

1. 令和7年度の作業実績

令和7年度の作業内容について

【崩落箇所】

○石川門前土橋石垣など（尾坂門北東石垣を除く）崩落した6箇所では、被災箇所周辺に不安定化して残る石垣の解体及び崩落石材の回収工事を実施し、石川門前土橋石垣と本丸南石垣は、令和8年1月に作業を完了した。

→石材数 866石（石川門前土橋石垣143石、本丸南石垣382石、玉泉院丸南石垣69石、本丸北石垣39石、栄螺山石垣151石、辰巳用水石垣82石）

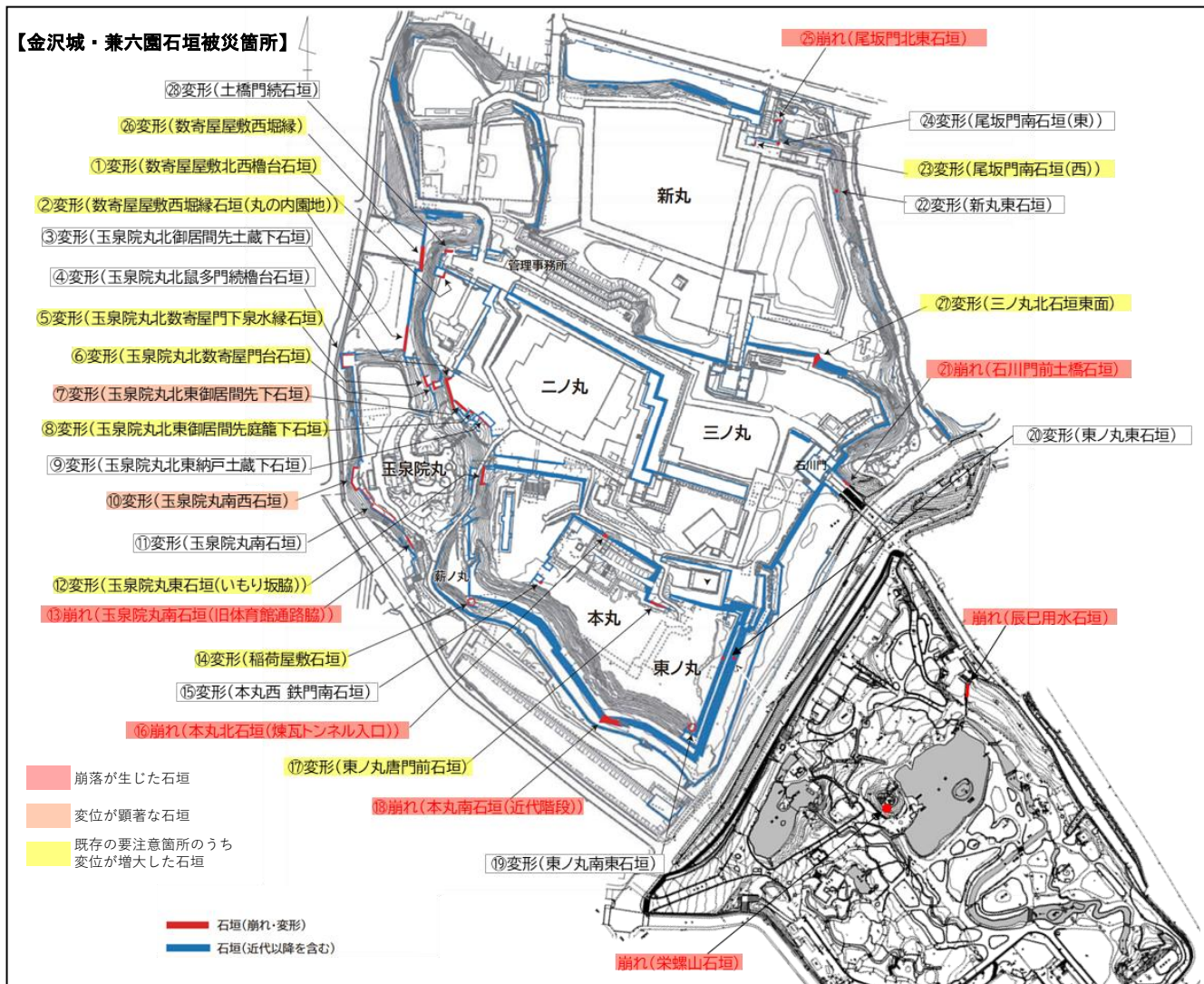
【変形箇所】

○変形のあった13箇所のうち、玉泉院丸南西石垣については、令和6年度から市道側に仮設防護柵を設置の上、石垣の解体に着手し、令和7年度も継続し、令和7年12月に解体工事が完了した。

→石材数 151石（玉泉院丸南西石垣151石）

○御居間先下・庭籠下石垣など応急対応が必要な12箇所では、変形の進行による石材の転倒・落下を防止するため、落石防護網及びフトンカゴを設置する工事に令和6年度から着手し、令和7年6月までに全ての作業を完了した。

○なお、御居間先下・庭籠下石垣については、令和7年度から埋蔵文化財上面調査に着手した。



【見学ルート整備】

○普段見るできない、石垣の一つ一つの石材を、間近で見て触れて学ぶことが出来るよう、被災した石垣から回収した石材の集積箇所である「いもり堀園地」において、見学ルートを設け、令和7年7月19日（土）から公開した。

○見学ルートから本丸南石垣の復旧の様子や、被災した石垣から回収した大きさ・形状の異なる石材の全体像を見学できるよう整備した。

○そのほか、石垣の歴史や変遷を学ぶことが出来る解説板を設置した。

【いもり堀園地】



2. 石材の回収・解体を完了した石垣の調査結果

(1) 復旧工事を行う石垣

令和7年度までに以下（赤枠）の3箇所について、回収・解体が完了している。
令和8年度から、これらの石垣について、復旧（積直し）に着手する。

表 被災石垣一覧表

通番	石垣名称 (呼び番号)	石垣種類	石垣 築造期	高さ (m)	被災区分	被災の状況
1	⑬ 玉泉院丸南石垣 (旧体育館連絡路)	(新石積)	現代	4.9	崩れ	石垣・裏込が崩落 落石は直下の芝生園地に散在
2	⑭ 本丸北石垣 (緑瓦トンネル入口)	間知石積	近代創建	11.5	崩れ	石垣・裏込が崩落 落石は園路に散在、2石が芝生園地に到達
3	⑮ 本丸南石垣 (近代階段)	間知石積	近代創建 【M40】	10.7	崩れ	石垣・裏込が崩落（階段と平行） 落石は園路に散在、2石が芝生園地に到達 一部が石垣の裏面に転落、園路には未到達
4	⑯ 石川門前土橋石垣	河原石積	近代	3.0	崩れ	石垣・裏込が崩落 石垣等が直下に散乱（園路には未到達）
5	⑰ 尾坂門北東石垣	切石積	近世	2.1	崩れ	北面の築石・裏込が崩落、落石も石垣 裏面の天端石が盛り出し、背後に隙間が発生 壁面の割れ目（最大20cm）
6	⑱ 玉泉院丸北東 御膳間光下石垣	切石積	近世	5.9	変形（前倒れ増大）	上部に落下（天端石背後で最大40cm）と 地割れ（最深部から2mで最大30cm深さ30cm以上）が発生 壁面割れ目約10cm
7	⑩ 玉泉院丸南西石垣	粗加工石積	近世・近代 【H19修理】	5.0	変形（前倒れ）	天端に落下（20cm）と壁面の地割れが発生、 天端の裏面に地割れ（30cm深さ）も発生
8	① 数寄屋敷敷北西 増台石垣	切石積	近世	3.3	変形（前倒れ増大）	南東角石（縦石）の前倒れが増大
9	② 数寄屋敷敷西縁石垣 (丸の内園地)	粗加工石積	近世	9.0	変形（すみ増大）	石垣上部のすみ出しが増大
10	⑤ 玉泉院丸北 数寄屋敷門下泉水縁石垣	切石積	近世	7.0	変形（前倒れ増大）	壁面の前倒れが増大 壁面の割れ目は6cm拡大して23cmへ
11	⑥ 玉泉院丸北 数寄屋敷門台石垣	切石積	近世	8.6	変形（前倒れ増大）	壁面の前倒れが増大 上部に落下（北西隅最大40cm）と地割れが発生、 天端石が盛り出し、背後に隙間が発生
12	⑧ 玉泉院丸北東 御膳間光下石垣	切石積	近世	2.9	変形（前倒れ増大）	天端石が盛り出し、背後に隙間が発生 天端石が盛り出し、背後に隙間が発生
13	⑫ 玉泉院丸東石垣 (いもり脇脇)	粗加工石積	近代	5.2	変形（前倒れ増大）	壁面の前倒れが増大し、 天端石が盛り出し、背後に隙間が発生 天端石が盛り出し、背後に隙間が発生
14	⑬ 稲荷屋敷敷石垣	粗加工石積	近世	2.9	変形（すみ増大）	石垣背後の地盤面に地割れが発生
15	⑪ 東ノ丸南門前石垣	粗加工石積	近世	6.0	変形（すみ増大）	すみ出しが増大（板状落石落下）
16	⑭ 尾坂門南石垣 (西)	粗加工石積	近代改築	2.8	変形（すみ）	壁面のすみ出し、天端石の前倒れ、 上部の落下及び地割れが発生
17	⑯ 数寄屋敷敷西縁 (田中央ビル裏)	粗加工石積	近世	7.5	変形（すみ増大）	南側のすみ出しが増大
18	⑯ 三ノ丸北石垣東面	粗加工石積	近世	9.0	変形（すみ増大）	壁面上部のすみ出しが増大
19	東嶺山石垣	河原石積	近世 【H22修理】	5.0	崩れ	西から南西にかけての石垣・裏込めが崩落 山頂部・登る園路に散乱
20	原巴用水石垣	河原石積	近世	7.4	崩れ	石垣状の石垣と埋設された石管が崩落 北側の斜面地に散乱

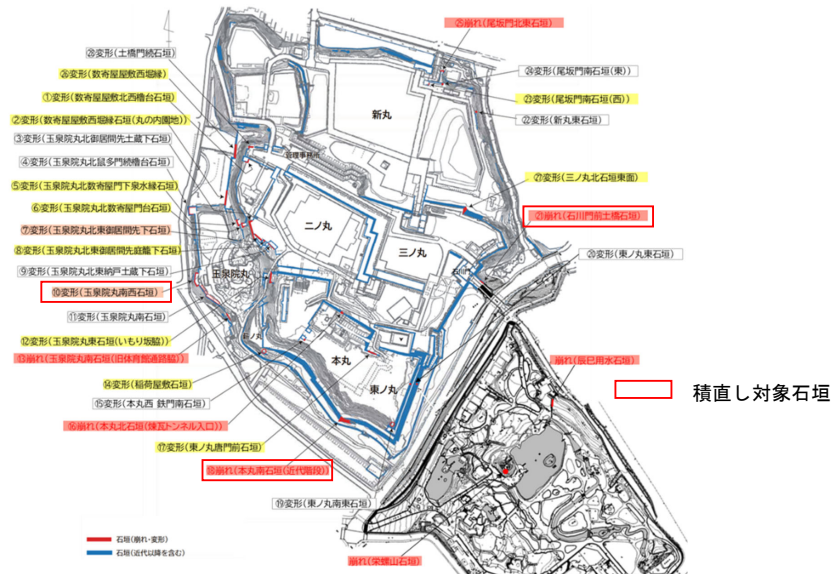


図 被災石垣位置図

(2) 復旧（積直し）設計にあたっての検討の流れ

石垣の復旧（積直し）にあたっては、文化財調査及び地質調査で判明した石垣に関する調査結果を基に、

- ① 地震前の安定性評価
- ② 変位・崩落のメカニズム及び考察
- ③ 復旧断面検討
- ④ 復旧後の安定性評価

以上の流れで、復旧設計（案）を検討し、専門家会議の意見を踏まえて、復旧を行う。

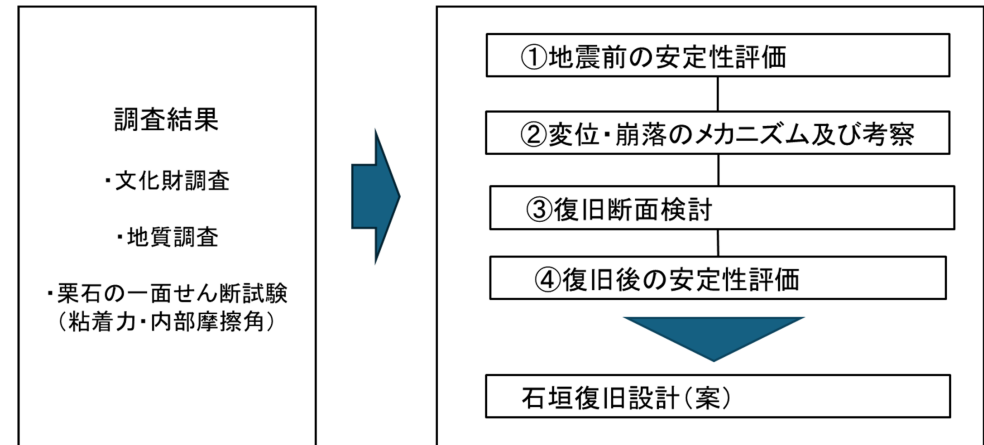


図 石垣復旧のフロー

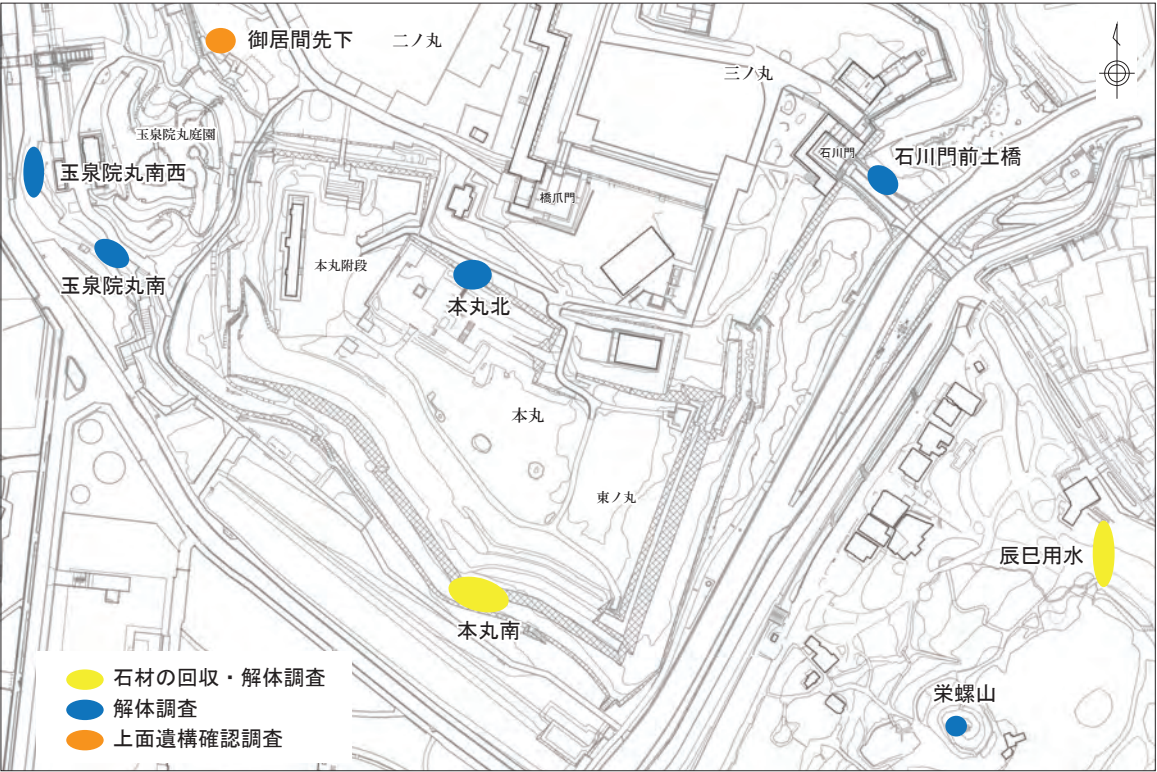
（３）文化財調査

令和７年度は金沢城及び兼六園で被災した石垣のうち８箇所（金沢城６箇所、兼六園２箇所）について調査を行った。

内訳は崩落石材の回収に伴う調査が２箇所、解体調査が５箇所、解体調査に先行した上面遺構調査が１箇所である。

R7石垣復旧調査スケジュール

	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
①石川門前土橋			解体								
②玉泉院丸南							解体				
③本丸北		石材調査						解体		資料整理	
④玉泉院丸南西			解体								
⑤栄螺山						解体					
⑥本丸南				回収・解体							
⑦辰巳用水								回収			
⑧御居間先		上面遺構調査									



