

高速道路近傍のスプリットブロック積み擁壁への吹付け型吸音工法の施工とその性能について

Application and Performance of Sprayed Sound-absorbing Mortar on Split-type Block Highway Retaining Walls

奥野雅幸^{※1} 常盤武史^{※2} 島元和彦^{※3} 福島浩人^{※1}
Masayuki Okuno Takeshi Tokiwa Kazuhiko Shimamoto Hiroto Fukushima
瀬田恵之^{※4} 田中 齊^{※5} 内田季延^{※6} 河野俊樹^{※6} 吉村道彦^{※6}
Shigeyuki Seta Hitoshi Tanaka Hidenobu Uchida Toshiki Kohno Michihiko Yoshimura

【要旨】

阪神高速道路31号神戸山手線車地区土工部において、既設スプリットブロック積み擁壁への吹付け型吸音工法の施工を実施した。本工事は、道路交通騒音の反射面になっていたブロック凹凸面に吸音材を吹付け施工し吸音面に変えることによって騒音の低減を図ることを目的とした工事である。本稿では、吹付け型吸音工法の施工概要と、施工前に行った吸音性能試験結果、および施工時における吸音性能の品質管理について報告する。

【キーワード】 吸音材 吹付け施工 スプリットブロック 平均斜入射吸音率

1. はじめに

吹付け型吸音工法¹⁾(商標名:吸太郎)は、現場で吹付け施工を行って吸音層を形成する工法である。平らでない下地形状にも施工が可能で、施工面への直接吹付けにより約5cmの施工厚さで従来のパネル製品と同等以上の吸音性能を有する。また、表層に酸化チタン層を吹付け施工することで大気浄化および防汚機能を付加することも可能²⁾である。今回、高速道路脇の既設スプリットブロック凹凸面から反射する道路交通騒音低減を目的として、凹凸面への吹付け施工を行った。(写真-1, 2)施工規模は約2600㎡で、吸音材平均厚さは50mmである。本報告は、この吹付け型吸音工法の施工概要、施工前に事前に行った吸音性能試験結果、および施工時における吸音性能の確認方法とその結果について報告するものである。

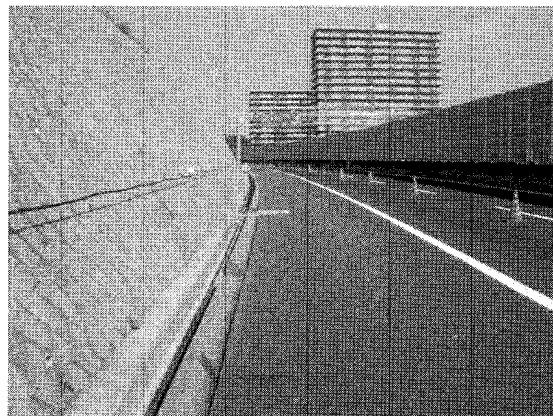


写真-1 道路法面の状況 (施工前)

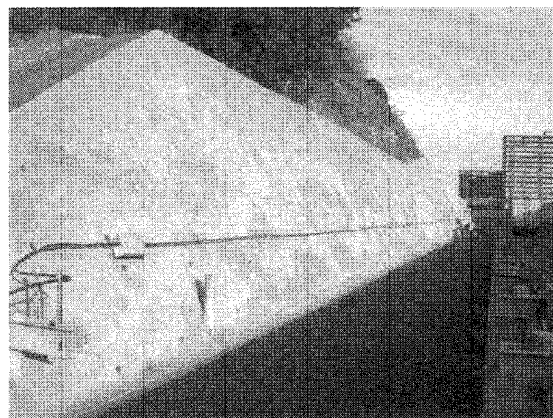


写真-2 道路法面の状況 (施工後)

2. 工事概要および吹付け型吸音工法採用の経緯

2.1 工事概要

工事名 環境改善工事(17-山手)
工期 着工 平成18年4月1日
竣工 平成19年3月20日
吹付け施工 平成18年11月2日～平成19年2月19日
施工者 飛鳥建設株式会社

1. 大阪支店 土木事業部 2. 大阪支店 文都市G4作業所 3. 大阪支店 今戸トンネル作業所
4. 技術研究所 5. 技術研究所 企画知財室 6. 技術研究所第二研究室

