

令和7年度第2回広島城天守の復元等に関する検討会議資料2

1. 現天守の解体及び天守群の復元等に向けた今後の技術的課題について

これまでに実施している検討は、広島城天守の木造復元の実現可能性を高めるため、現天守の解体及び天守群の復元等において想定される様々な技術的課題等について、現状取得可能な史資料や一部の調査データに基づき行う基礎的なものである。このため、検討に当たっての条件等が想定によるものや検討が尽くされていないものが多々あり、今後、こうした技術的課題の解決に向けた詳細な調査・検討が必要となる。

これらの調査・検討については、天守群の復元等の範囲、仕様等の方向性を決定する上（第1ステップ）で必要なものと基本設計や実施設計など、現天守の解体及び天守群の復元等に関する具体的な実施計画を作成する上（第2ステップ）で必要なものに大別される。

2. 天守群の復元等の方向性決定に当たっての技術的課題及び必要な調査・検討事項の整理

天守群の復元等の範囲、仕様等の方向性を決定するに当たっての技術的課題及び必要な調査・検討事項について整理する。

(1) 天守群の復元等の方向性決定に当たっての技術的課題

天守群の復元等の範囲、仕様等の方向性を決定するに当たっては、

①復元等の蓋然性の更なる考証

②復元等に伴う建造物基礎としての天守台及び小天守台の工学的評価と石垣への影響の確認

が必要となる。具体的な内容については、以下のとおり。

①復元等の蓋然性の更なる考証

天守及び廊下の一部については、保存図や古写真等の復元に関する史資料が一通り得られており、蓋然性の考証について、今後、設計段階でより詳細な検討を進めることができる。

一方、残りの廊下部及び小天守については、史資料が東廊下から東小天守にかけての古写真1枚（樹木により不鮮明）と絵図のみと不明な点が多い。これらの部分について今回は推定による検討と提案を行ったが、天守等と比べ、蓋然性を担保する史資料の取得が必要である。

②復元等に伴う建造物基礎としての天守台及び小天守台の工学的評価と石垣への影響の確認

今回実施した石垣の安定性等に関する検討は、南小天守台のボーリング調査データなど現状取得可能な一部の調査データに基づき行っているが、そのほか検討に必要な物性値は他城郭の事例等を参考に設定された値が用いられている。

現地状況に即した詳細な検討を行うためには、石垣を構成する築石の単位体積重量や裏込石の内部摩擦角等の把握を目的とする調査が必要となる。特に、現天守建設時に行った天守台内部のグラウト材に関する情報は、天守の構造及び石垣の安定性を検討する上で非常に重要であるが、その範囲、強度等が不明であり、把握に向けた詳細な調査が必要である。

さらに、実際の地震、豪雨等による天守台及び小天守台石垣の挙動、変化についても天守群の復元等に際して石垣の安定性を評価する重要な判定材料となることから、地震、豪雨等による石垣変状等を定量的に示すデータの収集と石材の破損・割れ、間詰石の欠落等の観察・記録が必要である。

(2) 天守群の復元等の方向性決定に当たって必要な調査・検討事項

各技術的課題に対し、今後必要な調査・検討事項は以下のとおり。

①復元等の蓋然性の更なる考証

ア 発掘調査

・腰曲輪・本丸

天守群の復元等に当たっては、その基礎となる天守台石垣の根石の確認、天守への進入経路の一つと推察される「御櫓」の痕跡に対する調査が必要となる。天守台根石の調査結果は、基礎地盤検討の資料となり、「御櫓」の調査結果は、復元範囲の判断資料となる。

・東小天守及び東廊下

史資料が不足する小天守及び廊下において、東小天守及び東廊下の発掘調査を行い、礎石（礎石痕）の位置、高さ、過去の修復を含む改変有無等を調べ、蓋然性を裏付ける根拠とする。加えて、天守群全体の復元の可能性や復元等の範囲、仕様（復元、復元的整備、便益施設）、位置、規模、構造、形式等の検討を行う基礎資料とする。

