

発泡体と樹脂含浸ガラスクロス 複合パネルを用いた軽量覆工板 の開発

— 作業時間短縮効果の定量化 —

DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT COMPOSITE LINING BOARD COMPOSED OF FORMED BOARD AND GLASS CLOTH

— Quantification of work time reduction effect —

深澤協三 — * 1 林 英史 — * 2
水野 潔 — * 2 貴志浩年 — * 2
小嶋裕記 — * 3 守田洋一 — * 4
小暮直親 — * 5 友利 格 — * 5
平田夢菜 — * 6 笹谷真通 — * 7

Kyouzou FUKAZAWA — * 1 Eiji HAYASHI — * 2
Kiyoshi MIZUNO — * 2 Hirotoshi KISHI — * 2
Yuki KOJIMA — * 3 Yoichi MORITA — * 4
Naochika KOGURE — * 5 Itaru TOMORI — * 5
Yumena HIRATA — * 6 Masamichi SASATANI — * 7

キーワード：

省力化, 仮設構造, 複合材料, 施工実験, FRP 構造

Keywords:

Labor saving, Temporary structure, Composite material, Construction experiment, Glass fiber reinforced plastic structure

Renovation work on train station platforms requires removing the protective covering of half-finished work and then putting it back again at the end of each day. However, the time allotted for renovation work in station buildings is limited. Reducing the time for removing and putting back coverings is therefore expected to help shorten the working time. We developed a light, high-strength covering plate consisting of resin-impregnated glass cloth, foam, and a thin steel plate. This paper discusses the results of construction experiments conducted on a model to study the work efficiency improvements by using the developed light covering plates.

1. はじめに

「どこでも、だれでも、自由に、使いやすく」というユニバーサルデザインの考え方を踏まえた「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律（バリアフリー法）」が制定され、公共交通機関のバリアフリー化が推進されている¹⁾。

鉄道駅舎においては、バリアフリー化に加え、安全性・快適性・利便性向上を目的とする駅舎改修工事は、今後とも継続的な実施が想定される。駅舎のバリアフリー化、安全性・快適性・利便性向上の改修では、写真1に示す通りプラットフォーム上へのエレベーター・エスカレーター、ホームドアの設置、屋根の新設が行われる例が多い。これらの構造物新設に際しては、構造物を支える基礎構造をプラットフォーム上に開口を設けて構築する必要がある。基礎構造の施工では、図1に示す通りプラットフォームの掘削が必要となる。一方で鉄道利用者の利便性が最優先されるため、列車運行時間内はプラットフォームに設けた開口部に仮設の「蓋」を設けて鉄道利用者がプラットフォームを利用可能（歩ける、列車待ちが出来る）状態に保つ必要がある。終電後に行われる工事中には、この仮設の「蓋」を撤去する必要がある（以下このプラットフォーム工事の開口部の仮設の「蓋」を架けることを「覆工」、覆工に用いる部材を「覆工板」と称する）。

鉄道駅舎における覆工工法に関して根本ら²⁾は、プラットフォームを広範囲に改修する可動式ホーム柵設置工事に歩行者の滑り防止効果を有する鋼製覆工板を開発し、機能性と作業短縮時間の効果を



写真1. プラットホーム改修例

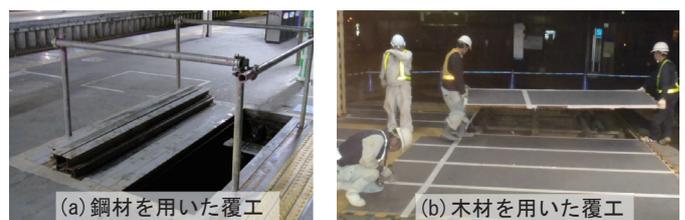


写真2. プラットホーム覆工工事（従来の工法）

報告している。一方、エレベーター・エスカレーター・屋根等の基礎構造の増築のような比較的小規模の工事では、改修工事ごとに施工条件が変化するため、その施工条件を勘案して覆工方法を適宜選択している。施工条件にフレキシブルに対応するため、写真2に示

¹⁾ (一社)日本建設業経営協会中央技術研究所 博士(工学)
(〒110-0016 東京都台東区台東3丁目13番9号)

²⁾ 南海辰村建設(株)

³⁾ 東鉄工業(株)

⁴⁾ 凸版印刷(株)

⁵⁾ JSP(株)

⁶⁾ 東京電機大学大学院未来科学研究科

⁷⁾ 東京電機大学未来科学部建築学科 准教授・博士(工学)

¹⁾ JARGC Central Research Institute for Construction Technology, Dr.Eng.

