

# 仮設防音設備への紙素材の適用性 に関する基礎的検討

宮瀬 文裕<sup>1</sup>・谷川 将規<sup>2</sup>・岡崎 正人<sup>3</sup>・古木 弘<sup>4</sup>・  
藤本 邦夫<sup>5</sup>・坂水 順一<sup>6</sup>・清水 淳路<sup>7</sup>

<sup>1</sup>正会員 清水建設（株）土木技術本部基盤技術部（〒104-8370 東京都中央区京橋2-16-1）

E-mail: [f.miyase@shimz.co.jp](mailto:f.miyase@shimz.co.jp)

<sup>2</sup>正会員 清水建設（株）技術研究所社会システム技術センター（〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17）

E-mail: [tanigawa@shimz.co.jp](mailto:tanigawa@shimz.co.jp)

<sup>3</sup>非会員 清水建設（株）東京支店電力・エネルギー部（〒061-3271 北海道小樽市銭函5-192-1）

E-mail: [masato\\_okazaki@shimz.co.jp](mailto:masato_okazaki@shimz.co.jp)

<sup>4</sup>正会員 清水建設（株）土木技術本部地下空間統括部（〒104-8370 東京都中央区京橋2-16-1）

E-mail: [kogi\\_h@shimz.co.jp](mailto:kogi_h@shimz.co.jp)

<sup>5</sup>非会員 王子産業資材マネジメント（株）包装技術開発センター（〒104-0061 東京都中央区銀座5-12-8）

E-mail: [fujimoto19980923@oji-gr.com](mailto:fujimoto19980923@oji-gr.com)

<sup>6</sup>非会員 王子インターパック（株）営業本部（〒104-0061 東京都中央区銀座5-12-8）

E-mail: [sakamizuj@hipl.co.jp](mailto:sakamizuj@hipl.co.jp)

<sup>7</sup>非会員 北海道電力（株）石狩湾新港火力発電所建設所（〒061-3271 北海道小樽市銭函5-192-1）

E-mail: [junzzy@epmail.hepco.co.jp](mailto:junzzy@epmail.hepco.co.jp)

既存インフラの老朽化に対応し、リニューアル工事は今後増加が見込まれる。この種の工事は夜間施工が多く、騒音対策が重要だが、従来の方法では場所的・時間的な制約から実施困難な場合がある。そこで、軽量で加工が容易な紙素材による簡便な仮設防音設備への適用を考えた。この紙素材の音響等価損失を測定した結果、軽量防音シートと同程度の遮音性能であることが確認された。次に、油圧ハンマー打撃工法で鋼管杭を施工する際のカバーを製作し、実現場で測定した結果、5～9 d B の騒音低減効果であった。最後に、耐候性検証のため湿潤状態のトンネル内に供試体を静置し観察した結果、12ヶ月後も垂直圧縮強度は30%程度を確保されており、また顕著な劣化は確認されなかった。以上から、この紙素材は短期の仮設防音設備の材料として適用可能と判断される。

**Key Words :** *paper material , temporary soundproofing , sound insulation performance*

## 1. はじめに

橋梁、トンネルなどの既設のインフラの老朽化に対応し、今後リニューアル工事は増加していく傾向である。リニューアル工事を実施する場合、工程中に既設施設の解体・ハツリ作業が含まれ、大きな騒音が発生することが多い。また、他の構造物が隣接して十分な作業スペースが確保できない、施設を使用しない夜間に工事をする必要がある。このように場所的・時間的に様々な制約があるため、単管の骨組に鋼板パネルや防音シートを取付ける従来の仮設騒音対策が困難な場合がある（写真-1）。

そこで、軽量で形状と寸法の加工が容易な紙素材を、

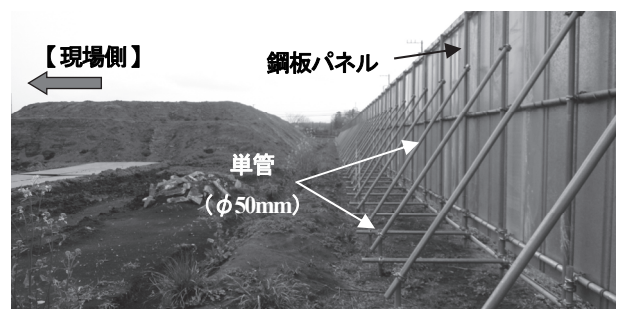


写真-1 仮設防音対策の例（単管の骨組＋鋼板パネル）

建設現場用の仮設防音設備に適用することを考えた。本論文では、紙素材の遮音性能試験結果、油圧ハンマー打撃工法による鋼管杭打設時の防音対策に活用した事例、トンネル内に供試体を静置して耐候性を確認した結果について概要を述べる。

