

紙素材の土木現場への適用

岩 井 一 将

現在我が国では、少子高齢化社会による労働力人口減少により様々な産業で、人手不足が懸念されている。その中でも建設業界の就業者減少及び高齢化は他の産業と比較しても高い水準にある。対策の一つとして高齢者、女性作業員にも取り扱いが容易となる軽量の素材を建設現場に適用できないかを考えた。トンネル用の風門とガードマンボックスに試験適用し、結果として今後の現場での実用化に向けて、基礎的なデータを得た。

キーワード：段ボール、紙素材、環境、リサイクル、軽量

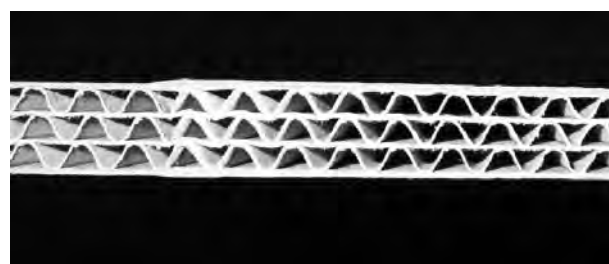
1. はじめに

近年、建設産業では作業従事者の高齢化、建設小町に代表される女性の進出といった状況である。これまでの若年の体力に恵まれた作業員に比較し、重量物の運搬や取り扱いに課題がある。そのため、作業員を補助するアシストロボなどの開発もされている。しかしこのようなロボットは高価なことから、現場への適用が十分に進んでいない状況である。そこで、筆者は体力的に恵まれていない高齢者、女性作業員にも取り扱いが容易となる軽量の素材を建設現場に適用することも対策の一つと考え、軽量の素材として紙素材に着目した。紙素材は、軽量であるばかりでなく、加工により高強度、高剛性、耐候性を確保し得る。また、使用後はリサイクルが可能であり、ほぼ100%の再利用が期待できる。そのため、環境にやさしい材料といった面も注目される。そこで、紙素材を土木現場に適用する可能性を試すため、大型の事例としてトンネルの風門を、小型で作業環境改善の事例としてガードマンボックスを試作し現場で適用した。本報告では、紙素材の特徴と2つの適用事例の概要について説明する。

2. 紙素材の特徴

ガードマンボックスと風門の試作に使われた紙素材は厚さが15mm、3層構造の段ボール（王子インターパック(株)製 ハイプルエース）である（写真—1）。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 2.2 kg/m^2 であり、型枠等に使用される合版サイズ（ $1.8\text{ m} \times 0.9\text{ m}$ ）であれば4kg未満と軽量であるため、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、ほぼ100%リサイクル可能である。



写真—1 3層構造の紙素材（厚さ 15 mm）



写真—2 適用例：マグロ梱装箱

3. 紙素材の耐候性の確認

(1) 耐候性を確認したトンネル現場の概要

紙素材を屋外で使用する場合の耐候性を確認するため、1年間の試験が可能で、湿潤環境にあるトンネル現場を選定した。現場は九州地区内のトンネル他工事にご協力いただいた。

このトンネルは延長2,885 m、高さ約7.7 m、幅約9.5 mでNATM工法で施工中である。

トンネル内の湧水量が平成28年度時点で約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用した状況を再現できると考えられた（写真—3）。



写真—3 トンネルの状況（壁面・底面とも湿潤状態）

(2) 耐候性の検証方法

紙素材の耐候性の検証は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ヶ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。

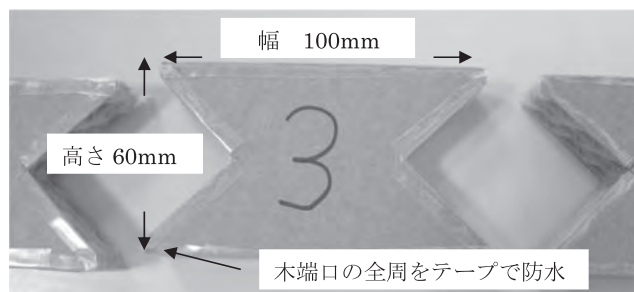
さらに、実際の使用状況を想定し、幅0.5 m、高さ0.5 m、長さ2.0 mの箱状試験体5個も同様な状態で静置した。紙素材にはデンプン素材の接着剤が使用され、これはカビの栄養源となる。カビの発生により、接着剤の機能が失われ、紙のはがれ、強度低下による大きな変形などが予測された。この箱状試験体により、表面の損傷（紙のやぶれ、はがれ）、カビの発生、脆弱部と考えられた折曲げ箇所の劣化状況を観察した。また、観察後に強度試験を実施し、劣化状況の定量的な把握を行った。垂直圧縮強度の供試体を写真—4に、箱状試験体および供試体の静置状況を写真—5に示す。