²⁾ Nankai Tatsumura Construction Co., Ltd.

³⁾ TOTETSU KOGYO CO., LTD.

⁴⁾ TOPPAN INC.

⁵⁾ JSP Corp.

⁶⁾ Graduate School of Science and Technology for Future Life, Tokyo Denki Univ.

⁷⁾ Assoc. Prof., Dept. of Architecture, School of Science and Technology for Future Life, Tokyo Denki Univ., Dr.Eng.

す木材を用いた覆工、鋼材を用いた覆工が選択されるケースが多い。木材を用いた覆工では、根太材の上に合板をビス止めした構造が一般的である。鋼材を用いた覆工では、H形鋼・角形鋼管を開口に架け渡す構造が一般的である。更に、木材、鋼材の覆工ともに、鉄道利用者の転倒・つまづき防止のために覆工部分を滑り止めシートで覆い、更にシートが捲れ上がることを防止するためにシート四辺を布粘着テープ貼りするの一般的である。

一方、鉄道駅舎の改修工事では、図2に示す通り工事可能な時間は終電から始発間の数時間に限られる。特に、プラットホーム掘削を伴う改修工事では、掘削箇所を「作業開始時：覆工板の撤去」→「作業終了時：再覆工（覆工板再配置）」作業が作業日毎に必要となる。従って、「掘削箇所の覆工と撤去」作業の時間短縮が、工期短縮に貢献する。更に、プラットホーム上の作業では重機の使用が困難なため、資材の搬送・組み立ては人力によるケースが殆どである。その為覆工板には、荷重を支持する剛性・耐力の確保と人力搬送可能な質量以下に抑制の、相反する条件の両立が求められる。

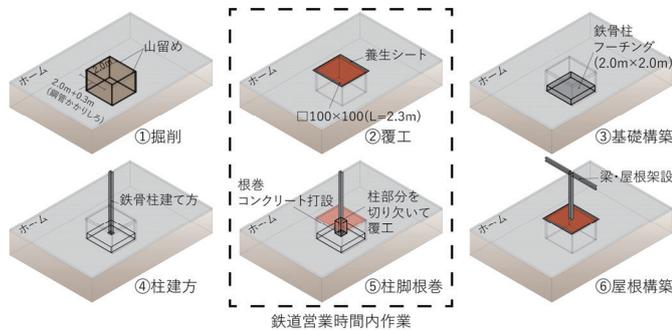
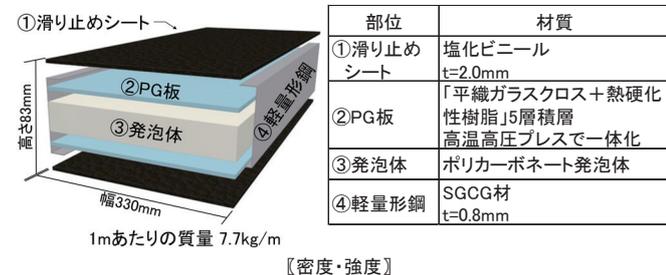


図1. プラットホーム上の改修工事工程例



図2. 夜間工事のタイムスケジュールの例



【密度・強度】

| | ガラスクロス (1層当り) | ポリカーボネート発泡体 | 鋼材 (SGCG材) |
|------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|
| 密度(g/cm ³) | 1.05 | 0.1 | 7.85 |
| 強度(N/mm ²) | 引張強さ 547(繊維方向) 361(繊維直交方向) | 圧縮強度 0.5 | 降伏強度 297 |

図3. 軽量覆工板の構成

筆者らは、「樹脂含浸ガラスクロス（ガラスクロス+熱硬化樹脂）」+「ポリカーボネート発泡体」から成るFRPパネルを基に、鉄道駅舎の改修工事に特化した覆工板（以下「軽量覆工板」）を開発した。「軽量覆工板」の力学的性能を、既報³⁾で報告している。

本報では、軽量覆工板による従来工法に対する鉄道駅舎の改修工事における開口部覆工の作業時間短縮効果の定量化を目的とした実験結果について報告する。

2. 軽量覆工板の概要

軽量覆工板は、ポリカーボネート発泡体両面に樹脂含浸ガラスクロス（5層構造）を接着した複合パネルに、図3に示す通りパネル両側面に、剛性・耐力の向上を目的とした軽量形鋼（溶融亜鉛メッキ鋼板・SGCG材、 $t=0.8\text{mm}$ ）を曲げ加工（ $2.0\text{m}\times 2.0\text{m}$ ）を接着した構造で、剛性・耐力の確保と軽量化（ 1m 長さ当たりの質量 7.7kg/m ）を両立させている。また、上下面（歩行面）には、塩化ビニール製の保護・滑り止めシートを接着している。両端小口部分は発泡体保護のため溶融亜鉛メッキ鋼板（ $t=0.8\text{mm}$ ）を接着している。