R7 調査箇所図(S=1/4,000)



変形箇所の石垣解体調査



調査風景

R6 回収石材の石材観察



①石川門前土橋石垣
変形箇所の解体調査を実施



②玉泉院丸南石垣
変形箇所の解体調査を実施



③本丸北石垣
変形箇所の解体調査を実施



④玉泉院丸南西石垣
変形石垣の解体と未修理範囲の解体調査



⑤栄螺山石垣
変形石垣の解体を実施



⑥本丸南石垣
解体調査と崩落石材の回収・同定を実施



⑦辰巳用水石管石垣
崩落石材の回収・同定を実施



⑧御居間先下石垣
解体調査に先行し上面遺構調査を実施

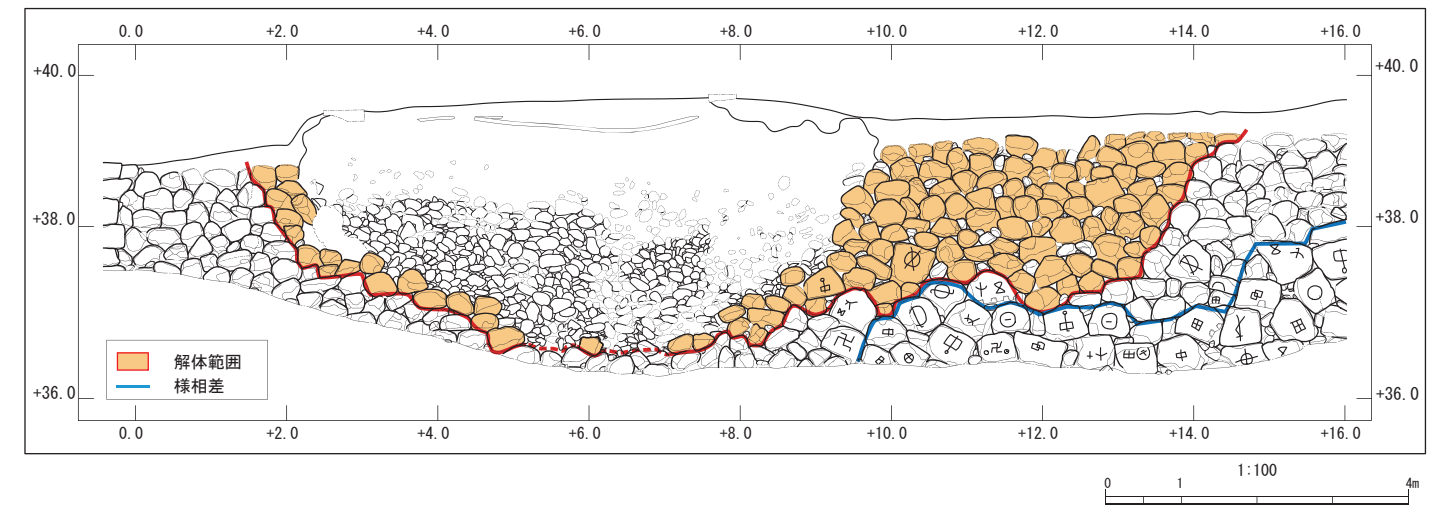
(3) -1 石川門前土橋（北面）石垣

【地震以前の状況】

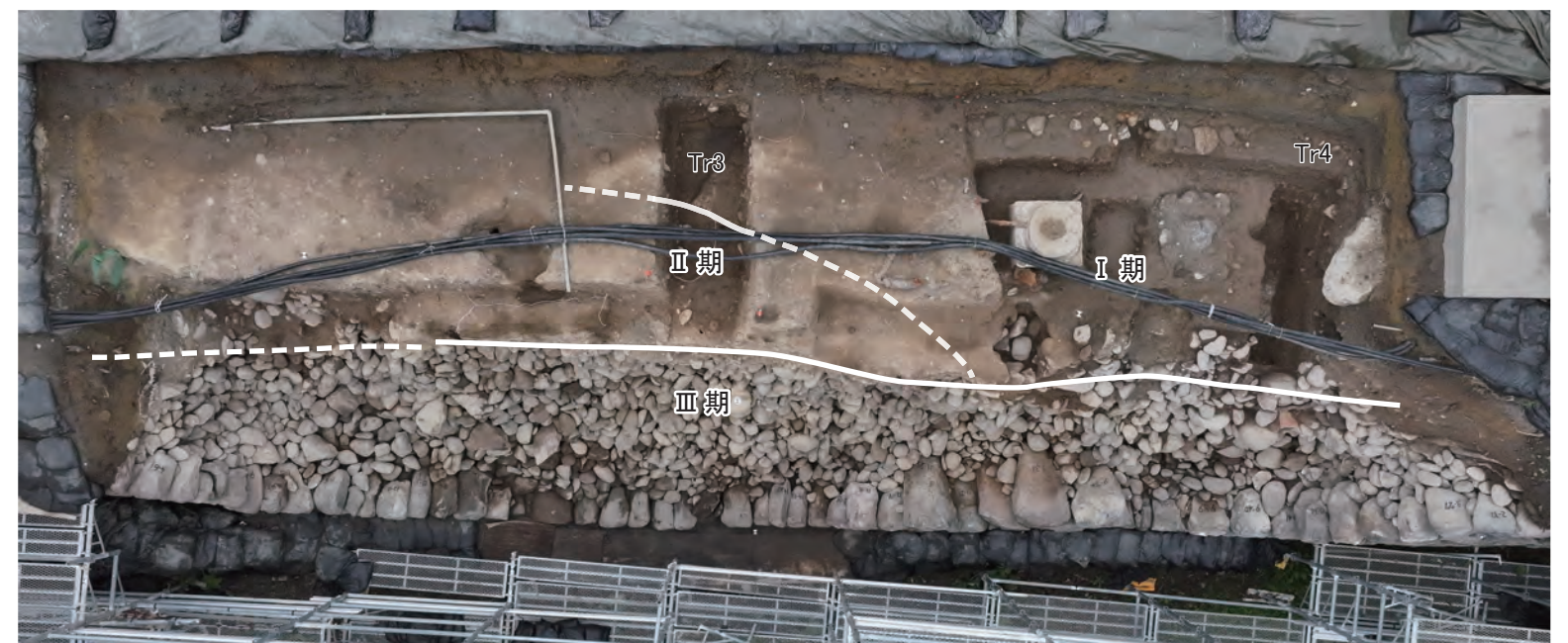
- ・地震以前から波打つような変形
→栗石に目詰まり等みられないため、過去の地震による変形の可能性

【地震による変状】

- ・地震の揺れにより、裏込めにゆすり込み沈下が生じ、変形部分を中心に中段からくの字に折れるように崩落



壁面が波打つように変形（地震以前）



石垣14段目撤去後全景（上空から、写真下が北）

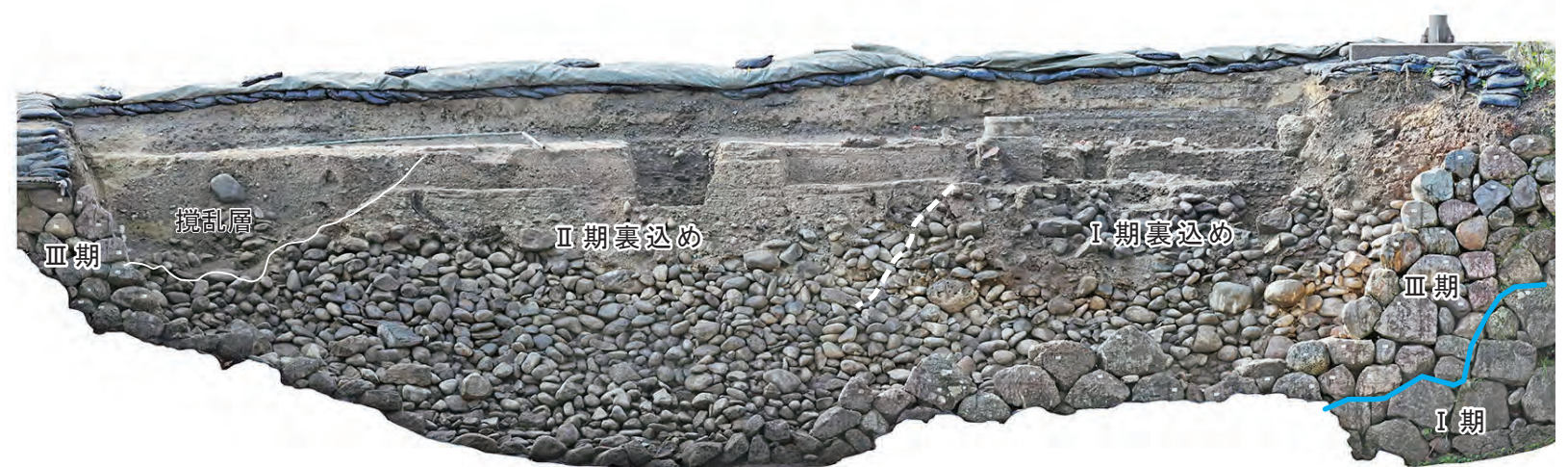


介石が抜け石尻がさがる



栗石のゆるみ（×印は補足材）

地震後の石垣の変状（石積み2段目）



栗石層立面オルソ写真（石垣14段目撤去後）

崩落した河原石積み石垣の掘方壁に前段階の石垣の裏込めを確認

(3) -2 本丸南（近代階段）石垣

【地震以前の状況】

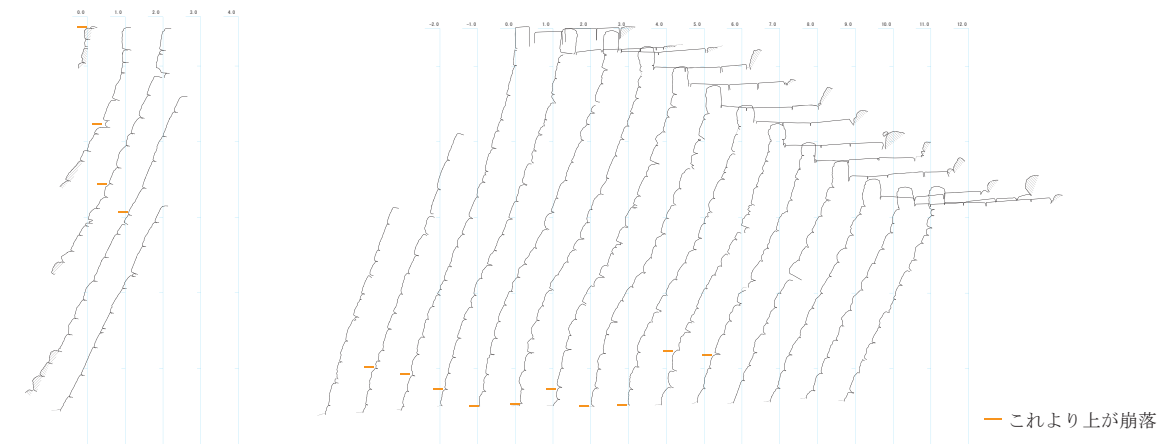
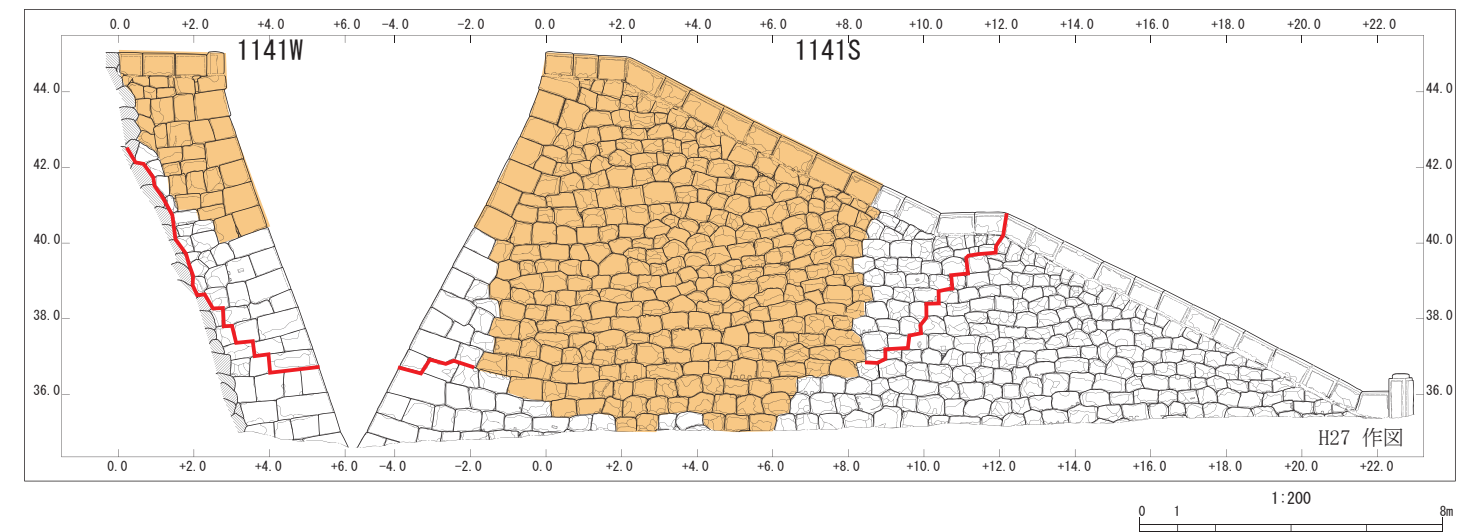
- ・地震以前から石積み下部に孕み出し
→水が裏込めの土砂層を緩くし、混入した不要な旧材により重さを増した土砂層の土圧により石積みを押した

