

■対象石垣

重要文化財平櫓下石垣

■これまでの経緯

【2018平成30年度 文化財修復検討部会】

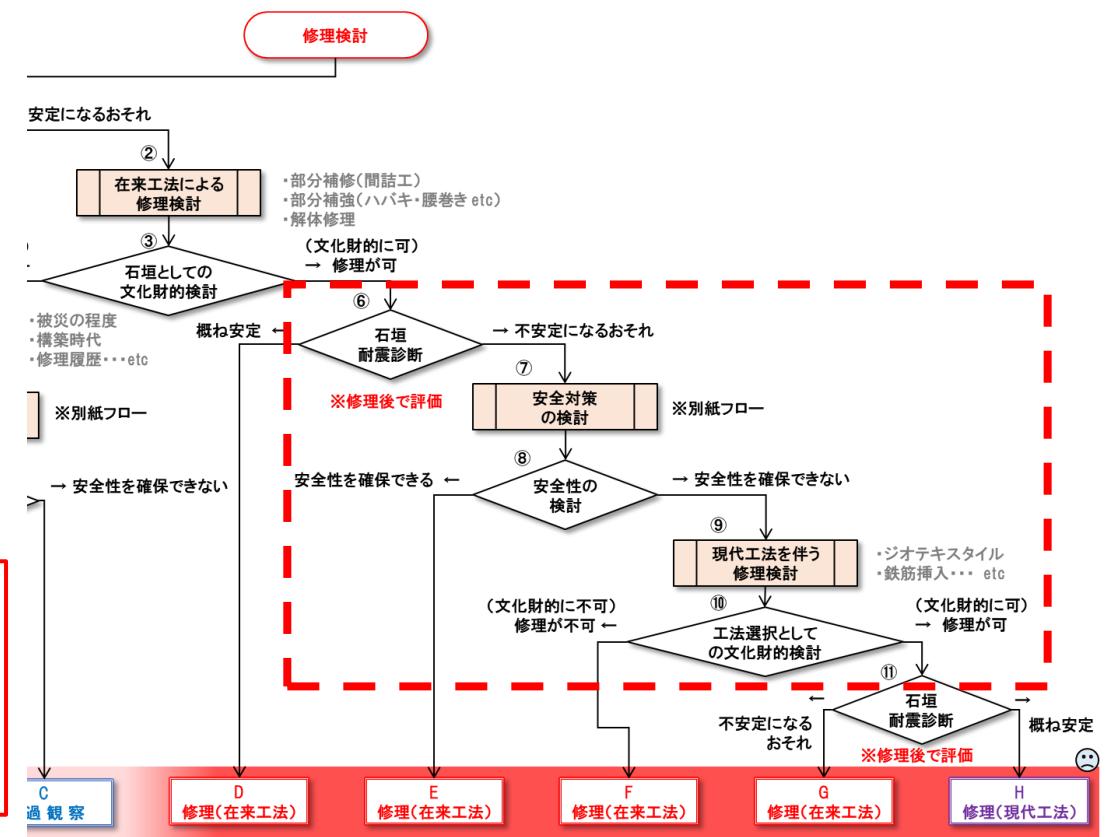
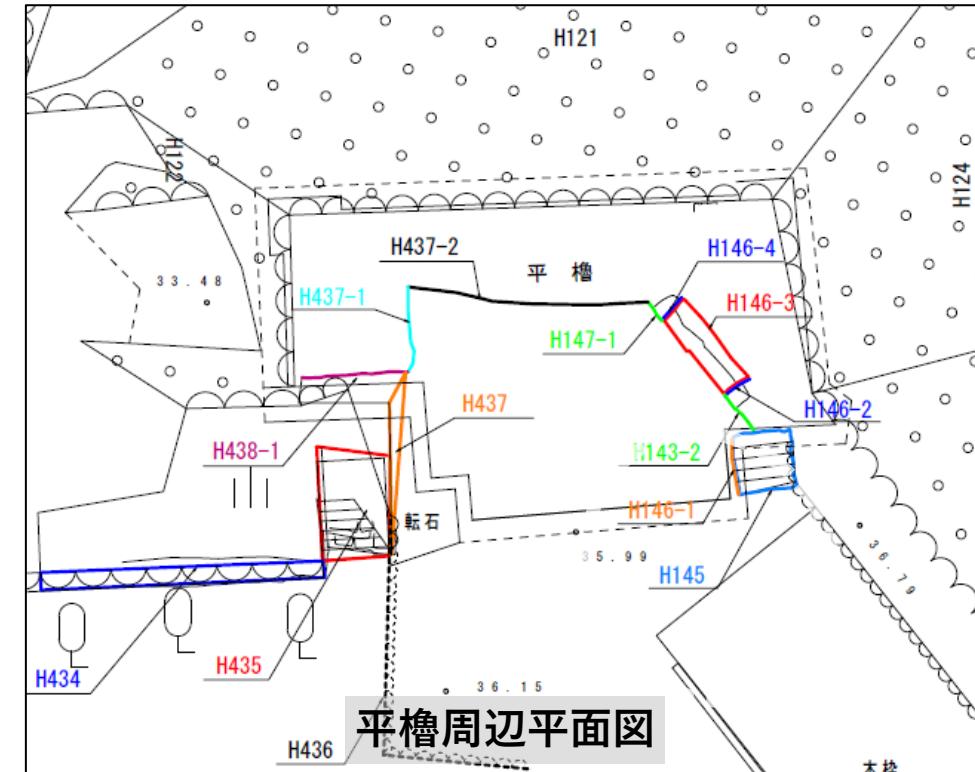
- ・ (3/28) 平櫓下石垣(北面：H121)の解体修理は必要

【2020令和2年度 合同WG】

- ・ (7/3石垣・構造) 石垣履歴・被害状況の報告 石垣解体修理範囲案の検討
- ・ (10/9建築・石垣・構造) 石垣解体修理範囲案の承認 (H121・H122・H124)
※最終的な範囲はR3年度の解体修理時に決定する
- ・ (12/15石垣・構造) 平櫓周辺石垣解体修理案範囲案の承認
(H143-1・H146-4・H437-1・H437-2・H438-1・H145・H146-1・H146-5・H435・H437)
- ・ (3/25) 平櫓発掘調査成果の報告