更に、写真3に示す通り、接着した軽量形鋼も含めて木工工具（本例では電動丸鋸）で加工（切断）可能なため、仮設構造物で生じがちな現場での寸法調整も容易に出来る構造となっている。

なお、掘削箇所の覆工撤去工時に軽量覆工板の点検を行い、破損・変形が生じた軽量覆工板は交換することになっている。

3. 実験計画

実験は、図4に示す駅舎プラットホーム上の掘削箇所を模した開口（ $2.3\text{m}\times 2.0\text{m}$ ・内法開口寸法 $2.0\text{m}\times 2.0\text{m}$ ）を、「従来の施工方法」と「軽量覆工板」とで覆工・撤去を行い、覆工に要する作業時間の比較を行った。更に、覆工資材を構内で運搬に要する時間についても比較を行った。なお、軽量覆工板の適用対象である屋根基礎構造の増築のような比較的小規模の工事では、プラットホーム上の開口寸法が $2.0\text{m}\times 2.0\text{m}$ 以内のケースが大多数を占めており、その点を考慮して本実験では内法開口寸法 $2.0\text{m}\times 2.0\text{m}$ とした。また、スパン 2.0m 以内の場合、覆工作業時間短縮のためスパン中間に支点を設けずに、1方向床板1スパンで覆工する方法が、作業効率が高く一般的であり、本実験でも1スパンでの覆工を行った。

「従来の施工方法」は、①根太+合板から成る木床（以下「木床」）、②角形鋼管（以下「鋼管床」）の2タイプである。木床は、根太材（杉・ $90\text{mm}\times 90\text{mm}$ ピッチ 376mm で6本、1本当たりの平均質量 11.0kg ）に合板（ $t=12\text{mm}$ 、1枚当たりの平均質量 11.6kg （ $1800\text{mm}\times 900\text{mm}$ 換算））をビス留めした。床全体として、合板約2.5枚を使用し、床板全体の質量は 112.7kg であった。なお、根太・合板とも



写真3. 木工工具（電動丸鋸）での切断

開口寸法に合わせて切断加工済みのものを用いた。ビスは実際の工事条件に合わせて、先穴（ビスを打ち込み先穴を設けた）にビス打ちを行った。鋼管床は角形鋼管口-100mm×100mm×2300mm（1本当たりの公称質量 10.9kg）を 20 本架設した。床板全体の公称質量は 233.0kg であった。「軽量覆工板」は開口部に図 5 に示す軽量覆工板 6 枚（1枚当たりの質量 17.7kg）を架設した。床板全体の質量は 106.2kg であった。上記 3 タイプの覆工作业に用いた資材の総質量を表 1 に示す。覆工に要する資材の質量は軽量覆工板に対して、木床は 1.06 倍、鋼管は 2.19 倍であった。

以下に、本実験における「開口覆工工事」、「覆工資材運搬」の手順を示す。

（1）開口覆工工事：上記 3 タイプの覆工工事手順を図 6 に示す。3 タイプともに同一の作業員 2 名の人力のみで開口部の覆工・撤去

を行った。また、覆工作业は写真 4 に示す通り、開口部から約 3m の位置の作業用台車（以下「台車」）上に資材を集積した状態から開始し、開口部への資材運搬→床面の構築（覆工）→床面の養生が一連の作業であった。覆工の撤去は、養生撤去→床面撤去→使用資材の台車へ運搬が一連の作業であった。なお、一連の覆工作业の手

表 1. 覆工資材寸法・質量

| 部材 | 木床 | | 角形鋼管床 | | 軽量覆工板 |
|--------------|--------------------|--|----------------------|-----------------|-------------------|
| | 根太 | 合板 | 角形鋼管 | ゴムマット | |
| | 杉・90mm×90mm L=2.3m | t=12mm | □-100mm×100mm L=2.3m | 1.2m×2.4m t=2mm | 330mm×83mm L=2.3m |
| 本数・枚数 | 6 | 1171mm×900mm×2枚 817mm×900mm×2枚 1171mm×500mm×1枚 817mm×900mm×1枚 | 2 | 20 | 2 |
| 総質量(kg) | 65.7 | 32.0 | 15.0 | 218.0 | 15.0 |
| 軽量覆工板に対する質量比 | 1.06 | | 2.19 | | 1.00 |

