

特別史跡名古屋城跡 本丸搦手馬出周辺石垣修復事業

積直し基本計画（素案）

令和4年 月

名古屋城総合事務所

特別史跡名古屋城跡 本丸搦手馬出周辺石垣修復事業
積直し基本計画（素案） 目次

1 本丸搦手馬出周辺石垣の概要	
1.1 特別史跡名古屋城跡本丸搦手馬出について	1
1.2 地形地質状況	2
2 修復事業の経緯	
2.1 これまでの城内石垣修復事業	3
2.2 本丸搦手馬出石垣修復事業の概要	4
3 修復事業に伴う調査成果	
3.1 基本層序	6
3.2 主な遺構	6
3.3 傾斜硬化面	7
3.4 暗渠	7
3.5 背面検出石材	7
3.6 根石	7
3.7 捨石	8
3.8 敷金	8
3.9 刻印・墨書	8
4 変状原因の推定	10
5 石垣積直し計画	
5.1 修復勾配	11
5.2 修復構造	
5.2.1 概要	11
5.2.2 工学的解析による検証	11
5.2.3 安定化対策	14
5.3 石材	
5.3.1 石材再利用の判定	17
5.3.2 新補石材の調達	17
6 修景計画	
6.1 排水計画	18
6.2 活用計画と観覧動線	18
6.3 境門及び元御春屋門周辺の復元方針	18

6.4	緊急車両への対応	・ ・ ・ ・ ・	18
6.5	転落防止策	・ ・ ・ ・ ・	18
6.6	樹木及び植栽の管理	・ ・ ・ ・ ・	18
7	修景の考え方	・ ・ ・ ・ ・	19
8	積直しスケジュール		
8.1	想定スケジュール	・ ・ ・ ・ ・	20
8.2	積直し事業の公開活用	・ ・ ・ ・ ・	20
(資料編)			
別添資料 1	石垣背面盛土投影図(東面)	・ ・ ・ ・ ・	21
別添資料 2	石垣背面盛土投影図(北面)	・ ・ ・ ・ ・	22
別添資料 3	石垣の修復履歴	・ ・ ・ ・ ・	23
別添資料 4	石垣位置図及び事業範囲図	・ ・ ・ ・ ・	24
別添資料 5	解体範囲図	・ ・ ・ ・ ・	25
別添資料 6	石垣背面盛土土層図(東面)	・ ・ ・ ・ ・	26
別添資料 7	石垣背面盛土土層図(北面)	・ ・ ・ ・ ・	27
別添資料 8	傾斜硬化面検出位置図	・ ・ ・ ・ ・	28
別添資料 9	暗渠展開図	・ ・ ・ ・ ・	29
別添資料 10	背面検出石材位置図	・ ・ ・ ・ ・	30
別添資料 11	根石調査位置図	・ ・ ・ ・ ・	31
別添資料 12	捨石累積図	・ ・ ・ ・ ・	32
別添資料 13	敷金検出位置図	・ ・ ・ ・ ・	33
別添資料 14	「天和2年」の墨書位置図	・ ・ ・ ・ ・	34
別添資料 15	変状メカニズムの推定	・ ・ ・ ・ ・	35
別添資料 16	修復勾配計画図(東面)	・ ・ ・ ・ ・	36
別添資料 17	修復勾配計画図(北面)	・ ・ ・ ・ ・	37
別添資料 18	石垣修復構造	・ ・ ・ ・ ・	38
別添資料 19	有限要素法解析結果	・ ・ ・ ・ ・	39
別添資料 20	慶長期石垣と天和期石垣の接点安定化	・ ・ ・ ・ ・	40
別添資料 21	逆石調整後の付加石材等対策	・ ・ ・ ・ ・	41
別添資料 22	石垣逆石安定性評価試験	・ ・ ・ ・ ・	42
別添資料 23	栗石層安定化対策	・ ・ ・ ・ ・	43
別添資料 24	石材再利用判定フロー	・ ・ ・ ・ ・	44
別添資料 25	排水計画図	・ ・ ・ ・ ・	45
別添資料 26	現況高さ	・ ・ ・ ・ ・	46
別添資料 27	活用計画と観覧動線	・ ・ ・ ・ ・	47
別添資料 28	植栽管理計画	・ ・ ・ ・ ・	48
別添資料 29	計画平面図	・ ・ ・ ・ ・	49
別添資料 30	計画断面図	・ ・ ・ ・ ・	50
別添資料 31	鳥瞰イメージ図	・ ・ ・ ・ ・	51
別添資料 32	金城温古録	・ ・ ・ ・ ・	52

1 本丸搦手馬出周辺石垣の概要

1.1 特別史跡名古屋城跡本丸搦手馬出について

特別史跡名古屋城跡は名古屋市中区本丸に位置する。名古屋城は慶長 14 (1609) 年に徳川家康により築城が決定され、慶長 15 (1610) 年から築城に関わる工事が始められたとされる。石垣は西国を中心とした 20 大名による公儀普請によって築かれ、「事蹟録」によれば慶長 15 年 6 月 3 日より根石置きが始まった。「蓬左遷府記稿」には、同年 8 月には加藤清正が天守台の石垣を完成させ、同年 9 月には本丸・二之丸・西之丸・御深井丸の石垣がおおよそ完成し、大名たちが帰国したという記録が残されている。

名古屋城の石垣普請に関しては、大名の担当箇所や規模を記した「名古屋城町場請取絵図」および「名古屋御城石垣絵図」といった史料や絵図類が残されている。これらの史資料によれば、本事業の対象である本丸搦手馬出周辺石垣を担当している大名は、浅野幸長、黒田長政、田中忠政、山内忠義、蜂須賀至鎮、生駒正俊、鍋島勝茂となっている。また「瑞龍院様御代奉書并諸書付類之写」の中の「名古屋城修復許可老中奉書写」に、崩落しその両脇に孕みの生じた本丸東北隅の石垣等の修理を許可したという記録が、天和 2 (1682) 年 2 月 21 日付で残されている。『名古屋城石垣災害・補修一覧』(高田 2002) によってこの老中奉書で修復が許可された石垣が今回行っている本丸搦手馬出にあたりと指摘されてきた。天和 2 年の修復については、搦手馬出東面石垣の解体石材から「天和武年」の墨書が確認できたことから、搦手馬出の修復のことであったと考えてよいだろう。

