

特別史跡名古屋城跡全体整備検討会議 石垣部会(第28回)

日時：平成30年7月13日(金) 10:00～12:00

場所：名古屋能楽堂 会議室

会 議 次 第

1 開会

2 あいさつ

3 議事

- ・平成30年度本丸搦手馬出周辺石垣修復工事(案)の概要について <資料1>
- ・小天守台周り石垣の発掘調査について <資料2>
- ・天守台石垣の保全と安全対策について <資料3>

4 閉会

特別史跡名古屋城跡全体整備検討会議 石垣部会（第28回） 出席者名簿

日時：平成30年7月13日（金）10:00～12:00

場所：名古屋能楽堂 会議室

■構成員

（敬称略）

氏名	所属	備考
北垣 聰一郎	石川県金沢城調査研究所名誉所長	座長
赤羽 一郎	愛知淑徳大学非常勤講師	副座長
千田 嘉博	奈良大学教授	

■オブザーバー

氏名	所属
洲崎 和宏	愛知県教育委員会生涯学習課文化財保護室室長補佐

平成 30 年度本丸搦手馬出周辺石垣修復工事（案）の概要について

平成 30 年度の修復工事は、残り 2 段の石垣の取り外しを行うとともに、積直しに向けた検討を行う。また、石垣の動態観測についても引き続き実施するほか、石垣の解体に伴う文化財調査も併せて実施する。

I 石垣の解体

過去の石垣調査で、上部の築石が下部の築石より前に迫り出している部分があることが明らかとなった。この迫り出した石までの解体（残り 2 段）を行う。（図 1）なお、今年度工事完了後に一部が水中に没してしまうため、養生（地山面をシートで覆い、栗石を戻し、前面に土嚢を設置する）を行うことで保全を図る。

I-1 解体した石材の仮置について

解体した石材については、来年度に積直しを行うことを考えているため、図 2 に示す通り仮設スロープ上に仮置を行う。積直しに向けた検討を随時行いたいため、シートによる養生は行わない。

I-2 築石取外し後の現場の養生について

築石の取外し及び栗石を掘削した後の養生については、地山をシートにて覆いその上に栗石を現状通り戻す形で養生する。また、栗石を止める目的で大型土嚢を取外し後の築石の上部に設置する。（図 3）

I-3 北西側の隅角石について

北西側の隅角石については、積直し位置の基本となるため、取外しは行わない。ただし、隅角石の下側の石材が割れていないかなどの状況を確認する必要があるため、隅角石 1 石について一時的に取外しを行い、下側の状況を確認した上で現況に復する。（写真 1）

II 石垣面の動態観測について

今年度も継続して、本丸搦手馬出北面・東面および仮設スロープ部分において孔内傾斜計の計測および光波測量を行う。同様に元御春屋門付近内掘側（孕みの大きい箇所）においても光波測量による観測を行う。

III 石垣積直しの基準線について

今年度の工事で 2 段取外した下の石垣については、多少前にせり出している状態にあるため、積直す築石は杵工で押えた現状の石垣前面から控えて積む必要があることから、積直しのための基準線の検討を行う。（写真 2）

IV 積直しの勾配・高さについて

石垣の積直しのため、勾配についての検討を行う。勾配の検討にあたっては、名古屋城における天和時前後の石垣に関する古文書等の調査を行ったうえで、勾配を定めていく。また、復元する高さについては、孕み出しによる沈下の影響等を考慮した検討を行う。

V 石垣背面の仕様について

石垣背面の栗石・背面盛土については、今までの調査結果を踏まえたうえで、地盤工学の観点からの検討も行い仕様を定めていく。(栗石の幅や密度、背面盛土の石灰改良及び背面盛土内の排水層の設置など)

VI 石材の再利用について

積直しに際し、石材の状態を把握するとともに、軽微な割れを起こしている石材が再利用可能であるかの基準を定めるとともに、再利用不可となる場合の対応方法についての検討を行う。

VII 石垣解体に伴う調査について

東面および北面にて調査を行う。築石の積み方や裏栗石の範囲などについて平面、背面、底面の状況について観察・記録する。

VIII 石材調査について

解体した石材について各種カード類（石材カード、刻印カード、矢穴カード、二次利用カード、表面加工カード）を作成する。

平成30年度石垣解体予定範囲

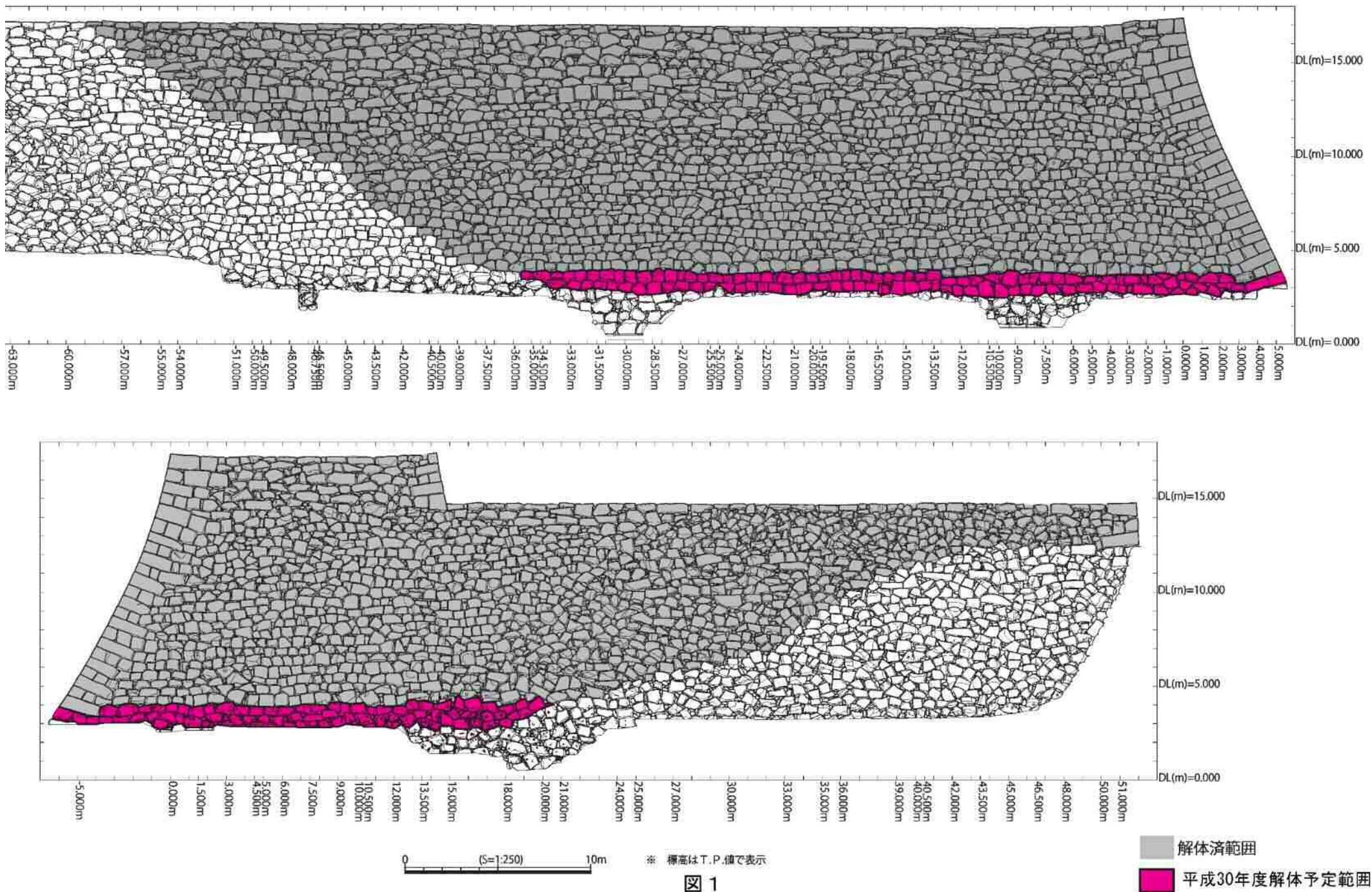


図 1

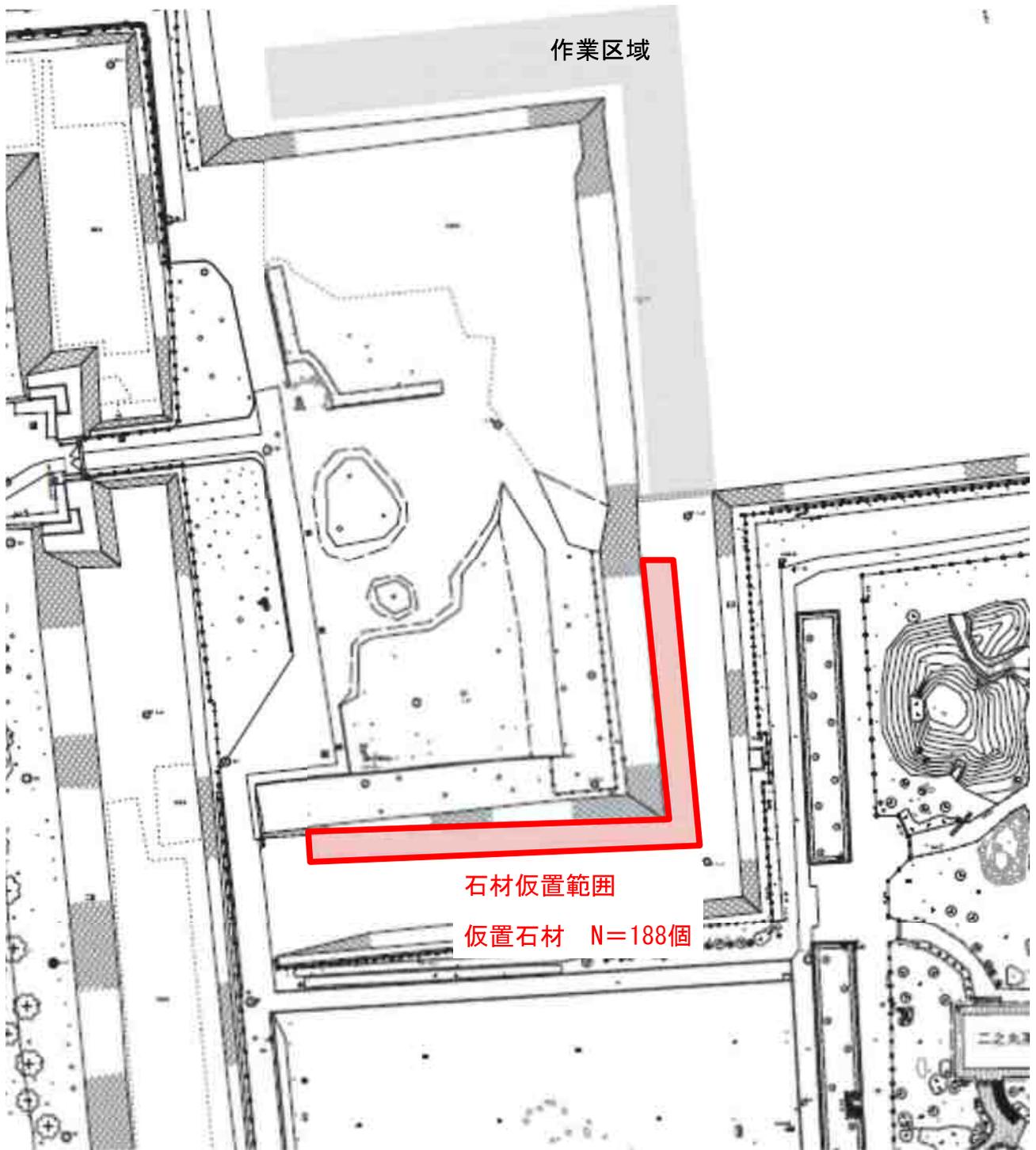


図2 石材仮置範囲

本丸搦手馬出東面断面図

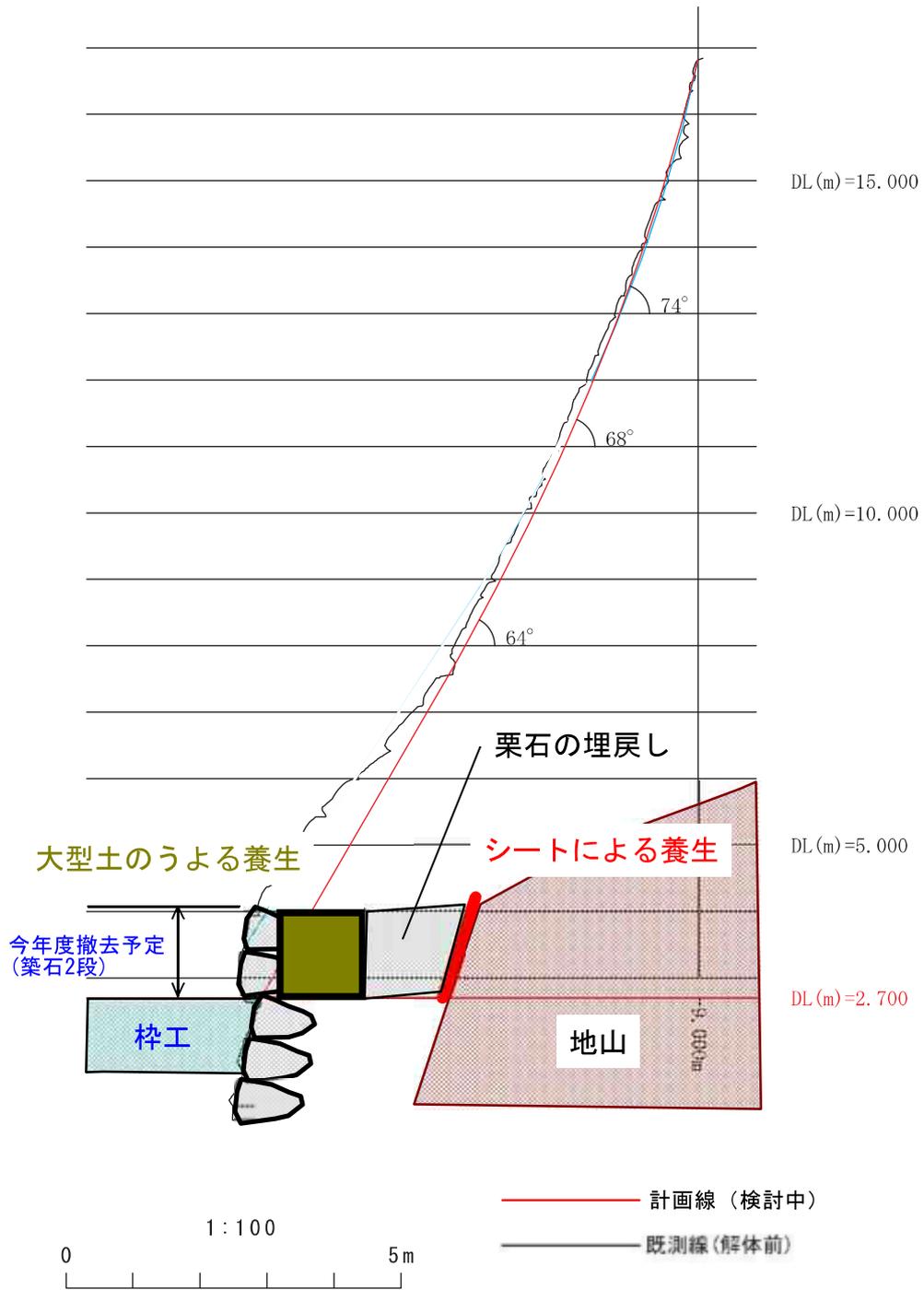


図3 今年度工事後の養生のイメージ

一時的に取外しを行う隅角石



写真2
搦手馬出東面



孕み出しの大きい箇所

地盤面石垣前面のライン
石垣復元勾配の引出点

発掘調査内容一覧

- ・築城以来の石垣の変状、近代現代における積み足し、積替え、安定性、変状の進行具合を確認調査する。
石垣裾部を発掘し、地下に埋没している石垣の孕みだし、ズレ、劣化、変状の程度を探る。土台木の健康度の把握及び郭・堀底の安定基盤の接触面を探る。

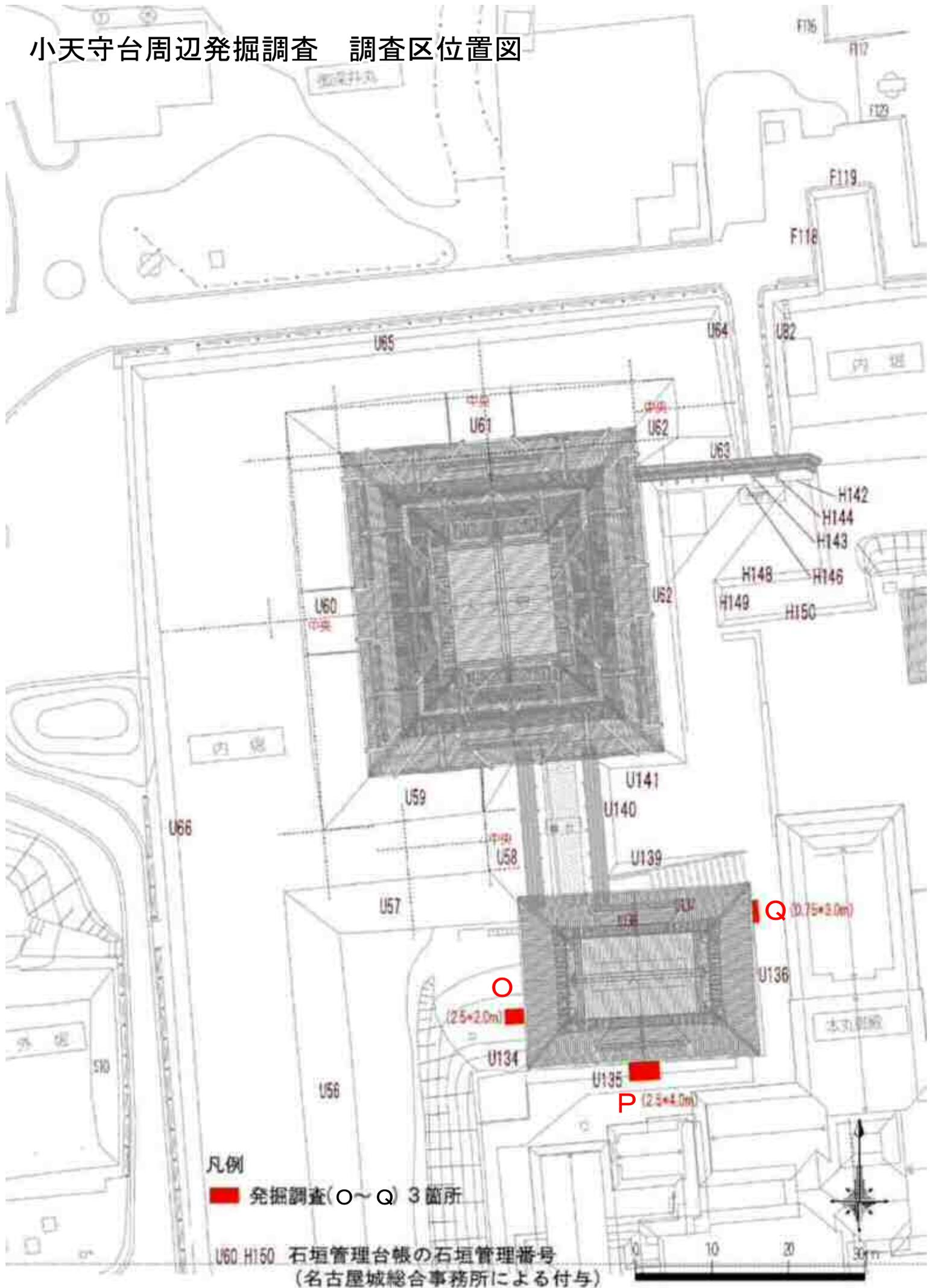
調査区名	調査規模 (m)			調査地区 (曲輪)	調査箇所	調査目的	掘削方法	調査手順	留意点
	幅	長さ	面積						
○	2.0	2.5	5.0	本丸	小天守石垣裾部	調査対象石垣 (U58) は、小天守西側に位置し、小天守石垣の健全性、安定性を確認するため根石の調査を実施する。 小天守台西側での根石の確認と江戸期の旧状の確認、石垣西側斜面の堆積状況を確認する。	人力掘削を基本とする。 但し、表土は機械掘削とする。	表土は小型重機にて掘削を行う。表土より下層は人力にて検出面まで掘削する。平面図及び土層断面図を作成し、写真撮影を行う。その後、根石据え付け高さ (根石上部) まで掘り下げ、平面図及び石垣立面図、土層断面図を作成し、写真撮影を行う。	表土が薄く近世遺構面まで浅いと考えられることから、遺構面を痛めないよう慎重な掘削作業を行う。調査に支障のある近現代雨落溝は一部仮撤去し、調査終了後に復旧する。
P	2.5	4.0	10.0	本丸	小天守石垣裾部	調査対象石垣 (H135) は、小天守南側に位置し、小天守石垣の健全性、安定性を確認するため根石の調査を実施する。 下部の土中部分の石垣の健全性、根石の状況を確認する。	人力掘削を基本とする。 但し、表土は機械掘削とする。	表土は小型重機にて掘削を行う。表土より下層は人力にて検出面まで掘削する。平面図及び土層断面図を作成し、写真撮影を行う。その後、根石据え付け高さ (根石上部) まで掘り下げ、平面図及び石垣立面図、土層断面図を作成し、写真撮影を行う。	表土が薄く遺構面まで浅いことが考えられるため、遺構面を痛めないよう慎重に掘削作業を行う。
Q	0.75	3.0	2.2	本丸	小天守石垣裾部	調査対象石垣 (H136) は、小天守東側に位置し、小天守石垣の健全性、安定性を確認するため根石の調査を実施する。 積替えの可能性がある、下部土中部分での石垣の健全性、根石の状況を確認する。	人力掘削を基本とする。 但し、表土は機械掘削とする。	表土は小型重機にて掘削を行う。表土より下層は人力にて遺構検出面まで掘削する。平面図及び土層断面図を作成し、写真撮影を行う。その後、根石据え付け高さ (根石上部) まで掘り下げ、平面図及び石垣立面図、土層断面図を作成し、写真撮影を行う。	表土が薄く遺構面まで浅いことが考えられるため、遺構面を痛めないよう慎重に掘削作業を行う。

3箇所 17.2 m²

※ 注記

- ・掘削にともなう発生土は、調査区の脇に仮置きして、シートなどで養生を行う。
- ・調査終了後は遺構面を山砂で保護した後に埋め戻す。なお、埋め戻し材は掘削土に消石灰を重量比2%添加したものを使用する。
- ・調査規模は、堆積土及び盛土の厚みや土の締まり具合によって、作業時の安全確保を優先して縮小することもあり得る。
- ・使用重機 バックホウ：山積0.11m³。

小天守台周辺発掘調査 調査区位置図



天守台石垣の保全と安全対策

平成30年7月

名古屋市観光文化交流局名古屋城総合事務所

目次

1. 概要編

1. 天守台石垣の保全と安全対策

-1 天守台石垣の現況と保全

- 1 天守台石垣の保全及び安全対策の概要
- 2 天守台石垣の調査
 - (1) 史実調査
 - (1)-1 天守台石垣の歴史
 - (1)-2 古写真との比較
 - (2) 測量調査
 - (3) 石垣カルテの検討
 - (4) 発掘調査
 - (5) 地盤調査
 - (6) 調査のまとめ

-3 天守台石垣の安全対策

-4 天守台石垣保全の基本的な考え方

-2 木造復元に伴う天守台石垣の保全と対策

- 1 木造復元の基礎構造と石垣の安全対策
- 2 現天守閣解体に伴う天守台石垣への影響と対策
- 3 天守閣木造復元に伴う天守台石垣への影響と対策

2. 資料編

1. 採用資料

-1 天守台石垣の調査・現況把握

- (1) 史実調査
- (2) 測量調査
- (3) 石垣カルテ
- (4) 発掘調査
- (5) 地盤調査

1-1-1 天守台石垣の保全及び安全対策の概要

(1)天守台石垣保全の基本的方針の作成手順

- 天守台石垣の保全については、次のような手順により、保全の基本方針を定める。
 - ・基礎的な調査を行い、現況の把握を行う。
 - ・石垣カルテを作成し、石垣の現況及び崩落の危険度、修復の履歴などを把握する。
 - ・現況把握をもとに、実験やシミュレーションにより石垣の挙動を検証、解析する。
 - ・そうした結果をまとめ、石垣を保全し、また来場者の安全を確保するための基本方針を定める。
- この章では現況の調査を踏まえ、今後、保全のための基本方針を定めるための考え方を整理するものである。

(2)石垣の現状

- 各種史実調査、現況調査により判明した天守台石垣の現状について整理すると次のようにまとめられる。
- ・平成23年度の「名古屋城天守台石垣健全性評価」では大天守北面と小天守西面の石垣が安定上最も不安定な部分との結果がでている。
- ・天守台外部石垣の根石については、今回の発掘調査で確認できた範囲では大きな変状は見られない。
- ・被熱した築石が存在し、築石の割れ、表面の剥離が観察される。外部西面で顕著である。
- ・天守台石垣の外側上部については、古写真の記録、石垣カルテの成果により、現天守築造時に改変が加えられている。
- ・穴蔵石垣については、昭和25年に作成された「名古屋城石垣積換工事 施工定規図」によると、全体を積みかえ、その際に根石の下にコンクリート板を入れることとなっている。この図の通りに施工されたとする穴蔵石垣は、根石に至るまで全て改変されていると考えられる。

(3)石垣の挙動の検証

地震時の天守台石垣の挙動については、有限要素法(FEM)解析、個別要素法(DEM)解析および遠心模型載荷実験により、今後検証していく。各検討手法の目的を以下に示す。

- ◎ 有限要素法(FEM)解析:石垣全体の崩壊に至る直前まで(連続体として挙動する範囲)の地震時挙動の検証
- ◎ 個別要素法(DEM)解析:石垣の崩壊挙動の検証、石垣補強工法の効果の検証
- ◎ 遠心模型載荷実験:◎◎の解析手法の妥当性の確認、石垣構造の地震時挙動の実験的検討