※木床・軽量覆工板質量は実測値。鋼管は公称質量

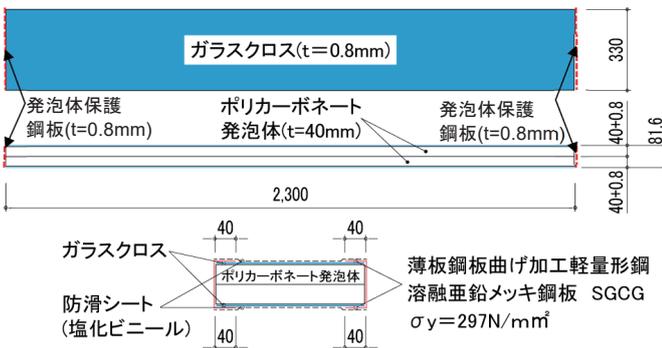


図 5. 軽量覆工板形及び寸法



写真 4. 実験状況

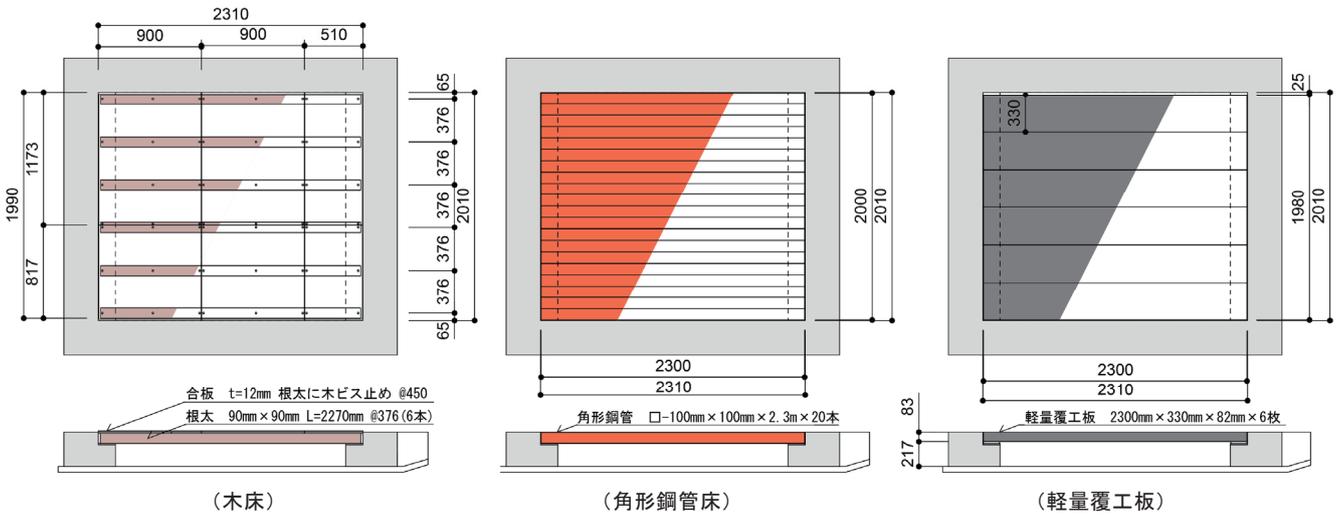


図 4. 試験体形状・寸法



写真 5. 木床による開口部覆工

順は、本実験開始前に複数回の試行を行い、安全かつ効率が良くなる手順を選定した。更に、実験開始前に作業員は一連の作業の練習を行い、作業を習熟した状態で実験を行った。

木床による覆工は、写真5に示す通り根太材を開口部に架設後、合板を敷き込み合板を根太材にビス留めした。その後、床表面養生用ゴムマット2枚を敷き込み開口四辺に粘着テープ貼りをを行った。

鋼管床による覆工は、写真6に示す通り2本1組で角形鋼管を運搬・架設した。最後の鋼管架設には、写真6中に示す通りリフティングマグネットを使用した。鋼管架設後に木床と同様にゴムマット敷き込みと粘着テープ貼りをを行った。

軽量覆工板では写真7に示す通り、3枚1組で運搬・架設した。なお、軽量覆工板は図3に示す通り滑り止めシートが接着されているので、ゴムマット敷き込み作業は不要である。但し、開口四辺テープの作業は行った。また、開口部を最後に覆工する覆工板には写真8に示す通り、両小口にナイロン帯を両面テープ・粘着テープで接着して「持ち手」を設け、作業の安全性確保と効率化を図った。

