

■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】

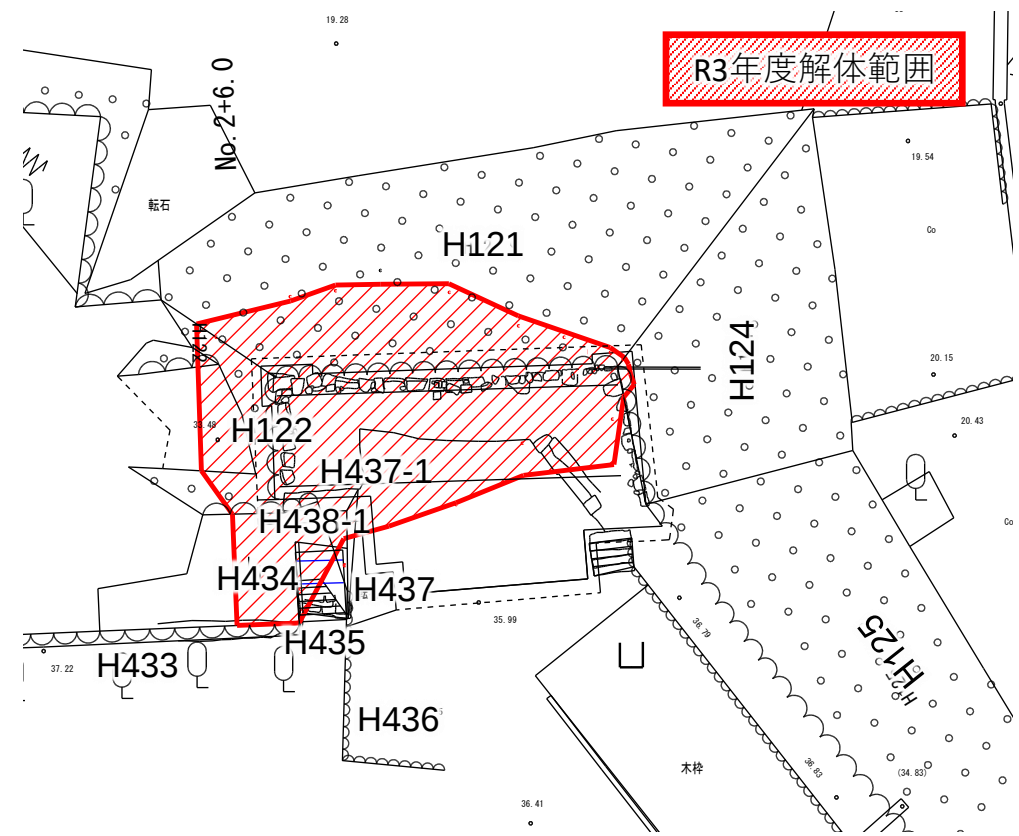
- ・(7/3石垣・構造)石垣履歴・被害状況の報告 石垣解体修理範囲案の検討
- ・(10/9建築・石垣・構造)石垣解体修理範囲案の承認(H121・H122・H124)
※最終的な範囲はR3年度の解体修理時に決定する
- ・(12/15石垣・構造)平櫓周辺石垣解体修理案範囲案の承認
(H143-1・H146-4・H437-1・H437-2・H438-1・H145・H146-1・H146-5・H435・H437)
- ・(3/25)平櫓発掘調査成果の報告

【2021令和3年度 文化財修復検討委員会】

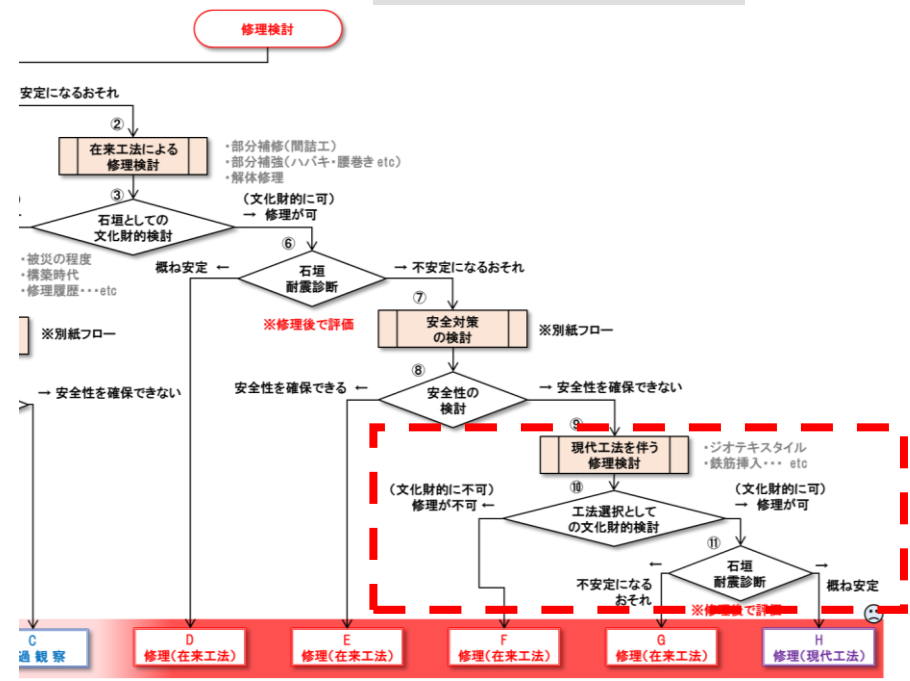
- ・(8/6)平櫓排水路検討の発掘調査案の承認
隣接する石垣(H438)の危険部位の措置を検討する
- ・(9/13-15現地視察)危険部位の措置(案)及びH121・H122の解体範囲案の承認
- ・(10/18)平櫓周辺石垣 危険部位の措置の報告
H121、H122の解体範囲案の再検討結果の報告
- ・(2/2)石垣復旧措置(案)の提示⇒継続審議

■今回の委員会での報告・審議事項

1. 平櫓水路確認のための発掘調査速報【報告】
2. 石垣耐震診断結果【報告】
3. 石垣復旧措置(案)【審議(再提示)】



平櫓周辺平面図



石垣の修理検討フロー (※一部抜粋)

調査目的：平成26年熊本地震前の平櫓周辺は水はけが悪く、建物への悪影響がうかがわれる状況であった。今回調査は、過去周辺の排水路及び江戸時代の遺構面を確認し、熊本城の本質的価値を保護しながら平櫓周辺の排水方法を検討する基礎資料を得ることを目的に実施した。

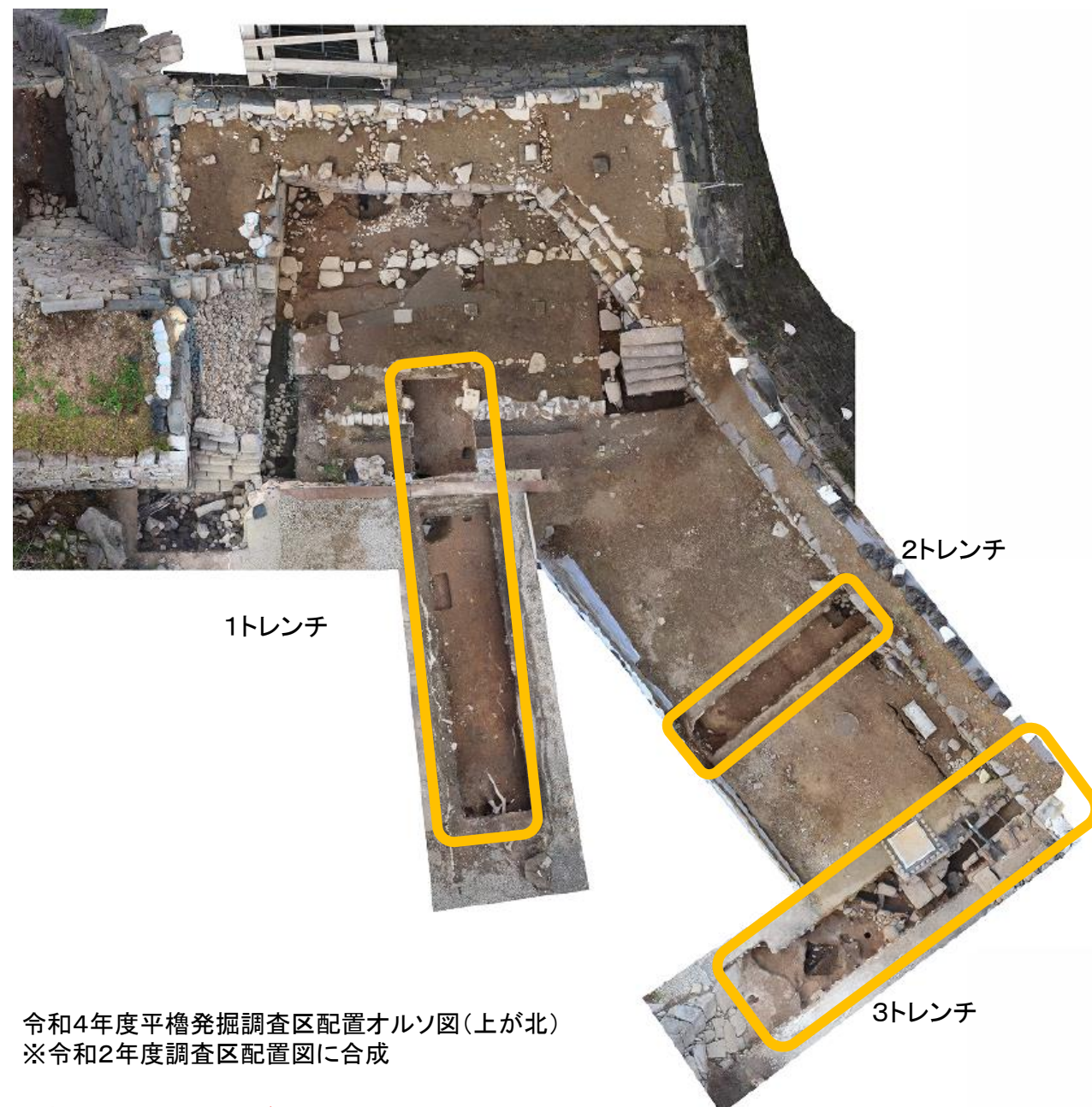
令和2年度12月の熊本城修復検討委員会での指摘を受けて実施。令和4年2月18日付 3文庁第2343号にて許可

<調査目的>

- 1 トレンチ：平櫓下屋礎石修理履歴把握、最終遺構面把握
 - 2 トレンチ：曲輪側最終遺構面把握
 - 3 トレンチ：平成28年検出排水路延長確認、最終遺構面把握
- 御裏五階櫓下石垣根石確認



