

特別史跡名古屋城跡全体整備検討会議 石垣・埋蔵文化財部会(第 57 回)

日時：令和 5 年 11 月 6 日（月） 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

- (1) 本丸搦手馬出周辺石垣の修復について <資料 1>
- (2) 天守台及び周辺石垣の保存対策について <資料 2>

4 閉会

特別史跡名古屋城跡全体整備検討会議 石垣・埋蔵文化財部会（第57回）

出席者名簿

日時：令和5年11月6日（月）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	前名古屋市文化財調査委員会委員長 元愛知淑徳大学非常勤講師	副座長
宮武 正登	佐賀大学教授	
西形 達明	関西大学名誉教授	

■オブザーバー (敬称略)

氏名	所属
尾崎 綾亮	愛知県県民文化局文化部文化芸術課文化財室

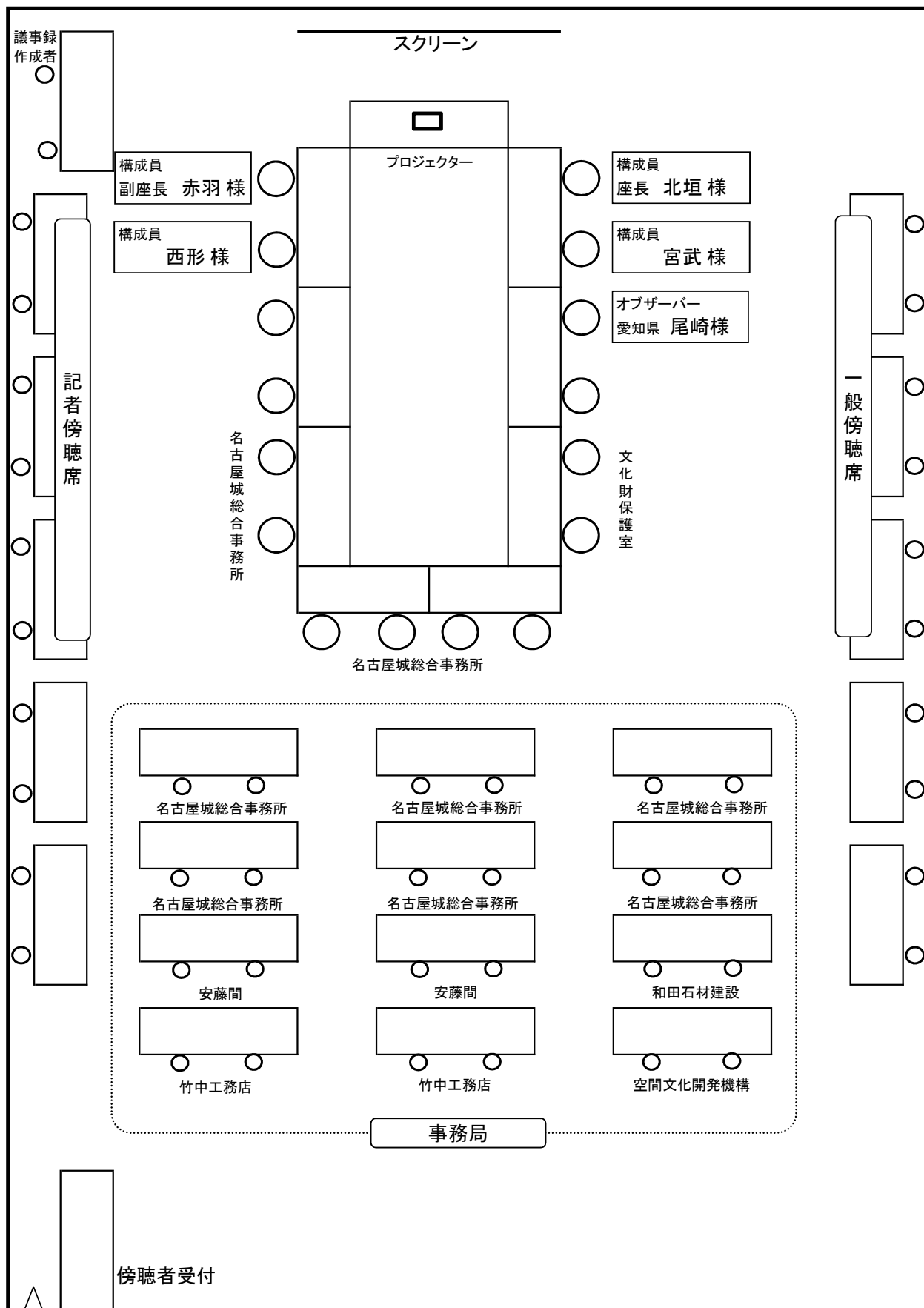
第57回特別史跡名古屋城跡全体整備検討会議石垣・埋蔵文化財部会

座席表

令和5年11月6日(月)

10:00~12:00

名古屋能楽堂 会議室



本丸搦手馬出周辺石垣の修復について

1 ジオテキスタイルの敷設

(1) 経緯

時期	事項	内容
令和4年(2022年)3月	「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」策定	栗石層安定化対策として、吸出防止層の設置及びジオテキスタイルの付加
令和4年(2022年)7月15日	第50回特別史跡名古屋城跡全体整備検討会議石垣・埋蔵文化財部会	ジオテキスタイルによる補強効果の検証結果の報告 ・ TRIGDID® Ex-60、80、100、150 基準強度 57、74、95、144kN/m ・ 敷設間隔 1.2m、敷設長 5.0m