【地震による変状】

- ・地震の揺れにより、既存の変形が進行し築石の接点が緩み、変形部分から崩落



高さ 3 m前後が孕み出す（地震以前）



— これより上が崩落



裏込めの土砂層に不要な旧材が浮石のように混在



栗石層は不均一



築石の控えは短く揃えられている

石垣内部の状況

(3) - 3 玉泉院丸南西石垣

【地震以前の状況】

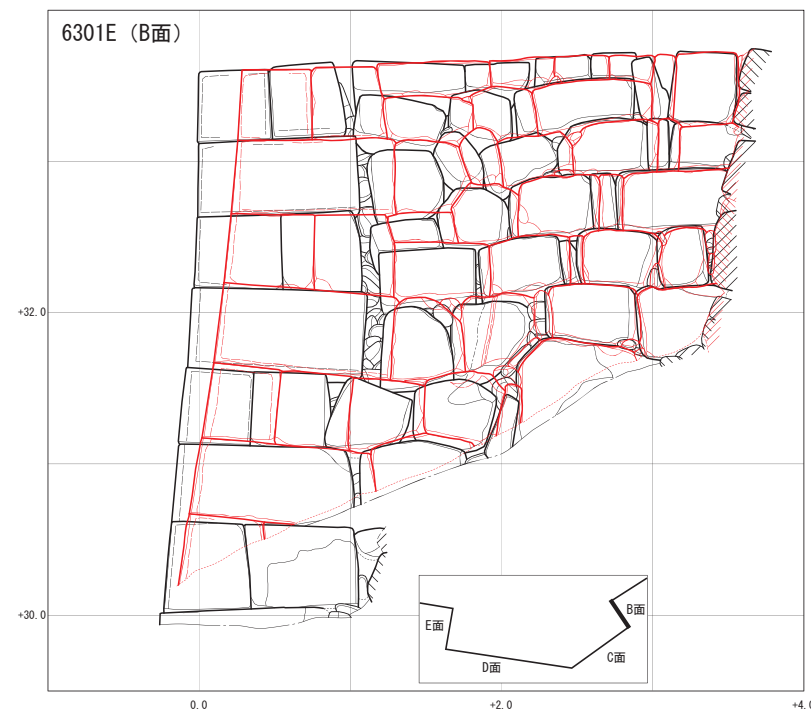
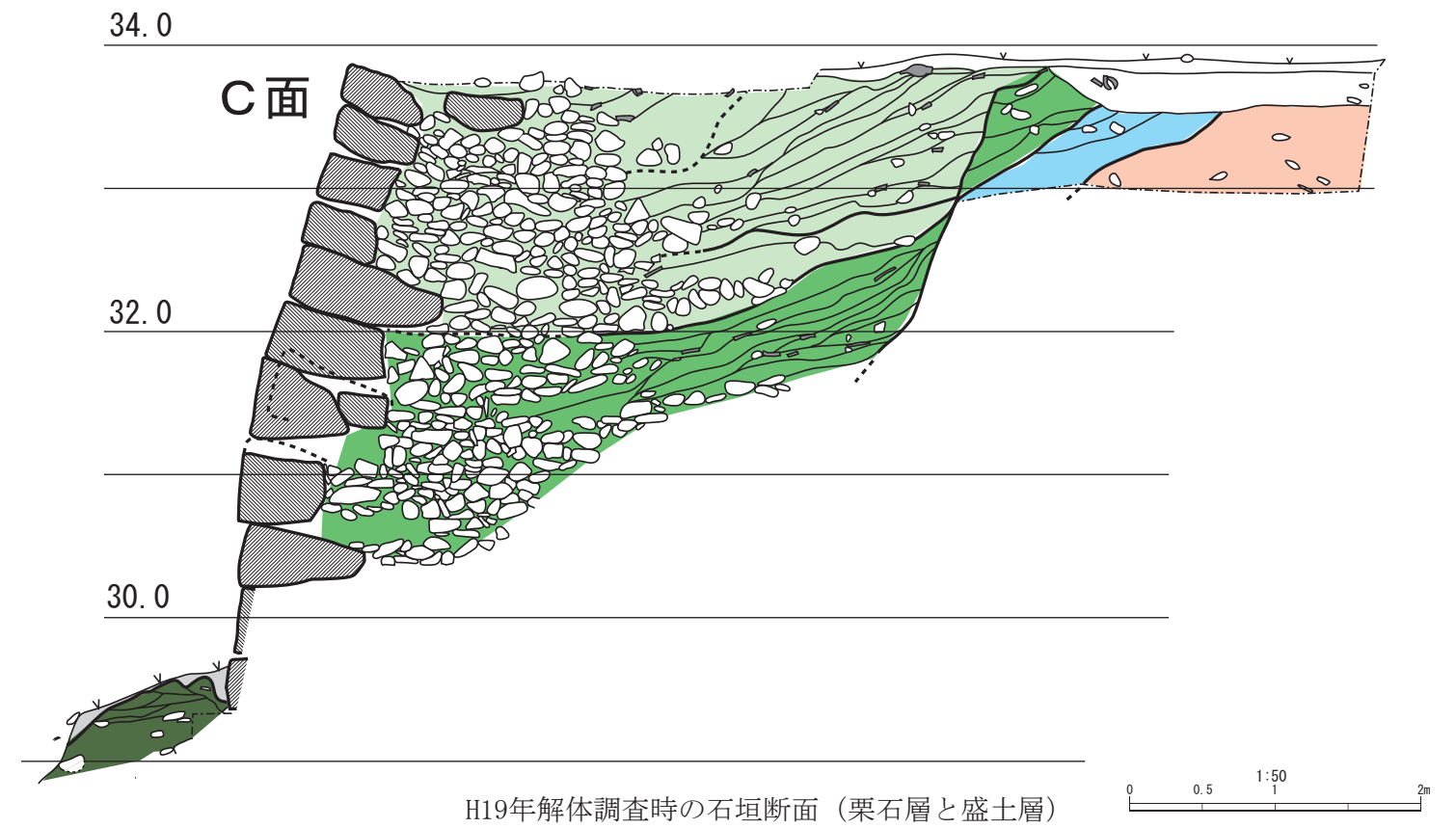
- ・ 櫓台状に突出した形状
- ・ 平成19年修理・・・石積復旧（勾配補正なし）、裏込めは全て栗石で施工

【地震による変状】

- ・ 斜面側の壁面が一体的に前倒れ



玉泉院丸南西石垣の形状（櫓台状に突出）



隅角部と築石部の間に亀裂が入るように変形（赤：地震前）



壁面の前倒れにより天端が上がり裏込めとの境に亀裂が生じた



変形により築石周辺に詰められていた栗石との間に空隙が生じた

地震による変状

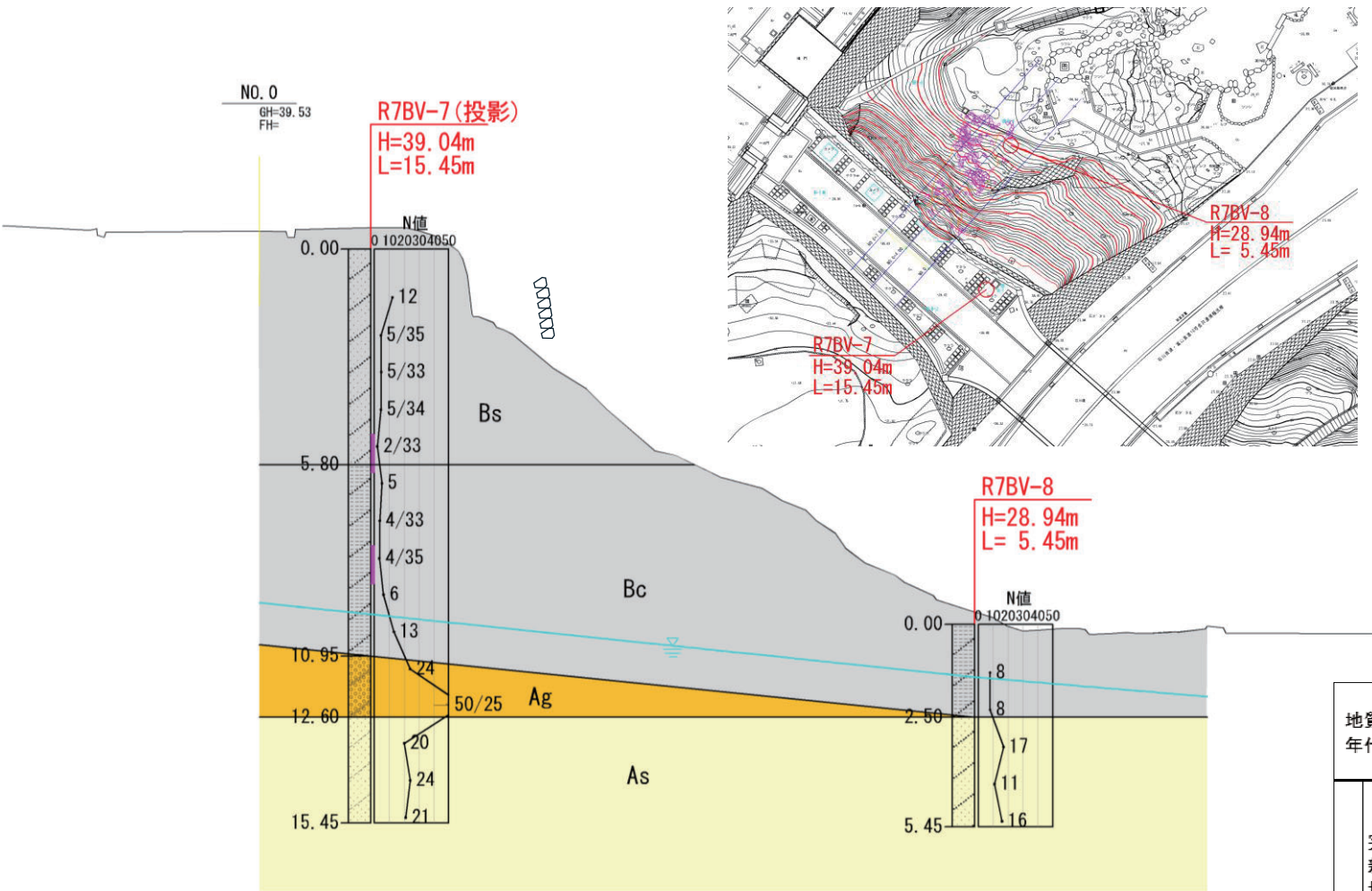
(4) 石垣の地質調査結果

解体回収が完了した3つの石垣では、復旧に向けて、石垣部周辺の地質調査及び背面に用いる栗石試験を行った。その中で、栗石試験に着目した理由は、石垣の安定には、栗石の安定がポイントとなるため、試験を行っている。

(4)－1 ボーリング調査

1)石川門前土橋石垣

石川門前土橋石垣は、石垣下部に4層の地層が分布している。石垣直下には砂質土（Bs）及び粘性土（Bc）の盛土が分布しており、その下には沖積層（Ag、As）が分布している。石垣直下及び背面は盛土（砂質土）Bs 礫混じり砂で構成されており、単位体積重量 18.2kN/m³、粘着力 5 kN/m²、内部摩擦角 37° である。石垣背面の盛土は、軟質な盛土で構成されていると推定される。



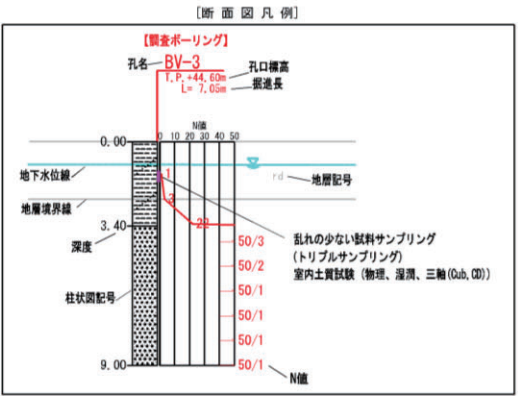
地質年代		地層区分				N値 設計 N値 (平均-σ/2)	分布状況				
		地層名	記号	土質名 特徴	色調		R7BV-7		R7BV-8		
							深度(GL-m)	層厚(m)	深度(GL-m)	層厚(m)	
第四紀	完新世	盛土(砂質土)	Bs	礫混じり砂 均質な細砂からなる。 所々にφ10～40mmの角礫を含み、 5.70～5.80m間に玉石含む。 1.50m、2.50mにコンクリートがら含む。	灰褐	3	0.00	5.80			
		盛土(粘性土)	Bc	礫混じりシルト 細～中砂を多く含む。 0.5m以浅は細砂主体で草根を含む。 全体的に不均質。 φ5～40mmの角～垂円礫を含む。	暗褐	4	5.80		0.00		
		沖積礫質土層	Ag	玉石混じり砂礫 φ10～40mmの角～垂円礫主体。 マトリックスはシルト質中～粗砂。 L=5cmの玉石が1個/m含む。	褐灰	27	10.95		2.50		
		沖積砂質土層	As	シルト混じり砂、礫混じり砂 均質な中砂主体。 BV-7は、部分的に垂円礫主体で、マトリックスはシルト混じり中砂。 BV-8は、所々にφ30～40mm(Lmax=6cm)の垂円礫を含む。 2.50～3.00mは均質なシルトを挟む。	青灰～暗灰	15	12.60		2.50		
地下水位 (GL±m)							-9.83		-1.42		
								: 分布なし			

：分布なし

地質年代	地層区分			N値						
	地層名	記号	特徴	換算N値の 分布範囲	平均 N値	データの 個数	標準 偏差 σ	変動 係数 cv	平均N値 -σ/2	設計 N値 (平均-σ/2)
完新世	盛土	B	礫混じり砂質シルト 玉石 礫混じりシルト 礫質シルト	25 ～ 11	6.5	19	2.6	0.4	5.2	5
第四紀 更新世	洪積粘性土層	Dc	礫混じりシルト	6 ～ 10	8	2	2.8	0.35	6.6	6
	洪積礫質土層	Dg	砂礫 シルト質砂礫	20 ～ 21	20.2	3	0.8	0.04	19.8	19

：σ>1, cv>0.2

[地層区分凡例]		
地質時代	地層名	記号
第四紀 完新世	盛土(砂質土)	Bs
	盛土(粘性土)	Bc
	沖積礫質土層	Ag
	沖積砂質土層	As



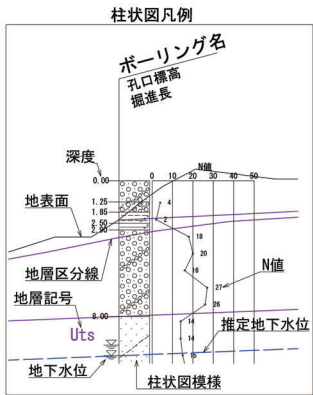
図：推定地質横断図(石川門前土橋石垣)

2)本丸南石垣

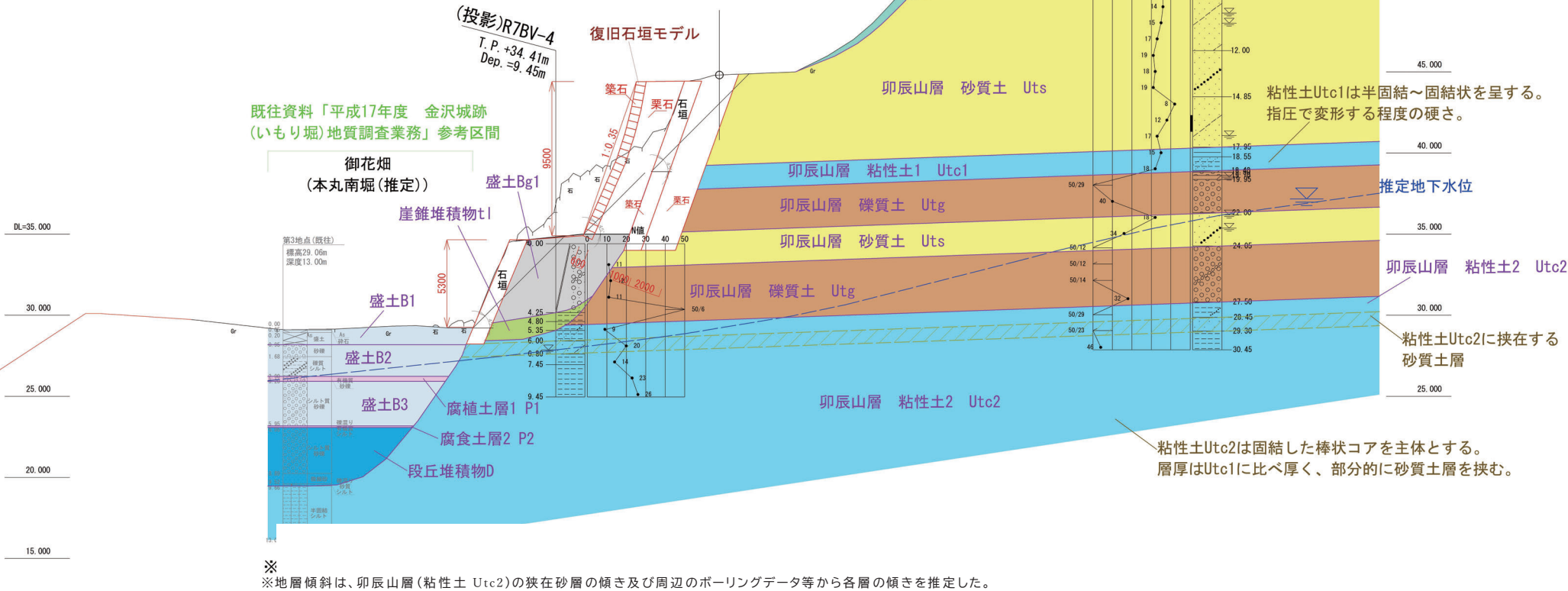
本丸南石垣は、石垣背後に別の石垣が控える状態となっている。その背後には基盤層である卯辰山層（Uts、Utg、Utc2）が分布している。石垣の基礎底面には、さらに下段の石垣の背後盛土（Bg1）が存在する。また、その下の支持層は、卯辰山層（Utc2）が石垣背後から連続して分布している。石垣直下の盛土 Bg1 は最大φ300mmの玉石が混在する玉石混じり砂礫、その下の卯辰山層 Utc2 は固結度が高い粘性土で構成されている。石垣直下 Bg1 は単位体積重量 18.3kN/m³、粘着力 40 kN/m²、内部摩擦角 8°、石垣背面の卯辰山層 Utc2 は単位体積重量 18.0kN/m³、粘着力 86 kN/m²、内部摩擦角 20°である。石垣背後の裏込め材以深には基盤層である良質な卯辰山層を支持層にしていると推定される。