## 2. 紙素材の特徴

本論文で適用性を検討した紙素材は、厚さが15mm、3層構造の段ボール（王子インターパック（株）製 ハイブルエース）である。この素材は、機械などの重量物の梱包に多用されている。また、表面に耐水加工を施し、マグロ輸送用箱にも使用されている（写真-2）。切断したり、表面に折目を付けて曲げたりすることで、任意な形状を作製可能である。面密度は2.2kg/m<sup>2</sup>であり、10m<sup>2</sup>程度であれば20kg程度であるため、人力運搬も容易である。また、この素材は全国規模でのリサイクルシステムが確立しているため、建設現場での使用後に産業廃棄物として処分せずに、ほぼ100%リサイクル可能である。

## 3. 紙素材の遮音性能の確認

### (1) 遮音性能の確認方法

紙素材の遮音性能は、JIS A1416-2000「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、独立行政法人 東京都立産業技術研究センターにて音響透過損失を測定した。音響透過損失は、1/1オクターブ（中心周波数125Hz～4kHzの6帯域）で測定した。試験体寸法は幅2,700mm×高さ1,800mmで、測定値に影響がないように継目のないもので実施した。

### (2) 確認結果

試験結果を図-1に示す。図-1には、多用されている2

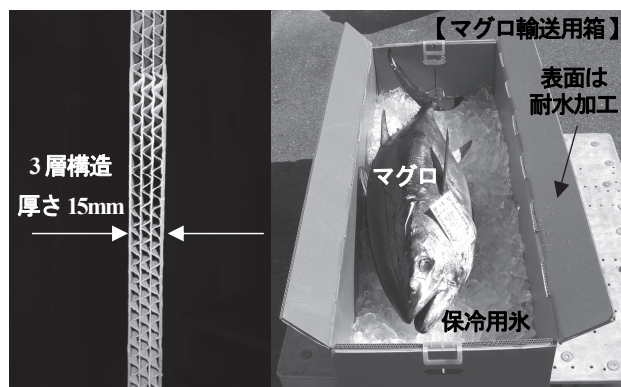


写真-2 紙素材の概要および使用例（マグロ輸送用箱）

種類の防音シートの音響透過損失の数値を、メーカーのカatalogデータ（<http://www.kyowa-inc.co.jp/index.html>）をもとに、1/1オクターブに変換して掲載した。厚さ1.0mmの防音シートは現場で最も使用されており、軽量性が求められる場合には厚さ0.4 mmの軽量防音シート使用されている。

紙素材は、周波数が1kHz～4kHzで音響透過損失の数値がほぼ横ばいとなった。図-1に掲載した防音シートと比較すると、紙素材は周波数が2kHzまでは軽量防音シート程度の音響透過損失は期待できると判断される。

## 4. 実現場での防音対策への活用

### (1) 油圧ハンマー打撃工法

軽量防音シートと同程度の遮音性能が確認できたことから、実現場に適用して効果を確認することとした。今回、紙素材の軽量で加工に優れた特性を活用できる、油圧ハンマー打撃工法による鋼管杭打設時の騒音対策で実験を行った。

発電機械のような重量物を設置する、火力発電所の建屋などの基礎には鋼管杭が採用され、施工能率、コスト、支持力確認の容易さなどから油圧ハンマー打撃工法にて施工されることが少なくない。この工法は、鋼管杭の頂部を重錘で打撃して地中へ押し込む。そのため、杭頭を打撃する時に音響パワーレベルで130dB(A)以上の大きな騒音が発生することがある。その対策として、打撃箇所付近を覆う防音シートと吸音材で構成された防音カバーを設置して施工する場合がある（高さ1.59m、外径 1.46m、内径 1.32m、写真-3）。しかし、防音カバーの下端部は開口となっており、ここから杭頭を打撃する騒音が漏れることが問題となっている。