(4)天守台石垣の安全対策の考え方

- ・城郭石垣の耐震評価は、城郭石垣自体が文化財であるため、実物での実験や損傷を伴う調査が難しく、地震力に対する変形あるいは安定性を工学的に評価する手段が無いのが現状である。従って前述の解析や実験で石垣の崩落の危険度を判定することはできないという前提に立ち、石垣が崩壊する規模の大地震が発生した場合に観覧者の安全を確保する対策を検討する。
- ・安全対策の実施は、観覧者に危険を及ぼす部分から優先的に行う。
 - ・平成28年の熊本地震の被害を踏まえ、観覧者の安全確保がより重要視されており、現代技術の使用も視野に入れた安全対策を検討する。

(5)天守台石垣の保全及び安全対策の基本的な考え方

【共通事項】

- ・遺構を最大限生かしながら、人命確保を最優先に考える。
- ・表面の築石だけでなく、背面も含め、立体的な遺構として取り扱う。
- ・調査結果にもとづき、破損や変形の状態がある石垣については下記の措置・方法の検討を行う。

第一段階 間詰石脱落部分、被熱により割れている石材に対する応急的処置。
大天守台東面、穴蔵石垣、橋台など、来場者の安全対策が必要な場所に対する処置。
大天守台北側の孕み出しに対する継続的な調査を行い、背面の現状把握と変形の理由を解明する。

第二段階 石垣全体が戦後の改変を受けている部分については、今後調査研究を進め、その成果を踏まえて整備方針を検討する。穴蔵石垣などが該当する。穴蔵石垣は安全対策ともあわせて考える必要がある。

第三段階 部分的に戦後の改変を受けている石垣に対する整備方針の検討。調査研究を進め、成果を踏まえ て整備方針を検討する。天守台外部石垣が該当する。

【木造復元天守との関係】

- ・大天守と小天守の地階穴蔵内部、橋台、小天守の外部階段は観覧者の動線となるので、石垣崩落時に危険が及ばないよう、物理的な落石防止の対策を講じる。
- ・現SRC天守の再建時には石垣保全のため、荷重をかけないように上部天守閣をキャンチレバーで支持している。同様に石垣保全のため、石垣に木造天守の荷重をかけないで、かつ、より史実に忠実な木造復元天守になる方式を 採用する。
- ・石垣の修理を木造復元天守と独立して行うことができる木造復元天守の架構形式とする。

【現天守解体時、木造天守復元時における保全の基本的な考え方】

- ・現天守を解体する際に発生する、天守閣荷重除荷に伴う地盤のリバウンド現象、工事振動について検討し、対策を講じる。
- ・遺構面に対する掘削や杭の打設がない仮設計画とする。
- ・素屋根等の仮設物の設置に伴う、内堀内の遺構および石垣に与える影響を検討し対策を講じる。

1-1-2 天守台石垣の調査

(1) 史実調査

天守台石垣の歴史について、研究史を整理しつつまとめる。あわせて、石垣の現況と戦災以前の写真と比較し、石垣の現状の評価を試みた。

(1)-1 天守台石垣の歴史

- 江戸期:創建時 慶長15年(1610)～宝暦の大修理まで

1) 築城期の石垣について

・ 概要

名古屋築城は慶長14年(1609)に決定し、慶長15年(1610)閏2月には助役の諸大名による普請が開始された。諸大名は各々の担当場所に石垣を築造するように定められ、特に天守台石垣は加藤清正の担当となった。6月に根石置きがはじまり、8月には天守台の石垣が完成、9月には本丸・二之丸・西之丸・御深井丸の石垣もほぼ完成した。また小天守の石垣については慶長16年(1611)発給の史料によって穴太駿河が普請を受け持っていたことが分かる。

・ 計画・構築の変更

内藤昌氏は名古屋城に関連する図面史料の類型化および分析により、計画段階・構築段階に行われた縄張変更の経緯を明らかにした。この研究によると慶長14年(1609)の縄張開始から慶長20年(1615)の城郭完成までの間、数度にわたり石垣位置の変更が行われている。特に天守の構造については諸大名による石垣普請後にも変更が加えられており、現存する石垣にも慶長当時の変更起因と思われる痕跡が残っている。

a. 大天守西面石垣の切抜

当初は大天守の北西と御深井丸の南東がつながっており、大天守西面に通路を設ける予定だった。結果的に本丸と御深井丸は堀によって隔てられ、石垣普請時に設けられた通路部分も塞がれた。この切抜は宝暦の大修復の際にも存在が認識されており、現状の石垣にも痕跡が確認できる。ただ位置的には宝暦の大修復時に積み直された場所であり、また昭和の再建工事中に積み直された可能性があるため、慶長当時の状態をそのまま保っているかは不明である。

b. 大天守西側堀中の石垣下部構造

昭和の再建工事中に発見された。大天守の北西と御深井丸の南東が地続きになっていた痕跡だと思われる。現在は大天守の西側・北側に堀が巡っていることから、石垣普請後に計画を変更し、それに伴って不要な石垣を取り除いたと考えられる。

c. 小天守西南南寄り内側の出入口

昭和の再建工事中に発見された。内側のみ痕跡が存在し、外側にはみられない。小天守西南に枡形を構える計画が作事直前に変更され、塞がれたものだと考えられる。

2) 宝暦以前の石垣修復

慶長15年(1610)の天守完成から宝暦2年(1752)大修理開始までの約140年間については石垣の修復に関する記録や文書が比較的多く残っており、名古屋市によって平成14年度に調査された『名古屋城石垣災害・補修一覽』や『特別史跡名古屋城跡保存活用計画』p107～108にまとめられている。天守台石垣については宝暦の大修理以外に記録がないが、本丸・二之丸・三之丸などの石垣は破損・崩れ・孕みが生じた際に修復が行われている。

また天守の修理に関連する史料としては、金城温古録の著者である奥村得義が記した「国秘録 御天守御修復」があり、宝暦以前に行われた天守本体の修理記録がまとめられているが、石垣修復に関する記述はない。

3) 参考文献・史料

- ・ 参考文献 ※ 1 名古屋市編『名古屋城史』1959年
- ※ 2 内藤昌編『日本名城集成 名古屋城』小学館、1985年
- ※ 3 名古屋市『名古屋城石垣災害・補修一覽』平成14年度(2002年)
- ※ 4 名古屋市『特別史跡名古屋城跡保存活用計画』2018年
- ※ 5 城戸久「名古屋城天守既往の修理に就て」『名古屋高等工業学校学術報告』第8号、1942年

- ・ 史料 ※ 1 「国秘録 御天守御修復」徳川林政史研究所蔵

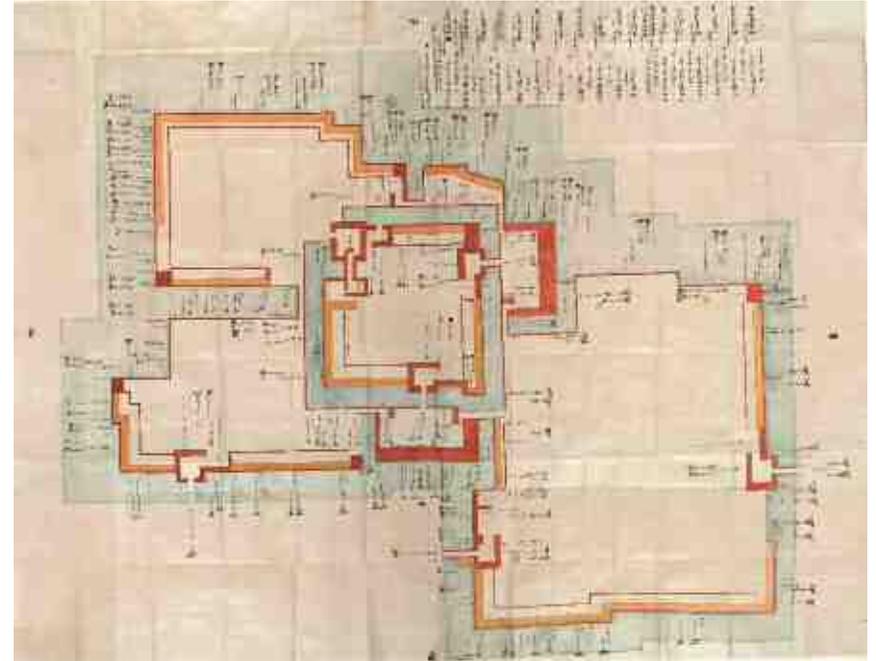


図1 「金城録・町場請取絵図」(名古屋城総合事務所蔵)

- 江戸期:宝暦の大修理 宝暦2年～宝暦5年(1752～1755) ～ 幕末

1) 宝暦の大修理の概要

宝暦の大修理は石垣の解体修理を伴う大規模な天守修理で、宝暦2年(1752)から宝暦5年(1755)にかけて行われた。既に寛延3年(1750)の段階で天守台の孕み出しが御深井丸から視認されており、また天守本体の傾斜も見られたために、天守の修復計画が練られている。「国秘録」によると、はじめは堀を部分的に埋め立てることによって孕みだしと傾斜を抑えようとする計画だったが、最終的には天守の一部を解体して孕み出した石垣を組み直す計画に決定し、実行に移された。

宝暦の大修理の際には関連する図面や書物が多く作成されており、石垣の修復計画や過程について具体的に記された貴重な史料となっている。これらの史料から、天守本体を仮の支柱や大縄によって支えている最中に石垣を段階的に解体して積み替えたことが分かる。また積み替えを行った部分についても史料から推測できるため、現況の石垣と比較検討することが可能になっている。さらに勾配の付け方について記した図面が残されており、あらかじめ勾配を細かく計算した上で、足場を築いて工事に着手していたことが分かる。

工事の次第については、城戸久氏、内藤昌氏による研究のほか、麓和善氏による一連の研究によって考察されている。これらの研究でも触れられているが、宝暦の大修復では天守台北面・西面の大部分で石垣の解体・積み替えが行われている。

2) 宝暦の大修理の史料について

宝暦の大修理に関連する史料の伝来・転写関係は、既に麓氏らの論文(※3)によってまとめられている。史料の作成背景や伝来については改めて検討する必要があるが、まずはこの論文に沿って概略を述べる。

宝暦の大修理関係の史料には、名古屋城に所蔵されている二種類の写本のほか、作事奉行を勤めた寺町平左衛門が所蔵していたと思われる別系統の原本(「寺町家本」)がある。この「寺町家本」は紆余曲折を経て、現在は伊藤家の所蔵となっている。また明治・大正期の『名古屋市史』編纂時に「寺町家本」を影写したものが名古屋市鶴舞中央図書館に所蔵されている。

名古屋城所蔵本二種類は、それぞれ宮内省内匠寮・主殿寮によって作成された近代の写本であり、原本は城戸氏論文に掲載されている陸軍築城部本部所蔵図だと思われる。この原本は尾張藩の「作事方」によって作成されたと推測されるが、現在は所在不明である。

以上から、「作事方本」は尾張藩の公式記録、「寺町家本」は寺町平左衛門による控えてはないかと推測される。宝暦の大修理を検討する上で基本となる史料は名古屋城の所蔵する「作事方本」だが、「寺町家本」には「作事方本」に収録されていない図面類も存在しており、こうした史料については参照する必要がある。

3) 宝暦の大修理と石垣の現況について

天守台の北東隅上部は宝暦の大修理で積み替えが行われている部分であり、下部は積み替えが行われていない部分である。麓和善氏はこの北東隅の石垣に着目し、慶長期の積み方と宝暦期の積み方に差異があることを指摘している。

また西田一彦氏らによる石垣の構築技術についての研究では、現在の天守台における石垣勾配の実測結果と江戸時代の石垣構築技術に関する史料を照らし合わせ、慶長期と宝暦期では勾配の付け方が異なっており、技術的な変遷がみられることを指摘している。さらに天守台石垣が宝暦以後260年間にわたって比較的安定を保っていることから、宝暦期に用いられた構築技法は慶長期の構築技法よりも安定性が高いことを指摘している。

4) 参考文献・史料

- ・ 参考文献
 - ※ 1 城戸久「名古屋城天守宝暦大修理考」『建築学会論文集』第22号、1941年
 - ※ 2 内藤昌編『日本名城集成 名古屋城』小学館、1985年
 - ※ 3 麓和善・加藤由香「名古屋城大天守宝暦大修理に関する史料と修理計画について」『日本建築学会計画系論文集』638号、2009年
 - ※ 4 麓和善・加藤由香「名古屋城大天守宝暦大修理における石垣工事について」『日本建築学会計画系論文集』645号、2009年
 - ※ 5 麓和善「名古屋城天守宝暦大修理における石垣積直し工事」『文化財石垣保存技術協議会研修資料集』第1集、2012年
 - ※ 6 西田一彦・西形達明・玉野富雄・森本裕行「城郭石垣断面形状の設計法とその数式表示に関する考察」『土木学会論文集』750巻3-65号、2003年
 - ※ 7 西田一彦「名古屋城天守台石垣の修復と形態、構造の変遷」2014年6月22日 第34回土木史研究発表会 資料
- ・ 史料
 - ※ 1 「御天守御石垣取解築方起指図」(名古屋城所蔵)
 - ・ 石垣の取崩し、積み上げ過程を立体的な図面で示したもの。
 - ※ 2 「御天守御修復仕様平之方ヨリ見渡之図」(名古屋城所蔵)
 - ・ 天守の平側(西側)から見た修復過程を示した図。石垣を修復する際の天守本体の支え方や、堀中に組まれた栈橋・足場・井楼の位置と構造が分かる。
 - ※ 3 「御天守御修復仕様妻之方ヨリ見渡之図」(名古屋城所蔵)
 - ・ 天守の妻側(北側)から見た修復過程を示した図。※ 2と同様のことが分かる。
 - ※ 4 「遣方(やりかた)勾配寸尺之図」(名古屋城所蔵)
 - ・ 石垣の勾配を定めるための型板図で、この型板を「遣方」と呼称していると思われる。井楼に組み込まれており、勾配をあらかじめ決めていたことが分かる。
 - ※ 5 「御天守御堀内遣方井楼之図」(名古屋城所蔵)
 - ・ 内堀に建てられた「遣方井楼」の位置が分かる。
 - ※ 6 「遣方西方」(名古屋城所蔵)
 - ・ 「西ヶ輪屋形北面」と記述があり、天守北面を西側から見て勾配の付け方を示した図面だと思われる。
 - ※ 7 「遣方北方」(名古屋城所蔵)
 - ・ 「北ヶ輪屋形西面」と記述があり、天守西面を北側から見て勾配の付け方を示した図面だと思われる。
 - ※ 8 「御石垣屋形方図」(伊藤家個人蔵、名古屋市鶴舞中央図書館が写本を所蔵)
 - ・ 石垣の高さについて実測寸法を示している。場所は※ 6・※ 7と同じく西北隅だと思われるが精査が必要である。名古屋城の写本には存在しない図面である。
 - ※ 9 「御天守御修復取掛りより惣出来迄仕様之大法」(名古屋城所蔵)
 - ・ 宝暦の大修理の工事報告書のような史料。積み替え工程や工法、施工期間について分かる。
 - ※ 10 「国秘録 御天守御修復」(徳川林政史研究所所蔵)
 - ・ 金城温古録の編者である奥村得義によって収集された宝暦までの天守修復記録。三巻から成り、中巻には宝暦の大修理の次第について記述されている。
 - ※ 11 「御天守御修復留」(名古屋市蓬左文庫所蔵)
 - ・ 工事に関する日誌。宝暦2年分の一冊しか現存しないが、作業の実態が具体的に分かる

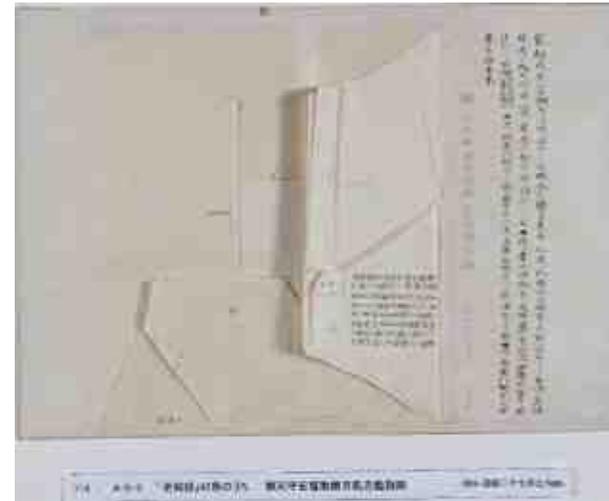


図2 左上:「御天守御石垣取解築方起指図」 左下:「遣方勾配寸尺之図」 右下:「御天守御堀内遣方井楼之図」(名古屋城総合事務所所蔵)

◎ 明治期～焼失前の状況

1) 近代の名古屋城の概要

名古屋城は明治7年(1874)までに段階的に陸軍省の所管となり、明治26年(1893)には本丸が宮内省に移管され名古屋離宮となった。その後昭和5年(1930)に名古屋離宮が名古屋市に下賜され、保存管理のために調査・実測が行われた。昭和実測図は昭和7年(1932)から昭和27年(1952)にかけて作成され、天守焼失前の石垣も図面に描かれている。

2) 石垣関連資料について

この期間の石垣の状態に関する資料は少ないが、明治24年(1891)に発生した濃尾地震の際には、宮内省内

匠事で技師を勤めた木子清敬によって石垣の破損箇所を示した図面が作成されているため、被害状況がある程度分かる。図面によると、特に本丸の堀と西之丸の榎多門周辺では崩壊・孕みが大規模で、御深井丸でも部分的に石垣が崩壊している。

さらに明治25年(1892)には木子による実地検分が行われている。当時の木子の書簡では、大天守・小天守は昨年よりも破損場所が増加し、さらに図面に記載のない天守台北面石垣が孕み出しているため大規模な修繕が必要だとしており、天守台石垣にも震災の被害が確認できる。

濃尾地震による被災状況は明治25年(1892)に撮影された写真からも分かる。小天守の西側にある石垣が明らかに崩壊しており、また二之丸東門の南側石垣も崩壊している。木子の書簡にある天守台北面石垣の孕み出しについては判別しづらいが、北面東側の石垣が孕んでいるようにも見える。

また天守西南にある西南隅櫓については大正12年(1923)に櫓台石垣と櫓本体が宮内省によって修復されている。西南隅櫓は従来濃尾地震で倒壊したと考えられていたが、近年の井上光夫氏の論考で、大正10年(1921)に倒壊したことが明らかにされている。

以上のような状況から、陸軍・宮内省管理期においても城内の石垣修復が行われていたことが推測される。

3) 参考文献・資料

- ・ 参考文献 ※ 1 名古屋編『名古屋城史』1959年
- ※ 2 名古屋城『巨大城郭名古屋城』2013年
- ※ 3 名古屋城『描かれた名古屋城、写された名古屋城』2016年
- ※ 4 石川寛「名古屋離宮の誕生」『愛知県史研究』第12号、2010年
- ※ 5 井上光夫「名古屋城西南隅櫓倒壊時期について」『尾陽 徳川美術館論集』第8号、2012年

◎ 昭和期：震災による焼失(昭和20年(1945)) ～ 石垣積換工事前(昭和27年(1952))

1) 天守焼失による石垣の損傷

昭和20年(1945)5月14日の空襲によって大小天守・本丸御殿などの建造物が焼失し、天守台の石垣も天守炎上のおりを受けて焼損した。焼失後の天守台石垣の状況は新聞掲載用の写真資料などから推測できる。焼損は特に穴蔵の内側で甚大であり、倒壊もみられる。一方、外側の石垣については遠望写真を見る限り目立った倒壊はみられない。

2) 写真から分かること

- a. 撮影されている範囲に限ると、穴蔵の内側の石垣と出入口・明かり取り等の開口部の外周部はすべて焼損し、丸みを帯びていることが分かる。
- b. 楕形、開口部周りの角に崩壊している部分がある。
- c. 大天守西面の北側よりには慶長の創建時の計画変更の跡と考えられる切抜の痕跡がある。

3) 参考文献・資料

- ・ 参考文献 ※ 1 名古屋城『描かれた名古屋城 写された名古屋城』2016年
- ・ 参考資料 ※ 1 新聞記事(名古屋タイムズ・中日新聞)

◎ 昭和期：石垣積換工事着手(昭和27年(1952)) ～ 天守閣再建工事着手前(昭和32年(1957))

1) 石垣積換工事の概要

昭和25年(1950)、内部石垣の積換を行うため、名古屋市から文化財保護委員会に国庫補助の申請が出された。申請資料によると、内部石垣は焼損がひどく、放置すれば外側石垣も崩壊する恐れがあったため、さらに城再建時には外側石垣を現況のままにして施工できるように積換を実施するとしている。積換工事は昭和27年(1952)3月から昭和31年(1956)3月まで数回に分けて行われた。

2) 石垣積換工事の計画と実施状況

積換工事は昔の石垣の景観を損なわないよう計画されていた。昭和28年(1953)11月2日付名古屋タイムズでは、文化財保護委員会から名古屋市に対して「種々の石垣が組合った昔のままのものが眺められるように」との注文が出されており、焼損した石の8割を積換えるよう計画していることが分かる。積換工事後の昭和34年(1959)9月21日付中部日本新聞の連載記事では、実際の工事でも焼けた石が新材に積み換えられていたことが分かる。

また昭和30年(1955)1月13日付中部日本新聞夕刊の記事によると、積み替えの際は原型のまま完成させるように徹底されており、石の大きさ・形・石積方法・形態が往年の状態でも復元されるように工事を進めていたことが分かる。

先述した国庫補助申請書には内部石垣積換工事の計画図が付属しており、計画段階での施工範囲・施工方法が記録されている。施工方法をみると、穴蔵石垣の地中に根石を埋め、石垣の露出面に石を積み替え、積石の背面にはコンクリートを入れて補強している。また外側石垣の露出面は現況のまま、背面に土吹付コンクリートを入れて補強している。石垣上部にできた隙間には礫を埋め戻し、石垣の頂上部にあたる天端には防水舗装を施している。

ただし新聞記事や竣工写真から確認できる範囲では、計画図面通りに施工されていない可能性がある。さらに地中の根石などの積み替えを実施したかは確認できず、内側積石背面のコンクリートも確認できない。

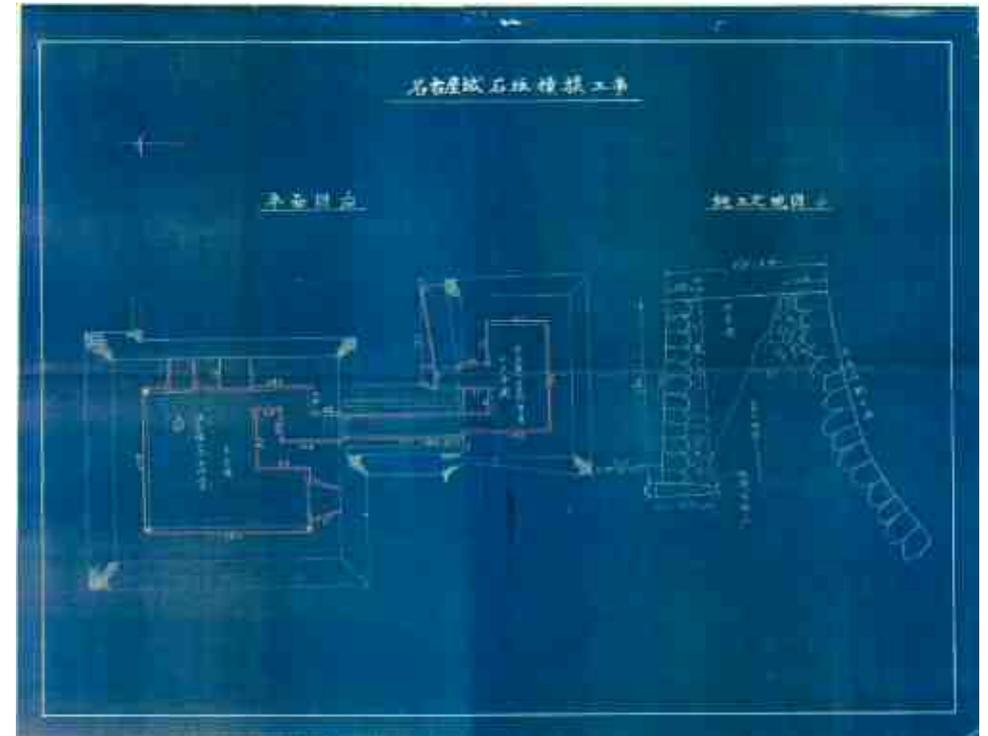


図3 「名古屋城天守閣小天守閣渡り内部石垣積換及び天端並に廊内防水舗装工事国庫補助の件申請」(愛知県教育委員会所蔵)

3) 参考文献・資料

- ・ 参考文献 ※ 1 名古屋編『名古屋城史』1959年
- ・ 参考資料 ※ 1 「名古屋城天守閣小天守閣渡り内部石垣積換及び天端並に廊内防水舗装工事国庫補助の件申請」
昭和25年10月17日名古屋市
- ※ 2 「昭和31年3月竣功名古屋城天守閣跡石垣積換工事写真帖」名古屋城総合事務所
- ※ 3 新聞記事(名古屋タイムズ・中日新聞)

◎ 昭和期：天守閣再建工事期間 昭和32年(1957) ～ 昭和34年(1959)

1) 概要

天守閣の再建工事は昭和32年(1957)にはじまる。前年から実施計画が練られ、天守閣の重量を支えるために建物の基礎となるケーソンを穴蔵の下に沈設し、石垣に負担をかけない方法が採用された。このケーソンなどの設置作業のため石垣の取り外しが必要となり、部分的に積み替えが行われた。特に内側石垣は大天守・小天守ともに大幅に崩され、小天守四隅の石垣が削り取られたという。また大天守石垣の天端の一部が崩されており、外部石垣の上部については積み替えが行われたことが分かる。さらに外側石垣の背面にはモルタルを注ぎ込んで補強している。