【2021令和3年度 文化財修復検討委員会】

- ・ (8/6) 平櫓排水路検討の発掘調査案の承認
隣接する石垣 (H438) の危険部位の措置を検討する
- ・ (9/13-15現地視察) 危険部位の措置 (案) 及びH121・H122の解体範囲案の承認
- ・ (10/18) 平櫓周辺石垣 危険部位の措置の報告
H121、H122の解体範囲案の再検討結果の報告



■今回の委員会での報告・審議事項

1. 熊本城石垣耐震診断指針 (案) に基づく基礎診断結果 (H121) 【報告】
2. 石垣復旧措置 (案) (H121) 【審議】

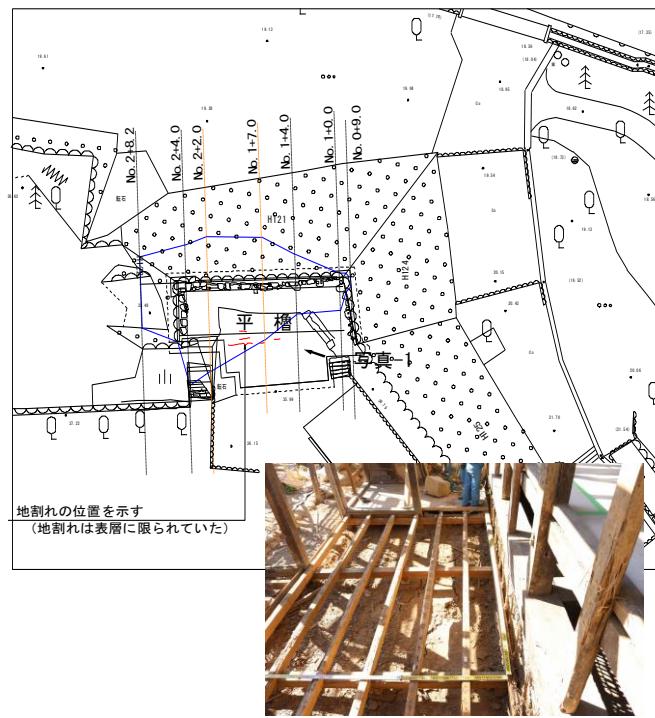
石垣の修理検討フロー

平櫓下石垣の復旧措置の検討

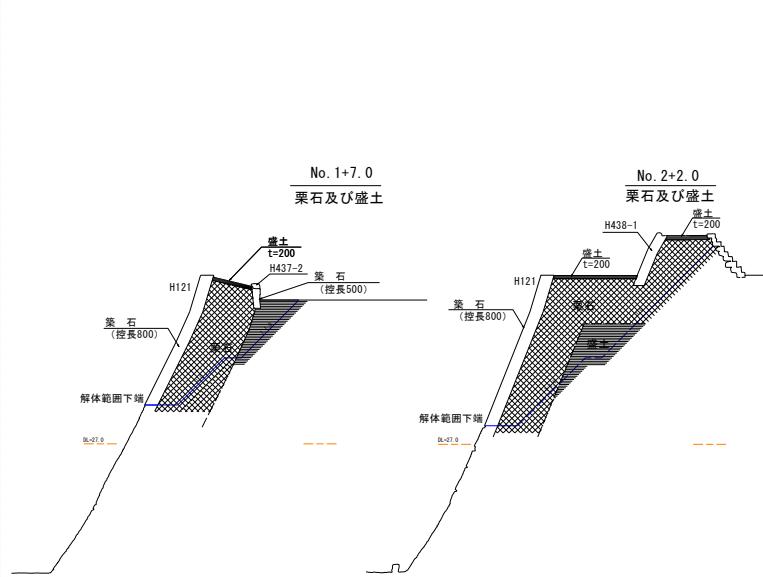
1. 熊本城石垣耐震診断指針（案）に基づく基礎診断結果（H121）【報告】

【資料3-2】

平面図



断面図



診断内容、結果、設計条件等

診断内容

診断手法	運用	理由	判定	総合判定
(1) 築石の安定性	○	必ず実施する	NG	C
(2) 石垣根入れ部の安定性	×	根入れ部の安定性に起因する破損変状が確認されないため	-	
(3) 石垣背面全体の安定性	○	背面盛土地形であり、栗石層より内側のクラックが見られ、円弧すべりが懸念されるため	NG	

設計条件 築石の安定性

項目	区分	値
設計水平震度	中規模地震	0.20
(背面盛土)	大規模地震	0.25
安全率 (転倒)	常時	B/2より後方
	地震時	B/3より後方
安全率 (滑動)	常時	Fs>1.5
	地震時	Fs>1.2