断面図凡例									
地質年代区分	土層名	記号	主な土質区分	色調	特 徴	N 値			代表 N値
						最小	最大	値 範囲	
第四紀	完新世	盛土層 (礫質土)1	Bg1	玉石混じり砂礫	褐灰～暗褐	明治期に構築された本丸南石垣下段の背後盛土で、R7BV-4地点に分布を確認。 不均質な玉石混じり砂礫からなる。最大φ300mmの玉石が混在する。マトリックスはシルト混じり細砂主体で、所によりシルトが多く混入する。	11	50	11
		盛土層 (礫質土)2	Bg2	玉石混じり砂礫 玉石混じりシルト質砂礫	褐～暗褐	本丸周辺～南斜面にかけて分布する盛土層。R7BV-3地点に分布を確認。 垂角礫～円礫を主体とし、最大φ120mm玉石が混在する。マトリックスは、シルト混じり中粗砂と全体に不均質である。	4.0	4.0	4.0
		盛土層 (御花畑)1	B1	シルト質砂礫	褐灰	本丸南堀の盛土で、石垣下の御花畑に分布すると推定される。既往H17いもり堀第3地点で確認される。			
		盛土層 (御花畑)2	B2	砂礫 礫質シルト	黄褐～褐灰 暗青灰	本丸南堀の盛土で、石垣下の御花畑に分布すると推定される。既往H17いもり堀第3地点で確認される。 B2とB3の間は有機質砂礫P1を挟む。			
		盛土層 (本丸南堀)3	B3	シルト質砂礫	暗青灰	旧いもり堀の盛土で、石垣下の御花畑に分布すると推定される。既往H17いもり堀第3地点で確認される。 B3と段丘堆積物Dの間は有機質砂礫P2を挟む。			
	更新世	崖錐堆積物	t1	シルト (半固結～固結した塊状) 砂混じりシルト	淡褐灰～灰	明治期に構築された本丸南石垣下段の盛土Bg1の下位層で、R7BV-4地点に分布を確認。 段丘直下の崖錐堆積物と考えられる。 半固結～固結した塊状のシルトや未固結の砂混じりシルトが混在する。	7.5	7.5	7.5
		表土 (粘性土)	Ac	硬混じりシルト 礫質粘土	黒褐～褐灰	本丸南石垣上部斜面～段丘面の表層に分布する粘性土。R7BV-3地点に分布を確認。 上部は有機質で黒ぼく土状 (黒褐) を呈し、下部は褐灰色の粘性土となり、全体にややローム質である。	2.0	2.0	2.0
		段丘堆積物 (御花畑)	D	シルト質砂礫 微細砂	黄褐～褐灰 ～青灰	本丸南堀の盛土下に確認される。既往H17いもり堀第3地点で確認される。			
		段丘堆積物 (本丸付近)	Dg	玉石混じり砂礫	褐～淡褐～褐灰	本丸付近のR7BV-3地点にて、表土Ac以深に分布を確認。 垂角礫～円礫を主体とし、コア長7～12cm玉石の混在が確認できる。礫は硬質なものが多いが、クサリ礫状のものも混在する。	16	27	21
		砂質土	Uts	硬混じり砂 シルト混じり砂	褐灰 ～淡褐灰～灰 ～淡青灰	卯辰山層のうち、砂質土主体部にあたる。R7BV-3、R7BV-4地点で分布を確認。本丸南石垣背後に分布すると推定される。 ほぼ水平な成層構造 (層理・葉理) が所によりみられ、ごく一部でスラング構造も確認できる。下位に伴い、固結度が高くなる傾向にある。	8.0	34	14
卯辰山層	礫質土	Utg	玉石混じり砂礫 砂礫	褐～褐灰 ～淡褐灰	卯辰山層のうち、礫質土主体部にあたる。R7BV-3地点にて分布を確認。本丸南石垣背後に分布すると推定される。 垂角礫～円礫を主体とし、コア長7～12cm玉石の混在が確認できる。礫は硬質なものが多いが、クサリ礫状のものも混在する。表層から深くなるにつれて固結度が高くなる。	32	50	44	
	砂質シルト (半固結) 砂混じりシルト (半固結～固結) シルト (半固結～固結)	Utc1			卯辰山層のうち、粘性土主体部にあたる。R7BV-3、R7BV-4地点に分布を確認。本丸南石垣背後、およびその下部に分布すると推定される。 ほぼ水平～10°未満の成層構造がみられ、所により砂層を挟む。表層から深い深度では半固結～固結状を呈し指圧で変形する程度の硬さである。一方、表層から深くなるにつれて固結度は高くなり、固結した棒状を呈しハンマーで叩くポロになる程度の硬さを有している。固結度が大きく異なることから、表層の半固結部主体となるUtc1、やや深層の固結度の高く棒状コア主体となるUtc2に分けて評価した。なお、Utc2のN値は、分布が比較的浅いR7BV-4ではN=12～26、一方で深い深度に分布するR7BV-3ではN=46～50以上と差が大きい傾向にある。	Utc1	15	17	15
	粘性土	Utc2	シルト (固結)			Utc2	12	50	16

※N値は上限50とする。



いもり堀



※
※地層傾斜は、卯辰山層 (粘性土 Utc2) の狭在砂層の傾き及び周辺のボーリングデータ等から各層の傾きを推定した。

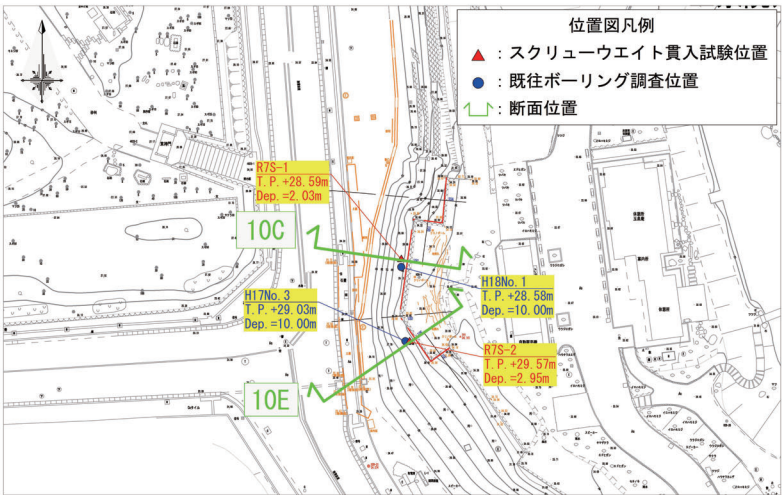
図：推定地質横断図 (本丸南石垣)

3)玉泉院丸南西石垣

平成 18 年の積直し時にボーリング調査を行っている。石垣前面および背面に盛土（b1、b2、b3）が施され、その下部には段丘堆積物（dc1、dc2、dg）が分布している。さらにその下には、基盤層である卯辰山層（Ug、Uc、Us）が分布している。また、段丘面端部に盛土を設ける形で構築されている。

石垣直下は段丘堆積物 dc2（シルト～礫質シルト）または盛土 b2（砂質シルト～シルト混じり砂質礫）、背面は盛土 b2 で構成されている。段丘堆積物 dc2 は単位体積重量 17.0kN/m³、粘着力 110 kN/m²、内部摩擦角 0°、盛土 b2 は単位体積重量 19.0kN/m³、粘着力 35 kN/m²、内部摩擦角 16° である。

段丘面端部に位置しているにもかかわらず、背後浅部に地山が現れず、広範囲にわたり軟質な盛土が厚く分布する地質であると推定される。



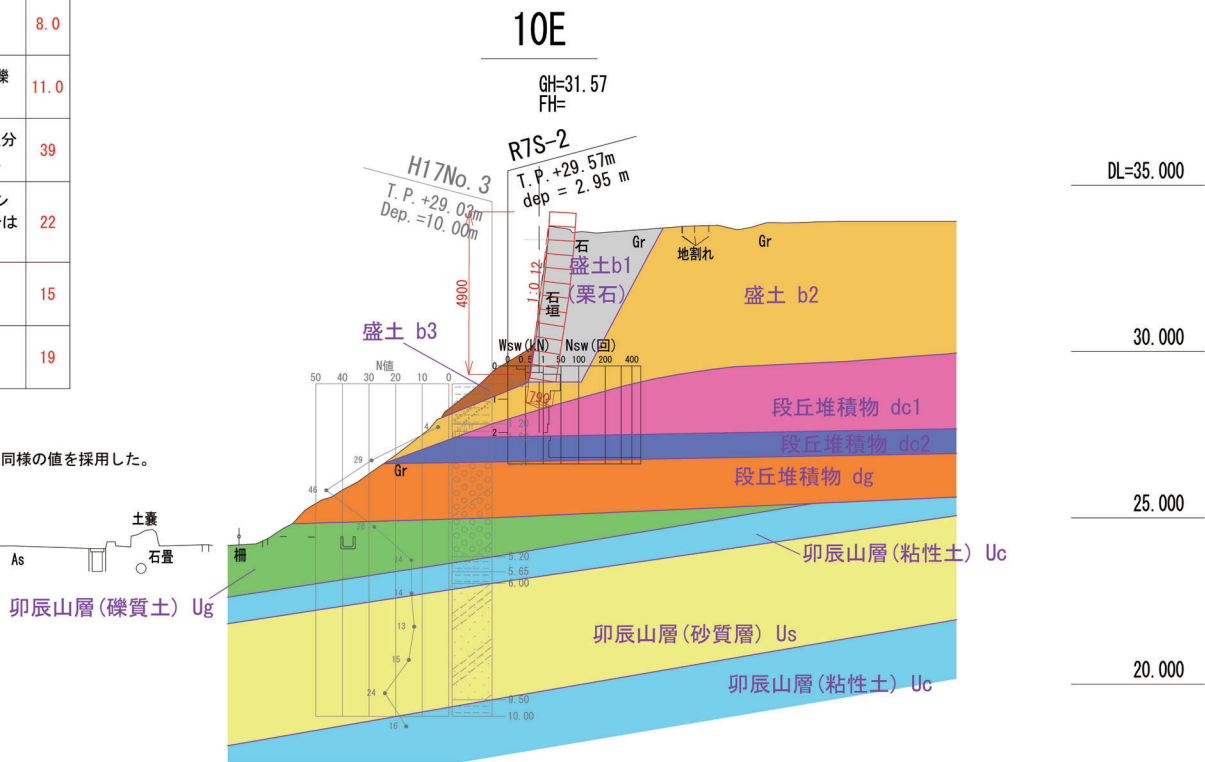
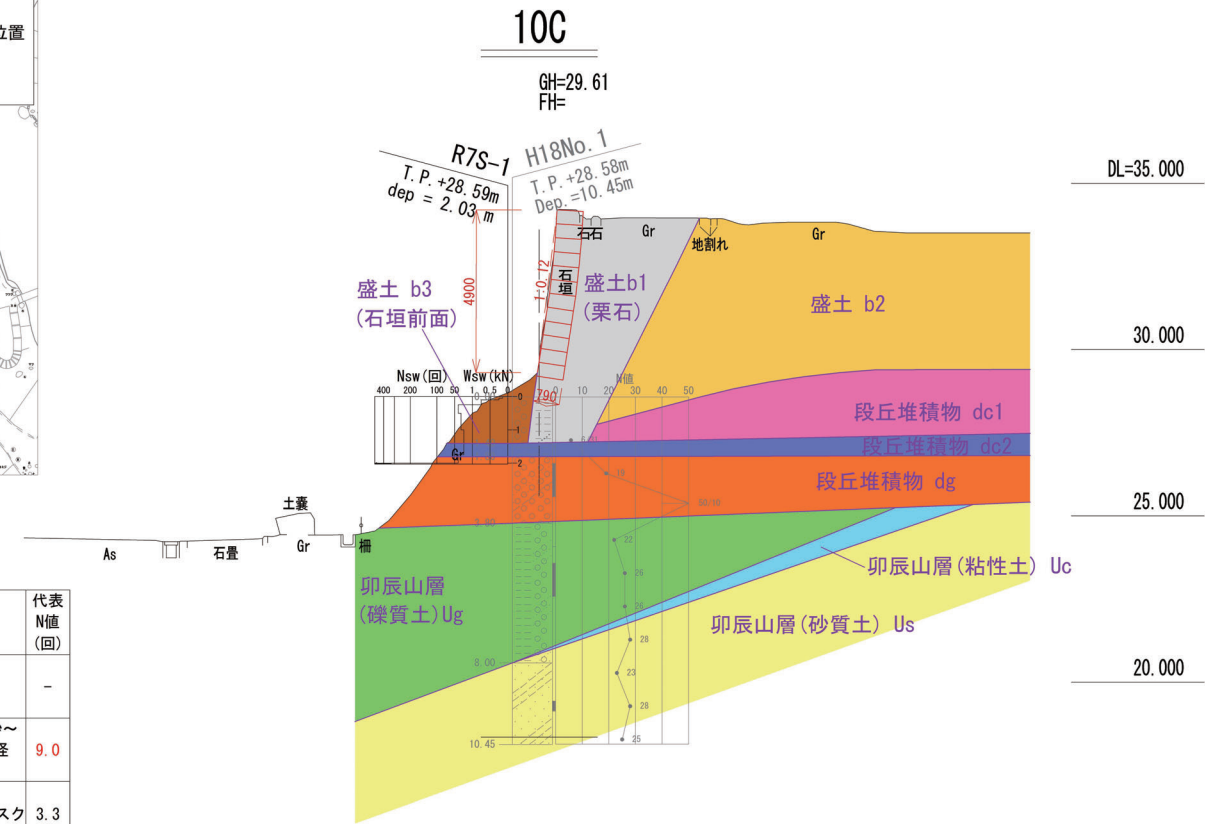
凡 例					
地質年代区分	地質年代区分	土層名	記号	特 徴	代表N値(回)
第四紀		盛土層(栗石)	b1	石垣の裏込材。径10～20cmの栗石からなる。	-
		盛土層(粘性土/礫質土)	b2	砂質シルト～シルト混じり砂質礫からなり、不均質。細粒土、細砂～中砂、径50mm以下の円礫からなる中間土。礫分は10～70%、最大礫径は100cm程度。	9.0
		盛土層(粘性土/礫質土)	b3	石垣前面の表層盛土(本調査で確認)。礫混じり粘性土～礫質土から構成されると推定。代表N値は本調査スクリーウエイト貫入試験値の換算N値から求めた。	3.3
	更新世	第1粘性土	dc1	有機質粘土。径5mm以下の亜円礫を少量含む所もある。	8.0
		第2粘性土	dc2	シルト～礫質シルト。細砂を20～50%、部分的に径30mm以下の亜円礫を20～30%含む。	11.0
		礫質土	dg	シルト混じり砂質礫。径50mm以下の亜円礫を主体とし、礫間に細粒分含む中砂～粗砂を充填する。礫分は50～80%、最大礫径は80mm程度。	39
	卯辰山層	礫質土	Ug	シルト・砂質礫。径5～40mmの円礫、亜円礫からなり、礫間を砂質シルトが充填する。礫は風化を受けて軟質化するところもある。礫分は50～80%、最大礫径は60mm程度。	22
		砂質土	Us	シルト質砂。細中砂を主体とし、細粒分を20～30%含む。	15
		粘性土	Uc	シルト～砂質シルト。均質で半固結状。	19

(既往1) 既往H19年設計資料

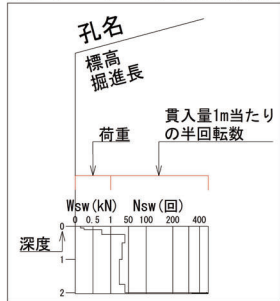
※1 盛土b1、b2、段丘堆積物dc1、dc2、dg、卯辰山層Ug、Us、Ucの層序は既往1を参考とした。

※2 盛土b1、b2、段丘堆積物dc1、dc2、dg、卯辰山層Ug、Us、Ucの代表N値については、既往1と同様の値を採用した。

DL=25.000



スクリーウエイト貫入試験凡例



図：推定地質横断面図(玉泉院丸南西石垣)

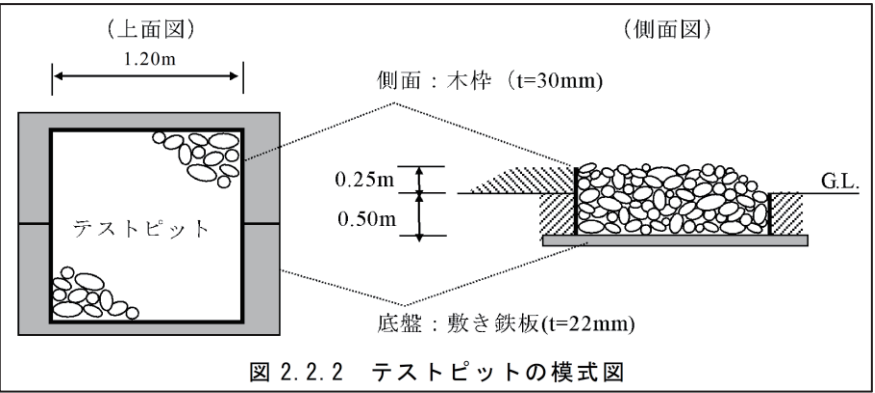
(4)-2 栗石の調査

復旧時の安定性評価に用いるため、栗石の湿潤単位体積重量、内部摩擦角、粘着力の現場試験（一面せん断試験）を行った。石川門前土橋石垣、玉泉院丸南西石垣では既存の栗石、本丸南石垣では調査の結果、栗石量が少なく、背面が不均一な状態で裏込め材の状態が良好でないため、補充する新材で実施した。