・南小天守及び南廊下

南小天守等の遺構がどこまで残っているのか確認すると同時に、改変の有無や「御櫓」に関する遺構、石垣の内部構造を把握することを目的に発掘調査を行う。

イ 史資料の継続調査

廊下部及び小天守をはじめ天守群の復元根拠となる史資料（絵図、古写真等）の調査・収集を引き続き行う。

②復元等に伴う建造物基礎としての天守台及び小天守台の工学的評価と石垣への影響の確認

ア 土質調査

基礎地盤や天守台内部、石垣に関する以下の土質情報の取得を目的とし、ボーリング調査等を行う。

基礎地盤：卓越周期、地盤種別判定、物性値、動的特性、土層構成・傾斜（軟弱層の有無）

天守台内部：グラウト物性値、注入範囲、盛土層の分布

石垣：築石及び裏込の物性値

その後、土質調査結果を基に以下の検討を行う。

○基礎地盤に関する詳細検討

- ・石垣に関する詳細検討に用いる入力地震波の設定（天守群の構造設計に使用する入力地震波も合わせて設定）
- ・液状化の検討
- ・地震時の基礎地盤の挙動の検討
- ・現天守解体、天守群復元時の基礎地盤の挙動の検討（リバウンド、沈下）

○石垣に関する詳細検討

- ・累積示力線法、DEM解析による石垣の地震時の安定性の検討

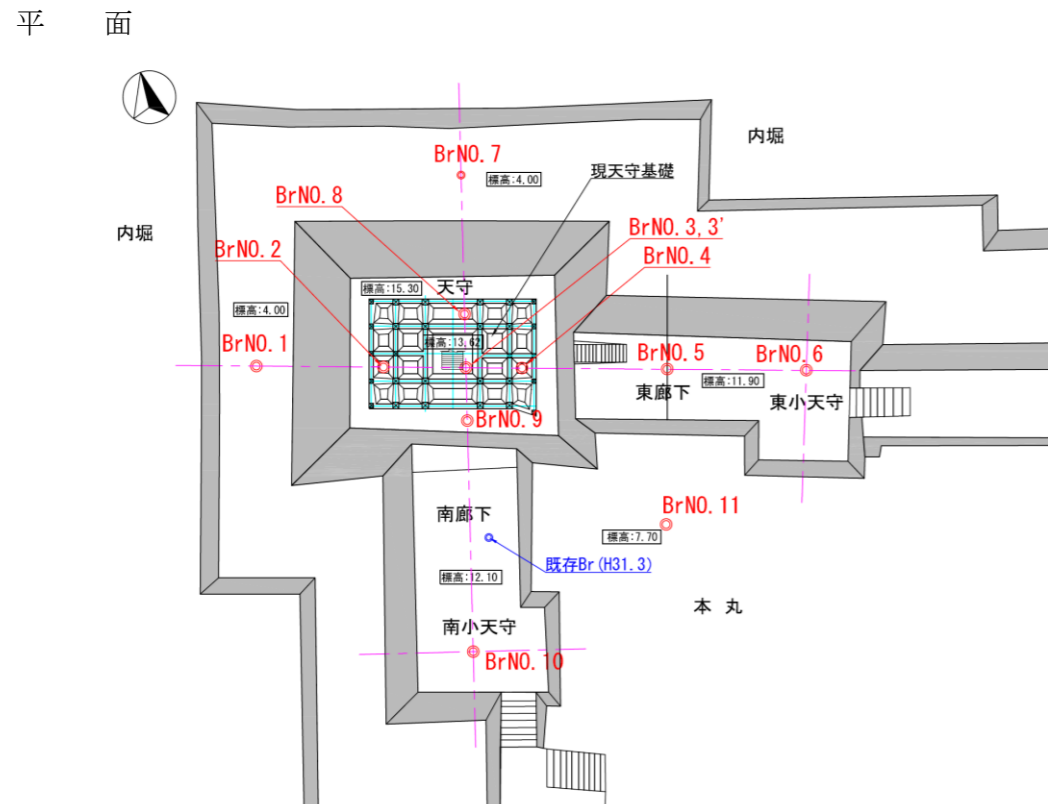
表 2-1 に各調査項目における具体的な試験方法等を示す。調査項目、土質調査ボーリング個所・本数等の詳細については、今後、調整し決定する必要がある。

