

魅せる素屋根の技術と見せる保存修理

近代ニッポンを支えた世界遺産 旧富岡製糸場

嘉本敬樹・田中愛・山中実喜夫

日本の近代化産業遺産で初めて世界遺産登録された旧富岡製糸場では、平成 27 (2015) 年より 5 年計画で国宝「西置繭所(にしおきまゆじょ)」の保存修理工事を行っている。本報では、保存修理工事に先立って行った建物を覆う素屋根工事および素屋根に付随する見学施設について紹介する。素屋根工事は、史跡、国宝建物の損傷リスクを低減するため軽量システムトラスを用い、3 工区に分けたトラベリング工法を採用した。工事エリアは見学エリアから見え、多くの方に建築の技を PR できた反面、絶対に失敗は許されないという難しさもあった。また素屋根周囲には建物外観を写した写真転写メッシュシートを張り景観に配慮した。現在は保存修理工事の様子を附随する見学施設から間近に見ることができ、現場の空気を実感することができる。

キーワード：トラベリング、近代化産業遺産、素屋根、写真転写メッシュシート、見学施設

1. はじめに

官営模範製糸工場として明治 5 (1872) 年に設立された旧富岡製糸場(写真—1)は、日本初の本格的な器械製糸工場であり、昭和 62 (1987) 年に片倉工業富岡工場として操業を停止するまで、一貫して製糸工場として稼働し続けた大規模な産業遺産である。日本の近代化だけでなく、製糸業の技術革新にも大きく貢献した工場であり、敷地全体が国の史跡に、設立当初期の建造物のうち 7 棟 1 基 1 所が国宝・重要文化財に指定されている。また、「富岡製糸場と絹産業遺産群」の中心的構成資産として、平成 26 (2014) 年に「世界遺産一覧表」に記載された(写真—2)。

富岡市は、約 30 年をかけて旧富岡製糸場の整備活用計画を策定しており、本格的なものとして初めの事業

がこの国宝西置繭所保存修理である。現在は、素屋根架設をはじめとする仮設工事と屋根瓦及び建具等の解体工事が完了し、竣工後の公開活用に向けた耐震補強や保存修理・整備工事の準備を進めている(写真—3)。

2. 工事概要

(1) 工事概要

工 事 名：国宝 旧富岡製糸場西置繭所保存修理
(仮設・解体) 工事

発 注 者：富岡市長 岩井賢太郎

設計監理：公益財団法人 文化財建造物保存技術協会

施 工：(株)竹中工務店 タルヤ建設(株)JV

工 期：21 か月 平成 27 (2015) 年 1 月 21 日
～平成 28 (2016) 年 9 月 30 日



写真—1 明治 41 (1908) 年頃の富岡製糸場
画像提供：富岡市・富岡製糸場



写真—2 工事前の「西置繭所」



写真—3 現在の「西置繭所」

(2) 西置繭所建物概要

構造形式：木骨煉瓦造，2階建，東面南面ベランダ付， 棧瓦葺
 建築面積：1,486.60 m²
 規 模：全長 104.4 m， 巾 12.3 m， 高さ 14.8 m
 竣工年月：明治 5（1872）年…築 145 年

床面積：1,500 m²

工事数量：システムトラス部材：300 t
 折板屋根：3,500 m²
 樋（軒樋+縦樋）：400 m
 外周枠組足場：3,600 m²
 ホイストクレーン（1.0 t）：4 基

3. 素屋根工事計画

(1) 素屋根概要

西置繭所保存修理工事において，屋根瓦や建具を取り外す作業が発生するが，その際，雨や風で建物が傷まないよう，素屋根と呼ばれる仮設の覆いを架ける工事を先行して実施する必要がある。保存修理工事の作業性向上のため，折板屋根には樹脂製の明り取りを，軒先・2階及び1階床レベルには合板製の作業床を設けた。また，素屋根外周は，西置繭所の外観写真を転写したメッシュシートで覆い，工事中も歴史的な景観を保持した。また天井面には解体材・資機材揚重用設備（ホイストクレーン）を設けている（図-1）。

