

史跡指定地における巨大木造建築物復元のための「フレーム建込み」工法について

— 鹿児島（鶴丸）城御楼門を例として —

FRAME CONSTRUCTION METHOD FOR RECONSTRUCTION OF WOODEN BUILDING WITH LARGE DIAMETER TIMBER AT DESIGNATED HISTORIC SITE

— Case study of Goromon Gate, Kagoshima (Tsurumaru) Castle —

亀山直央 — *1 菅澤 茂 — *2
麓 和善 — *3

Naohisa KAMEYAMA — *1 Shigeru SUGASAWA — *2
Kazuyoshi FUMOTO — *3

キーワード：
架構, 治具, 建方, 巨大木造建築, 史跡

Keywords:
Frame, Jig, Erection, Wooden building with large diameter timber, Historic site

In the construction of buildings at historic site, general construction methods may not be available because of historic preservation. Especially when using large diameter timber as structural material, it is necessary to not only deal with the restrictions of the surrounding environment but also devise the construction method. In the reconstruction work of Goromon Gate, the main gate of Kagoshima (Tsurumaru) Castle, the frame construction method was devised to deal with these technical issues. This report presents the contents and results.

1. はじめに

史跡指定城跡における建築復元工事は、石垣、礎石、地盤や既設建物等の保護を前提とした工事になるため、施工においては様々な制約が発生する。そのような施工環境の中で、巨大な木材を軸組に用いる復元工事を行う際、通常の方法では建方が難しい点が多々発生する。既往研究では伝統構法について論じたものは多くみられるが、このような制約下で伝統構法を実現するための工法について論じたものはない。本報では鹿児島県指定史跡鹿児島（鶴丸）城御楼門復元工事において実施した「フレーム建込み」工法を中心に、史跡指定城跡における巨大木造建築物の建方工法について報告する。

2. 鹿児島（鶴丸）城御楼門の概要と技術的課題

2.1 御楼門復元の経緯と敷地状況

鹿児島（鶴丸）城御楼門は慶長 17 年 (1612) 建立されたが、元禄 9 年 (1696) に焼失したため、再建工事に取り掛かり、宝永 4 年 (1707) に竣工した。その後、天保 15 年 (1844) に修理工事が行われたが、明治 6 年 (1873) に再度焼失した¹⁾。以後、跡地は石垣と礎石、石敷土間が残存し、昭和 28 年 (1953) に鹿児島県指定史跡となった。復元工事は、平成 30 年 (2018) 9 月起工、令和 2 年 (2020) 3 月に完成した。

敷地は石垣で囲われた枡形となっており、石垣、礎石、土間敷石・堀で構成されるすべての遺構が史跡としての保護対象である (図 1)。

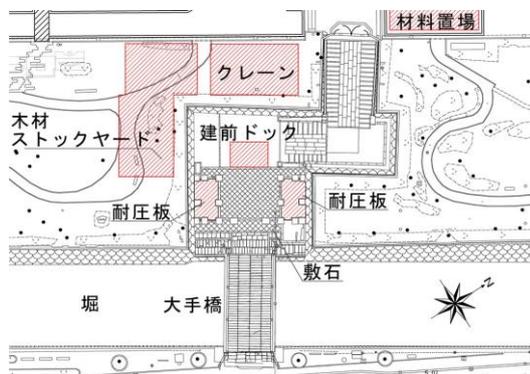


図 1 御楼門配置図



写真 1 復元正面写真

¹⁾ 亀山建設(株) 修士 (工学)
(〒 501-3932 岐阜県関市樋口 1037)

²⁾ 工学院大学 客員研究員

³⁾ 名古屋工業大学 名誉教授・工博

¹⁾ Kameyama Construction Co., Ltd., M.Eng.

²⁾ Visiting Fellow of Arch., Kogakuin Univ.

³⁾ Emeritus Prof., Nagoya Institute of Technology, Dr.Eng.