令和5年(2023年)5月11日、12日	現地指導	石垣部会の有識者により、栗石層の接触面積を広げるため、 <u>ジオテキスタイルの目合いを広げるよう</u> 、指摘あり

(2) 検証

ジオテキスタイルの目合いを広げた場合の石垣安定性を確認するため、他城郭の状況も参考にしつつ、補強効果の検証を行った。

その結果、目合いを倍に広げた(80×80mm)場合、ジオテキスタイルの種別を見直し、石垣最下段(東面)・最下段2層(北面)の敷設間隔を1/2に狭める(0.6m)ことで、栗石層の安定性を確認することができた。

表1 検証の方法

設計法	概要
標準設計法	<ul style="list-style-type: none"> 「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル」に基づいた標準的な設計法 一般的な土木構造物の設計に用いられる

表2 検証結果

外的安定性		全体安定性	
滑動	転倒	常時	地震時
○	○	○	○

※外的安定性の検討では、常時及び地震時に考慮する荷重に対して、補強土壁(ジオテキスタイルで補強した栗石層)を一つの構造物とみなし、滑動、転倒に対する安定性を照査した。

※全体安定性の検討では、補強土壁(ジオテキスタイルで補強した栗石層)と背面盛土及び基礎地盤を含む地盤全体としての円弧すべりに対する安定性の検討を行った。

(3) ジオテキスタイルの仕様等の変更

上述(2)の検証結果を踏まえ、ジオテキスタイルの仕様等について、下記のとおり変更(案)を検討した。

表3 ジオテキスタイルの仕様、敷設間隔の変更(案)

	変更前	変更後
目合い	40×40mm	80×80mm
基準強度	57、74、95、144kN/m	72、93.5kN/m
<ul style="list-style-type: none"> 石垣最下段の敷設間隔(東面) 石垣最下段2層の敷設間隔(北面) 	1.2m	0.6m [*]