名古屋城の本丸には大手と搦手に 2 つの馬出がつくられている。現在の表二之門の南側に位置していた大手馬出については、西側の堀が近代に埋め立てられたことから、現在はその全貌をうかがうことができなくなっている。一方、搦手馬出については、その形状が現在までよく残されていると考えられている。搦手馬出は本丸の東側に位置し、東門桁形とは土橋で結ばれる。南北に出入口が設けられ、北側は塩蔵構へと接続し、南側は二之丸へと接続する。南側の出入口には旗台が設けられ、元御春屋門が建てられていた。

普請に伴う丁場割を記した絵図では、東の多門櫓台の西側には雁木が描かれる。尾張藩の掃除中間頭であった奥村得義とその養子である奥村定によって編集された、名古屋城について網羅的に記録した書物である「金城温古録」にも、搦手馬出について記録が残されている。「金城温古録」では、搦手馬出は間口 51 間 2 尺・奥行 28 間 1 尺余・高さは空堀側で 7 間、水堀側で 8 間 (約 93.3m × 51.2m × 12.7m (空堀)、14.5m (水堀)) と記されている。この規模は現在の測量図での計測値 (南北約 94.3m × 東西 51.8m × 高さ 12.5m (空堀)、14.2m (水

堀))と比較的近い値となっている。大手馬出とは異なり多門櫓や雁木は描かれておらず、北東隅には櫓台の石垣が築かれ、「闕」(やぐらだい)と記載されているが、建物の痕跡は現在までに行われた調査では確認されていない。

1.2 地形地質状況(別添資料1・2)

名古屋市域の地形は大きく丘陵・台地・平野の3つに分けられる。名古屋市東部が丘陵地、中心部が台地、北部から西部が沖積平野となっている。名古屋城は市域中央部の熱田台地北西端に位置する。熱田台地は名古屋台地とも呼ばれ、6～9万年前に火山勾配の海底堆積物が隆起してできた洪積台地であり、名古屋城付近から熱田神宮付近までの南北15km程度、東西は広いところで3km程度の細長い地形となっている。

現在の特別史跡名古屋城跡の有料区域内には本丸・二之丸・西の丸・御深井丸の4つの曲輪が存在し、各曲輪の標高は12～15mである。東と南には空堀を挟んで武家地として利用されていた三之丸が広がる。名古屋城の北と西は段丘崖に面し、比高は10m程で、北から西にかけては濃尾平野を形成する低地部が広がる。西側には台地の縁辺に沿って築城に伴い開削された堀川が流れる。

本丸搦手馬出石垣の背面は、標高約12mより上部は玉石混じり砂礫を主体とする最大礫径 ϕ 100程度の盛土である(Bg)。N値は概ね20～30を示す。標高約12mより下側の盛土は、礫混じり細砂を主体とするものであり(Bs)、N値は概ね21～30を示す。標高約6mより下側の盛土は礫混じり細砂を主体とする粘性土であり(Bc)、N値は概ね21～31を示す。盛土の下層は洪積層の熱田層であり、細砂やシルト混じり細砂、シルト質細砂を主体とする砂質土で

(Ds)、N値は標高0m程では12～17、標高0m以下では50以上を示す。根石以下2m程度はN値0～10程度の砂質土又は粘性土であり、根石付近の強度が低い状況であった。

本事業では、石垣解体に際し背面地盤の地盤工学的な特徴を把握するために土の不攪乱試料のサンプリングを行い、密度、含水比、粒度組成及び締固め試験結果等の室内土質試験を実施した。背面土のブロックサンプリングの結果は解体前・変状前想定断面の円弧すべり解析を行う際に参考とした。

2 修復事業の経緯

2.1 これまでの城内石垣修復事業

特別史跡名古屋城跡では、昭和45年(1970年)に発生した御深井丸北側の石垣崩落事故を契機に城内の石垣を順次修復している。これまでに16件の石垣修復事業を完了し、本丸搦手馬出石垣は17件目である。〔表1、石垣の修復履歴(別添資料3)〕

表1 城内全体の石垣修復事業の経過

年度(和暦)	年度(西暦)	補修箇所	解体修理面積(m ²)
昭和45年度	1970年度	深井丸	1,027
昭和46年度	1971年度		
昭和50年度	1975年度	塩蔵門跡東側	113
昭和51年度	1976年度	不明門跡	176
昭和52年度	1977年度		
昭和53年度	1978年度	東一之門跡東側	195
昭和54年度	1979年度		
昭和55年度	1980年度	御春屋門跡	69
昭和56年度	1981年度	東南櫓二之丸境	106
昭和57年度	1982年度	表一之門跡北側	97
昭和58年度	1983年度		
昭和59年度	1984年度	表一之門跡南側	118
昭和60年度	1985年度		
昭和61年度	1986年度	不明門跡(塩蔵門跡西側)	249
昭和63年度	1988年度		
平成元年度	1989年度	東一之門跡西側	162
平成3年度	1991年度		
平成4年度	1992年度	くろみ林塩蔵構境	135
平成5年度	1993年度		
平成6年度	1994年度	二之丸旧東二之門跡北側・東面	609
平成8年度	1996年度		
平成6年度	1994年度	塩蔵構南	143
平成9年度	1997年度		
平成10年度	1998年度	二之丸旧東一之門跡西	125
平成11年度	1999年度	二之丸旧東二之門跡南	119
平成12年度	2000年度	不明門北東	240
平成13年度	2001年度		
平成14年度	2002年度	本丸搦手馬出	1,558
平成15年度	2003年度		

2.2 本丸搦手馬出石垣修復事業概要

本丸搦手馬出石垣は、図 1 のように大きく孕み出して危険な状態であったため、これを解消し石垣を健全な状態とすることを目的として、解体修復事業に取り組んでいる。測量結果を元に孕み出し指数 δ （孕み出し量(m)/孕み出し範囲高さ）を計算すると $\delta = 12.9$ となり、不安定となる目安とされている $\delta = 6$ を大きく超えていたことから、平成 14 年（2002 年）より修復事業に着手している。