建物両脇部には、遺構保護を目的として鉄筋コンクリートの耐圧盤が木工事に入る前に設置された。周辺の状況は南北西が桁形で石垣によって囲われ、東側は堀で、その向こうは交通量が多い国道 10 号線に面している。この条件のもと施工時のクレーン (200t) の位置は、遺構保護の観点から図 1 に示す位置のみが許可された。

2.2 御楼門の構造概要

御楼門(写真 1、図 2、図 3、図 4)は桁行 19.70m、梁間 7.88m、最高高さ 17.94mの国内最大の櫓門である。1 層目は総ケヤキ造で 2.2 尺角(667mm 角)の柱 16 本、2.8 尺×2.2 尺(848mm×667mm)角の鏡柱 2 本、これらを通する 3 段の貫、柱の上端に冠木(2.5 尺×2.9 尺(758mm×879mm))、敷梁(末口径 2.64 尺(800mm))が架けられ、さらにその上に棧梁(1.5 尺×1.8 尺(455mm×545mm))が架かる。壁はケヤキ板厚 2 寸(61mm)が落とし込んである。2 層目は棧梁の上に敷設された柱盤の上に柱が立ち、1 層目構造体に 2 層目構造体が載る構造形式となっている。2 層目の柱はヒノキ 9 寸(273mm)角と 7 寸(212mm)角、桁・梁等はマツ、スギ材が用いられ、壁は土壁漆喰仕上(一部海鼠壁)、屋根は本瓦葺である。

2.3 建方の技術的課題

施工の観点から御楼門の全体の構造を見たとき、顕著なことは 1 層目の柱の巨大さである。鏡柱の重量は平均 3.00tf、他 16 本の柱は 1 本当たり平均 2.14tf(実測値)である。この重量と形状の大きさから、建方時に様々な問題が発生してくる。一方、2 層目の構造材の大きさ、重量は一般伝統木造建築物の範囲内と言える。よって 2 層目の建方については問題が生じないため本報告から除外する。

1 層目の建方の問題点について述べる。

(1) 同レベルで 2 方向から貫入する貫の通し方

図 3 において、イ部分では直交する 2 方向から貫が通っている。貫の端部は互いに貫の成の 1/2 ずつが背違いで柱から出る小根柄である。また、貫は重要な耐震要素であるため、いずれも端

部以外は複数本の柱を貫通する仕口とした。このような構造であるため、柱を立てた後に貫を差し込むことはできない。つまり、当該柱を立てる時、柱がもう少し細ければ(例えば 1 尺(303mm)程度)貫の反対側の端部を「鯖ノ尾」等の鉸端に近い仕口にすることで、柱を定位置からずらして 1 方向ずつ貫を差し込みながら立てることができるが、これだけ大きな柱で貫も剛に近い仕口の場合、2 方向から入ってくる貫を差し込みながら柱を立てることは不可能である。

(2) 石垣に沿って斜めに立つ寄掛柱 6 本の建方

寄掛柱は石垣の勾配に合わせて斜めに立てる柱である。施工

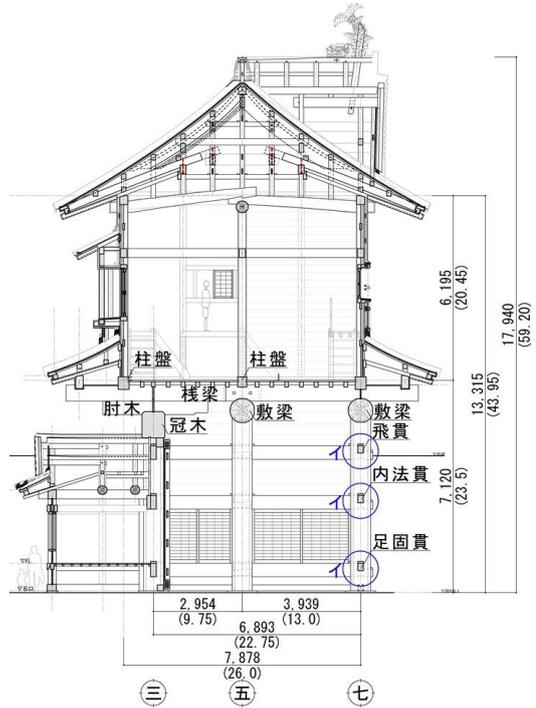


図 3 断面図(梁間方向)