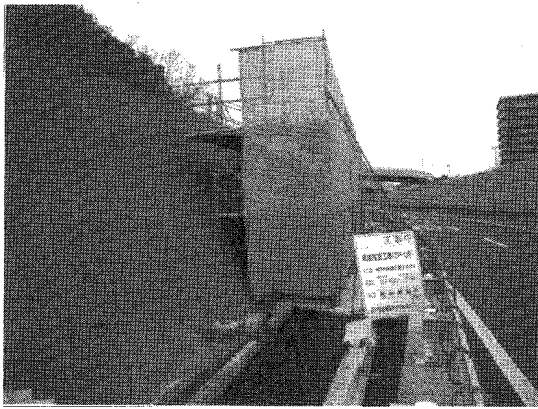


写真-3 路肩固定規制状況および移動式足場

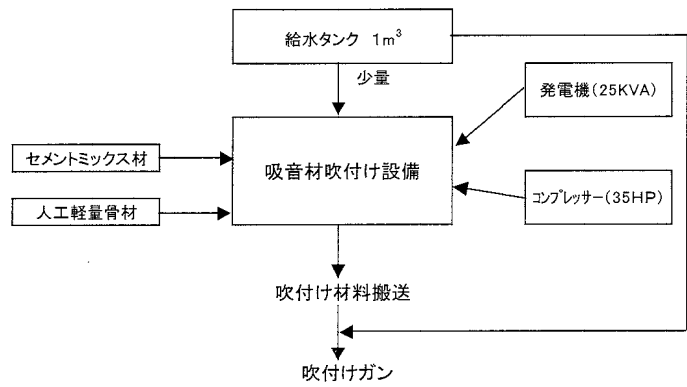


図-1 吸音材の施工フロー



写真-4 吹付け作業状況

当工事では、阪神高速道路31号神戸山手線（下り線）車地区において既設スプリットブロック積み擁壁に吸音材の吹付けを実施した。吹付け施工にあたり、施工延長486mを2回に分けて路肩固定規制を行い、作業帯を設けた。また作業帯には、建柱足場にキャスターを装着した移動式足場を設置し、吹付け作業と足場移動を繰り返すことで、施工を進めた。（写真-3、4）

3. 吹付け型吸音工法の概要

吹付け型吸音工法は、再生人工軽量骨材とセメントペーストを主体とする材料を現場で混練りし、圧縮空気により圧送して吹付け施工することで耐候性や不燃性を備えた硬く多孔質な吸音面を形成する工法である。吹付け作業に先立ち、縦目地材を設置し、ステンレス製のメッシュ筋を吹付け面から25mmの位置に固定金具で取付ける。吸音層は内部を雨水が抜けるため、金属部材は全てステンレス製品を使用する。

吸音材の吹付け方法は、所定の配合（骨材、セメント、水）に従って専用の混合装置で半湿式で安定した状態に混練りをする。混練した材料は、吹付け機によってホース内（最大長さ、約200m）を空気搬送後、吹付け直前に水と混合し、吹付けガンによって吹付けを行う。吹付

け作業は、吹付け面との距離を一定に保つように留意し、予め設置した厚さ管理用クランプピンを目安に、平均厚さの施工管理を行う。

4. 施工概要

吸音材の施工方法は基本的には従来²⁾と同等であるが、吸音性能の安定確保を目的として、骨材粒度分析、骨材表面積を考慮した配合調整を行うと共に、実施工条件に合わせた現場法面と同等の角度条件によるスプリットブロックへの吹付け吸音試験体の作成、および施工時における塩ビ管への吹付けテストピースを用いた吸音率測定サンプルを作成し、吸音性能確認を行った。また、吹付けノズル先端部を加工することにより、吹付け時に一部発生する不要な成分の吹付け面への搬送を防ぎ、吹付け面表面の空隙安定性の向上、リバウンド率の低減、および付着率の向上を図った（写真-5）。更に、クランプピンによる吹付け厚さ管理、材料吐出量調整による施工スピード向上を図った。吹付け施工面積2,558㎡に対し、平均施工速度34.6㎡/日、ロス率（食込み率+リバウンド率）は約20%（凹凸のり面条件）であった。施工擁壁展開図を図-2に示す。

