特集≫≫　歴史的建造物の保存・修復・復元

世界遺産，国宝姫路城を鉄骨で覆う

複雑な牙城を攻略し，大天守を素屋根で包囲した施工記録

望　月　義　延・片　山　　博

日本における世界遺産第一号の国宝姫路城。その象徴ともいえる大天守は，昭和の大修理から45年の歳月を経ている。昭和の大修理の際，当社は丸太足場の素屋根工事を施工し，平成の保存修理でも再び素屋根工事に取り組むこととなった。当時と比べ建設技術の発展は著しく，城を保存・継承していく為の法的な規制が厳しくなっている。丸太で足場を構築した当時の苦労も計り知れないが，平成の保存修理では「切った，張った」のできない条件の中で「4面角鋼管立体トラス鉄骨造」の素屋根工事を計画，実行し，既存物を損傷することなく建方を完了した。本稿ではその計画内容と施工結果について報告する。

キーワード：世界遺産，保存修理工事，素屋根，建築，アニメーション，クローラクレーン

1. はじめに

施工場所は兵庫県姫路市，JR姫路駅から南北に走る50 m巾道路の北側約1 km先に位置している。姫路市のシンボルとしてはもとより，築城時の遺構を保つ名城として，全国的に知られている。

一般的な基本断面が存在する寺社仏閣建築とは異なり，姫路城は築城当初より攻められにくい形状を呈し，その至る所にある工夫は目を見張るばかりである。この複雑な形状と連立する小天守群や渡り櫓が，姫路城大天守に素屋根を建設する上で，難題となった。

また，素屋根内の一部を開放して史跡修理の現場を公開するという全国初の試みから，素屋根は「雨風をしのぐための仮設物」だけでなく，快適さも要求される（**写真―1**）。

国宝，世界遺産，特別史跡（文化財保護法），火気厳禁地域（消防法），その上，複雑極まりない特殊な形状で，世間の注目が集まる中，無事故，無災害，無破損で素屋根を完成することが当工事の最初の使命となった。

写真―1　現場全景（素屋根解体状況）

2. 工事概要と施工条件

(1) 工事概要

工事名称：国宝姫路城大天守保存修理工事
計画地：兵庫県姫路市本町68番地
工期：2009年10月～2015年3月
敷地面積：内曲輪（うちくるわ）以内の面積は23ヘクタール（230,000 m^2）
軒の高さ：約40.82 m
最高高さ：約46.35 m
階数：大天守（木造）5層6階，地下1階
仮設：素屋根（S造）8階
修理：屋根瓦葺き替え・漆喰塗り替え・木床他改修・柱床耐震補強
設備：見学ゾーン，修理施工ゾーンに機械・昇降機・電気設置
建設用途：文化財・城郭
その他：国宝・世界遺産
事業主：姫路市
設計・監理：公益財団法人文化財建造物保存技術協会
施工：姫路城大天守保存修理JV（鹿島・神崎組・立建設共同企業体）

(2) 施工条件

1：特別史跡内(文化財保護法)により既存物を含め，現状地盤の変更（掘削，杭打ち等）の禁止
2：姫路城内の火気作業厳禁（消防法）
3：修理工事中に大天守内部へ第三者が入れるルートを確保する
4：素屋根工事中は工事エリアを最小限として見学者に極力解放する
5：複雑な建物と周囲の地形との隙間に素屋根を建てる
6：4年後の解体を見据えた施工方法とする
7：ユネスコの「ヴェニス憲章」に従い，形状，材料，工法，位置を変更できない