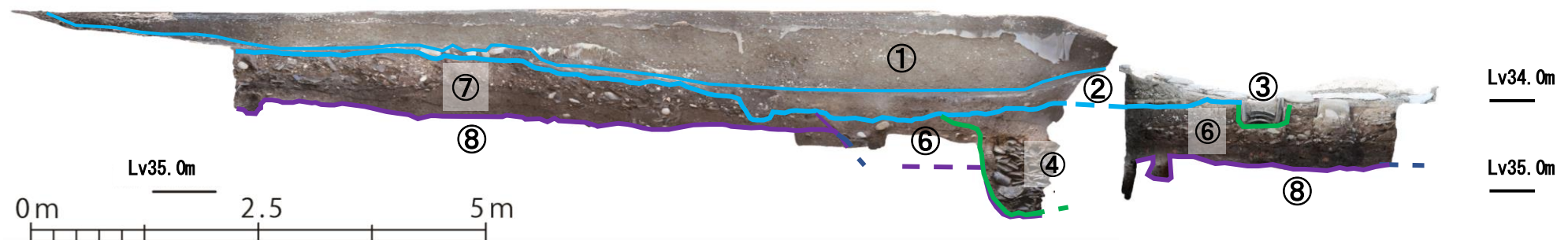
発掘調査風景



令和4年度平櫓発掘調査区配置オルソ図(上が北)
※令和2年度調査区配置図に合成

※調査終了直後の報告につき、転載・引用はご遠慮ください

- ・昭和28年度平櫓解体に伴う石垣修理の盛土が及ぶ範囲を確認 (⑥)
- ・昭和28年度以降の平櫓修理に伴う瓦溜まりを確認 (④)
- ・江戸時代の(盛土)が残存している範囲(⑧)



①熊本地震復旧事業に伴う砕石盛土

②平成の平櫓雨水対策に伴う盛土

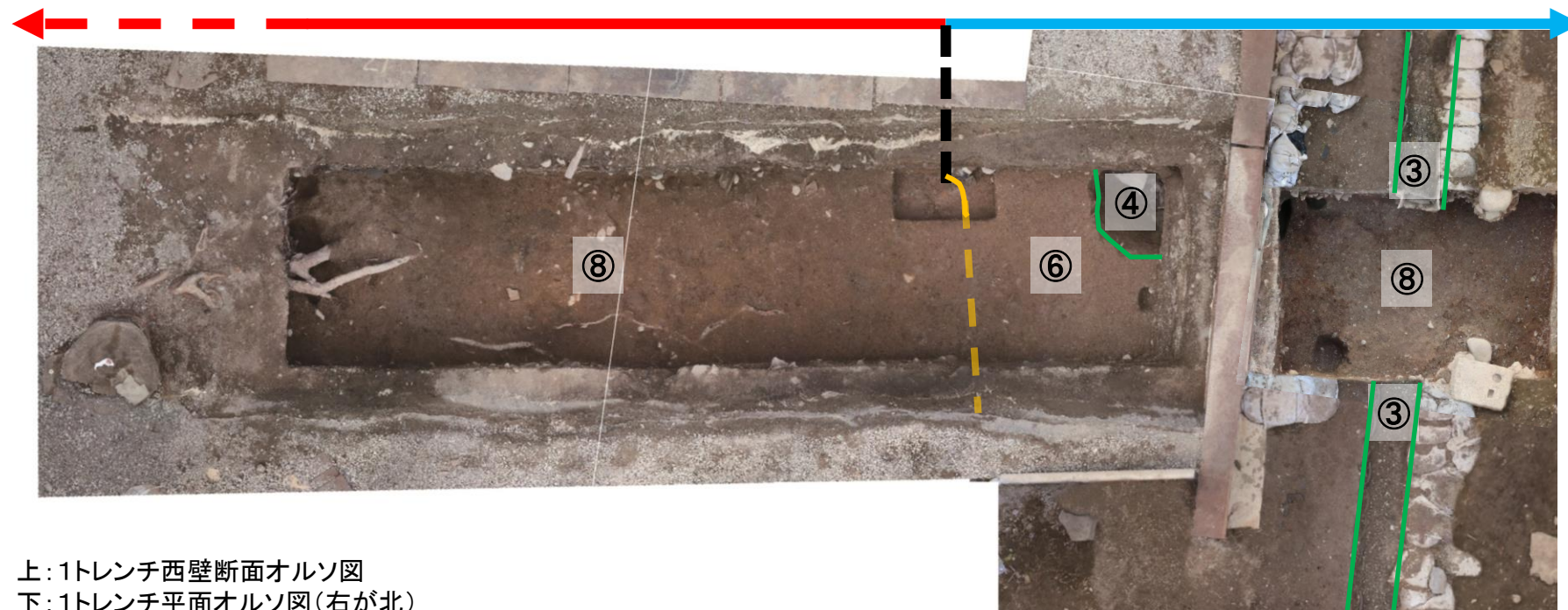
③昭和53年平櫓部分修理時に整備された雨落ち溝

④昭和28年度以降の平櫓修理に伴う瓦溜まり

⑥昭和28年平櫓解体修理に伴う石垣解体時の盛土

⑦近代以降の盛土

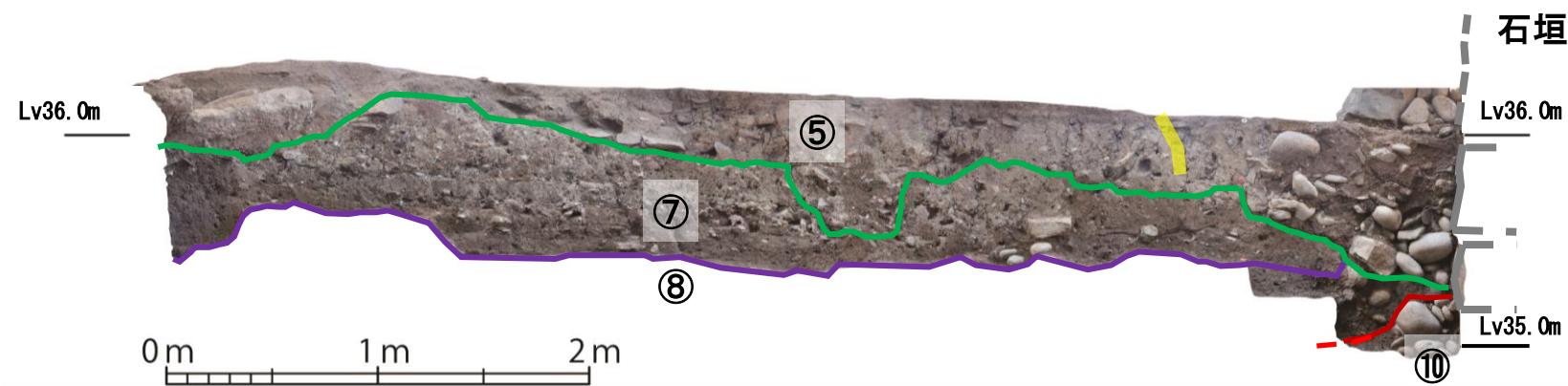
⑧江戸時代の盛土



上:1トレンチ西壁断面オルソ図

下:1トレンチ平面オルソ図(右が北)

- ・ 地表面で確認した地割れは地表面下約30cmまでで、近代以降の造成土内におさまることを確認
- ・ H143の根石を確認
 - ➡根石の下は10～15cm大の円礫主体の栗石を確認 (⑩)

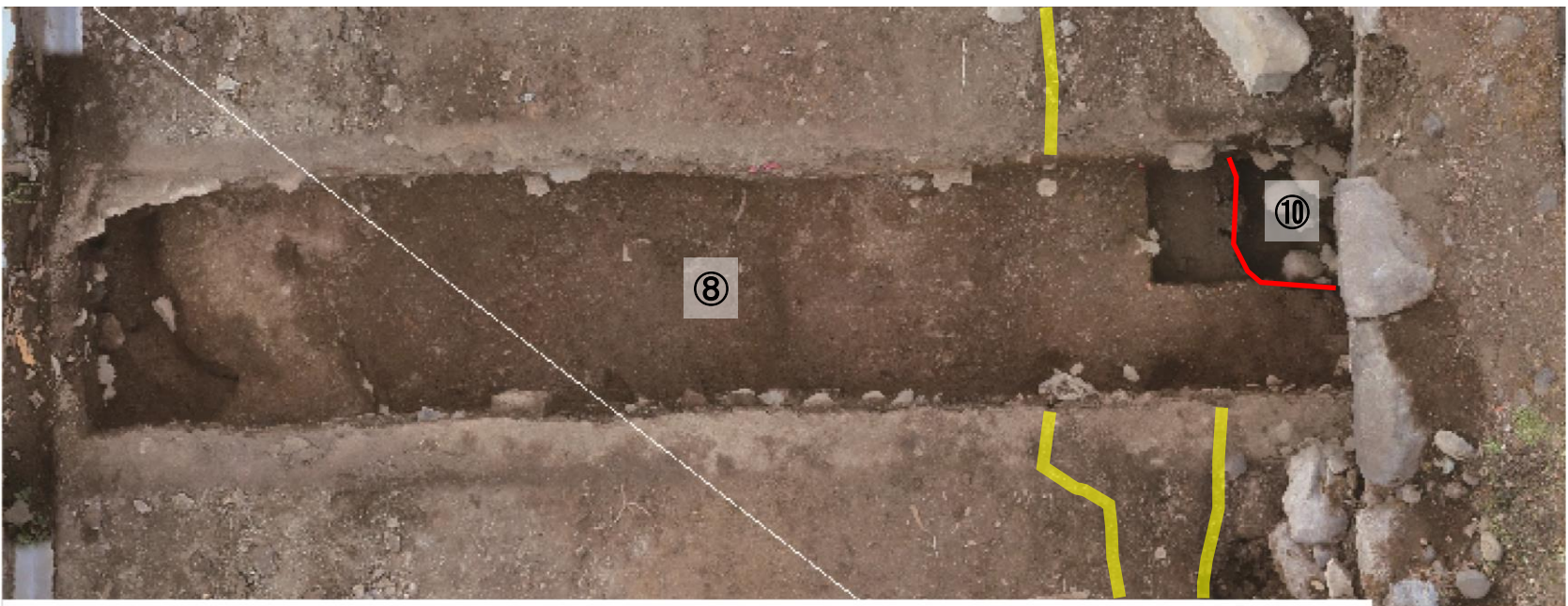


H143根石検出状況(南西から)



同上検出部分拡大

- ⑤昭和以降盛土
- ⑦近代以降盛土
- ⑧江戸時代盛土
- ⑩栗石

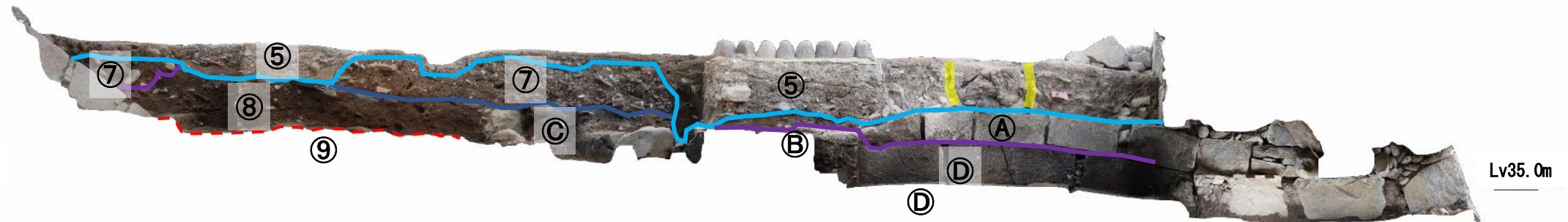


上:2トレンチ西壁断面オルソ図
下:2トレンチ平面オルソ図(右が北東)