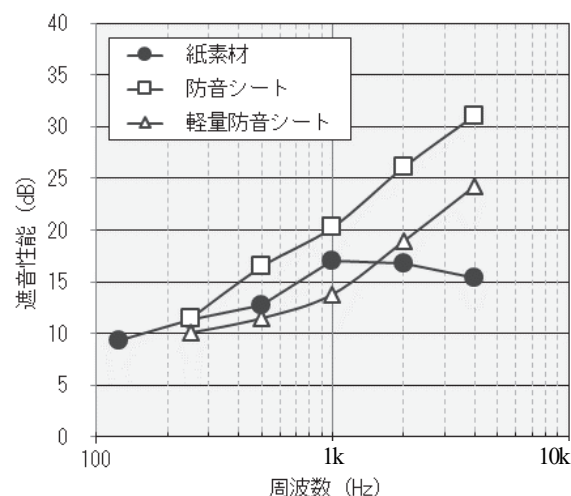


図-1 紙素材および防音シートの音響透過損失

## (2) 油圧ハンマー打撃工法用紙素材カバーの概要

紙素材の軽量で、複雑な形状と寸法に加工可能な特性を活用し、防音カバーの底部にある開口をふさぐカバーを試作して防音性能を検証することとした。紙素材カバーは、ドーナツ状の形状とし、鋼管杭への設置・取外しが容易になるように2分割の構造とした。また、直径を防音カバーの内径寸法より6cm大きくし、外周部に切込み・折目をいれたヒダ状に加工した。これは、段ボールの弾性により、防音カバー内面と紙素材カバーとの隙間が極力小さくなることを期待したものである（写真4～6）。

## (3) 紙素材カバーの防音効果の検証

紙素材カバーの防音性能の検証試験は、北海道の石狩湾新港の中央付近に位置する、北海道電力（株）石狩湾新港火力発電所内の発電所本館他新築工事での鋼管杭打設で実施した。この工事では、油圧ハンマー打撃工法により、発電所本館の基礎用に杭径 $\phi 600\text{mm}$ 、杭長47mの鋼管杭を合計812本施工した。

検証試験は、紙素材カバーの設置前後に騒音値を計測して比較した。騒音の実測にはりオン社製の普通騒音計NL42を使用し、杭打設点からの水平距離30mの位置に配置した。実測は、1分間隔でのA特性の騒音レベルの



写真3 杭打機および防音カバー

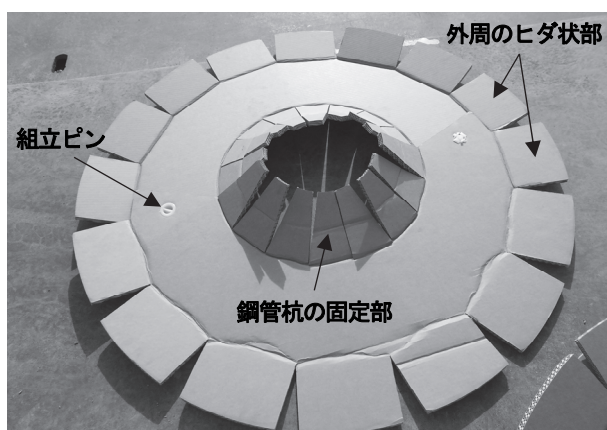


写真4 油圧ハンマー打撃工法用紙素材カバー（全景）

最大値 $L_{MAX}$ とした。 $L_{MAX}$ の実測結果を図-2に示す。紙素材カバーの設置前後のオールパス（AP）で比較すると、設置前98dB、設置後93dBと5dBの騒音低減効果が確認され、騒音低減効果は周波数が1kHz～4kHzで5～9dBであった。この結果と図-1に示した紙素材の音響透過損失の確認結果から、紙素材は周波数が1kHz以上の中～高音域で、騒音低減効果が期待できると考えられる。