構 造：軽量システムトラス造
 規 模：全長 118.8 m， 巾 21.5 m， 高さ 18.6 m
 建築面積：2,800 m²

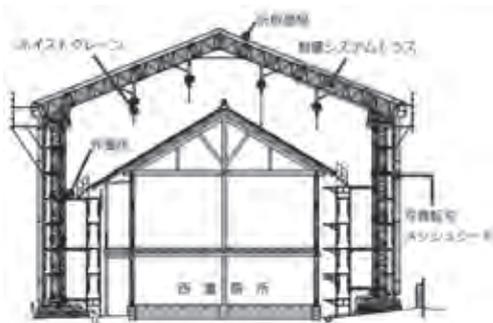


図-1 素屋根断面図

(2) 素屋根工事の施工条件

敷地全体は国の史跡に指定されており，地下遺構保護のため掘削の禁止及び地表面への上載（接地圧）に制限がある。また敷地西面，南面は重機の寄り付きができなく，東面は見学エリアと隣接しているという施工条件であった（図-2）。

今回の工事の入札にあたり，素屋根に軽量システムトラスを採用することで重量を軽くし，地盤に対する接地圧を 10 パーセント低減する提案，トラベリング工法を採用し，建物損傷リスクの低減，工事エリアを限定，重機サイズを小さくする提案を行い，高評価を得て当JVが受注するに至った。

(3) 軽量システムトラス

軽量システムトラス（写真-4）とは，転用可能なトラス部材であり，外形は 1,000 mm × 1,000 mm である。部材長は 1.5 m から 5.0 m まで 0.5 m きざみで用意されており，これらの部材を組合せて使用することができる。

今回の工事では，軽量システムトラス部材を組合せ，1構面当り，柱部材ユニット2セットと合掌梁ユニット1セット（写真-5）を予め地上レベルで地組し，60tクレーンを用いて建方した。建方精度を管理するため，ユニット材の全長を地組段階で実測し，必要に応じてライナープレートをジョイント部に差し込むことで調整した。

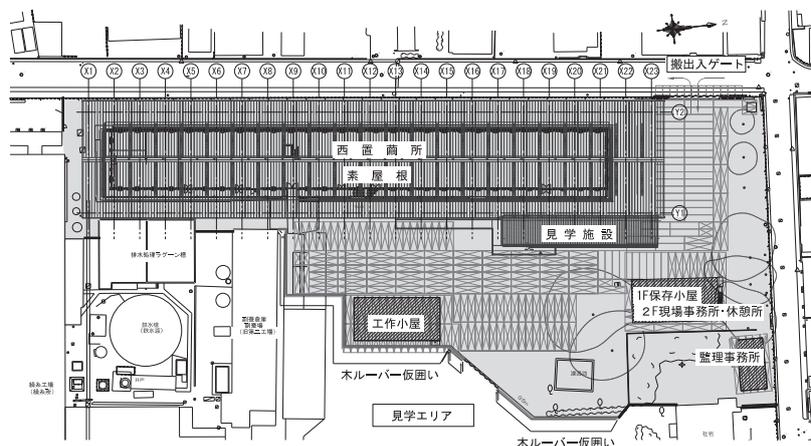


図-2 建物配置図



写真一4 軽量システムトラス



写真一5 合掌梁ユニット

(4) 写真転写メッシュシート

工事期間中、西置繭所が約1.4倍の大きさの素屋根で覆われると、景観が損なわれるだけでなく、仮設材による圧迫感を見学者や周辺地域住民に与えることが懸念された。そこで少しでも圧迫感を和らげ、世界遺産にふさわしい景観を工事中も「魅せる」ことができるよう素屋根外周面に西置繭所の外観写真を転写したメッシュシートを張ることとした。

シート面積：3,600 m²

シート枚数：481枚

材 質：ポリエステル製（防災1類）

写真転写メッシュシートの製作から取付までの手順を以下に示す。

- ①望遠・広角レンズ等を使用して建物各面を撮影
- ②障害物がある部分や入隅コーナー部は個別に歩道から近接撮影
- ③写真合成（繋ぎ合わせ）→外観展開写真，詳細図作成
- ④メッシュシート割付図作成，納まり検討
- ⑤試作品製作（コントラスト・色合い調整）
- ⑥メッシュシート製作，取付け