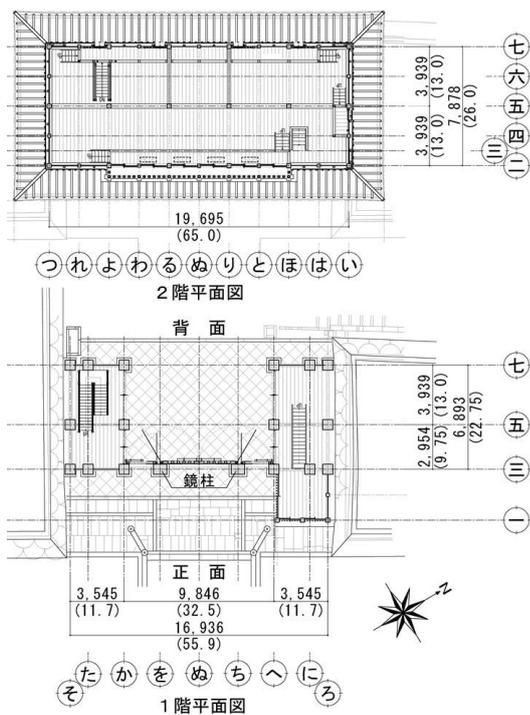


図 2 平面図

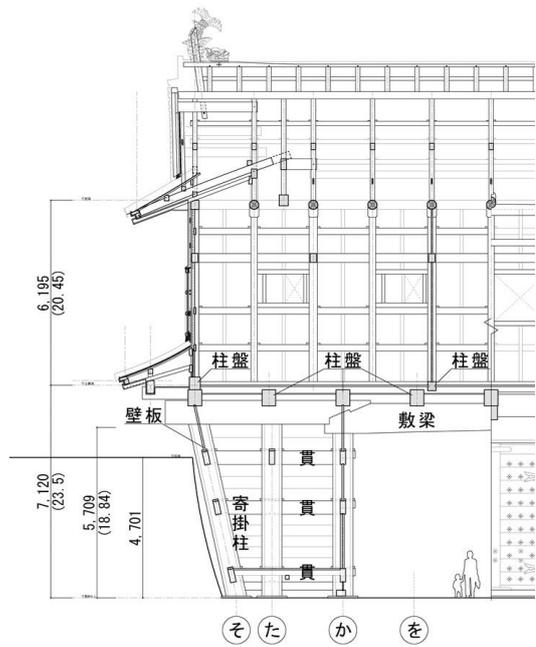


図 4 断面図(桁行方向)

に際して、本来であればその名のとおり石垣に寄掛けて建て込むことになるが、石垣は史跡の重要な遺構であるため、これに一時でも柱をもたせかけることはできないという、文化財関係者からの制約があった。本来の建方ができないからには、それに代わる技法を考案しなければならない。

(3) 既存礎石の定位置に柱を据えること

史跡の重要な遺構である礎石上の定められた位置に柱を据えようとした時、礎石上端に標した線と柱基部に標した線が(既存礎石表面に色鉛筆でわずかに線を引くことは許された)一致するように据えればよいが、通常の方法ではできないと予想された。通常は吊り上げられた柱を据える時、柱の四方に配置された大工が互いに連絡を取り合いながら、標しが一致するように、人力で誘導しながら据える。それでも微かな不一致は起き得るが、微修正は掛矢等を用いて柱基部を叩くことで修正することができる。しかし本工事の場合は柱の重さが2tf余りあり、その底面には礎石表面の凹凸に合わせてひかり付けてある。そのため柱底面と礎石の摩擦力が大きく、柱位置の微調整は難しい。以上(1)～(3)の三点が技術的課題であり、これらは建方時に発生する課題である。