設計条件 石垣背面全体の安定性

項目	区分	値
設計水平震度	中規模地震	0.20
(背面盛土)	大規模地震	0.25
安全率	常時	Fs>1.2
	地震時	Fs>1.0

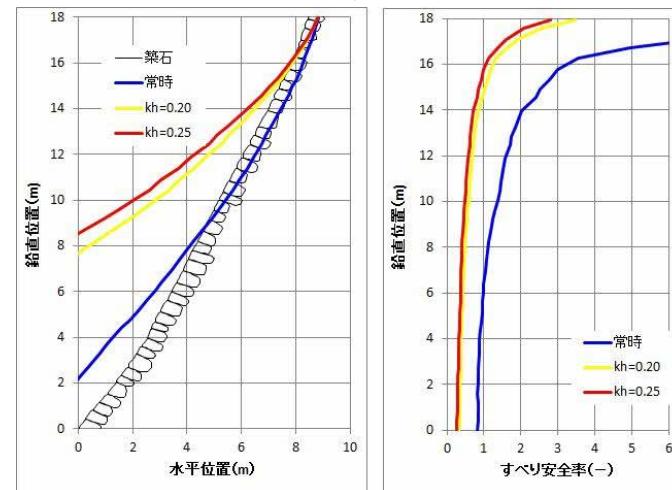
平面オルソ



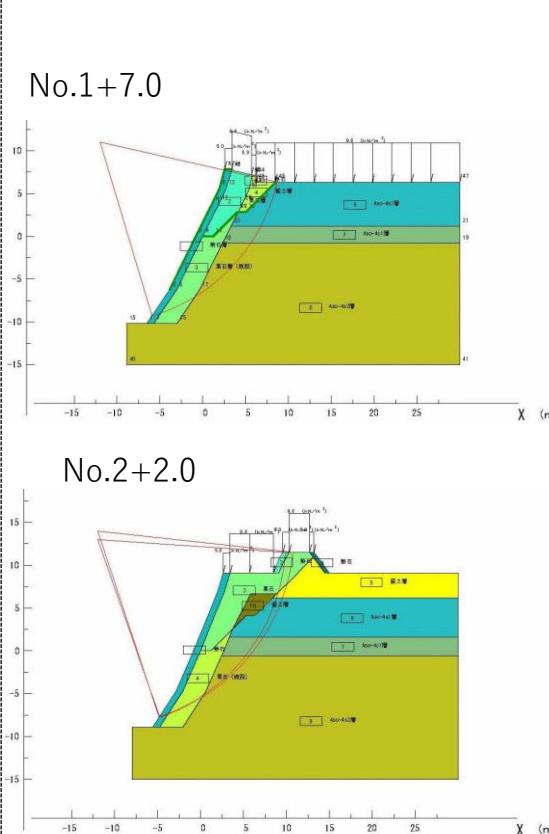
築石の安定性評価（累積示力線解析）

	背面盛土の場合			
	示力線位置		すべり安全率	
常時	安全率: B/2より後方	判定: NG 11m以下	安全率: Fs>1.5	判定: NG 10m以下
地震時	安全率: B/3より後方	判定: NG 17m以下	安全率: Fs>1.2	判定: NG 9m以下
判定	NG			

転倒は常時11m以下、地震時16m以下である



石垣背面全体の安定性評価（円弧すべり解析）



背面構造	周辺のボーリング調査結果盛土と判断
すべり面の設定	円弧すべり計算におけるすべり面については、石垣の天端からの戻りまでの、背面地盤を含むあらゆるすべり面を計算対象とし、トライアル計算により最小安全率となるすべり面を算出している。なお、計算上の円弧すべり面の開始位置と、実際に発生しているクラックの位置は近似している。

安全率

測点	区分	許容安全率 (Fs)	安全率 (Fs)	判定
No.1+7.0	常時	1.2	1.000	NG
	地震時	1.0	0.781	NG
No.2+2.0	常時	1.2	1.000	NG
	地震時	1.0	0.795	NG

地層番号	土質区分※	飽和単位体積重量 (kN/m³)	湿潤状態体積重量 (kN/m³)	粘着力 C (kN/m²)	粘着力の一次係数	内部摩擦角 φ (°)	水平震度	鉛直震度
1	築石	26.50	26.50	0.00	0.00	35.00	0.20	0.00
2	栗石	20.00	20.00	0.00	0.00	35.00	0.20	0.00
3	栗石 (既設)	12.50	12.50	0.00	0.00	35.00	0.20	0.00
4	盛土層	16.60	16.60	21.40	0.00	17.00	0.20	0.00
5	築石	26.50	26.50	0.00	0.00	35.00	0.20	0.00
6	Aso-4s1層	17.00	17.00	69.30	0.00	22.00	0.20	0.00
7	Aso-4c1層	16.00	16.00	18.00	0.00	0.00	0.20	0.00
8	Aso-4s2層	17.00	17.00	0.00	0.00	32.00	0.20	0.00

※No.1+7.0における番号

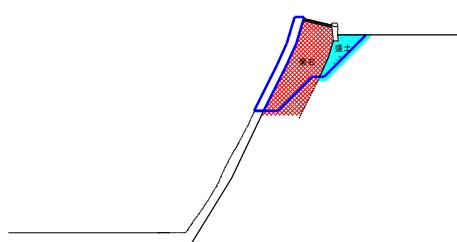
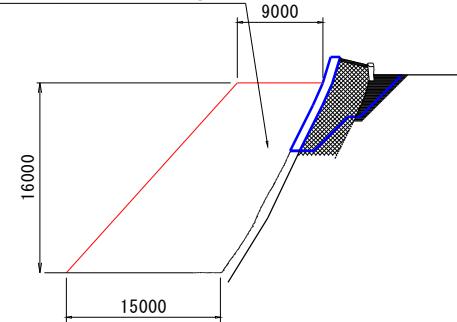
平櫓下石垣の復旧措置の検討