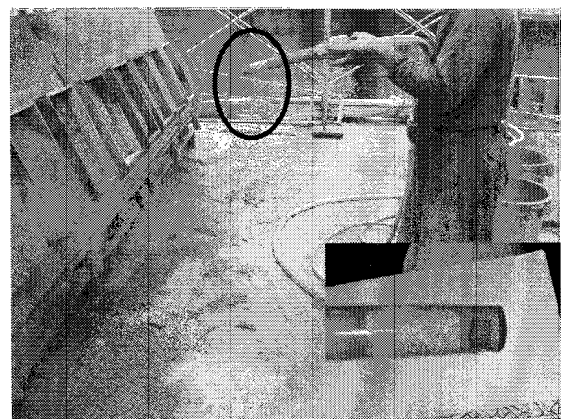


写真-5 現場のり面角度による試験施工、ノズル改良部

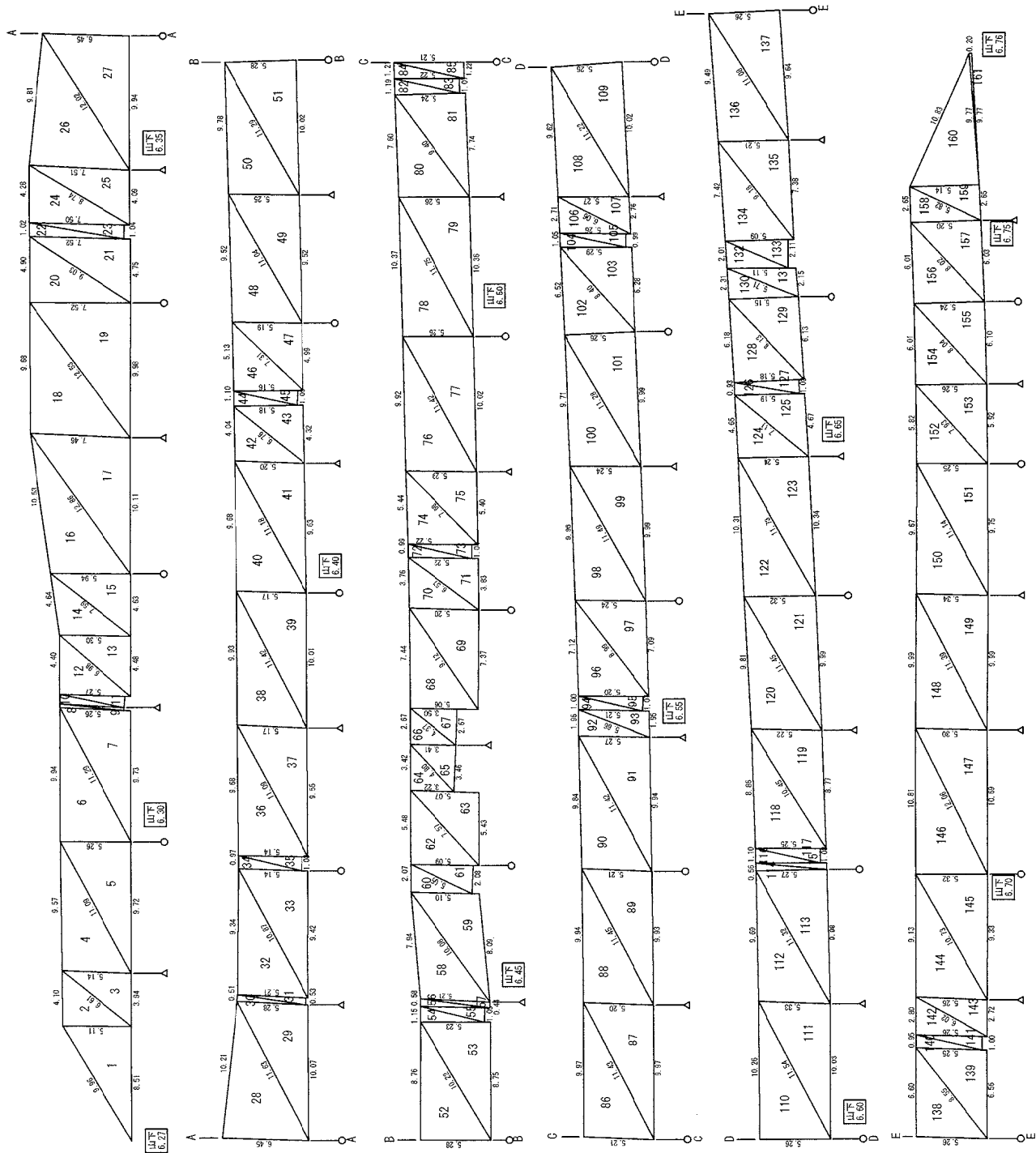


図-2 施工擁壁展開図、断面図 (2,558 m²)

5. 施工前における性能確認試験

5.1 吸音性能の条件

施工における特記事項として、実施工レベルで吸音性能（平均斜入射吸音率 ≥ 0.75 および残響室法吸音率（周波数500Hz～1,000Hz） ≥ 0.75 ）を確保することが求められ、それらをクリアするための施工条件の調整および性能確認を行った。

5.2 性能試験の実施

現地で使用されているものと同様な凹凸のあるスプリットブロックに吹付け施工を行い、吸音性能の確認と安定的な吸音性能を確保するための試験を実施した。試験は、飛島建設(株)技術研究所音響実験棟にて残響室法吸音率と平均斜入射吸音率の計測、結果の確認を行った。スプリットブロックは、内部寸法が平均吹付け厚さとなるような型枠を個々のブロックに設置(写真-5参照)し、施工時の吹付け厚さ管理精度を考慮し、試験体は平均厚さ50mmと60mmの2タイプ製作した。

5.3 残響室法吸音率試験

残響室法吸音率は、JIS A 14091に準じて、材料未設置時の残響時間と材料設置時の残響時間の計測結果より算出した。要求性能を充分満足するものであった。(図-3)