3. フレーム建込み工法

3.1 フレームで建込む方法

図3、4断面図より建方順序を考察すると、まず柱と貫から成る架構を組み上げ、次いで横架材を架けるのが順当な手順であるが、問題は2.3.(1)で詳述した通り柱と貫から成る架構を組立てる方法で

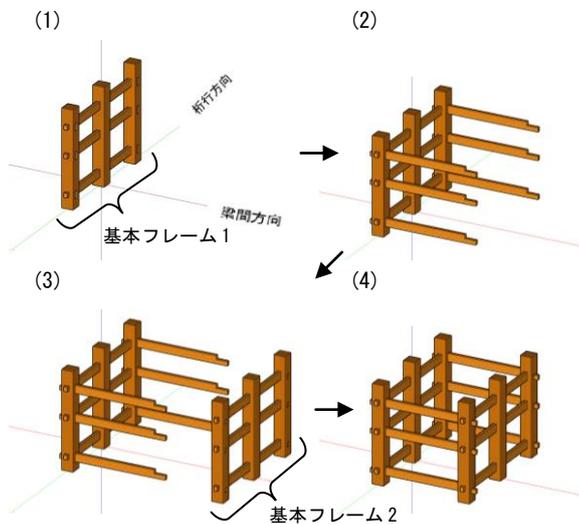


図5 フレームを建込む手順

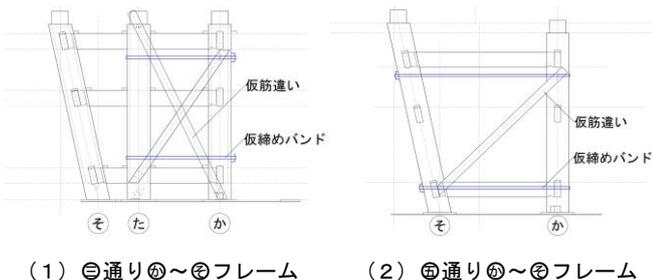


図6 ①通り及び④通りの基本フレーム

ある。そこでこの架構を組立てる方法を考案した。

桁行方向の柱、貫から成る架構を基本フレーム(以後基本フレームと表記)とし、図5(1)に示すように、まず桁行方向の基本フレーム1を別の場所で組立てておいて、これを所定の位置に据える。次いで(2)に示すように基本フレーム1に貫通する貫を通す。その後(3)に示すように基本フレーム2を別の場所で組立て、所定の位置より適当な間隔をあけた位置にもってくる。最後に(4)に示すように基本フレーム2を梁間方向に平行移動させ、梁間方向の貫を差込みながら所定の位置に据える。

通常の伝統工法では2方向からの貫を差し込みながら柱を立てていくのに対し、この方法ではフレームを造る時点で1方向の貫は柱に納まっており、フレームを立てて平行移動し建込む時にもう1方向の貫を差し込むため、整然と2方向の貫を納めることができる。

3.2 実際の建前の手順

まず④通り④～⑥の基本フレーム(図6(1))を別の場所(図1)で組み、移動させて所定の位置に据えた。次いで④通り④～⑥の基本フレーム(図6(2))を別の場所で組み、所定の位置に据えた。その後④通り、⑤通りの3段の貫を(五、か)、(五、そ)柱の背面から差し入れ、それぞれ(三、か)、(三、そ)柱の貫穴に差し込んだ。貫の反対側の端部は④通り心より背面側に1.6尺(485mm)伸びた状態で、水平に保持した。