2. 石垣復旧措置（案）（H121）【審議】

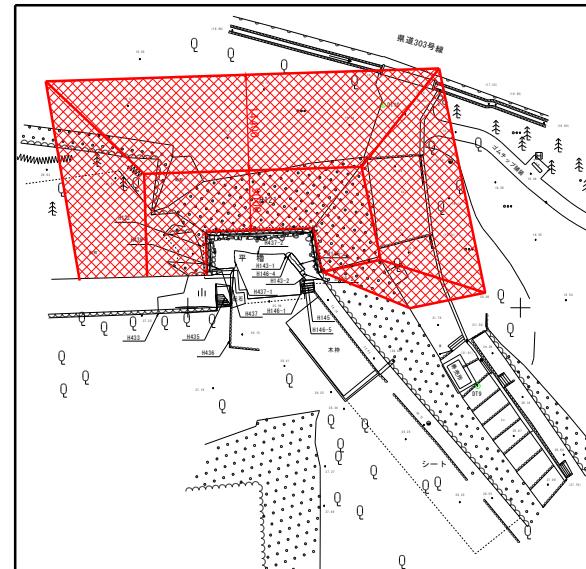
【資料3-3】

[前提条件] 変状・解体範囲は基本的に元に戻すこととし、「栗石は栗石」、「盛土は盛土」として復旧する案を以下に提示する。

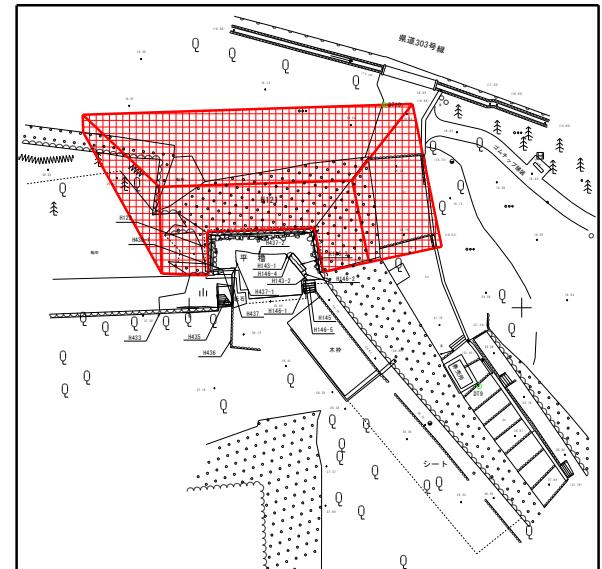
補強工法比較表

工法区分		在来工法	
名称	内部補強	外部補強	
	栗石・盛土改良	石垣前面押え補強	
概要	<ul style="list-style-type: none"> 解体した栗石を締め効果が期待できる材料（円礫→角礫）と置換えることによりゆすり込込下対策を行うとともに、背面盛土は石灰等を混合した粘性土で復旧する 	<ul style="list-style-type: none"> 変状が見られる石垣の前面に新たな石垣を構築し、その重量により変状を抑制する 	
		<p>石垣前面の押え補強</p> 	
安定性	内的安定	—	—
	外的安定	—	—
	全体安定	×	栗石及び盛土の改良では、全体安定の確保は困難
文化財への影響	外観への影響	○	影響なし
	可逆性	×	可逆性なし
施工性 その他問題点		<ul style="list-style-type: none"> 栗石は締め効果が得やすい材料に置換えるため適切な管理が可能 盛土は混合材料を追加するのみであり、施工性はほぼ変わらない 	
総合評価		×	栗石・盛土部の締め効果の向上は期待できるが、全体の安定を確保するまでには至らない
		△	従来から構築されている対処法の一つであるため、安定性はあるが、城郭平面構造への影響が大きすぎる