※挿入するジオテキスタイルが東面は1枚、北面は2枚追加される。

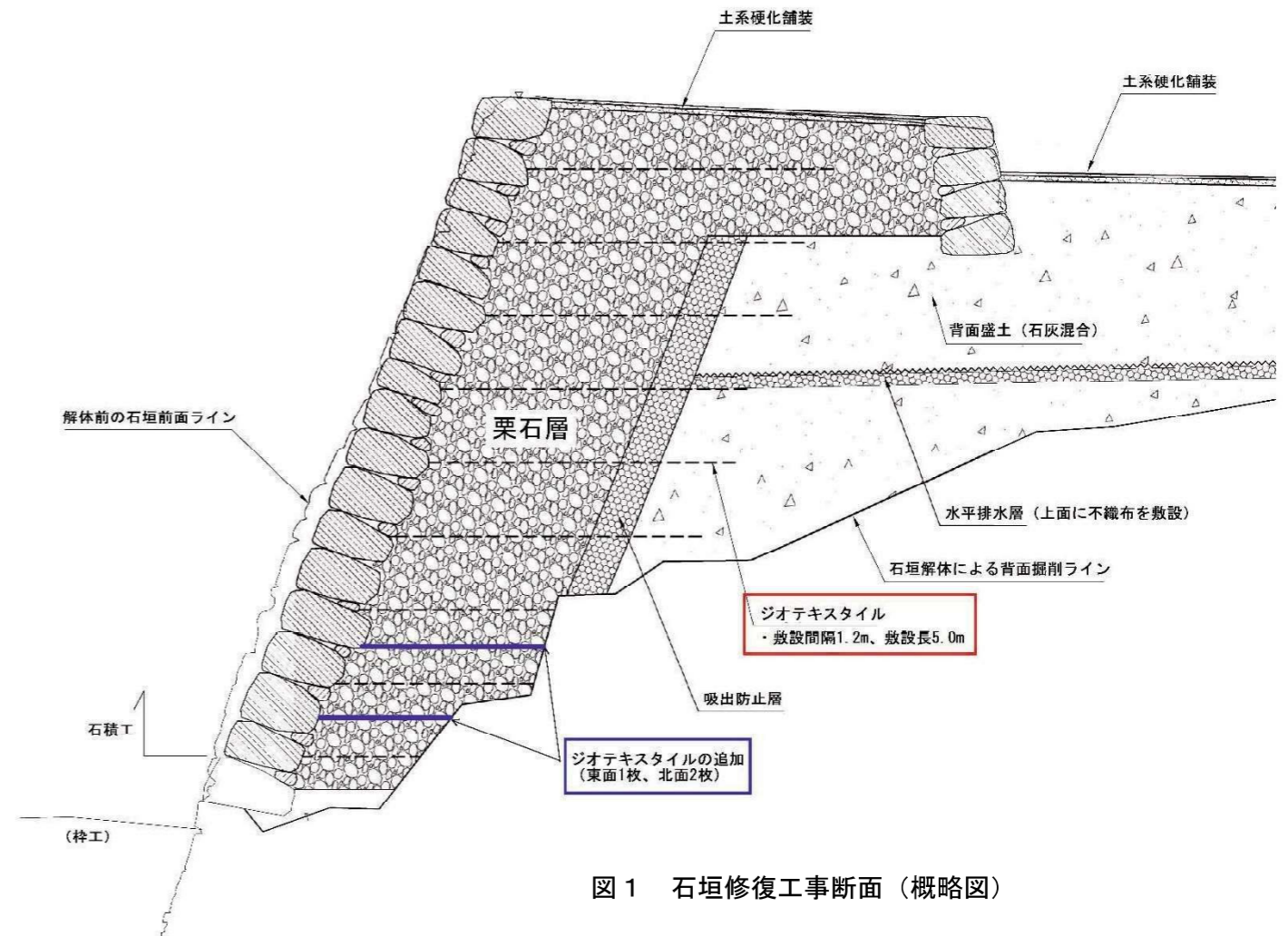


図1 石垣修復工事断面(概略図)

天守台及び周辺石垣の保存対策について

1 はじめに

天守台及び天守台周辺石垣（図1参照、以下「対象石垣」という）において、石垣の現状把握・評価を目的とした調査を実施した。また、根石付近の発掘調査や石垣面と地盤面のレーダー探査を行い、地下の根石付近から地上部まで、石垣面全体としての現状把握に努めた。

こうした調査に基づき、第56回石垣埋蔵文化財部会において、対象石垣の保存対策の考え方を整理し、石垣面の現状把握に基づく保存対策検討を表1に、石垣面の状況と来城者の動線を図1にまとめた。