そして、④通り④～⑥の基本フレームを別の場所で組み移動させて、④通り心より約3尺(909mm)背面側に所定の高さより15mm浮かせた状態に保った。次いで図7、写真2に示す通り、④通り④～⑥の基本フレームを15mm浮かせた状態で、梁間方向のそれぞれの貫を差し込みながら正面側に平行移動させ、所定の位置に据えた。基本フレームを平行移動させるとき、貫が邪魔しないよう図8に示す楔代2寸(60mm)、渡腿の成1.2寸(36mm)の差8分(24mm)を利用した。④～⑥に建つ基本フレームも④～⑥に建つ基本フレームと左右対称の架



写真2 ④通り基本フレームを所定の位置に引き付けているところ

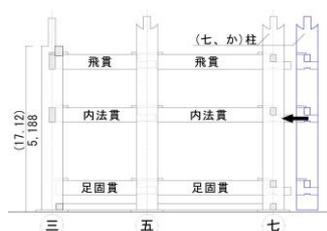


図7 ④通りフレームの平行移動

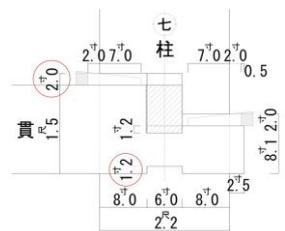


図8 貫の仕口



写真3 事前に工場ではフレームを組み、吊り上げている様子

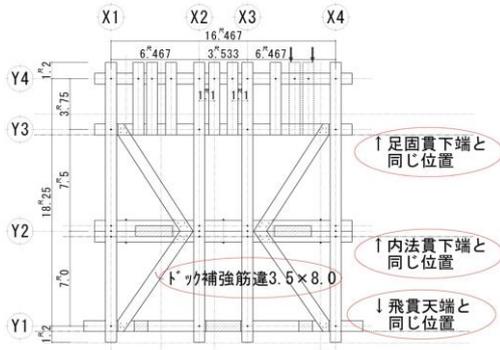


図9 建前ドック平面図

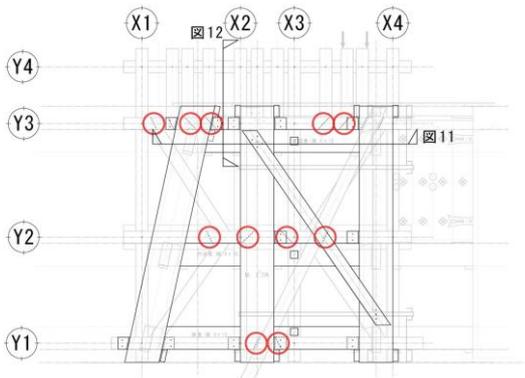


図10 基本フレームを載せた建前ドック平面図(建前ドック上でフレームを組み終えた状態)

構であり、同じ工法で建てることができた。残る2本の鏡柱は一方方向からのみ貫が差さっているため1本ずつ立てることができた。

以上の方法で技術的課題であった2方向から同一レベルで貫入する貫は無理なく納められた。また斜めに立つ寄掛柱は基本フレームに組み込まれているので安定して立っており、施工の際、隣接する石垣は障害にならなかった。

なお、事前に工場で試し組みを行い、正確に作業をすることができることを確認して実施に臨んだ(写真3)。

3.3 基本フレームを造る架台—建前ドック

フレーム建込み工法を進めるためには、基本フレームを造るための架台を造る必要があった。この架台を船を造るときにドックになぞらえて「建前ドック」と名付けた(以後建前ドックと記す)。

建前ドックには以下(1)~(6)の性能を持たせた。

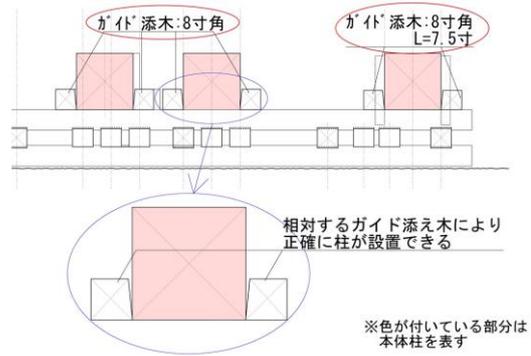


図11 基本フレームを載せた状態での建前ドック断面図(X方向)