1) 試験方法

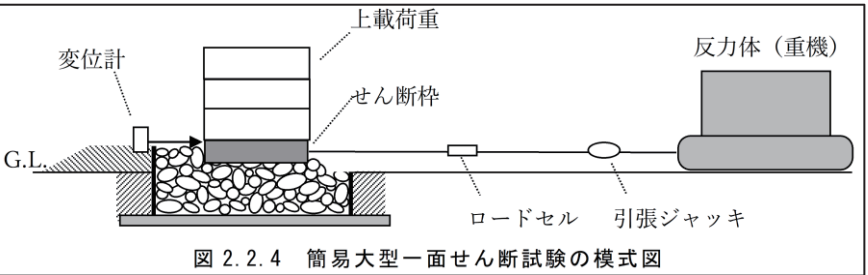
① 密度試験

- ・テストピットは、ピット内に高さ 15～20cm 程度まで手詰めで充填後、ランマー（60kg 級）、コンパクターで上面を螺旋状に転圧、その後、同様に充填・転圧を高さ 50cm まで繰り返す
- ・充填した栗石の重量とピットの体積から密度を算出するとともに、代表的な礫を対象に室内で「土の含水比試験方法（JIS A1203）」によって含水比を求め、試験時の湿潤単位体積重量を算出



② 一面せん断試験

- ・テストピット内に充填した栗石の上面にせん断枠を設置
- ・せん断枠と反力体(重機)を連結し、引張ジャッキにより水平引張力を与える
- ・試験時の水平引張力は引張ジャッキーせん断枠間に設置したロードセルによって、水平変位はせん断枠に設置した変位計によって測定
- ・上载荷重量は、想定される石垣による最大重量を含むものとし、3段階（2t、4t、6t）を原則に荷重を変化させ、試験実施

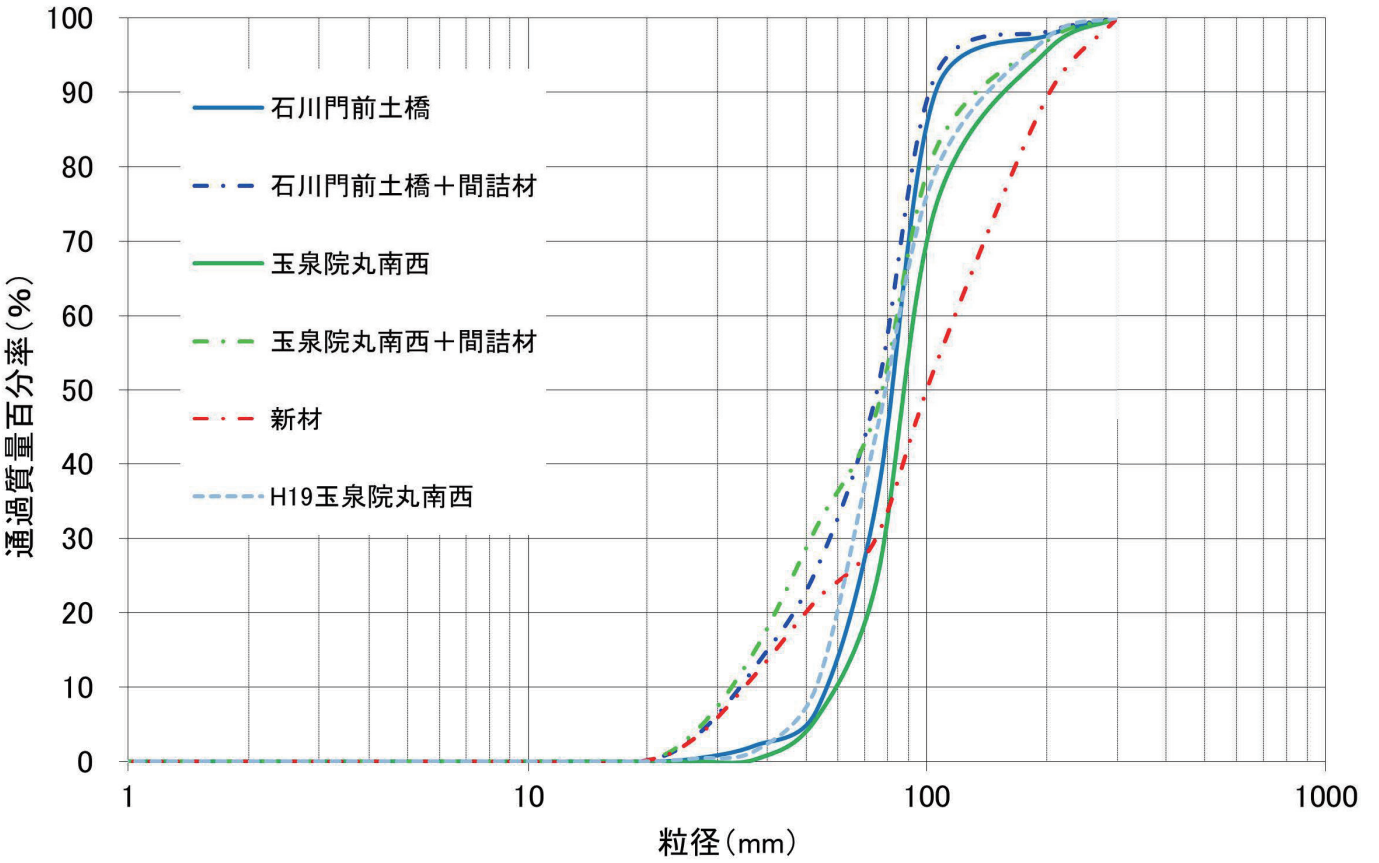


2) 試験結果と考察

表：試験結果（裏込め材料の物性値）

	試料名	湿潤 単位体積 重量 kN/m ³	含水比 %	地盤 反力係数 MN/m ³	粘着力 kN/m ²	内部 摩擦角 度	備考
石川門前土橋石垣	石川門前土橋	17.52	1.7	104	0.0	33.9	せん断時に破碎するような強度の小さい粒子を含む
	石川門前土橋+間詰材	19.12	1.7	149	12.8	42.6	解体材に間詰新材を配合
玉泉院丸南西石垣	玉泉院丸南西+間詰材	19.16	2.1	173	8.9	44.2	解体材に間詰新材を配合
本丸南石垣	新材	19.02	0.5	269	15.7	43.0	

：安定性評価に採用



図：試験を実施した栗石の粒径加積曲線（H19 既往成果を含む）

- ① 石川門前土橋石垣においては、従前から裏込め材として使われていた材料で試験を行った結果、低い値となった。
- ② 石川門前土橋石垣と玉泉院丸南西石垣では、従前の裏込め材に粒径の異なる新材を加え、充填した結果、以下の数値が得られた。
 - ・ 石川門前土橋石垣 粘着力 $C=12.8\text{kN/m}^2$ 、 内部摩擦角 $\phi=42.6^\circ$
 - ・ 玉泉院丸南西石垣 粘着力 $C=8.9\text{kN/m}^2$ 、 内部摩擦角 $\phi=44.2^\circ$
- ③ 本丸南石垣では、補充する新材で試験を行った結果、以下の数値が得られた。
 - ・ 本丸南石垣 粘着力 $C=15.7\text{kN/m}^2$ 、 内部摩擦角 $\phi=43.0^\circ$



- ・ 従前の裏込め材は、比較的均一な材料で、所定の強度が出なかった。
- ・ 粒径加積曲線から見ると、石川門前土橋石垣、玉泉院丸南西石垣の既存の栗石では、粒径が 100mm程度の栗石の割合が多い。
- ・ 粒径を、大中小バランスよく配合し、手詰めによりしっかりと充填した試験結果では、良好な強度が確保できる。

(5) 石垣の安定性評価

(5)-1 安定性評価実施方法

これまで金沢城では、H19の玉泉院丸南西石垣修築に示力線法、それ以降は大型ブロック積み擁壁設計・施工マニュアル（土木学会四国支部）の計算手法により、石垣の安定性評価を実施してきた。

令和6年には文化庁から『文化財石垣基礎診断実施要領』が発出された。

出典：文化財石垣基礎診断実施要領（案）p.2

基礎診断は、(1)築石の安定性評価（転倒、滑動）（累積示力線法）を基本とする。（中略）

なお、(1)の方法では、石垣の根入れ部に問題がある場合や、石垣背面全体が円弧すべりを起こす場合の判断はできない。従って、以下の問題がある場合は、基礎診断（累積示力線法）の判定は○（OK）の判定とせず(1)の結果により△（要経過観察）若しくは×（NG）の判定とし、専門診断においてこれらの検討を実施するものとする。

- ・予備診断において基礎部の変状が見られる場合（予備診断変状点項目 b イ）
- ・下段部の石の滑り出しや前傾などの基礎部の変状がある場合や、石垣背面や石垣基礎部の地盤構造が盛土や軟弱地盤であるなど脆弱で、石垣背面全体の円弧すべりの恐れがある場合



<金沢城石垣の安定性評価の手法>

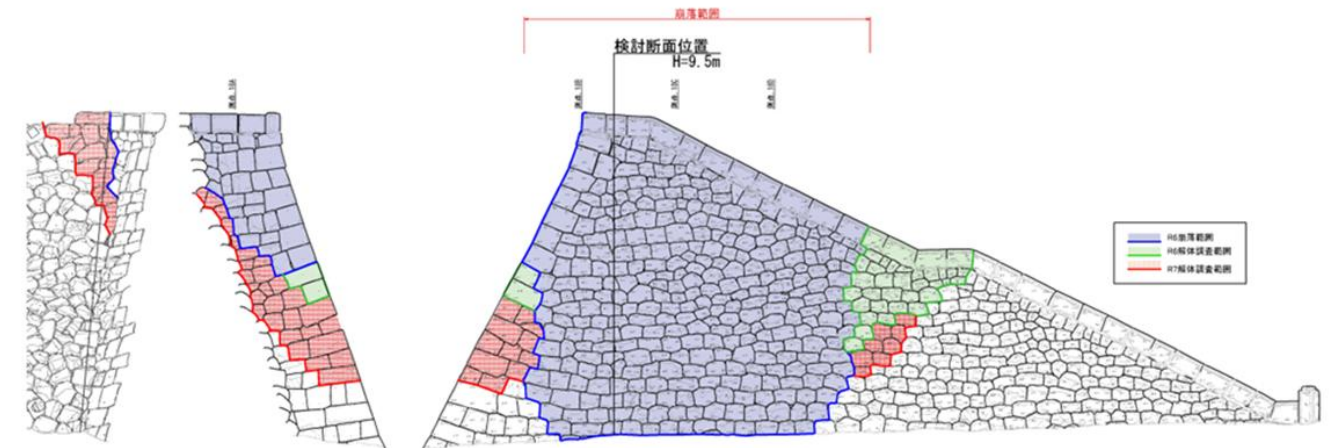
地震前と復旧時の安定性については、令和6年に文化庁から示された『文化財石垣基礎診断実施要領』に基づき、以下の2つを評価する。

- ・築石の安定性（転倒、滑動）には、累積示力線法により評価する。
- ・石垣背面全体の安定性は、円弧すべり解析により、評価する。

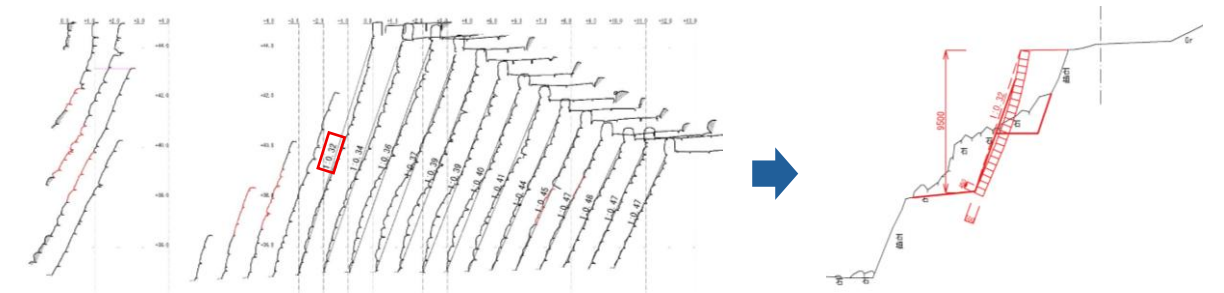
(5)-2 安定性評価の検討断面

検討断面は、各石垣の崩落・変形箇所の最大高さの断面とする。

石垣高さは、各石垣における最大の高さを参照する。また石垣勾配は、地震前に計測された石垣の勾配を基本とする。



図：石垣立面図（例：本丸南石垣）

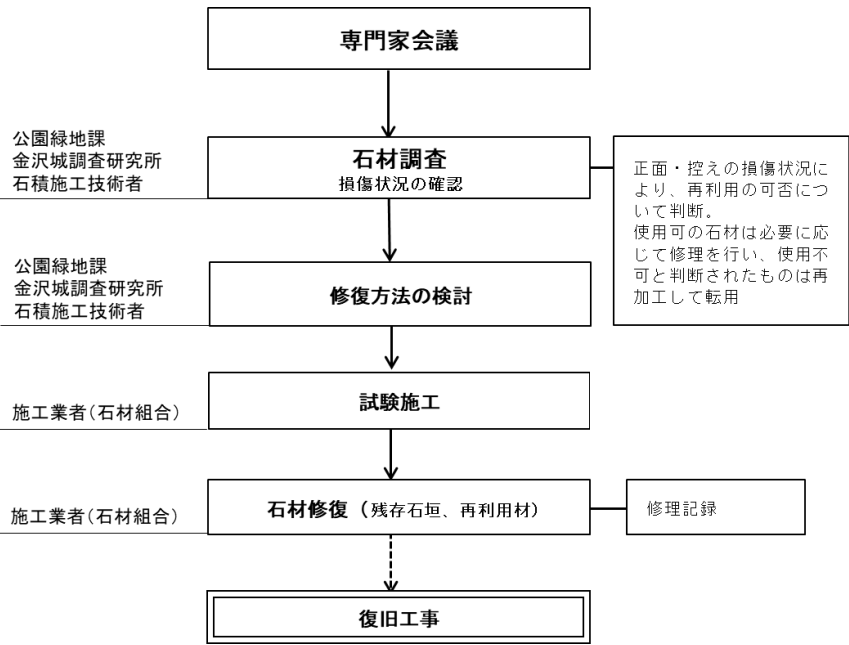


図：石垣断面図（例：本丸南石垣）

(6) 破損した石材について

破損した石材の取扱いについて

各石垣で破損した石材は、破損状況に応じて、必要な補修等を行い、積直す。



図：石材修復フロー

また、修復を行った石材については、石材調査カードに修復箇所、修復内容、使用材料等の記録を作成する。

< 修理方法例 >

亀裂



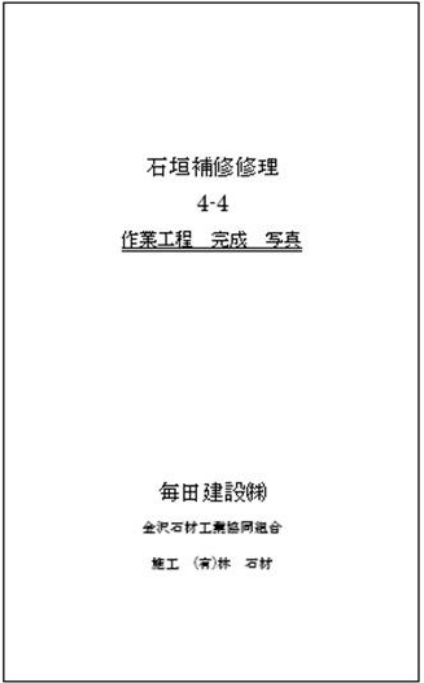
亀裂に粘度の低いエポキシ樹脂系
接着剤を圧入

割れ



破断面を清掃し、エポキシ樹脂系接着剤で接合

< 石材修復記録作成例 >



3. 石垣復旧設計（案）

(1)石川門前土橋石垣

(1)-1 安定性評価（地震前）

1)累積示力線法

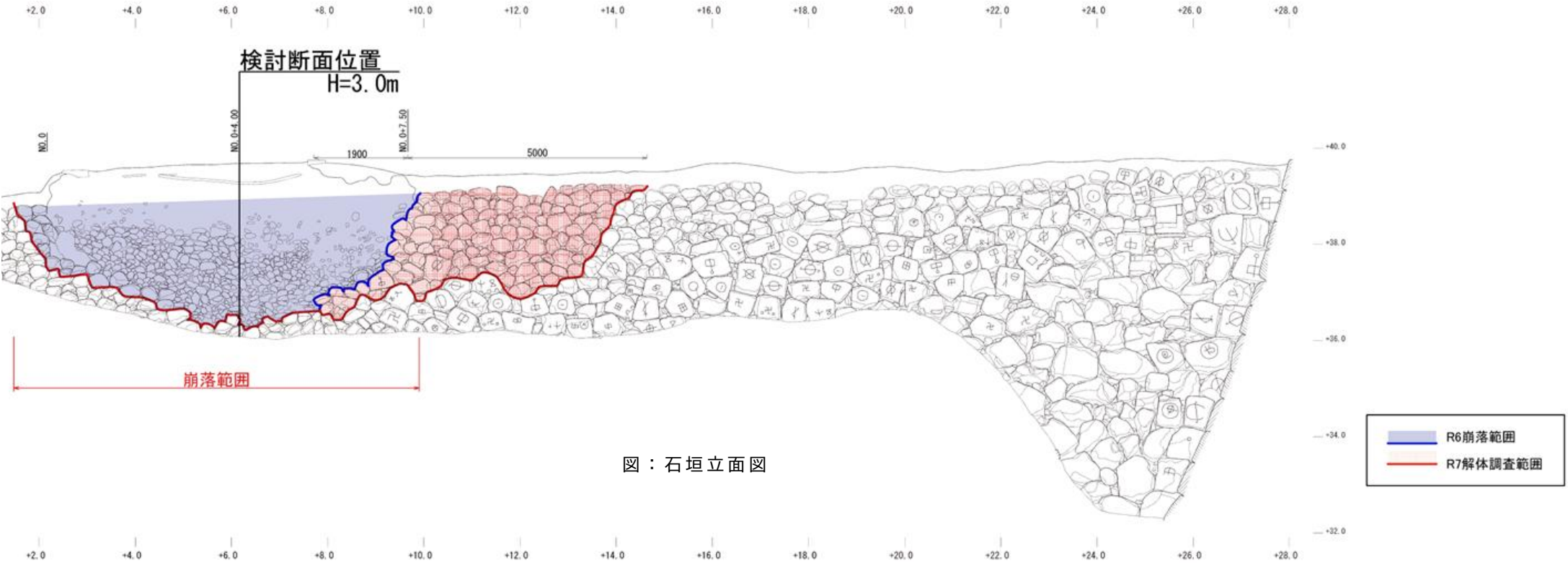
石垣勾配については、崩落箇所の地震前の勾配が不明なため、地震後に計測した隣接する勾配を設定。累積示力線法の結果は、中地震及び大地震で NG となった。