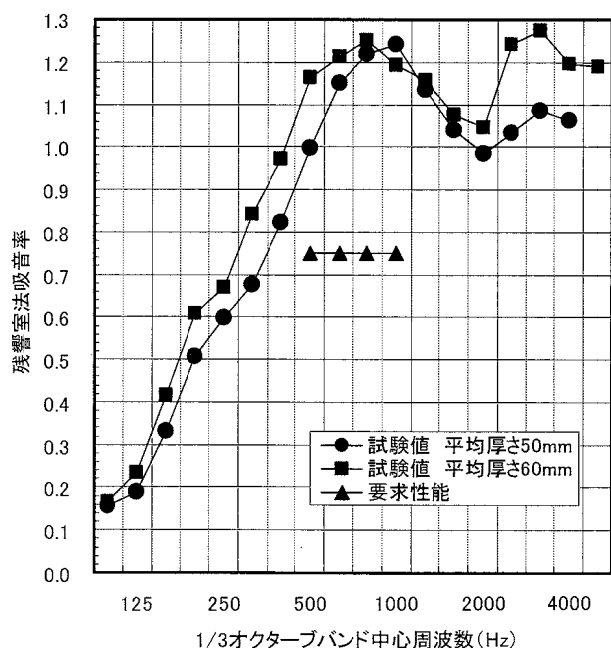


図-3 残響室法吸音率計測結果

5.4 平均斜入射吸音率試験

平均斜入射吸音率の測定は、旧建設省・建設技術評価制度課題「騒音低減効果の大きい吸音板の開発」(平成7年11月27日建設省告示第1860号)で規定された吸音性能試験方法に準じて行った。試験体約20㎡を現場と同様の「谷積」配置で設置した。(写真-6)

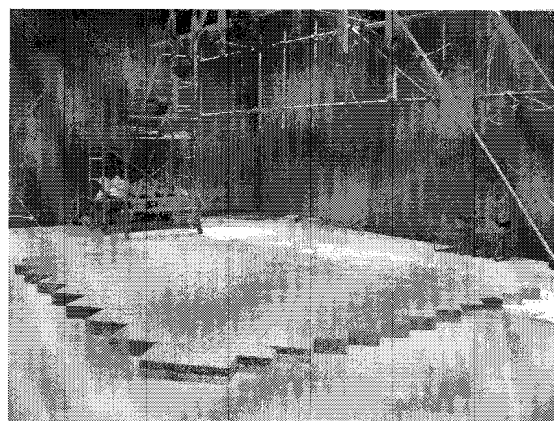


写真-6 斜入射吸音率計測状況

測定結果は、図-4に示す様に、平均厚さ50mmで0.76、平均厚さ60mmで0.77であり、要求性能を満足した。この二つの厚さで吸音性能の条件である平均斜入射吸音率 ≥ 0.75 および残響室法吸音率 ≥ 0.75 （周波数500Hz～1,000Hz）が確保されていることが確認できたことから、現場での吹付け厚さ管理幅として、平均厚さ50mm～60mmで仕上げることにした。

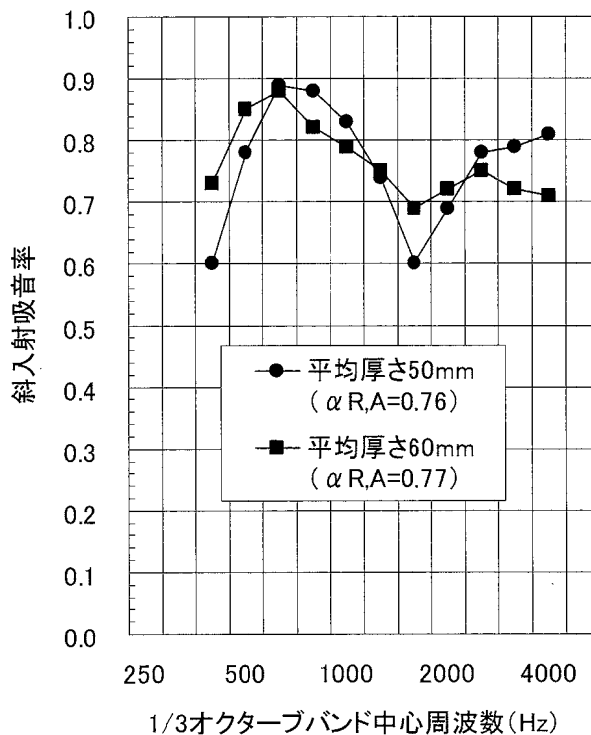


図-4 斜入射吸音率計測結果

6. 施工時における吸音性能の品質管理

6.1 品質管理の考え方

前章の性能確認試験の結果と要求性能の値とを比較して考察した結果、スプリットブロックに吹付け施工した吸音材は、平均斜入射吸音率の基準値を満足していれば、残響室法吸音率の要求性能も十分満足すると考えられたため、品質管理は平均斜入射吸音率で行うこととし