表 2-1 土質調査項目

分類	調査項目	試験方法等	数量
基礎地盤	卓越周期、 地盤種別判定	常時微動計測（BrNo. 3） グラウト上面：2点（1秒計、5秒計） a s l 層上面：1点（1秒計） d g 層工学的基盤面：1点（1秒計）	4点
	物性値	ボーリング調査(BrNo. 1~11) 地下水位、標準貫入試験、 粒度試験、密度試験、 液性限界・塑性限界試験(粘性土) ボーリング調査(BrNo. 2, 3 [〃] , 4, 6, 8, 9, 10) 三軸圧縮試験	12本
	動的特性	ボーリング調査（BrNo. 3, 3 [〃] ） PS 検層 動的変形試験、液状化試験、	2本
	土層構成、傾斜 (軟弱層の有無)	ボーリング調査(BrNo. 1, 3, 5, 7, 10, 11)	6本
天守台 内部	グラウト物性値	ボーリング調査(BrNo. 3 [〃]) 孔内水平載荷試験	1本
	グラウト注入範囲、 空洞調査、盛土層分布	ボーリング調査(BrNo. 2, 3, 4, 8, 9)	5本
石垣	物性値	築石単位体積重量：密度試験	4か所
		裏込単位体積重量：現場密度試験、粒度試験	4か所
		裏込内部摩擦角：大型三軸圧縮試験	2供試体