実験は、上記3タイプごとの開口部の覆工作业、覆工撤去に要する時間をストップウォッチにより計測した。覆工作业は部材の運搬・架設、養生に要する時間をそれぞれ測定した。なお、同一作業を3回ずつ行い、その平均時間を「作業時間」とした。

(2) 覆工資材運搬：覆工資材運搬は、図7に示す通り①平坦部直線運搬（距離20m）、②スロープ+左折経路運搬（距離20m）を組み合わせた経路での運搬時間を計測した。①平坦部直線運搬と②スロープ+左折運搬は別々に実験を行い、両者を合算して「運搬時間」とした。



写真6. 鋼管による開口部覆工



写真7. 軽量覆工板による開口部覆工

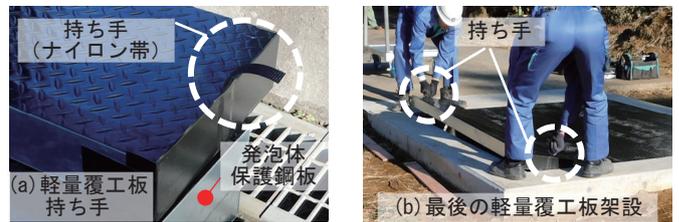


写真8. 軽量覆工板の持ち手

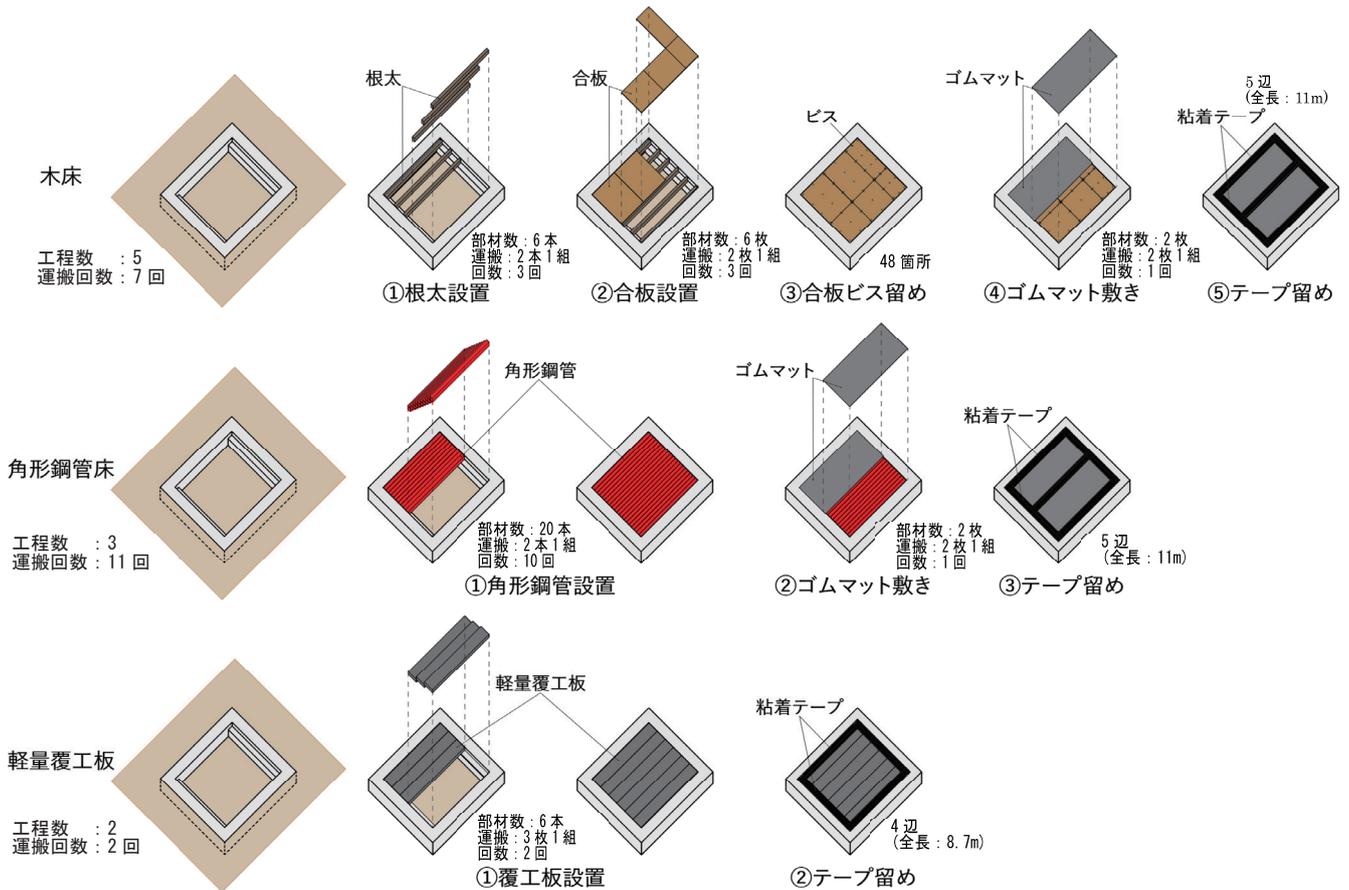


図6. 開口部覆工手順

覆工資材運搬は、写真9に示す通り台車上に資材を積載した状態で作業員2名の人力により運搬した。なお、開口部覆工に用いる鋼管20本の質量は、台車で安全に運搬できる質量を超えるため2回に分けて運搬する必要がある。その為、鋼管10本を台車上に積載した状態で運搬計測し、その計測値の2倍を鋼管の運搬時間とした。

また、平坦部直線運搬の路面はアスファルト舗装、スロープ+左折経路運搬の路面はRC土間スラブであった。スロープは図7中に示す通り1.05/10の勾配であった。

運搬時間の計測は開口覆工工事と同様に、同一実験を3回行いその計測値の平均を運搬時間とした。また、作業時間計測はストップウォッチを用いた。

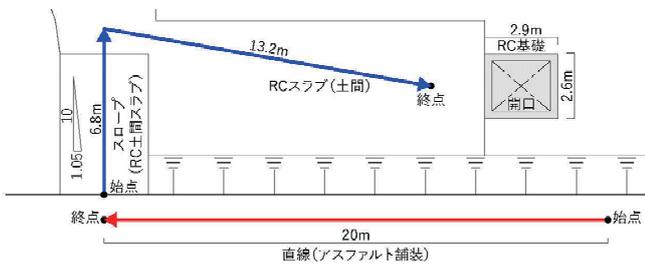


図7. 覆工資材運搬経路



写真9. 覆工資材運搬状況