表：評価結果一覧表

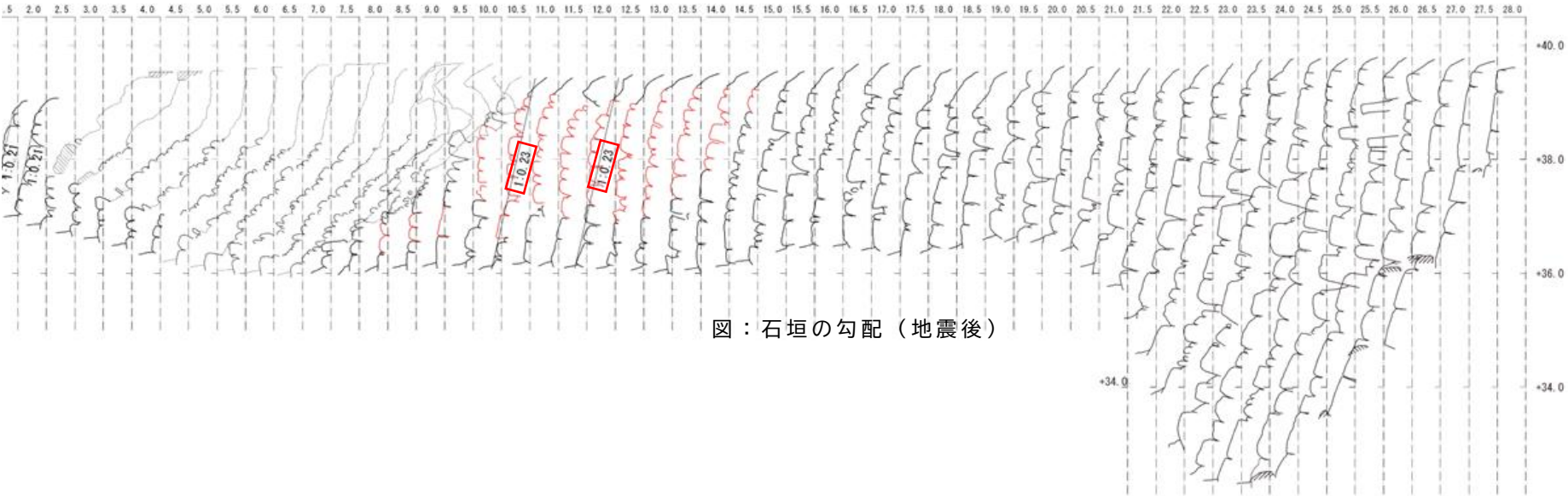
番号	名 称	石垣勾配	石垣高さ (m)	築石控 (m)	築石の定数			栗石の定数			崩落 有無	示力線位置 (m)		
					単位体積重量	底面摩擦角	背面摩擦角	単位体積重量	内部摩擦角	粘着力		常時	中地震	大地震
					(kN/m3)	(°)	(°)	(kN/m3)	(°)	(kN/m2)				
21	石川門前土橋石垣	1:0.23	3.00	0.48	21.4	45	35	17.5 試験値 R7 (間詰材なし)	33.9 試験値 R7 (間詰材なし)	0 試験値 R7 (間詰材なし)	有	0.04 OK	-0.17 NG	-0.24 NG

※中地震(中規模地震動): 供用期間中に 1～2 度程度発生する一般的な地震動

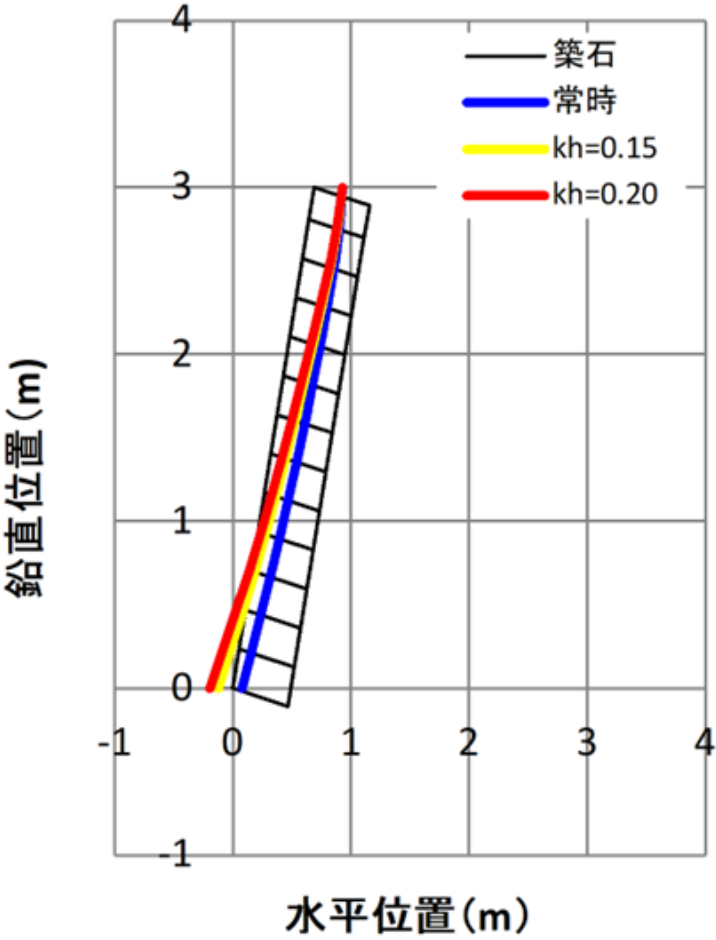
大地震(大規模地震動): 発生率は低いが直下またはプレート境界で発生する地震を想定した高レベルの地震動



図：石垣立面図



図：石垣の勾配（地震後）



図：累積示力線法 評価結果(勾配 1:0.23)

※立面図・断面図は、計測令和 6 年 9 月、測図令和 7 年 1 月のものを使用

: 計算対象範囲

2)円弧すべり解析

評価の結果は、常時、地震時ともに、既存の条件で安全率が満足することが確認された。

石垣、裏込め、背面盛土、地山を含めた石垣構造全体の土層断面に対し、円弧滑り解析を実施し安定性を確認する。

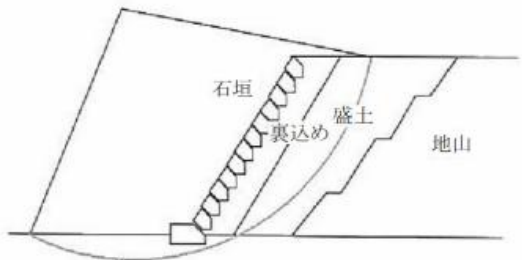


図-7 石垣背面全体の円弧すべりの考え方

円弧滑り解析は次式により安全率を求める。

安全率： $F_s = M_r / M_d$. . . 式-13

ここに

- Mr：土のせん断抵抗によって生じる抵抗モーメント（KN・m）
 $M_r = M_{ro} + M_{rc}$
- Mro：摩擦抵抗モーメント（KN・m）
- Mrc：粘着抵抗モーメント（KN・m）
- Md：堤体自重、上載荷重、地震力によって生じる転倒モーメント（KN・m）
 $M_d = M_{d1} + M_{d2}$
- Md1：堤体自重、上載荷重、残留水により生じるもの（KN・m）
- Md2：地震力により生じるもの（KN・m）

円弧滑り解析の常時、大地震時の安全率（F_s）を表-7に示す。

表-7 円弧滑り解析による安全率（F _s ）	
	安全率
常時	1.5
大地震時	1.0

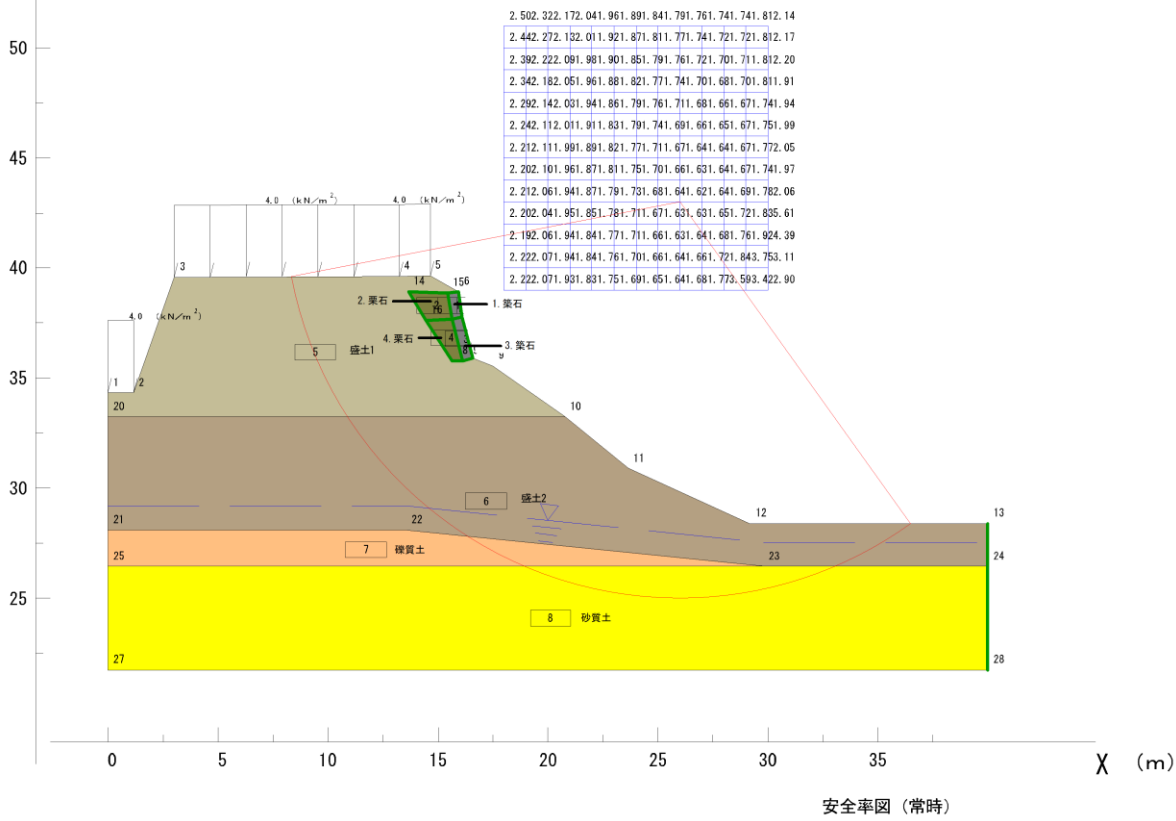
出典：文化財石垣基礎診断実施要領（案）p.16

表：円弧すべり解析に用いる土質定数（石川門前土橋石垣）

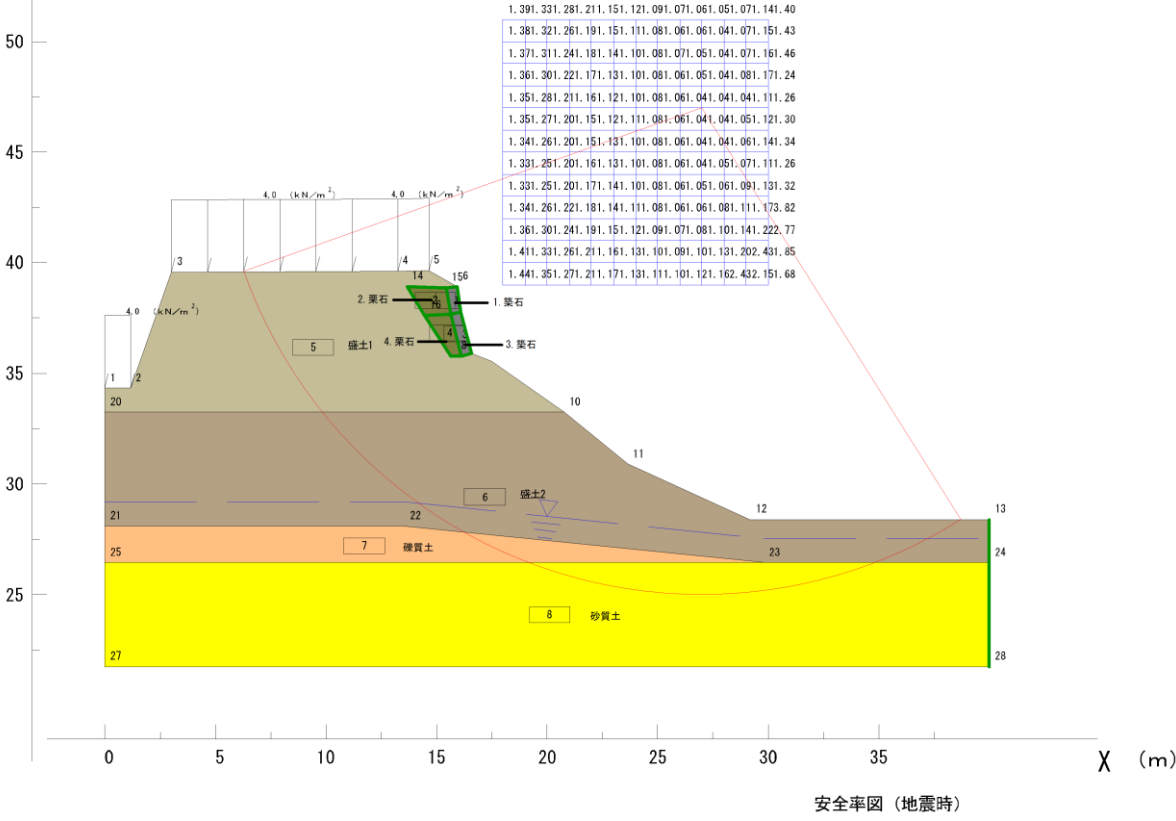
層番号	飽和重量 (kN/m ³)	湿潤重量 (kN/m ³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m ²)	粘着力の 一次係数	水平震度	鉛直震度
1 築石	22.20	22.20	42.00	0.00	0.00	0.250	0.000
2 栗石	19.10	19.10	42.00	12.00	0.00	0.250	0.000
3 築石	22.20	22.20	35.00	0.00	0.00	0.250	0.000
4 栗石	18.00	18.00	35.00	0.00	0.00	0.250	0.000
5 盛土1	17.50	17.50	20.00	34.00	0.00	0.250	0.000
6 盛土2	18.50	18.50	20.00	34.00	0.00	0.250	0.000
7 礫質土	21.00	21.00	34.00	0.00	0.00	0.250	0.000
8 砂質土	18.00	18.00	33.00	0.00	0.00	0.250	0.000