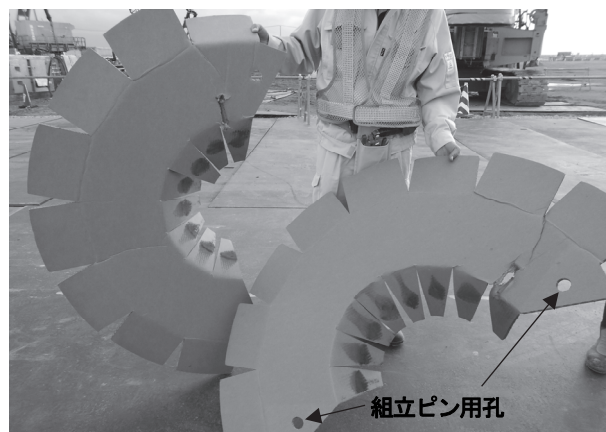


写真5 紙素材カバーの2分割状況

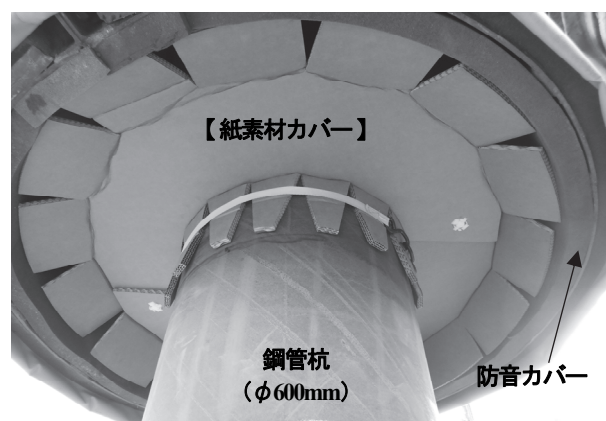


写真6 紙素材カバーの設置状況（下方より撮影）

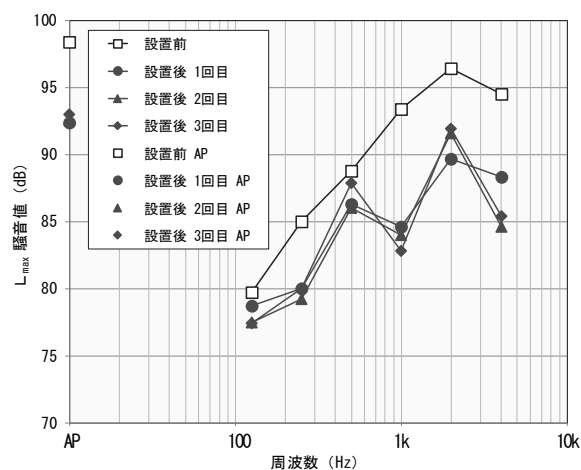


図2 紙素材カバー設置時の実測結果

## 5. トンネル現場での耐候性の確認

### (1) トンネル現場の概要

紙素材の仮設防音設備を屋外で使用する場合を想定し、耐候性を検証することとした。検証場所は、1年間の試験が可能で、年間を通じて湿潤な環境である（独）鉄道・運輸機構 九州新幹線（西九州）木場トンネル他工事とした。

木場トンネルは延長2,885m、高さ約7.7m、幅約9.5mで、NATM工法で施工中である。このトンネルは湧水量が約3トン/分と通常のトンネルより多く、1年を通じて湿度が60～70%程度の湿潤状態で、坑内温度が26～28℃程度と温度変化も少ない。そのため、湿度・温度とも一定の条件のもとで、屋外で使った状況を再現できると考えられた（写真-7）。

### (2) 耐候性の検証方法

紙素材カバーの耐候性の検証は、2種類の方法で検証した。まず、劣化の程度を定量的に評価するため、JIS Z0403-2「垂直圧縮強度」に準じた金砥子型の供試体をトンネル内に静置し、1ヶ月・3ヶ月・6ヶ月・12か月後の強度を確認した。なお、比較のため1層構造の段ボールに耐水加工を実施し、実製品として使用されているものも静置した（表-1）。耐水、超耐水とも表面と内部に薬品を含侵させて、耐水性を確保している。耐水加工の仕様の差異を評価できるように、3種類の供試体とも木端口の全周にテープを貼り、両表面のみから吸湿するようにした。供試体の両表面がトンネル内部の空気に触れるように、箱状のネットを使用した。さらに、実際の使用状況を想定し、幅0.5m、高さ0.5m、長さ2.0mの箱状試験体5個も同様な状態で静置した。紙素材にはデンプン素材の接着剤が使用され、これはカビの栄養源となる。カビの発生により、接着剤の機能が失われ、紙のはがれ、強度低下による大きな変形などが予測された。この供試



写真-7 トンネル内の状況（壁面・底面とも湿潤状態）

体により、表面の損傷（紙のやぶれ、はがれ）、カビの発生、脆弱部と考えられた折曲げ箇所の劣化状況を観察した。また、観察後に強度試験を実施し、劣化状況の定量的な把握を行った。垂直圧縮強度の供試体を写真-8に、箱状試験体および供試体の静置状況を写真-9に示す。