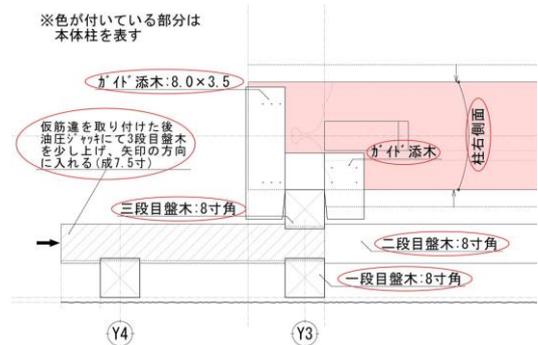
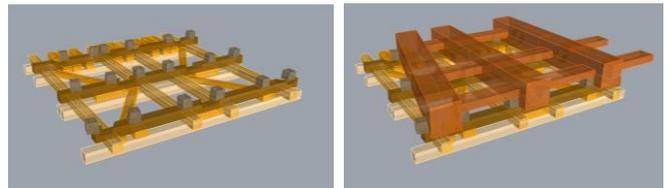


図12 基本フレームを載せた状態での建前ドック断面図(Y方向)



(1)基本フレームを載せる前 (2)基本フレームを載せた状態
図13 建前ドック 3Dモデル

- (1)建前ドック上面は、同一平面で水平であること(一部に段差あり)。
- (2)建前ドック上に部材を並べたり、組んだフレームを起す時の衝撃に耐えられる部材強度があること。建前ドックが変形しない水平剛性をもつこと。
- (3)フレーム作製中、フレームの上面、側面、下面から作業できる構造であること(人が下に潜り込めること)。
- (4)建前ドック上に部材を並べる時、所定位置に部材を正確に置けるよう誘導装置及び、ガイドとなる墨が記されていること。またフレーム組立中並べられた部材が動かないこと。
- (5)建前ドック上で組み上げたフレームに、フレームを寝かせたままで仮筋違いを打てること。またフレームを帯で締めつけることができるスペースが確保されていること。
- (6)寝かせて組み上げたフレームを吊って起こし、垂直状態にする際に柱の底部を傷めない造りであること。

図9は建前ドック平面図、図10は基本フレームを載せた建前ドック平面図、図11、12は基本フレームを載せた状態での建前ドック断面図、図13は3Dモデルである。米松の8寸(242mm)角を盤木とし3段に組む。1段目盤木上端に、建前ドックの水平剛性を保つための



図 16 柱脚での柱間の心々寸法

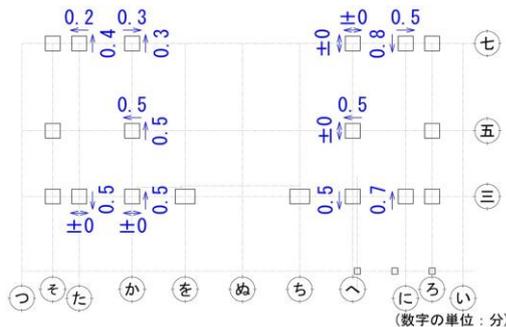


図 17 基本フレーム建方終了直後の柱の傾き

整しなかったためと考えられる。

ここで誤差の程度を検討してみる。「建築工事標準仕様書・同解説 JASS11 木工事²⁾」では「垂直、水平の誤差の範囲は 1/1000 以下とする」とある。②～④間は誤差が 1.5 分(4.5mm)で 2/1000 となり許容誤差より 1/1000 超えていた。しかし、学会規準は土台に墨された心々寸法であり、御楼門では土台の無い柱間の寸法であることを考慮すると誤差 2/1000 という数値は少ないと言える。他の柱脚での心々寸法は 1 箇所を除き 1/1000 以内の誤差であった。