た。但し吹付け型吸音工法は、施工現場で吸音材を形成するため、平均斜入射吸音率を直接測定することができない。そこで、施工時に供試体（φ100mm×50mm厚×3個）を採取（写真-7）して、飛鳥建設技術研究所にて垂直入射吸音率を測定し、その結果から次節で示す方法で、平均斜入射吸音率を推定³⁾することにより実施した。

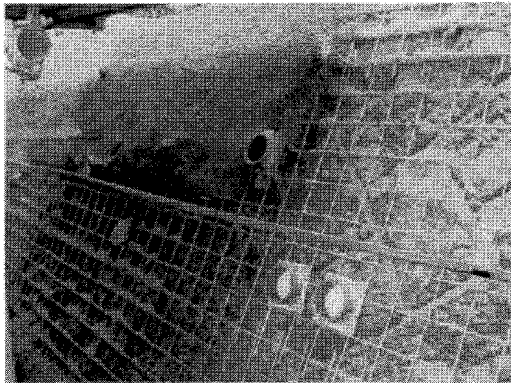


写真-7 垂直入射吸音率用供試体採取状況

6.2 補正垂直入射吸音率と平均斜入射吸音率との関係

厚さが50mm均一のコンクリート系吸音パネルの場合の斜入射吸音率（0, π/12, π/6, π/4の入射角度における算術平均値）と垂直入射吸音率の測定例を図-5, 6に示す。Type-Aは、人工軽量骨材を用いたコンクリート系吸音パネル、Type-Bは、副産物系骨材を用いたコンクリート系吸音パネルである。これらのグラフの形状から、厚さが均一の場合には、両者には一定の相関があることが予想される。

また、平均斜入射吸音率 α_{RA} は、0~π/4の4方向の角度における斜入射吸音率を計測した後、それらの値を道路交通騒音のA特性スペクトルを用いて補正した値 $\alpha_{RA}(\theta)$ に算術平均処理を行うことによって算出され、下記の式で計算される。

$$\alpha_{RA} = [\alpha_{RA}(0) + \alpha_{RA}(\pi/12) + \alpha_{RA}(\pi/6) + \alpha_{RA}(\pi/4)] / 4$$

ここで、垂直入射吸音率の値を用いて同様の方法で算出した上記の $\alpha_{RA}(0)$ を補正垂直入射吸音率 α_{RA0} と定義し、両者の関係を調べる。Type-Bとは別の副産物系骨材を用いたコンクリート系吸音パネルType-Cを加え、両者の関係を表示したものを図-7に示す。 α_{RA0} と α_{RA} とは直線的な関係があると判断して直線回帰を行った。結果は、相関係数 $R=0.98$ であった。Type-Aの場合、 $\alpha_{RA0}=0.69$ に対して $\alpha_{RA}=0.68$ となる。

一方、施工に先立ってスプリットブロックに吹付けを行った試験体について、 α_{RA0} を用いて評価を行うと、平均厚さ50mm厚の場合0.66、平均厚さ60mm厚の場合0.69であった。（図-8, 9）

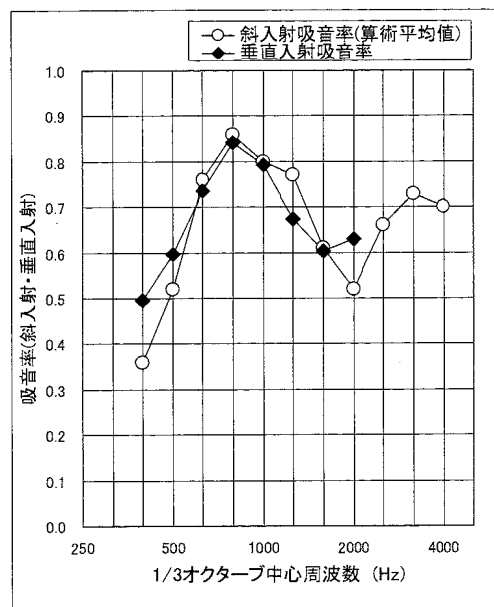


図-5 斜入射吸音率と垂直入射吸音率との比較例(Type-A)

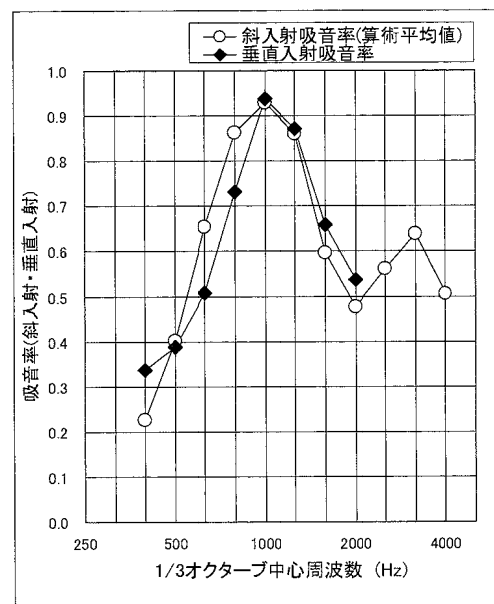


図-6 斜入射吸音率と垂直入射吸音率との比較例(Type-B)