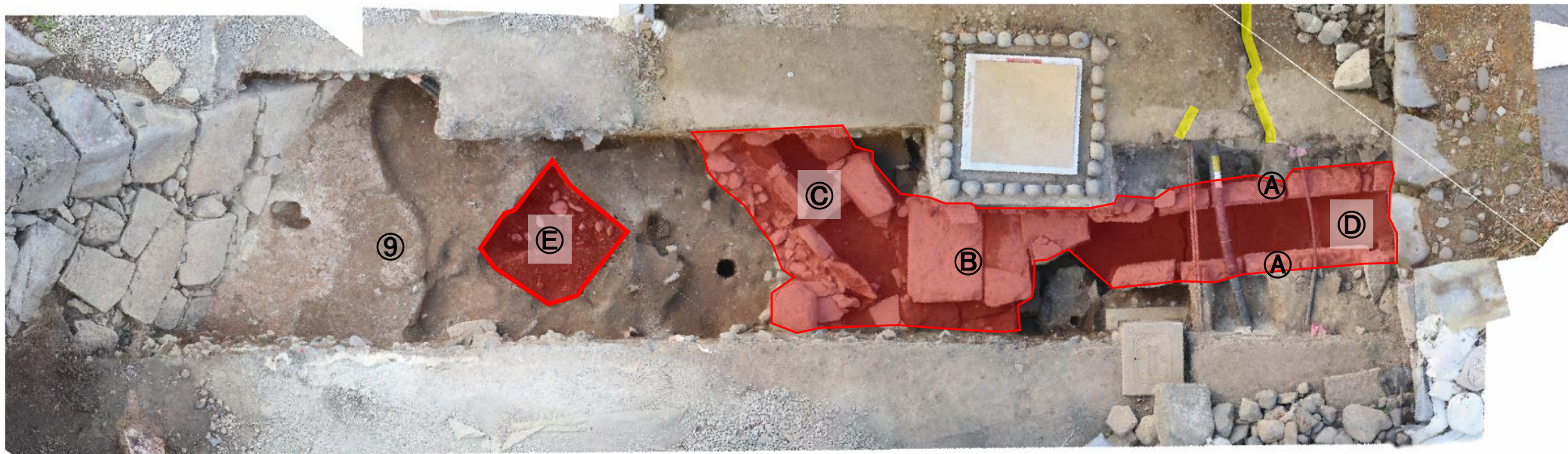
黄色線:地割れ箇所

- ・過去に検出していた排水溝が南西側に向かって延伸しないことを確認
- ・過去に検出していた排水溝が一時期によるものでないことを確認
(A・D)
- ・異なる特徴を持つ石製排水溝を確認 (B・C)

- ・検出した排水溝の南西側で遺構面を確認 (9)
→灰白色土と褐色土が整地に伴い、叩き締められている
- ・遺構面を切る方形の遺構を確認 (E)
- ・根石の確認は石垣際において遺構面を確認したため、行っていない



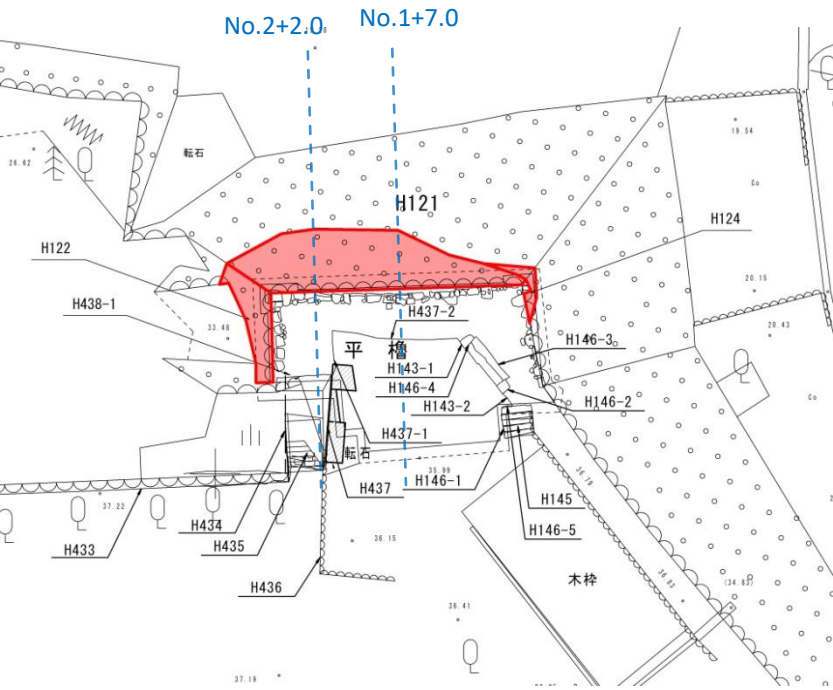
- | | | | |
|---------|----------|--------|------------|
| ⑤昭和以降盛土 | ⑧江戸時代盛土 | Ⓐ安山岩製溝 | ⓒ安山岩・凝灰岩製溝 |
| ⑦近代以降盛土 | ⑨江戸時代遺構面 | Ⓑ安山岩製溝 | Ⓓ凝灰岩製溝 |



上:3トレンチ西壁断面オルソ図
下:3トレンチ平面オルソ図(右が北東)

黄色線:地割れ箇所
赤塗部分:遺構

平面図

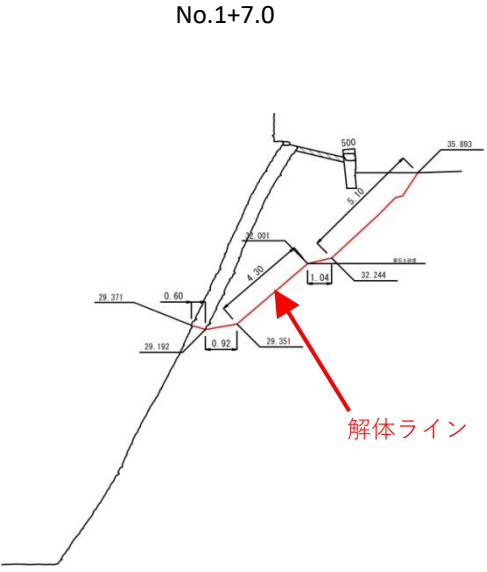


立面図



- 《石垣履歴把握について》
- ① 熊本城石垣3期(1606～1607)【構築当初】
 - (①)熊本城石垣2期(1599～1600)または3期(1607～1611)【構築当初】
 - ② 熊本城石垣5期(1625～1632)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)【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)【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)【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

断面図



現況写真

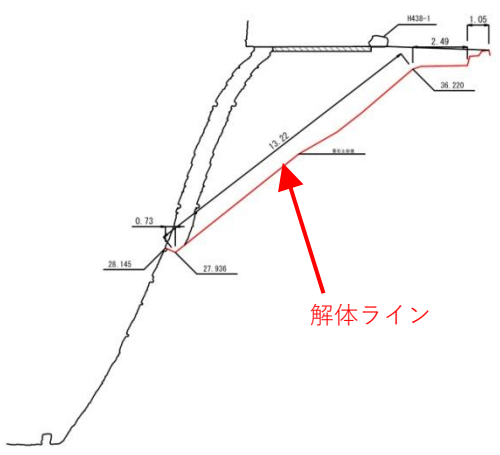
(東側上部より撮影)



(東側下部より撮影)

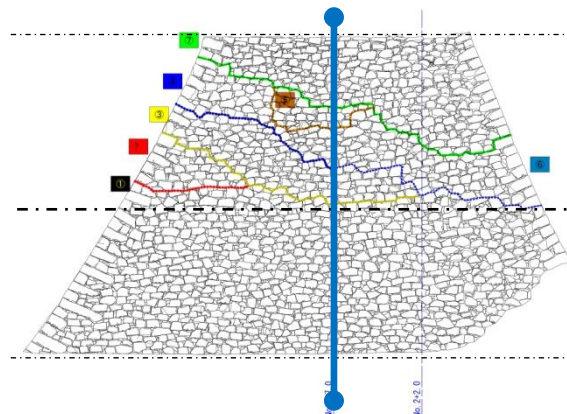


No.2+2.0

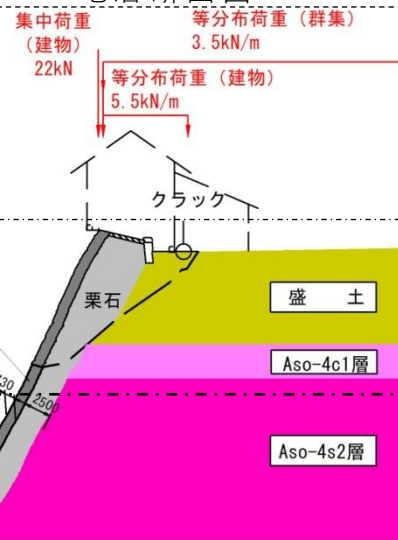


築石の安定性評価（累積示力線解析）

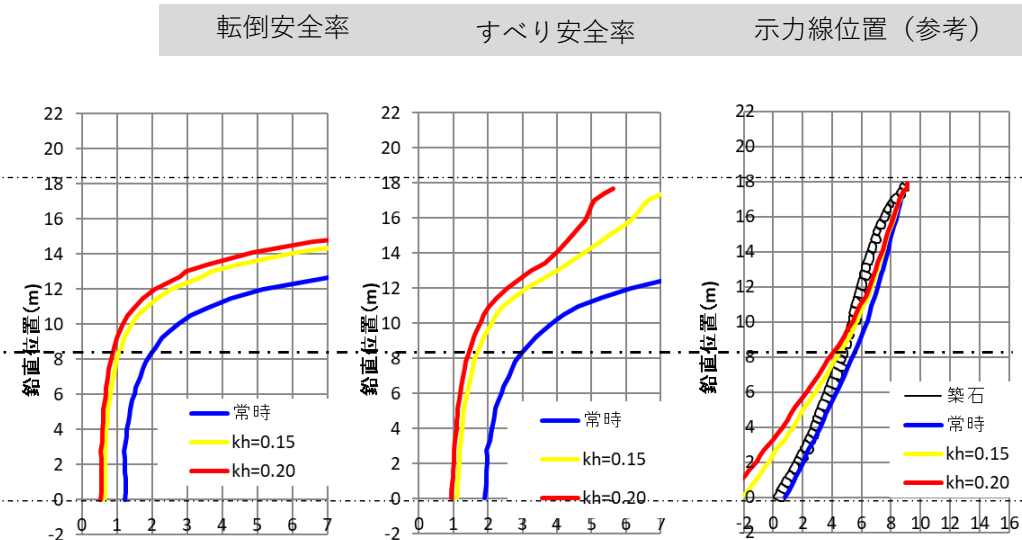
累積示力線解析位置 No.1+7.0



累積示力線解析位置
(No.1+7.0)