2) 『名古屋城再建』にみえる石垣記事

名古屋タイムズの工事関連記事をまとめた『名古屋城再建』によると、ケーソン沈下工事の際に本来の礎石が取り除かれている。また小天守のケーソンの持ち出し梁が外側に突き出したため、四隅にある内側石垣を削りとっている。

ケーソン沈下工事完了後に鉄骨組立工事が行われ、それと並行して工事のため解体されていた石垣の積み替えと修復が行われた。天守台外側石垣は経年変化で不安定な状態になっており、特に北面は東側が孕み出して崩壊の恐れがあったため、築石の間にモルタルを注ぎ込む補強作業が行われた。注ぎ込むときに漏れ出さないよう、あらかじめ割目に粘土を詰めていたという。

積み替えでは、既存の石垣のほか、解体した正門北側穴門の旧材と新規に用意した恵那地方の御影石を使用している。さらに小天守から大天守に渡る劔塀の石垣も積み直され、戦災で破損した石種も新しい石材で復元されている。

また石垣積み替えの際に、天守台北東隅で石仏や墓石が発掘されている。名古屋タイムズの記事では慶長年間に石垣として積まれたものだと推測している。

3) 『名古屋城改築工程写真』

工事の写真記録である『名古屋城改築工程写真』には、再建工事中の石垣も写っている。写真にある注記には、大天守のケーソン沈下時石垣上部に変形が生じたこと、東南隅の石垣が陥没したことが記されており、その他の写真からも穴蔵の内側を中心に石垣が大幅に崩れている様子が分かる。また鉄骨組立工事中の写真では、天守台の天端が取り除かれている様子も分かる。

4) 参考文献・資料

- ・ 参考文献 ※ 1 名古屋編『名古屋城史』1959年
- ※ 2 名古屋タイムズアーカイブズ委員会編『名古屋城再建』樹林舎、2010年
- ・ 参考資料 ※ 1 『名古屋城改築工程写真』
- ※ 2 新聞記事(名古屋タイムズ・中日新聞)

- ・ 天守閣再建工事竣工 昭和34年(1959) ～ 平成期(現在)までの状況

1) 石垣の現況と調査履歴

天守閣再建後の天守台石垣の修復履歴はなく、現況の天守台石垣は再建工事中に一部が積み直されて以降、大きな変化はない。

名古屋城各所の石垣については、昭和45年(1970)御深井丸北側の石垣32mを修復して以来、本丸を中心に計17度の石垣修復整備が実施されている。

2) 参考文献・資料

- ・ 参考文献 ※ 1 名古屋市『名古屋城石垣災害・補修一覧』平成14年度(2002年)
- ※ 2 名古屋市『特別史跡名古屋城跡保存活用計画』2018年

- ・ 石垣の変遷まとめ(慶長築城期 ～ 現在まで)

1) 天守台石垣

- ・ 慶長15年(1610)の石垣普請終了後、天守本体建築までに計画が変更され、石垣の配置も変わったため普請に当初の痕跡が残された。このうち切抜については天守台の西面上部にあるため宝暦期から認識されてい たが、堀中の遺構と小天守西南内側の遺構は視認できない位置にあり、昭和再建期に改めて発見されている。
- ・ 宝暦の大修復ではおもに西面・北面の石垣が解体修理された。慶長期と宝暦期では石積みが異なり、また修復図面も残されているため、当時の図面史料と実測調査結果を照らし合わせると、宝暦期に積み直された場所と築造技法の変化が確認できると思われる。
- ・ 宝暦の大修復以降は戦災焼失まで大規模修理が行われないため、戦前までの石垣は基本的に宝暦期の状態を維持していたと考えられる。特に外側表面の石垣については焼失時に目立った損壊がなく、天守閣再建時に天端部分を積み替えているものの、大部分は戦前の状態と大差ないと思われる。つまり外側表面石垣のうち、西面・北面石垣の大部分は宝暦期に修復された状態、東面・南面の大部分と北東隅・南西隅の下部は慶長期に築造された状態ではないかと推測される。

- ・ 穴蔵内側石垣は天守本体の焼失にともなって焼損し倒壊もみられる。昭和27年(1952)から昭和31年(1956)にかけての積換工事で積み直された際は、焼損の激しい石が新たな石材に取り換えられている。さらに昭和の再建工事中にも石垣の取り外しや崩壊があり、工事途中で再び積み替えをしている。ただし石垣積換工事の際には積換前の石垣を写真・図面で記録し、昔の再現をするよう徹底した工事を行っている。

- ・ 天守台の外側石垣背面は昭和再建期にモルタルを注ぎ込んで補強していることが明らかで、この時期にかなりの改変を受けていると思われる。また積換工工期の計画図面では内側石垣背面にコンクリートを入れているが、背面のコンクリートは確認できておらず、計画が変更された可能性がある。

- ・ そのほか、明治24年(1891)の濃尾地震の際には北面東側に孕み出しができたという記録があり、昭和再建期にも北面東側に孕み出しがあったとされる。『名古屋史』p429によると、天守の北面・西面は沈下しやすいうえ、昭和の再建工事当初に測量したところ、西北隅と東南隅の高低差が55cmあったという。

2) 小天守の石垣

- ・ 小天守の石垣については慶長期以後江戸時代を通して史料が少ないため詳細は不明である。明治24年(1891)の濃尾地震では小天守西側の石垣が崩壊しており、このときに石垣を積み替えて修復された可能性がある。
- ・ 内側の石垣は大天守と同じく戦災によって焼損しており、積換工事が行われている。また昭和再建期にケーソンを沈下させる際に内側四隅の石垣を削り取っているという新聞記事がある。また小天守と大天守を結ぶ劔塀(橋台)の石垣もこのときに積み直されている。

3) その他の石垣

- ・ 慶長期の築城以後、風水害や地震によって倒壊した際には各所で石垣を修復している。修復についての記録は宝暦以前には多く見られるが、宝暦以後はあまり見られない。これは修復自体が減ったのではなく記録に残されていないことによると推測されるが、詳細は不明である。
- ・ 慶長19年(1614)には、福島正則の担当分である「天守北東側石垣」が崩れ、福島が家臣を派遣して修復しているが、天守台は福島の担当ではないため、御深井丸との境界付近の石垣だと考えられる。
- ・ 明治24年(1891)の濃尾地震でも各所の石垣が崩壊しており、修復されたと考えられる。また戦後の新聞記事では名古屋市の所管外であった外堀の石垣が崩壊しかかっていることが分かる。
- ・ 昭和再建期以降、本丸を中心に17度の石垣修復整備が実施されている。

- ※ 実地調査については、継続的に行うため、来年度以降は調査研究センターの設置を検討するなど、体制の強化をはかる。

(1)-2 古写真との比較

天守台石垣の修理履歴を明らかにするため、戦災以前に撮影された写真(「古写真」と呼称する)と、現在の石垣の写真と比較した。

天守台石垣面の情報が得られる画像について、傾きや歪みを補正し、現在の石垣のオルソ画像と比較した。違いが認められた場合は、その境界を線で結び、積み替えラインとし、後述する石垣カルテにも反映させた(方法は図5参照)。以下では、天守台石垣の現況を述べる。その際、今回の調査で付与した石垣管理ナンバーを用いることとする。管理ナンバーは図4のとおりである。

検討した石垣は、下記の通りである。

- ・小天守 東面H136、西面U58、南面H135、北面 H137-139
- ・大天守 東面U62、西面U60、南面U59、北面U61

この調査の報告は資料編にまとめた。ここでは結論を中心に述べる。

現在の石垣との相違は、H136を除きすべての面で認められた。いずれの石垣においても、石垣上位部分に積み替えの痕跡が認められる。隅角石は除き、辺の中央でやや積み替え幅が広がっている。

写真撮影時から現在までの間で外部石垣に最も多くの改変が加えられたのは、戦災後、現天守閣再建の工事までの間であり、今回認めた積み替えラインが生じたのも、その際であると思われる。

表1 古写真との比較結果

石垣No.	史実調査
	戦後石垣積み替え
U58	あり
U59	あり
U60	あり
U61	あり
U62	あり
H135	あり
H136	なし
H137	あり
H138	あり

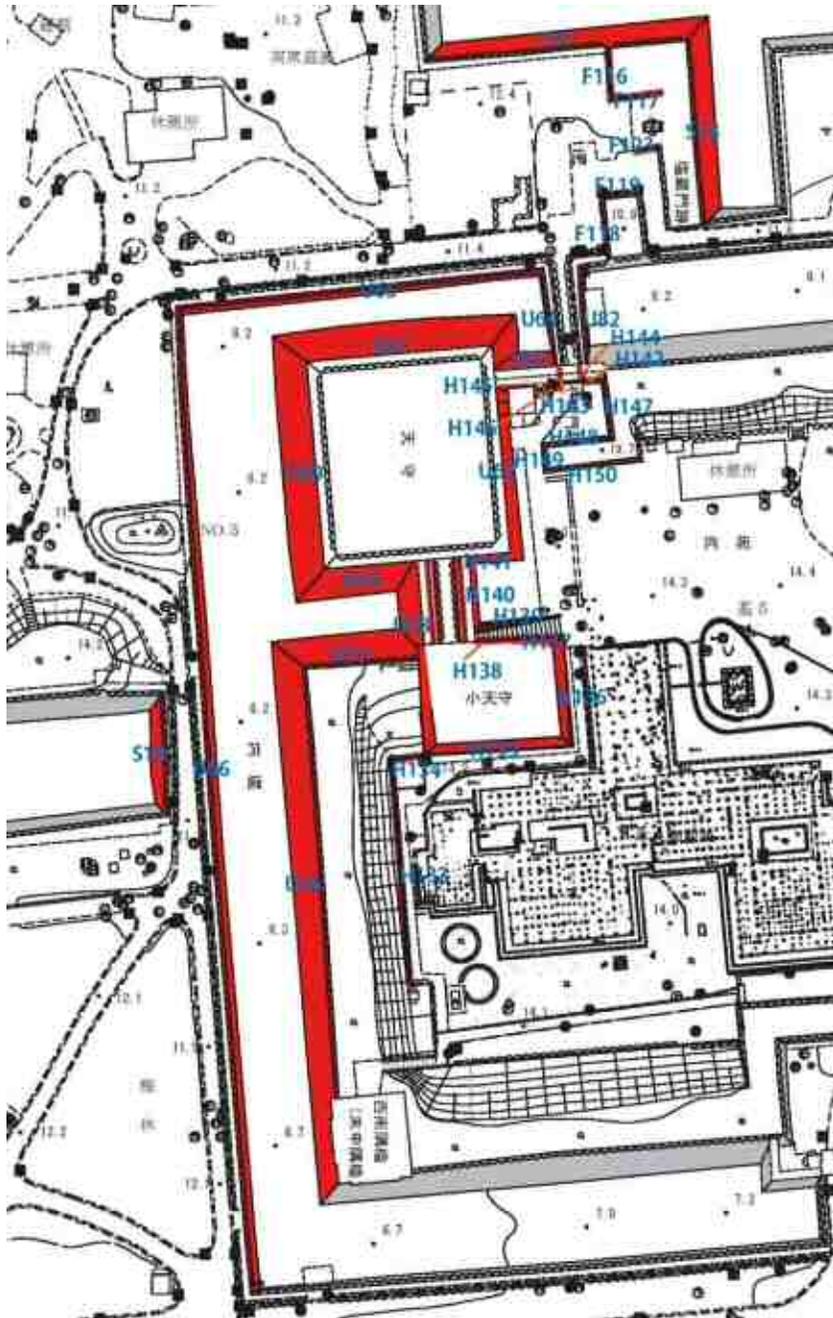


図4 天守台外部石垣番号

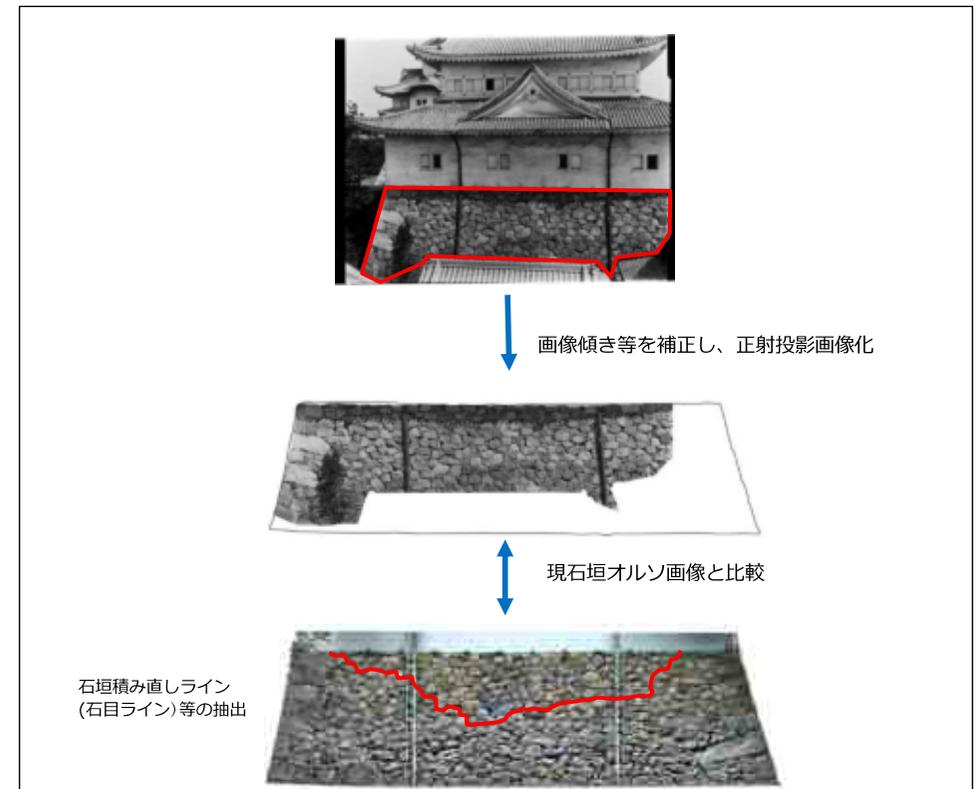


図5 古写真との現石垣の比較方法

(2) 測量調査

○ 調査目的

石垣カルテ作成など、石垣調査の基礎資料とするために石垣の測量を行う。計測した記録については石垣の保存と修理に活用するとともに、石垣の変異確認のための検証資料としても用いる。

○ 調査方法

現状の石垣全体をレーザースキャンにてミリ単位で計測する。合わせて写真撮影を行い、詳細な平・立面図、石垣縦横断面図を作成して現状を把握する。今後段彩図についても同様に作成する。現在までに作成されている図面については以下の通りである。

1) 石垣立面図の作成

対象の石垣について測量を行い、石垣の立面図を作成し、築石・間詰石の目地や抜け落ち等の表面の状況を記録する。測量は一面ごとを単位とし、築石に対して番号を付与し、元の位置が確認できるようにする。

情報の取得はカラーとし、障害物(草木・地被類・土の付着等)の除去及び清掃を行い、石垣の状況が明確に記録できるようにする。

図面はデジタル形式で測定・描画された線形の3次元データとする。測定描画は各石の重なり状況に留意して行う。表現事項は、積石の輪郭線、稜線、間詰石、加工痕、亀裂・剥離状況、刻印および等高線等とする。

2) 石垣縦横断面図の作成

立面図を作成した石垣について、石垣の縦断面図および横断面図を作成し、築石の積み方や石垣の矩反りを記録する。そして石垣の孕み出しの有無や程度などの表面の状況を記録する。縦断面図および横断面図ともに、基本的に1.0m毎にグリッドを引く。

3) 石垣平面図の作成

石垣の平面図を作成し、既存の地理的な平面図に合成する。平面図には石垣ごとに石垣番号を付し、石垣管理における現況図とする。

(3) 石垣カルテの検討

○ 調査概要

1) 調査目的

本調査における目的は、石垣の文化財保護の観点から現状を把握することである。そのために石垣の現状について目視による調査を行い、石垣の変状箇所、変状の様相について調査票、石垣カルテにまとめる。また変状箇所については個別に写真撮影、記録を行い、変状の詳細について記録する。そして得られたデータを今後の石垣管理の基礎資料とし、適切に石垣整備の内容・工程を検討するために、石垣調査を実施する。

2) 調査方法

石垣測量において作成した石垣オルソ画像を用いて記録を行なった。現地調査にて記録した調査票、石垣変状箇所の記録(カルテ画像)、変状箇所個票についてはオルソ画像上にまとめた。また前述のように、史実調査の際に明らかとなった積み替えラインについては石垣カルテに反映させた。

3) 天守台石垣の石垣カルテ

記述は大天守、橋台部、小天守の順に並べ、それぞれの箇所から時計回りに行う。

○ U59(大天守南面)

大天守南面は橋台部を挟んで西側と東側に分断されており、U59は西側に位置する。全長(裾部)約21.5m、全高(中央部)19.1m、総面積383.1㎡である。

石垣左端はU60との出隅で算木積み、右端はU58との入隅となる。築石部は布積みであり切込接ぎを主とするが、裾部付近や中段右側(U58との入隅付近)等で一部乱積みが認められる。石材の種類は花崗岩系や砂岩を主とし、石材の表面加工はノミ、タタキである。

中段部隅角部から石垣中央の築石部にかけて弱い孕み出しが認められる。また中段部右端から石垣中央の裾部にかけて被熱が認められる。石材の割れや表面劣化については被熱範囲に集中しているものの、U60との出隅部角石、角脇石、裾部築石部等にも認められる。抜け落ちについては、間詰石の小規模な抜けが中段部から裾部の築石部において確認できる。

天端部付近から右端U58天端部付近へとつながる現天守閣建設時の積み替えと考えられるライン、左端中段部より天端部付近へとつながる近代以前の積み替えに由来すると考えられるライン、同じく左端中段部より右端U58天端部付近へとつながるラインの3つのラインが確認された。

○ U60(大天守西面)

全長(裾部)約56.0m、全高(中央部)19.5m、総面積882.5㎡である。

両端は出隅で算木積みであり、築石部は布積みを主とするが、裾部等一部乱積みの箇所も存在する。石材の種類は花崗岩系や砂岩を主とし、石材の表面加工はノミ、タタキである。

中段部の築石部を中心に広範囲にわたり被熱が確認できる。石材の割れや表面劣化もほかの石垣同様被熱範囲を中心に広がっている。しかし被熱範囲以外にも天端部隅角部、中段部の隅角部と築石部、裾部築石部に石材の割れや表面劣化が認められる。また裾部左隅角部に間詰石の抜け落ちがみられた。

天端部に現天守閣建設時の積み替えライン等が認められる。また、裾部右隅は石材の種類や石積み技法が他の石垣と異なることから、近代以前の積み替えに伴うラインであると考えられる。

○ U61(天守台北面)

全長(裾部)約51.3m、全高(中央部)19.5m、総面積795.6㎡である。

両端は出隅で算木積みであり、築石部は布積みと乱積みである。乱積みは左裾部付近等に認められる。石材の種類は花崗岩系や砂岩を主とし、石材加工はノミ、タタキを主とする。詳細調査により、天端石にはドリル痕も確認された。

中段部から裾部中央部よりやや東側に強い孕み出しが認められる。また石材の割れや表面劣化(一部被熱を含む)については孕み出し部に多く認められるが、その他にも天端部の隅角部や中段部の隅角部と築石部、裾部の築石部で確認される。抜け落ちはあまり顕著ではなく、裾部の築石部や中段部の築石部に間詰石の若干の抜け落ちが確認される。

さらに築石部の特徴として、石垣中央部より右側は矢穴幅が4~5cmの小型のものが右側に広がっている。

詳細調査により、右隅角部の角石の割れについて、U61の面では割れの部分をモルタルで接着し補修している。補修がなされた石材はU60側の面も割れているが、そちらの方はモルタルによる接着ではなく、割れた部分に石が詰められている。

天端部付近に現天守閣建設時に由来する積み替えラインが確認される。またほかにも中段部隅角部より裾部築石部へとつながるラインと右裾部に認められるラインがあり、計3つのラインが確認された。天端部付近のライン以外の2つのラインは特に宝暦大修理に由来する可能性が高い。

○ U62(大天守台東面)

北側の隅角部付近は内堀に面しているが、それ以外の部分については本丸に位置している。全長(裾部)約35.6m、全高(右端部)高さ約19.5m、総面積約523.6㎡である。

両端は出隅で算木積みであり、築石部は布積みと乱積みである。石材の種類は花崗岩系や砂岩を主とし、石材の表面加工はノミ、タタキである。

一部築石や間詰石の突出が認められる。また中段部から裾部にかけて広範囲に被熱が認められる。石材の割れや表面劣化についても被熱範囲を中心に確認できるが、その他隅角部にも石材の割れが顕著にみられる。中段部築石部下方および裾部に間詰石の抜け落ちが若干確認できる。

ほかの天守台石垣と同様に、天端部付近から中段部上部にかけて、水平方向にラインが認められる。最も上方のライン◎は戦後の現天守閣建設時の積み替えに由来するものと考えられる。それ以外のラインについては、近代以前の積み替えに由来すると考えられる。

○ H141(大天守南面東側)

大天守南面は橋台部の西側と東側に分けられ、H141は東側に位置する。全長(裾部)約10.2m、全高(中央部)11.9m、総面積119.6㎡である。

左端は大天守の入口部で右端は出隅となる。両端は算木積み、築石部は乱積みで構成されている。石材の種類は花崗岩系や砂岩を主とし、石材表面加工はノミ、タタキが認められる。

中段部から裾部の広範囲に被熱が認められる。また中段部と裾部の隅角部から築石部まで全面に石材の割れや表面劣化が認められ、中段部の築石部には間詰石の抜け落ちが確認できる。

中段部下方に石積み技法が異なることなどから近代以前の積み替えに伴うと考えられるラインが認められる。

○ H140(橋台部東面)

全長(裾部)約13.4m、全高(中央部)6.9m、総面積119.2㎡である。

石垣は橋台部に位置するため両隅角部は入隅であり、築石部は乱積みで構成される。石材の種類は花崗岩系や砂岩を主とし、石材表面加工はノミ、タタキが認められる。

中段部から裾部まで全面にわたり広範囲の被熱が認められる。また中段部と裾部の築石部には石材の割れや表面劣化および間詰石の抜け落ちが確認できる。

石垣上方には左端から右端まで戦後の積み替えに伴うと考えられるラインが認められる。孕み出しやその他変状箇所は認められない。

○ U58(橋台部西面～小天守西面)

U58は内堀内橋台部から本丸上の小天守西面につながる石垣であり、内堀内から小天守まで一面でつながる変則的な形状をしている。全長(天端部)約21.0m、全高(中央部)14.0m、総面積110.6㎡である。

左端はU59と接する入隅であり、中央付近は上部を除きU57との入隅となる。右端は小天守南面(H135)との出隅で算木積みとなり、築石部は乱積みである。石材の種類は花崗岩系や砂岩を主とし、石材の表面加工はノミ、タタキである。

中段部においてU59と接する左端からU57と接する右端まで、広い範囲の孕み出しが認められ、中段部の広範囲に被熱も確認できる。被熱範囲とほぼ同じ範囲で石材の割れや表面劣化が確認できる。また中段部孕み出し範囲内では間詰石の抜け落ちが3か所確認できる。しかしU58でも小天守西面では孕み出しや被熱が確認できない。

U59と接する左端からU57と接する右端までの範囲で、積み替えもしくは作業単位に由来すると考えられるラインが中段部上方に、現天守閣建設時の積み替えと考えられるラインがU58全体の天端部下に認められる。

○ H135(小天守南面)

隅角部は両端とも出隅で算木積み、築石部は乱積みである。石材の種類は花崗岩系や砂岩を主とし、石材の表面加工はノミ、タタキである。

石垣面の天端部右側隅角部から裾部左隅にかけて広い範囲で被熱があり、被熱範囲を中心に広範囲にわたって築石に割れや表面劣化が認められる。また中段部や裾部に間詰石の抜け落ちが数か所確認できる。被熱による劣化や築石の割れ、表面劣化すべてにおいて右隅角部の劣化が顕著である。孕み出し等その他変状点は認められない。左端中段部上方の隅角部から右端の天端部まで現天守閣建設時の積み替えと考えられるラインが確認できる。

○ H137・138(小天守北面)

全長(裾部)約17.2m、全高(左端部)7.7m、総面積94.3㎡である。

石垣右側に小天守の入口部があり、石垣の手前に階段がある。H137・138の石垣は左端から右側入口部にかけて階段状に積み上げられている。隅角部は左端が出隅で算木積み、右端が橋台と接する入隅、築石部は乱積み、入口部は算木積みで構成される。石材の種類は花崗岩系や砂岩を主とし、石材の表面加工はノミ、タタキである。

中段部の隅角部と築石部、裾部の隅角部に石材の割れや表面劣化が認められ、中段部の築石部には間詰石の抜け落ちが確認できる。

隅角部左端より中央部にかけて戦後の積み替えに伴うと考えられるラインが確認できる。孕み出し、被熱範囲、その他変状箇所は認められない。

○ H139(小天守北面)

全長(裾部)約16.0m、全高(左端部)約3.1m、総面積約34.1㎡である。

石垣はH137・138手前の階段部より下方、H137・138とは階段を隔てて同一方向に位置している。隅角部左端は階段の一段目に相当し、右端は橋台部との入隅形状となっている。築石部は布積みと乱積みで構成される。石材の種類は花崗岩系や砂岩を主とし、石材表面加工はタタキが認められる。

中段部の隅角部と築石部、裾部の築石部に石材の割れや表面劣化が認められ、中段部と裾部の築石部に間詰石の抜け落ちが確認できる。孕み出し、被熱範囲、その他変状箇所は認められない。

○ H136(小天守東面)

全長(裾部)約12m、全高(右端部)4.5m、総面積78.0㎡である。

隅角部は両端とも出隅で算木積み、築石部は崩しを含む布積みで構成されている。石材の種類は花崗岩系や砂岩を主とし、石材の表面加工はノミ、タタキである。

石垣面の南側の天端部や全面の中段から裾部にかけて被熱しており、天端部から裾部にかけて隅角部と築石部の全面にわたって石材の割れや表面劣化が認められる。また中段から裾部には間詰石の抜け落ちも認められる。孕み出し等その他変状点は認められない。