### (3) 耐候性の検証結果：垂直強度試験体

垂直圧縮強度試験体の強度試験結果を図-3～6に示す。横軸は、経過時間（月）、縦軸は強度比（%）（＝各時期の供試体の圧縮強度試験結果／試験前の標準状態（水分含有7%状態）の試験体の圧縮強度）および供試体の水分含有量（%）の実測値である。

図-3～5に示すように、3種類の試験体とも、1ヶ月の強度比は40%程度と同様な結果であった。紙素材は、水分含有量が大きくなると圧縮強度が低下する傾向がある。耐水加工は、効果期間を2週間程度と想定している材料である。そのため、今回の湿潤状態環境下では、1ヶ月間は耐水効果が持続せず、表面から水分が浸透して強度の低下が発生したと考えられる。

表-1 垂直強度試験体の仕様

| 種類  | 層数 | 耐水加工     | 用途・使用例    |
|-----|----|----------|-----------|
| 紙素材 | 3層 | なし       | 工業製品輸送    |
| 耐水  | 1層 | 表面・内部に含侵 | 高冷地キャベツ用箱 |
| 超耐水 | 1層 | 同上       | 養蜂箱       |

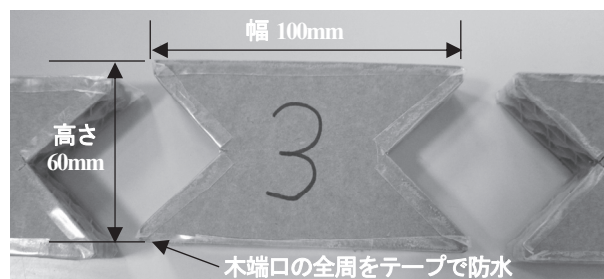


写真-8 JIS Z0403-2 垂直圧縮強度用の供試体

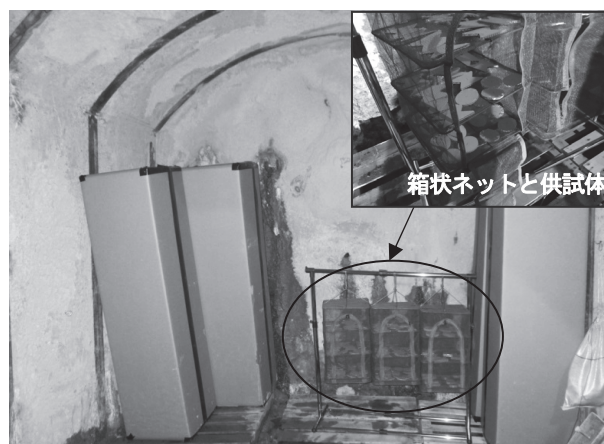


写真-9 箱状試験体および供試体の静置状況

強度比と水分含有量について、3層と耐水、超耐水で差異が見られた。図-3の3層では3ヶ月の水分含有量17%が6ヶ月14%へと低下している。図-4の耐水では3ヶ月の水分含有量16%が6ヶ月13%へと低下している。これは、トンネル内の湿度が低下した時に、紙素材内の水分が放出されたと考えられる。紙素材の性質として、素材の劣化が発生していなければ、水分含有量が低下すると強度比が回復する。強度比に着目すると、3層は3ヶ月40%から、乾燥した状態の6ヶ月50%へと回復していた。一方、耐水は3ヶ月35%から、乾燥した状態の6ヶ月29%へ低下し、乾燥による強度比の回復は見られなかった。

超耐水については、図-5に示すように6ヶ月後の水分含有量が21%と大きく増加している。供試体の状況を観察したところ、他の2種類の供試体よりも全体的に濡れた状態であった。この理由として、トンネル孔内の壁面からの水滴が掛かる位置に供試体がおかれていたと推測される。しかし、3種類の試験体の強度比を比較した図-6に示すように、水分含有量がより低い耐水と同等の強度比30%程度を確保しており、水分含有量の多寡による強度比の差異が確認できない。