修理履歷



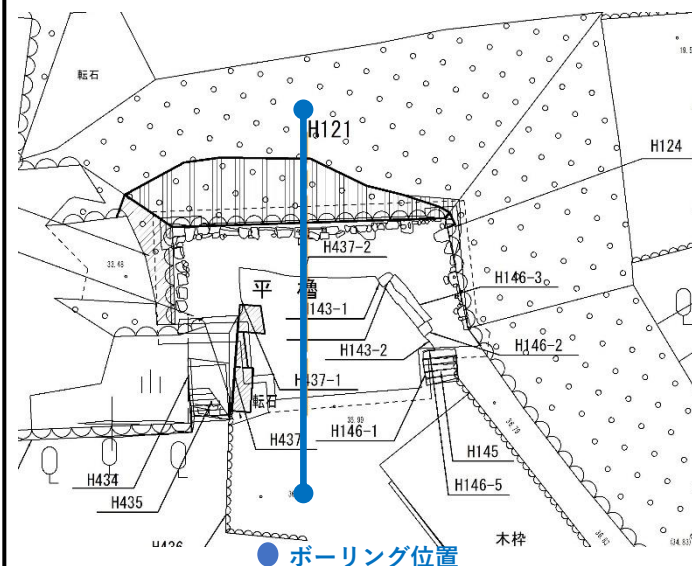
常 時	(Fs=1.20)	OK(Fs=1.90)	d= 0.76m
中地震	NG(Fs=0.64)	OK(Fs=1.09)	d=-2.14m
大地震	NG(Fs=0.53)	NG(Fs=0.93)	d=-3.26m
判 定	N G		

平面图

石垣背面全体の安定性評価（円弧すべり解析）

診断内容、結果、背面構造の設定

累積示力線解析位置
(No.1+7.0)



● ボーリング位置

運用なし

診断内容、結果

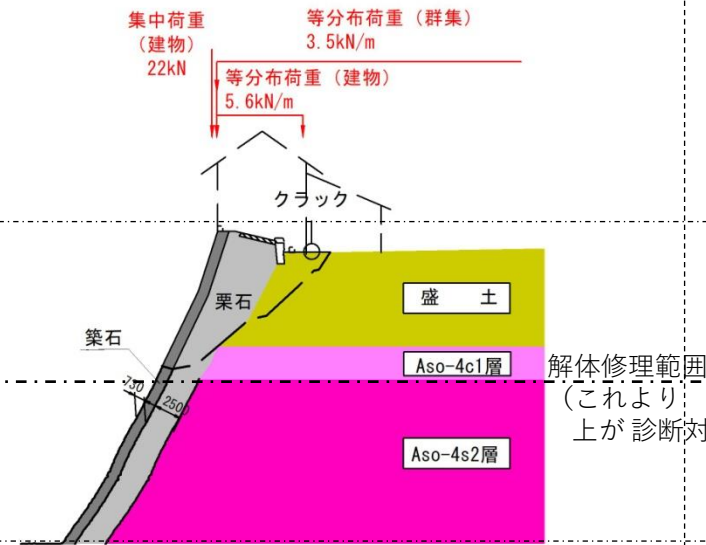
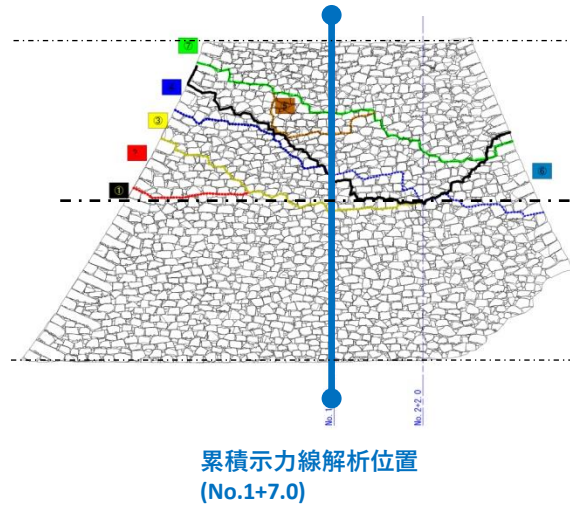
診断手法	運用	理 由	判定	総合判定
(1) 築石の安定性	○	必ず実施する	NG	C
(2) 石垣の根入れ部の安定性	×	根入れ部の安定性に起因する破損変状が確認されないため	-	
(3) 石垣背面全体の安定性	×	上部地盤にクラックはあるが、下部地盤は盛土及びAso-4sを主体とした地山であり隆起等も確認できない。そのため、クラックを起点とした背面全体を通過する円弧は生じないと判断したため	-	

背面構造の設定（累積示力線法解析時）

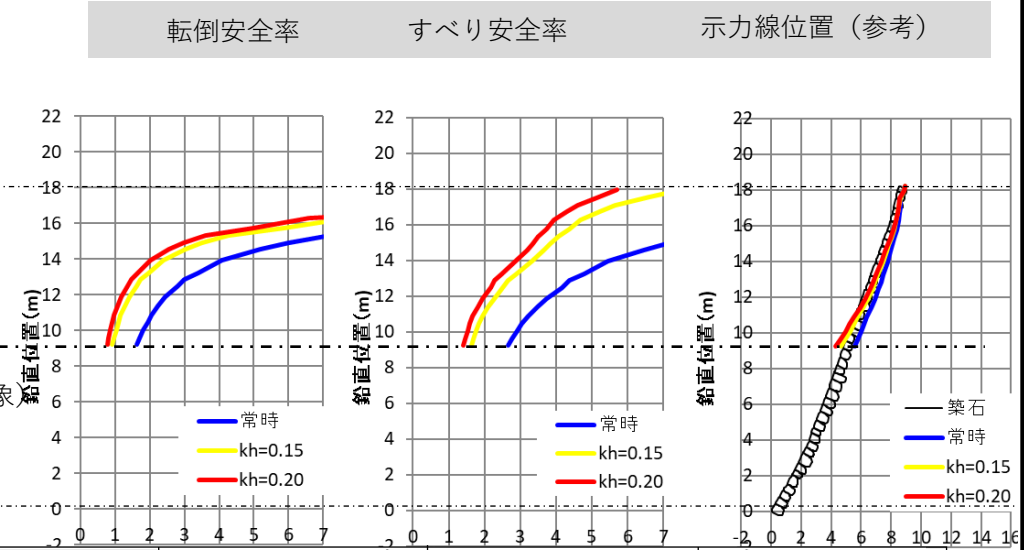
背面構造	理 由
栗石	築石の背面は栗石層、盛土層及びAso4層の複層構造になっているが、築石に土圧を作用する層としては栗石層が支配的であると判断した。

築石の安定性評価（累積示力線解析）

累積示力線解析位置 No.1+7.0



解体修理範囲
(これより
上が診断対象)



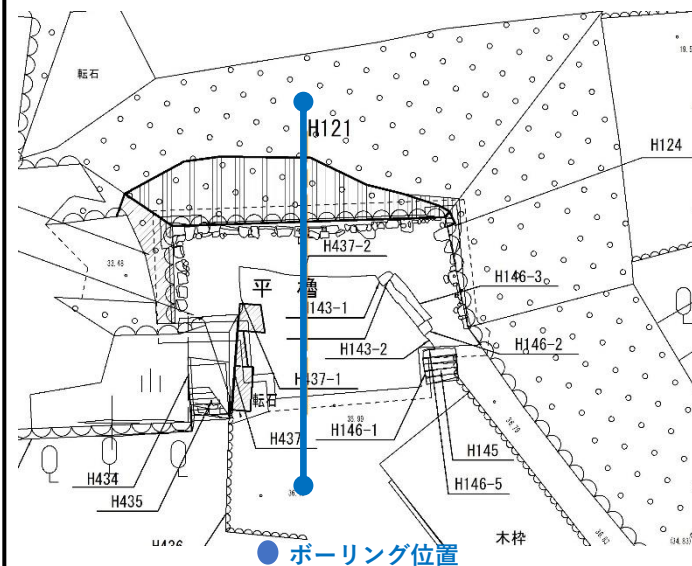
常 時	OK($F_s=1.63$)	OK($F_s=2.67$)	d= 0.75m
中地震	NG($F_s=0.93$)	OK($F_s=1.63$)	d=-0.14m
大地震	NG($F_s=0.78$)	OK($F_s=1.41$)	d=-0.50m
判 定	N G		

平面图

石垣背面全体の安定性評価（円弧すべり解析）

診断内容、結果、背面構造の設定

累積示力線解析位置
(No.1+7.0)



運用なし

診断内容、結果

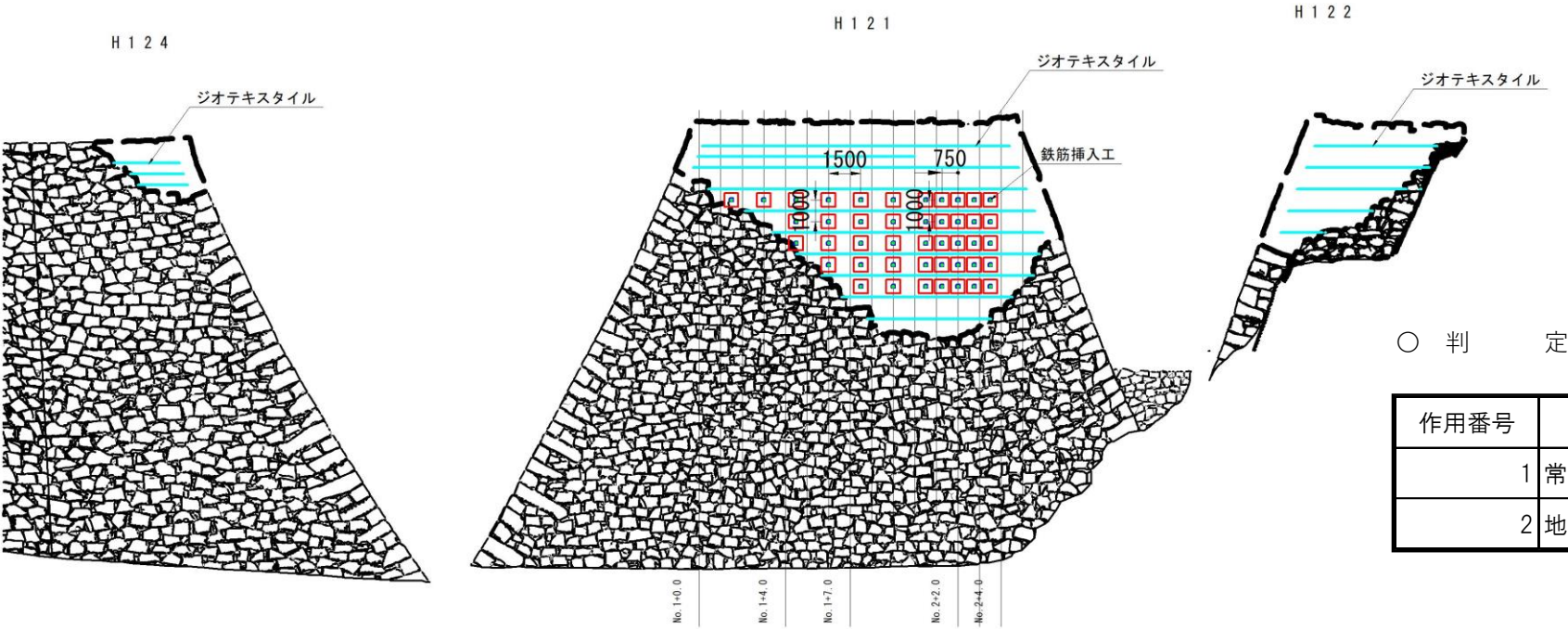
診断手法	運用	理由	判定	総合判定
(1) 築石の安定性	○	必ず実施する	NG	C
(2) 石垣の根入れ部の安定性	×	根入れ部の安定性に起因する破損変状が確認されないため	-	
(3) 石垣背面全体の安定性	×	上部地盤にクラックはあるが、下部地盤は盛土及びAso-4sを主体とした地山であり隆起等も確認できない。そのため、クラックを起点とした背面全体を通過する円弧は生じないと判断したため	-	