メッシュシート割付図の作成にあたっては、実際の建物に見えるよう、以下を工夫した。

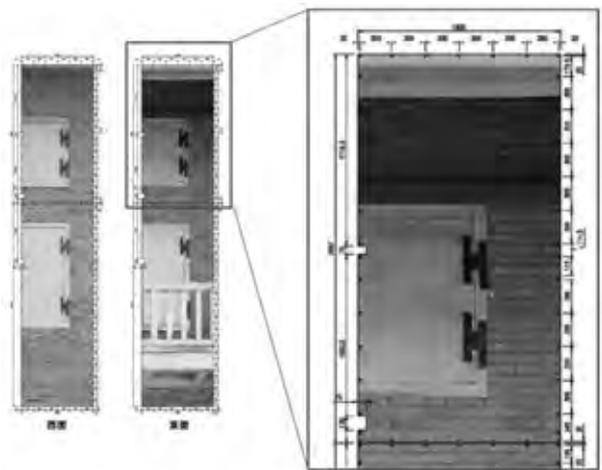
- i) 転写する範囲は外壁面全周（東西南北面）とする

- ii) 外観展開写真は、メッシュシートの幅に合わせて拡張。ただし、高さ方向は角部の違和感が生じないように各面同じ倍率に調整
- iii) 模型を製作し、角部の見え方を確認（写真一6）



写真一6 模型による転写メッシュシートの見え方確認

今回使用するメッシュシートは、設置後、約5年間使用することから、強度上弱点となるような現地での切断加工は最小限とする必要があった。また質量470 g/m²（充実率0.9）のごわつく素材であり、シートの端部に余りが生じたり、足場材等の突出物との干渉があると見栄えを低下させる恐れがあった。そこで実際に施工する鳶工の意見も取り入れながら、納まり、加工形状、寸法、ハトメ位置を検討し、詳細図（図一3）を作成した。



図一3 詳細図

また、本製作に先立ち、コントラストを3段階に調整した試作品を現地で確認（写真一7）し、最もコントラストの強いものを採用したことで、実物により近い見栄えを実現した（写真一8）。

(5) 木ルーバー仮囲い

敷地内の一般公開エリアと工事エリアを区画する仮



写真一七 試作品確認状況



写真一八 実施状況



写真一九 実施状況

囲いは、木ルーバーの仮囲いを考案・採用（写真一九）した。その理由を以下に示す。

- i) 木材を使用することで、公開エリアの見学者に対し、工事中の圧迫感を低減する。
- ii) ルーバー形状にすることで、工事エリアとの区画を形成しながらも旧富岡製糸場の敷地の広がりを見学者に感じていただくことができる。また工事エリアが一望でき、素屋根がダイナミックに架設される工事ならではの景観を見学者に「魅せる」ことができる。

前述の通り、敷地は地下遺構保護のため掘削等が禁止されているため、木ルーバーの設置は重量で風圧に

耐えられるH鋼置き型固定方法を採用した。

木ルーバー寸法：1ユニット1.8m×3.5m

木ルーバー使用：蝦夷松、防腐剤塗布

総設置長さ：53.7m

4. トラベリング工事

(1) トラベリング工事概要

鉄骨建方および屋根折板の施工は、国宝建物の損傷リスクを最小限にするため、建物上空での作業を極力減らすことのできるトラベリング工法を採用した。トラベリング工法は、横引き工法、スライド工法とも呼称され、架構をいくつかのブロックに分割して組立て、順次横移動させながら構築する工法である。

本プロジェクトでは、まず敷地北側に建方用のステージ足場を設置し、トラス鉄骨2架構と小梁、つなぎ、ブレース、ホイストレールの建方を行う。次に牽引装置を用いて、南側へ1スパン分移動（5.4m）させる。翌日、移動し終わったスパンでは折板屋根、照明器具を取付けし、同時に手前のスパンではトラス鉄骨1架構他を組立てる。後は、この手順を繰り返して、全体の1/3（1工区：6スパン）の素屋根建方が完了した後、この架構を最終定着位置まで移動（82.3m）させる。その後、妻面の耐風梁の建方、周囲に外部足場の架設を行う。以降は、前述の手順を繰り返し2工区、3工区の建方、トラベリング、足場架設、写真転写メッシュシートを貼り、素屋根を構築する計画とした（図一四）。