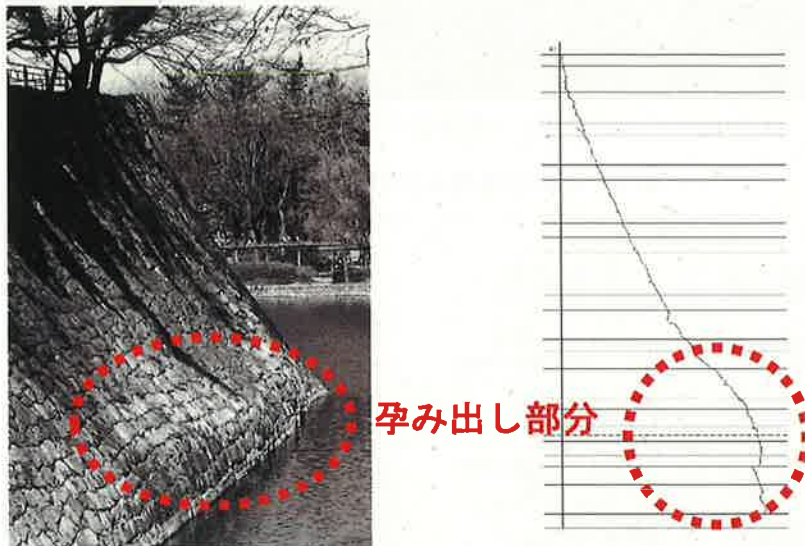


図 1 東面解体前写真・断面

本丸搦手馬出石垣は、14m を越える高石垣であることから、解体時に背面の安定勾配を確保し崩落を防がなければならない。現代的な補助工法の適用も検討したが、結果として背面盛土を必要最低限の範囲で掘削することはやむを得ないと判断し、背面遺構の記録を行いながら慎重に解体作業を進めた。

また、施工機械の配置にあたっては遺構保護の観点から水堀側への設置を検討したが、水堀の水深が浅いため台船が使用できず、堀の広範囲に支持杭を打つ必要があるなど堀底への影響が懸念され、その影響調査等が困難であることから遺構の保存への影響を最小限に抑えられるよう配慮したうえで陸側へ設置することとした。

解体は平成 30 年（2018 年）までに概ね完了し、解体範囲は本丸搦手馬出の北東隅角より南に 57m（東面）、西に 51m（北面）、解体した範囲の合計は立面積 1557.8m²、解体石材数は 4393 個となった。〔石垣位置図及び事業範囲図（別添資料 4）、解体範囲図（別添資料 5）〕

解体で得られた知見をもとに粋工の施行を行った。さらに、令和 2 年度には変状原因を推定の上、積直しに係る方針を積直し基本方針として取りまとめた。

令和 2 年度に取りまとめた基本方針に基づき詳細を検討し、今回、積直し基本計画として取りまとめるものである。

今後は、本計画に基づき、令和 4 年度より実施設計を行い、その後本格的な積直しに着手する予定である。



写真 1 解体完了写真

表 2 本丸搦手馬出石垣修復の経過

年 度	地 点	施 行 面 積 等
平成14年度 (2002年度)	○ 本丸搦手馬出周辺 □ 平面図・立面図作成	—
平成15年度 (2003年度)	○ 本丸搦手馬出内各所 □ 測量・発掘調査のみ実施	—
平成16年度 (2004年度)	○ 境門東側桁形周辺 □ 北面 (No.2)・No.5・6石垣	◇ [石垣解体面積] 171.2 m ² ◇ [解体石材数] 476 個
平成17年度 (2005年度)	○ 元御春屋門北側桁形周辺 □ No.7・8・9・10石垣	◇ [石垣解体面積] 87.8 m ² ◇ [解体石材数] 323 個
平成18年度 (2006年度)	○ 北東櫓台周辺 □ No.1・2・3・4石垣	◇ [石垣解体面積] 170.8 m ² ◇ [解体石材数] 300 個
平成19年度 (2007年度)	○ 北東櫓台周辺 □ No.1・2・3・4石垣	◇ [石垣解体面積] 144.0 m ² ◇ [解体石材数] 407 個
平成20年度 (2008年度)	○ 本丸搦手馬出東面石垣 □ No.1石垣	◇ [石垣解体面積] 170.7 m ² ◇ [解体石材数] 517 個
平成21年度 (2009年度)	○ 本丸搦手馬出東面・北面石垣 □ No.1・2石垣	◇ [石垣解体面積] 194.2 m ² ◇ [解体石材数] 592 個 (うち暗渠石組蓋石・側石 37)
平成22年度 (2010年度)	○ 本丸搦手馬出東面石垣 □ No.1石垣	◇ [石垣解体面積] 189.4 m ² ◇ [解体石材数] 520 個
平成23年度 (2011年度)	○ 本丸搦手馬出東面・北面石垣 □ No.1・2石垣	◇ [石垣解体面積] 146.7 m ² ◇ [解体石材数] 450 個 (うち暗渠石組底石等 31個)
平成24年度 (2012年度)	○ 本丸搦手馬出東面・北面石垣 □ No.1・2石垣	◇ [石垣解体面積] 112.6 m ² ◇ [解体石材数] 338 個
平成25年度 (2013年度)	○ 本丸搦手馬出東面・北面石垣 □ No.1・2石垣	◇ [石垣解体面積] 100.4 m ² ◇ [解体石材数] 280 個
平成26年度 (2014年度)	○ 本丸搦手馬出東面・北面石垣 □ No.1・2石垣	◇ [石垣解体面積] 0 m ² ◇ [解体石材数] 0 個
平成27年度 (2015年度)	○ 本丸搦手馬出東面・北面石垣 □ No.1・2石垣	◇ [石垣解体面積] 0 m ² ◇ [解体石材数] 0 個
平成28年度 (2016年度)	○ 本丸搦手馬出東面・北面石垣 □ No.1・2石垣	◇ [石垣解体面積] 0 m ² ◇ [解体石材数] 0 個
平成29年度 (2017年度)	○ 本丸搦手馬出東面・北面石垣 □ No.1・2石垣	◇ [石垣解体面積] 0 m ² ◇ [解体石材数] 0 個
平成30年度 (2018年度)	○ 本丸搦手馬出東面・北面石垣 □ No.1・2石垣	◇ [石垣解体面積] 7.0 m ² ◇ [解体石材数] 190 個
合 計		◇ [石垣解体面積] 1557.8 m ² ◇ [解体石材数] 4393 個

3 修復事業に伴う調査成果

平成 14 年度に解体前の現況状態を確認するための調査を実施している。石垣現況調査（平板測量及び根石部水深調査）、石垣健全性調査（ボーリング、地中レーダー探査、表面波探査）を実施し、石垣裏の空隙等がある不健全範囲を特定するとともに、地盤の強度と地層の確認を行った。