なお実際の工事では、当日の作業開始時に覆工部分の資材を撤去し、覆工資材を台車に載せた状態で作業の支障にならない位置まで台車を移動、掘削部分の作業終了後に台車を開口部まで移動させ、開口部を覆工して当日の工事を終了するケースが多い。このことから、本実験で行った「開口部の覆工+撤去」と「覆工資材運搬」の時間を合算した作業時間を、本報告の代表作業時間とする。

4. 実験結果

(1) 開口覆工工事の所要時間：「開口部の覆工+撤去」作業時間の測定結果を、表2及び図8に示す。作業時間は木床(10分32秒)、鋼管床(8分57秒)、軽量覆工板(2分53秒)の順番である。軽量覆工板による作業時間短縮効果は、木床に対しては7分39秒(作業時間短縮率72.6%)、鋼管床に対して6分4秒(同67.8%)であった。

図6で示した通り、木床は「根太架設」→「合板敷設」→「合板ビス留め」→「養生マット敷設」→「マットテープ留め」の5工程で台車・開口部間の部材運搬回数が7回、鋼管床は「鋼管架設」→「養生マット敷設」→「マットテープ留め」の3工程で部材運搬回数が11回に対して、軽量覆工板では「軽量覆工板架設」→「外周テープ留め」の2工程で部材運搬回数が2回であった。軽量覆工板の作業時間短縮は、覆工に必要な部材数、運搬回数、作業数の縮減の効果と考えられる。

鋼管床と軽量覆工板を比較すると、開口部への運搬・架設は1回当たり、鋼管床では鋼管2本で覆工幅が200mmで質量21.8kg、軽量覆工板では3枚で覆工幅が990mmで質量53.1kgであった。1回の当たりの運搬・架設は、軽量覆工板では鋼管床に対して、質量で約2.4倍、覆工幅で約5.0倍であった。これは、軽量覆工板は幅330mmの平板形状で、人力で持ち運びやすい形状であり、3枚重ねで台車から開口部へ運搬可能なためである。この結果、台車と開口部