3工区に分けたトラベリング計画とした理由は、トラベリング重量を軽くして牽引装置を軽微なものにするためと、外部足場の架設を素屋根建方と並行して行うことで、全体工期の短縮、作業員の平準化を図るためである。

トラベリング回数：19回

総トラベリング距離：213.3m

$$5.4\text{ m} \times 6 + 82.3\text{ m} + 5.4\text{ m} \times 6 + 39.2\text{ m} + 5.4\text{ m} \times 5 = 213.3\text{ m}$$

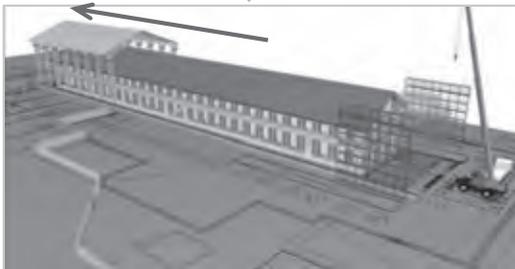
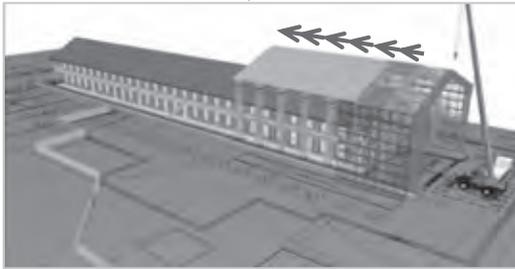
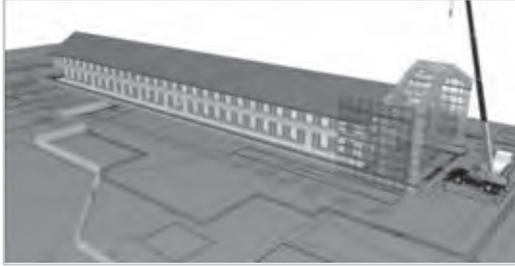
最大トラベリング重量：105.4t（積算値）

(2) トラベリング装置

(a) 転がり支承

施工時解析の結果、屋根荷重によるスラスト力により柱が外側に傾くことが判ったため（図一五）、柱足元の転がり支承は、1柱に対して外側2か所のみに取り付ける計画とした。トラベリング作業中に、0.1Gの地震力が作用した場合でも素屋根が倒壊しないよう

1 工区建て方



2 工区建て方



3 工区建て方



図-4 素屋根施工ステップ

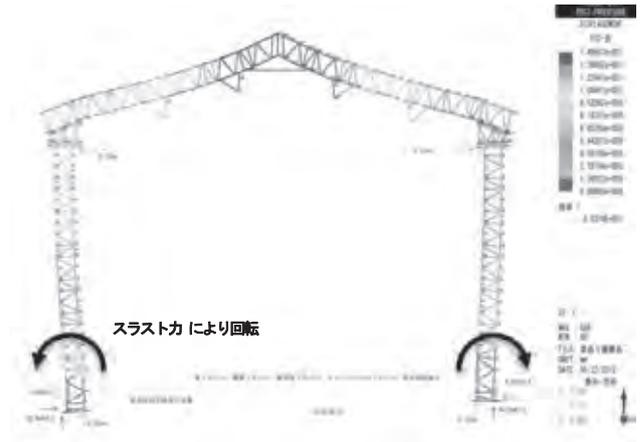


図-5 素屋根架構 施工時解析結果 (長期荷重)