(3) 耐候性の検証結果：垂直強度試験体

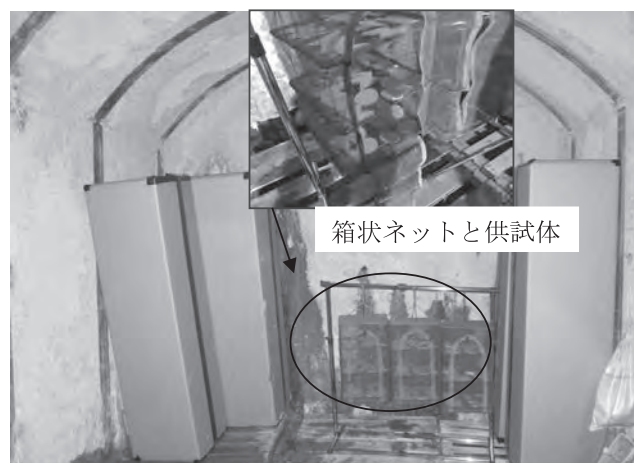
垂直圧縮強度試験体の強度試験結果を図—1～4に示す。横軸は経過時間（月）、縦軸は強度比（％）（＝各時期の供試体の圧縮強度試験結果／試験前の標準状

表—1 垂直強度試験体の仕様

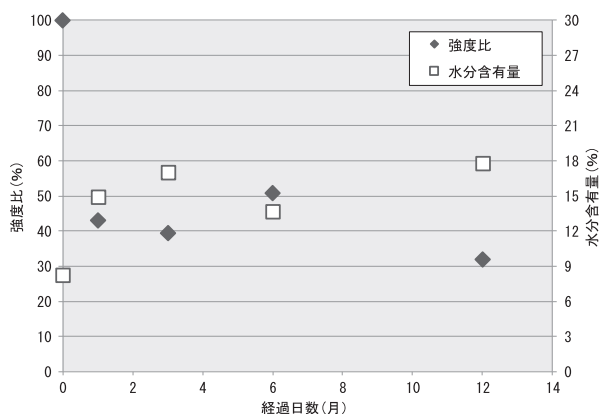
種類	層数	耐水加工	用途・使用例
3層紙素材	3層	なし	工業製品輸送
耐水紙素材	1層	表面・内部に含侵	高冷地キャベツ用箱
超耐水紙素材	1層	同上	養蜂箱



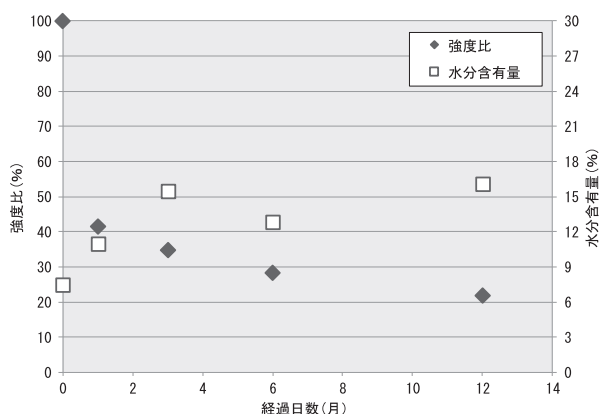
写真—4 JIS Z0403-2 垂直圧縮強度用の供試体



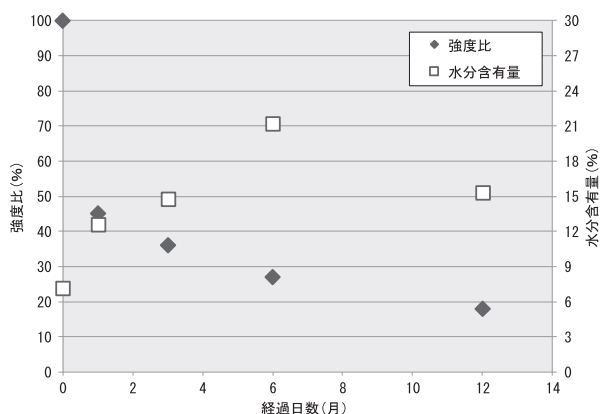
写真—5 箱状試験体および供試体の静置状況



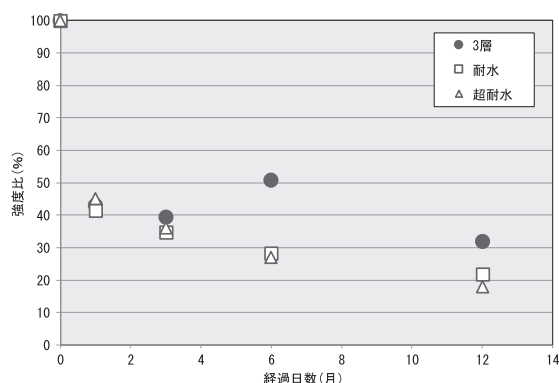
図—1 強度比と水分含有量の経時変化 (3層)