平成 15 年度から解体に伴う文化財調査を実施している。また平成 22・24～27 年度には水堀底部において、搦手馬出東面石垣（No. 1 石垣）、北面石垣（No. 2 石垣）の根石を確認するための発掘調査を行った。根石調査の成果をもとに、石垣前面の捨石をいかした形で杵工による石垣裾部前面の補強工法を実施した。平成 18 年度からの本丸搦手馬出東面石垣、北面石垣の解体に伴う調査で、本丸搦手馬出北東隅櫓台中心軸の東西及び南北の同一位置で継続して断面観察を行っている。この東西・南北トレンチの土層断面図を合成・編集して土層投影図を作成した。

3.1 基本層序（別添資料 6・7）

本丸搦手馬出石垣の背面盛土は大きくⅠ～Ⅲの三種類に分けることができる。Ⅰ層は慶長期の盛土、Ⅱ層は天和期の修復時の盛土、Ⅲ層は天和の改修以降の上部構造の盛土と考えられる。搦手馬出平面部分の調査の際には近現代の盛土も確認されており、平面空間は近代に大きく造成されているとみられる。またボーリングによる地盤調査を平成 14・18 年度に実施しており、本事業以前に行った平成 7 年度の成果を含めた成果の再整理を平成 28 年度に実施している。3.4 で後述する暗渠の下では基盤層と考えられる熟田層が確認されている。基盤層上面には中世の遺物を包含する茶褐色砂質土が堆積している。基盤層の上面は標高 7.8m で、石垣前面から 8.5m の位置で落ち込んでいる状況が確認されている。この形状が本来の崖線の位置を表しているかはさらなる検討が必要であるが、この基盤層の落ち込むラインは南北に蛇行し、石垣の造成に伴う直線的な掘り込みとは状況が異なるため、自然地形を残している可能性が高いと考えられる。

3.2 主な遺構

発掘調査で確認された遺構として、搦手馬出上面では近代の防火水槽が、石垣背面では石垣面へ傾斜する硬化面（以下、傾斜硬化面）、北面石垣に開口する暗渠及び背面検出石材が確認されている。各遺構の詳細については後述する。

搦手馬出で行ったトレンチ調査及び東北隅櫓台の調査では、明確な遺構は検出されなかった。

3.3 傾斜硬化面（別添資料 8）

平成 15・23～25 年度のトレンチ調査で、石垣面方向へ向かって約 20 度の角度で下がるスロープ状の面の存在を検出した。スロープ状の面の上面は、多くの箇所鉄分が沈降集積し、表面がかなり硬化していた。石垣修復時の作業面と考えられ、傾斜硬化面と呼称している。平成 23・24 年度調査では、斜路状遺構はⅡ層の最下部で確認されている。特に平成 23 年度に調査した北面石垣の背面盛土中の斜路状遺構は、高さの異なる三つのスロープが隣接し、複雑な状況を呈していた。平成 23～25 年度調査において、石垣下部付近で確認された傾斜面に鉄分の付着が著しいことから、水みちとなって孕み出しの原因となっている可能性が指摘された。

3.4 暗渠（別添資料 9）

北面石垣に開口する暗渠については平成 21 年度及び平成 23 年度に調査を行った。暗渠は柵部の南側で石材や石材の抜き取り痕が確認されたことや、底部石の調査で確認された栗石の構造の違いなど、いくつかの改修跡が確認されている。暗渠上部の盛土はシルトを主体とし、暗渠西側ではⅠ層を明確に掘り込んでいる。暗渠全長は 14.6m、南端と開口部の比高差は約 1 m である。底石の下は南 1 / 3 が盛土上、残り 2 / 3 は 5～10 cm 大の円礫の上に築かれている。石垣面から 7 石目までが大きく沈下しており、円礫基礎が北面石垣の栗石の沈下に合わせて陥没した可能性が高い。石垣南側下部で暗渠の集水柵が確認されており、さらに南から集水柵へ接続する暗渠の一部を検出した。

3.5 背面検出石材（別添資料 10）

背面検出石材とは、石垣背面の栗石層中及び栗石層と背面盛土の境界付近で検出された築石大の石材と定義している。石材の大きさは控え長が 1000 mm 程度で、刻印が確認されているものもあり、概ね標高 8m よりも下で確認される。刻印の内容から築城期の石材と考えられる。搦手馬出全体で 224 個確認されており、砂岩と花崗岩系の比率はおおよそ 1:2 である。傾向としては栗石と背面盛土の境界付近でみられるが、累積図では置き方に規則性はみられなかった。また石列のように面を持って並ぶような状況もみられなかった。他城郭でも築城及び改修の際に再利用できなかつたと思われる石材を栗石中に入れる事例は存在するが、搦手馬出で確認された規模の石材が「背面石垣」としてではなく栗石中に混入する例は確認できなかつた。

3.6 根石（別添資料 11）

積み直しのための調査として根石周りの変状を確認することを目的として平

成 22・24・25・26 年度に根石調査を実施した。根石調査では、石垣前面に鋼矢板を打ち込み、止水した状況で根石下まで掘り下げた。平成 26 年度の調査では根石下の状況まで確認できた。平成 26 年度調査は 2 トレンチ（北トレンチ・南トレンチ）を設定して実施した。調査の結果、東面石垣の根石下に両トレンチで土台木を確認した。しかし、南トレンチの根石接地面は北トレンチよりも石材で 1 石分多く、標高で 0.45m 深い。南トレンチではトレンチ内の 3 石の根石は全て土台木の上に据えられていたが、北トレンチでは石垣面に向かって南から 3 石は土台木の上に、それ以北は熟田層由来と考えられる粘質土による盛土の上に直接根石が据え置かれていた。土台木は幅 40 cm（北トレンチのみで確認）、厚さ 30 cm、確認された長さは北トレンチで約 2.2m、南トレンチで約 2.1m。北トレンチの土台木は北側先端部が継手状に加工されていた。上面及び側面（石垣前面側）については面取り加工がなされているが、底面は触診の結果曲面であり、本来の木材面と考えられる。南トレンチの土台木は側面、底面ともに面取り加工がされている。土台木はモミ属、マツ属の木材が使われている。

3.7 捨石（別添資料 1 2）

根石調査の結果、根石付近には著しい破損はみられなかった。また石の積み方が石垣上部でみられるような布積みではなく乱積みである状況から根石が慶長期のものであることが推察された。そのため根石までの取り外しは行わずに地盤を改良するため砕工を施工した。砕工とは石垣前面に打ち込んだ杭の間を貫てつなぎ、隙間に捨石を充填することによって地盤を補強し、石垣が前面に迫り出すことを防止する対策工である。工事に伴う発掘調査に際して、石垣前面に捨石が確認された。捨石は大型の石材の間を栗石で埋めるように施工されている。東面石垣よりも北面石垣の捨石の方が密に並べられている。捨石については砕工の一部として残置した。