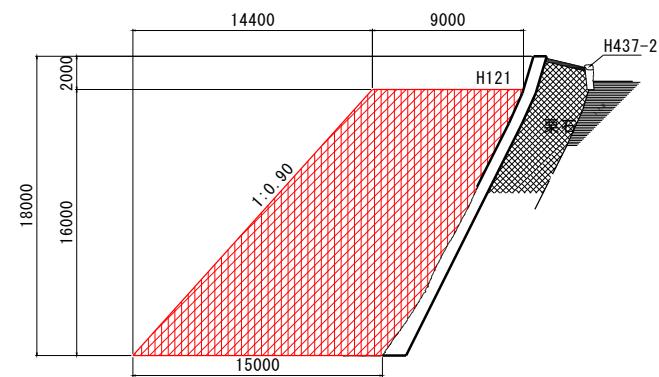
【石垣前面押え補強】
【在来工法による石垣】
平面図



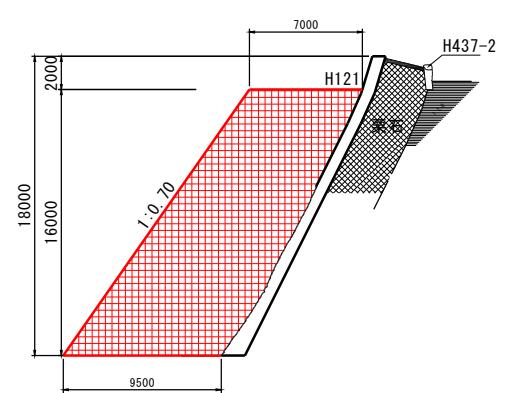
【現代工法による石垣】
平面図



断面図



断面図



石垣前面押え補強イメージ



平櫓下石垣の復旧措置の検討

2. 石垣復旧措置（案）（H121）【審議】

【資料3-4】

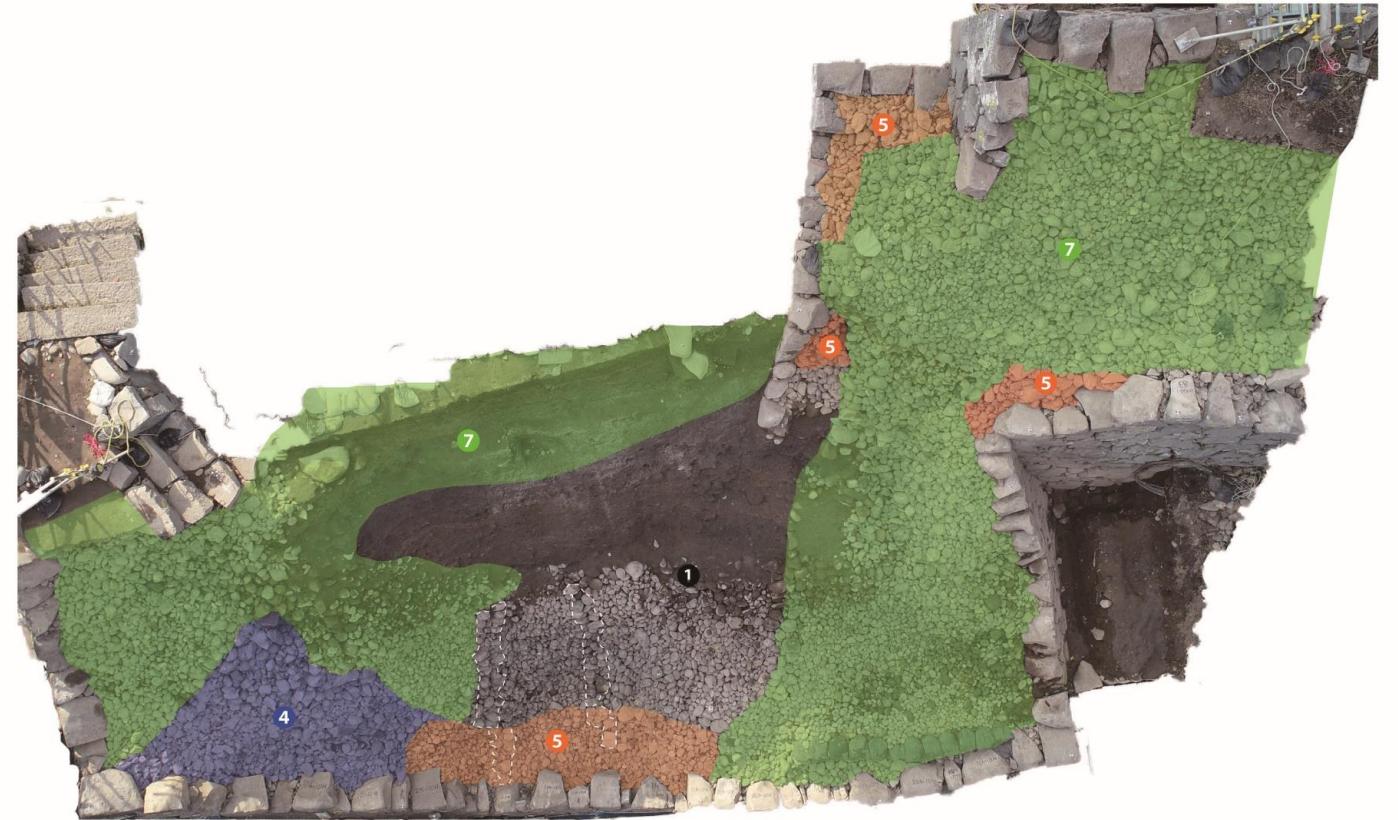
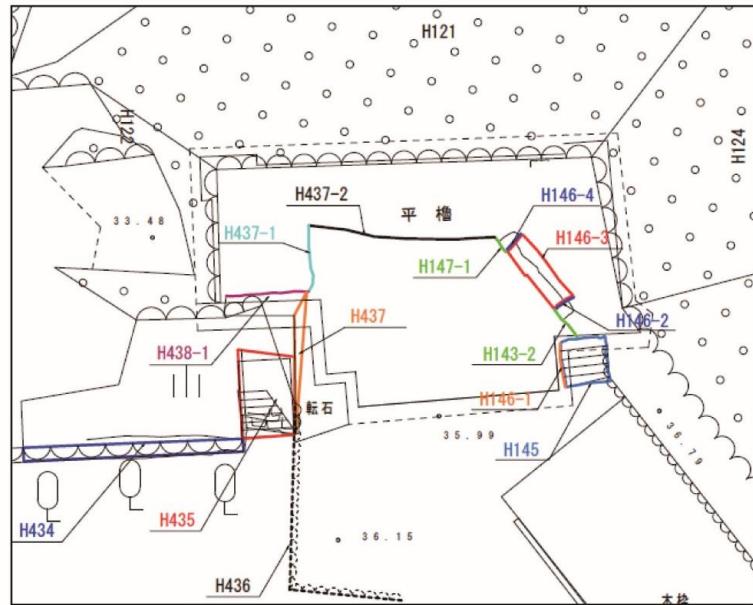
補強工法比較表

工法区分		現代工法									
		ジオテキスタイル									
名称		ジオテキスタイル		ジオテキスタイル+受圧板		ジオテキスタイル+受圧板+石垣前面押え補強		ジオテキスタイル+受圧板+アンカー		ジオテキスタイル+受圧板+解体範囲拡大	
		概要		裏込内に補強材（ジオテキスタイル）を敷設し、その補強材の引抜抵抗力により安定させる工法		裏込内に補強材（ジオテキスタイル）を敷設し、その補強材の引抜抵抗力により安定させ、築石の崩壊対策としてジオテキスタイルと連結した受圧板を設置する工法		裏込内に補強材（ジオテキスタイル）を敷設し、その補強材の引抜抵抗力により安定させ、全体安定を満足するため石垣前面押え補強を構築する工法		裏込内に補強材（ジオテキスタイル）を敷設し、その補強材の引抜抵抗力により安定させ、全体安定を満足するため、アンカー補強を施工する工法	
安定性	内的安定	○		○		○		○		○	
	外的安定	○		○		○		○		○	
	全体安定	×	地震時に崩落するおそれあり	×	地震時に崩落するおそれあり	○		○		○	
	築石の安定	×	石垣下部への立ち入り制限や落石防止柵等の安全対策工が別途必要	○	受圧板を設置することで築石の落下を抑制することが可能	○	受圧板を設置することで築石の落下を抑制することが可能	○	受圧板を設置することで築石の落下を抑制することが可能	○	受圧板を設置することで築石の落下を抑制することが可能
文化財への影響	外観への影響	○	影響なし	△	受圧板が築石前面に表われるため、景観面で違和感がある	×	・石垣前面押え補強により、城郭平面構造が変化する ・受圧板が築石前面に表われるため、景観面で違和感がある	△	受圧板が築石前面に表われるため、景観面で違和感がある	△	受圧板が築石前面に表われるため、景観面で違和感がある
	材料・内部への影響	△	ジオテキスタイルを栗石層へ敷設することによる影響あり	△	ジオテキスタイルを栗石層へ敷設することによる影響あり	△	ジオテキスタイルを栗石層へ敷設することによる影響あり	×	ジオテキスタイルを栗石層へ敷設することによる影響あり。盛土・地山へアンカーを施工するため内部への影響あり	×	ジオテキスタイルを栗石層へ敷設することによる影響あり。また、解体範囲拡大により、遺構への影響あり
	可逆性	○	可逆性あり	○	可逆性あり	○	可逆性あり	×	可逆性なし	×	可逆性なし
施工性 その他問題点		○構造面で大きな変更がなく強度向上が期待できる ×栗石の復旧は補強材の敷設間隔に合わせて施工する必要がある		○構造面で大きな変更がなく強度向上が期待できる ×栗石の復旧は補強材の敷設間隔に合わせて施工する必要がある		○構造面で大きな変更がなく強度向上が期待できる ×栗石の復旧は補強材の敷設間隔に合わせて施工する必要がある ×新設のためコストと時間は必要である		○構造面で大きな変更がなく強度向上が期待できる ×栗石の復旧は補強材の敷設間隔に合わせて施工する必要がある ×アンカー打設機械の足場が必要になる		○構造面で大きな変更がなく強度向上が期待できる ×解体範囲の増大	
総合評価		背面強度の向上を図る工法であるが、解体範囲のみで全体安定を確保できない。また、築石の崩落に対しては対処できない		補強材で背面強度を向上させ、受圧板で築石崩落へも対応できる。ただし、全体安定を確保できない。		補強材で背面強度を向上させ、前面を外部補強で押さえることで全体安定を確保できる。		補強材で背面強度を向上させ、地山にアンカーを打設することで全体安定を確保できる		全体安定は確保できるが、解体による影響範囲の拡大によって、遺構への影響が大きい	