背面構造の設定（累積示力線法解析時）

背面構造	理 由
栗石	築石の背面は栗石層、盛土層及びAso4層の複層構造になっているが、築石に土圧を作用する層としては栗石層が支配的であると判断した。

工法区分		現 代 工 法			
名 称		—	案 1	案 2	案 3
		ジオテキスタイル+受圧板	ジオテキスタイル+鉄筋挿入工+受圧板	解体範囲拡大+ジオテキスタイル+受圧板	解体範囲拡大+グリグリッド+受圧板
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、築石の崩落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、鉄筋挿入工による補強を施工する工法	全体安定を満足するため、補強材の必要量が確保できるところまで、背面側の掘削範囲を拡大する	全体安定を満足するため、補強材の必要量が確保できるところまで、背面側の掘削範囲を拡大する （※掘削範囲内の盛土は全て栗石に置き換える）
安 定 性	内的安定	×	○	○	○
	外的安定	○	○	○	○
	全体安定	×	○	○	○
	築石の安定	○	○	○	○
文 化 財 への 影 響	外観への影響	△	△	△	△
	材料・内部への影響	△	×	×	×
	可逆性	○	×	×	×
	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 ×：鉄筋挿入工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	○：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		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、地山に鉄筋挿入工を打設することで、遺構（裏込め、盛土）への影響が大きい、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、遺構面、石垣への影響が大きい	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、遺構面、石垣への影響が大きい

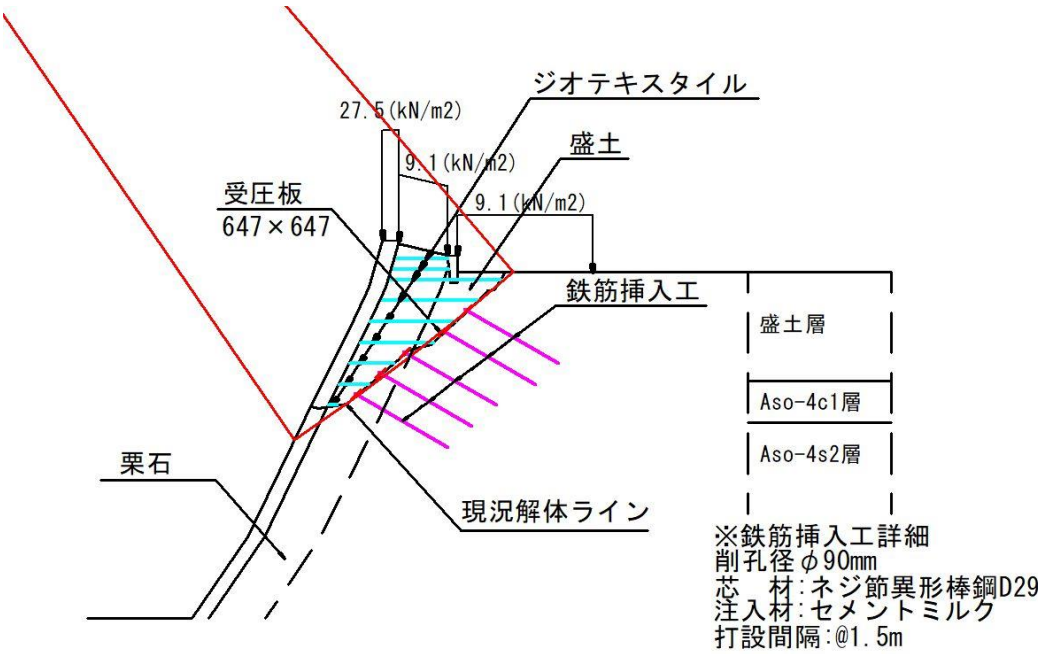
立 面 図
(鉄筋挿入工配置図)