3.8 敷金（別添資料 1 3）

北東隅角部から平成 21 年から平成 30 年度までに 91 点の敷金が出土している。1 石につき 1 枚のみで使用されるもののほか、複数個所に挟むもの、複数枚を重ねて使用するものもみられた。令和 2 年度に成分分析を行った結果、いずれも 99% 以上の Fe（鉄）と多数の微量元素で構成されていることを確認した。また試料採取時の切断面から、錆は表面にしか及んでいないことを確認した。

3.9 刻印・墨書（別添資料 1 4）

解体した築石から刻印及び墨書が確認できた。墨書は岩崎山産の花崗岩で確認でき、修理の際の新補石材に書かれていると考えられる。数字を記したものが

多い。また「天和貳年」と書かれた築石も確認されており、天和2年に修復された石垣が搦手馬出石垣であるという説を補強するものである。

4 変状原因の推定

解体前のボーリング調査から、石垣の下が比較的軟弱な地盤であることが判明した。根石より下側はN値 10 程度の粘土層であり、弱い地盤の上に高石垣が構築されている。また、石垣背面にて確認された傾斜硬化面（3.3 参照）付近で土質調査を行ったところ、土中のカルシウム分などの化学成分の溶脱がみられたことから、盛土境にかなりの長期間に渡り浸透水が集中し、この部分の細粒分を栗石層内に流出させたと考えられる。さらに、解体範囲の最下段から逆石状の石材が 8 石程度集中して確認された。

今回、孕み出しに影響したのは軟弱地盤、傾斜硬化面への浸透水の集中、逆石状の石材の 3 つが主要因であると推定し、その経過について、変状メカニズムの推定（別添資料 15）のようにステップ分けして整理した。

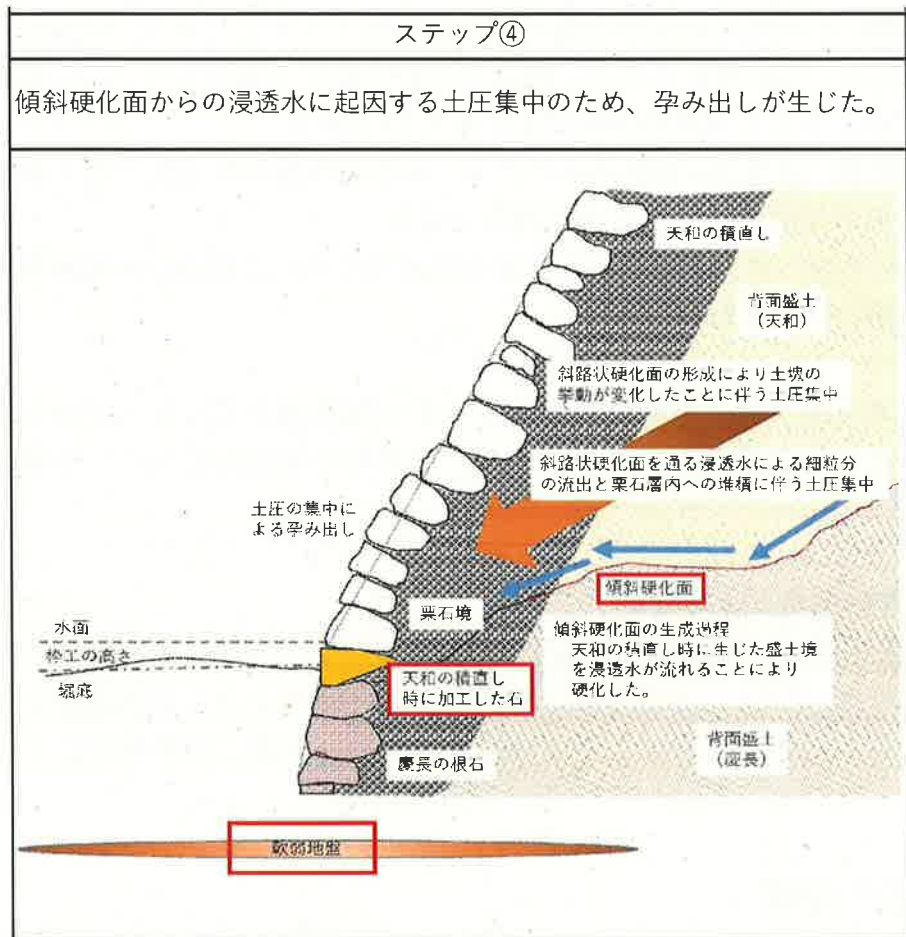


図 2 変状原因の推定（別添資料 15 より抜粋）

5 石垣積直し計画

5.1 修復勾配

孕みが生じていない健全とみられる部分の勾配を東面、北面にてそれぞれ抽出し、これを基準断面として修復勾配を設定した。〔修復勾配計画図(東面)別添資料 16、修復勾配計画図(北面)別添資料 17)〕なお、今後も石垣の勾配について学術的な観点から、本質的価値を明らかにしていく調査研究活動についても、継続して行っていく。

5.2 修復構造

5.2.1 概要

石垣積直しの全体構造は、別添資料 18 に示す(1)～(11)の通りとする。特に前述 3 にて整理した変状要因への対応として、下記のとおり対策を行う。

- ・**軟弱地盤**：石垣前面の基礎地盤に枠工を設置することにより、地盤を安定化した。枠工は、松杭を打ち込み、杭同士を貫で繋ぎ一体化した上で、割栗石層を設置することにより地盤を安定化するものである。
- ・**傾斜硬化面**：浸透水の流入防止のため、水平排水層や吸出防止層の設置及び地表面からの浸透を防止する表面構造とする。
- ・**逆石状の石材**：逆石状の石材を安定化させるために、逆石の角度調整及び補強石設置等の対策を行う。

なお、本丸搦手馬出石垣の栗石層幅は 4～5m 程度と広がっており、地震時に不安定となる可能性もあることから、地震時の安定性についても検証を行った。

5.2.2 工学的解析による検証

まず、修復前モデルにより円弧すべり解析を行った結果、栗石層内にすべり面が形成された。さらに、有限要素法解析による解析によって変状過程を再現し変形量を明らかにすることにより変状要因の確認と対策工の評価を行うこととする。

(1) 円弧すべり解析

修復前モデルにより円弧すべり解析を行った。図 3 は円弧すべり解析の概要である。結果を図 4 及び表 3 に示す。図 4 より、すべり面が栗石層内に形成されていることが確認できた。

