

1. はじめに

近年の建設現場では、作業員の高齢化、女性作業員の増加が進んでいる。そのため、壮年の男性作業員よりも体力的にハンディがある高齢者、女性作業員への配慮も重要となっている。そこで、鋼材や木材に代わり、軽量で取り扱いが容易な紙素材を仮設資材に活用することで、作業員の負担が軽減され、仮設施工の生産性が向上すると考えた。

段ボールなどの紙素材は主に梱包材として利用される一方、強度や耐候性の問題から、これまで仮設資材として活用されることはほとんどなかった。しかし近年、強度、耐火性能、耐水性能に優れた高機能な紙素材が製品化され、仮設資材への適用可能性が高まってきている。そこで、筆者らは紙素材の遮音性能、現場環境下での紙素材の耐候性を検証した結果、遮音性能、耐候性とも仮設資材に活用できる性能を有することを確認した。遮音性を確認できたことから、鋼管杭の騒音対策として現場に適用した。その結果、鋼管杭打設時の騒音低減が可能なこと、紙素材の軽量性のゆえの扱いやすさ、複雑な形状が可能な加工性の高さを確認した。次に、より大規模な仮設設備への適用性を確認するため、大断面トンネルの風門に適用した。その結果、従来の樹脂系材料を紙素材で代替することで材料費を低減できること、プレカットした材料をより大規模に適用できること、高所への設置にも揚重機が不要なことを確認した。さらに、断熱性、吸水性、保水性に優れた紙素材を、コンクリートの骨材貯蔵施設の温度上昇抑制に活用した。その結果、従来対策に比べ 5℃程度の温度上昇抑制効果を得られることを確認した。本文では、今回活用した紙素材の特徴、仮設資材への試用事例について概要を報告する。

2. 特殊強打段ボールの特徴・遮音性能・耐候性について¹⁾

(1) 特殊強化段ボールの特徴

本文で活用した紙素材は、特殊強化段ボール(王子ホールディングス(株)製)である。この材料は、厚さが 15mm の 3 層構造で強度と耐久性に優れている(写真 1)。そのため、機械等の重量物の包装資材として、木材の代替品として活用されている。さらに、表面に耐水加工を実施することで、魚運搬用の生け簀、箱としても実績がある(写真 2)。国内では、紙素材のリサイクル体制が確立されており、90%程度がリサイクルされている。木材の代替として利用されている理由として、運搬後に廃棄せずにリサイクル可能なため、廃棄費用の低減が可能で、SDGs の概念にも合致するためである。また、面密度 2.2kg/m² と軽量なため、型枠の合板サイズ(1.8m×0.9m)であれば、4kg 未満と軽量であり、人力運搬も容易である。さらに、折り曲げが容易で様々な形状を実現できる。

(2) 特殊強化段ボールの遮音性能

特殊強化段ボールの遮音性能は、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～

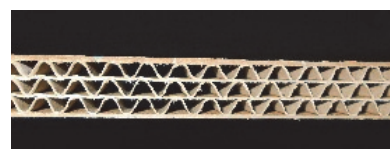


写真 1 3層構造の特殊強化段ボール
(厚さ 15mm)



写真 2 耐水加工の例
(マグロ梱包箱)

4kHz の 6 帯域)で測定した。

試験結果を図 1 に示す。図 1 には、多用されている 2 種類の防音シートの音響透過損失の数値を、メーカーのカタログデータ (<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。図 1 に掲載した防音シートと比較すると、特殊強化段ボールは、周波数が 2kHz までは軽量防音シートと同等以上の音響透過損失を期待できると判断した。

(3) 特殊強化段ボールの耐候性

特殊強化段ボールの耐候性を確認するため、湧水量が多く、1 年を通じて湿潤環境にあるトンネル現場内で 1 年間の耐候性試験を実施した(写真 3)。トンネル内の湿度は 60～70%程度、坑内温度は 26～28℃程度と変化が少ないため、湿度・温度とも一定の条件のもとで、屋外で使用了した状況を再現できると考えた。耐候性は、箱状試験体(幅 0.5m、高さ 0.5m、長さ 2.0m)の強度試験と目視による劣化状況観察により実施した。