4) 調査の所見

ここでは各面で観察された所見をまとめて示し、見出された問題点などを述べる。

大天守台の石垣上部には戦後の積み替えラインや宝暦大修理に伴うと考えられる積み替えラインがみられる。戦後の積み替えラインについては古写真との比較に加え、築石の矢穴の大きさや被熱の有無などについても検討の材料としている。

天守台石垣が創建された慶長期の石垣についても天守台南西隅(U60裾部右隅)や天守台北東隅(U61中段部隅角部から裾部築石部)などにその姿を残している(図6・7参照)。

○ 石垣の孕み出し

弱い孕み出しは各所にみられたが、特にU61に強い孕み出しが確認できる。孕み出しが顕著な部分の上端は石材が細かく割れている。孕み出しの原因を解明するため、石垣背面の状況を確認することが必要である。また、継続的なモニタリングも必要となる。

○ 石材の被熱

ほぼすべての面で確認できたが、H137・H138、H141の小天守入口階段にあたる部分では被熱は認められなかった。戦後の積み替えのためと考えられるが、戦後の積み替えがみられる面でも被熱部分がそのままにしてある箇所が多くあり、積み替えが最小限行われたものであったことが推測できる。

○ 石材の割れ・表面劣化

孕み出しや被熱の影響のある箇所でも顕著にみられる。特にU61天守台北面の孕み出し部の石材の割れは石材が縦方向に割れていることもあり、注意が必要と考えられる。また天守台南西隅、北西隅の隅角部の割れは著しく、角石への力の掛かり方を検討する必要がある。

○ 石材の抜け落ち

築石の抜け落ちに関しては今回対象とした面では確認できなかった。しかしながら間詰石の抜け落ちについては多数確認された。特に孕み出し部における間詰石の抜け落ちは顕著である。また間詰石の中に大型の矢穴や刻印が確認できるものが存在するが、それは積み替えの際に余った築石などを割って間詰石に転用して、空いている箇所に詰めたものと考えられる。

○ 昭和期の積み替え

天守台石垣の各面で、現在の天守閣築造時と思われる積み替えラインが認められる。古写真との比較で確認したラインは、石垣の観察によっても追認される。また、より詳細な調査の際に、小さな矢穴の存在やモルタルの痕跡も確認されている。

表2 天守台石垣カルテまとめ

石垣No.	石垣現況調査(石垣カルテ)				
	孕み出し	被熱範囲	石材割れ・表面劣化	抜け落ち	近代以前の積み替え等に伴うライン
U59	中段部隅角部から石垣中央築石部(弱)	中段部右端から石垣中央の裾部にかけて	被熱範囲に集中 一部U60との出隅部角石、 角脇石、裾部築石など	間詰石 (中段~裾部の 築石部)	左端中段部~天端部付近 左端中段部~ 右端U58天端部付近
U60		中段部の築石部を 中心に広範囲	被熱範囲 天端部と中段部隅角部 中段部と裾部の築石部	間詰石 (裾部左隅角部)	裾部右隅角部
U61	中段~裾部中央部より やや東側(強)	孕み出し部に一部確認	孕み出し部 天端部と中段部、裾部隅角部 中段部と裾部築石部	間詰石 (中段部築石部) (裾部築石部)	中段部隅角部より 裾部築石部 右裾部
U62	築石・間詰石が一部突出	中段~裾部にかける広範囲	被熱範囲 その他隅角部	間詰石 (中段部築石部下方) (裾部築石部)	裾部付近から中段部上部 裾部付近から中段部上部 (計2本)
H140		中段~裾部にかける全面	中段部築石部 裾部築石部	間詰石 (中段部築石部)	
H141		中段~裾部にかける広範囲	中段部隅角部と築石部 裾部隅角部と築石部	間詰石 (中段部築石部)	中段部下方
U58	中段部(弱)	中段部の広範囲	被熱範囲とほぼ同じ	間詰石 (中段部築石部)	中段部上方
H135		天端部右側隅角部~ 裾部左隅にかける広範囲	被熱範囲を中心に広範囲	間詰石 (中段部築石部)	
H137・H138			中段部隅角部と築石部 裾部隅角部	間詰石 (中段部築石部)	
H139			中段部隅角部と築石部 裾部築石部	間詰石 (中段部築石部) (裾部築石部)	
H136	左端天端部、 中段~裾部にかける全面		全面(特に被熱範囲)	間詰石 (中段~裾部)	

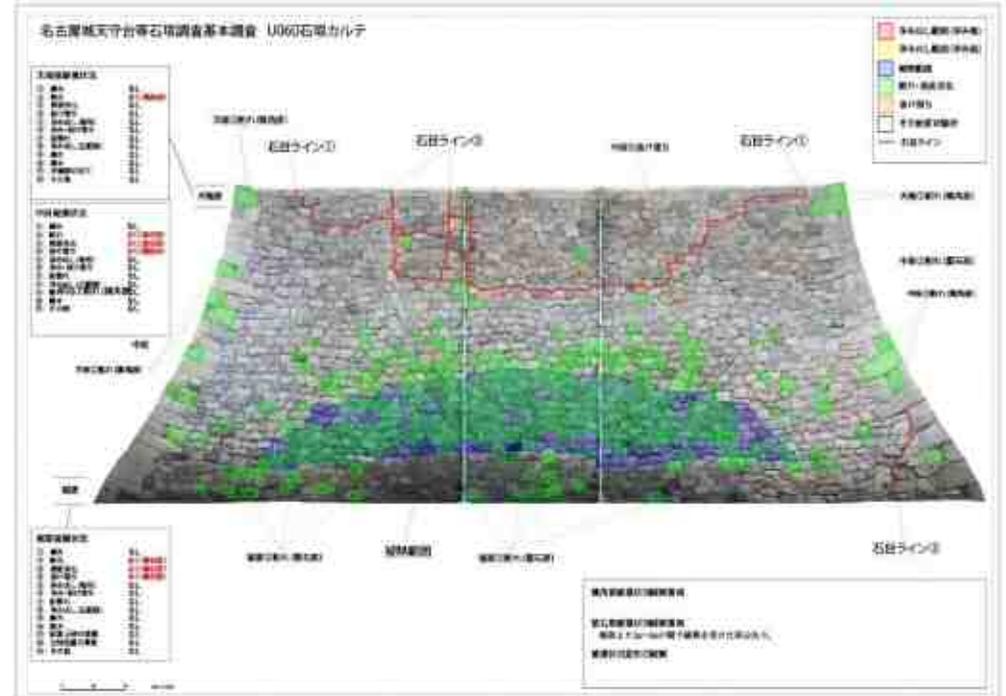


図6 石垣カルテ(大天守台東面)

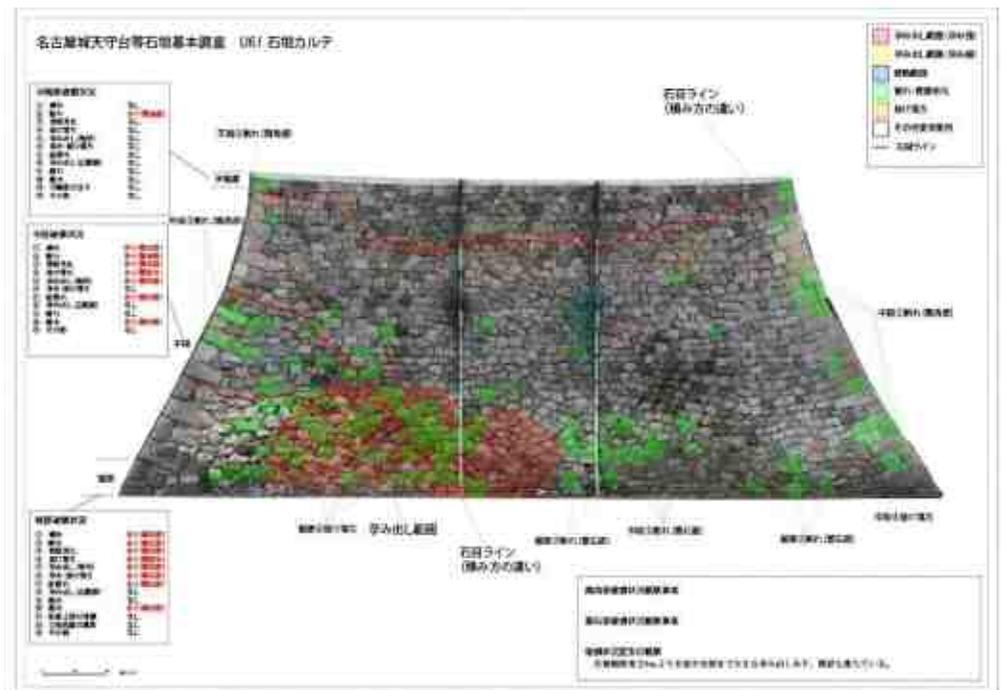


図7 石垣カルテ(上 大天守台西面、下 大天守台北面)

5) 穴蔵石垣のカルテ

隠ぺい部を除く穴蔵石垣については、大天守台の石垣などと同様に石垣オルソ画像を撮影し、オルソ画像を用いた石垣カルテを作成している。また平・立面図や縦横断面図、符番図についても同じく作成している。

ここでは小天守と大天守穴蔵部の特に観覧者の安全確保にかかる検討の基礎資料となる石垣面の石垣カルテについて詳細を述べる。小天守穴蔵、大天守穴蔵、大天守穴蔵明取の石垣の順に並べる。

○ SA01(小天守口御門)

延長約5.1m、高さ約4.0m、総面積約19.4㎡である。

隅角部は両端ともに出隅で、算木積みである。築石部は乱積みで構築されている。石材の種類は花崗岩系および砂岩を主とし、石材の表面加工はアラワリ、ノミ、タタキである。

天端部、中段部に間詰石の抜け落ちが認められ、築石部中段右側に大きな空隙が認められる。目地もしくは間詰石が抜け落ちた部分よりモルタル・コンクリートが充填されていたことが確認できる。

裾部には一部被熱した築石が認められ、他の築石と表面状況が異なることから、積替えラインが考えられる。孕み出し、築石の割れや表面劣化等その他変状箇所は認められない。

○ SA02(小天守口御門)

延長約5.2m、高さ約4.2m、総面積約20.2㎡である。

隅角部は両端ともに出隅で、算木積みである。築石部は乱積みで構築されている。石材の種類は花崗岩系および砂岩を主とし、石材の表面加工はアラワリ、ノミ、タタキである。

間詰石の抜け落ちが天端部、中段部、裾部ともに認められる。また、右隅角部及び築石中段部に一部表面劣化・割れが認められる。裾部には被熱した築石が2石認められ、他の築石と表面状況が異なることから、積み替えされていない可能性が考えられる。孕み出し等その他変状箇所は認められない。

○ SA03(小天守口御門部)

SA03は石垣面のほぼすべてが現天守により隠ぺいされており、現状では隅角部のみ観察可能である。現在の観察可能範囲は、延長約0.5m、高さ約3.6m、総面積約2.0㎡である。

隅角部は算木積みで構成される。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とし、割加工はアラワリ、石材の表面加工はアマダレ状にノミ加工が施されている。

角石部に間詰石の抜け落ちが確認される。孕み出し、被熱範囲、その他変状箇所は認められない。

○ SA04(小天守口御門部)

SA04は石垣面の一部が現天守柱により隠ぺいされている。現在の観察可能範囲は延長約5.1m、高さ約3.6m、総面積約18.2㎡である。

隅角部は両端ともに出隅で、算木積みである。築石部は乱積みで構築されている。石材の種類は花崗岩系および砂岩を主とし、石材の表面加工はアラワリ、ノミ、タタキで構成されている。

天端を除く中段、裾部の築石部、隅角部に間詰石の抜け落ちが確認される。また、中段築石部、裾部隅角部に石材の割れや表面劣化が認められる。孕み出し、被熱等、その他変状箇所は認められない。

○ SA05(小天守奥御門)

延長約4.9m、高さ約3.5m、総面積約16.2㎡である。

隅角部は両端ともに出隅で、算木積みである。築石部は乱積みで構築されている。石材の種類は花崗岩系および砂岩を主とし、石材の表面加工は築石がアラワリ、ノミ、タタキ、隅角部はアマダレ状にノミ加工が施されている。

築石部中段、裾部、隅角部中段に間詰石の抜け落ちが確認される。その他変状点は認められない。

○ SA06(小天守穴蔵西側)

SA06は石垣面左側が一部、現天守の壁により隠ぺいされている。現在の観察可能範囲は、)延長約10.3m、高さ約3.6m、総面積約35.2㎡である。

隅角部は両端ともに出隅である。積み方法は右側が算木積みであるが、左側は隠ぺい部のため、確認できていない。築石部は一部布積み状だが、基本乱積みで構築されている。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とし、石材の表面加工はアラワリ、ノミ、タタキである。

石垣面全体的に間詰石の抜け落ちが確認され、中段築石部に割れ(1石)、付着物のある築石(1石)が確認できる。裾部に被熱を受けた築石(1石)が確認され、被熱を受けた石を含む裾部に積み替えラインが考えられる。その他変状箇所は認められない。

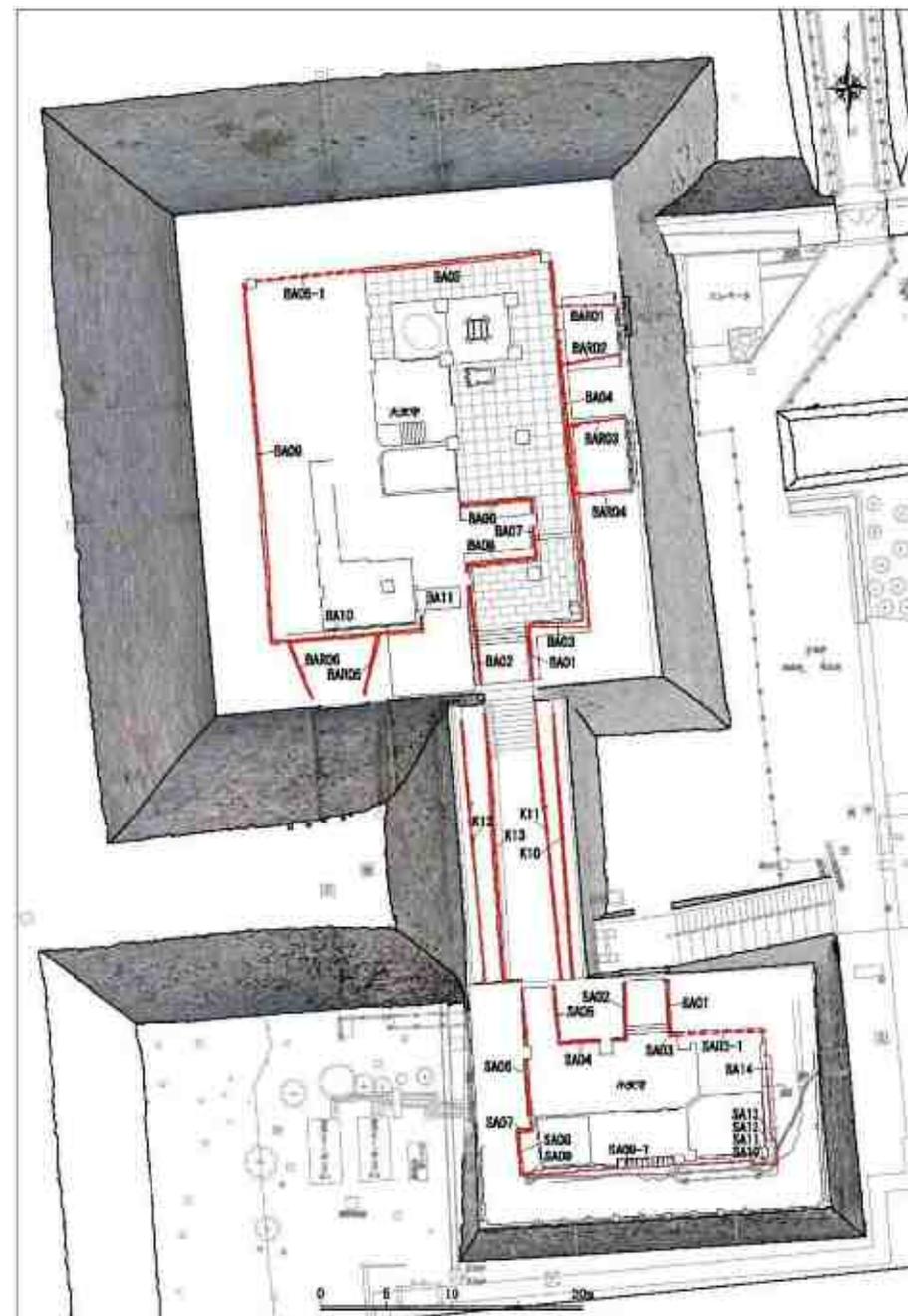


図8 穴蔵石垣位置図

○ BA01(大天守口御門)

延長約5.5m、高さ約5.3m、総面積約25.6㎡である。

石垣は両角ともに出隅、算木積み、築石部は乱積みである。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とし、石材の表面加工はノミ、タキを主とし、角石はアマダレ状のノミ加工が施される。

中段部下方の隅角部や築石部、裾部隅角部に石材の割れや表面劣化と間詰石の抜け落ちが確認される。また、中段下方築石部には被熱を受けた石材が1石認められる。その他変状箇所は認められない。

○ BA02(大天守口御門)

延長約10.3m、高さ約5.0m、総面積約44.2㎡である。

石垣は右隅がBA08と接する入隅、左端はU59と接する出隅で、算木積みである。築石部は布積みと乱積みで構成される。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とし、石材表面加工は築石部がアラワリ、タキ、左隅出隅部がアマダレ状ノミ加工である。

中段部隅角部や築石部、天端部築石部に石材の割れや表面劣化が認められ、中段・裾部の築石部に間詰石の抜け落ちが確認される。中段部と天端部の築石部に被熱を受けた石材が2石認められる。その他変状箇所は認められない。

○ BA03(大天守奥御門)

延長約4.4m、高さ約4.4m、総面積約18㎡を有する。

右隅はBA01と接する出隅、算木積み、左隅はBA04と接する入隅である。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とし、石材表面加工は築石部がノミ、タキ、右隅隅角部がアマダレ状ノミ加工で構成される。

天端部、中段、裾部の隅角部、築石部で間詰石の抜け落ちが確認され、裾部隅角部に割れ・表面劣化が1石認められる。その他変状箇所は認められない。

○ BA04(大天守穴蔵東側)

延長約27.6m、高さ約4.4m、総面積約72.0㎡である。石垣面には2か所の明取が設置される。

左端はBA05と、右端はBA03と接する入隅である。築石部には2か所の明取があり、明取の両端は出隅で算木積みである。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とし、石材表面加工はノミ、タキを主とし、明取算木積み部分はアマダレ状のノミ加工が認められる。

石垣面全体にわたり石材の割れ・表面劣化が認められ、天端部築石部に1石被熱した石材が認められる。また、築石部右側には表面にモルタル・コンクリートが付着した石材が確認される。右側明取下方には墨書が施された可能性がある石材(1石)も認められる。その他変状箇所は認められない。

○ BA05(大天守穴蔵北側)

BA05は西側約3分の1が現天守壁により隠ぺいされており、確認ができていない。現在の観察可能範囲は延長約13.6m、高さ約3.1m、総面積約42.0㎡である。

左端はBA09、右端はBA04と接する入隅であり、築石部は布積みである。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とし、石材表面加工はノミ、タキである。

石垣面全体に間詰石の抜け落ちが認められ、天端部、裾部の築石部で石材の割れ・表面劣化が認められる。また、築石部の中段、裾部に被熱した石材が4石確認できる。その他変更箇所は認められない。

○ BA06(現大天守エレベータ東側)

延長約5.5m、高さ約3.6m、総面積約19.7㎡である。

左隅は出隅で算木積みである。右隅は現天守壁により隠ぺいされており、詳細は不明である。築石部は布積みで構成されている。石材の種類は花崗岩系、石材の表面加工は築石部がノミ加工で隅角部がアマダレ状ノミ加工である。

築石部の中段、裾部に間詰石の抜け落ちが確認され、中段築石部には石材の割れや表面劣化が2石認められる。その他変状箇所は認められない。ビデオスコープでは石垣背面にコンクリート壁が確認された。

○ BA07(大天守奥御門)

延長約4.5m、高さ約4.1m、総面積約13.0㎡である。

左隅はBA03、右隅はBA06と接し、両端ともに出隅で算木積みである。築石部は布積み(切込接ぎ)である。

中段築石部に間詰石の抜け落ちが確認される。また、左隅中段に「東南二」の墨書が認められる。その他変状箇所は認められない。ビデオスコープでは石垣背面にコンクリート壁が確認された。

○ BA08(大天守奥御門)

延長約5.3m、高さ約4.1m、総面積約21.4㎡である。

右隅はBA07と接する出隅で算木積み、左隅はBA02と接する入隅である。築石部は布積みである。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とし、石材表面加工は築石部がアラワリ、タキ、右隅出隅部はアマダレ状ノミ加工である。

石垣全体に間詰石の抜け落ちが確認される。また、裾部築石部に被熱し、表面が劣化した石材が1石確認できる。その他変状箇所は認められない。ビデオスコープでは石垣背面にコンクリート壁が確認された。

○ BAR01(BA04の北側明取)

延長約4.7m、高さ約2.9m、総面積約9.7㎡を有する。

両端ともに出隅であるが、右隅は外部石垣U62と接し、現窓枠等のため、詳細は不明である。両隅ともに算木積みと考えられる。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とする。石材表面加工は築石部がアラワリ、タキ、右隅出隅部はアマダレ状ノミ加工である。

左隅中段の角石に割れ・表面劣化が認められ、石垣面下方を中心に間詰石の抜け落ちが確認される。その他、変状箇所は認められない。

○ BAR02(BA04の北側明取)

BAR02はBAR02の対面に位置し、延長約4.7m、高さ約2.9m、総面積約9.9㎡である。

右隅はBA04、左隅は外部石垣U62と接する出隅で右隅は算木積みである。築石部は布積み状を呈している。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とする。石材表面加工は築石部がアラワリ、タキ、右隅出隅部はアマダレ状ノミ加工である。

中段部と裾部の築石部に石材の割れや表面劣化が認められ、中段築石部石材の一部に被熱が確認できる。また、中段築石部には表面にモルタル・コンクリートが付着した石材が確認される。その他変状箇所については認められない。

○ BAR03(BA04の南側明取)

延長約4.6m、高さ約2.8m、総面積約9.8㎡を有する。

左端はBA04と接し、右端は外部石垣U62と接する。両隅ともに出隅である。左隅は算木積みであるが、右隅は現窓枠のため、詳細は不明である。築石部は布積みである。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とし、石材表面加工は築石部がノミ、タキ、左隅角部はアマダレ状ノミ加工が認められる。

右隅中段に石材の表面劣化が認められ、天端から裾部の築石部に間詰石の抜け落ちが確認される。また、中段、裾部に被熱を受けた石材が2石確認される。その他変状箇所は認められない。

○ BAR04(BA04の南側明取)

BAR04はBAR03の対面に位置し、延長約4.7m、高さ約3.0m、総面積約9.7㎡である。

右端はBA04と接し、左端は外部石垣U62と接する。両隅ともに出隅である。右隅は算木積みで、築石部は布積(切込接ぎ)である。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とし、石材表面加工は築石部がノミ、タキ、右隅角部はアマダレ状ノミ加工が認められる。

天端部築石部に石材の表面劣化が認められ、石垣面全体に間詰石の抜け落ちが確認される。その他変状箇所は認められない。

○ BAR05(大天守穴蔵の南側明取)

延長約5.2m、高さ約2.6m、総面積約10.2㎡である。

右端はBA10と接し、左端は外部石垣U59と接する。両隅ともに出隅である。左隅は算木積みで、築石部は乱積みである。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とし、石材表面加工は築石部がノミ、タキ、左隅角部はアマダレ状ノミ加工が認められる。

中段築石部に間詰石の抜け落ちが確認される。その他変状箇所は認められない。

○ BAR06(大天守穴蔵の南側明取)

BAR06はBAR05の対面に位置し、延長約5.0m、高さ約2.4m、総面積約8.7㎡である。

右端はBA10と接し、左端は外部石垣U62と接する。両隅ともに出隅である。右隅は算木積みで、築石部は上部が布積み、下部が乱積みである。石材の種類は花崗岩系、砂岩を主とし、石材表面加工は築石部がノミ、タキ、右隅角部はアマダレ状ノミ加工である。

左隅裾部及び中段築石部に石材の表面劣化(2石)が認められ、中段築石部を中心に間詰石の抜け落ちが確認される。中段築石部に被熱を受けた石材(1石)が認められる。また、中段築石部、右隅中段にモルタルが付着しており、また判読不明であるが墨書が認められる。その他変状箇所は認められない。



5) 穴蔵石垣カルテまとめ

穴蔵石垣は、昭和27年からの積み替え工事と、現在の天守閣再建時に極めて大規模に改変されていることがわかっている。カルテの作成では、それを追認することとなった。

穴蔵石垣では孕み出しが認められず、石材の割れや表面劣化についてもほとんどみられない。しかし間詰石の抜け落ちは多数確認でき、抜け落ちた穴から石垣背面にモルタルが充填されていたことが確認できる。

被熱した石材はごくわずかに確認できる。中段部や天端部の築石部で被熱している石材については積み替えの際に被熱した石材を再利用したものと考えられる。しかし裾部の築石で被熱しているものについては積み替えられていない可能性がある。その場合、下に根石が原位置で残存していることもあり得ることは注意する必要がある。

いずれにせよ、築石の大半に被熱が認められないことや石垣背面にモルタルが充填されている様子から、穴蔵石垣は現在確認できる部分の大半が戦後の積み替え工事、現天守閣建設に伴う工事によって新たに積み替えられている。石垣根石については戦後の積み替え工事の仕様の通りであれば、根石まで手が加えられているものとみられるが、現時点では観察できず、確認できていない。