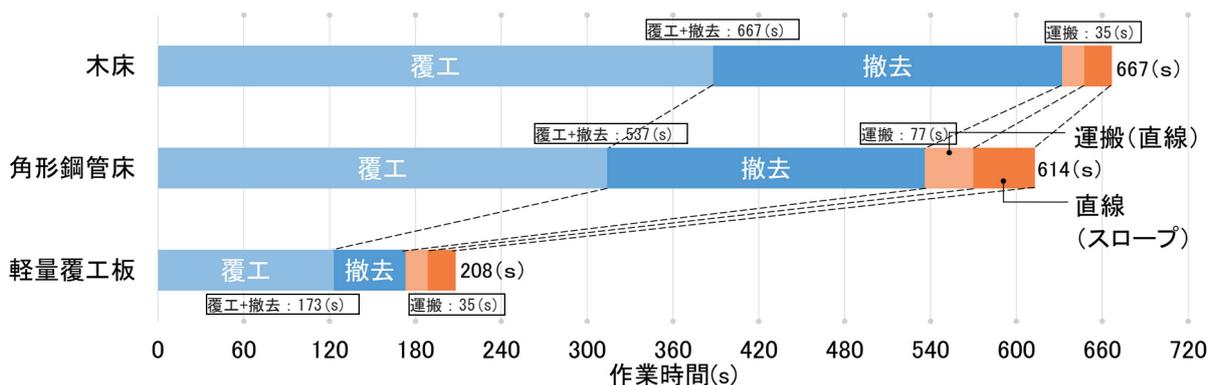


図8. 開口部覆工作业+覆工資材運搬時間

表2. 開口部覆工作业+覆工資材運搬時間

| 試験体 | 作業時間(s) | | | 全作業時間に占める比率(%) | | 軽量覆工板に対する短縮時間(s) | | | 軽量覆工板に対する短縮比率(%) | | |
|-------|----------|----|-----|----------------|------|------------------|----|-----|------------------|------|------|
| | 開口部覆工+撤去 | 運搬 | 全作業 | 開口部覆工+撤去 | 運搬 | 開口部覆工+撤去 | 運搬 | 全作業 | 開口部覆工+撤去 | 運搬 | 全作業 |
| 木床 | 632 | 35 | 667 | 94.8 | 5.2 | 459 | -1 | 458 | 72.6 | -1.5 | 68.8 |
| 角形鋼管床 | 537 | 77 | 614 | 87.5 | 12.5 | 364 | 42 | 406 | 67.8 | 54.3 | 66.1 |
| 軽量覆工板 | 173 | 35 | 208 | 83.1 | 16.9 | - | - | - | - | - | - |

の運搬回数が鋼管床では10回に対し軽量覆工板では2回で済み、軽量覆工板の作業時間短縮に寄与した。

表3に開口覆工工事の所要時間に占める「台車と開口部間の運搬・架設」、「架設後の養生」、「覆工部分の撤去」の各作業時間が占める割合を示す。軽量覆工板では「開口部の運搬・架設」「覆工部分の撤去」時間が木床・鋼管床に対して1/5~1/3に短縮され、養生作業時間は約半分に短縮された。また、軽量覆工板では「開口部の運搬・架設」「覆工部分の撤去」時間が短いため、相対的に養生作業時間に占める割合が多くなった。

(2) 覆工資材運搬の所要時間：「覆工資材運搬」作業時間は、表2及び図8の通り、鋼管床(77秒)、軽量覆工板(35秒)、木床(35秒)の順番である。鋼管床を用いた場合、覆工に必要な資材を2回に分けて運搬する必要があるため、軽量覆工板・木床に対して運搬時間が2倍強に増えた。従って、各工法で台車による運搬作業の1パスの所要時間に差はないといえる。

(3) 開口覆工工事+覆工資材運搬の所要時間：「覆工+撤去+運搬」作業時間は表2及び図8の通り、木床(11分7秒)、鋼管床(10分14秒)、軽量覆工板(3分28秒)の順番である。軽量覆工板による作業時間短縮効果は、木床に対して7分39秒(作業時間短縮率68.8%)、鋼管床に対して6分46秒(同66.1%)であった。

表4に同一作業3回の各作業時間と平均値・標準偏差を示す。覆工資材の運搬作業については、工法に関わらず標準偏差が0.4~2.0秒と小さかった。一方、開口部の覆工・撤去作業では標準偏差が木床が23.0秒、鋼管床が13.5秒、軽量覆工板が8.3秒であった。木床は表1、図6に示す通り資材・工程の種類が多い(根太と寸法異