3. 検討事項の抽出と施工計画へ反映，そして実行

(1) 事前調査

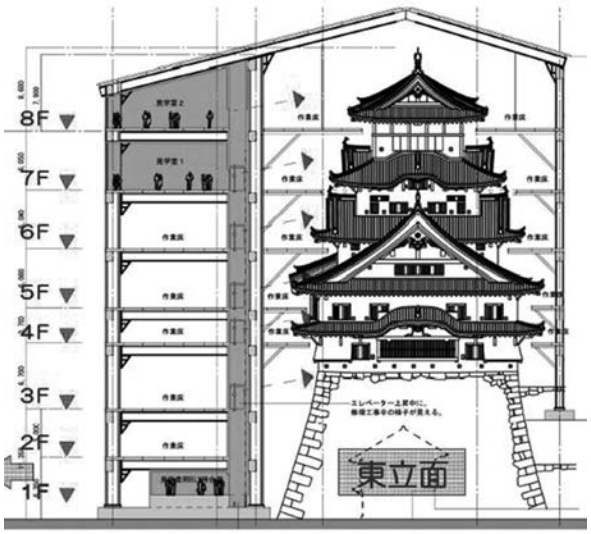
姫路城は天守閣が単独でない。大天守の周りに3つの小天守が建ち，それらを渡櫓（わたりやぐら）が連結する。屋根の形状もさまざまである。大天守にはもちろん傷ひとつつけられず，屋根や壁に鉄骨が触れることは万一にも許されない。その上で，複雑に重なる屋根の軒下すべてに工事用の足場を巡らせ，全体を鉄骨で覆わなければならない（**図―1，2**）。

そこで，素屋根の設計図をもとに『施工前に綿密な調査を行うことが何よりも大切である』という考えから，軒先の高さ，反りの曲線，隣の壁との間隔，そこを通せる部材の大きさなどの調査を行った。また，実測された結果をもとに鉄骨梁の長さ・位置，各フロアの跳出し鉄骨が大天守の瓦や漆喰壁，鯱に対してどう納まるかを詳細に検証した。

(2) 準備工事

「昭和の大修理」では，大天守の南側正面の広場から

図―1　素屋根完成パース



図―2　基本断面イメージ

写真―2　工事車両導線

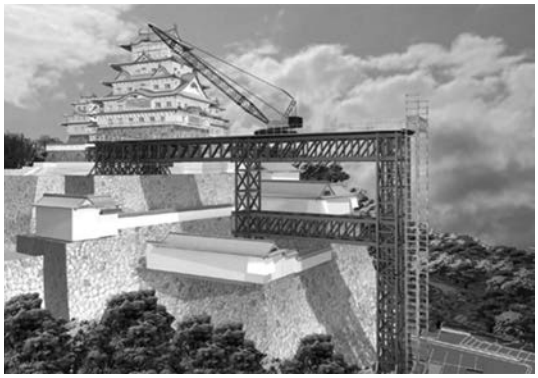
らスロープ状の桟橋を設置したが，現在はイベントが頻繁に開催され使用できない。西側は櫓が連なり北側は絶壁。そこで，東側の足元がたったひとつの“攻め口”となった。

ところが，車両導線となる東側も各所に碑や石垣などがあり，また土地の形状そのものが「特別史跡」のため，その地面も傷つけることができない。そこで，工事期間のすべての搬出入車両をリストアップし，重量や車両軌跡など綿密な導線計画を行った。特に石橋には荷重がかからないように橋の上を覆うようにアーチ型の鉄骨の橋で補強して工事を進めた（**写真―2**）。

また，基礎を安定させる杭も打てないことから，地面にシートを敷き砕石をまき，地面に荷重が集中しないように配慮した。

(3) 作業構台の構築

素屋根の工事は「作業構台」を築くことからスタートした。それは高台の大天守まで資材を運ぶ搬入路であり，大型クレーンや資材を置く施工基地である。高さ37 m，長さ66 m，幅10 mの巨大な鉄骨の桟橋を



図―3　作業構台 CG

大天守東側の足元に築いた（**図―3**）。

作業構台では2台のクローラクレーンが素屋根の設置工事にあたり，1台が37 m下の地面から資材を構台の上へ揚重し，もう1台が大天守の周囲に部材を架設する計画とした。

作業構台上は火気作業禁止という厳しい条件であったため，重機の給油など危険物の取り扱いは，市消防署と給油場所や管理方法などの協議を重ねた。危険物持込禁止の解除許可等，数々の課題を解決して作業を実施した。

また，4年後の解体を考慮し，基礎コンクリート打設前に，構造上問題のない範囲で板を挿入し，分割縁切りを行った。その他，鉄骨解体時，分解が簡単な締結方式の採用や解体用足場を先行設置する等各所に工夫を施した。