平櫓石垣履歴把握図（外側石垣立面・平面）

【資料3 参考1】

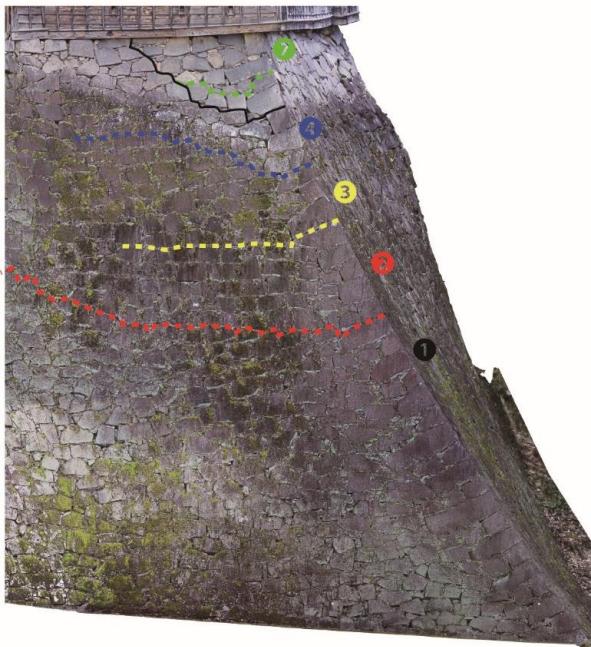
2022,02,01更新



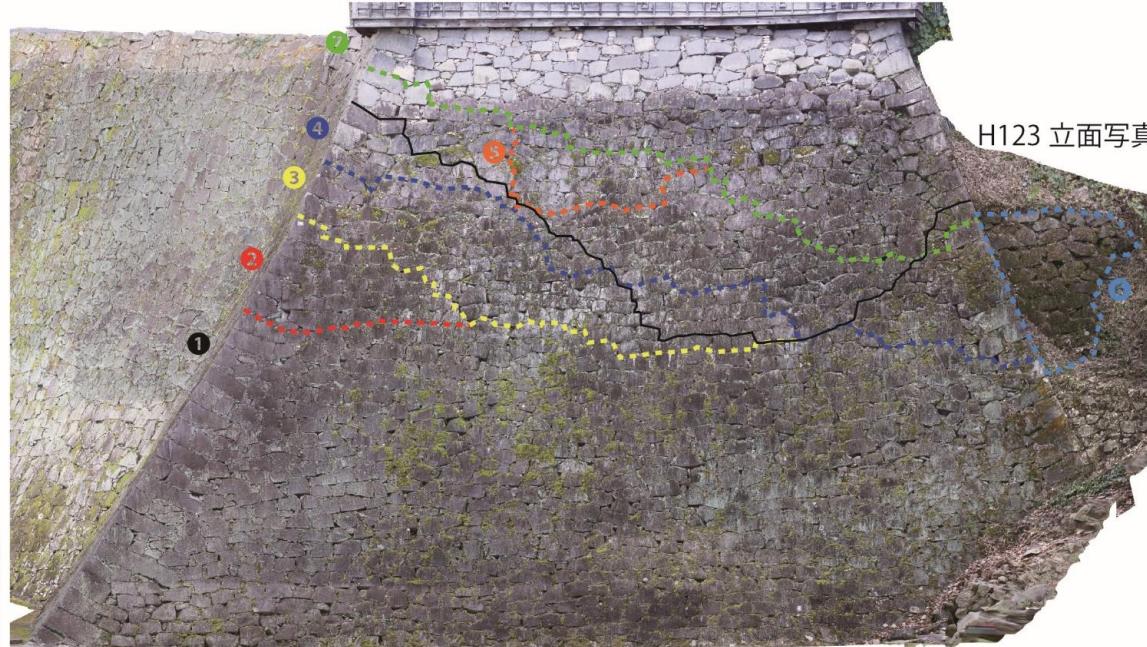
平櫓解体時平面写真（18段目解体前）※写真上が南

《石垣履歴把握について》

- ① 熊本城石垣3期(1607～1611年) 【構築当初】
 - ① 熊本城石垣2期(1599～1600)または3期(1607～1611年) 【構築当初】
 - ② 熊本城石垣5期(1625～1632年)または6期(1632～1871年) 【修理1】
築石部:水平方向に横目地が通る→方形を呈した築石を積む
 - ③ 熊本城石垣6期(1632～1871年) 【修理2】
築石部:斜め方向に横目地が通る→方形を呈した築石を積む
 - ④ 熊本城石垣6期(1632～1871年) 【修理3】
築石部:横目地が通らない→非方形を呈した築石を多く積む
 - ⑤ 熊本城石垣6期(1632～1871年) 【修理4】
築石部:水平方向に横目地が通る→方形を呈した築石を積む
 - ⑥ 熊本城石垣7期(1871～1950) 【近代以降増築石垣】
 - ⑦ 文化財修理(昭和28年) 【修理5】
- H122面石垣は明治期に撮影された写真と比較してほぼ変化なし