対象石垣については、内堀内の石垣において濃尾地震に伴って積み直されたところや一部に現天守閣の再建時に改変された箇所はあるが、近世期の姿を残しているところが多い。これらの石垣の保存対策に際しては、文化財としての価値を適切に保存するため、築石のみならず背面構造も含めて最大限現状を維持することを原則とする。被熱による石材の劣化が顕著な箇所があるが、解体修理をした場合、多くの石材を新保石材に置き換えることとなり、文化財としての価値を損なうこととなるため、現状を維持した保存対策をとる。

こうした原則に立ち、具体的な方針としては、個々の石材はできる限り既存石材を維持したうえで、石垣面の変形や石材の破損などの進行を抑える対策を実施することとした。

2 石垣保存対策の具体的な検討

(1) 保存対策の手法

手法としては、間詰石の緩みや抜け落ちがある箇所については、間詰石の締め直しや補充を行い、面的な変状が顕著に見られる範囲については、間詰石の締め直し、補充等に加え、現代工法も用いる。また、築石の剥離・亀裂等により落下につながる緊急度の高い石材については、落下を防ぐ補修を行う。

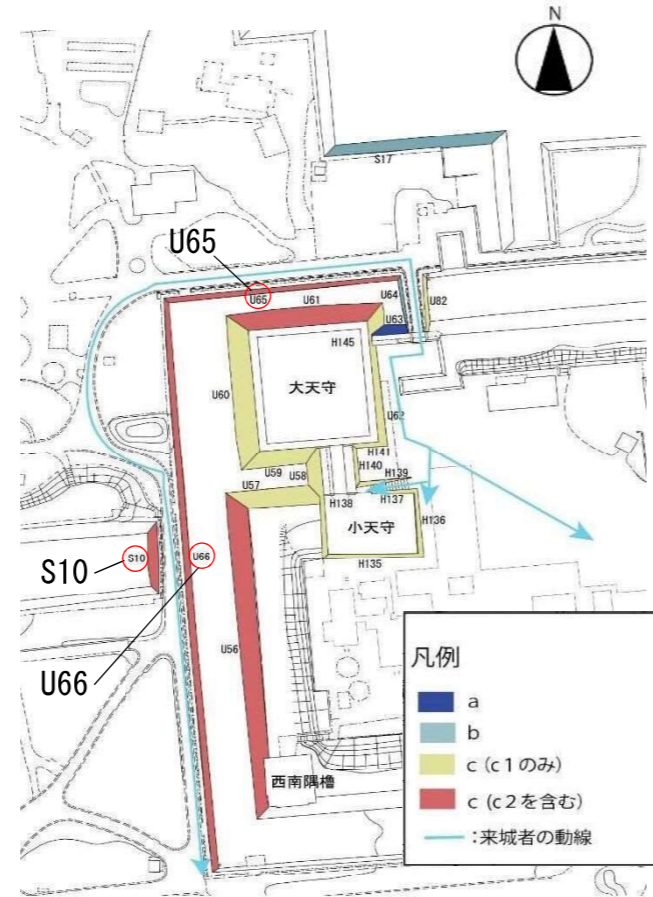


図1 石垣面の状況と来城者の動線

表1 石垣面の現状把握に基づく保存対策検討

現状調査による分類		文化財的価値の き損の可能性	現状への 対応方針
a	明らかな変形、変状などは見られない石垣	なし	日常管理
b	変形、変状はあるが、範囲や程度が限定的である石垣	あり	日常管理
c	顕著な変形、変状などがあり、現況に課題があると判断される石垣 (c1: 個別石垣、c2: 石垣面の変形)	あり	モニタリング 修理