図—2 強度比と水分含有量の経時変化の経時変化 (耐水)



図—3 強度比と水分含有量の経時変化の経時変化 (超耐水)



図—4 強度比の経時変化 (3種類の比較)

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—1～4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およそ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。

強度比と水分含有量について3層紙素材と耐水紙素材、超耐水紙素材で差異が見られた。図—1の3層紙素材では3ヶ月の水分含有量17%が6ヶ月14%へと低下している。図—2の耐水紙素材では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層紙素材は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、耐水紙素材は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。

超耐水紙素材については図—3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抗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—4に示すように、水分含有量がより低い耐水紙素材と同等の強度比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層紙素材は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層構造の耐水紙素材、超耐水紙素材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想される。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

箱状試験体の回収時に、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ヶ月後、6ヶ月後、12ヶ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—1に示す供試体の強度比とはほぼ同等であった。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。

(5) 検証結果のまとめ

湿潤状態下であっても吸湿・乾燥を繰り返すことが可能な環境下あれば3層構造の紙素材は内部の部材の劣化が進行しにくく、仮設材として現場で適用するのに十分な対候性を有すると考えられた。

4. トンネル風門への適用

(1) 風門について

風門はトンネル貫通後の外気流入による坑内温度、湿度の急激な変化を防ぎ、覆工コンクリートのひび割れ発生を防止するために設置される。従来工法のバルーン式風門を設置する方法や剛性のある鋼製パネル等での構造はコストが高い、廃棄が有償、現場でのサイズ調整が困難なことが課題であった。

(2) 試験の目的、試験現場

風門に必要な強度を確保しつつ、設置箇所のサイズ、形状に対応しやすい紙素材を大型の土木仮設に適用できることを確認するため、実際の現場で組み立ての容易さ、耐候性を確認することとした。今回の試験は九州地区でのトンネル工事現場にご協力いただいた。

トンネル延長は1,594 m、全幅13.5 m、直径13.5 m

となっている。

(3) 紙素材の風門の特徴

事前に単管を構築し、トンネルの形状、寸法に合わせて加工した紙素材を人力で設置することにした。紙素材を使用した事例では過去最大の大きさ、直径12 m、高さは8 m以上となる（写真—6）。なお、土砂運搬用の重ダンプが走行するため、風門の中央部には開口（幅5 m×高さ4 m）が必要となる。そこで土砂運搬しないときは、扉を閉める構造とした。

大断面であると紙素材が座屈する懸念があるため、1 m四方のパーツを基本としてトンネル形状にあわせて事前に裁断して搬入し、現場で組み立てた。

取り付け方法は紙素材に単管を引っ掛ける形の切り込み加工を施し、仮固定する（写真—7, 8）。つぎに1 m四方パーツ同士の接合は樹脂製のネジを使用した。

(4) 現場での組み立ての容易さの確認

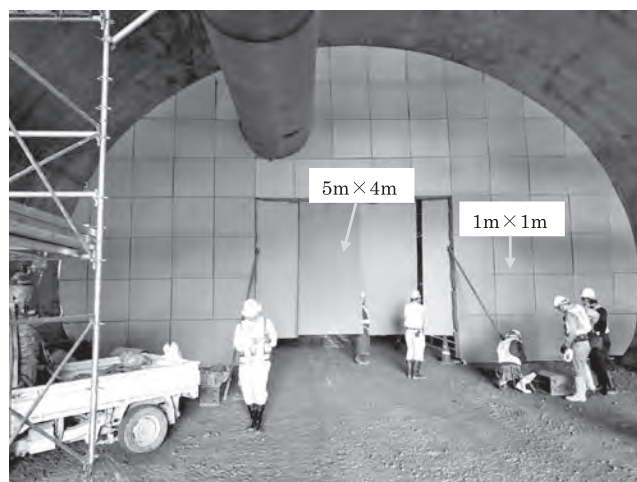
1 m四方のパーツは重量が2 kg程度であり、組み立ては高所作業車のみを使用し、人力で設置ができた（写真—9）。事前に単管が構築されており、紙素材が単管に引かけられる加工がされていれば、熟練の作業員10～15名程度が4～5時間程度で設置できることが確認できた。