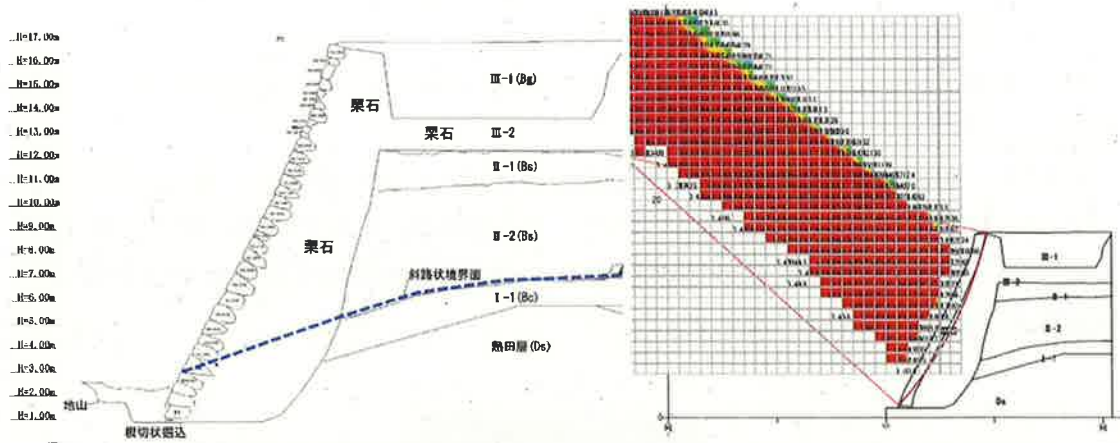


図3 円弧すべり解析モデル図

図4 円弧すべり解析結果

表3 円弧すべり解析結果

種別	記号	単位	条件と結果	
			常時	地震時
計算式			修正Fellenius法(道路土工式)	
地盤水平震度係数	K_h		—	0.150
安全率	F_s		0.584	0.397
計画安全率	$p \cdot F_s$		1.200	1.000
抑止力	P_r	kN/m	221.5	232.6
円弧中心座標	X	m	-24.000	
	Y	m	24.000	
円弧半径	R	m	34.000	
すべり面長	L	m	17.961	
面積	A	m^2	16.68	
間隙水圧	U	kN/m	0.0	
法線力	N	kN/m	190.6	136.6
地すべり抵抗力	S	kN/m	210.177	153.491
地すべり力	T	kN/m	359.767	306.129

(2) 有限要素法による解析

変状過程の再現と対策工の評価を行うため、有限要素法解析を行った。〔有限要素法解析結果(別添資料 19)〕

常時を想定した静的解析及び地震時を想定した動的解析を下記の 4 ケースについて行った。

- ケース 1-1: 変状前の状況 (常時、静的解析)
- ケース 1-2: 枠工対策後 (常時、静的解析)
- ケース 2-1: 枠工対策に加えて栗石層幅を 2m とした場合 (常時、静的解析)
- ケース 3-1: ケース 2-1 に地震波を入力 (地震時、動的解析)

ケース 1-1 では石垣下部に塑性ひずみが集中し変形量は 10.6 cm となった。解体前の孕み出しの位置で変形しており、解体前の現状を追認する結果となった。

ケース 1-2 で枠工を設置すると、変形量は 64% 改善する。(10.1 cm → 3.6 cm)

このことから、砕工の効果は高いと考えられる。

ケース 2-1 のように栗石層幅を 2m に縮めた場合には、変形量はさらに 89% 改善した。(3.6 cm→0.4 cm)

地震時における石垣の安定性を照査するため、静的解析にて最も安定するケース 2-1 に対して東南海地震を想定した地震波を入力し、動的解析を行った。その結果、東南海地震規模の地震発生時の変形量は相当大きいものと想定され、崩壊も懸念される結果となった。

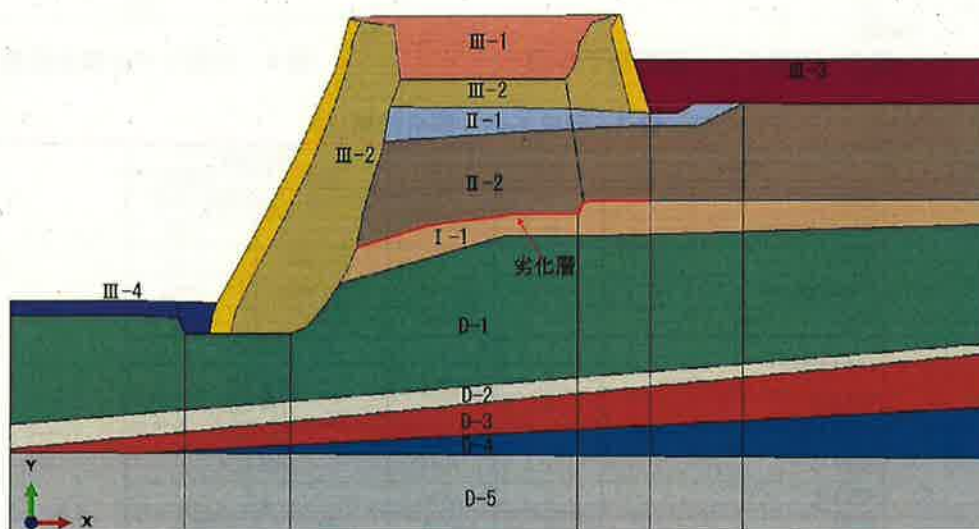


図 5 有限要素法解析モデル図

表 4 有限要素法解析入力パラメータ

記号	区分	土質・岩種	単位体積重量(kN/m ³)	内部摩擦角 ϕ°	粘着力(C kN/m ²)
III-1	隅檜台上部盛土層	シルト質土	16.0	5	84
III-2	栗石層	壘円礫	16.0	35	0
III-3	盛土層	シルト質土	16.0	5	84
III-4	堀底盛土層	中砂	16.0	24	36
II-1	盛土層	砂質土	17.0	16	95
II-2	盛土層	砂質土	17.0	16	95
II-3	劣化層	砂質土	17.5	42	0
I-1	築城期盛土層	粘土・シルト質土	18.0	28	70
D-1	熱田層	細砂	16.0	42	43
D-2	熱田層	火山灰質シルト	16.0	25	42
D-3	熱田層	火山灰質シルト	16.0	39	228
D-4	熱田層	火山灰質シルト	20.0	31	108
D-5	熱田層	砂礫	20.0	39	240