(2) 保存対策を優先的に行う石垣

表1及び図1で整理した石垣のうち、優先的に保存対策を行う石垣は、次のとおりとする。

- ・「c(c2を含む)」に分類した石垣
 - ・来城者の動線沿いの石垣
- 優先的に保存対策を行う石垣 → U65、U66、S10

優先的に保存対策を行う方針とした石垣（U65、U66、S10）のうち、U65は、局所的に前方へ膨らんでいる箇所が見られるとともに、膨らみの周辺の石垣で間詰石の抜け落ちが観察される部分がある。また、広範囲な被熱に伴う石材の割れや表面剥離が顕著であり、これらに伴い、隣接する築石との接点が失われている箇所や間詰石の抜け落ちが見られる。このようなことから、U65は、優先的に保存対策を行う石垣の中でも更に優先して行う必要がある。

また、石垣面の変形・変状、石材の被熱等の劣化の症状が複数種類あるU65について先行して検討を行うことで、他の石垣面に対する保存対策の検討についても応用が利く。

3 石垣U65の保存対策の手法

主に「(1) 間詰石の締め直し、補充等」と「(2) 破損石材の修理」を行う。

(1) 間詰石の締め直し、補充等

石垣全面において間詰石の緩みのある箇所の締め直し、抜け落ちた部分の補充を行う。また、築石の間や背面に空隙がある箇所に栗石を補充する。

更に、面的な変状が顕著に見られる範囲については、間詰石の締め直し、補充や築石間の空隙の充填に加え、現代工法を含め対応する。

ア 対策

間詰石の締め直し、補充	築石間の空隙の充填	築石間の鉄筋挿入
<ul style="list-style-type: none"> ・全ての間詰石を確認し、緩みのある箇所について締め直しを行う ・間詰石が欠落している部分に間詰石を補充する。一部、樹脂系の補修材を用いる（※1） 	<ul style="list-style-type: none"> ・築石の間や背面に空隙がある箇所について栗石を補充する ・石垣表面の築石間の隙間が小さく、大きな栗石を挿入できない箇所等、必要に応じて、みなし栗石（詳細は後述）を充填する 	<ul style="list-style-type: none"> ・面的な変状が顕著に見られる範囲について、間詰石の締め直し、補充等に先立ち、鉄筋の挿入を行う（詳細は後述）

（※1）表面の角が欠落している築石に接する位置等、接点が少なく間詰石の固定度が不十分な場所において、間詰石の挿入時に樹脂系の補修材（エポキシ樹脂エマルジョンと真砂土を混ぜたもの）を詰め、間詰石の固定度を高める。
施工実績：姫路城 [H25、H26 施工]

イ みなし栗石による対策

(ア) 目的、効果

これまで実施してきたレーダー探査からは、築石の背面に大きな空洞等は生じていないと判断される結果であったが、築石間の奥の部分において空隙を目視できる箇所がある。このような空隙について、栗石を補充し、空隙を埋める対策をする。石垣表面の築石間の隙間が小さく、一定程度の大きさの栗石の充填ができない箇所等について、みなし栗石を充填する。空隙を減らすことで、築石の安定化と栗石の沈下を抑制する効果を図る。

(イ) 使用材料、施工方法

使用材料として、袋(繊維製)に小さめの栗石及びモルタルを充填したものを用いる。施工方法としては、上記材料のモルタルが流動性を保った状態において、石垣表面の築石間の狭い隙間から押し込み、空隙を充填する。

ウ 鉄筋挿入による対策

(ア) 目的、効果

面的な変状が顕著に見られる範囲において、鉄筋挿入による対策を行う。鉄筋を挿入することで、栗石の変動が抑制され、前方への膨らみなど石垣の部分的な変形の進行を抑制する効果がある。

(イ) 使用材料、施工方法

築石間の隙間から背面に向けて、鉄筋(D25程度を想定)を人力打撃で挿入する。挿入する深さは、レーダー探査の結果より2m程度とする。なお、みなし栗石との併用もあり得る。

(ウ) 関連の論文

鉄筋を挿入する工法について、石垣の安定性に対して効果があることを実験などにより確認し、以下の論文で報告されている。(各論文のまとめから抜粋・要約)