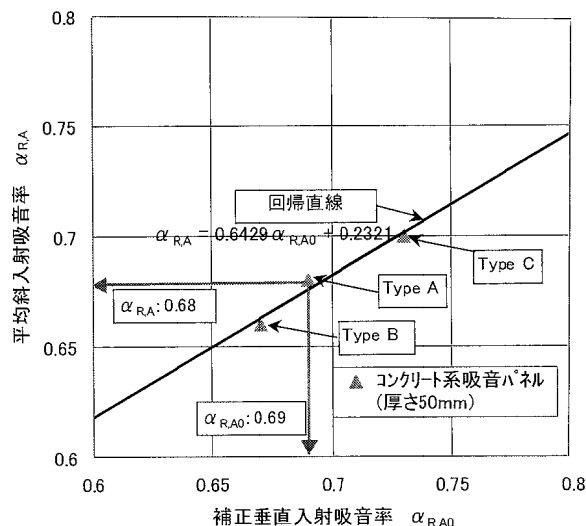


図-7 平均斜入射吸音率と補正垂直入射吸音率との関係事例

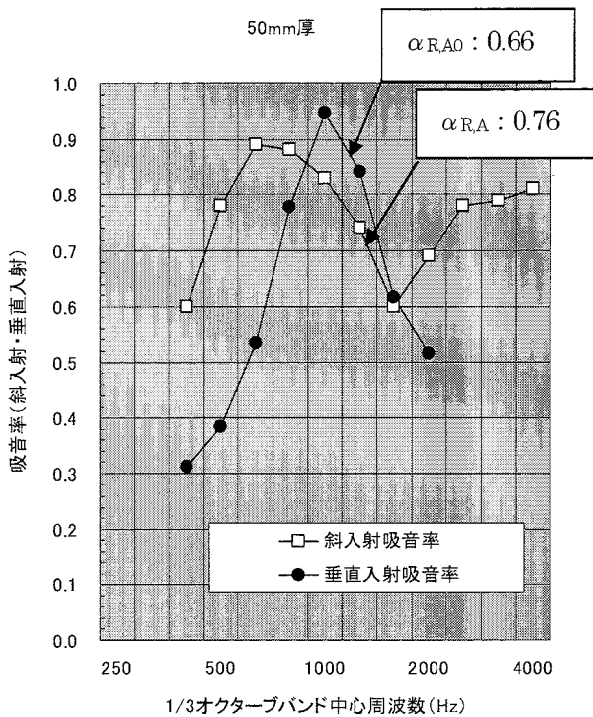


図-8 スプリットブロック吹付け試験体による斜入射吸音率計測結果と同時作成供試体の垂直入射吸音率計測結果 (50mm厚)

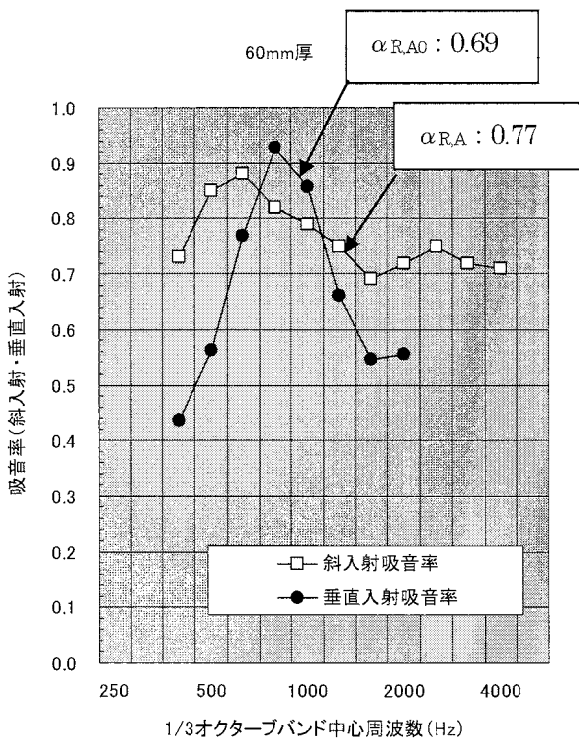


図-9 スプリットブロック吹付け試験体による斜入射吸音率計測結果と同時作成供試体の垂直入射吸音率計測結果 (60mm厚)