※1本のボーリングで複数の試験を行うため、ボーリング本数12本に対し調査数量は30本(点)となる。

図 2-1 にボーリング調査の実施位置、写真 2-1 にボーリング調査の作業例を示す。



屋外作業状況

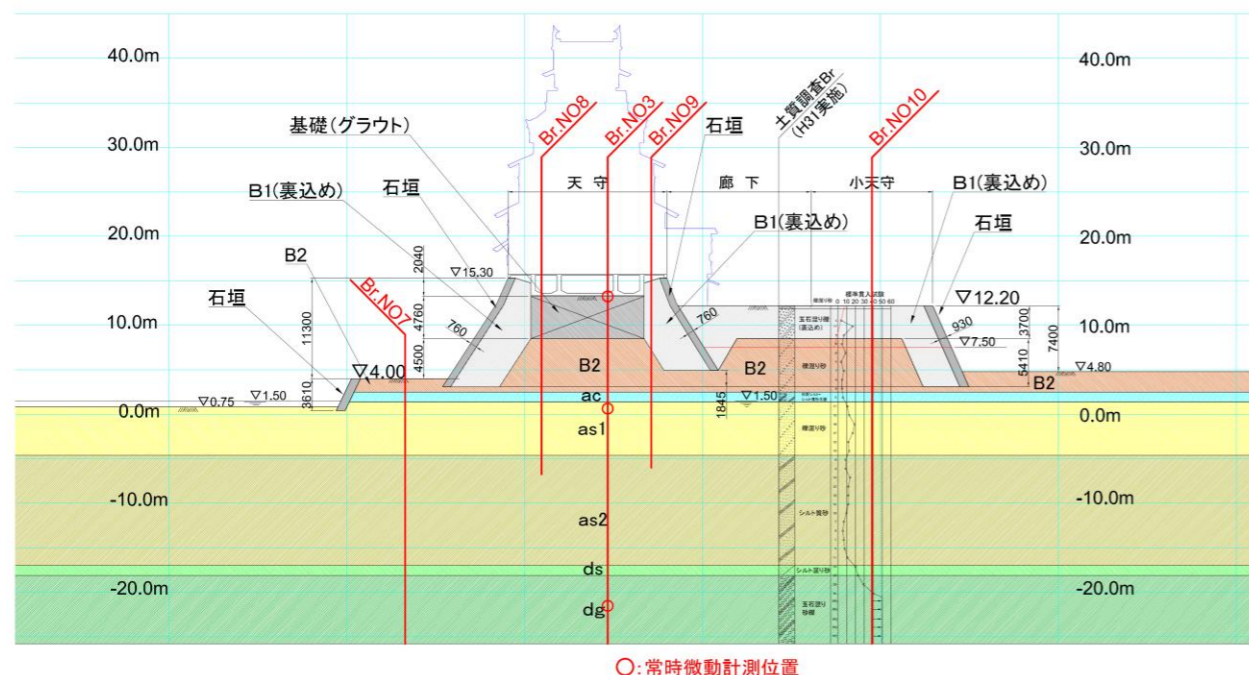


屋内作業状況

写真 2-1 ボーリング作業例

※各種原位試験を行うため、No. 3 のボーリング位置近傍において補助的に No. 3' ボーリングを行う。

※No. 9 ボーリングは、グラウト層の範囲確認が主目的であるが、裏込材への影響が懸念される場合は、削孔を中止する。



○: 常時微動計測位置

図 2-1 ボーリング位置

表 2-2 に各ボーリング位置における試験内容等を示す。

表 2-2 各ボーリング位置における試験内容等

ボーリング NO.	1	2	3	3´	4	5	6	7	8	9	10	11	試験から得られる情報と目的他	
	屋外	屋内	屋内	屋内	屋内	屋外	屋外	屋外	屋内	屋内	屋外	屋外		
基盤高さ(TP)	4.0	13.6	13.6	13.6	13.6	11.8	11.8	4.0	13.6	15.3	12.2	7.7		
削孔長	30m	20m	40m	25m	20m	18m	38m	30m	20m	21m	38m	34m		
削孔径(mm)	φ 66	φ 116 φ 66	φ 86	φ 116	φ 116 φ 66	φ 116 φ 66	φ 116 φ 66	φ 66	φ 116 φ 66	φ 116 φ 66	φ 116 φ 66	φ 66		
原位置試験	地下水位	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位の状況把握。 基礎地盤検討（液状化検討他）の基本情報とする。 	
	標準貫入試験	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 土層の硬軟を把握。 基礎地盤解析の地盤定数設定の基本情報とする。 	
	PS 検層			○									<ul style="list-style-type: none"> 地盤を伝搬する弾性波（P 波、S 波）を測定。 動的地盤特性を求め、基礎地盤検討の情報と、建造物基本・実施設計時の資料とする。 	
	常時微動計測			○									<ul style="list-style-type: none"> 地盤に絶えず存在する微小な振動を計測。 地盤の卓越周期や地震時の増幅特性を推定し、建造物設計時の資料とする。 地盤のモデル化を行う際のモデルの妥当性確認を目的とする。PS 検層結果からの推定を補完し性能評価（大臣認定）に資する資料とする。 	
	孔内水平載荷試験				○								<ul style="list-style-type: none"> B r 孔内の側壁に圧力をかけ変形を測定。 グラウト層の変形係数等を求め基礎地盤解析の情報とする。 	
室内土質試験	物理試験	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 粘性土（ac 層）、砂質土（B2、as1、as2、ds、dg 層）の性状を求める。 基礎地盤検討（液状化検討）の基本情報とする。 	
	三軸圧縮試験		○		○	○		○		○	○		<ul style="list-style-type: none"> 砂質土（B2、as1、as2、ds、dg 層）のせん断抵抗角、粘着力を求める。 基礎地盤検討（液状化検討）の基本情報とする。 	
	振動三軸動的変形試験				○								<ul style="list-style-type: none"> 振動（繰り返し荷重）を加えた三軸圧縮試験 	
	振動三軸液状化試験				○								<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤解析の地盤液状化判定、繰返変形特性に必要な定数を求める。 	

※屋内作用：現天守内における作業を示す。

※物理試験：密度試験、含水比試験、粒度試験、液性限界試験、塑性限界試験等で土質性状、資料採取状況に合わせ実施する。

※調査項目、土質調査ボーリング個所・本数等の詳細については、今後、調整し決定する。

石垣の物性値に関する試験の概要を以下に示す。

・築石

築石の密度試験は、築石の破片等をサンプリング（4か所）して密度試験を行う。

・裏込

裏込の現場密度試験は、現地の発掘調査と同時に行う。試験は水置換法で行い、密度試験、粒度試験を行う。試験結果を基に大型三軸圧縮試験を行い、裏込の内部摩擦角を求める。