- ・歴史的遺産である城郭石垣への補修法として鉄筋挿入工法を用い、文化財保存の観点から鉄筋挿入を栗石層までとしたが、石垣の安定性に対して十分有効であることを確認した。(井上貴玄, 西形達明, 山本浩之, 笠博義. 「城郭石垣の補修に対する補強土工法の適用」, 第48回地盤工学研究発表会(平成24年(2013)), p.1662)
- ・工学的な視点と文化財としての視点の両者を考慮した修復方法として、鉄筋挿入工法は、補強効果は十分得られるものと考えられる。(蔦野温也, 西形達明, 山本浩之, 笠博義, 西村毅, 野間康隆. 「鉄筋挿入による城郭石垣の修復とその補強効果に関する遠心実験」, 土木学会第68回年次学術講演会(平成25年(2014)), pp.987-988)
- ・鉄筋補強材を打設することで、石材間の摩擦特性の維持と栗石の拘束効果が発現するといえ、それらの両者が発現すると石垣全体が一体化し、石垣変形の抑制に繋がると考える。(蔦野温也, 西形達明, 山本浩之, 笠博義, 野間康隆. 「個別要素法による城郭石垣における鉄筋挿入工法の補強メカニズムの検討」, 土木学会第70回年次学術講演会(平成27年(2016)), p.706)

(2) 破損石材の修理

石材の割れ等に対しては、樹脂系又はセメント系の補修材の注入等により、固定する。必要に応じてピンなども用いて固定する。その他、欠落した表面に新補石材を補充する手法を用いる。

ア 対策

剥離等に対する補修	分離部、欠落部の回復
<ul style="list-style-type: none"> ・石材の割れのうち、剥離、亀裂部に樹脂系またはセメント系の補修材を充填する ・表面には擬石処理を施す 	<ul style="list-style-type: none"> ・石材の割れのうち石材が分離している箇所について、樹脂系の補修材を使用し、状態によりピン固定を併用する。表面には擬石処理を施す ・石材の表面が欠落している箇所については石材を補充する

イ 使用材料

樹脂系の補修材として、エポキシ樹脂、エポキシ樹脂エマルジョンを主に使用する。一部、亀裂幅が広い箇所等については、セメント系の補修材を使用する。

ピン固定については、ステンレス棒等(SUS304丸鋼、径6~9mm程度を想定(分離した石材の厚み等により判断))を使用。

表面の擬石処理には、補修処理部の風合いを整え、劣化を防ぐために、エポキシ樹脂エマルジョンに石粉を混ぜたものを使用する。今回の使用材料として、次表に示す実績のある材料から選定を検討する。