以上のことから、3層は3枚の波型構造のため、湿潤状

態下で吸湿・乾燥を繰り返した場合も、内部の部材まで劣化が進みにくく、耐候性を期待できると考えられる。一方、1層構造の耐水、超耐水は湿潤状態下では耐水仕様の効果は1ヶ月以下であり、時間の経過とともに内部の部材まで劣化が進行し、乾燥した場合も強度比が回復しない状態になっていくと考えられる。今回の結果から、数ヶ月の期間で仮設防音設備として使用する場合は、耐水、超耐水仕様としなくとも適用可能と考えられる。ただし、水滴が常時掛かるような環境下で、より短期間の仕様であれば、耐水仕様とすることで吸湿防止による強度比の低下防止効果が期待できると予測される。なお、耐水、超耐水加工をした場合も、通常の段ボールの再生産工程で処分可能なため、産業廃棄物の発生抑制に有利である。

供試体の回収時に表面のはがれ、カビの発生などの状況を観察した結果、少数でわずかに黒いカビの発生が見られた程度で、顕著なカビの発生は確認されなかった。

#### (4) 耐候性の検証結果：箱状試験体

垂直圧縮強度試験体の回収時に、はがれ、カビの発生、折曲げ部の損傷、変形の有無を確認した。1ヶ月後、3ヶ

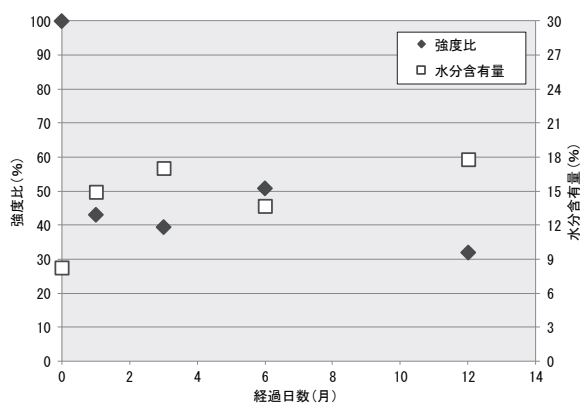


図-3 強度比と水分含有量の経時変化 (3層)

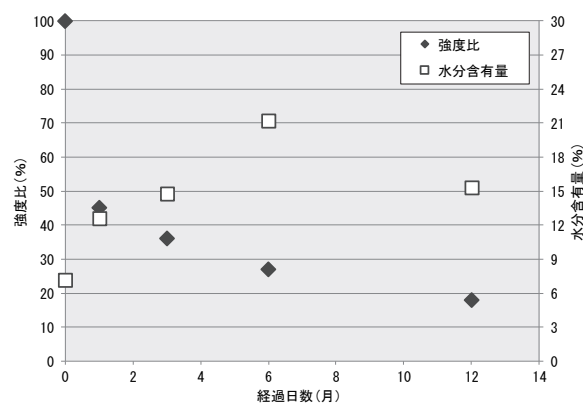


図-5 強度比と水分含有量の経時変化の経時変化 (超耐水)

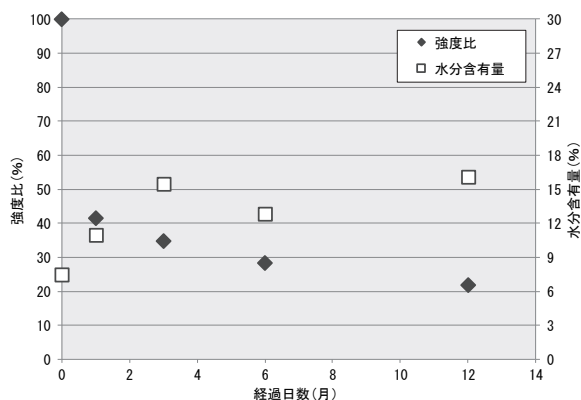


図-4 強度比と水分含有量の経時変化の経時変化 (耐水)

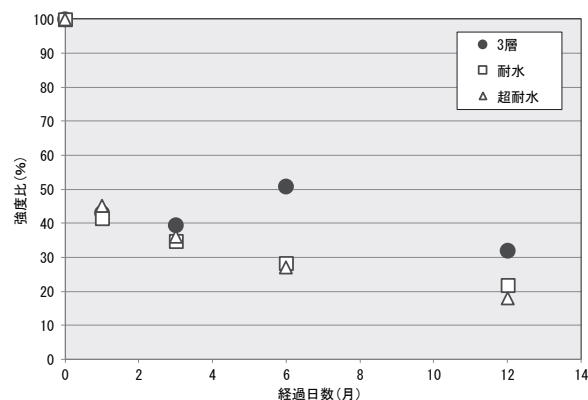


図-6 強度比の経時変化 (3種類の比較)