大型三軸圧縮試験では、試験機（φ300）に納まる最大粒径で相似粒度を求め供試体の作成を行う。

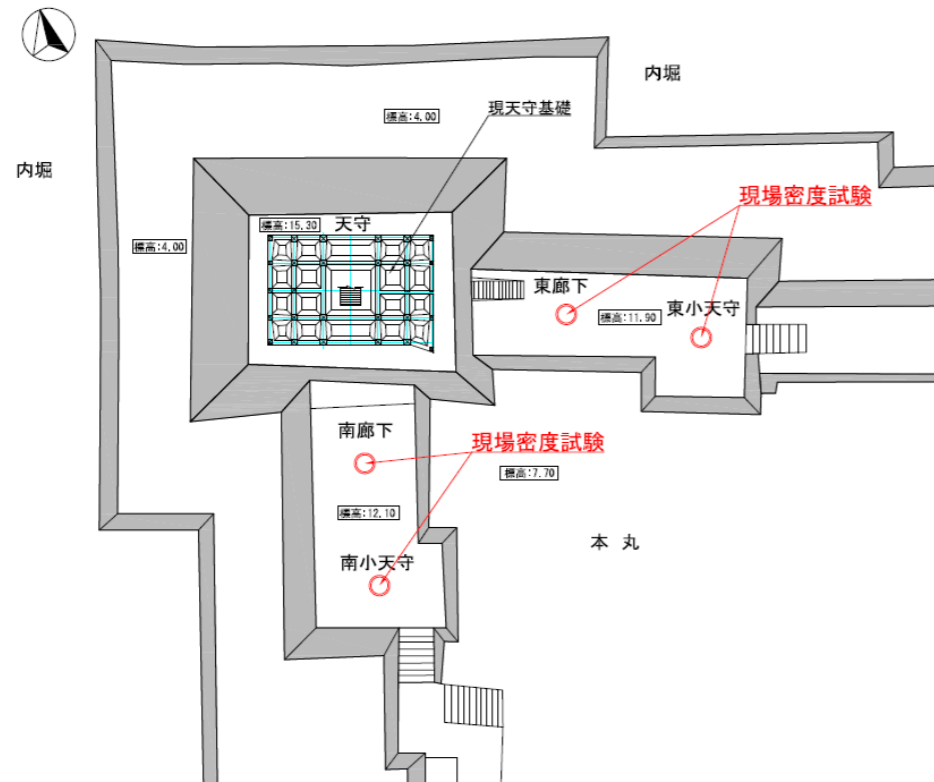


図 2-2 現場密度試験実施位置



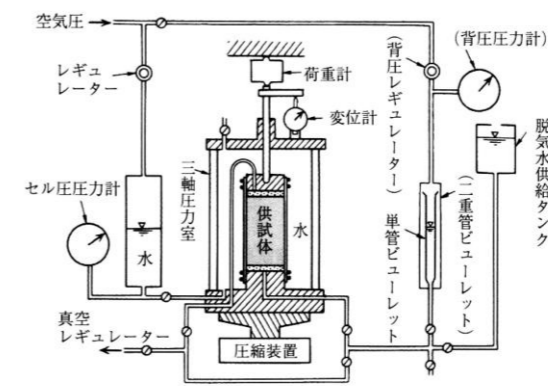
現場密度試験
(水置換法)



粒度試験
(現地作業)



粒度試験
(屋内作業)