箱状試験体の圧縮強度試験結果を図 2 に示す。図 2 では、横軸は、経過時間(月)、縦軸は強度比(%) (=各時期の供試体の強度試験結果／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。強度比と水分含有量の変化に着目すると、3 ヶ月経過後の水分含有量が 6 ヶ月目に低下しているが、強度比は増加している。また、12 ヶ月経過後の試験では、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%であったが、調湿した状態では、強度比が 57%まで回復していた。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。強度比と水分含有量の確認結果から、特殊強化段ボールは 3 層の波型構造のため、湿潤状態で吸湿・乾燥を繰り返した場合も、内部の部材まで劣化が進みにくく、短期の耐候性を期待できると考えられる。箱状試験体の回収時に表面の損傷、カビの発生などの状況を観察した結果、1 ヶ月後～12 ヶ月後のすべてで、表面の損傷、折曲げ部の損傷、変形等の顕著な劣化は確認されなかった。

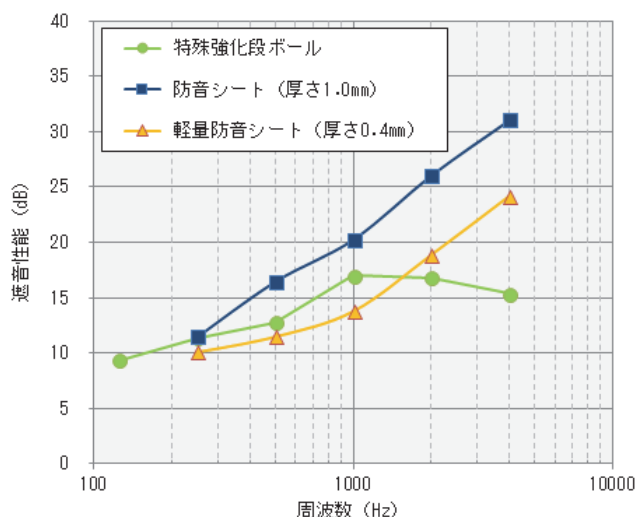


図 1 紙素材および防音シートの音響透過損失



写真 3 耐候性試験用の箱状試験体および試験状況

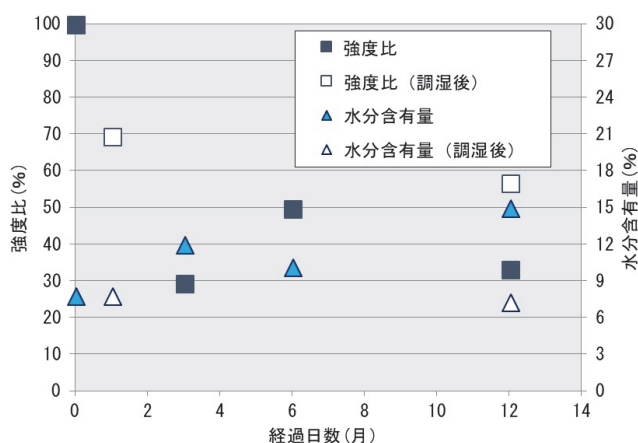


図 2 強度比と水分含有量の経時変化

3. 鋼管杭打設時の騒音対策への適用例¹⁾

(1) 油圧ハンマー打撃工法

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 4)。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。

(2) 特殊強化段ボール防音カバーの概要

特殊強化段ボールの軽量で、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した。特殊強化段ボールカバー(以降、本カバー)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、防音カバー内面と本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。

(3) 騒音低減効果の検証結果

本カバーの防音性能の検証試験は、杭径 $\phi 600\text{mm}$ 、杭長 47m の鋼管杭を油圧ハンマー打撃工法により施工する工事で実施した。

検証試験は、本カバーの設置前後に騒音値を計測して比較した。騒音の実測は、普通騒音計を杭打設点からの水平距離 30m の位置に配置し、1 分間隔での A 特性の騒音レベルの最大値 L_{MAX} を計測した。 L_{MAX} の実測結果前後のオールパス(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 に示した音響透過損失の確認結果から、特殊強化段ボールは周波数が 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 4 杭打機および防音カバー