以上より「建前デッキ」を併用した「フレーム建込み」工法は土台が無いにも関わらず JASS11 に定める土台があることを前提とした許容誤差に近い精度で柱が据えられていることが分かる。

4.2 柱の傾き

図 17 は全フレームを建て基本フレームがすべて組み上がった時点での柱の傾きを表している(冠木、敷梁、椽梁は架かっていない状態)。数値は垂直距離約 5.0m での傾きで、計測は下振りで行った。最大の傾きは 0.8 分(2.4mm)であった。

柱の傾きの数値について検討した。JASS11 木工事にも「(財)日本建築センター編集 大断面木造建築物設計施工マニュアル³⁾」にも柱の傾きについての規定がないため、JASS6 鉄骨工事⁴⁾に照らした。JASS6 鉄骨工事が示す柱の傾きの許容値 5mm に対し、御楼門の柱の傾きは 0.8 分(2.4mm)であった(図 18)。

4.3 基本フレームの組み上げに要した時間

フレーム建込み工法により基本架構を組み上げるまでに要した時間を記す。

(1) 前提条件

建前現場にはあらかじめ建前ドック、建前デッキを組んでいた。建物周囲の足場は事前に組んであるが、内部足場の組み立て時間は含む。上段石垣内の材料置場より部材を吊り上げて

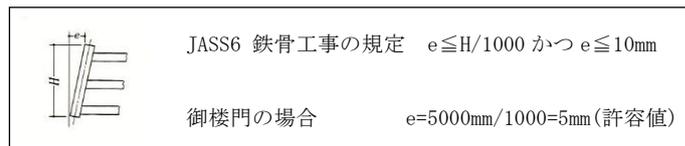


図 18 柱の倒れ

ドック上に置く時間も含む。吊上装置は 200 t クレーン車(オペレーターには無線で指示)、素屋根は無くシート養生(上層軸組完了後素屋根を建設した)。人員は大工 13 人、オペレーター 1 人。

作業時間 AM8:00~PM5:00 (7.5H/日)

(2) 工程

建方第 1 日目—④～⑥間の③通り、⑤通りの 2 フレームを組立て、据付け。

建方第 2 日目—④通り⑦～⑧のフレームと③通り②～④のフレーム据付け。

建方第 3 日目—②～④間の④通り、⑤通りの 2 フレームを据付け。

以上 3 日間で基本フレームの建方完了(柱の傾き検査、貫の楔を本締めも含む)。

5. まとめ

史跡指定城跡に建つ巨大木造建築物復元工事の施工において、これまでの一般工法では施工が困難な様々な問題点を、フレーム建込み工法を用いることで解決することができた。具体的には以下の事柄である。

- 大径材を用いた構造体であっても、基本フレームごとに立てていくことで高い精度で建てることができた。
- 基本フレームごとに立てていくことにより、2 方向から同一レベルで差さってくる貫の構造体を施工することができた。
- 寄掛柱のように自立できない柱で、しかもすぐ傍らに石垣がある環境でも石垣に触れることなく施工できた。
- 建前ドックを用いることで、基本フレームが正確に組み上がり、かつ建込み時に必要な強度を基本フレームに持たせることができた。
- 工場で予め基本フレームを試験組みすることができ、施工の確実性を高めると同時に、建前の能率を向上させることができた。

フレーム建込み工法は、これから先の伝統的軸組巨大建造物を復元する際、また復元のみならず新築の場合においても有効な工法として施工に資すると考えられる。

参考文献

- 1) 鶴丸城御楼門建設協議会・鹿児島県・鹿児島(鶴丸)城保存活用計画, 2016. 03
- 2) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS11 木工事, p. 7, 2005. 11
- 3) 建設省住宅局建築指導課監修, 日本建築センター出版部編集: 大断面木造建築物設計施工マニュアル, 1994. 07
- 4) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事, p.102, 2009.09

[2021 年 2 月 2 日原稿受理 2021 年 4 月 27 日採用決定]