三軸圧縮試験機構成

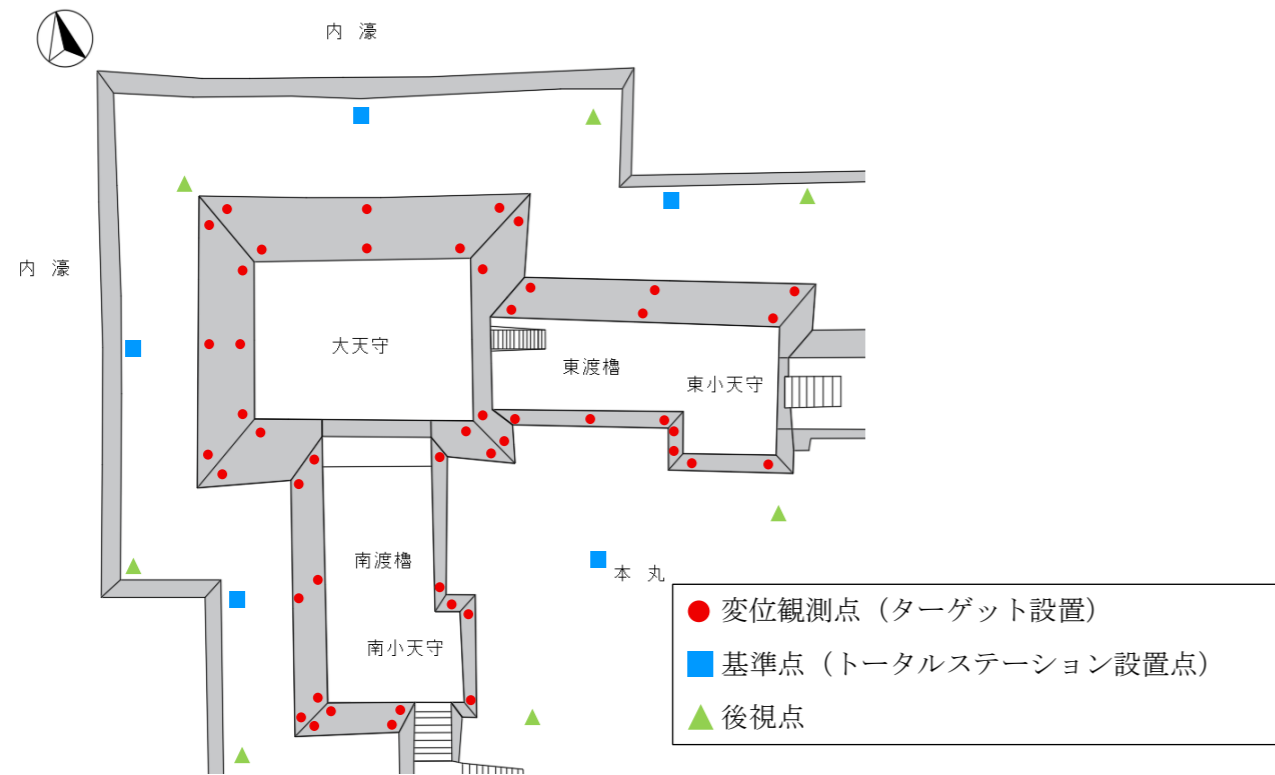


三軸圧縮試験装置

写真 2-2 裏込材試験事例

イ 石垣の変状計測

対象とする石垣の任意箇所に測定用のターゲットを数カ所設置し観測点とする。定期的あるいは地震、豪雨の発生時など石垣の変状把握が必要な時点で、観測点の座標値を測量し取得することで、その変化を捉え、石垣の挙動を把握する。対象石垣面に対し、作業性を考慮して基準点（トータルステーション設置点）・後視点を設置し、そこを基準とした座標値で評価する。大きな変化が見られる場合は、3次元レーザ計測を行い既存データ（令和3,4年度計測）との比較検討を行い、変形状況を立体的に把握し発生要因等の検討と管理を行う。