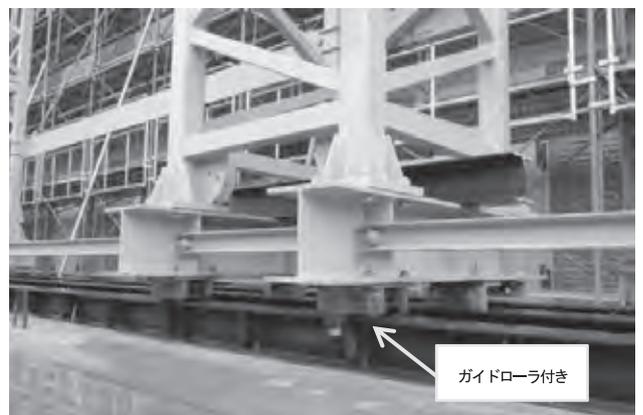


写真-10 チルトンク

十分な安全率を見込んだうえで、12t用のチルトンク (写真-10) を選定した。施工時に作用する柱足元のスラスト力の負担と、脱輪防止のため、2台の内1台は両ガイドローラ付きとした。

(b) 牽引設備

5.4mの距離を2時間、82.3mの距離を2日間で移動させ、柱の定着までを行うためには、牽引速度が速く、装置の盛り替え回数が少ないものを選定する必要があった。素屋根は門型の架構であるため、左右の柱に対し1台ずつ、計2台の牽引装置を設ける計画とした。また最大トラベリング重量約100tに対して、チルトンクの摩擦抵抗を10パーセント見込み、3.2t用チルホール (写真-11) と滑車 (写真-12) を用いる計画とした。

(c) 軌条レール

軌条レールは、布基礎上に配置したH型鋼 (H-150×150×7×10) とした。チルトンクの走行により、レール材に局所的な変形が発生することを防止するため、補強リブプレート を450m間隔で設けた。外側の軌条レールの他、中央、内側にもH型鋼を設けており、これらは本設部材として最終定着時に柱とボル



写真-11 油圧チルホール

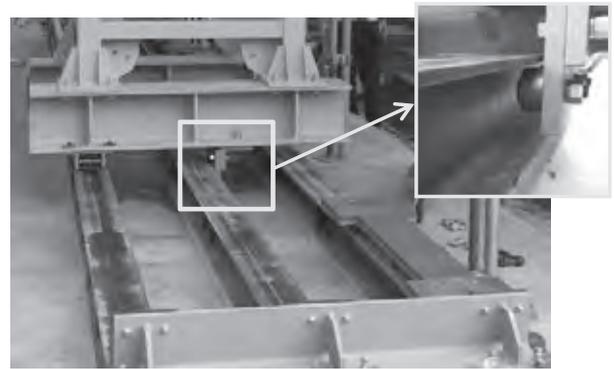


写真-13 浮上り防止ガイドローラ



写真-12 滑車および軌条レール

素屋根架構の安全性を確保できるよう納まりを工夫した。一例として、中央のレール材には浮上り防止用のガイドローラを設け、想定以上の地震力への対策も考慮した(写真-13)。

なお基準風速 10 m/sec 以上の風が吹く場合は、控えワイヤで補強する計画とした。

(e) 計測管理計画

トラベリング工事中、素屋根架構に偏荷重を作用させないようにするため、移動量、牽引荷重を計測し、指令室で一元管理した(写真-14)。牽引装置は1台の電動油圧ポンプで同調動作させる計画とし、トラベリング距離 1 m 毎に一旦停止させ、マニュアル操作で左右の移動量を調整した。

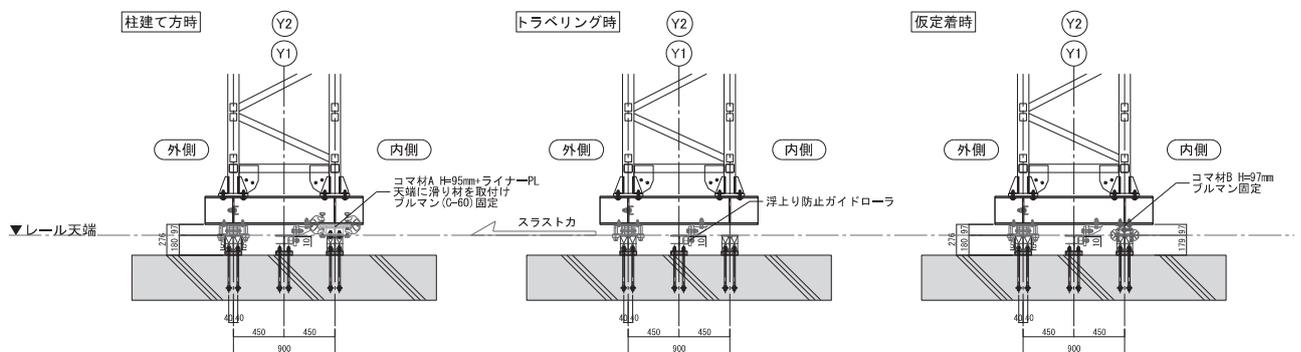
ト固定する納まりとした。軌条レールは保存修理工事が完了した後、素屋根を解体する際にも利用できるようにしている。