ウ 他事例による実績

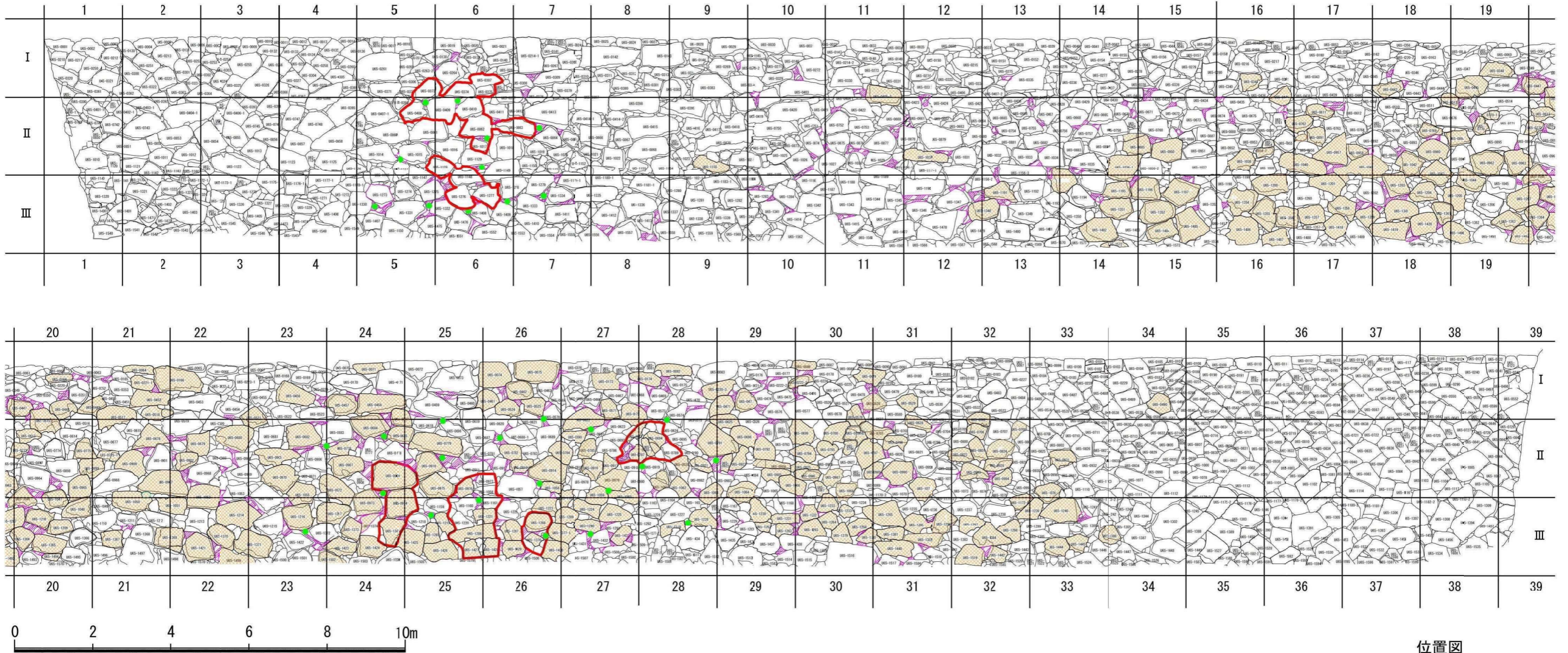
補修材料	実 績 []は実施年度を示す	
	概ね5mm以上の隙間	概ね5mm未満の隙間
エポキシ樹脂	和歌山城(史跡の石垣)[H23] 姫路城(特別史跡の石垣)[H25] 大坂城(特別史跡の石垣)[H30] 丹波篠山城(史跡の石垣)[R1] 参考)商品名:日米レジン(株)G2030 引張強度 40.8 N/mm ²	大坂城(特別史跡の石垣)[H30] 丹波篠山城(史跡の石垣)[R1] 参考)商品名:日米レジン(株)GS52、GS53 引張強度:5.4 N/mm ² 、3.0 N/mm ²
エポキシ樹脂 エマルジョン	姫路城(特別史跡の石垣)[H26] 岸和田城(名勝庭園の景石)[R1] 参考)商品名:日米レジン(株)E982	姫路城(特別史跡の石垣)[H26] 岸和田城(名勝庭園の景石)[R1] 参考)商品名:日米レジン(株)E982
セメント系	和歌山城(史跡の石垣)[H23] 参考)商品名:住友大阪セメント(株) フィルコンR	和歌山城(史跡の石垣)[H23] 参考)商品名:住友大阪セメント(株) リフレフィルボンド





4 今後の予定

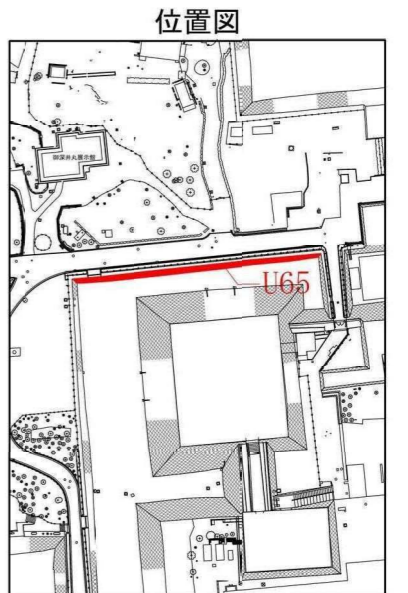
令和3年度・4年度に実施した石工による目視調査、及び今年度(令和5年度)実施した石工の経験に基づく整理・検討に加え、城郭石垣に関する豊富な知識と見識を有するコンサルティング業務を営む専門家からの指導助言を受け検討し、有識者会議に諮り確定する。