なる合板使用、根太・合板敷、ビス留めの工程)ため、作業時間が変動しやすいことが推定される。作業員の技量・習熟度により作業時間のばらつきが更に増大すると考えられる。一方、軽量覆工板では作業時間変動が小さかった。これは部材の種類・寸法が一種類で工程数が少ないためと考えられ、軽量覆工板では作業時間に対する作業員の技量・習熟度によらず一定時間で作業が期待できる。

5. まとめ

本実験から、軽量覆工板による鉄道駅舎の改修工事における開口部の覆工作業時間の短縮効果について、以下の点が明らかとなった。

- 1) 軽量覆工板では、資材の運搬も含めた開口部覆工の作業時間が、従来の工法(木造床及び鋼管敷設床)に対して約6.8~7.7分の短縮(短縮率66~69%)する効果が確認された。
- 2) 開口部の「覆工・撤去」だけの作業時間では、軽量覆工板は、従来の工法に対して68~73%の作業時間短縮効果が確認された。これらの作業時間短縮は、覆工・撤去に要する部材数と運搬回数、作業工程と作業数が少ないことによるものである。
- 3) 終電・始発間の時間の短い路線では、実質作業時間は3時間弱なので、軽量覆工板による覆工作業時間低減は、1日の工事時間に対して約4%の作業性向上に相当する。
- 4) 軽量覆工板は、覆工部材の種類・寸法が一種類で、作業員の技量・習熟による作業時間のばらつきを減らす効果が期待できる。
- 5) 軽量覆工板は、部材の質量が軽いだけでなく、「持ち易い」、「運び易い」形状のため、一回で運べる枚数が多く、作業時間短縮を図る効果が期待できる。

6. 今後の課題

本実験では、鉄道駅舎でのエレベーター・エスカレーター、屋根等の増設等プラットホーム上の掘削を伴う改修工事における掘削開口部覆工工程を実際の工事に即して実施したが、「開口の形状・寸法」、「作業員の技量・習熟度の評価とその影響」、「鋼管の運搬方法の改良(バンド等で結束して運搬)」、軽量覆工板の耐衝撃性、耐久性等の未検討事項が残っている。また、本設の柱材等を通すために、軽量覆工板の一部に開口を設ける、あるいは補強用軽量形鋼も含めて長手方向に部分的に切断した場合の、軽量覆工板の剛性・耐力に関しても未検討である。

これらの課題に加え、実際の現場での試験施工を通して転用回数・コストについても検討を行い、本工法の実用化を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 国土交通省、国土交通白書2020令和2年版、全国官報販売協同組合、2020年8月
- 2) 大熊佳雄・根本晴透・笹川透、JR在来線の可動式ホーム柵設置に伴う仮覆工について、土木学会第65回年次学術講演会、2020年9月
- 3) 小嶋裕記・貴志浩年・水野潔・林英史・小暮直親・友利格・守田洋一・深澤協三・笹谷真通・平田夢菜：発泡体と樹脂含浸ガラスクロス複合パネルを用いた軽量覆工板の開発(その1・その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集・材料施工、2020年9月

[2021年3月30日原稿受理 2021年7月20日採用決定]

表3. 作業時間の内訳

| 試験体 | 作業時間(s) | | |
|-------|-------------|-------------|-------------|
| | 部材運搬・架設 | 養生 | 撤去 |
| 木床 | 239 (38) | 149 (24) | 244 (39) |
| 角形鋼管床 | 161 (30) | 154 (29) | 222 (41) |
| 軽量覆工板 | 47 (27) | 76 (44) | 50 (29) |

()内は「開口部覆工工事作業時間」に対する各工程作業時間の比率%

表4. 作業時間の平均・標準偏差

| 試験体 | | 作業時間(s) | | |
|-------|------|----------|-----|------|
| | | 開口部覆工・撤去 | 運搬 | 全作業 |
| 木床 | 1回目 | 662 | 35 | 697 |
| | 2回目 | 628 | 34 | 662 |
| | 3回目 | 606 | 35 | 641 |
| | 平均 | 632 | 35 | 667 |
| | 標準偏差 | 23.0 | 0.4 | 23.3 |
| 角形鋼管床 | 1回目 | 553 | 80 | 633 |
| | 2回目 | 537 | 75 | 612 |
| | 3回目 | 520 | 76 | 596 |
| | 平均 | 537 | 77 | 614 |
| | 標準偏差 | 13.5 | 2.0 | 15.1 |
| 軽量覆工板 | 1回目 | 184 | 37 | 221 |
| | 2回目 | 171 | 35 | 206 |
| | 3回目 | 164 | 34 | 198 |
| | 平均 | 173 | 35 | 208 |
| | 標準偏差 | 8.3 | 1.1 | 9.3 |