を実施した。図 5 に、試験の構成を示す。試験ではユニット型吸遮音壁を 3 ユニット連結し、それぞれ下端を支持点として水平片持ち状態で固定した。風荷重が 3 ユニットの壁面に均等に作用することを仮定し、試験治具を介して試験力を高さ方向中央に作用させた。なお、風荷重は、風向に応じて軌道側と民地側の両方向から作用することが想定される。本試験では、事前に実施した FEM 解析により軌道側からの負荷に対して破壊しやすことが確認されたため、試験力は軌道側から与えた。

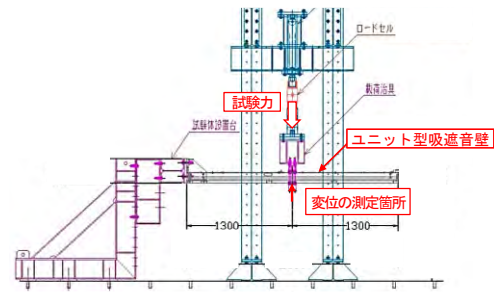


図 5 破壊試験の構成

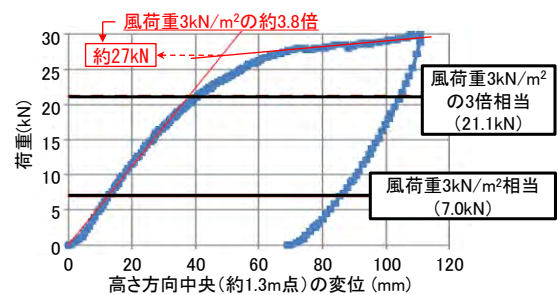


図 6 破壊強度試験結果

(2) 試験結果

図 6 に、得られた試験力と荷重点の変位の関係を示す。この結果、破壊荷重に相当する降伏時試験力は約 27kN であった。これは風荷重 $3.0\text{kN}/\text{m}^2$ (試験力約 7.0kN 相当) の約 3.8 倍であり、十分な破壊強度を有していると判断された。また、風荷重 $3.0\text{kN}/\text{m}^2$ 作用時の高さ方向中央 (1.3m) での変位は約 13mm、その 3 倍の風荷重 (試験力約 21.1kN 時) での変位は約 40mm といずれも弾性変形域内であり、風荷重に対して実用上十分な強度を有していると判断された。

〈4・2〉 耐疲労特性

(1) 試験方法および試験条件

ユニット型吸遮音壁の列車風圧の繰返し作用に対する耐疲労特性を評価するため、繰返し加振試験を実施した。

試験では、ユニット型吸遮音壁を 2 ユニット連結し、2.1 節と同様に水平片持ち状態で固定した。この状態で、前節と同様の構成で列車風圧 $2.1\text{kN}/\text{m}^2$ と等価な集中荷重 ($\pm 3.3\text{kN}$, 正負は押しと引きを表す) を、試験周波数 2.5Hz で下端より高さ方向中央 (1.3m) の点に作用させた。最大繰返し数は 200 万回とし、試験中の変形状況等を観察した。

(2) 試験結果

図 7 に、試験力および荷重点の変位履歴を示す。この結果、200 万回の試験中、荷重と変位はほぼ一定に推移しており、試験力に対して安定した挙動を示したことが確認された。なお、詳細は省略するが最も負荷が大きいと想定された箇所のひずみでも、試験中は安定した値を示しかつ十分設計値内に収まったことを確認し、試験後の外観調査でも構造上懸念される問題は発生しなかった。

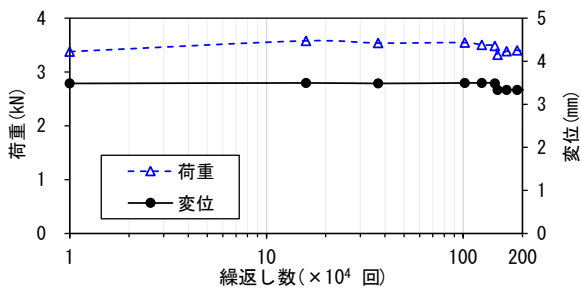


図 7 疲労試験の载荷履歴 (引き側)