石垣U65について、令和5年度に保存対策設計を完了させ、令和6年度に対策工事を行う予定。U65を除く他の石垣面についても順次対策工事を進めていく。

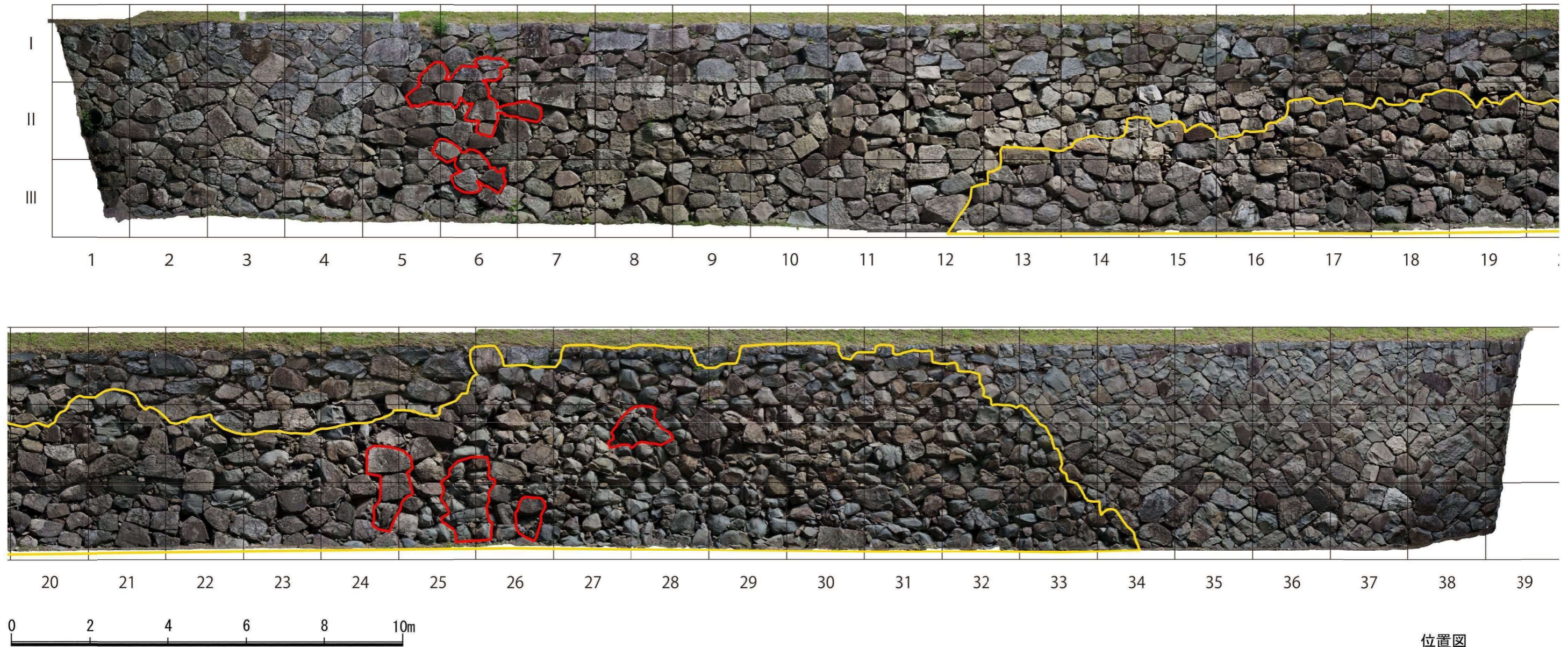
石垣U65の保存対策(案)





凡例	
	間詰石の補充をおこなう部分
	破損石材の修理をおこなう部分
	鉄筋挿入の位置 (介石部は避ける)
	面的な変状が顕著に見られる範囲



オルソ図 (U65)



凡例	
	被熱範囲
	面的な変状が顕著に見られる範囲