(d) 転倒防止対策

システムトラス建方時、トラベリング時、仮定着時における素屋根足元の転倒防止策を図-6に示す。施工時に想定した外力は、地震荷重 0.1 G および基準風速 10 m/sec の風荷重とし、全ての状態において、

(3) トラベリング工事 実施状況

平成 27 年 8 月 2 日より 1 工区の建方を開始し、夏季休暇を挟んで、9 月 15 日(実働 40 日)に最終トラベリング工事を完了した。途中台風の接近もあって工事を中断した期間もあったが、無災害で予定通りに工事を完了させることができた(写真-15~17)。当



	柱建方時	トラベリング時	仮定着時
鉛直荷重(下向)	チルトタンク、コマ材A	チルトタンク	チルトタンク、コマ材B
鉛直荷重(上向)	ブルマン、歪みワイヤー	浮上り防止ガイドローラ	ブルマン
水平荷重	ブルマン(摩擦)	チルトタンクガイドローラ	ブルマン(摩擦)

図-6 素屋根足元転倒防止策



写真一 14 トラベリング工事 指令室



写真一 15 1 工区建方状況



写真一 16 1 工区 82.3m トラベリング状況



写真一 17 素屋根工事完了状況

初の目標であった、「1 日で 1 スパンの建方を行って、同日にトラベリングする」という工程は、計画段階では無謀との意見が多かった。しかしながら関係者のチームワークと作業手順の改善、習熟効果もあって、当初 1.5 日かかった作業を最終的に 0.75 日で完了するまでになった。

工事期間中は夏休みということもあり、旧富岡製糸場には多くの見学者が訪れた。時間と共にダイナミックに変化する素屋根、連携を取りながらテキパキと働く作業員の姿を木ルーバーを介して間近で見学していただき、建設業の技術力を広く PR できたと考えている。

最後に本工法を採用した成果を以下に示す。

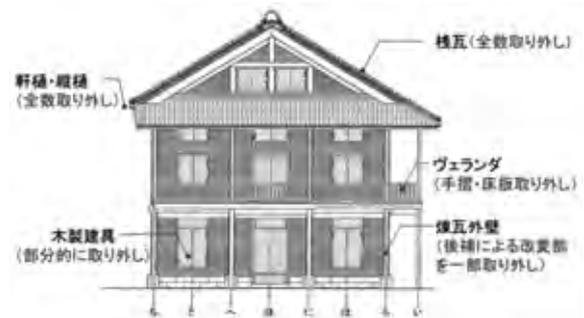
- ①作業の 9 割以上は地上と建方用ステージ足場で行ったことで、地上 20 m の高所からの墜落、落下災害を防止し、作業の安全性を高めることができた。
- ②建方ヤードを限定し、小型のラフタークレーンを使用して作業したことで、落下物等により国宝建物の損傷ゼロを実現し、また埋設史跡への影響を最小限にとどめることができた。
- ③限定したエリア（建方用ステージ足場）でトラス部材の組立、屋根仕上げを行ったことで、施工品質の向上と管理の徹底を図ることができた。
- ④工区を分離して複数の工事を同時進行したことで、全体工程の短縮と作業を平準化することができた。
- ⑤建方用に必要な足場を最小限にし、仮設材の低減を図ることができた。