写真 5 特殊強化段ボール防音カバー

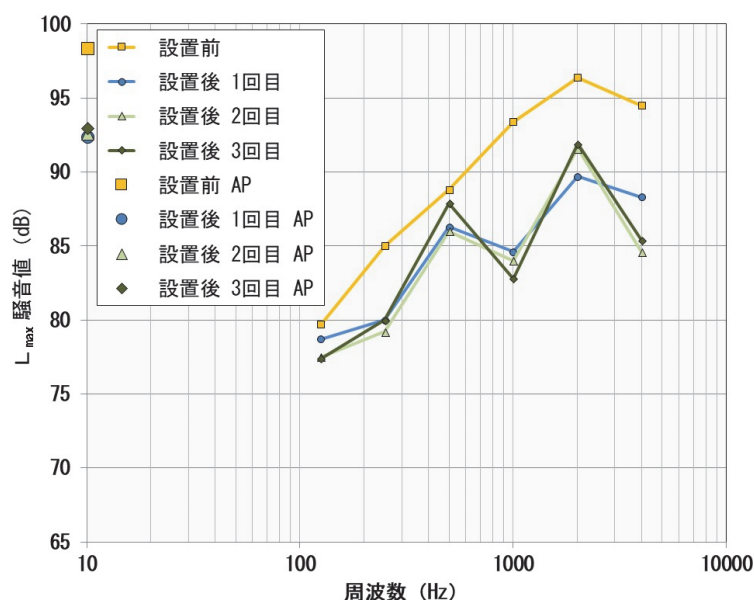


図 3 特殊強化段ボール防音カバー設置時の測定結果

4. 大断面トンネルの風門への適用例

(1) トンネルの風門

山岳トンネルの貫通後は、外気が流入しはじめて坑内温度、湿度の急激な変化が生じる。これにより、トンネルの覆工コンクリートの表面にひび割れを発生させる懸念がある。そこで、外気の流入を防止する手段として、トンネル貫通後にトンネルの出入口部の全面に風門を設置することが多い。従来の大断面のトンネルでは、骨組となる鋼材、壁となる合成樹脂膜等の部材をクレーン車で揚重しながらトンネル断面を塞ぐ壁を構築していた。トンネルの形状と寸法は、全て異なるため、風門もトンネル毎に設計し製作する必要があった。また、トンネル 1 本あたりで入口と出口に 2 箇所、計 4 箇所のため、大量生産によるコスト低減効果も期待できず、高コストであった。

(2) 特殊強化段ボールトンネル風門の概要

今回特殊段ボール風門(以降、特殊風門)を適用したトンネルは、トンネル断面が 100m² 程度の大断面の道路トンネルであった。大断面であるため、風圧により特殊風門の損傷の懸念があった。そこで、風圧に耐えられるように、支保工を事前に構築し、特殊風門と一体化する構造とした。**写真 6** に、支保工の設置状況を示す。特殊風門を構成する個々の部材寸法については、面積が大きくなると風圧により、損傷の懸念があるため、幅 1m、高さ 1m の正方形のパーツとした。なお、曲線となるトンネルの縁部分については、CAD図をもとに設定し、図面に沿って正確にプレカット加工できる紙素材用の加工機で作製した。**写真 7** に、正方形の基本パーツを示す。現場への搬入は、プレカットした状態で平面の状態とした。平面のため、合板と同様に運搬スペースを取らないメリットがある。基本パーツの四周には折れ線加工が施され、この部分を折り曲げて箱状にして使用する。また、折れ線加工により現地での折り曲げ、組立の容易さと、寸法・形状の正確性を両立させている。L 字型の切込みは、支保工の単管に固定するために設けた。この切込みに沿って単管に押し込み、落とし込むことで固定できる。この方法により、組立の容易さを実現した。



写真 6 特殊風門用の支保工設置状況



写真 7 特殊風門の基本パーツ

(3) 施工性・費用の検証結果

写真 8 に、特殊風門の組立状況を示す。組立は、基本パーツ、縁部のパーツを地上で箱状に組立てたのち、高所作業車を使用して順次支保工に設置した。**写真 9** に、紙素材の支保工への固定状況を示す。支保工の単管寸法に正確に加工した L 字の切込みにより、確実に固定されている状況である。隣接するパーツ同士を接続することで、風門を壁として堅固な構造が期待できる。そこで、隣接するパーツ同士は折り曲げた部分を紙素材用の特殊ネジを使用して接合した。この特殊ネジは、特殊強化段ボールの固定用として多数使用されており、充電ドライバーを使用することで容易に固定できる。**写真 10** に接合状況を示す。黒色の円形状の部材が特殊ネジである。縁部の曲線状部分、換気用パイプの周囲