(4) 素屋根鉄骨の建方揚重計画の抜本的見直し

当工事の設計図書には「鉄骨建方に際し，素屋根中央付近にタワークレーンを設置し…」という特記仕様の項目があり，入札時にはこの条件で揚重機の選定を行った。周囲は文化財に囲まれ，基礎より自立するしかなく，かつ高さ52 mの素屋根を越えるタワークレーンを選定するには，水平ジブ形タワークレーン，通称「トンボクレーン」を採用するほかなかった。このトンボクレーンは作業半径が大きいものの，定格荷重（1.5 t ～ 2.6 t）が小さいため，重量が2 ～ 5 t/1ピースの柱材を組み立てることは難しかった。また，大天守上部に合掌梁を架設する作業では，1ユニット6.0 tに達する鉄骨合掌トラス梁を，1ピース毎，吊橋架設的な施工方法を検討せざるを得ない状況にあり，建方揚重計画を見直すこととした。

なかなかいいアイディアが見出せなかったが「タワークレーンによる施工」という特記仕様にとらわれない発想で，ラッフィングタワー仕様のクローラクレーンを選定した。指定仮設の構台を延長し，素屋根の基礎上に建方用の作業構台を作り，その構台上で建方を行う施工計画を提案し事業主の了解を得た（**図―4**）。

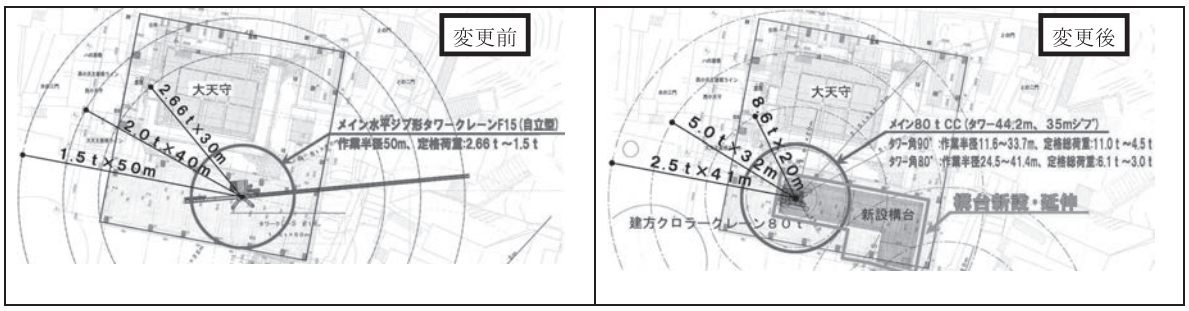
トンボクレーンからラッフィングタワー仕様のクローラクレーンに変更したことによる効果を以下に列挙する。

- 取扱い重量が大きくなり，鉄骨の分割数増加を抑えることで，製作精度が向上した
- ジョイント増加の抑制（90箇所）により鉄骨重量が減少し，敷地地盤への負担軽減と鉄骨加工費の増大を抑制した
- ジョイント数の削減は，建方揚重回数の低減にも繋がり工程遅延を防止できた
- 合掌梁は吊橋形式による単一ピース毎の建方を回避し，1ユニットでかつ吊足場を地組みした状態で揚重することが可能となり，建方精度向上，直設仮設工事費の低減，安全面のリスク回避ができた

(5) 複雑な建方順序計画を関係者へわかり易く伝達する

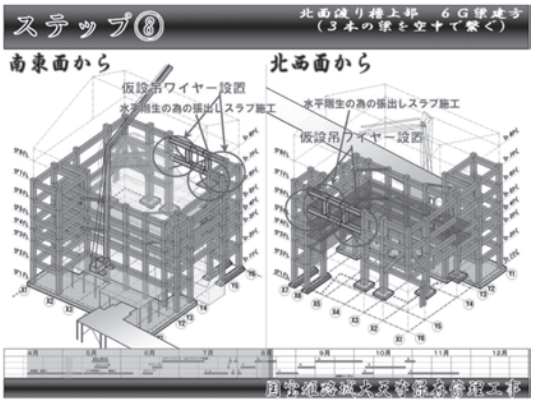
当工事の素屋根工事の鉄骨造の柱，梁部材は，城地盤の設計地耐力を考慮し，主要部材を角鋼管で構成するトラス形状に工場溶接した『4面角鋼管立体トラス』という軽量かつ高剛性の特殊な形状を採用している。また，大天守周りは3つの小天守と渡り櫓が連立する非常に複雑な形状をしており，それらを避けた構造となっている。