5. 保存修理（解体）工事と見学施設

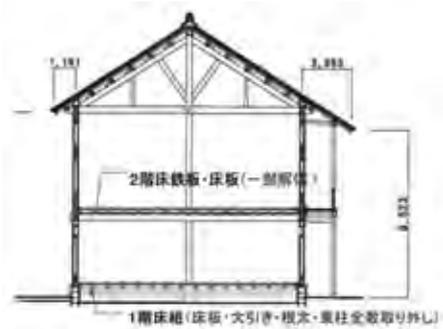
(1) 保存解体工事

素屋根工事完了後に実施した保存修理（解体）工事の概要を以下に示す（図一 7、8）。

国宝・重要文化財等、歴史的建造物の保存修理のための解体工事では、まず既存の納まりや材料、補修履歴を確認する仕様調査を行うと共に、今後の組立工事



図一 7 解体範囲立面図（外部）



図一八 解体範囲断面図 (内部)



写真一八 1階床板の番付作業

の際に同じ部材を同じ場所に復旧することができるよう、ひとつひとつの部材に番付を行い、丁寧かつ慎重な作業が要求される (写真一八)。次に、解体した部材を再利用するか、またその範囲をどうするかの損傷調査を、設計監理者と綿密に連絡確認しながら進めていく必要がある。

今回の仕様調査において、瓦の刻印 (主に製造所を示す印) (写真一九) が数種類あることや、瓦下地が東西面で異なることが確認された (写真二〇)。

また損傷調査においては、屋根瓦一枚一枚を打音調査し、状態の良い瓦は再利用することを前提に、丁寧に洗浄し敷地内に保管している。

なお、詳細な調査結果については、工事完了後に富岡市から発行される修理工事報告書を参考にさせていただきたい。

(2) 見学施設

今回の工事では、近代化産業遺産の保存修理工事において初めての試みとなる見学施設を設置する提案が採用された。見学施設は素屋根の東北面に附設して配置し (写真二一)、見学者が素屋根内部で実際に行われている保存修理工事の状況を、木の匂いや音といった現場の空気を感じながら間近で見ることができるだけでなく、室内の様々な展示解説コンテンツ (写真一



写真一九 瓦の刻印



写真二〇 瓦下地の仕様調査 (西面)



写真二一 見学施設外観



写真二二 見学施設内観



写真一23 展望窓からの眺望

22), さらには3階に設けた展望窓から東側に広がる旧富岡製糸場の敷地全体の眺望(写真一23)を楽しむことができるような計画とした。

展示コンテンツの一部を以下に紹介する。

- i) 保存修理工事前の西置繭所3Dバーチャルツアー
- ii) 解体した瓦の実物展示と刻印分布図
- iii) 素屋根トラベリング工事の記録映像
- iv) 素屋根内に設置したWebカメラによる現在の作業状況
- v) 空から見た旧富岡製糸場(ドローンによる空撮映像)

6. おわりに

富岡市は、約30年をかけて旧富岡製糸場を整備活用する計画を策定しており、その本格的なスタート事業がこの国宝西置繭所保存修理となる。今回トラベリング工法の採用により、国宝建物および史跡へ損傷を与えることなく、安全に素屋根を架けることができた。また、この工事を見学者に「魅せる」ことで、建

設業の技術力をPRできたと考える。現在、素屋根内部では今後の活用に向けた耐震補強や保存修理工事の準備を進めており、平成31(2019)年12月末を目標に全ての保存整備工事が完了する予定である。新しい国宝西置繭所がお目見えするまでの期間、旧富岡製糸場へ来場される見学者の皆さまには、工事中ならではの景観を楽しんでいただきたい。

今回の取り組みが、近代化産業遺産の保存修理の新しいスタイルの手本となるよう、発注者・設計監理者とともに協力して、旧富岡製糸場西置繭所の保存整備に携わる所存である。

謝辞

最後に、本工事を行うにあたりご尽力をいただいた富岡市をはじめ関係各位に感謝の意を表すと共に、本報文が今後の近代化産業遺産及び歴史的建造物の保存修理及び活用工事の参考となれば幸甚です。

JICMA

【筆者紹介】

嘉本 敬樹(かもと けいじゅ)
 ㈱竹中工務店
 大阪本店技術部 機械電気グループ
 グループ長



田中 愛(たなか あい)
 ㈱竹中工務店
 東京本店 FM部 FM技術グループ
 主任



山中 実喜夫(やまなか みきお)
 ㈱竹中工務店
 富岡製糸場西置繭所保存工事作業所
 副所長