月後、6ヶ月後、12か月後のすべてで、はがれ、折曲げ部の損傷、変形は確認されなかった。3ヶ月後に1個の試験体の1面にカビの発生が確認された。しかし、次回に確認したところ、カビの発生面積が増加した傾向はなく、劣化の進行は見られなかった。12ヶ月経過後の箱状試験体について、回収したままの状態（水分含有15%）と標準状態まで調湿した状態（水分含有7%）で強度比を確認した。回収したままの状態では、強度比は33%で、図-3に示す供試体の強度比とほぼ同等であった。調湿した状態では、強度比が57%まで回復しており、内部は劣化していない供試体の試験結果を裏付ける結果であった。

## 6. まとめ

### (1) 紙素材の遮音性能の確認

3層構造の紙素材を仮設防音設備に適用するための基本性能を確認するため、遮音性能を確認した。その結果、周波数が1kHz～4kHzで音響透過損失は15～17dBであった。現場で多用される防音シートと比較すると、紙素材は周波数が2kHzまでは軽量防音シート程度の音響透過損失は期待できると判断される。

### (2) 実現場での防音対策での活用

紙素材の軽量、自由な形状に加工が可能な特性を利用し、油圧ハンマーの防音カバーの下端部からの音漏れ防止カバーを試作し、鋼管杭打設時に実測した。その結果、設置により5dBの騒音低減効果が確認され、騒音低減効

果は周波数が1kHz～4kHzで5～9dBであった。この結果と音響透過損失の確認結果から、紙素材は周波数が1kHz以上の中～高音域で、騒音低減効果が期待できると考えられる。

### (3) トンネル現場での耐候性の確認

紙素材の耐候性を検証するため、湿潤状態のトンネル現場内に供試体を1年間静置し、劣化状況を確認した。圧縮強度試験の結果から、3層構造の紙素材は3枚の波型構造のため、湿潤状態で吸湿・乾燥を繰り返した場合も、内部の部材の劣化が進みにくく、耐候性を期待できると考えられる。また、実物大の箱状試験体の観察結果から、はがれ、カビの発生、変形などの顕著な劣化は確認されなかった。以上のことから、この紙素材は短期の仮設防音設備の材料として適用可能と判断される。

**謝辞：**本論文の執筆にあたり、北海道電力（株）石狩湾新港火力発電所建設所および（独）鉄道・運輸機構九州新幹線（西九州）木場トンネル他 工事の関係者には、多大な協力をいただいた。ここに感謝の意を表する。

### 参考文献

- 1) 荒瀬純治，谷川将規，宮瀬文裕，岡崎正人，清水淳路，山谷一樹，藤本邦夫，岩井一将，細井徹：建設工事用仮設防音設備への適用性に関する基礎的検討，第44回土木学会関東支部技術研究発表会 講演集，VI-9，2017.3.

(2017.8.25 受付)

## A BASIC STUDY ON APPLICABILITY OF PAPER MATERIALS TO TEMPORARY SOUNDPROOFING

Fumihiko MIYASE, Masaki TANIGAWA, Masato OKAZAKI, Hiroshi KOGI,  
Kunio FUJIMOTO, Junichi SAKAMIZU, Junji SHIMIZU

Responding to the aging of existing infrastructure, renewal construction is expected to increase in the future. Construction of this type is frequent at night and countermeasures against noise are important, but it is sometimes difficult to implement due to restrictions of place and time by general methods. Therefore, we considered the application to temporary soundproofing equipment of light weight and easy processing paper material.

As a result of measuring the acoustic equivalent loss of this paper material, it was confirmed that the sound insulation performance is about the same as that of the light soundproof sheet. Next, a cover was made when a steel pipe pile was constructed by a hydraulic hammer striking method, and it was measured at a realization site, resulting in a noise reduction effect of 5 to 9 dB. Finally, in order to verify the weather resistance, the specimen was allowed to stand in the tunnel in a wet state and observed, and as a result, the vertical compressive strength was about 30% even after 12 months, the damage was minimal and remarkable deterioration was not confirmed. From the above, it is judged that this paper material can be applied as a material for short term temporary soundproofing equipment.