写真 8 特殊風門の組立状況

については、多少の形状・寸法調整が必要であった。今回は、通常のカッターナイフにより、現場で容易に加工できた。写真 11 に、特殊風門の設置完了状況を示す。約 100m² の大断面トンネルの風門の組立に要した作業員は 6 名、高所作業車 1 台、作業時間は約半日であった。基本パーツを 1m 四方としたことで、軽量で作業性に優れ、クレーン車が不要なことを確認できた。

設置完了後、設置費用を従来工法と比較したところ、材料費は約半分、施工費用はほぼ同等であった。このことから、コスト削減効果が期待できると考えられる。また、設置後に特殊風門下部が 30cm 程度冠水する大雨に遭遇した。水の引いた後に確認したところ、特殊強化段ボールに多少の変色は見られたが、破れや変形等の損傷は見られなかった。この風門は、2 基を設置したが、約 6 箇月間の試用中に支障なく機能を発揮した。

5. コンクリートの骨材貯蔵施設への適用例²⁾

(1) コンクリートの骨材貯蔵施設

ダム等の大規模な土木現場では、工事中の猛禽類保全対策として、現場内設備を安全喚起色の黄色などから、周辺の樹木に近い茶色や緑色(以下、アースカラー)に塗装し、猛禽類に対する視覚的な刺激を低減させる手法が採用されている(写真 12)³⁾。しかし、コンクリートの骨材貯蔵施設は、その対策が適用困難である。その理由は、茶色などの濃色のアースカラーに着色することで、太陽光を吸収しやすく、貯蔵中の骨材の温度上昇によるコンクリートのひび割れ発生の懸念が高まるためである。そのため、濃緑色や黒色のネットを、遮光の目的で前面に設置している事例が多い(写真 13)。

(2) アースカラークールシートの概要

アースカラークールシート(以下、クールシート)には、骨材の温度上昇抑制のため、断熱性に優れた厚さ 20mm の紙素材を内蔵した。この紙素材は天然パルプ繊維を主原料としている。吸水性と保水性に優れ、自重の最大 11 倍の吸水性を生かし、おしぼりや消臭剤の芯材などに使用されている。面密度 1.6kg/m² 程度と軽量で、取扱いも容易である(写真 14)。紙素材を、汎用製品のナイロン製防じんネットを加工した袋内(長さ 30cm × 幅 30cm)に挿入し、避難はしごの各段に固定した。

今回適用した骨材貯蔵設備の大きさは、直径 10m、高さ 10m 程度である。クールシートは、この大きな設備を面的に覆うため、自然環境に調和したアースカラーの

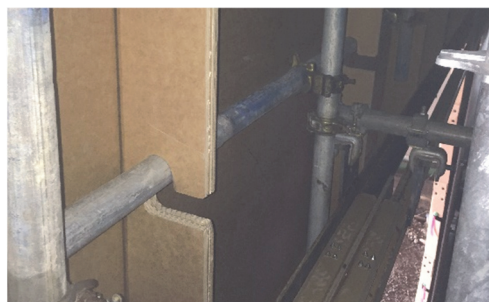


写真 9 切り欠きによる支保工への固定状況



写真 10 特殊ネジによる隣接部材の接合



写真 11 特殊風門の設置完了状況



写真 12 アースカラーの揚重設備



写真 13 黒色ネットによる骨材温度上昇防止

色、配色とする必要がある。今回、複数の担当者と事前協議をした結果、濃い緑色と薄茶色の格子模様が、現地の自然状況に溶け込みやすいと判断して採用とした。

(3) 温度上昇抑制効果・周辺との調和性の検証結果

今回適用した骨材貯蔵施設では、温度上昇抑制のため、その表面に耐熱材の貼付と黒色の遮光ネットの配置を実施している。そこで、1ヵ所の骨材貯蔵設備に幅 3m、高さ 10m の範囲で、クールシートを設置した(写真 15)。さらに、シート上部の散水ホースから散水してシートを湿潤状態にし、気化熱による温度上昇抑制を図った。骨材の温度上昇抑制効果確認のため、骨材貯蔵施設表面に熱電対を 13 カ所設置し、15 分毎に温度計測を実施した。設置位置は、Case 1 断熱材のみ、Case 2 断熱材+黒色ネット、Case3 断熱材+シートの 3 種類とした。図 4 に、今回の試験期間内で 10:00~17:00 までの日中気温が 22℃以上であった 7 月

