

紙素材を活用した生産性向上とコスト縮減

宮瀬 文裕

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、女性作業員を対象とする生産性向上対策も重要である。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化することで、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。近年、紙素材は技術開発により強度、耐候性等が向上している。また、工場で任意の形状、寸法に加工可能で、大量生産によるコストダウンも見込める。本稿ではこれらの特性に着目し、ダムの監査廊用扉と大断面トンネルの風門に試用した事例について概要を説明する。

キーワード：紙素材、仮設資材、生産性、コスト低減

1. はじめに

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、これまで建設資材や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、筆者はこれまでに紙素材の遮音性能、現場環境下での紙素材の耐候性を検証してきた。その結果、現場の湿潤環境下で吸湿・乾燥を繰り返した場合でも内部に大きな劣化は見られず、仮設資材に求められる耐候性が期待できることを確認した。また、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試用し、紙素材の軽量性ゆえの扱いやすさ、複雑な形状が可能な加工性の高さも確認した^{1) 2)}。

今回、これまでの基礎的な試験結果をもとに、仮設資材への適用可能性を検討するため、ダムの監査廊用扉と大断面トンネルの風門に試用した。ダムの監査廊用扉では、軽量なため狭い監査廊内での運搬が容易なこと、CADデータをもとに正確な形状にプレカットできるため組立、設置が容易なことを確認した。大断面トンネルの風門では、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。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. 紙素材の特徴

(1) 紙素材の基本性状

本文で活用した紙素材は、特殊強化段ボールである。この材料は、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)。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



写真—1 3層構造の紙素材 (厚さ 15mm)



写真—2 耐水加工の例：マグロ梱包箱

ずにリサイクル可能なため、廃棄費用の低減、SDGsの概念に合致するためである。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。さらに、面密度2.2 kg/m²と軽量なため、型枠の合板サイズ(1.8 m×0.9 m)であれば、4 kg未滿と軽量であるため人力運搬も容易で、運搬費用も低減できる利点もある。

紙素材の大きな特徴は、折り曲げが容易で、様々な形状を実現できることである。身近な事例では、カメラ、パソコン等が収納されている部分には、寸法と形状が商品にぴったりの紙製の梱包材が使用されている。この梱包材は、1枚の紙素材を複雑な形状に打ち抜き、何ヶ所も折り曲げることで実現している。

(2) 紙素材の耐候性²⁾

紙素材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、屋外で使用した状況を再現できると考えた(写真-4)。耐候性は、箱状試験体(幅0.5 m、高さ0.5 m、長さ2.0 m)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-1に示す。図-1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、今回の紙素材は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。

箱状供試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。



写真-3 耐候性試験の状況



写真-4 耐候性試験を実施したトンネル内の状況

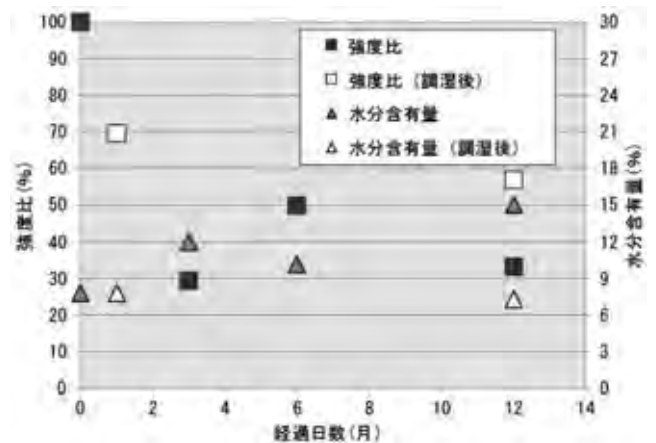


図-1 強度比と水分含有量の経時変化(箱状試験体)