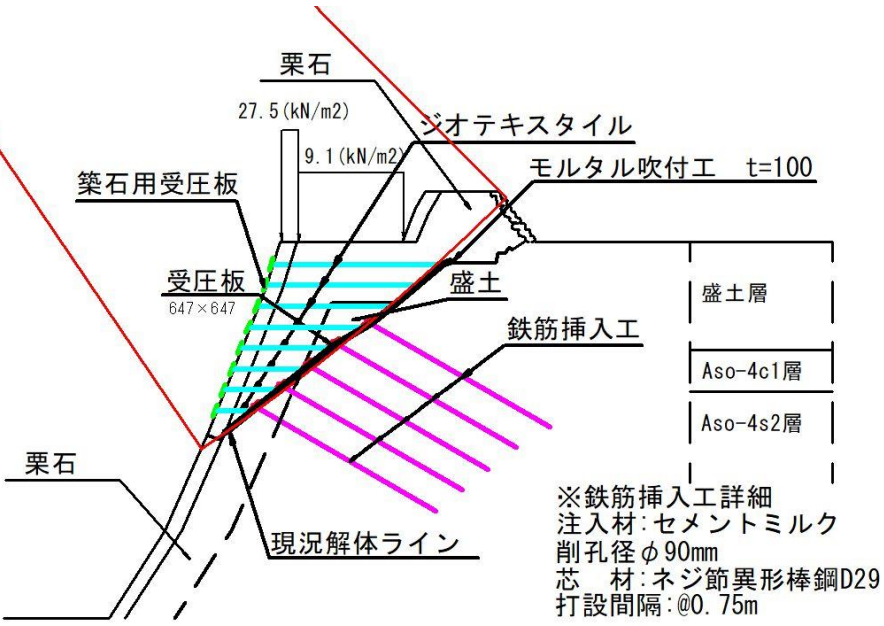
○ 判 定

作用番号	作用名称	安全率	判 定
1	常時の作用	1.230	≧1.20 OK
2	地震動の作用	1.021	≧1.00 OK

No.1+7.0断面図

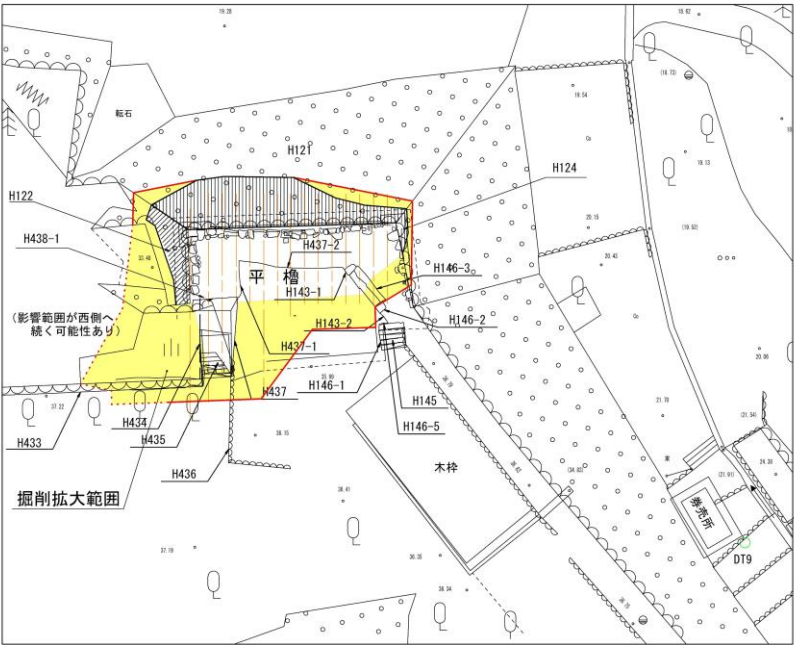


No.2+2.0断面図

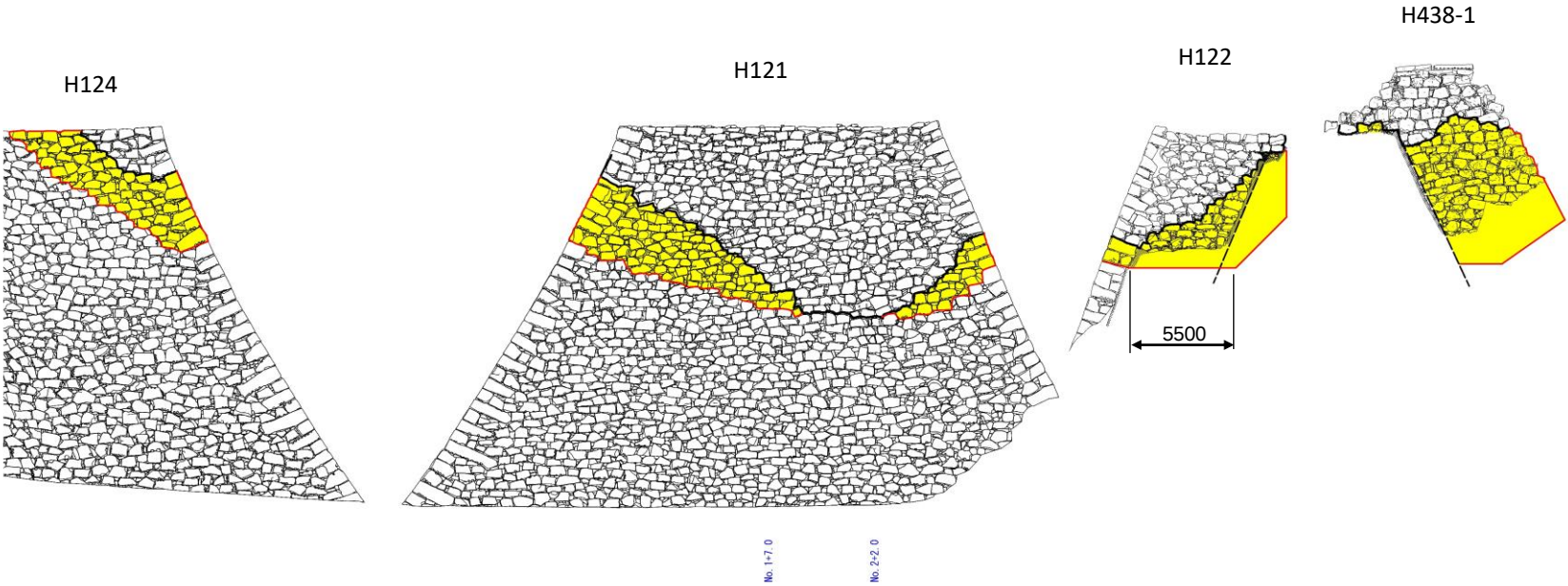


地山へ鉄筋挿入工を施工するため遺構(裏込め・盛土)への影響あり

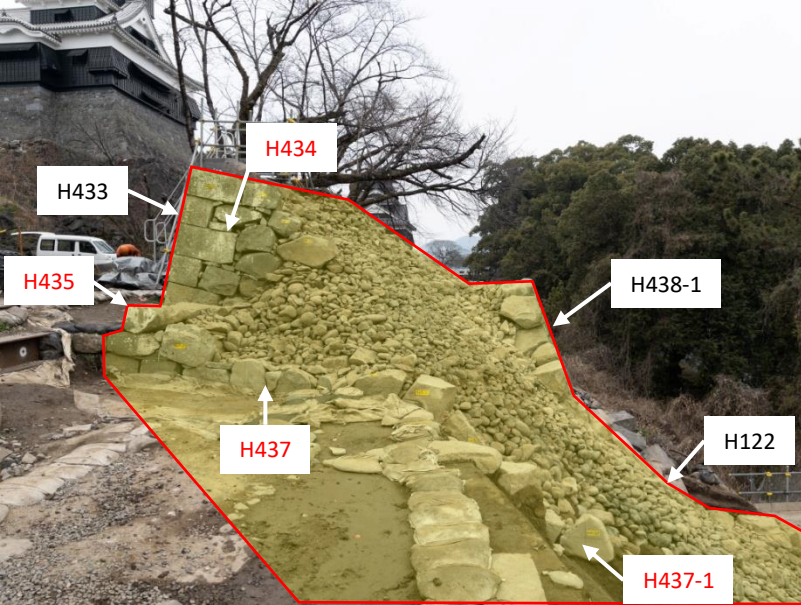
掘削範囲平面図



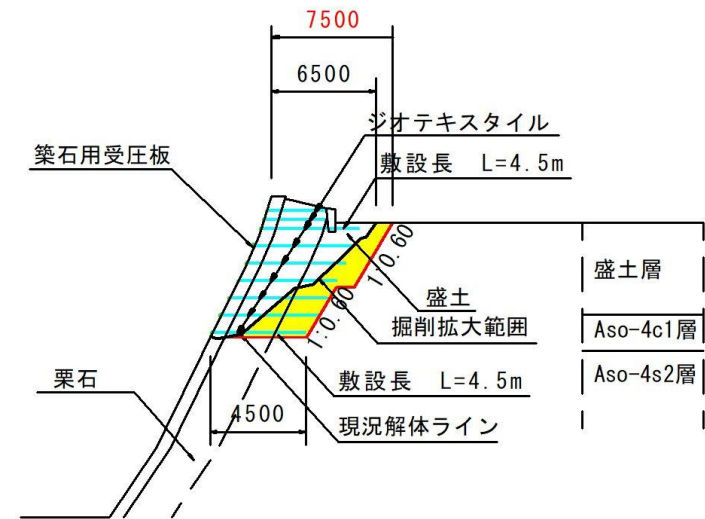
解体範囲拡大立面図



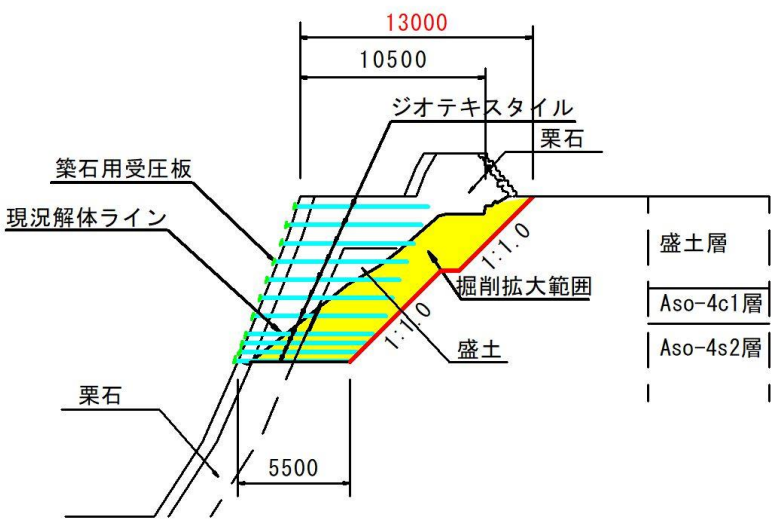
掘削拡大に伴う影響範囲（イメージ）



No.1+7.0断面図



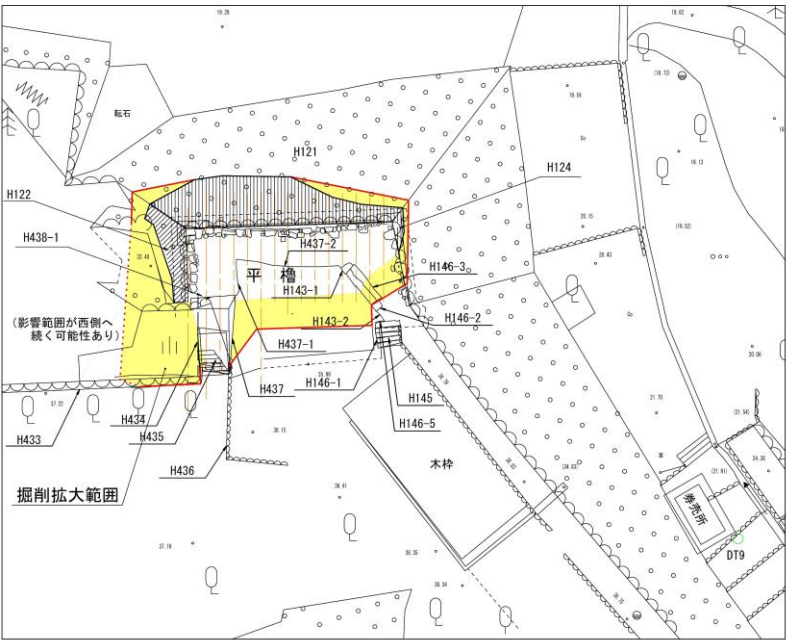
No.2+2.0断面図



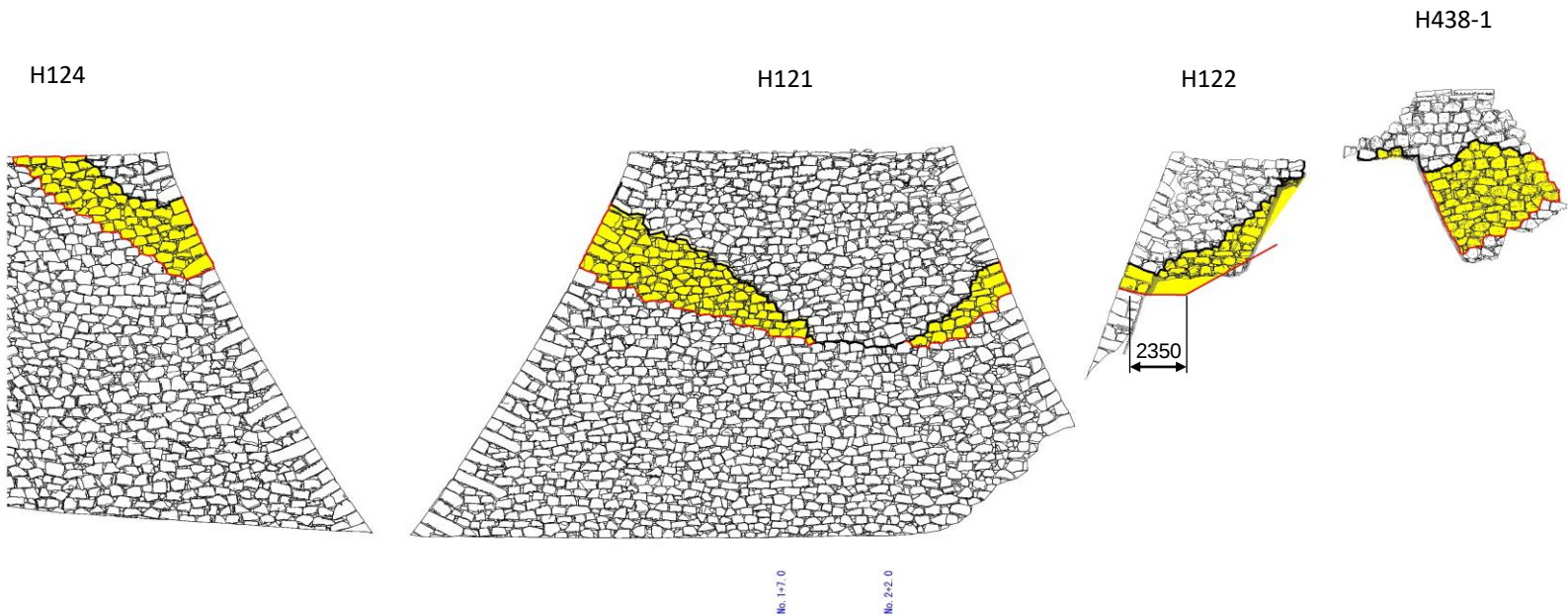
面番号のうち、赤字はその面のすべてが影響範囲に含まれることを示す。

解体範囲拡大により、遺構面の掘削、石垣(H121,H122,H124,H433,H435,H437,H437-1,H438-1)の追加解体が必要

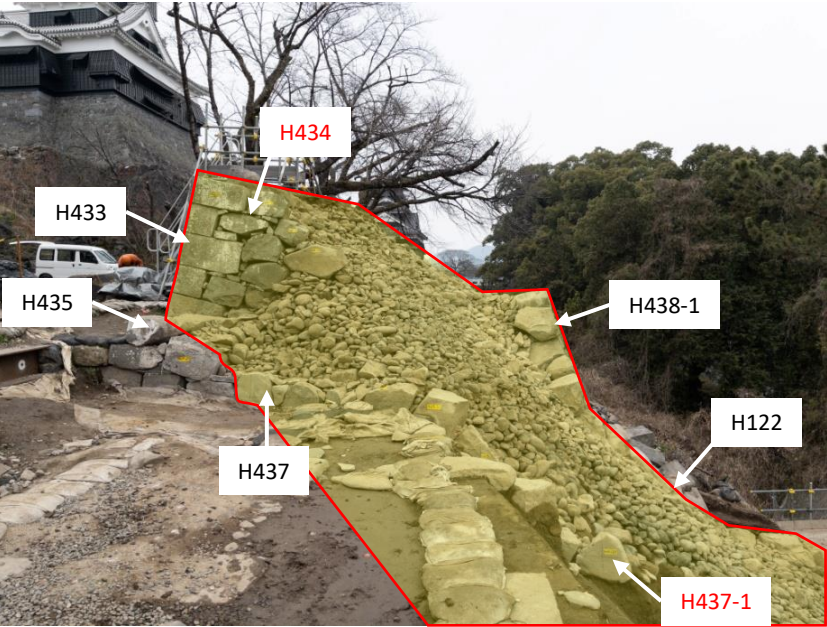
掘削範囲平面図



解体範囲拡大立面図

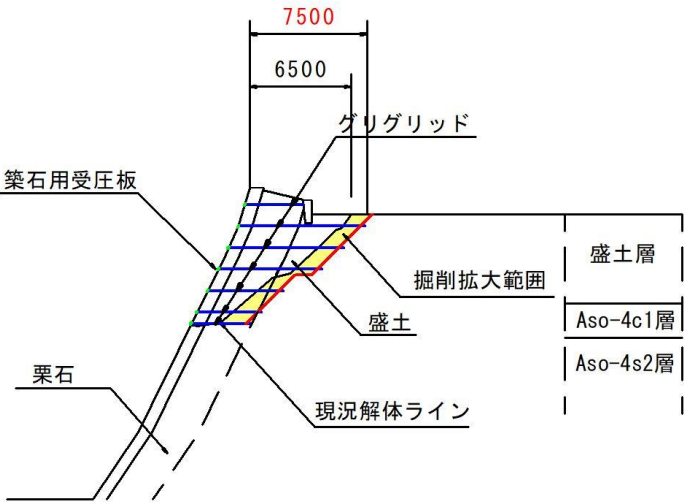


掘削拡大に伴う影響範囲（イメージ）

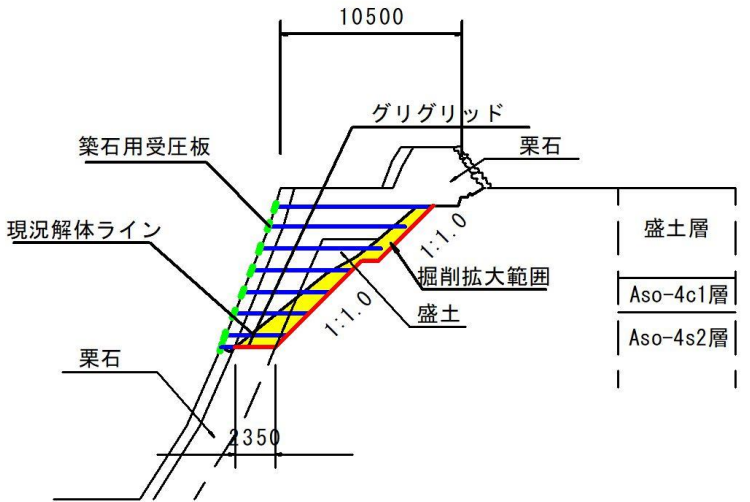


面番号のうち、赤字はその面のすべてが影響範囲に含まれることを示す。

No.1+7.0断面図



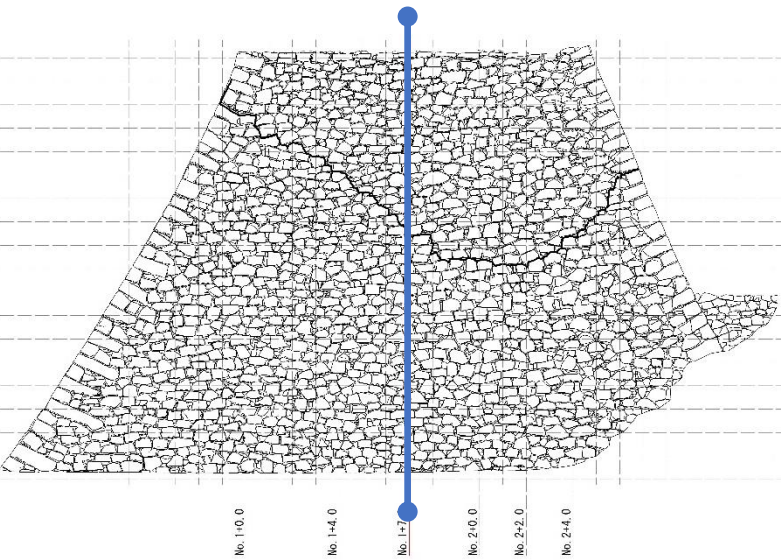
No.2+2.0断面図



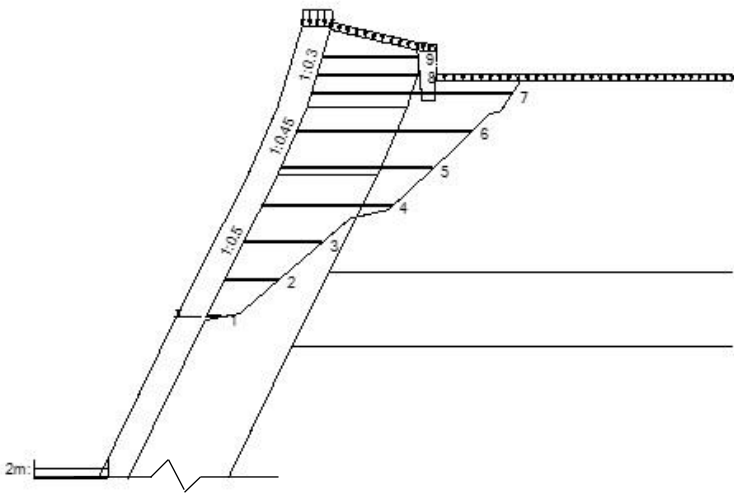
解体範囲拡大により、遺構面の掘削、石垣(H121,122,H124,H433,H434,H437,H437-1,H438-1)の追加解体が必要

立面図

円弧すべり解析位置 No.1+7.0



ジオテキスタイル配置図



外的安定の検討

外的安定の検討

() 内設計値

項目	記号	単位	常時		地震時	
			計算結果	判定	計算結果	判定