また曲線に対応した加工も自在にできるため、トンネルの曲線部へも隙間なく設置できた。

隙間の微調整も予備の部材をカッターで切る等の簡単な加工で、現場対応が可能である。

(5) 耐候性の確認

設置から2ヶ月経過後、途中大雨で一部冠水の被害



写真—6 完成した紙製トンネル風門



写真一七 単管に固定する切り込み

写真一八 固定用の樹脂性ネジ



写真一九 高所作業車と人力での設置状況



写真一〇 一般的なガードマンボックスの例

に遭いながらも顕著な破損は確認されていない。一部でカビの発生が確認されたが、対策についてはコストを考慮しながら対応を検討する予定としている。

5. ガードマンボックスへの適用

(1) ガードマンボックスについて

建設工事現場などでは歩行者、自動車（運転者）などの安全を確保するために出入口等にガードマン、交通誘導員等を配置して作業を行うようにしている。冬の工事や寒冷地での工事では、ガードマンや交通誘導員が屋外での長時間にわたる業務を行うことになり、一般に防寒服を着用して寒さ対策を講じている。一方、防寒服を着用しても十分な防寒効果を得られないケースもあり、ガードマンボックスを設置、その中に入って業務を行うケースもある（写真一〇）。しかしながら、従来のガードマンボックスは防寒効果が非常に高い反面、設置・撤去が容易でなく、必要な時に必要な場所で使うことが難しい。またガードマンボックスを設置する場所が十分確保できないケースもある。

高齢化、女性作業員の増加はガードマンも同様であ

り、労働環境改善の一環としていつでも設置、撤去できるガードマンボックスを実現するため、紙素材の軽量性、折り畳みの容易さに着目した。

(2) 紙素材のガードマンボックスの特徴

素材は3層構造の紙素材であり、ガードマンボックスは本体部と屋根部上下の3ピースになっており包装用ジョイントでいつでも取り外しと取り付けが可能である。女性でも持ち運べる10 kg程度の重量となっており、折りたたんだ状態で巾45 cm程度の運搬しやすいサイズとした（写真一〇）。

(3) 試験の目的

運搬、設置が容易なことを目標に試作したがガードマンボックスについて、実際の現場でガードマンに試用していただき、実用性を確認することとした。

(4) 試験の概要

試験は関東地区の道路工事現場にて実施した。この現場はガードマンボックスの試作工場に近く、対応が容易な点も考慮して協力いただいた。



写真-11 紙素材のガードマンボックス利用状況

持ち運びについては現場関係者、ガードマン数人に実際にってもらい、以下の感想をいただいた。

- ・「45 cm サイズであれば手が回るため、運ぶ際にもちやすい。」
- ・「10 kg 程度は運搬可能であるが、さらなる軽量化ができれば、よりありがたい。」

(5) 使用性の確認

約2週間試用していただき、以下の感想をいただいた。

- ・「風よけになり、防寒性はある程度期待できる。」
- ・「出入りがし易いように、出入り口の工夫が必要。(現状の片開きでなく、両開きが望ましい。)」
- ・「組み立てには2人で5分程度、慣れれば3分程度で可能と考えられる。」
- ・「3 パーツを2人で組み立ては毎日では面倒なので、改善必要。」
- ・「組み立てが1人で可能なタイプの開発が望ましい。」
- ・「視界を確保しつつ、腰から上の風が当たらないように高い箇所の面積増が望ましい。」(冬季のための感想)
- ・「2週間程度小雨にさらされる程度であれば、大きな損傷はない。」
- ・「夏季用に、風が通るようなスリットがあるタイプもあれば役立つと思う。」

(6) 試用結果のまとめ

2週間試用いただいた結果、運搬、組み立ては現場で実用可能なレベルと考えられた。組み立てをより簡素化、出入り口の工夫等の指摘された課題を改善し、より実用性を高め広く適用できるようにしたい。

6. おわりに

今回、軽量でリサイクル性に優れた紙素材を活用し、大型仮設の事例としてトンネル風門へ小型で作業環境改善の事例としてガードマンボックスを試作し、実際の現場にて試験を実施した。風門については、設置が人力で可能で、曲面にも適用可能な点が確認された。ガードマンボックスについては持ち運び、組み立てが容易であることが確認された。両技術とも基本的な要求は満足しているが、耐候性のさらなる向上、使いやすさについては課題も確認された。なお、両技術とも基本的な性能は満足していることから改良を進めて現場での適用事例を増やし実用性を高める予定である。

謝 辞

最後になるが、開発段階と現場試験においてトンネル工事、道路工事の関係者及びその関係スタッフには多大なる協力をいただいた。ここに感謝の意を表する。

J C M A

《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、環境システム研究論文発表会講演集 45, 81-86, 2017

〔筆者紹介〕

岩井 一将 (いわい かずまさ)
王子ホールディングス(株)
イノベーション推進本部
パッケージング推進センター
販売戦略室