3. ダムの監査廊用扉への試用

(1) ダムの監査用扉の概要

ダム堤体内部に設置される監査廊は、コンクリート製のプレキャスト材である(写真-5)。ダム堤体の構築作業では、監査廊のプレキャスト部材を所定の位置に設置し、固定後にダム堤体コンクリートを打設する。ダム堤体はマスコンクリートであるため、その内部では水和熱で大きな温度上昇が発生する。そして、監査廊のプレキャスト部材はその周囲のコンクリート



写真一五 ダムの監査廊の例



写真一六 監査廊の温度分布



写真一七 木製のダムの監査廊用扉の例

の水和熱により、プレキャスト部材そのものも温度上昇が発生する。写真一六は、堤体コンクリートの打設後に、赤外線カメラを使用して監査廊内を撮影したものである。写真一六の上方のプレキャスト部材頂部の濃い灰色部分の温度が高いことを示している。この場所は、ダム堤体コンクリートを打設した箇所で、水和熱がプレキャスト部材へ伝達している状況を示している。

上記の状態でも冬場に監査廊内に温度の低い外気が流入すると、監査廊内部で急激な温度変化が発生する。堤体コンクリートの内部が温度上昇している時に冷気で冷やされると、堤体コンクリート自体にひび割れが発生し、それに伴って監査廊のプレキャスト部材にもひび割れが発生する懸念が高まる。このような懸念を防止するため、施工中の監査廊の入り口には、外気の流入を防ぐための監査廊用扉が必要となる。

従来は、監査廊の大きさ、形状に合わせて、型枠大工が木製の合板で製作していた。監査廊には天井部に曲線があるため、現地にて木製合板の寸法と形状を調整した上で、組立する必要があった(写真一七)。また、狭く傾斜が急な階段のある監査廊内(写真一五)で、木製合板と道具を運搬するため、高齢者や女性には負担の大きな作業でもあった。このような事情から、通常は監査廊用扉については、型枠大工2人で半日かかる人工を必要としていた。

(2) 監査用扉の試用結果

今回試験を実施したダムの監査廊の大きさは、幅2.0m、高さ2.5mであり、ダムの完成後に点検員が利用する通路である。

今回、運搬と現地での組み立ての両方を考慮して、3分割の紙素材で構成することとした(写真一八)。



写真一八 紙素材のダムの監査廊用扉の構成

その寸法、形状は監査廊のプレキャスト部材のCAD図をもとに設定し、CAD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。また、現地での部材の折り曲げが容易となるように、部材表面に折れ線加工がされている。3つのパーツの総重量は約12kg程度と軽量で、狭い監査廊内の運搬に支障のないサイズであることから、高齢者、女性でも負担が少なく、施工性の向上に有効である。今回の試験設置では、型枠大工2人で3つのパーツを同時に運搬できることを確認した。

設置時には、現地に合わせて多少の寸法調整が必要であった。本扉は紙素材であるため、通常のカッターで切断可能である。今回は型枠大工が普段使用しているのこぎりにより、容易に切断して調整できた。この調整後に、折れ線加工に沿って折り曲げ、作業員2名で組み立てて設置した(写真一九)。現地での寸法調整10分、設置10分とあわせて20分程度であり、生産性の向上に資することを確認できた。なお、設置7箇月経過後も、表面の損傷などの発生はなく、継続して使用されていることを確認した。



写真一〇 紙素材のダムの監視廊用扉の設置状況

4. 大断面トンネルの風門への試用

(1) トンネルの風門の概要

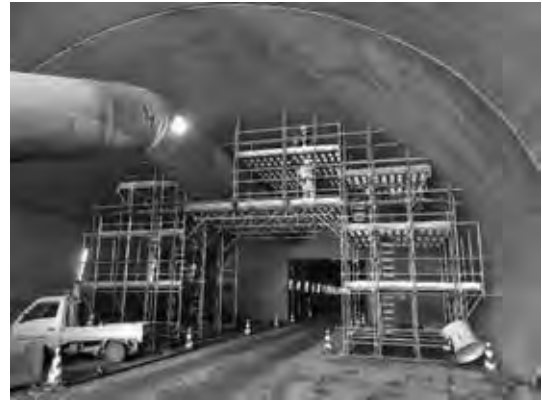
トンネル貫通後は、外気が流入しはじめて坑内温度、湿度の急激な変化が生じる。これにより、トンネルの覆工コンクリートの表面にひび割れを発生させる懸念がある。そこで、外気の流入を防止する手段として、トンネル貫通後にトンネルの出入口部の全面に風門を設置することが多い。