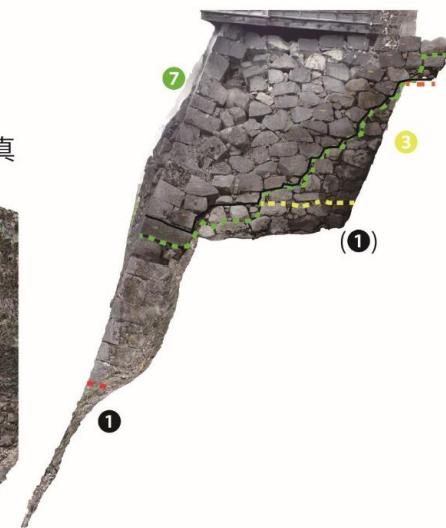


H124 立面オルソ図

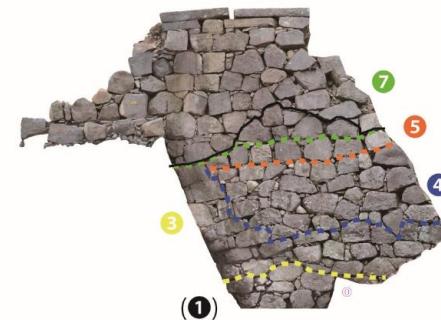


H121 立面オルソ図

H123 立面写真



H122 立面オルソ図

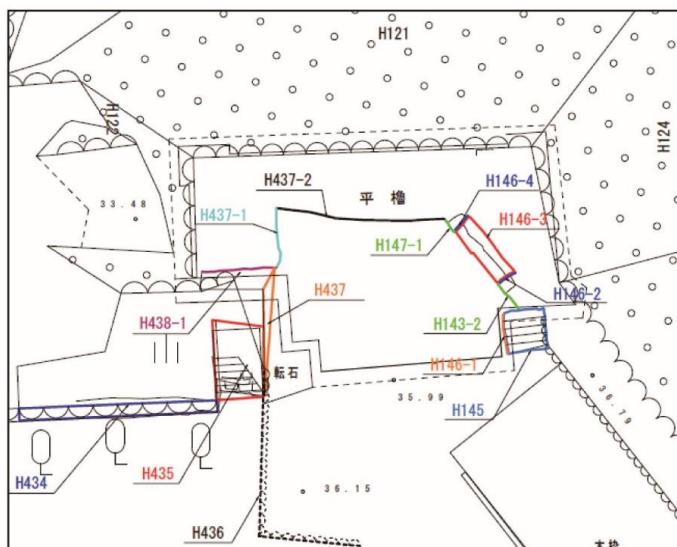


H438 立面オルソ図

※黒実線は解体範囲を示す

平櫓石垣履歴把握図（曲輪側石垣立面・平面）

【資料3—参考2】



《石垣履歴把握について》

- ① 熊本城石垣3期(1607～1611年)【構築当初】
- ② 熊本城石垣5期(1625～1632年)または6期(1632～1871年)【修理1】
築石部:水平方向に横目地が通る→方形を呈した築石を積む
- ③ 熊本城石垣6期(1632～1871年)【修理2】
築石部:斜め方向に横目地が通る→方形を呈した築石を積む
- ④ 熊本城石垣6期(1632～1871年)【修理3】
築石部:横目地が通らない→非方形を呈した築石を多く積む
- ⑤ 熊本城石垣6期(1632～1871年)【修理4】
築石部:水平方向に横目地が通る→方形を呈した築石を積む
- ⑥ 熊本城石垣7期(1871～1950)【近代以降増築石垣】
- ⑦ 文化財修理(昭和28年)【修理5】