図-5, 6のコンクリート系吸音パネルと図-8, 9スプリットブロック吹付け吸音パネルについて、 α_{RA0} と α_{RA} の関係を図-10に示す。

厚さが一定のコンクリート系吸音パネルの場合、 α_{RA} の値は α_{RA0} よりやや低い値を示している。一方、スプリットブロックに吹付け施工を行った場合の α_{RA} の値は、 α_{RA0} に比べて高い値を示している。これは、スプリットブロックの凹凸形状の影響で反射音波が散乱したことにより、同じ補正垂直入射吸音率であっても、厚さが一定の場合より平均斜入射吸音率が高くなったものと推察される。

6.3 平均斜入射吸音率の推定方法

図-10のコンクリート系パネルの補正垂直入射吸音率 α_{RA0} と平均斜入射吸音率 α_{RA} の関係をみると、 $\alpha_{RA0} = 0.67 \sim 0.73$ の範囲は、近似的に直線回帰できる。今回の2回の試験値も同様に直線回帰できると仮定すると、次の関係が得られる。

$$\alpha_{RA} = 1/3 \cdot \alpha_{RA0} + 0.54$$

上式により $\alpha_{RA} \geq 0.75$ を満たすための条件として $\alpha_{RA0} \geq 0.63$ が得られる。よって、施工時に供試体を採取し、 α_{RA0} の平均値が0.63以上であれば要求性能を満足していると考え、管理値とした。(表-1, 図-11)

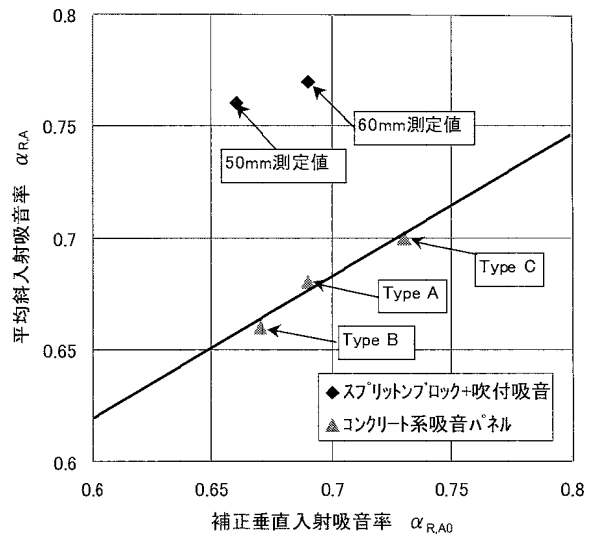


図-10 補正垂直入射吸音率と平均斜入射吸音率との関係

表-1 施工時における吸音性能管理基準

試験項目	試験方法	規格値	試験基準
垂直入射吸音率	2マイク法 ASTEM E1050準拠	供試体個々の平均値 垂直入射吸音率による換算値で $\alpha_{RA0} = 0.63$ 以上	250m ² につき1回

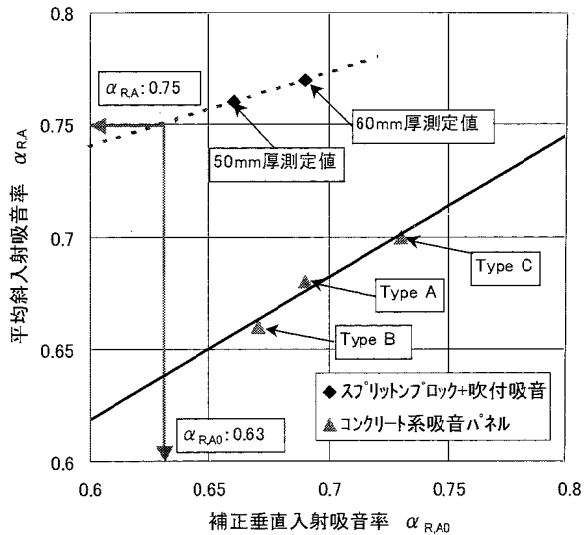


図-11 $\alpha_{RA} \geq 0.75$ を満たすための条件

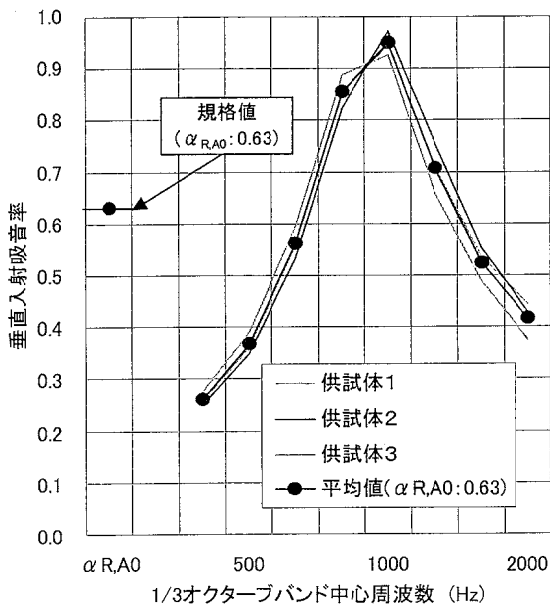


図-12 垂直入射吸音率測定結果

6.4 供試体の測定結果

吹付け施工現場において、250m²につき1回供試体3個を採取して、垂直入射吸音率の測定を行った。測定結果の一例を、図-12に示す。補正垂直入射吸音率の平均値 $\alpha_{RA0} = 0.63$ となり、規格値を満足していることを示している。同様に、工事全体においても、規格値をクリアしていることを確認した。(図-13)