水の単位体積重量 = 10.00 (kN/m³)

【常時】
最小安全率 F_s MIN = 1.628 (≥1.500) OK



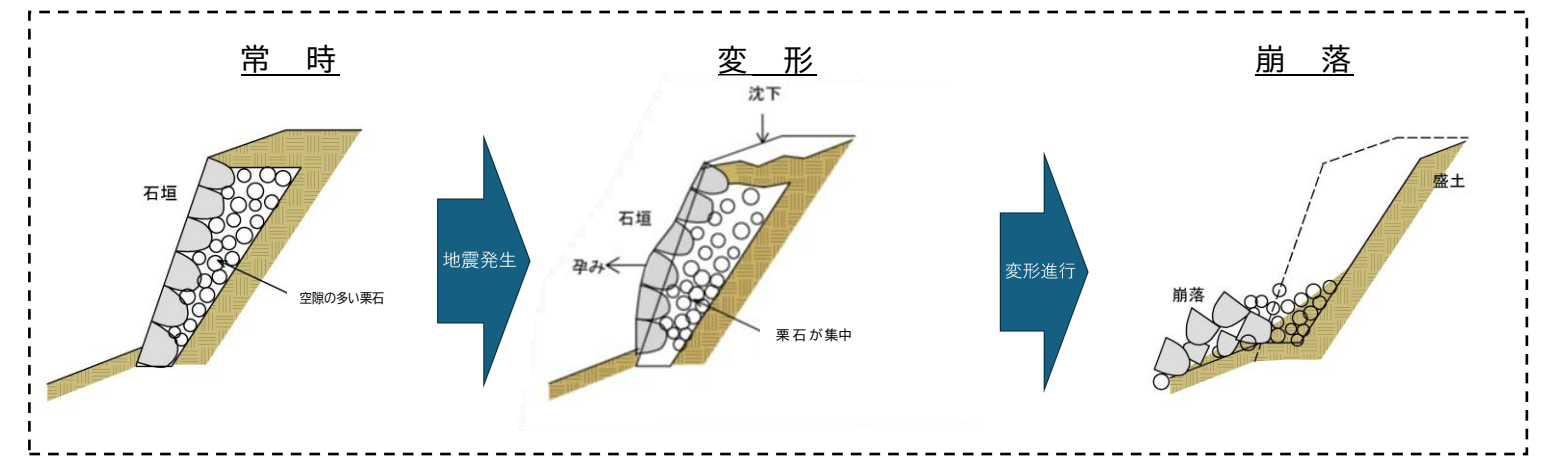
【地震時】
最小安全率 F_s MIN = 1.041 (≥1.000) OK



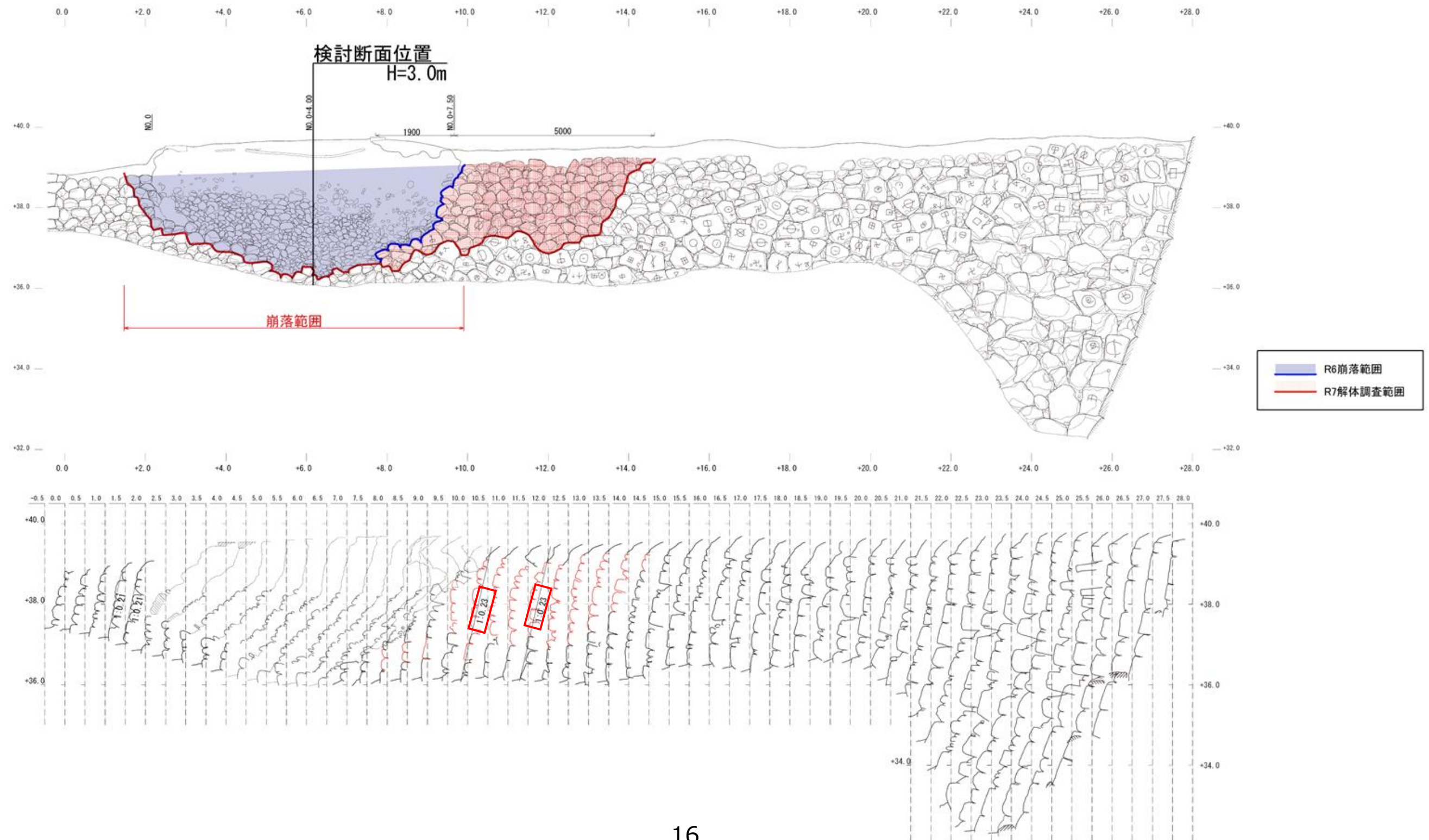
図：円弧すべり解析の結果（石川門前土橋石垣）

(1)-2 変位・崩落のメカニズム及び考察

- ・埋蔵文化財調査から、栗石間の空隙が多い状態が判明しており、今回の地震による横振動で、栗石の沈下を招き、石垣中段付近に栗石が集中し、石垣中段部の崩落に繋がったと考えられる。
- ・背面の栗石の粘着力、内部摩擦角の値は、所定の強度を満たしていない状態であったと考えられる。



図：石垣の変状発生イメージ



(1)-3 復旧断面の検討

1)復旧の考え方

石川門前土橋石垣の栗石（旧材）は、一面せん断試験から、粒度が均一であることから旧材だけでは、強度が充分ではないため、旧材に新規材（粒度調整したもの）を加え、伝統工法で復旧する。

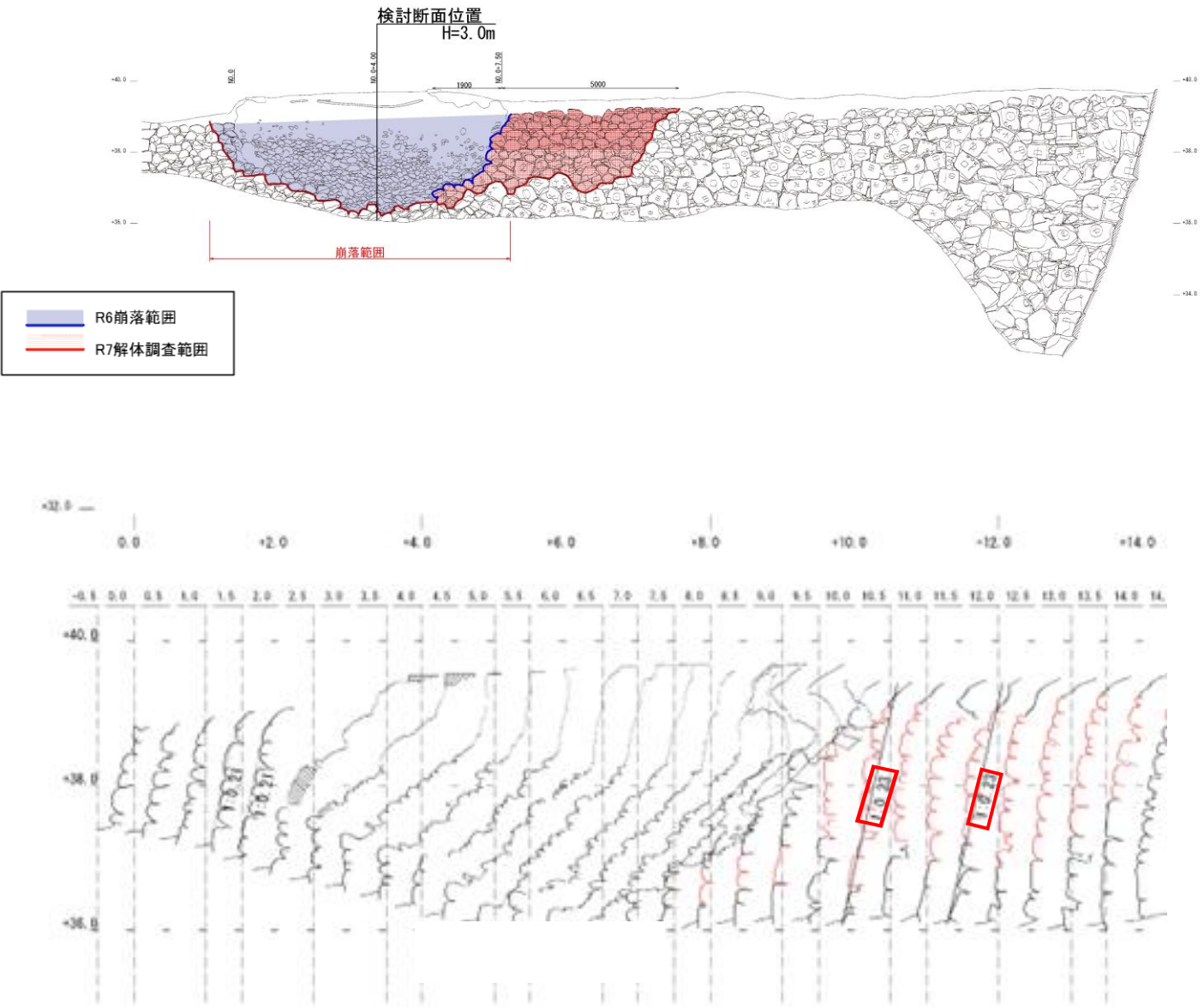
表：累積示力線法で使用する物性値（石川門前土橋石垣）

物性値		採用値	地震前	採用値
築石	単位体積重量 (kN/m3)		21.6	22.2
	底面摩擦角 (°)		45.0※1	
	背面摩擦角 (°)		栗石の内部摩擦角と同値※1	
栗石	単位体積重量 (kN/m3)		18.0※1	19.1※2
	内部摩擦角 (°)		35.0※1	42.6※2
	粘着力 (kN/m2)		—	12.8※2
上載荷重 (kN/m2)			4.0	
設計水平震度	中規模地震動		0.15※1	
	大規模地震動		0.2※1	

※1 文化財石垣基礎診断実施要領（案）を参照
※2 令和7年度実施の栗石の試験結果を参照

2)石垣の復旧勾配

石垣の復旧勾配については、崩落していない部分の勾配である 1:0.23 で累積示力線法の検討を行う。



図：石垣の勾配

□ :検討勾配

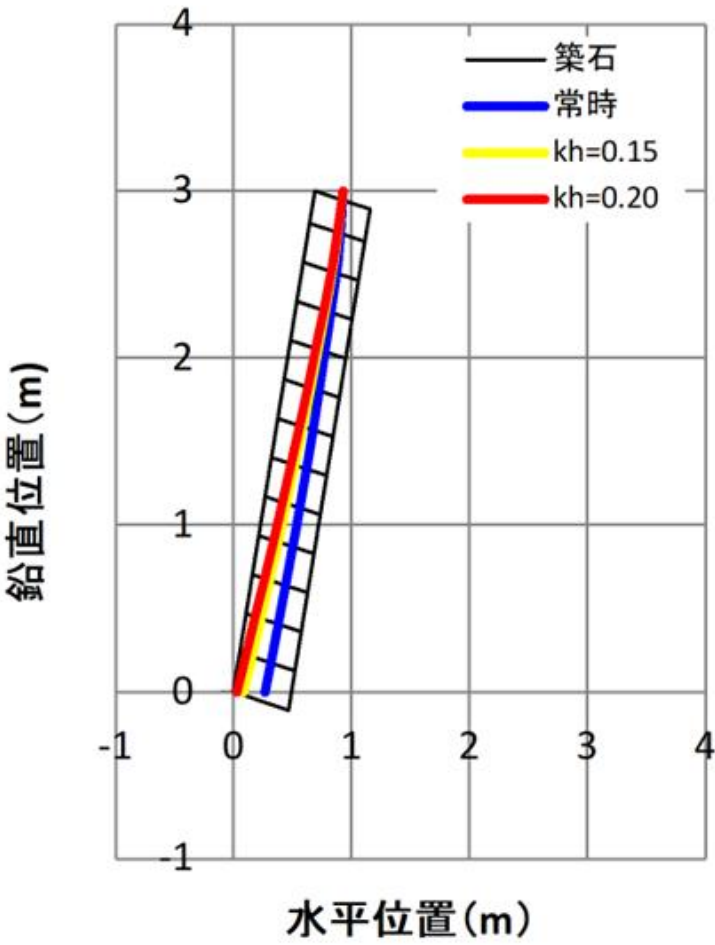
(1)-4 安定性評価（復旧後）

以下の復旧断面を、累積示力線法で安定計算の結果、大地震でも OK となる。

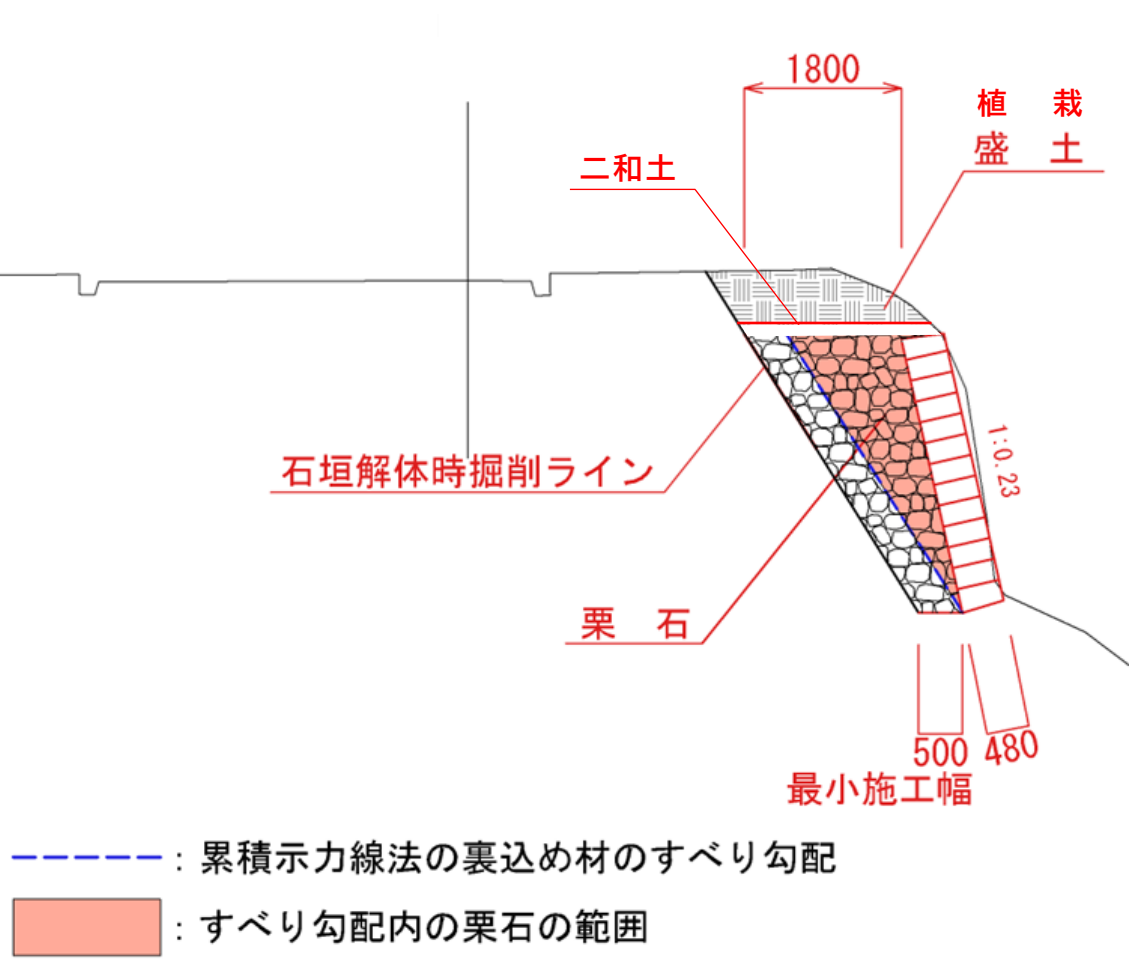
表：評価結果一覧表

番号	名 称	石垣勾配	石垣高さ (m)	ソリの 有無	築石控 (m)	築石の定数			栗石の定数			崩落 有無	示力線位置 (m)		
						単位体積重量	底面摩擦角	背面摩擦角	単位体積重量	内部摩擦角	粘着力		常時	中地震	大地震
						(kN/m3)	(°)	(°)	(kN/m3)	(°)	(kN/m2)				
21	石川門前土橋石垣	1:0.23	3.00	無	0.48	22.2	45	42.6	19.1 試験値 R7	42.6 試験値 R7	12.8 試験値 R7	有	0.26 OK	0.08 OK	0.02 OK