※基準点と後視点2点を設けることで、基準点の消失時の復元、移動の有無の確認等を行い計測精度の確保を行う。

図 2-3 各点の設置位置

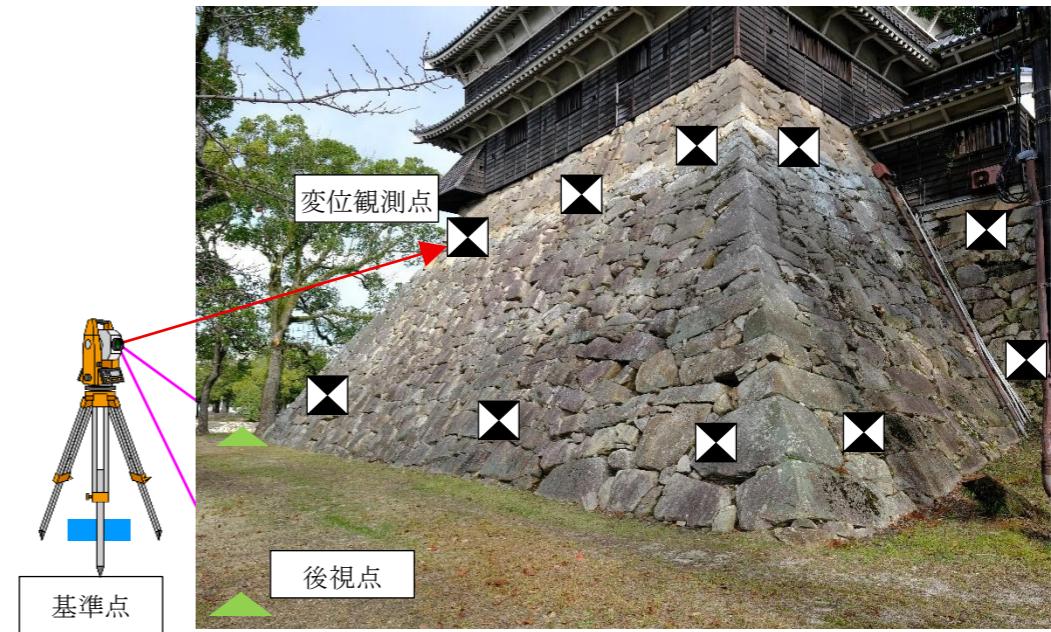


写真 2-3 測量作業のイメージ

3. 現天守の解体及び天守群の復元等の実施計画作成に当たっての技術的課題及び必要な調査・検討事項の整理
基本設計や実施設計など現天守の解体及び天守群の復元等の実施計画を作成するに当たっての技術的課題及び必要な調査・検討事項について整理する。

(1) 現天守の解体及び天守群の復元等の実施計画作成に当たっての技術的課題

現天守の解体及び天守群の復元等の実施計画作成に当たっては以下の技術的課題が考えられる。

① 現天守の解体

【現天守に関する技術的課題】

現天守の基礎を含めた構造、内外装、設備等の状況について、既存の図面だけでは不明な点が多く、具体的な解体計画の作成に当たっては、これらの把握を目的とする詳細な調査が必要である。特にアスベスト含有材料の有無、基礎コンクリートの中性化状況や鉄筋のかぶり厚さ、復元後の天守群においても使用する電気、水道等のインフラ施設の引き込みルート等の把握が必要である。

【仮設計画に関する技術的課題（天守群の復元等を含む。）】

構台や素屋根等の仮設建造物の規模、配置、基礎を含めた構造等について、遺構等に十分配慮したものにする必要がある。現時点では構台や素屋根等の基礎設置範囲の地盤耐力、遺構の有無等について不明な点が多く、具体的な仮設計画の作成に当たってはこれらの把握を目的とする詳細な調査が必要となる。素屋根については、天守群の復元時に必要な仮設建造物であるが、構台と構造上の関係が深く、併せて計画する必要がある。工事中的見学施設についても同様である。

② 天守群の復元等

【許認可に関する技術的課題】

基本設計及び実施設計の段階で復元案(復元原案に必要な構造補強や設備等を付加したもの)を作成し、建築基準法や消防法等の関連法令への具体的な対応について、所管部署と協議を重ねながら詰めていく必要がある。

【構造設計に関する技術的課題】

復元天守の基礎構造の設計に当たって、現天守の基礎や石垣内部のグラウト材で固められた部分に関する情報が重要であるが、既存の図面だけでは不明な点が多く、これらの把握を目的とする詳細な調査が必要である。

加えて、土壁には法的な基準強度が定められておらず、構造設計に必要な土壁、仕口等の耐力要素の性能評価と骨組の解析評価、設計用風荷重の設定が必要である。

【設備設計に関する技術的課題（バリアフリー設備を含む。）】

天守群の復元等に当たって、多くの市民等に史跡広島城跡の本質的価値を感じ取ってもらえるよう、今回検討内容に限らず、バリアフリー設備に関する検討を引き続き行う必要がある。特に建築物としての構造安全性の確保等の観点から「広島市公共施設福祉環境整備要綱」等に適合するエレベーターの設置が難しい部分については、エレベーターに代わる昇降設備の検討が必要である。