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1箇所、計2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。

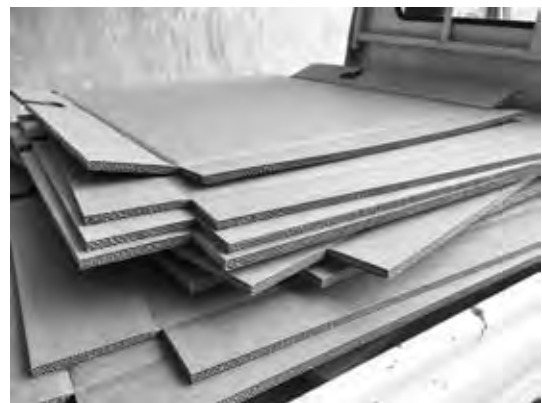
(2) トンネル風門の試用結果

今回試験を実施したトンネルは、トンネル断面が100 m²程度の大断面の道路トンネルである。ダムの監視廊用扉に比べて大断面であるため、風圧による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て、紙素材による壁部分と一体化する構造とした。写真一〇に、支保工の設置状況を示す。紙素材の部材寸法についても、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1 m、高さ1 m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、監視廊用扉と同様に、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。

写真一〇に、正方形の基本パーツを示す。現場へ



写真一〇 紙素材の風門用の支保工設置状況



写真一一 基本パーツ



写真一二 紙素材の風門の組立状況

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。

写真一二に、紙素材の風門の組立状況を示す。組



写真-13 切り欠きによる支保工への固定状況



写真-14 紙素材用ネジによる部材同士の接合

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-13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、風門の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、紙素材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簡単に固定できる。写真-14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、通常のカッターにより、現場で容易に加工できた。

写真-15に、紙素材の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



写真-15 紙素材の風門の設置完了状況

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、コスト縮減効果が期待できると考えられる。また、設置後に風門下部が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、紙素材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。紙素材の風門は、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. おわりに

今回、紙素材の仮設資材への適用性を確認するため、ダムの監査廊用扉、大断面のトンネルの風門について、プレカット加工した紙素材を使用した。ダムの監査用扉では、軽量なため運搬が容易であること、組立時間を従来の半日から20分程度に短縮できることを確認した。トンネルの風門では、1m四方の基本パーツと支保工を組み合わせることで、約100m²の風門を組立可能なこと、約6箇月間支障なく使用できることを確認した。組立にクレーン車が不要、材料費が半減可能等、コスト縮減が期待できる点も確認できた。なお、当社は軽量でリサイクル可能な紙素材を、仮設資材に活用する技術を「KAMIWAZA」と名付け、SDGsの実現に寄与する技術開発と現場への活用を進める予定である。

謝辞

最後になるが、試作品の作製で王子インターパック(株)の関係者、現場での試用でダム現場とトンネル現場の関係者には、多大の協力をいただいた。ここに感謝の意を表する。

JICMA

【参考文献】

- 1) 宮瀬文裕, 谷川将規, 岡崎正人, 古木弘, 藤本邦夫, 坂水順一, 清水淳路, 仮設防音設備への紙素材の適用性に関する基礎的検討, 第45回環境システム研究論文発表会講演集, pp81-86, 2017.10
- 2) 宮瀬文裕, 古木弘, 谷川将規, 宇野昌利, 藤本邦夫, 岩井一将, 仮設防音設備用紙素材の耐候性試験, 土木学会第73回年次学術講演会, VI-362, pp723-724, 2018.8

【筆者紹介】

宮瀬 文裕 (みやせ ふみひろ)

清水建設(株)

土木技術本部 設計部

主査