7. 今後の課題と考察

7.1 施工面での課題と考察

今回は、過去に例のない凹凸法面への吹付け施工であったが、リバウンド率の低減の点では、これまでの垂直面

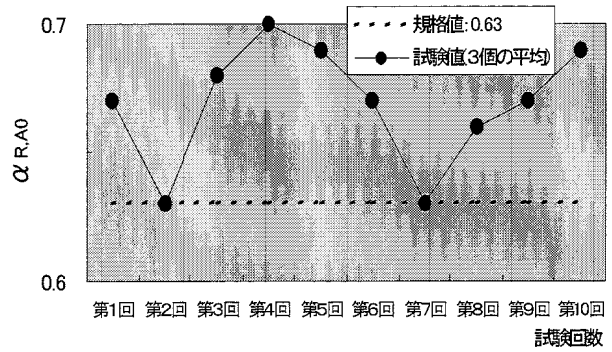


図-13 補正垂直入射吸音率測定結果(試験値全体)

への施工に比べて有利であったため、ロス率を従来の半分以下に抑えることが出来た。これは、ホース長延長時や施工スピード向上のための吐出量の増加時においても、空気圧の調整と搬送・吹付け性状の確認をこまめに行い、閉塞を生じにくい程度にぎりぎりまで搬送空気圧力を下げたことが主な要因であると考えている。また、メッシュ筋固定のための金具は本来平らなコンクリート面を想定した金具であるため、凹凸面への固定には一定期間の熟練を要したことから、金具の改良の検討の余地がある。作業条件は、高速道路脇の路肩固定規制内による作業であったため、プラントと移動足場の移動作業にかなりの時間を取られた。工期短縮のためには、狭い場所での移動を容易にする改良が必要で、雨天対策や高所作業も考慮した工夫が今後の課題として挙げられる。

7.2 品質管理面の課題と考察

吸音性能の安定確保のために専用プラントの材料投入量調整を頻繁に行ったことによって、全施工区間にわたって要求された吸音性能に対する管理値を満足することが出来た。吸音性能は骨材粒径(粒度分布)をはじめ、配合や吹付け時の圧力、吸音層の厚さ等によっても変化するため、性能確保には総合的な調整が必要である。使用する人工軽量骨材は、粒度調整された上で工場から出荷されているものの、粒度分布の僅かな変動があり、図-13に示す吸音率変動の原因の一つと考えられ、工場出荷レベルでの品質管理は今後の検討課題の一つである。

8. おわりに

今回の施工は、スプリットブロックによるランダム形状の凹凸反射面に直接吹付け施工を行うという、当工法の特徴を最大限に生かした施工事例となった。また、原寸大の試験体を用いた実験室内での計測によって、目的とする吸音性能を満足することを確認すると共に、施工時における吸音性能確認方法を考案し、施工全般にわたって吸音率の要求性能を満足することを確認した。ま

た、視覚的な仕上がりもコンクリート系色彩の滑らかな曲面となり、金属パネル製品を使用した場合のような景観の変化もなく、直接吹付け施工のメリットを生かした最小限の形状変更で騒音の低減に寄与できたと考える。

謝辞：

工事全般にわたり、ご指導いただいた阪神高速道路株式会社神戸管理部保全工事グループ各位をはじめとする関係者の皆様に多大なるご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 田中, 他: 吹付け型吸音工法の開発, とびしま技報(土木), No.49(1999), p237-241.
- 2) 常盤, 他: 高速道路トンネル出口部擁壁への大気浄化吹付け型吸音工法の施工とその性能について, とびしま技報(土木), No.52(2003), p75-82.
- 3) 吉村, 他: 吹付け型吸音工法による吸音材厚さのばらつきと平均斜入射吸音率との関係について, 日本音響学会講演論文集 2001年秋期 2-P-8 p871-872.
- 4) JIS A1409:1998: 残響室法吸音率の測定方法.
- 5) ACTIVE STANDARD: E1050-98(2006) Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using A Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System.

Summary : Sound-absorbing porous mortar was sprayed on existing split-type block retaining walls along the Kobe Yamate Line of the Hanshin Expressway to reduce the noise reflected by the irregular surfaces of the walls. This paper describes the application method, laboratory sound absorption tests before application, and quality control of the sound-absorbing performance of sprayed mortar during application.

Keywords : *sound absorption, porous mortar spraying, split-type block, oblique incident absorption coefficient*