以上より、ユニット型吸遮音壁は実用上十分な耐疲労特性を有していると考えられた。

〈4・3〉 振動特性

(1) 試験方法および試験条件

ユニット型吸遮音壁の固有振動数を測定するため、インパクトハンマーを用いた衝撃加振試験を行った。試験では、1ユニット単体での実施に加え、3、5、11ユニットとそれぞれ連結した状態でも実施し、連結に伴う固有振動数への影響を評価した。図 8 に、衝撃加振試験の実施状況を示す。

(2) 試験結果

図 9 に、試験結果を示す。ユニット型吸遮音壁のアクセルランスは約 8Hz に 1 次のピークを有しており、複数連結した状態でもほとんど変化しないことを確認した。この原因として、1 次固有振動数は単体では下端を支持点とした片持



図 8 衝撃加振試験の実施状況 (3 ユニット連結時)

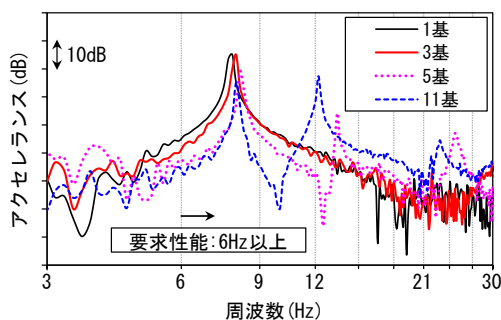


図 9 衝撃加振試験の結果

ち振動の挙動を示し、複数連結した状態でも同様の挙動が維持されるためと考えられた。

以上より、ユニット型吸遮音壁の 1 次固有振動数は列車風との共振が発生するとされた 5Hz よりも高い周波数域に存在し、複数連結した状態でも列車風との共振が生じる可能性は低いと考えられた。

5. 考察

3 章および 4 章で示したように、ユニット型吸遮音壁の試作品を用いた各種性能評価により、遮音と吸音に関わる各性能に加え、破壊強度、耐疲労特性、振動特性とも目標を全て満足したことが確認された。この結果、ユニット型吸遮音壁は、新幹線用防音壁として十分に実用水準に達していると判断された。なお、疲労試験については試験回数を増加し、引き続き耐疲労特性の評価を進めているところである。

また、4 章で示した高さ 2.6m 時の試作品重量は同高さコンクリート壁の約 1/3 であった。図 1 に示した遮音と吸音の各部材を分割することで、人力での運搬と組立てが可能との見通しが得られている。

6. まとめと今後の予定

新幹線高架橋防音壁の取替え修繕に向けた新たな防音壁構造として、ユニット型吸遮音壁の開発を進めている。実用化に向け、音響性能および構造に関わる各種性能目標を設定するとともに、試作品を対象に各種性能評価を実施した。その結果、いずれも目標性能を満足し新幹線用防音壁として十分に実用水準に達していると判断された。

今後、営業線にて施工試験および騒音低減性能に関わる評価を行い、大規模改修におけるユニット型吸遮音壁の実用化に向けた取組みを進めていく予定である。

文 献

- (1) 鉄道総合技術研究所編：「鉄道構造物等設計標準 Ⅴ 同解説 コンクリート構造物」、丸善 (2019)
- (2) 佐藤大悟、豊原匡志：「高架橋防音壁の吸音性能向上と車両下部音を対象とした騒音低減評価」、第 27 回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2020) (CD-ROM) (2021)
- (3) 宮本征夫、松本信之、齋藤啓一：「軽量タイプの鉄道防音壁の開発」、鉄道総研報告, Vol.4, No.11, pp.17-25 (1990)
- (4) 徳永宗正、曾我部正道、後藤恵一、山東徹生、玉井真一、小野潔：「列車通過時の鉄道構造物上防音壁の動的設計法」、土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.69, No.2, pp.392-409 (2013)
- (5) 社団法人日本騒音制御工学会編：「騒音制御工学ハンドブック(資料編)」, p.30, 技報堂出版 (2001)
- (6) 住友ベークライト：ポリカエース技術資料, p.8 (2013)
- (7) 佐藤大悟、豊原匡志、阿部幸夫、山本健次郎：「繊維系吸音材の積層化と鉄道用防音壁への適用に向けた吸音対策材の形状検討」、日本音響学会 2021 年度秋季研究発表会(CD-ROM) (2021)
- (8) 豊原匡志、佐藤大悟、阿部幸夫、山本健次郎：「鉄道用防音壁への適用に向けた積層吸音材の検討」、日本騒音制御工学会 2021 年秋季研究発表会講演論文集, pp.213-214 (2021)