表3 穴蔵石垣カルテまとめ

石垣No.	石垣現況調査(石垣カルテ)						備考
	孕み出し	被熱範囲	石材割れ・表面劣化	抜け落ち	その他変状点	積み替えに伴う可能性があるライン	
SA01	なし	あり(少)	なし	間詰石	付着物	あり	モルタル・コンクリート充填
SA02	なし	なし	あり(少)	間詰石	なし	あり	
SA03	なし	なし	なし	間詰石	なし	なし	
SA04	なし	なし	あり(少)	間詰石	なし	なし	
SA05	なし	なし	なし	間詰石	なし	なし	
SA06	なし	あり(少)	あり(少)	間詰石	付着物	あり	モルタル・コンクリート付着
BA01	なし	あり(少)	あり(少)	間詰石	なし	なし	
BA02	なし	あり(少)	あり(少)	間詰石	なし	なし	
BA03	なし	なし	あり(少)	間詰石	なし	なし	
BA04	なし	あり(少)	あり(少)	間詰石	なし	あり	墨書
BA05	なし	あり(少)	あり(少)	間詰石	なし	なし	
BA06	なし	なし	あり(少)	間詰石	なし	なし	背面コンクリート壁
BA07	なし	なし	なし	間詰石	なし	なし	背面コンクリート壁、墨書
BA08	なし	なし	あり(少)	間詰石	なし	なし	背面コンクリート壁
BAR01	なし	なし	あり(少)	間詰石	なし	なし	
BAR02	なし	あり(少)	あり(少)	間詰石	付着物	なし	モルタル・コンクリート付着
BAR03	なし	あり(少)	あり(少)	間詰石	なし	なし	
BAR04	なし	なし	あり(少)	間詰石	なし	なし	
BAR05	なし	なし	なし	間詰石	なし	なし	
BAR06	なし	あり(少)	あり(少)	間詰石	付着物	なし	モルタル・コンクリート付着、墨書

(4) 発掘調査

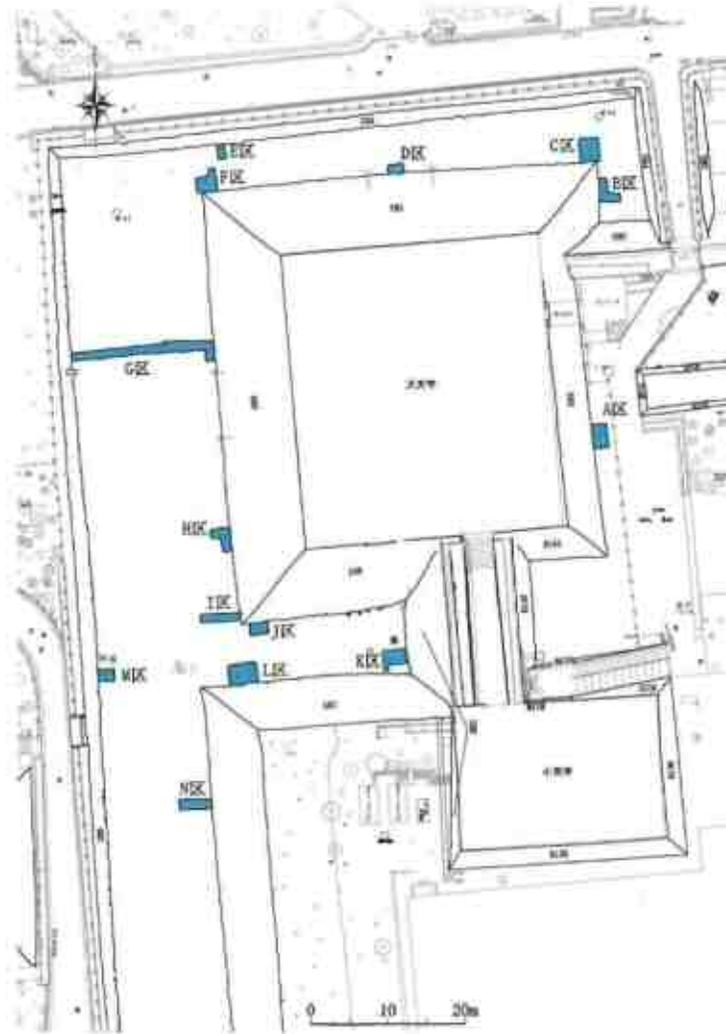


図9 調査位置図

天守台周辺とくに内堀内については、初めての発掘調査であり、石垣の地下部分や「根石」についての状況のみならず、築城当時の土木工事や堀底の経年変化等に関する情報を得ることができた。以下、項目ごとにまとめる。

- ・戦前(第二次大戦前)の堀底層について、B・C・D・E・F・G・M・N地点で確認した。確認されなかった地点については、戦後の現天守閣建設工事での攪乱が原因として考えられる。
- ・地山層についてはC・H・I・M・N地点で検出した。H・I・M・N地点は、天守台西側の内堀に位置し、現地表からおおよそ1.1m程度の深さ、標高5mより少し高いところで共通する。北側内堀では、C地点のみで地山の可能性のある土層を観察しているものの、他地点では確認するに至っていない。G地点では西端部で、1.2mを超えても地山に至らず、築城時からあるいは後世なのか、堀が深くなっていることが推測された。

- ・D・F・G・H地点については、宝暦年間に石垣修理が実施された部分に相当する。宝暦期の修理が、地下部分に及ぶのかどうかについて着目して調査を行った。基本的には地下1石目から築城当初(慶長期)の石垣が残存すると思われる。G区は、おそらく宝暦期と思われる前面の列石等があり、宝暦期の石垣が地下部分1段目まで及ぶ可能性が高い。また、D・G・H地点においては、慶長期の石垣前面にそって幅の狭い掘り込みがあり、瓦片が含まれていることから、築城以降に何らかの目的をもって施工されたものと思われる。憶測をもって可能性を挙げれば、宝暦期の修理の際の施工と推測される。
- ・内堀の西側および北側の石垣つまり御深井丸側石垣については、M・G・E地点で調査を行った。M地点・G地点では石垣前面近くまで、瓦片が集中して堆積する様子が観察された。現時点では、宝暦期の修理に伴う集積と推測することとどまる。G地点西端では、根石と思われる石下端は盛土で押さえられていると思われ、M地点では後世(宝暦期?)の攪乱が、根石下端に及ぶことが考えられる。M地点では石積が粗く、後世に積み直しが行われている可能性が高いことから、積み直しに伴う掘削等により、盛土層が一部削平されている可能性が指摘できる。
- ・今回唯一、入隅近くの調査となったK地点では、石垣地下部分の下部前面に、角礫等で入念な捨石積みが行われていることが判明した。
- ・小天守側石垣(U56とU57)では、濃尾地震被災(明治24年/1891年)により、角隅部を含んで修理を行っている。L地点では、修復の際の工事痕跡と思われる状況が観察され、N地点では、修理工事の際の攪乱と思われる土層が検出された。
- ・N地点では、石垣前面を強化するための版築状の盛土層の施工がみられた。
- ・今後カルテ等と合わせて慎重に石垣の状態・劣化等に対処していく重要性を感じる。
- ・今回の発掘調査における見解として、石垣地下部分での不安定要素は天守台においてはほとんど認められなかった。一方、周辺の御深井丸側や小天守西側石垣では、後世の積み直しに伴う地下部への影響を考慮する必要があると思われる。

以下、今回の調査で、特に着目すべき地点について、ここで示す。

★F地点

調査概要 F地点は大天守北面(U61)石垣の西端隅角部に相当する。大天守北面隅角部の根石状況と積み直し履歴の確認、戦前堀底層及び創建当時の盛土層の有無確認、及び石垣安定性の確認を目的に調査を行った。

調査結果 地表より下へ二石目の角石上半までを確認した。検出した角石は地上部の角石材と比べて小型に見え、石底までの掘削は危険であると考えられたため掘削をとどめた。



写真F-1 石垣地下部分状況/北から



写真F-2 石垣地下部分状況/西から



写真F-3 石垣地下部分状況/北から
角石の上半を加工している様子。



写真F-4 深堀部分/左下、西から
盛土層の上面を検出した。

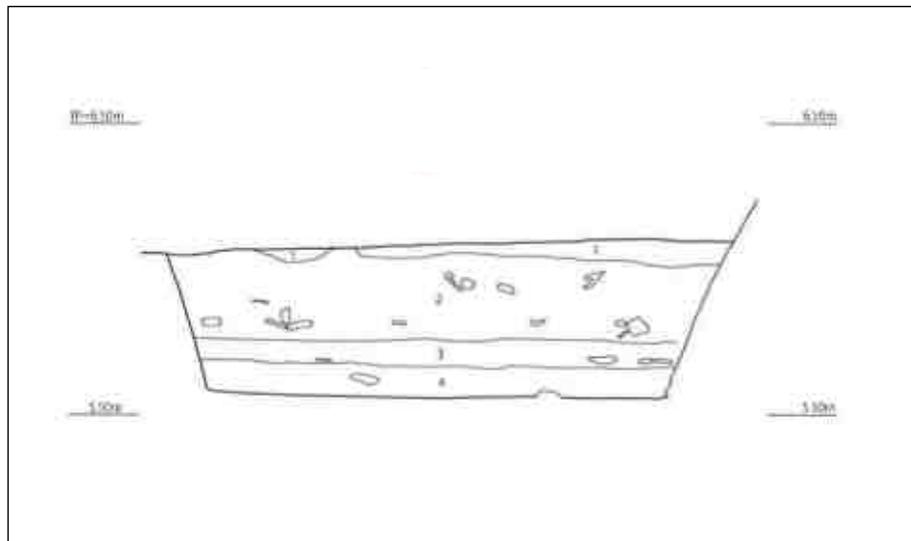


図10 F地点 東壁土層図

[F地点 東壁土層図]

- 1層 表土層(湛水状態が長く、グライ化している。)
- 2層 明褐色土めだつ、戦災ガラ層
- 3層 黒褐色土/旧表土(旧堀底)
- 4層 近世埋土/瓦片めだつ

今回、検出された地下の角石は、旧表土(旧堀底面)より上の部分が、地上部の勾配に合わせるため加工されていたと推定される。土層堆積としては、表土下より戦災層(焼土層)及び戦前堀底層を確認した。また、戦前堀底層の下方より創建時と思われるブロック混土の盛土層を検出した。

安全性を考慮して掘削し、また保存を優先したため、地山層の確認には至らなかった。

★I地点

調査概要 I地点は大天守台西側(U60)石垣の南端に設定した。大天守台南西側の隅角部根石の安定性、積み直し履歴の確認、戦前堀底層、地山層の有無確認を目的に調査を行った。

調査結果 I地点では良好な土層の堆積状況が確認され、戦災層・戦前地表土(旧堀底層)が残り、瓦の混じる層をはさんで、築城時と考えられるブロック混土や砂質土の盛土層が堆積していた。地表からおよそ120cmのところでは、地山と思われる砂質土層を確認した。

石垣前面部では、最下段の石の下端付近まで掘削を行った。

これらの捨石は、最終的には、断面観察から砂質の盛土層に掘り込まれた地業掘り込みの埋め戻しに伴って、埋積したものと推測している。

地山直上で観察された盛土層のうち、ブロック混土の15層は、20cmの厚さがあり、溝状の平面形を呈す砂質土である12層に切られていた。どちらも、出土遺物はなかった。

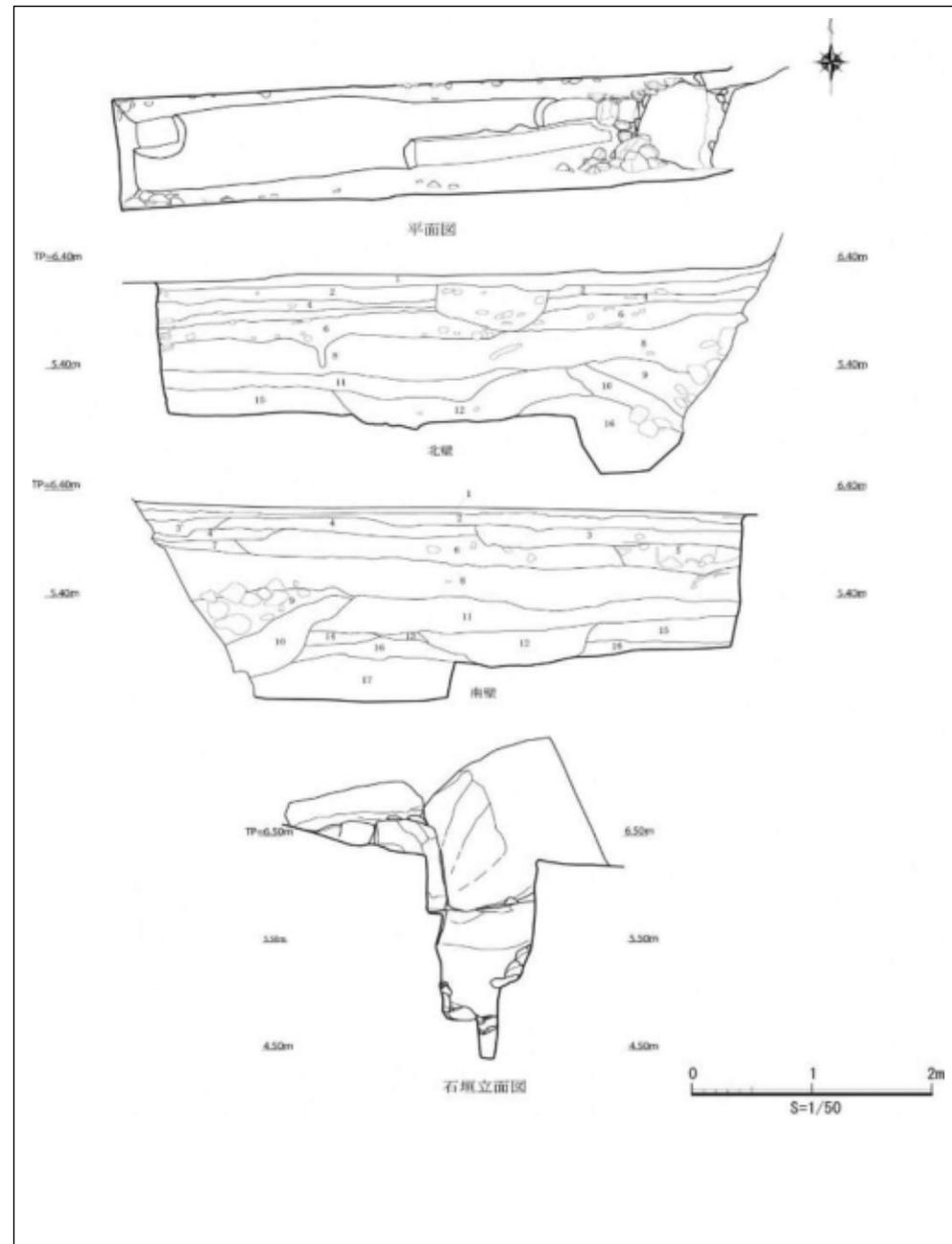


図11 I地点 土層図

[J地点 土層図]

- 1層 表土層(芝養生土)
- 2・3層 現代堆積土
- 4層 暗赤褐色土めだつ、戦災ガラ層
- 5層 攪乱層の一部
- 6層 近世から近代埋土
- 7・8層 近世埋土/瓦片めだつ(宝暦期か?)
- 9・10層 地業埋戻し土/砂質土
- 11層 築城時盛土層/砂質土
- 12層 築城時盛土層/掘り込み、砂質土
- 13・14層 築城時盛土層/砂質土
- 15層 築城時盛土層/ブロック混土
- 16・17層 地山/砂質土

★J地点

調査概要 J地点は大天守台南面(U59)の西側隅角部に設定し、根石の安定性、積み直し履歴の確認、戦前掘底層の有無確認を目的に調査を行った。

調査結果 U59石垣西側隅の角石の下端レベルまで掘削を行い、「加藤肥後守内 中川太良平」の刻印のある角石を確認した。地表から角石下端まで戦後の攪乱が著しく、もともとの堀の埋土はほとんど残存が確認できなかった。「中川太良平」刻印石の下部は、間詰石も良好に残っており、安定しているように見える。



図12 J地点 刻印石図



写真J-1 発掘調査時の刻印石

(5) 地盤調査

○ 地盤調査の目的

- ・ 天守台を構成する石垣の健全性や現状把握のため、天守台及び周辺地層の把握を目的として、地盤調査(ボーリング調査)を実施する。
- ・ 天守台北側の御深井丸は洪積地盤である熱田台地の境界付近であり、本丸周囲の地盤と異なり軟弱な地盤である沖積地盤の可能性があるので、天守台周囲の地盤の想定断面を検討する。

- 地層構成と地下水位
 - ・ 土層(地層区分)想定断面図を図15に、地層構成を表4に示す。上位より、盛土、砂・礫質土を主体とする熱田層上部、粘性土を主体とする熱田層下部を確認した。御深井丸～天守～本丸に至る地盤構成は、南北、東西方向ともほぼ水平な地層状況がみられ、今回実施した内堀ボーリング部での標高はT.P.+6.06～P.P.+6.28で、熱田層上部砂層は、攪乱のあるNo.2を除き、T.P.+4.3m～+5.3m程度でほぼ一様に確認された。また、天守台周辺(北、西面)内堀での石垣の試掘調査で地山を確認した調査区では、この砂層を地山として石垣が構築されていることが確認された。
 - ・ (地下水位) 無水掘り水位は、T.P.+3.2m～+3.7m程度に確認しており、内堀内は、降雨時たまり水を形成する。この水位は調査地北側の外堀の水位程度を示し、調査地における自然水位は、T.P.+3m～+4m付近と考えられる。(ただし、これら地下水位は一般的に、季節や気象条件によって若干変動することが考えられ、内堀内については、降雨時に溜まり水を形成するため注意が必要である。)

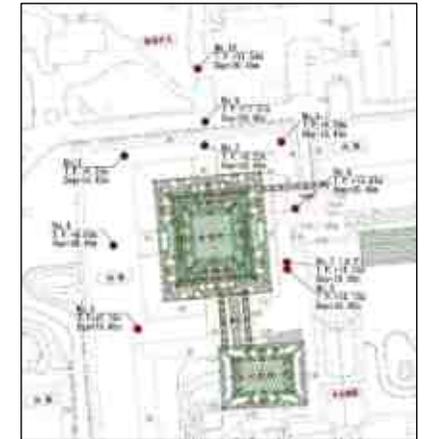
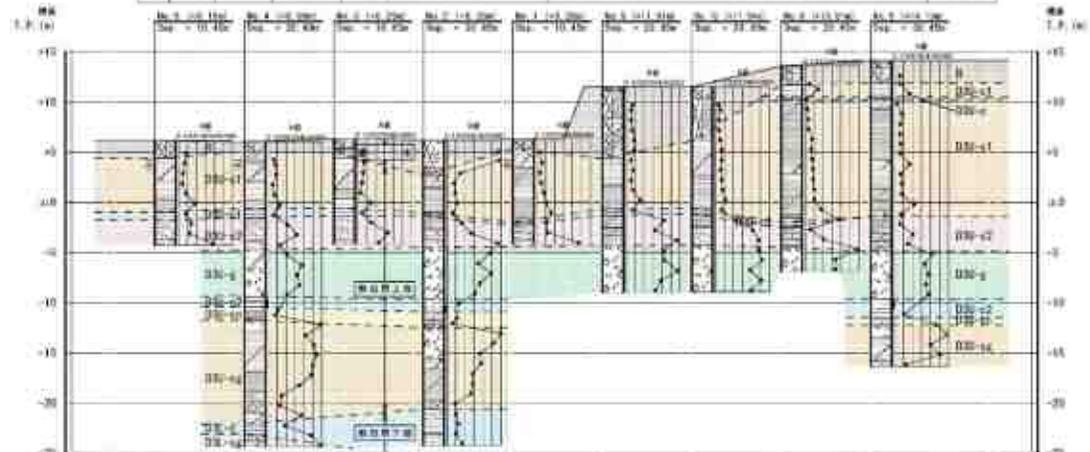


図13 ボーリング調査地点位置図

表4 地層構成表

地質年代	地層区分	記号	主な土質	特徴	層厚(平均)
更新世	盛土	B	雑選じりシルト質細砂、雑選じり砂質シルト、玉石選じり砂層	約20～30cm程度の層を成す砂・粘質土。内堀内に於ける瓦片混入、No.7地点は砂質土主体で約200mmの玉石、コンクリート瓦片多量混入。(若干部分の4層混入も認められる)	4～15(7)
		第一砂質土 D30-a1	雑選じり中砂、中砂、細砂	約2～10cm程度の層を成す中砂や細砂を主体とする中砂を成す。T.P.+10m付近までD30-aを露く露く、層厚4m付近より含水量が増える傾向にある。N値は5～10程度が普通である。	1～27(27)
	第一粘性土 D30-a1	砂選じり粘土、砂質シルト	細砂を混入する粘土主体。層厚1m未満と薄いものの水平方向の連続性あり。N値は5～10程度が普通である。	5～8(7)	
	第二砂質土 D30-a2	凝灰質細砂、シルト質細砂、浮石選じり細砂	全体に凝灰質を呈する細砂主体。砂の粒径は概ね0.1～0.2mm程度シルトを呈す。浮石は約2～3mm程度の浮石を多く含む。N値は10～20程度。凝灰質のためN値のばらつきが大きい。	6～57(27)	
	第三砂質土 D30-a3	砂層、雑選じり細砂	砂層主体。一部層が少なく雑選じり砂を呈す。層厚は約30～50cm以下、φ5～10mm程度主体。チャート混入。N値は30～50の程度でばらつきが大きい。	21～60以上(43)	
	第二粘性土 D30-a2	砂選じりシルト、粘土、砂選じり粘土	細砂を混入するシルト、粘土主体。一部凝灰質の層を呈す。No.7・4・6地点でマンボウリング実施し一部試掘実施。圧入試験も実施。N値は11、13を示す。	11、13(12)	
	砂・粘質土 D30-a0	シルト選じり細砂、シルト質細砂、砂選じりシルト	砂質土と粘性土の混層。雑砂やシルトを主体とし、一部粘質、雑選じり砂となる。N値は主に砂質土で約10～15を示す。	6～11(11)	
	砂・礫質土 D30-a0	砂層、雑選じり中砂、シルト選じり細砂	約2～30cm程度の層を成す中砂、中砂を主体とする。上部層の混入が多く、砂層を呈す。下部はシルトの混入が多い。N値は10～40以上を示し、砂層部分でN値が高い。	6～60以上(39)	
	粘性土 D30-a0	砂選じり粘土、砂質粘土	細砂を混入する粘土主体。層厚は30以上を確保している。N値は10～15を示し全体に高い。	10～19(14)	
	砂・礫質土 D30-a0	雑選じりシルト質中砂、雑選じり中砂	No.4地点に貫通10程度の外堀掘削、約10～20cmの層を混入する中砂を主体とする。N値は10～15程度を示し、N値は10、15を示しよく揃っている。	48、60以上(34)	



注:本断面図は地層区分のため、地点間距離は実際とは異なります。No.7地点は、No.6地点に近接しており、コア採取のみの調査のため、断面図への記載は割愛している。地層図は推定であり、実際と一致しない可能性があります。

図14 土層(地層区分)想定断面図

(6) 調査まとめ

- 天守台石垣の現況を確認するため、平成29年度・30年度に、史実調査、測量調査、石垣カルテの作成、発掘調査、ボーリングによる地盤調査を行った。ここでは各種調査の成果を総合し、天守台石垣の現況と課題を示す。
- 現在の石垣は、慶長の築造以降に行われた修復や改変等、様々な行為の結果をとどめている。記録に残されているものだけを見ても、宝暦の修理のほか、戦後の積み替え、そして現天守閣の建設による石垣の改変・積み替えがある。今回回の調査では、それぞれの痕跡と思われるものを確認することができた。

<石垣の積み替え範囲の確認>

- これまでの文献的な研究で明らかにされてきた宝暦期の積み替えによるとみられる積み替えラインを天守台北面(U61)などで改めて確認した。麓らの指摘のように、北面の東部から西に向かって、上位が宝暦の修理、下位が慶長期となる積み替えラインが見られる。
- 発掘調査においても、宝暦の修理の際に行われたとみられる行為の痕跡を確認している。ただし、根石は創建時のものから変わっていないとみられる。D、F、G、Hの各地点で宝暦の積み替えに伴うと見られる痕跡を確認した
- 天守台石垣には、上部を中心に、現天守閣再建時と判断される積み替えが確認される。古写真との対比と現地での観察から、現天守閣再建時と判断される。隅角部から天守台石垣の各面の中央部に向かって下がっていくラインを確認した。小天守東面を除いてすべての面で積み替えラインが認められる。
- 現地での観察では、そのほかにも積み替えラインと思われる石積みの違いを確認しているが、時期が特定できるものは必ずしも多くない。
- 穴蔵石垣の積み替えの際の仕様図面には、根石の下位までコンクリート板を施す仕様のものがあるが、そのコンクリート板が表現されていないものもあり、どこまで積み替えが及んでいるのか明確ではない。
- 穴蔵石垣の石垣カルテからは、現在確認できる範囲の大部分は、戦後積み替えられたものと判断される。ただし、根石部分分までは確認できていない。
- 穴蔵石垣については、石材の多くは交換されているが、当時の新聞報道や、位置の比較から見、近世の姿をとどめるような積み替えが行われたと判断される。

<石垣根石の確認>

- 発掘調査および地盤調査の結果、天守台石垣は熱田層上部砂層を基盤層として築かれていることが判明した。**
- 発掘調査の結果によれば、天守台石垣の根石は基本的にあるべき位置から動いておらず、変状は見られない。
- 宝暦期の修理の痕跡を認めた地点でも、おおむね地下一石目以下は慶長期の石積みが残されていると思われる。
- 内堀外側の石垣面(U66)において、根石の前を抑える盛土が確認できなかった地点がある。根石付近まで盛土が削平されている可能性がある。
- 穴蔵石垣においては、昭和27年から行われた積み替えの記録に、根石の下にコンクリート基礎を入れるとする仕様が示されておりその時点で根石まで工事が及んだ可能性がある。ただし、実際の施工がどのように行われたのかは確認できていない。