H122面石垣は明治期に撮影された写真と比較してほぼ変化なし



平櫓解体時平面写真（18段目解体前）※写真上が南



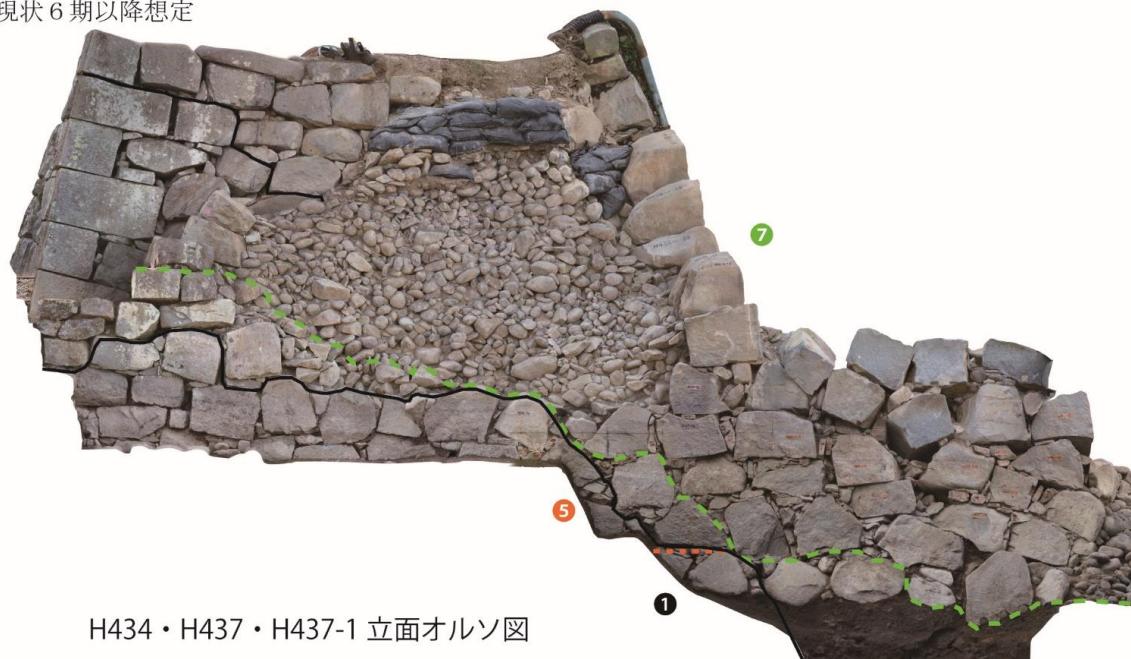
H143-1・H146-4・H146-3・H146-1・H145 立面オルソ図



H437-2 立面オルソ図

※黒実線は解体範囲を示す

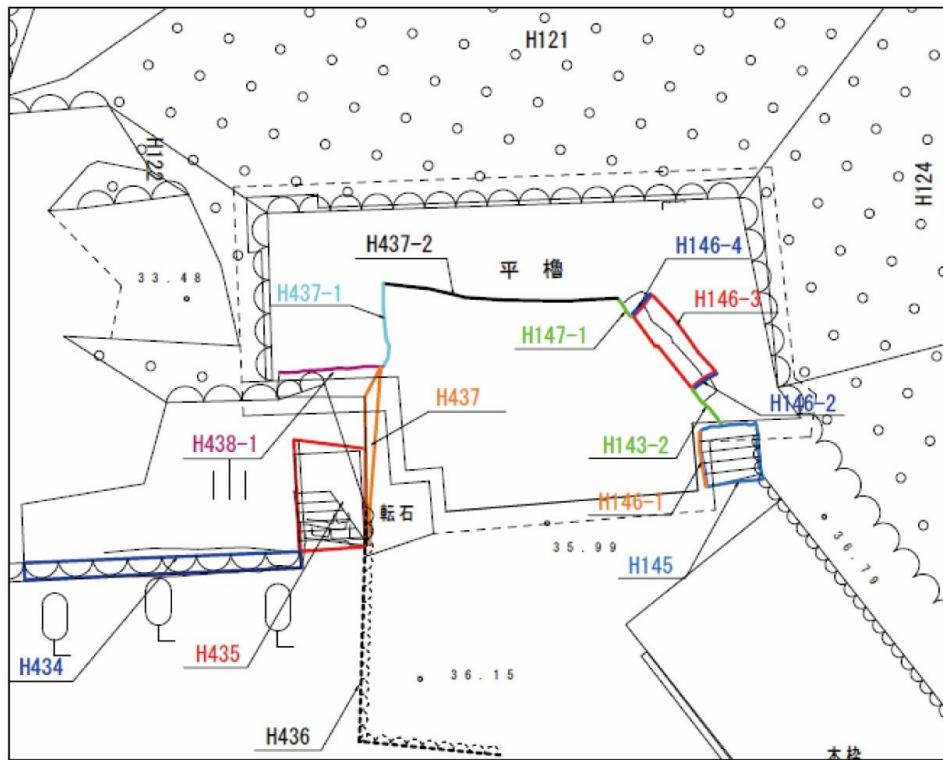
現状6期以降想定



H434・H437・H437-1 立面オルソ図

平櫓石垣履歴把握図（背面・平面）

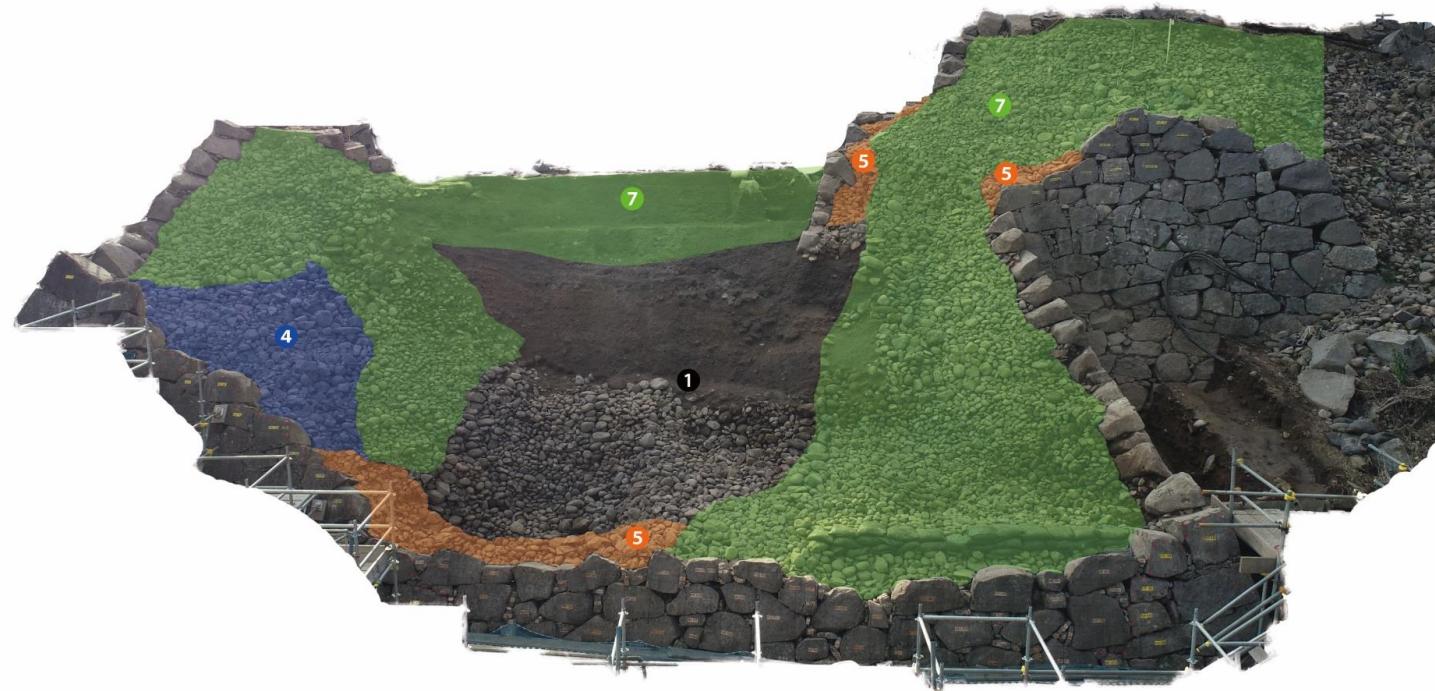
【資料3—参考3】



平櫓解体時平面写真（18 段目解体前）※写真上が南

《石垣履歴把握について》

- ① 熊本城石垣 3 期(1607～1611年) 【構築当初】
- ① 熊本城石垣 2 期(1599～1600)または 3 期(1607～1611年) 【構築当初】
- ② 熊本城石垣 5 期(1625～1632年)または 6 期(1632～1871年) 【修理 1】
築石部: 水平方向に横目地が通る→方形を呈した築石を積む
- ③ 熊本城石垣 6 期(1632～1871年) 【修理 2】
築石部: 斜め方向に横目地が通る→方形を呈した築石を積む
- ④ 熊本城石垣 6 期(1632～1871年) 【修理 3】
築石部: 横目地が通らない→非方形を呈した築石を多く積む
- ⑤ 熊本城石垣 6 期(1632～1871年) 【修理 4】
築石部: 水平方向に横目地が通る→方形を呈した築石を積む
- ⑥ 熊本城石垣 7 期(1871～1950) 【近代以降増築石垣】
- ⑦ 文化財修理(昭和28年) 【修理 5】
H122面石垣は明治期に撮影された写真と比較してほぼ変化なし



平櫓解体時背面写真（18 段目解体前）