誰が見てもわかり易い建方計画とするために，鳥瞰

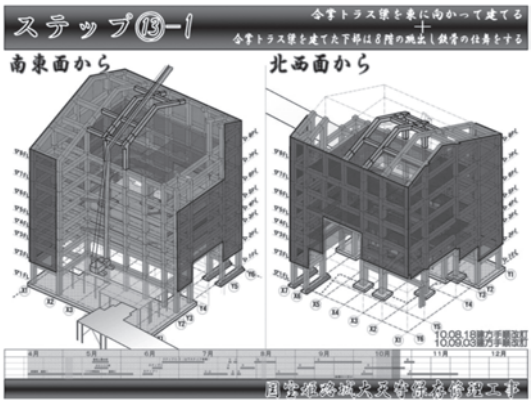


図―4　クレーン変更による揚重計画の比較

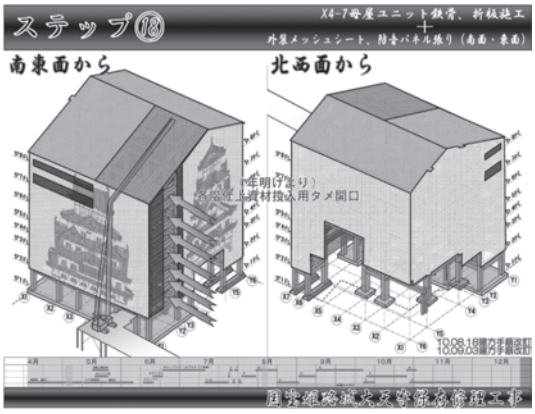
図―５　ステップ①　建て方開始



図―６　ステップ⑧　施工の難所



図―７　ステップ⑬　合掌トラスの設置



図―８　ステップ⑱　資材取り込み

によるアニメーションを使い，検討中に多くの有識者の意見をいただけるよう，プレゼンテーションすることに尽力した（**図―５～８**）。

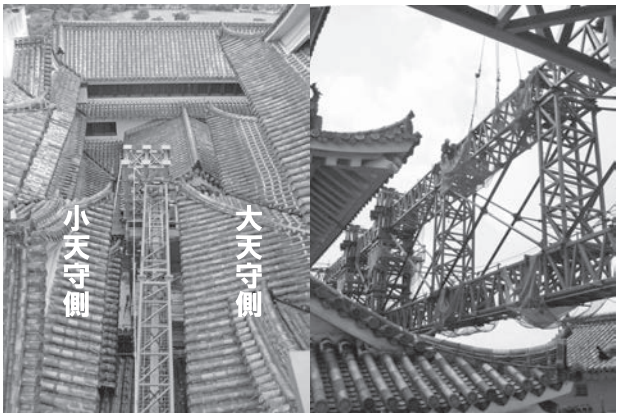
また，建方時の安定性について応力解析をするために構造体をモデル化する時間の余裕が無く，構造設計者に協力を依頼した。建方順序における各フェーズの固定荷重と積載荷重に対し，地震力と風荷重の応力解析によって，倒壊に関する安全性と揺れ幅により城の屋根等と干渉しないことを確認した。

4.「難所」が数多く存在する建方を部位ごとに検証

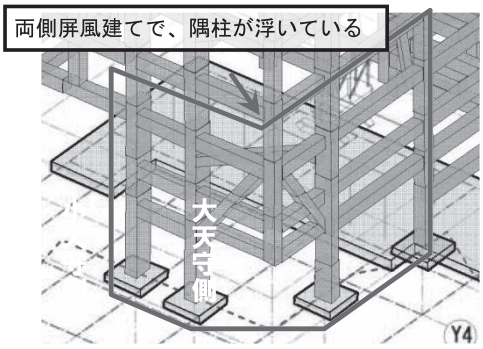
建方順序における検討すべき大まかな項目と対策を以下に列挙する。

①素屋根の西・北面は構造体が完成しても屏風建て（**写真―３**）となり，かつ北西角の隅柱が両側面の屏風建ての梁からの両持ち出しの形で宙に浮いている（**図―６，９**）。