5.2.3 安定化対策

修復後の石垣を安定化させるため、別添資料 18 のとおり対策を行う。

(1) 根石部の安定化

杵工は現状では詰石間に間隙があることから、確実に機能を発揮するように、石材による間詰工を行う。

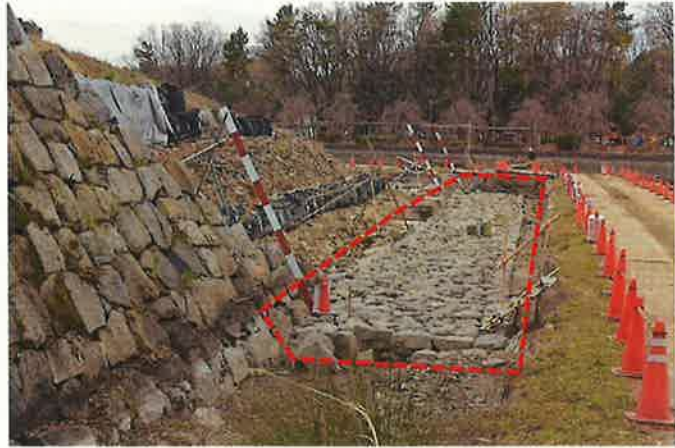


写真2 根石部の安定化（杵工）

(2) 背面盛土

修復後の短期強度確保のために石灰混合を行う。過去の調査より石灰添加量は施工上最低となる2%を基本とする。

(3) 表層改良・表面排水

石垣背面からの雨水浸透を抑制するため、石垣背面への急激な雨水浸透を抑制できる構造とする。(石垣天端：真砂土舗装、土塁：芝、馬出の平面：芝、十字路：脱色アスファルト)

(4) 水平排水層

浸透水の傾斜硬化面への流入による石垣背面土の劣化を防止するため、水平排水層を設置する。構造は、傾斜硬化面直上に厚さ15 cm～20 cmの単粒碎石又は粒度調整碎石にて設置し、上から土砂が入るのを防止するため直上に不織布を敷く。

(5) 吸出防止層

石垣背面土の細粒分の流出を抑制するため、栗石層の一部を吸出防止層として機能させる。(粒度調整碎石を用いて幅60 cm程度)なお、目詰まりした時のリスクを考慮し、栗石と盛土の間に不織布は使用しない。

(6) 傾斜硬化面の措置

慶長と天和の盛土境に生じた硬化面は、解体時の観察や工学的解析の結果より、安定性に及ぼす影響が軽微であると推測されることから残置する。水みちになっていることを改善するため、傾斜硬化面に雨水等が浸入しないために上記(4)のとおり排水対策を行う。

(7) 築城期石垣と天和期積替え部分の接点石材

平成 30 年度石垣解体時に石垣東面の築城期石垣と天和期積替え部分の境目より逆石が集中して確認された。

(写真 3、別添資料 5) この石材の安定性確認のため実験室でのモデル試験を行い(別添資料 22) 対策の必要性を確認した。対策として石材の角度補正を行うこととし、(別添資料 20) また、同様の変形を防止するために付加工法を併用する。(写真 4、別添資料 21、22)



写真 3 慶長と天和の接点の逆石状石材

(8) 栗石層

栗石層は前述 5.2.2 のとおり地震時に大きく変状する恐れがあることが明らかとなった。地震に対する安全性を確保するため比較検討(別添資料 23)を行った結果、栗石層の最小限の範囲にジオテキスタイルを付加することを前提とし、解体前の栗石層幅を踏襲して、今後具体的な設計を行っていく。



写真 4 逆石付加工法の有効性検証試験状況

(9) 櫓台の安定化

工学的解析の結果、櫓台下部の栗石層が安定性に及ぼす影響は軽微と推定されるため、解体前の構造に復する。

(10) 背面検出石材

石垣背面から検出された築石大の石材については、安定性に影響を及ぼす要因になり得ることから、栗石に置き換える。

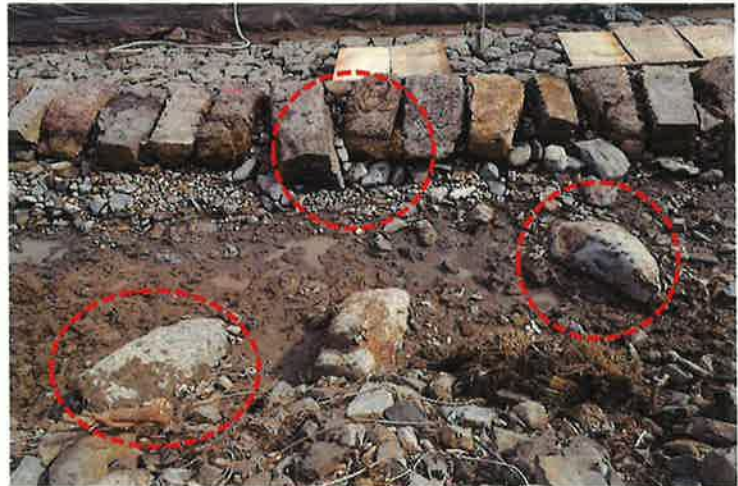


写真5 背面検出石材

(11) 敷金

成分分析の結果を踏まえ、同成分の複製品を試作する。

複製品を元の位置へ設置することを基本とするが、想定する勾配にならない場合も考えられるので、積直し時に現場対応する。



写真6 敷金検出状況



写真7 敷金(拡大)

5.3 石材

5.3.1 石材再利用の判定

積直しに用いる石材は、解体した石材を再利用することを基本とする。解体時に既に損傷している石材については、補修や場合によっては新補石材へ交換する。石材の再利用については、元の位置で再利用が可能かどうかを基準として、別添資料 24 のフローのとおり再利用の可否について判定した。再利用不可の石材は新補石材に交換し、補修可能と判断した石材は補修して再利用する。

5.3.2 新補石材の調達

石材の再利用判定の結果、解体した 4393 石中、80 石程度が再利用不可と判定された。再利用不可となった石材は、新補石材に交換する。新補石材は、交換する石材と同じ産地、石質のものが望ましいが、築城当時の産地は市街化や採掘状況の変化により産出が困難な産地が多い。よって、近隣にて同様の石質のものが算出可能な産地から調達することを基本として検討する。なお、城内に仮置している石材や搦手馬出石垣の背面から検出された石材についても、活用することを視野に必要な調査を行う。