24 日~8 月 4 日についての温度計測結果を示す。Case 1 の最高温度は 40℃程度であった。Case 3 は、Case 1、Case 2 に比較し、全期間で温度が低い傾向であった。Case 1 との比較で最大 15℃、Case 2 との比較で最大 5℃の温度上昇抑制効果が確認された。クールシートの周辺との調和性を確認するため、ドローンによる上空からの写真撮影を行い、目

視で周辺との調和性を確認した(写真 16)。濃い緑色と薄茶色を格子模様に配置したことで、写真 13 の黒色ネットや骨材貯蔵施設屋根の茶色一色に比べ、濃淡があるために周辺の樹木と色彩が近似し、より調和していた。

6. まとめ

強度、耐火性能などに優れた高機能な紙素材を仮設資材に活用することで、作業員の負担軽減や生産性向上に寄与すると考えた。そこで、鋼管杭打設時の防音カバー、大断面トンネルの風門、骨材貯蔵施設の温度上昇抑制に活用し、現場への適用可能性が高いことを確認した。弊社では、SDGs の観点から、人と環境に優しい紙素材の仮設利用技術を「KAMIWAZA」と名付け、現場へ適用していく予定である。

【参考文献】

- 1) 宮瀬文裕他:仮設防音設備への紙素材の適用性に関する基礎的検討,環境システム研究論文発表会講演集 45, pp.81-86, 2017.10
- 2) 宮瀬文裕他:猛禽類保全対策技術の開発,第 26 回衛生工学シンポジウム, pp.1-10, 2018.11
- 3) 宇野昌利他:土木工事現場での環境対策,環境システム研究論文発表会講演集 41, pp.129-132, 2013.10

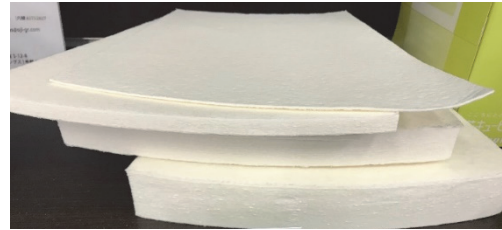


写真 14 断熱性・吸水性に優れた紙素材

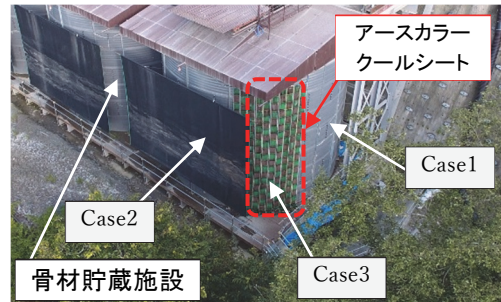


写真 15 クールシート設置状況および計測位置

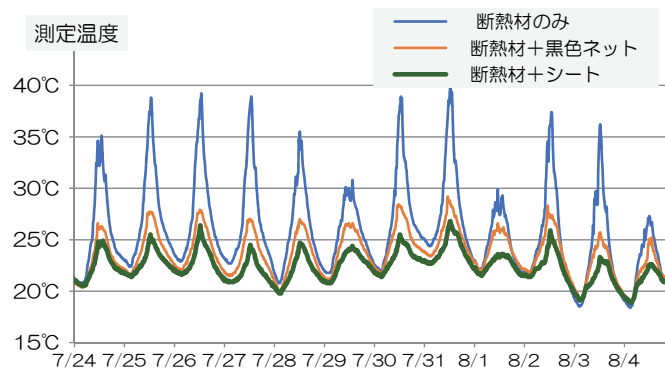


図 4 骨材貯蔵施設の表面温度計測結果

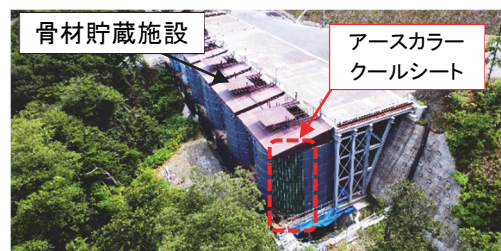


写真 16 ドローン撮影の写真