<地盤調査での成果>

- 今回実施した、地盤調査(ボーリング調査)では、天守台及び周辺土層(地層区分)は、上位より、盛土、砂・礫質土を主体と

- 天守台周辺(北、西面)内堀での石垣の試掘調査で地山を確認した調査区では、この砂層を地山として石垣が構築されていることが確認された。
- 天守台周辺では、残された情報量が少ないものの、既往の本丸側や御深井丸側の地盤調査と合わせてみると、御深井丸～天守～本丸に至る地盤構成は、ほぼ水平な地層状況となっている。
- 今後、実施予定である天守周りの地盤調査及び、既往の地盤調査結果を用いて天守台周りの地盤想定断面を確認、検討していく。
- (地下水位)無水掘り水位は、T.P.+3.2m～+3.7m程度に確認しており、内堀内は、降雨時たまり水を形成する。この水位は調査地北側の外堀の水位程度を示し、調査地における自然水位は、T.P.+3m～+4m付近と考えられる。

<天守台石垣劣化状況まとめ>

- これらの調査成果から、天守台石垣の現状を特にその劣化状況に着目して整理すると、石垣の現状は次のようにまとめられる。なお、石垣の各面で確認された状況を一覧表に整理した。
- 天守台外部石垣については、上位に現在の天守閣再建時に改変が加えられており、その部分については、本来の姿は失われている。隅角石は改変されておらず、数石分中央に入った地点から積み替えられており、各面の中央部ではやや深く改変が及んでいる。
- 穴蔵石垣についても、現況で確認できる範囲では戦後の積み替え工事、現天守閣建設に伴う工事によって新たに積み替えられており、ほぼ戦後の積み直しである。穴蔵石垣の根石については戦後の積み替え工事の仕様の通りであれば、手が加えられているものとみられるが、現時点では観察できず確認できていない。
- 大天守北面(U61)には強い孕み出しが認められる。この孕み出しは大正時代の図面でも確認でき、近代にはすでに見られるものである。この付近では、現天守閣の再建時にモルタルを注入している様子が写真に残されているが、現在の築石背面の状況の確認が必要である。この面では約100cm孕み出ししており、孕み出し指数は4.9である。孕み出し指数の判定基準では、「管理基準値Ⅱ」となり、やや不安定と評価される。なお、本書では、孕み出し指数は、孕み出し量を石垣全体の高さで除して求めている。
- また、橋台西面(U58)でも孕み出しがみられ、それに連続して西に延びるU57でも孕み出しがみられる。U57では、孕み出し指数2.9であり、「管理基準値Ⅱ」、やや不安定と評価される。
- 大天守南面・西面(U59・60)、東面(U62)、橋台部東面(H140)、小天守東面(H136)には、中位以下に広範な被熱範囲が認められる。これは戦災により天守焼失した際の痕跡とみられる。被熱部分やその周辺では、石材の表面が剥落したり、割れているなどの劣化が認められる。ただし、被熱による劣化は表面にとどまるものが多いとみられる。
- 隅角石に顕著であるが、石材に割れが生じている。大天守台北西隅角部ではいくつかの石に割れが観察できる。また、大天守台の南西隅角部天端石なども割れている。
- その他、特に顕著な部分は指摘できないが、間詰石の欠落が認められる。
- また、穴蔵石垣は、戦後の石垣整備事業による積み替え時、および現天守再建時に大規模に改変されている。石材の形状、積み方など、近世とは大きく異にしている。現在観察できる範囲では、ほぼ近代以降の積み替えを受けていると見られる。
- ただし、現況では根石まで確認できていない。
- 穴蔵石垣では、熱を受けた石は少なく、現天守再建時に新たに用意された石材が中心であるとみられる。

表5 天守台石垣の現況まとめ

石垣No.	史実調査		石垣現況調査(石垣カルテ)				根石発掘調査に伴う掘削				安定性評価(孕み出し指数)			
	戦後石垣積み直し	孕み出し	被熱範囲	石材割れ・表面劣化	抜け落ち	近代以前の積み替え等に伴うライン	根石部の変状	積み直し部の変状	戦前掘底面の有無	地山の確認	石垣高さH(m)	孕み出しδ(cm)	孕み出し指数δ/H	孕み出し指数による判定
H135	あり	なし	あり	あり	間詰石	なし	—	—	—	—	—	—	—	—
H136	なし	なし	あり	あり	間詰石	なし	—	—	—	—	—	—	—	—
H137	あり	なし	なし	あり	間詰石	なし	—	—	—	—	—	—	—	—
H138														
H139	不明	なし	なし	あり	間詰石	なし	—	—	—	—	—	—	—	—
H140	不明	なし	あり	あり	間詰石	なし	—	—	—	—	—	—	—	—
H141	不明	なし	あり	あり	間詰石	あり	—	—	—	—	—	—	—	—
U58	あり	孕み出し(弱)	あり	あり	間詰石	あり	なし	なし	あり(K)	未検出	15.4	15.9	1	健全
U59	あり	孕み出し(弱)	あり	あり	間詰石	あり	なし	なし	攪乱(J)	未検出	—	—	—	対象外
U60	あり	なし	あり	あり	間詰石	あり	なし	なし	あり(G,I)、攪乱(H)	検出(I)	—	—	—	—
U61	あり	孕み出し(強)	なし ※1	あり	間詰石	あり	なし	なし	あり(C,D,F)	検出(O)	20.4	100.2	4.9	やや不安定
U62	あり	なし	あり	あり	間詰石	あり	なし	なし	あり(B)	未検出	—	—	—	—

※1 詳細調査で一部確認

1-1-3 天守台石垣の安全対策

(1) 天守台石垣の配置と石垣の安全対策例

図15に天守台石垣の配置を、図16に現状の天守台石垣の写真を示す。天守台石垣は天守の「内側石垣」と「外側石垣」に分けられる。さらに、「内側石垣」については、天守穴蔵部分と橋台内側部分に、「外側石垣」については、内堀に面する側と本丸に面する側に分けられる。

石垣の定量的な安定性評価は非常に難しいと言われており（「石垣整備のてびき」文化庁文化財部記念物課）、構造解析や実験によって地震時の石垣の崩落危険度を判定することはできないのが現状である。石垣が崩落する規模の大地震が生じた場合における、観覧者の安全を確保するための対策を施す必要がある。図17に石垣の安全対策の例を示す。また、以下に各案の概要を示す。各石垣毎に、観覧者の安全確保、石垣の保全、利活用等の観点から安全対策を選択する。

- (a) 石垣前面に蛇籠を設置し、地震時の石垣の変形を抑制する方法
- (b) 石垣前面に落石を防止するネットを設置する方法
- (c) 石垣内部に何らかの構造物を構築し、それに築石を固定する方法
- (d) 地震時の落石が想定される範囲を立入禁止区域とする方法
- (e) 石垣前面に地震時の落石に対する防護通路を構築する方法
- (f) 石垣前面に地震時の落石に対する防護壁を構築する方法

遺構保全の面では、(a),(d),(e),(f)案は石垣に手を加えずに対策を行うことが可能であり、(b),(c)案は対策時に工夫が必要である。一方、利活用の面では、(b),(c),(d)案は観覧者が石垣を見ることができる（(d)案は石垣に近づくことができない）が、(a),(e),(f)案は石垣を見ることができない。



(a) 穴蔵石垣 (b) -1 (b) 外側石垣(内堀側) (b) -2



(c) -1 (c) -2 (c) 外側石垣(東面) (c) -3

図16 現天守の石垣写真

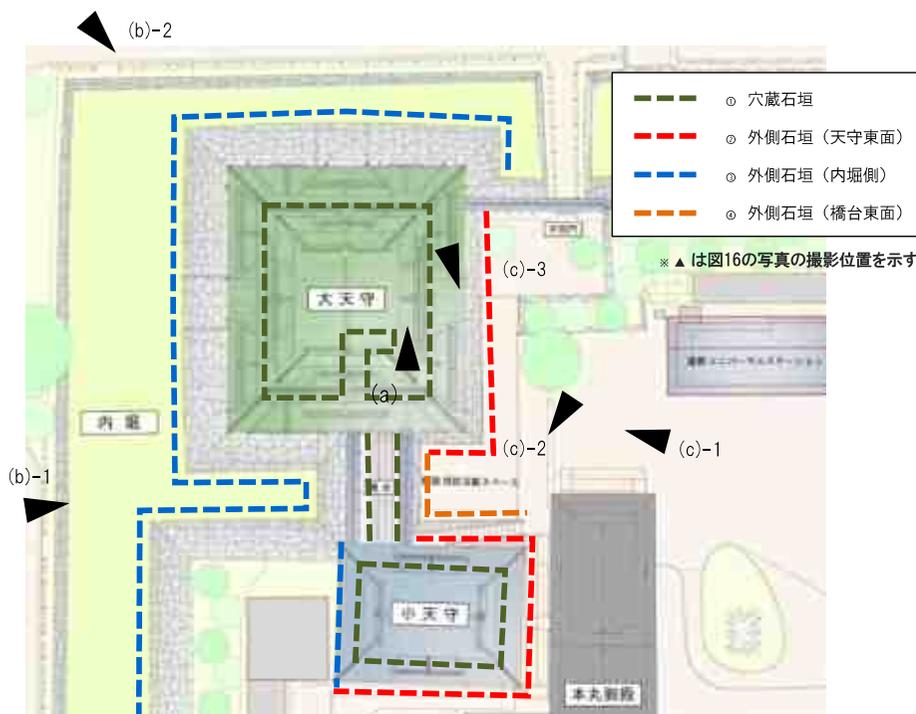
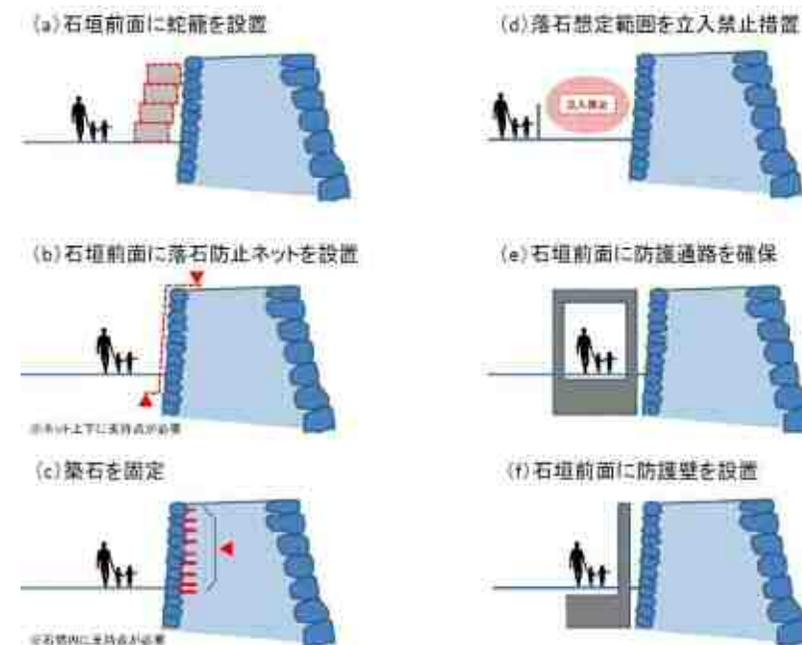


図15 天守周辺配置図



※ 上図は石垣の安全対策の概念を示したものであり、石垣の外側・内側を特定するものではない

図17 石垣の安全対策例

1-1-4 天守台石垣保全の基本的な考え方

平成29年度から実施した調査により、石垣の現況についての情報を得ることができた。ここでは、その劣化状況に対応するための基本的な考え方を整理する。

これらの調査結果を整理し、天守台石垣の保全についての考え方を整理する。上記の調査成果に従い、今後の対応が優先される地点を抽出する。抽出するための判断基準は、石垣の変形度及び危険度である。

石垣の変形度(石垣の状態)と、崩落時に想定される被害の程度(利用上の危険)に基づき、修理・復旧の優先順位を決めるための総合評価を行う。

石垣の変形度を基準に考え、次のように分類する。

- 1:ズレ、抜け、孕みにより変形が大きく、石垣の崩落や崩壊が懸念される状態。
- 2:ズレ、抜け、孕みが見られ、将来的に石垣の崩落や崩壊が懸念される状態。
- 3:ズレ、抜け、孕みなどによる変形の程度が軽微なもの。
- 4:安定しているが、コンクリートなどが充填されたもの。あるいは石垣がすでに残っていない。

来場者にとっての危険の度合いを基準とすると次のようになる。

- A:石垣が観客動線上にあり、崩落や崩壊が生じた場合、甚大な被害を与えることが考えられる。
B:石垣が崩壊した場合にも、観客動線に影響を及ぼすことがない地点。

天守台石垣に関しては、内堀側がBにあたり、大天守台の東面や内部石垣や橋台がAに相当する。

石垣の現況への対応は、上記の変形度と危険の度合いの組み合わせによってその優先順位を考える。

<優先度の高い部分への対応>

天守台石垣の保全に関して、対応が優先されるべき所見は、天守台外部石垣の各所で広範囲にみられる被熱による石材の劣化と、大天守台北面の強い孕み出しであろう。これらは上述の変形度2に相当し、中でも、大天守台東面は、来場者の動線に接しており、上述の危険度でいえばAにあたる。

北面の孕み出しに関しては、現在孕み出し指数4.9であり、管理基準値Ⅱの範囲内である(前述の通り、孕み出し量を石垣全体の高さで除しており、局所的な孕み出しを十分に反映した数値とは言えない)。

この孕み出しは古写真からも観察でき、戦前からかなり大きく孕み出していたことは間違いない。そうした写真と比較してみると、顕著な進行は見られないように思われる。しかし、現天守再建時にモルタルを注入するなどの処置も行われており、背面まで含め、変形の度合いは大きいと思われる。

孕み出しの上端の石は細かく割れている。また、孕み出している築石は、縦方向に剥落するように割れている。

今後継続的にモニタリングを行い、進行の度合いを確認する必要がある。また、ファイバースコープによる確認、レーダー探査などで築石背面の状況を把握し、孕み出しの原因を考える必要がある。大天守台北面U61など孕み出しの強い部分については、こうした継続的な調査の結果によって、孕み出しの原因を追究する。同時に、孕み出しのこれ以上の悪化を防ぐ処置を検討する。その間に行う、各種調査の結果を踏まえ、その後の取り扱いを改めて検討する。

この地点に関しては、本市は、かつて積み替えが必要との判断を示したことがある(例えば2012年に行った「市民大討論会」資料)。今回の調査での所見と、石垣の歴史的な価値を考えたとき、積み替えという手段に対しては慎重であるべきであり、結論は更なる調査を待って下すべきであろう。

被熱により石材が劣化した部分は、天守台石垣の各面に見られ、範囲も広い。当然のことながら、戦後の積み替えを受けおらず、近世からの姿をとどめている部分が多い。被熱した石には、表面の剥落や割れが観察されるが、これまでの観察の結果からは、熱による割れや剥落は表面にとどまるように思われる。

こうした状況であれば、解体や部分的な積み替えを考える前に、被熱による劣化が見られる個別の築石への応急的な対処を行うことを考えた方がよいと判断される。

なお、被熱による劣化が見られる大天守台東面は、観客の動線と接しているため、劣化した石材の剥落が来場者の安全に影響を及ぼすことを防ぐ対応が必要である。

天守台石垣の劣化状況の中でも、検討の優先度が高い孕み出し、被熱による築石の損傷が認められる部分については、解体などの大規模な修復を検討する前に、より詳細な調査と継続的なモニタリングを行うべきであり、その結果を見て後の修復について検討する。

穴蔵石垣については、現況で確認できる範囲の多くが、戦後の改変を受けているとみられる。コンクリートで固められている地点も多い。この地点は、来場者の動線にあたり、危険度ではAにあたるため、安全対策をとる必要がある。また、エレベータ設置のため失われている部分もあり、整備の方針を検討するため、更なる調査研究を進める必要がある。

穴蔵石垣の残存状況を今後確認し、今後の整備の中で、安全対策とともに往時の姿に復することを検討する。

<優先度が相対的に低い地点への対応>

上述した以外の地点で、変形の度合い、危険の度合いが相対的に低いと判断される地点についても、石垣保全の対策は必要である。

各所で石材の割れ、間詰石の脱落などが観察されている。現時点で、それが特に顕著な地点は見いだせないが、それらに対する処置は必要である。これについては、具体的な保全策としては早急に取組むことができる。

また、天守台石垣各面の上位部分のように、戦災以降の積み替えや現天守閣の再建工事により、改変を受けている地点が存在する。これらの地点については、特別史跡名古屋城跡保存活用計画に則り、往時の姿に復元することも視野に入れつつ、今後さらに調査・研究を進め、整備の方針を検討する必要がある。

なお、優先度が低いと判断される地点については、日常的な観察を行い、石垣カルテの更新を行うという基礎的な作業を行うことが重要である。

<まとめ>

先に整理した劣化状況と、安全面の視点を総合的に判断し、天守台石垣の保全・整備の方向性を次のように、段階的に考える。

第一段階 間詰石脱落部分、被熱により割れている石材に対する応急的処置。
大天守台東面、穴蔵石垣、橋台など、来場者の安全対策が必要な場所に対する処置。
大天守台北側の孕み出しに対する継続的な調査を行い、背面の現状把握と変形の理由を解明する。

第二段階 石垣全体が戦後の改変を受けている部分については、今後調査研究を進め、その成果を踏まえて整備方針を検討する。穴蔵石垣などが該当する。穴蔵石垣は安全対策ともあわせて考える必要がある。

第三段階 部分的に戦後の改変を受けている石垣に対する整備方針の検討。調査研究を進め、成果を踏まえて整備方針を検討する。天守台外部石垣が該当する。
大天守台北側の孕み出しについても、調査結果の蓄積を待って、対応が必要であればこの段階で対応する。

第一段階に区分した、北側の孕み出しについては、変形の原因を明らかにするため、継続的な調査やモニタリングを行う。地中レーダー探査やファイバースコープによる調査を予定しており、それにより背面状況の把握できれば、孕み出しの原因を考えることができるだろう。

第一段階としたもののうち、応急的処置、具体的には、割れた石材に対する補強、表面が劣化した石材に対する処置の方法について具体的に検討を進める。

天守台石垣東面や穴蔵石垣、橋台については、安全対策の検討を進める。

第二段階、第三段階については、継続的に調査研究を行い、整備方針を検討する。特に、穴蔵石垣や天守台外部石垣上位のように、昭和に改変された部分については、今後の整備の中で、往時の姿に戻すことを前提として検討を進める。

また、石垣に対する工学的な検討を進める。調査の結果を基にさらにFEM解析、DEM解析、実物大モデル振動実験、その他実験やシミュレーションなどにより石垣の挙動を検証、解析を行い、今後の石垣保全の具体的な方針に反映させる。

また、対象となる石垣全体について、日常的な維持管理を行うとともに、継続的に観察し、石垣カルテの更新を行う。

ここで示した基本的な考え方をベースとし、今後継続して行う各種の調査・実験などの成果を含め、天守台石垣保全のより詳細な方針を定めていくこととする。

1-2-1 木造復元の基礎構造と石垣の安全対策

(1) 木造復元天守の基礎構造の設計方針

本計画において、木造復元天守の基礎構造に求められる条件は以下の3点である。

- 地階から最上階まで史実に忠実な木造復元を行うことができる
 穴蔵空間を含めた史実に忠実な木造復元、地階から最上階まで十分な利活用ができる復元を行うことは、特別史跡内の建造物として本質的価値の更なる理解を促進するという点、文化的観光面における魅力の向上につながるという点、および伝統工法を後世に伝える貴重な教材となり得る点等において優位性が高いと考える。
- 観覧者に対して石垣の安全性が確保できる
 石垣の定量的な安定性評価は非常に難しいと言われており、構造解析や実験によって地震時の石垣の崩落危険度を判定することはできないのが現状である。穴蔵を含めた復元天守の利活用を行うためには、石垣が崩落する規模の大地震が生じた場合における観覧者の安全確保のための対策が必要不可欠であると考えられる。
- 石垣に負担をかけずに復元天守の荷重を支持することができる
 現状の天守台石垣は、戦災時の被熱による劣化や孕み出し等の変状が確認されている。現天守閣(SRC造)は吊構造として石垣に荷重をかけておらず、戦災による天守焼失後、天守台石垣は荷重を経験していない。石垣の定量的な安定性評価が難しいことから、石垣に木造復元天守の荷重をかけないことは、復元天守の構造性能を確保すると同時に、石垣遺構の保全の面からも利点があると考えられる。

上記3点の実現を目標として、基礎構造および石垣の安全対策の検討を行う。

なお、以下に示す<天守台石垣の取扱いについて>を原則とする。

<天守台石垣の取扱いについて>

- ・安全確保のために行う石垣取り外しや掘削等が必要となる範囲は、昭和27年から行われた石垣積替え工事、及び昭和32年から行われた現天守閣再建工事の際に手が加えられた範囲に留めることを原則とする。
- ・江戸期(宝暦大修理後)の姿を現在に遺す石垣(築石、根石、割栗石、背面土)については、原則取り外しは行わないこととするが、安全確保を目的としてどうしても必要である場合には、一旦取り外しを行い、原状復旧を行うものとする。ただし、取り外し復旧を行う範囲については、現地調査をしっかりと行った上で、はね出し架構の施工方法を検討し、最小限に抑えることとする。

(2) 木造復元天守の基礎構造

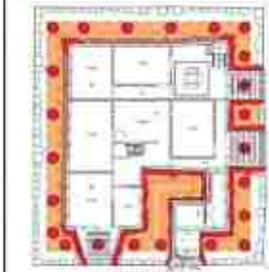
設計方針を基に、表6に示す3案を検討した。以下に各案の概要を示す。

- ・A案 復元天守の荷重を石垣にかけないようにするため、マットスラブからはね出し架構を構築し、天守外周部の荷重を支持する案。一旦穴蔵石垣の取外しを行い、はね出し架構を施工後に積直しを行うことで、江戸期の積み方に復元することができる。また、はね出し架構を利用して穴蔵空間の利活用を考慮した石垣の安全対策(例えば落石防止ネットの設置)を行うことができる。
- ・B案 A案と同様にマットスラブからはね出し架構を構築し、復元天守の荷重を支持する案。調査により穴蔵の根石が近世(江戸期)のものであった場合、それに手を加えずに保存することができる。近代(明治以降)に積み替えられた穴蔵石垣については、一旦取外しを行い、はね出し架構を施工後に積直しを行う。A案同様、はね出し架構を利用して穴蔵空間の利活用を考慮した石垣の安全対策(例えば落石防止ネットの設置)を行うことができる。
- ・C案 石垣内に深礎杭工法(調査を行いながら人力で掘削撤去)により杭を構築し、杭頂部を臥梁で繋いだ構造物により、復元天守の荷重を支持する案。杭は杭長L=22m程度の場所打ちコンクリート杭を想定しており、杭とマットスラブはつなぎ材にて接続する。臥梁を利用して穴蔵空間の利活用を考慮した石垣の安全対策(例えば落石防止ネットの設置)を行うことができる。

各案に対して、「遺構の保存」、「石垣の安全対策」、「史実に忠実な木造復元」、「木造天守の活用」の4つの項目で評価を行った。A案は石垣内部にはね出し架構を設置するため、石垣の取外し復旧が必要になるが、近代に積み直された穴蔵石垣を近世(江戸期)の積み方に復元することができる。また地階から最上階まで史実に忠実な木造復元および十分な利活用が可能である。B案は穴蔵石垣根石の保存は可能であるが、穴蔵外周部石垣際にはね出し架構の一部が露出するため、地階から最上階まで十分な利活用という点において難があると考えられる。C案は築石の保存範囲は他家より広いが、杭長が22m程度と長く、杭範囲の栗石撤去および深さ方向への地盤の掘削が必要となる。以上より、最終的にA案を採用した。

なお石垣内に構築するはね出し架構は、石垣に負担をかけずに復元天守の荷重を支持すること、および後述する観覧者に対する石垣の安全確保のために設置するものであるが、遺構保護の重要性を念頭に置いた石垣の詳細な調査を行い、石垣遺構を最大限保存できる形状とする。

表6 木造復元天守の基礎構造

方針	A はね出し架構(全体積替)	B はね出し架構(積石保護)	C 深礎杭
	江戸期の根石が残っていない場合	穴蔵石垣の根石を残す	穴蔵石垣の築石の大部分を残す案
基礎形式			
遺構の保存	○ ・築石、根石、裏面の取外し。 ・石垣内部はね出し架構の撤去、積直し。 ・近代に積み直された石垣を江戸期の積み方に復元できる。	○ ・地階以下の築石、根石、裏面石を保護(穴蔵側部、外周部等を除く)。 ・築石、裏面石の取外し。 ・石垣内部はね出し架構の撤去、積直し。	△ ・築石、根石の大部分を保護(穴蔵側部、外周部等を除く)。 ・根・紐造部分の裏面石を調査を行いながら、人力掘削撤去(地基は0程度)。
石垣の安全対策	○ ・安全対策落石防止ネットを石垣内側にね出し架構に固定。 [中間部分でのネットの支持が必要になる可能性あり]	○ ・安全対策落石防止ネットを石垣内側にね出し架構に固定。 [中間部分でのネットの支持が必要になる可能性あり]	○ ・安全対策落石防止ネットを石垣内側にね出し架構に固定。 [中間部分でのネットの支持が必要になる可能性あり]
史実に忠実な木造復元	◎ ・史実に忠実に復元	△ ・穴蔵外周部正正式に構造体が出てくる上取以外は、史実に忠実に復元	◎ ・史実に忠実に復元
木造天守の活用	◎ ・特設なし	△ ・石垣内部の保ちが難い	◎ ・特設なし
総合評価	◎ 優良	△ 評価上問題があり不採用	○ A案に比べ評価に平等な範囲が狭いため不採用

1-2-1 木造復元の基礎構造と石垣の安全対策

(3) 天守台石垣の安全対策(案)

図18に示すように、天守台石垣を4つの区域に分けて石垣の安全対策を検討する。以下に各々の区域における天守台石垣の安全対策(案)を示す。また図19および図20に石垣の安全対策案を示す。