滑動に対する安定	F s	—	8. 423	○	2. 482	○
			(1. 500)		(1. 200)	
転倒に対する安定	e	m	-0. 749	○	-0. 222	○
			(0. 867)		(1. 733)	
盛土直下の支持力に対する安定	q	kN/m ²	95. 342	—	96. 239	—

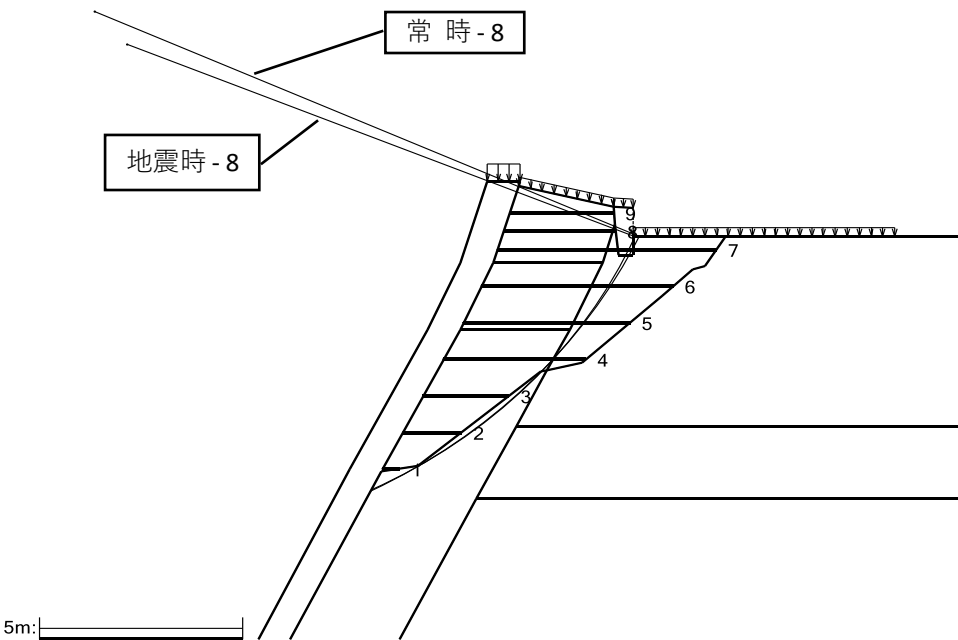
内的及び全体安定の検討

○ 各段の使用材料・敷設間隔・敷設長（内的安定の検討）

赤字は敷設長が不足していることを示す

位置 番号	材料 No	天端から 敷設深さ h (m)	敷設間隔 V (m)	引張力 T (kN/m)		必要敷設長 L (m)		使 用 敷設長 L (m)
				常 時	地震時	常 時	地震時	
9	44	0. 730	0. 730	5. 438	12. 360	3. 343	4. 625	2. 568#
8	44	1. 230	0. 500	3. 520	8. 120	3. 363	4. 572	2. 768#
7	44	1. 730	0. 500	3. 769	8. 263	3. 357	4. 493	5. 401
6	44	2. 730	1. 000	9. 318	17. 911	3. 353	4. 345	4. 730
5	44	3. 730	1. 000	11. 550	19. 602	3. 278	4. 121	4. 119#
4	44	4. 730	1. 000	13. 969	21. 646	3. 093	3. 780	3. 523#
3	44	5. 730	1. 000	16. 487	23. 773	2. 726	3. 240	2. 124#
2	44	6. 730	1. 000	19. 061	25. 948	2. 091	2. 396	1. 458#
1	44	7. 730	1. 000	21. 669	28. 153	1. 000	1. 000	0. 426#
合計		7. 730						27. 117

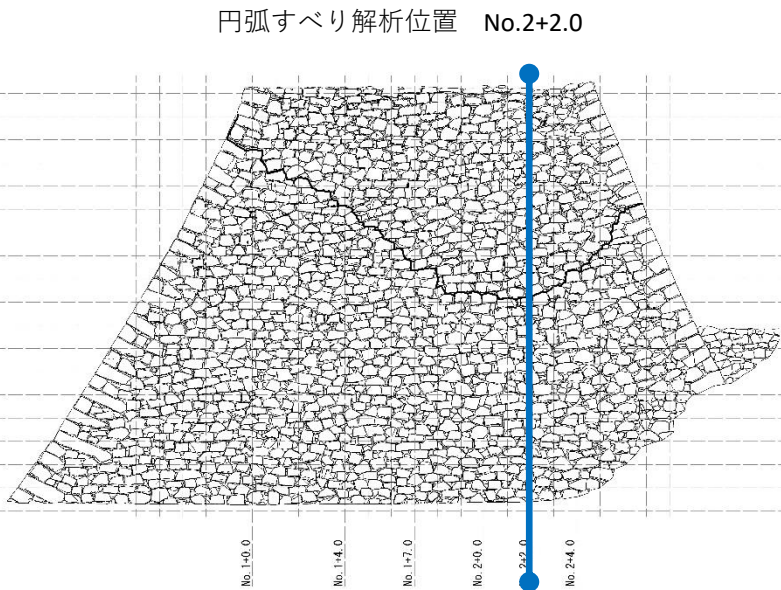
○ 円弧すべり形状



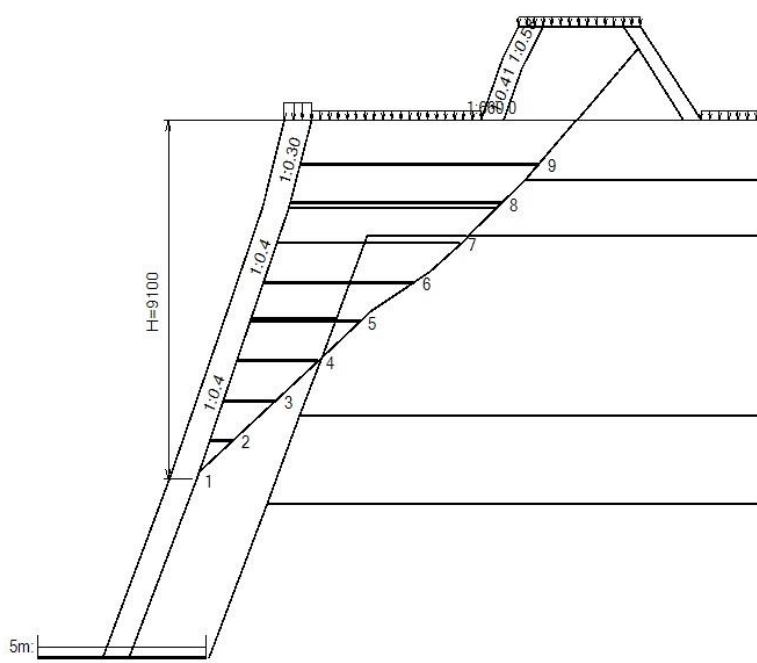
○ 全体安定の検討

ケース	円弧中心座標		半径	F smin	F sa	判定
	X (m)	Y (m)	R (m)			
常 時 -8	-7. 100	12. 500	14. 765	1. 072	1. 200	NG
地震時 -8	-6. 300	11. 600	13. 577	0. 937	1. 000	NG