加えて、非常時連絡設備等の電気設備の選定及び設置方法、電源供給方法等の検討、防災設備の選定及び設置方法の検討が必要である。

(2) 現天守の解体及び天守群の復元等の実施計画作成に当たって必要な調査・検討事項

各技術的課題に対し、今後必要な調査・検討事項は以下のとおり。

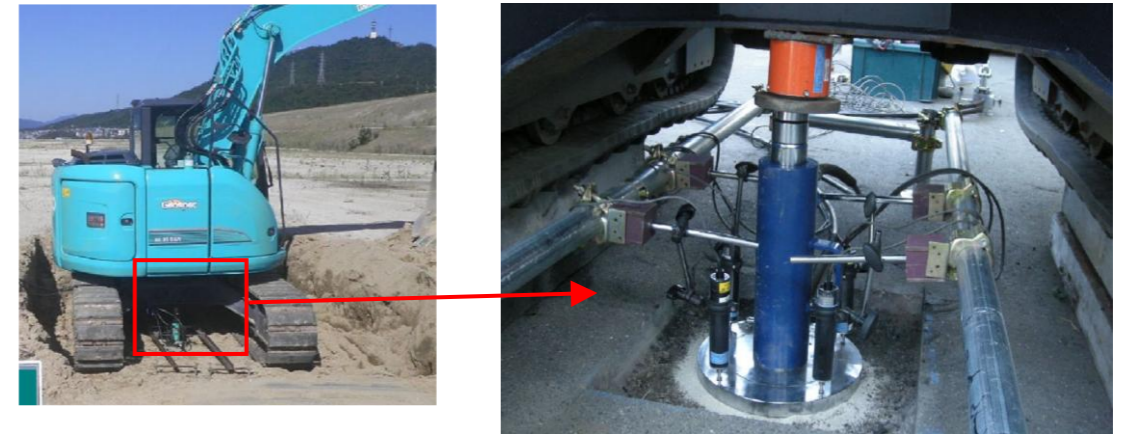
① 現天守の解体

【現天守に関する調査と検討事項】

現天守の構造、内外装、設備、城内インフラ施設等の図面、記録等の継続した調査と併せて、現地調査を実施し具体的な解体計画の検討を行う。

【仮設計画に関する調査と検討事項（天守群の復元等を含む。）】

仮設建造物設置範囲において、発掘調査による遺構の確認、平板載荷試験による地盤支持力の確認、堀底防水工の図面・資料等の調査、堀内堆積物・防水工状況・生息生物等の周辺環境調査を行い、その結果を踏まえ、仮設建造物や遺構等の保存対策等について、具体的な設置範囲や構造等の検討を行うと共に、搬入ルートについての検討を行う。



重機から反力を取った事例



鋼材等から反力を取った事例

写真 3-1 平板載荷試験事例

②天守群の復元等

【許認可に関する検討事項】

各所との協議結果を踏まえ具体的な対応を復元案に反映する。

【構造設計に関する検討事項】

現天守基礎及びグラウト材の現地調査

現天守基礎及びグラウト材について、以下の事項を確認するための調査を行い、結果を復元天守の基礎構造の設計に反映する。

- ・石垣裏の空隙状況
- ・既存基礎の既存図面との整合性
- ・既存基礎の中性化状況等
- ・グラウト材の物性値

要素試験・架構試験

下記について仕様に合わせた構造実験を行い、結果を基本設計に反映する。

- ・土壁、仕口等構造要素の詳細仕様の設定
- ・静的加力試験等による構造要素の性能評価
- ・構造要素の性能評価に基づく骨組の解析評価

風洞試験

- ・暴風時荷重の妥当性を風洞実験により確認・検証し、結果を基本設計時の骨組の解析評価に反映する。



写真 3-2 土壁試験体の静的加力試験の事例

日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）2020年9月 p579
大規模伝統木造建築における構造要素の性能評価に関する
研究その5 土壁試験体の施工および実験結果
（竹中工務店）より抜粋



写真 3-3 風洞試験模型の事例

文化財建造物構造実験データ集 2502 興福寺五重塔
の風洞実験（清水建設）より抜粋

【設備設計に関する検討事項】

バリアフリー設備に関する検討

建築物としての構造安全性の確保等を図るべく「広島市公共施設福祉環境整備要綱」等に適合するエレベーターの設置が困難な箇所について、エレベーターに代わる昇降設備として鉛直型段差解消機が考えられるが、復元天守への設置に当たっては、実機を使った静的加力試験、加振試験等による性能検証を行うとともに、以下について検討する必要がある。

- ・木造建築物の層間変形および揚程に対応する安全性
- ・支持架構と建物とを接続して建物の層間変形に追従できる仕組み
- ・鉛直型段差解消機のフレームと木造軸組みとの衝突を避けるためのダンパー機構
- ・鉛直型段差解消機の荷重の受け方と設置方法

防災設備、電気設備等の仕様検討

- ・消火栓、自火報、スプリンクラー、非常通報装置、誘導灯等の防災設備及び非常通報装置音声誘導装置、温水洗浄便座等の電気設備の選定及び設置方法、電源供給方法等の検討