◎◎◎は、地震時の石垣の崩落が人命に直結する部分であるため、観覧者に対する石垣の安全対策が必要不可欠である。特に◎◎は利活用の考え方から石垣前面での安全対策が難しいため、復元天守の基礎構造を利用した安全対策とする。

- ◎ 穴蔵石垣 天守穴蔵は観覧者を内部に入れ、石垣を見せることで活用を図る。よって地震時の観覧者等の安全性を確保すると同時に、石垣が見える・触れられる安全対策とする必要がある。図19に示すように、落石防止ネットの設置(◎-1)、または石垣内構造物に築石をアンカー等により固定する方策(◎-2)とすることで、活用方針に則した安全対策が可能であると考えられる。橋台内側の石垣もこれに準ずるものとする。
- ◎ 外側石垣(天守東面) 天守外側石垣は観覧者に石垣を見せ、近くでスケールを感じさせることで活用を図る。よって地震時の観覧者等の安全性を確保すると同時に、石垣が見える・ある程度の距離まで近づける安全対策とする必要がある。図20◎に示すように、落石防止ネットを設置することで、活用方針に則した安全対策が可能であると考えられる。
- ◎ 外側石垣(内堀側) 内堀に面する外側石垣については、石垣の崩落が観覧者等の安全性に与える影響がごく小さいと判断する。
- ◎ 外側石垣(橋台東面) 橋台東面外側石垣については◎と同様の活用の考え方である。ただし、橋台部分に落石防止ネットの支持点をとることが難しいため、図20◎に示すように、落石が想定される範囲を立入禁止とすることで、活用の考え方に基づいた安全対策が可能であると考えられる。なお、小天守入口部分については別途安全対策の検討が必要である。

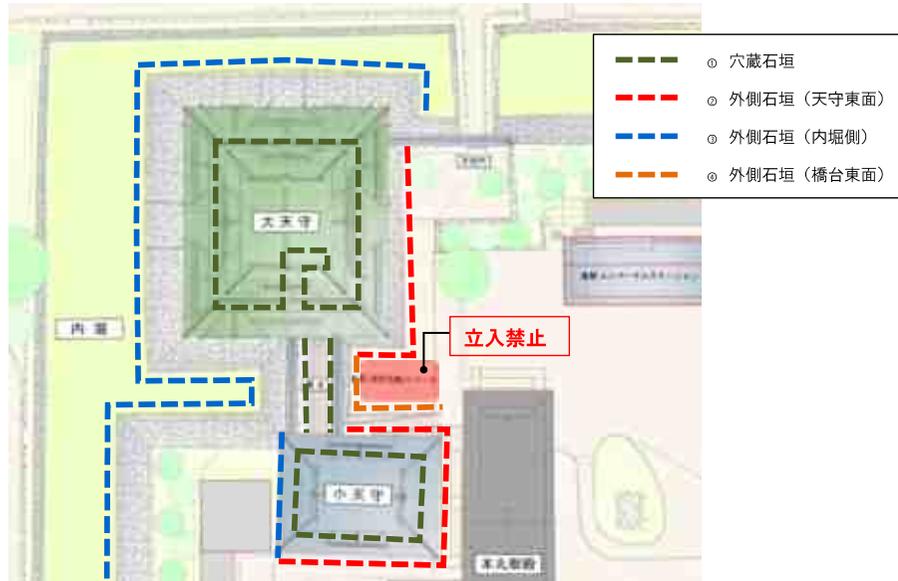


図18 天守周辺の石垣安全性対策(案)

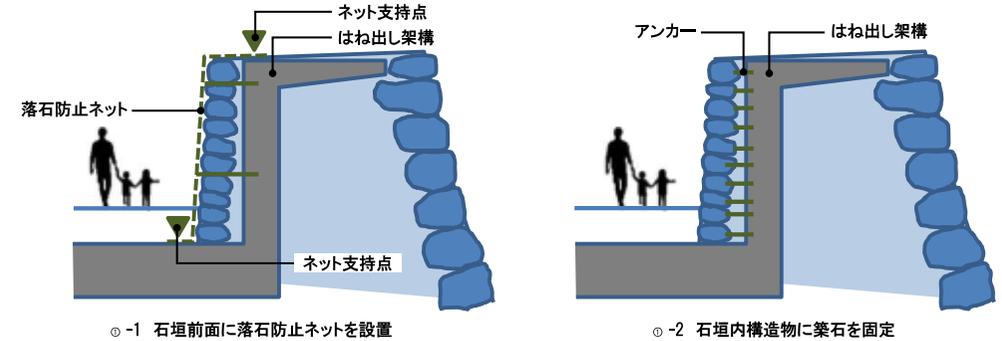


図19 穴蔵石垣の安全対策(案)

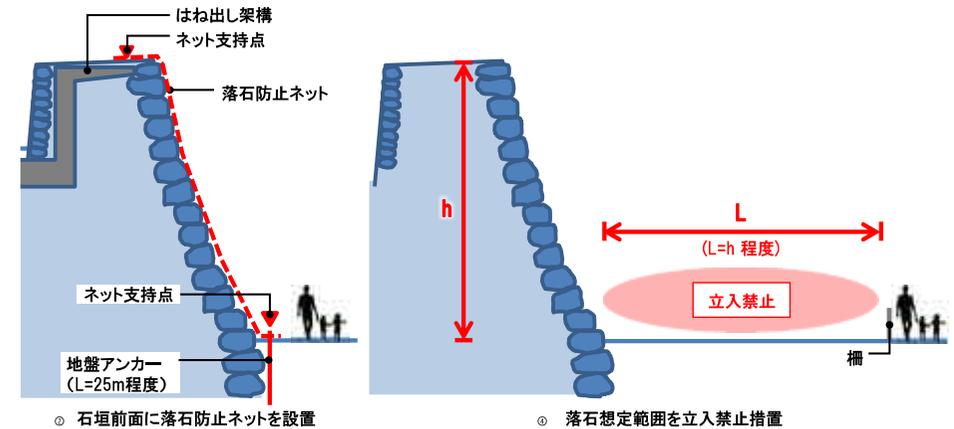
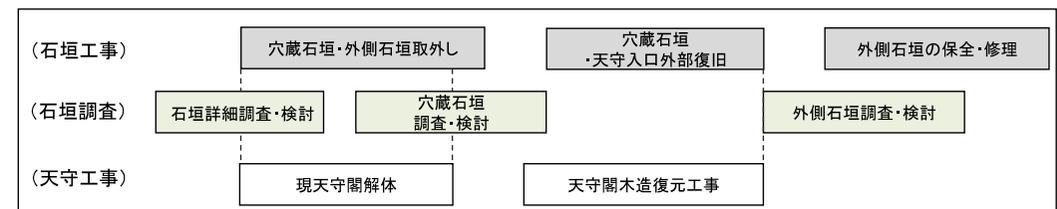


図20 外側石垣の安全対策(案)

(4) 天守台石垣整備の進め方

石垣の保全・修理は、石垣の詳細調査や修理時の調査状況等により、内容等協議によるが、復旧(修理)の進め方は、復元天守部の石垣の保全・修理を先行し、復元天守工事後、外側石垣の保全・修理を行う。

- ・現天守閣の解体に伴い、穴蔵石垣・外側石垣を取外し、城内に保管する。
- ・復元天守施工時に穴蔵石垣及び、天守閣入口部の外側石垣を復旧する。
- ・復元天守工事後、外側石垣調査結果に基づき保全・修理を行う。



天守台石垣整備の工程と天守閣木造復元工事の工程の時間的な関係

1-2-1 木造復元の基礎構造と石垣の安全対策

(5) 橋台の支持構造について

i) 橋台の設計方針

大天守と小天守をつなぐ橋台は、地震等の災害時に避難経路となる。そのため、万が一橋台直下の石垣が崩壊した場合においても橋台は避難経路としての機能を保持していることが求められる。よって橋台は石垣に支持させずに、石垣が崩壊した場合においても通路としての形態を保持できる構造とする必要がある。

橋台の支持構造を構築する際に、石垣の取外しや掘削等が必要になる範囲については、昭和27年から行われた石垣積換工事および昭和32年から行われた現天守閣再建工事の際に手が加えられた箇所止めることを原則とする。ただし、止むを得ずそれ以外の範囲の石垣を取り外す必要がある場合は、一旦石垣の取外しを行い、支持構造を施工後に、石垣の原状復旧を行うものとし、その石垣の取外し復旧については、石垣の詳細調査を行った上で施工方法を検討し、その範囲が最小限になるよう配慮する。

ii) 橋台の支持構造の形式

橋台の支持構造として、以下の3つの形式を検討する。

- (a) 橋台下に杭を打設し、RC梁(RC:鉄筋コンクリート)を支持する。
- (b) 大天守-小天守間にPC梁(PC:プレストレストコンクリート)を架ける。
- (c) 大天守-小天守間にワイヤーを架け、そのワイヤーに床材を固定する。

(a)案は石垣頂部の幅が9m程度と狭く、築石背面が総栗に近い状態と想定されるため、杭の打設が難しいと考える。また(c)案は吊り橋のような形態となるため、歩行時の振動等、避難経路として支障をきたすことが考えられる。よって、(b)案を採用する。

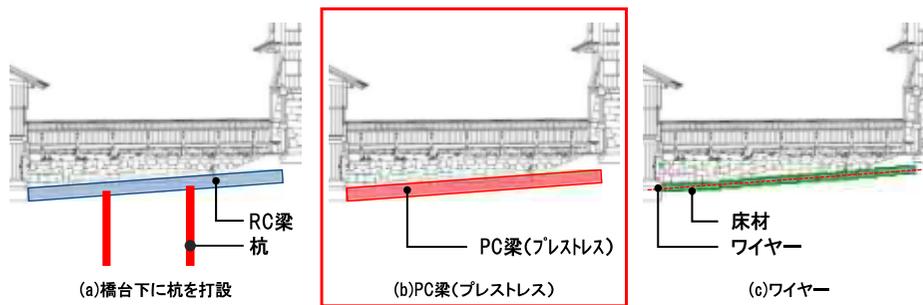


図21 橋台の構造形式(案)

iii) 橋台の支持構造

橋台の支持構造となる梁断面を図22に、立面を図23に示す。また梁の仕様を以下に示す。

- ・構造形式 プレストレストコンクリート造
- ・スパン L=22.6m程度
- ・支持条件 大天守および小天守の基礎を支持点とする単純梁
- ・その他 梁内に設備トレンチとして1.0m×1.0m程度の空洞を有する
(設備トレンチの必要寸法については検討中であり、今後変更する可能性あり)
橋台内側石垣の安全対策用の構築物の構築を検討する

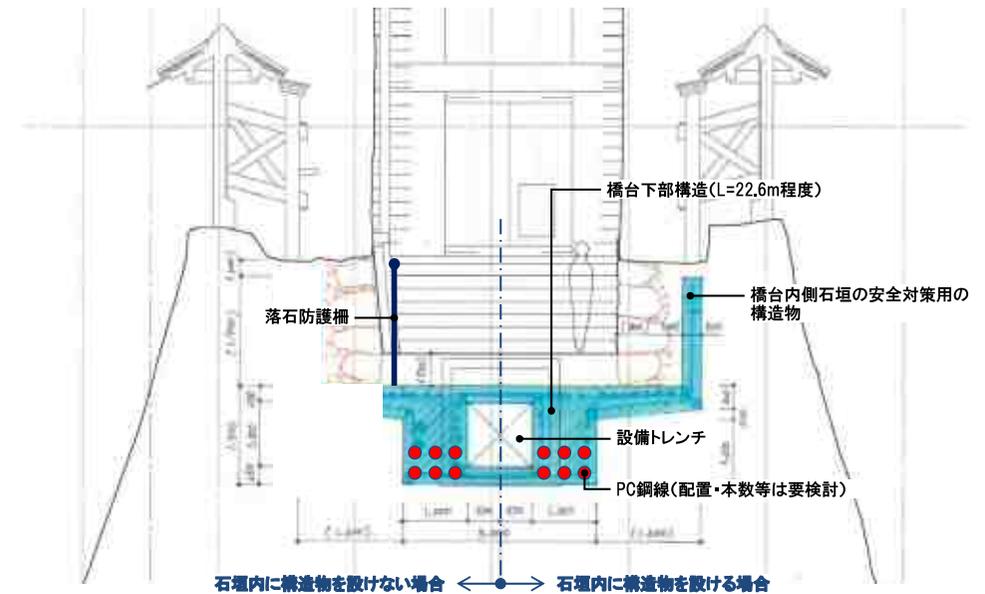


図22 橋台断面図

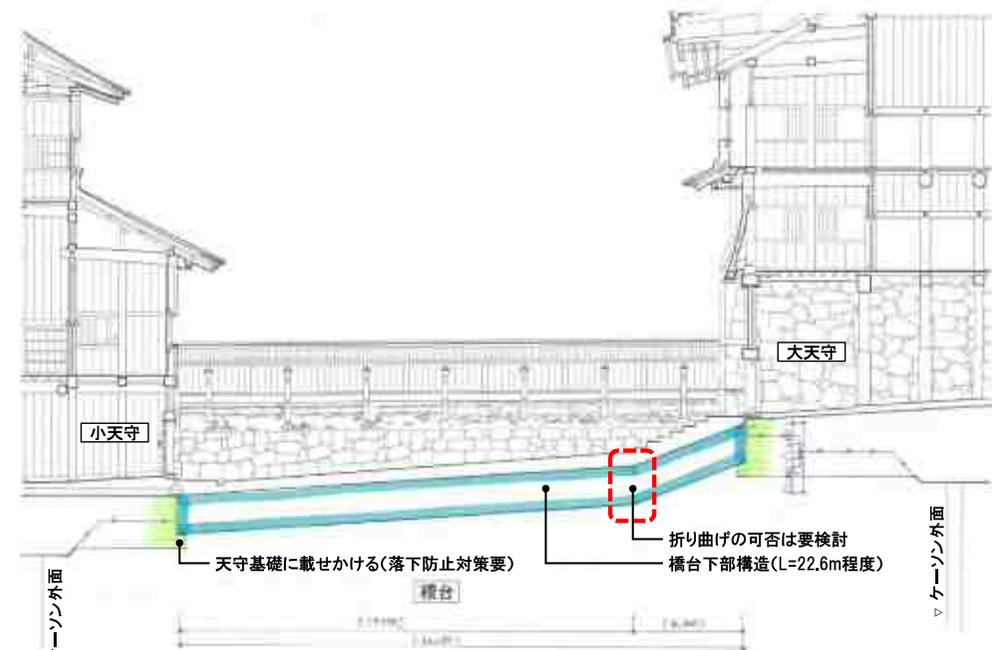


図23 橋台立面図

1-2-2 現天守閣解体に伴う天守台石垣への影響と対策

(1) 現天守閣解体による天守台石垣への影響の検証

現天守閣を解体した場合、大きな除荷が発生する。現天守閣の荷重はケーソンを伝って地盤に支持されているため、除荷された場合は地盤が浮き上がろうとするため、その影響の検証が必要となる。

[検討結果]

大天守において建物荷重を除荷した場合、支持地盤が上方に浮上る現象が生じ(以下、リバウンド)、ケーソン先端の深度(GL-26.6m)の地盤において最大約7cm、ケーソン外端の位置で約2cmのリバウンドが生じる結果となる。(図26) しながら、石垣上端の位置でのリバウンド量は約1mm、石垣根入れ部の位置ではさらに小さい値となるため、建物荷重の除荷による地盤のリバウンドについては、石垣の構造安定性に関して有害な影響を及ぼさないものと考えられる。

[検討内容]

現天守閣の解体に伴い、建物荷重が除荷された結果、リバウンドが生じ、石垣に影響を及ぼすことが考えられることから、大天守において弾性地盤を仮定した多層近似解法*を用いたリバウンド量の試算をおこなった。試算は大天守のケーソンの先端部分となる深度(GL-26.6m)において除去される建物荷重12,000tonを除荷した場合の地盤のリバウンド量として算出しており、ケーソンと地盤との周面摩擦による荷重伝達は考慮していない。なお、周面摩擦等を考慮した場合、地盤の変形曲線はより緩やかになるため、石垣への影響は更に軽減されると考えられる。

* 多層近似解法とは、半無限弾性体における弾性解を多層地盤に適用した近似解法で、地盤の鉛直変位は、各土層上下端の鉛直変位を半無限弾性体の表面に長方形等分布荷重が作用した場合における長方形隅角部の変位として計算した値から層別変位を求め、層別変位の和として求められる。

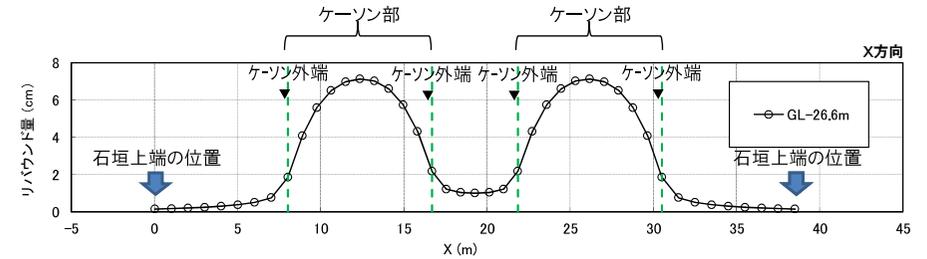


図26 多層近似解法によるリバウンドの試算結果(大天守)

[今後の検証]

今後、地盤等の調査結果が得られた段階でさらに詳細な解析や実験を実施する予定である。解析は、3次元モデルを用いたFEM(有限要素法)による面的なリバウンドの影響評価を予定しており、ケーソンと地盤との周面摩擦による荷重伝達も考慮した解析を行う。

- : 石垣
- : 地盤
- : 軽量盛土

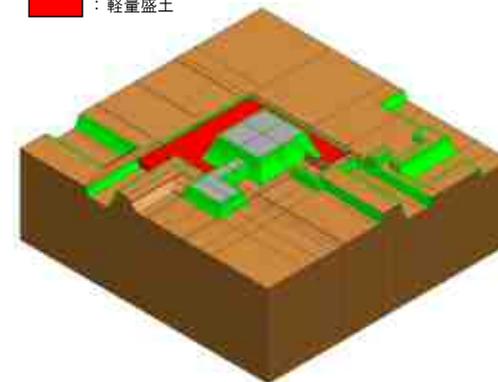


図27 3次元FEMモデルの投影図

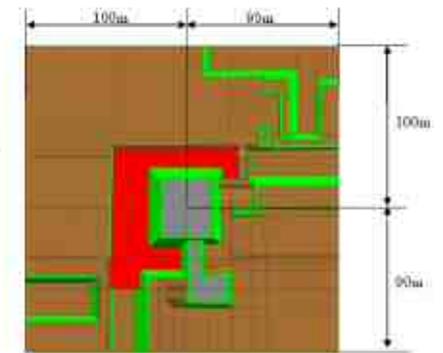


図28 3次元FEMモデルの平面図

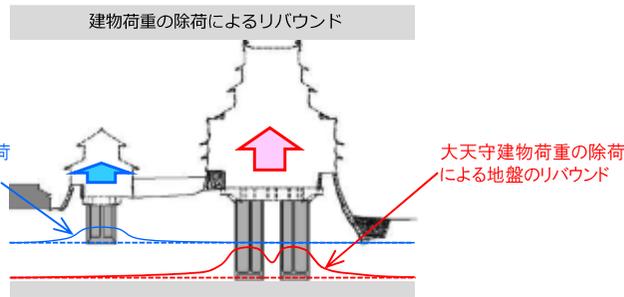


図24 リバウンドの概念図

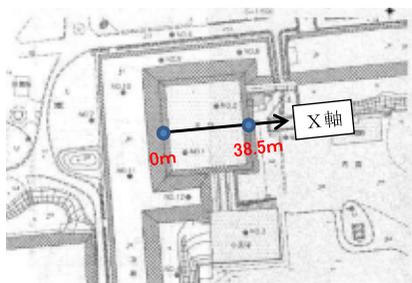


図25 リバウンドの試算位置(大天守)

[対策]

現状ではリバウンドの影響については対策は必要ないとする。今後の詳細な検証結果により有害な影響が発生するようであれば必要な対策を検討し、天守台石垣の保全に悪影響を与えない工法を採用するものとする。

なお、工事期間中は石垣に計測用のターゲットならびに変位計を設置し、石垣のモニタリングを実施する。石垣モニタリングを実施するにあたり、事前に管理値を設定し、有害な変状が発生した場合に必要な対策についても想定しておき、常時対応できる体制を整えておくものとする。

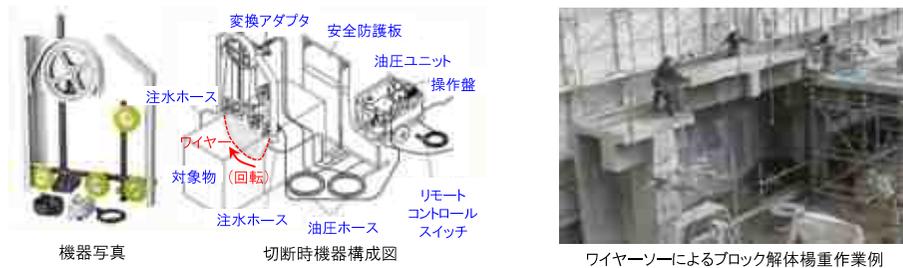
1-2-2 現天守閣解体に伴う天守台石垣への影響と対策

(2) 工事振動等による天守台石垣への影響と対策

現天守の解体時に、解体片の落下による石垣や遺構の毀損を回避するとともに、石垣へ振動影響を低減するため、大きな振動を与える一般的なブレーカーを使用する解体方法ではなく、発生振動の小さい切断工法(ワイヤーソー工法・ウォールソー工法等)によるブロック解体を主体的に採用する。また、落下による衝撃振動の影響が小さい基礎部分についても切断工法を基本とするが、切断工法の採用が難しい場所ではブレーカー工法より振動の小さい圧砕工法も併用する。

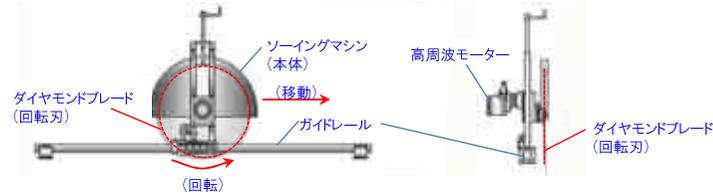
1) ワイヤソー工法(切断工法)

ダイヤモンドビーズをはめ込んだワイヤーを切断対象物に巻き付けて駆動機により張力を与えながら高速回転させて対象物を切断する工法である。ワイヤーソーは屈曲性に優れており複雑な形状物、高所等あらゆる場所で現場条件に合わせた施工が可能である。切断作業は低騒音、低振動、低粉塵である。



2) ウォールソー工法(切断工法)

切断計画面にガイドレールを設置し、ダイヤモンドブレードのセットされたソーイングマシンがガイドレールを移動しながら高周波モーターにより対象物を切断する工法である。ガイドレールを使用するため、ガイドレールに沿った正確な位置と設定厚さで切断が可能である。切断作業は低騒音、低振動、低粉塵である。



3) 圧砕工法

圧砕工法は、油圧ショベルのアタッチメントとして、油圧で開閉するハサミ状の装置を取り付けた機械である。コンクリート構造物等の破砕・切断に用いられ、大型ブレーカと比較して騒音・振動の低減が図れる。



4) 解体工事による振動予測

振動が石垣に与える影響について、許容値が明確でないため、表7に示す「気象庁震度階級と振動レベルの比較」を参考に、振動を地震における震度階級に置きなおして考察を行った。また、過去の名古屋城における地震による被害記録より、震度4程度では大きな被害が出ていないことが分かるが、間詰め石等の落下記録まではないことから、工法の選定にあたっては安全側の判断として震度1程度以下の振動レベルに押さえることとした。

表7 気象庁震度階級と振動レベルの比較(出典(財)日本環境協会)

振動レベル(デシベル)	震度階級	被害損傷の状況
		人間
110以上	7	揺れに翻弄され、自分の意志で行動できない
105~110	6	立っていることが困難になる
95~105	5	多くの人が、行動に支障を感じる
85~95	4	一部の人は、身の安全を図ろうとする
75~85	3	屋内にいる人のほとんどが、揺れを感じる
65~75	2	屋内にいる人の多くが揺れを感じる
55~65	1	屋内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる
55以下	0	人は揺れを感じない



図29 解体工事による振動レベル例

表8 名古屋近傍の震度4以上の地震と名古屋城被害(気象庁地震データベースより)

地震の発生日	震央地名	M	名古屋最大震度	名古屋城における地震被害情報の有無
1 1923/9/1 11:58	神奈川県西部	M7.9	4	無
2 1927/3/7 18:27	京都府北部	M7.3	4	無
3 1944/12/7 13:35	三重県南東沖	M7.9	5	無
4 1945/1/13 3:38	三河湾	M6.8	4	無
5 1946/12/21 4:19	和歌山県南東沖	M8.0	4	無
6 1948/6/28 16:13	福井県福井	M7.1	4	無
7 1952/7/18 1:09	奈良県	M6.7	4	無
8 1971/1/5 6:08	徳島県	M6.1	4	無
9 1997/3/16 14:51	愛知県東部	M5.9	4	無

表9 名古屋城の地震被害記録(愛知県防災局HPより)

名古屋城における、主な被害記録を「名古屋市史」「愛知県災害誌」から抜き出してみると、石垣や土塀の崩壊が多く発生しています。
 寛文9年(1669)地震 石垣が少し崩れた(災害誌)
 宝永4年(1707)宝永地震 土塀、櫓はほとんど損傷した(市史)
 享和2年(1802)地震 本門の石垣崩壊(災害誌)
 嘉永7年(1854)安政東海・南海地震 三の丸の門、高塀などが倒壊し、武家屋敷147カ所も損壊が見られた(市史)
 明治24年(1891)濃尾地震 本丸・深井丸・二之丸周囲の石垣上の多門櫓は壁、屋根等に大損害を受けた(災害誌)