立面図



ジオテキスタイル配置図



外的安定の検討

外的安定の検討

() 内設計値

項 目	記号	単位	常 時		地震時	
			計算結果	判 定	計算結果	判 定
滑動に対する安定	F s	—	7.063	○	2.483	○
			(1.500)		(1.200)	
転倒に対する安定	e	m	-1.663	○	-0.790	○
			(1.186)		(2.371)	
盛土直下の支持力に対する安定	q	kN/m ²	185.251	—	186.341	—

内的及び全体安定の検討

○ 各段の使用材料・敷設間隔・敷設長 (内的安定の検討) 赤字は敷設長が不足していることを示す

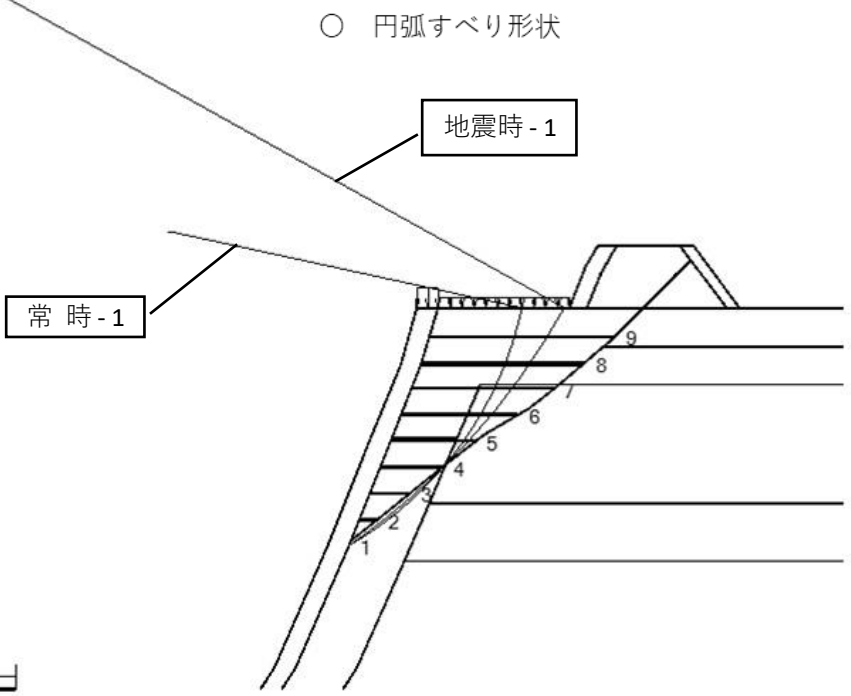
位置 番号	材料 No	天端から 敷設深さ h (m)	敷設間隔 V (m)	引張力		必要敷設長		使 用
				T (kN/m)		L (m)		敷設長
				常 時	地震時	常 時	地震時	L (m)
9	44	1.100	1.100	9.006	20.648	3.810	5.509	7.114
8	44	2.100	1.000	9.262	19.681	3.793	5.308	6.270
7	44	3.100	1.000	11.457	21.539	3.779	5.109	5.427
6	44	4.100	1.000	14.022	23.710	3.679	4.824	4.477#
5	44	5.100	1.000	16.742	26.012	3.472	4.426	3.267#
4	44	6.100	1.000	19.542	28.382	3.140	3.893	2.415#
3	44	7.100	1.000	22.389	30.792	2.654	3.192	1.562#
2	44	8.100	1.000	25.268	33.228	1.969	2.265	0.710#
1	44	9.100	1.000	28.168	35.683	1.000	1.000	0.001#
合計		9.100						31.243

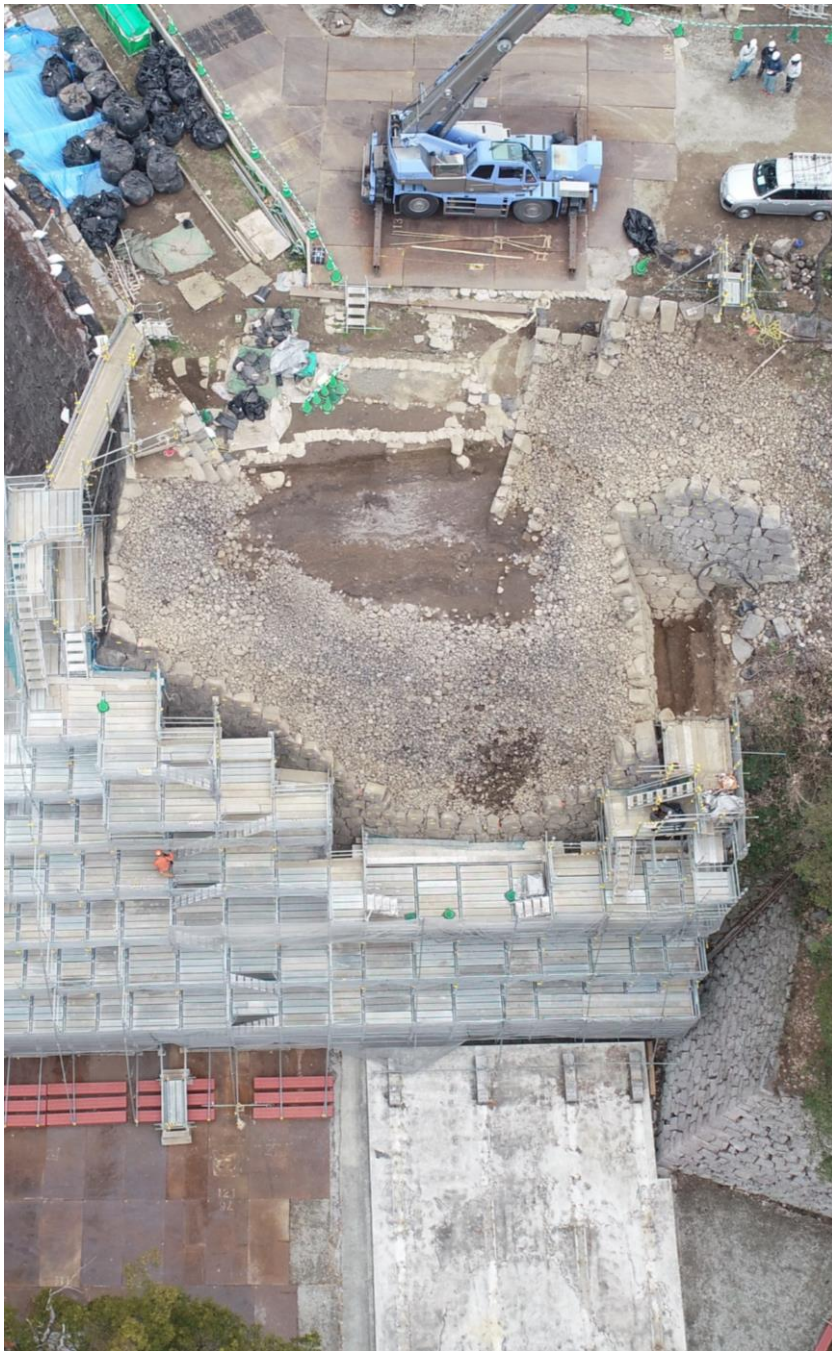
○ 全体安定の検討

ケース	円弧中心座標		半径	F s min	F s a	判定
	X (m)	Y (m)	R (m)			
常 時 -1	-6.9	12	13.842	1.067	1.200	NG
地震時 -1	-15.2	22.1	26.823	0.970	1.000	NG

○ 検討結果

No.1+7.0及びNo.2+2.0共に解体範囲内のみの補強だけではNG判定となったため、安定性を確保する工法についてさらに検討する。

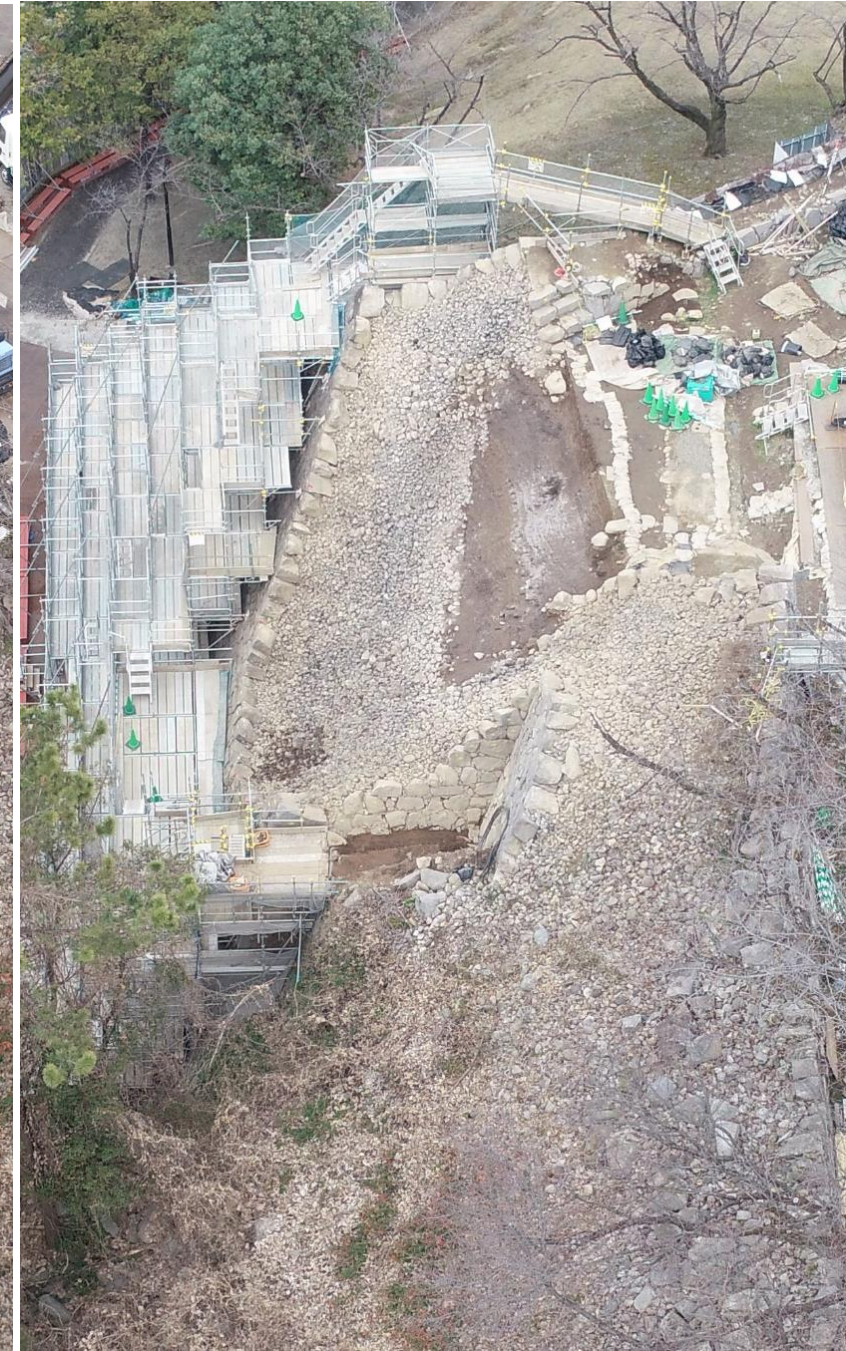




北側から望む



北西側から望む



西側から望む