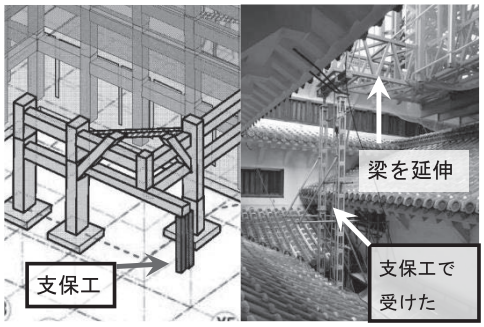
⇒屏風建てを繋ぐ片面はラーメン構造を形成するよう建方順序に反映し，浮いている北西角の隅柱は持出し梁を延伸させ，瓦屋根の無い空間に支保工を設置し，持出し梁を受ける計画とした（**図―10**）。



写真―３　西面（左）と北面（右）での屏風建て



図―９　隅柱が浮いている部位



図―10　隅柱支保工計画と実施

②建方用の仮設構台を構築したため，大天守に対し，南側の本来ラーメン構造となるべき部分も4スパンにわたって屏風建ての建方をせざるを得なくなる（**図―6**）。

⇒仮設の火打梁（250角鋼管）を取付け，純然たる屏風建てが2スパンとなるよう工夫した（**写真―4**）。

③純ラーメン構造となる部位を特定し，その部位を中心とした建方を行う（**図―5**）。

④大天守の軒下へ跳出しの床梁鉄骨を差し込む。

トラス柱・トラス梁は既存物の実測結果により位置決めを行うことにより，狭小な部位もクレーンによる垂直揚重で納めることができた。しかし，大天守へ近づく為の跳出し床梁鉄骨は，大天守の軒下に鉄骨を納める必要があり，鉄骨重心が大天守の軒先より「大天守側」にあるものが多く，普通に垂直揚重すればクレーンのフックやワイヤーが大天守の軒と干渉する。

⇒吊荷を偏芯させて揚重し，素屋根と大天守の軒との隙間に落とし込み，所定の位置で回転させて取り付ける方法とした（**写真―5**）。

5. おわりに

歴史的建造物の代表ともいえる姫路城に素屋根を築いた。通常，寺社仏閣建築における修復工事には，統一された断面や敷地条件が良い（広い）中で，鉄骨建方はスライド工法による建方が主流である。

当工事のような地形，城そのものの形状が複雑で小天守や渡り櫓が付随する中での素屋根工事は，姫路城を除くと全国的にはあまり類を見ないのではないかと思う。また，見学スペースを設けながらの保存修理工事は，重要文化財の保存修理事業の新たな形であったが，無事に問題なく終えることができた。

本稿が，今後の歴史的建造物改修工事の一助となれば幸いである。

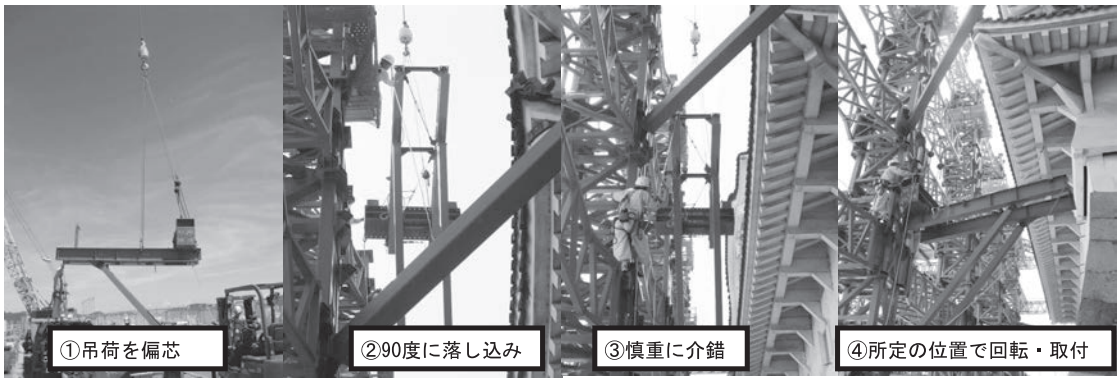
JCMA

写真―4　屏風建ての建方とそれを2方向から支える仮設火打梁

［筆者紹介］

望月　義延（もちづき　よしのぶ）
鹿島建設㈱
関西支店　安全環境部機電グループ
課長

片山　博（かたやま　ひろし）
鹿島建設㈱
関西支店　姫路城大天守保存修理JV工事事務所
工事課長



写真―5　跳出し床梁鉄骨の大天守への差し込み