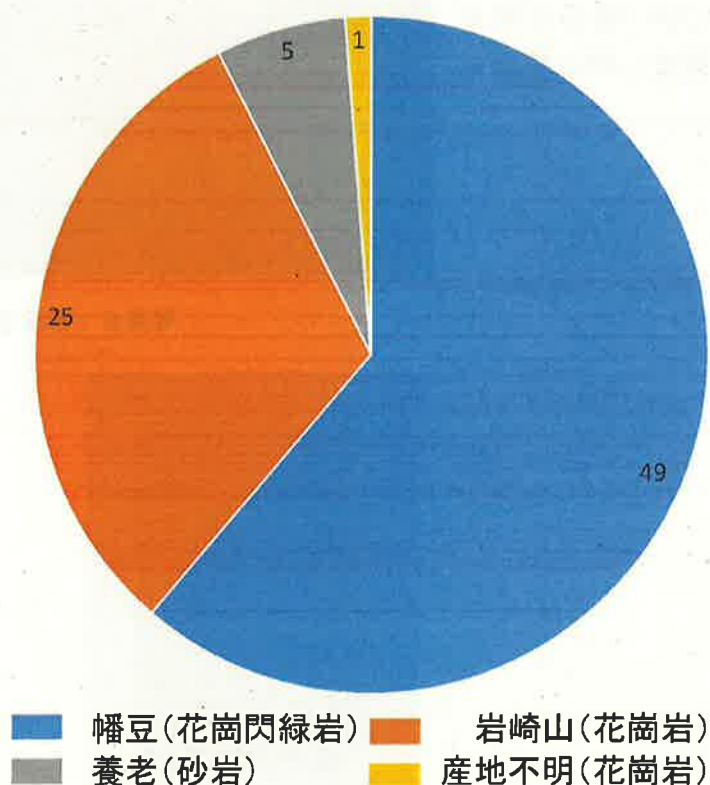


図6 再利用不可石材の産地及び岩石種

6 修景計画

6.1 排水計画

石垣背面から傾斜硬化面への雨水浸透を防止するため、排水に配慮した平面計画とする。〔排水計画(別添資料 25)〕そのため、雨水を速やかに排出できる排水勾配を確保し、排水吐出口の機能を回復させる。なお、排水勾配の確保にあたっては、遺構保護のため、掘削は行わず、現況から盛土を行うことのほか、排水吐出口の呑口は、土砂の流入を抑制する構造を検討する。表面排水は、現代的な排水設備等の設置は必要最低限とし、周辺の景観と調和を意識した設計とする。

6.2 活用計画と観覧動線

搦手馬出から北側の眺望や馬出の機能の紹介等のため、櫓台天端周辺を観覧エリアに含める。〔活用計画と観覧動線(別添資料 27)〕

なお、馬出の内部や櫓台上への観覧動線については、アプローチ施設等の設置を視野に入れ、詳細については今後検討する。

6.3 境門及び元御春屋門周辺の復元方針

境門及び元御春屋門周辺は景観形成上、本丸搦手馬出と一体となるものであるため、連続性を持った整備を行う必要があると考えている。ただし、建造物としての門の復元については今後の課題とし、別途検討こととする。

6.4 緊急車両への対応

内堀に囲まれた本丸への緊急車両の入口は、2箇所以上とすることが求められている。本丸への入口は表二之門、東二之門、不明門の3つである。このうち、不明門は高さ、幅員から緊急車両の通行は困難であることから、緊急車両は表二之門及び東二之門の2箇所より進入することとなる。

よって、二之丸より御春屋門を通り東二之門に至るルート幅員等については緊急車両の通行を想定した検討を行う。

6.5 転落防止策

観覧者の安全確保のため、転落防止施設を設置する。城内には、鋼製の防護柵と低木植栽による防護柵がある。本事業による修景では、景観形成上違和感のないものとして、低木植栽も含め検討する。

6.6 樹木及び植栽の管理

現状では、特に搦手馬出南東側において石垣際に根を張り石を押し出してい

る樹木があるほか、植林したと思われるスギやシュロ等が繁茂しており景観を著しく阻害しており、石垣の保全と馬出の空間性の確保が必要である。別途策定している城内全体の樹木管理計画とも整合させながら影響が大きい樹木から段階的に整理していく。(別添資料 28)



写真8 石垣際の樹木状況

7 修景の考え方

修復する石垣の積直し勾配や構造については、事業着手時の変状(孕み出し)が発生する以前の姿に戻すことを基本としており、これらは天和期の積直し以降の姿と同様と考えている。(現時点で天和期以降の大規模な改変履歴が確認されていないため)従って、積直し後の、馬出上面の修景にあたっては天和期以降幕末までの期間の状況を参考にする必要があり、その参考史料として江戸時代後期の状況をよく反映し、情報も豊富である金城温古録(江戸時代後期～明治35年、別添資料32)を用いることとした。

完成後の公開活用や管理等もふまえ、修景イメージは計画平面図(別添資料29)、計画断面図(別添資料30)、修景イメージ図(別添資料31)のような姿を目指すものとし、個別要素については今後、事業実施段階において実施設計を行うなかで具体的な検討を行う。

8 積直しスケジュール

8.1 想定スケジュール

今後は、この積直し基本計画をもとに令和4年度に実施設計を行い、令和4年度下半期には石垣積直しに着手する。石垣積直しは令和8年度までに完成させる。(図7)

和暦 (西暦)	H14 (2002)	H15 (2003)	H16 (2004)	H17 (2005)	H18 (2006)	H19 (2007)	H20 (2008)	H21 (2009)	H22 (2010)	H23 (2011)	H24 (2012)	H25 (2013)	H26 (2014)	H27 (2015)	H28 (2016)	H29 (2017)	H30 (2018)	R元 (2019)	R2 (2020)	R3 (2021)	R4 (2022)	R5 (2023)	R6 (2024)	R7 (2025)	R8 (2026)	R9 (2027)
本丸 搦手 馬出	解体	調査	調査	解体	解体	解体	解体	解体	解体	解体	解体	解体	調査	調査	対策	対策	解体									
	積直し																	計画	計画	計画	設計	積直し	積直し	積直し	積直し	積直し

図7 想定スケジュール

8.2 石垣積直し施工中における活用

文化財石垣修復事業は事例が少なく、市民などからの注目度も高い。したがって、石垣積直しの施工中は適宜、市民見学会を行うことや城内に案内板を設けるなど石垣修復事業への理解を促すような活用策を行う。また、文化財石垣保存技術協議会等と連携も視野に入れた活用策を検討する。