5) 工法の選定と対策

図30に圧砕工法、図31に切断工法、図32に大型ブレーカー工法による振動予測例を示す。

地階解体時の直近の石垣における振動レベルは、圧砕工法で最大59dB(震度1)、ワイヤーソーを用いた切断工法では49dB(震度0)と予測される。一方、大型ブレーカ工法では87dB(震度4)が予測される。以上より、解体工事は、落下による衝撃振動の恐れがある地下1階以上の躯体については切断工法によるブロック解体、落下による衝撃振動の影響が小さい基礎部においては、切断工法を基本とするが、切断工法の採用が難しい場所では圧砕工法を併用することとする。圧砕工法の採用にあたり重機誤操作による石垣毀損対策として石垣面をクッション材で養生する等を併せて実施する。

振動影響対策として工法選定のほかに、工事中は振動計を設置して有害な振動が発生していないことを常時計測しながら工事を行い、管理値は震度1以下とするために上限を60dBとする。また、基礎撤去後等、石垣及び地盤面への雨水侵入対策としてシート養生を実施するものとする。

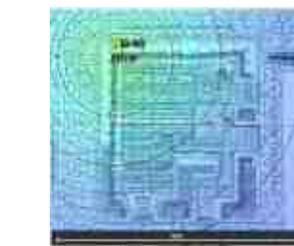


図30 圧砕工法の振動予測
振動レベルの予測値 59dB(震度1)

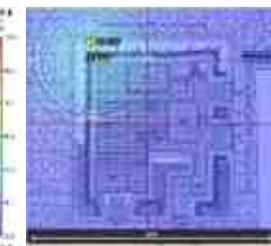


図31 切断工法の振動予測
振動レベルの予測値 49dB(震度0)

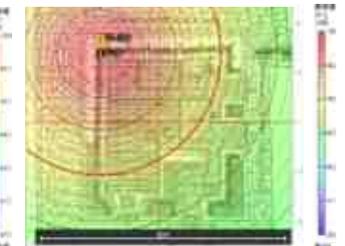


図32 大型ブレーカー工法の振動予測
振動レベルの予測値 87dB(震度4)

1-2-3 天守閣木造復元に伴う天守台石垣への影響と対策

(1) 遺構に配慮した仮設建築物

○ 基礎計画

現存天守閣の解体工事、木造天守閣復元工事のための仮設建築物である素屋根および構台・棧橋を特別史跡内に設置するため、遺構を毀損することのないように、内堀部は軽量盛土による埋立てと保護を行う。また、本丸・御深井丸では掘削をせず、素屋根および構台・棧橋の荷重による有害な影響を与えない基礎計画とする。

また、仮設建築物である素屋根は小断面部材で構成するブレース構造とする等、軽量化を図る。

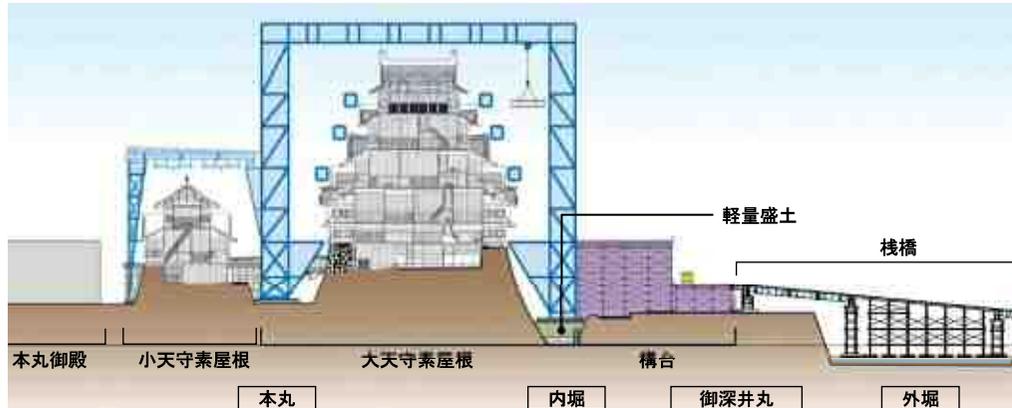


図33 素屋根、構台設置イメージ図（上部架構は、実施設計を通じて今後の検討事項）

1) 掘削のない基礎計画

素屋根および構台は特別史跡内に設置するため、遺構面に対する掘削や杭の打設ができない。そのため素屋根および構台の基礎は掘削を伴わない置き基礎とし、べた基礎または布基礎の形状とし、地盤へ作用する荷重を分散することで遺構を保護する計画とする。内堀は水捌けが悪いため集中豪雨時の浮き上がり対策として砕石排水・帯水層を設け、緊急時には外堀に放流する。本丸側では、現状地盤を土木シートで養生し、山砂で整地しその上にコンクリート基礎を設けることにより遺構を保護する。

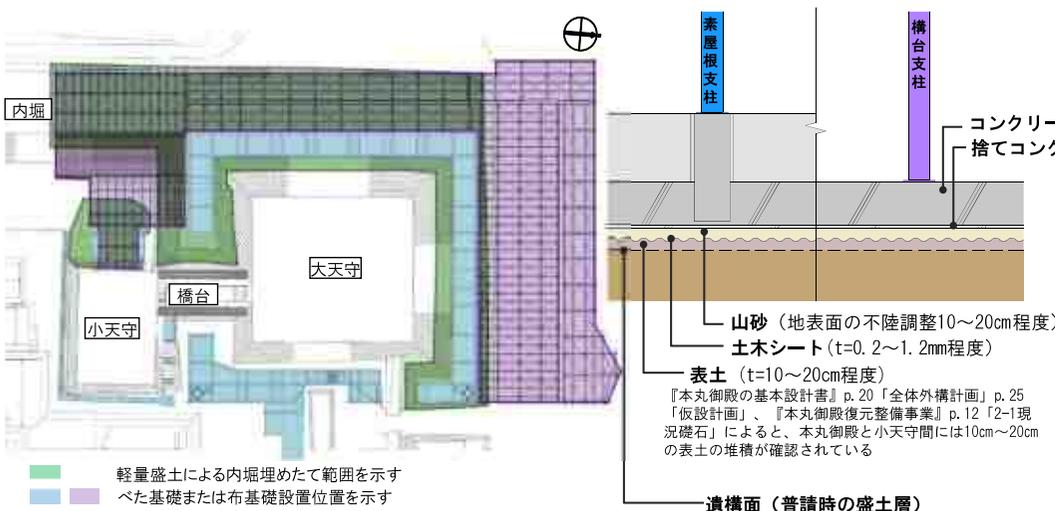


図34 仮設建築物(軽量盛土・基礎)設置範囲

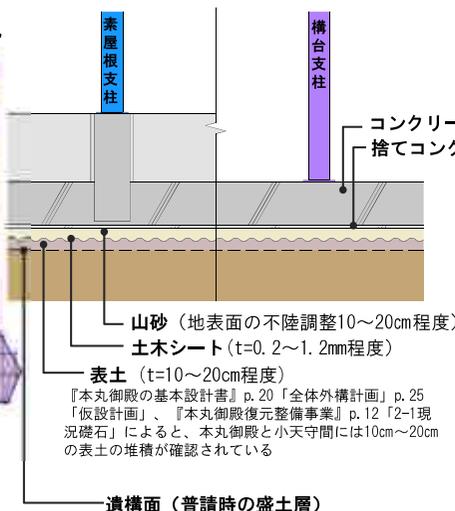


図35 遺構保護断面図(本丸・御深井丸の基礎部分)

2) 内堀石垣等遺構への影響がない基礎計画

素屋根および構台を設置すると基礎底部に荷重がかかり、内堀底の地盤面に直接、基礎を設置すると、地盤の強度が不足するため、石垣や遺構に悪影響を与えることが懸念される。

今回、素屋根および構台からの荷重を分散させ、かつ石垣の変状を抑制することで石垣や遺構に有害な影響を与えない方法として、内堀を軽量盛土工(EPS工法)*にて埋めて保護する計画とする。この工法(内堀保護工)により荷重が分散され、石垣法面の横滑りや孕みだしを防止できる。

* 軽量盛土工(EPS工法): 軽量かつ耐久性、耐圧縮性に優れたエスレンブロック(発泡スチロール)を積み重ねて盛土する工法で、盛土荷重による周辺地盤沈下等の影響を軽減できる工法で、全国の高速度道路、護岸工事等で多くの施工実績がある。

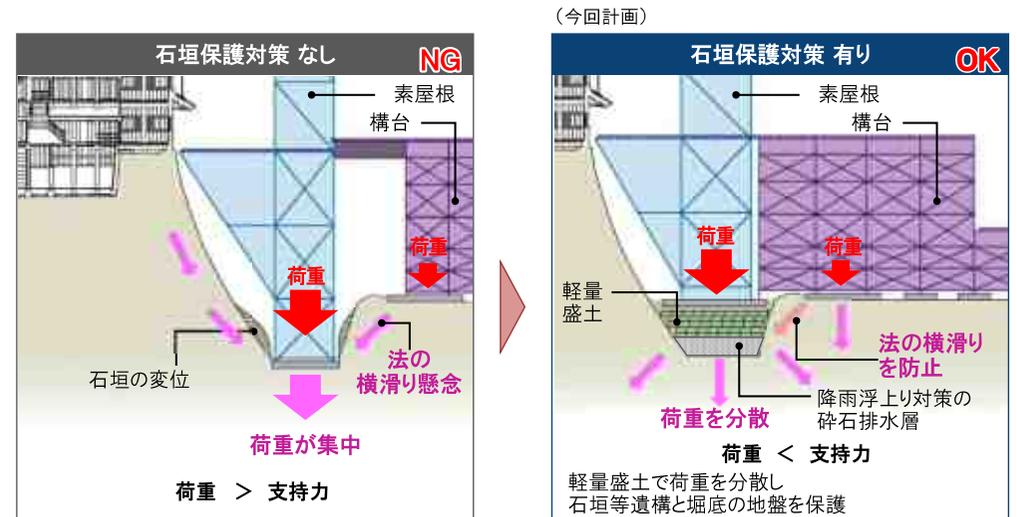


図36 内堀に基礎を設置した場合の荷重伝達と石垣への影響(イメージ図)

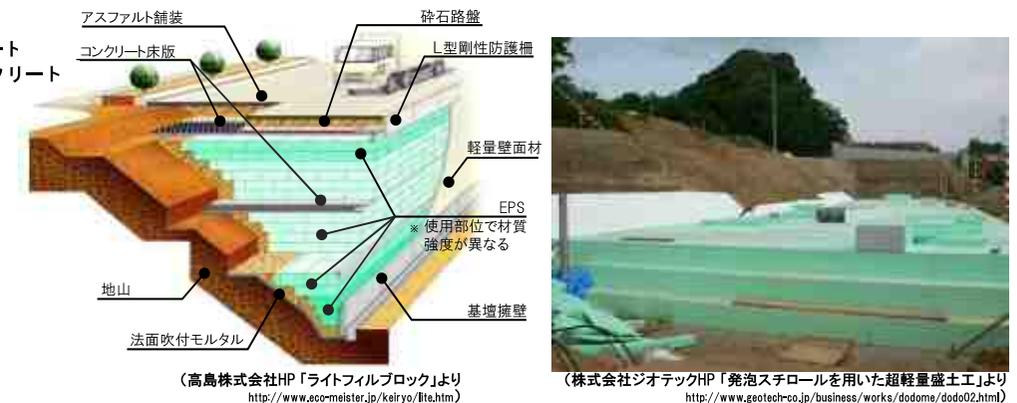


図37 軽量盛土工の計画例



図38 軽量盛土工の施工例

1-2-3 天守閣木造復元に伴う天守台石垣への影響と対策

○ 影響の検証

[検討結果]

素屋根設置等、天守閣木造復元工事が内堀内の遺構および石垣に与える影響について解析により検討した。その結果(図44)より、素屋根等の荷重による遺構面(堀底-70cm付近)の沈下は2.6~6.4mm、変形勾配は最大0.8/1000程度であることから、仮に埋蔵されている遺物があっても、破損、破壊の恐れはないものと考えられる。

また、石垣においても、石垣根入れ部の沈下は4.7mm、変形勾配は最大0.6/1000程度であり、仮設物設置による石垣の破損や崩壊の危険はないと考えられる。

仮設物及び軽量盛土除去によるリバウンドの影響については、現状位置に近づく方向に戻るため、変位量、変形勾配ともに設置時の解析結果より小さくなるため、遺構面や石垣に有害な影響を与えないと判断できる。

[検討内容]

解析は、下図に示すFEM解析モデルを用い、地盤条件は近隣及び既存の地盤調査に基づき定めた。内堀の表層には、既存のボーリングデータから、70cmの2次堆積土が存在するものとした。栗石の剛性は3ケースを想定し、パラメータスタディーを行った。

解析の結果、遺構面と考えられる内堀の2次堆積土の下面における沈下量はおよそ2.6~6.4mmであり、変形勾配は最大0.8/1000となった。これは、建築基礎等のコンクリートひびわれに対する限界値である1/1000~2/1000と比べて軽微である。また、石垣根入れ部の沈下はおよそ4.7mm、変形勾配は0.4~0.6/1000程度であり、石垣の孕み出しに対する警戒値(高さ10mで水平方向に60cm)と比較しても極めて軽微であると判断できる。

[今後の課題]

今後の石垣詳細調査、ケーソン部分の地盤調査結果に基づき、地盤構成や定数の見直しを行うとともに、石垣と栗石等の境界条件を整理し、確認解析を実施する。併せて工事中の計測管理を行う。

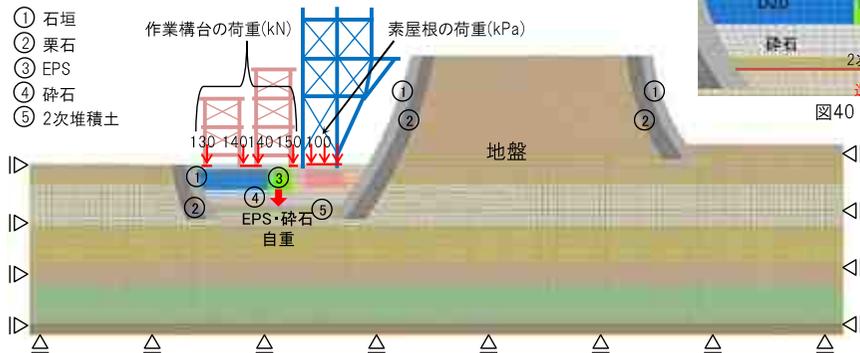


図39 解析モデル

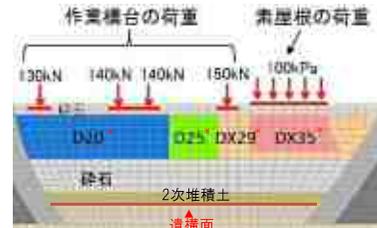


図40 EPS割付図

※ D20、D25、DX29、DX35はEPSの材料種別であり、各材料の物性については次項の表2-2~4に示す。

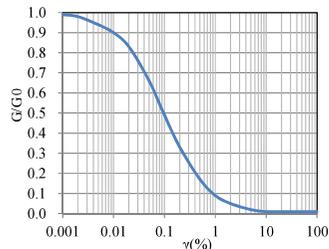


図41 解析に用いた石垣内部の地盤の非線形特性

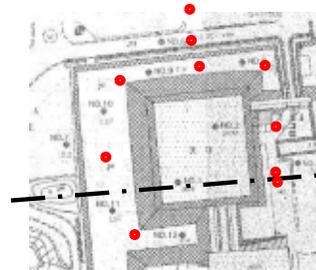


図42 名古屋城ボーリング配置図と解析モデル位置

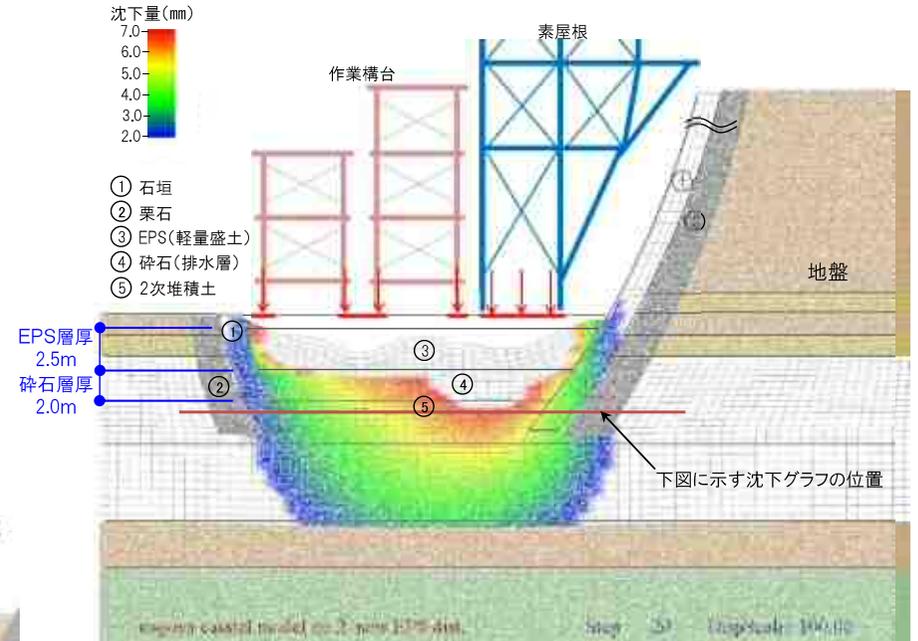


図43 断面モデルの地盤変状グラフ

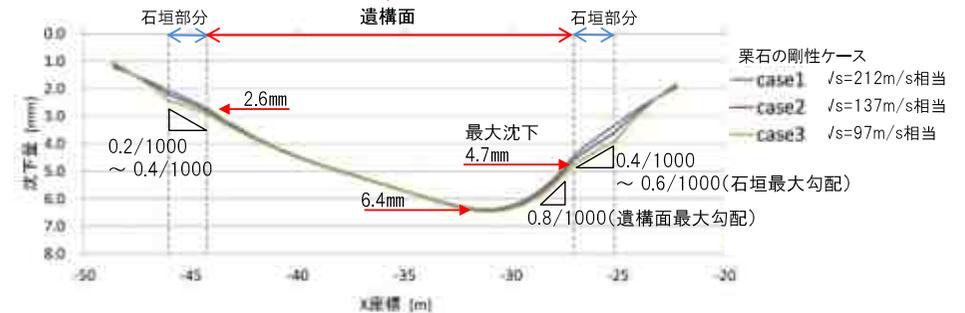
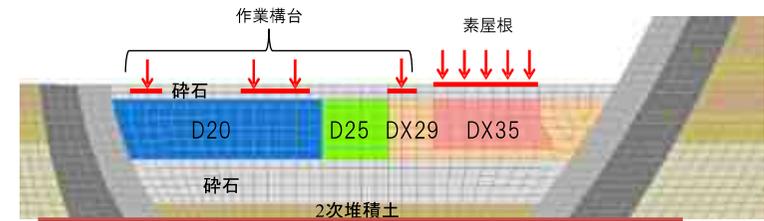


図44 2次堆積層下面の沈下グラフ

1-2-3 天守閣木造復元に伴う天守台石垣への影響と対策

[検討結果の応力状態]

EPS層で最大111kPa(=111kN/m²)程度、遺構面および2次堆積土で112kPa(=112kN/m²)程度の鉛直応力が発生することがわかる。

また、EPS層でのミーゼス応力※は最大で54kPa(=54kN/m²)である。

※ミーゼス応力とは、鉛直応力とせん断応力から計算される応力

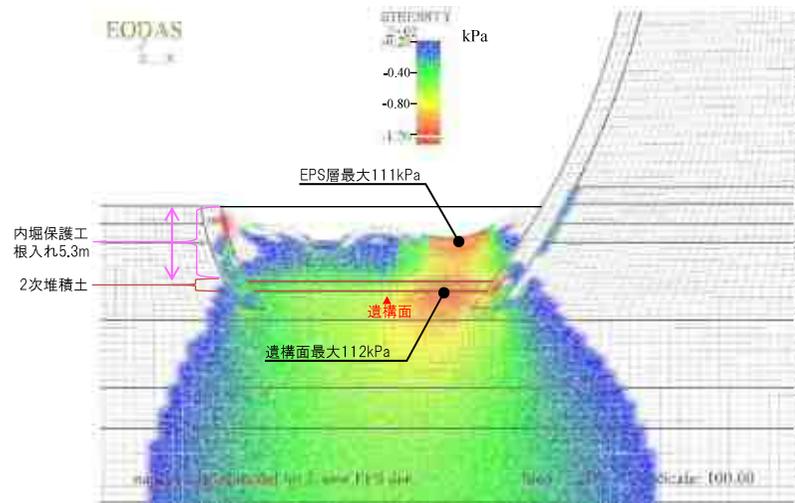


図45 鉛直応力のカウンター図 - case2(栗石 E=1.0×10⁵ kPa, Vs = 137 m/s相当)

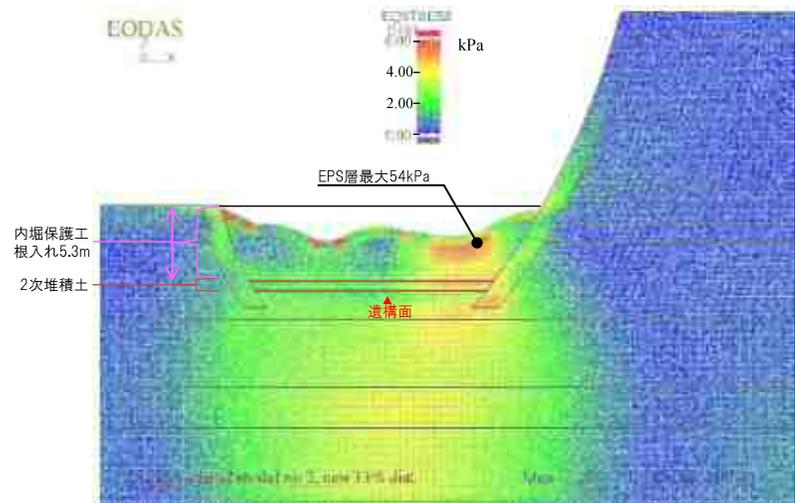


図46 ミーゼス応力のカウンター図 - case2(栗石 E=1.0×10⁵ kPa, Vs = 137 m/s相当)

[EPSの応力照査]

EPSの支持力は、各材料の最大鉛直応力以上の許容圧縮応力をもつ材料を使用することで満足する。また、せん断応力については、許容圧縮応力/2≧最大ミーゼス応力となる材料を使用することで満足する。

表10にEPSの各材料物性と最大発生応力を示す。今回の解析結果より、EPSの各材料強度が条件を満足していることを確認した。

表10 EPS材料種別毎の各材料物性と最大発生応力

項目	試験方法	単位	材料種別			
			DX-35	DX-29	D-25	D-20
単位体積重量	JIS K-7222	kN/m ³	0.35	0.29	0.25	0.20
許容圧縮応力	—	kN/m ²	200	140	70	50
品質管理圧縮応力	JIS K-7220	kN/m ²	400以上	280以上	140以上	100以上
許容せん断応力	—	kN/m ²	100	70	35	25
最大鉛直応力	—	kN/m ²	111	92	33	45
支持力判定	—	—	200 > OK	140 > OK	70 > OK	50 > OK
最大ミーゼス応力	—	kN/m ²	54	43	15	22
せん断力判定	—	—	100 > OK	70 > OK	35 > OK	25 > OK

[内堀表面の支持力について]

空堀下の埋土層はN値7程度のローム混じり砂である。内堀保護工の根入れが5.3mあるものとして、基礎指針により地盤支持力を算定した。国土交通省告示の極限支持力式より、

$$q_u = i_c \cdot \alpha \cdot C \cdot N_c + i_\gamma \cdot \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma + i_q \cdot \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q = 1055 \text{ kN/m}^2$$

ここに、 $\alpha = 1.2$ (正方形)、 $\beta = 0.3$ (正方形)、

$$\gamma_1 = 18 \text{ kN/m}^3, \quad \gamma_2 = 18 \text{ kN/m}^3, \quad \text{粘着力 } C = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{内部摩擦角 } \phi = \sqrt{(20 \times 7) + 15} = 26^\circ \text{ より, } N_c = 20.7, \quad N_\gamma = 6.8, \quad N_q = 10.7,$$

$$B = 1.0 \text{ m} \text{ と仮定、荷重傾斜による補正 } i_c = i_\gamma = i_q = 1, \quad D_f = 5.3 \text{ m}$$

長期支持力は $q_u/3$ なので、

$$1055/3 = 351 \text{ kN/m}^2 > 112 \text{ kN/m}^2$$

よって、鉛直荷重に対して遺構面の地盤は十分な支持力を有する。

[内堀表面の2次堆積土(軟弱粘土層)の絞り出し破壊について]

EPS層と内堀表面(遺構面)の埋土層には、約70cm程度の2次堆積土があり、軟弱粘土層と評価できる。日本建築学会の建築基礎構造設計指針p.116~118により絞り出し破壊の検討を行った。

$$q_u = \alpha \cdot c \cdot (4.14 + (B/2H_c)) = 354 \text{ kN/m}^2$$

ここに、 $\alpha = 1.0$ (連続基礎)、 $c = 20 \text{ kN/m}^2 (= q_u' / 2 = (40 + 5N) / 2, N=0)$ 、 $B = 19 \text{ m}$ 、 $H_c = 0.7 \text{ m}$

遺構面の鉛直応力は 112 kN/m^2 であるから、長期支持力を $q_u/3$ とすると、

$$q_u/3 = 354/3 = 118 \text{ kN/m}^2 > 112 \text{ kN/m}^2$$

よって、埋土表面に浅い荷重に対して内堀表面の軟弱粘土層は絞り出し破壊を起こさない。

[結論]

軽量盛土工による内堀保護工により、遺構面、石垣への有害な影響がないこと、また、材料強度ならびに地盤の支持力についても問題がないことを確認できたので、素屋根、構台等の仮設物の設置にあたり、内堀の保護工として内堀を軽量盛土工で埋め戻す対策を講じて天守閣木造復元工事を行うものとする。工事期間中は石垣に計測用のターゲットならびに変位計を設置し、石垣のモニタリングを実施する。石垣モニタリングを実施するにあたり、事前に管理値を設定し、有害な変状が発生した場合に必要な対策についても想定しておき、常時対応できる体制を整えておくものとする。