※中地震(中規模地震動): 供用期間中に 1～2 度程度発生する一般的な地震動
大地震(大規模地震動): 発生率は低いが直下またはプレート境界で発生する地震を想定した高レベルの地震動



図：累積示力線法(勾配 1:0.23)



図：石垣復旧断面

復旧設計断面の考え方

- ・石垣勾配は、遺構と同じ 1:0.23 とする。
- ・石垣の解体範囲全体を粒度調整した栗石で施工する。
- ・栗石上部には、植栽盛土が隙間に侵入しないよう二和土(厚さ 50mm 程度)を施工する。

(2)本丸南石垣

(2)-1 安定性評価（地震前）

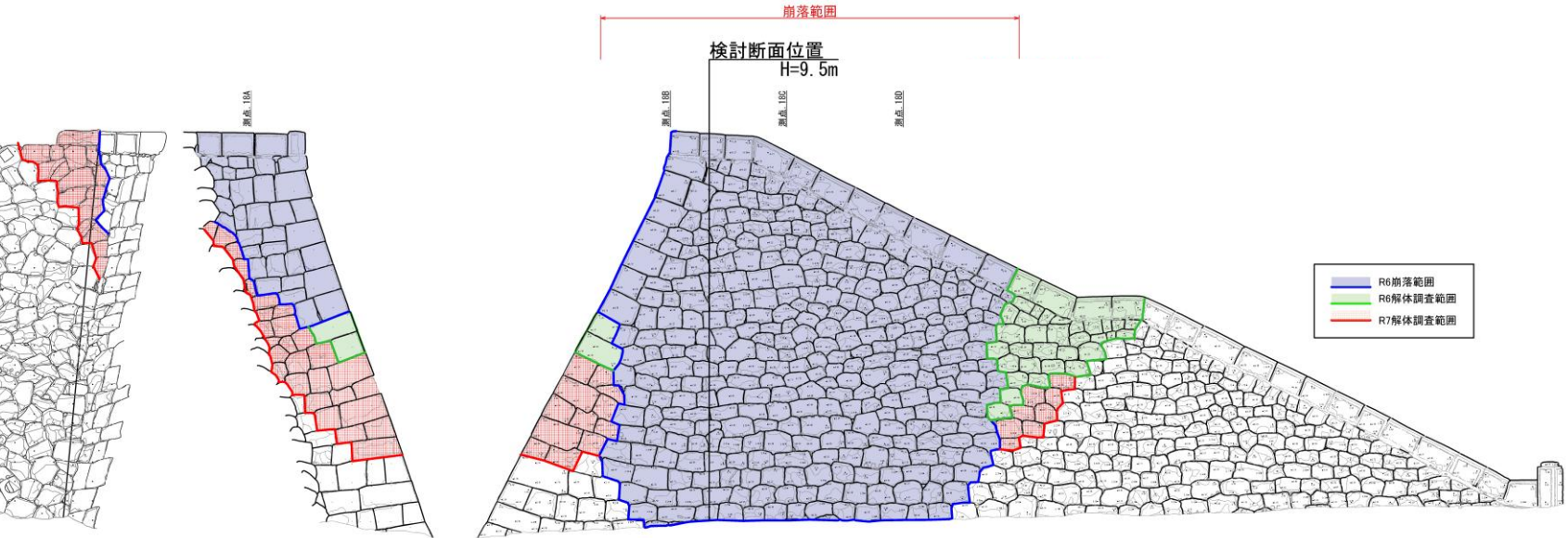
1)累積示力線法

累積示力線法の結果は、中地震及び大地震で NG となった。なお、背後に別の石垣が控えている状態であることから、その石垣が受け持つ土圧及び上載荷重を控除している。

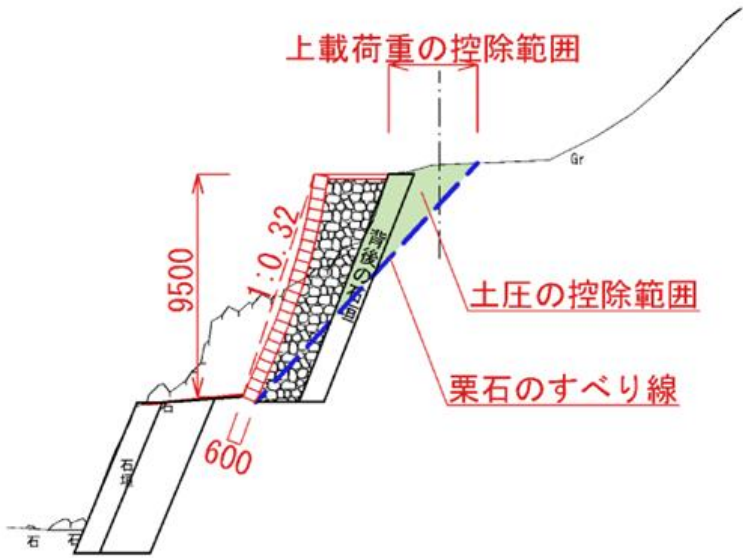
表：評価結果一覧表

番号	名 称	石垣勾配	石垣高さ (m)	築石控 (m)	築石の定数			栗石の定数			崩落 有無	示力線位置 (m)		
					単位体積重量	底面摩擦角	背面摩擦角	単位体積重量	内部摩擦角	粘着力		常時	中地震	大地震
					(kN/m3)	(°)	(°)	(kN/m3)	(°)	(kN/m2)		0.21 OK	-0.98 NG	-1.42 NG
18	本丸南石垣（近代階段）	1:0.32	9.50	0.60	21.7	45	35	18.0 標準値	35 標準値	0 標準値	有			

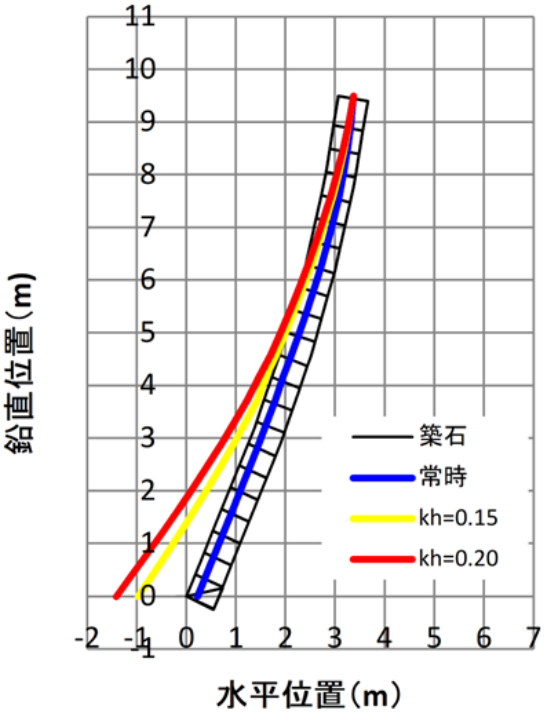
※中地震(中規模地震動): 供用期間中に 1～2 度程度発生する一般的な地震動
大地震(大規模地震動): 発生率は低いが直下またはプレート境界で発生する地震を想定した高レベルの地震動



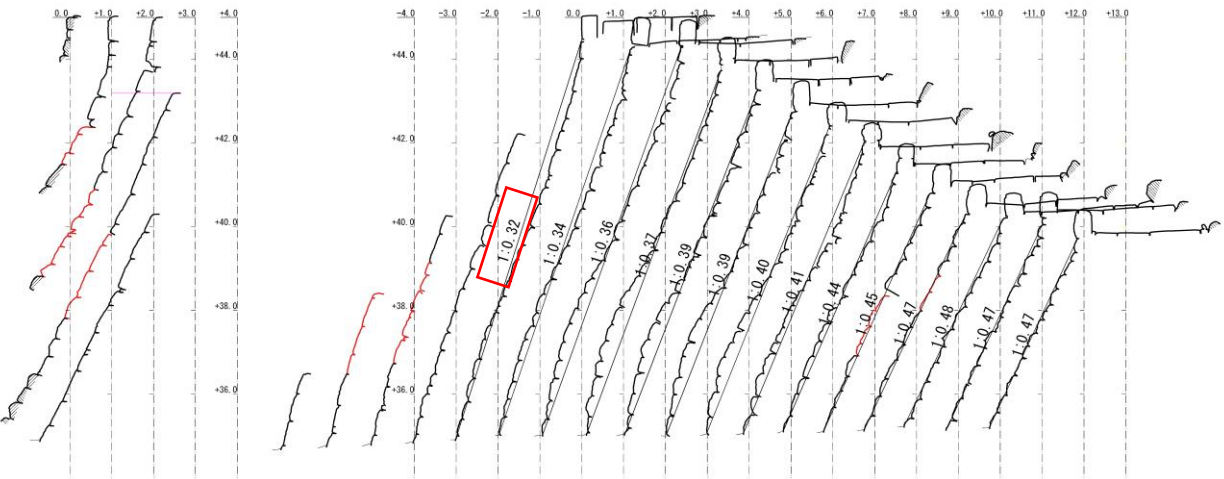
図：石垣立面図



図：荷重・土圧控除の考え方



図：累積示力線法 評価結果(勾配 1:0.32)



図：石垣の勾配（地震前）

□ : 計算対象範囲

※立面図・断面図は、計測平成 27 年 9 月、測図平成 28 年 3 月のものを使用

2)円弧すべり解析

評価の結果は、常時、地震時ともに、既存の条件で安全率が満足することが確認された。

石垣、裏込め、背面盛土、地山を含めた石垣構造全体の土層断面に対し、円弧滑り解析を実施し安定性を確認する。

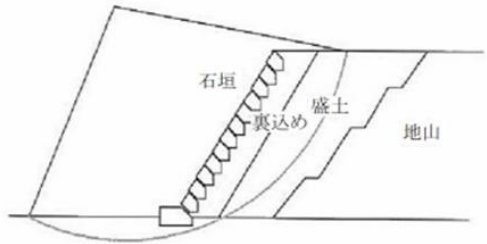


図-7 石垣背面全体の円弧すべりの考え方

円弧滑り解析は次式により安全率を求める。

安全率： $F_s = M_r / M_d$. . . 式-13

ここに

- Mr：土のせん断抵抗によって生じる抵抗モーメント（KN・m）
 $M_r = M_{ro} + M_{rc}$
- Mro：摩擦抵抗モーメント（KN・m）
- Mrc：粘着抵抗モーメント（KN・m）
- Md：堤体自重、上載荷重、地震力によって生じる転倒モーメント（KN・m）
 $M_d = M_{d1} + M_{d2}$
- Md1：堤体自重、上載荷重、残留水により生じるもの（KN・m）
- Md2：地震力により生じるもの（KN・m）

円弧滑り解析の常時、大地震時の安全率（F_s）を表-7に示す。

表-7 円弧滑り解析による安全率（F _s ）	
	安全率
常時	1.5
大地震時	1.0

文化財石垣基礎診断実施要領（案）p.16

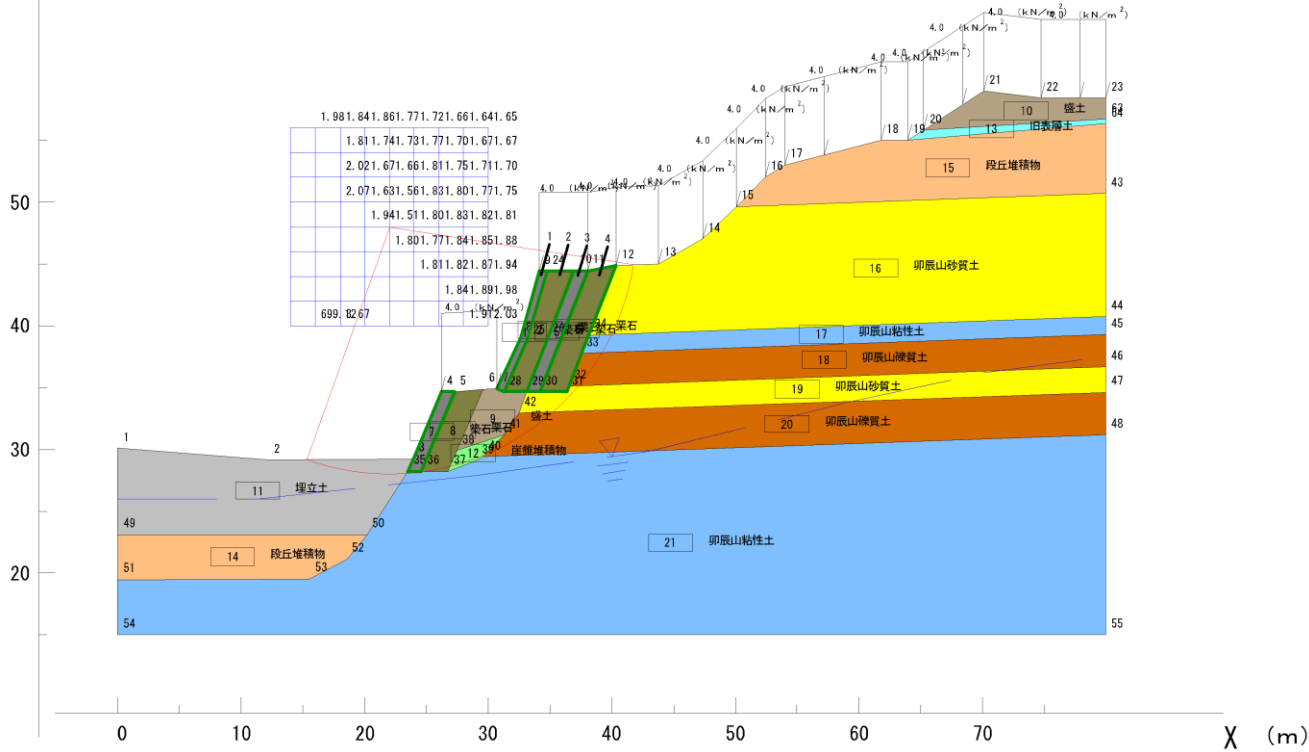
表：円弧すべり解析に用いる土質定数（本丸南石垣）

層番号	飽和重量 (kN/m ³)	湿潤重量 (kN/m ³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m ²)	粘着力の 一次係数	水平震度	鉛直震度
1 築石	21.70	21.70	0.00	0.00	0.00	0.250	0.000
2 栗石	18.00	18.00	35.00	0.00	0.00	0.250	0.000
5 築石	21.70	21.70	45.00	0.00	0.00	0.250	0.000
6 栗石	18.00	18.00	35.00	0.00	0.00	0.250	0.000
7 築石	21.70	21.70	45.00	0.00	0.00	0.250	0.000
8 栗石	18.00	18.00	35.00	0.00	0.00	0.250	0.000
9 盛土	17.00	17.00	25.00	0.00	0.00	0.250	0.000
10 盛土	17.00	17.00	25.00	0.00	0.00	0.250	0.000
11 埋立土	18.30	18.30	8.00	40.00	0.00	0.250	0.000
12 崖帷 堆積物	16.00	16.00	0.00	46.00	0.00	0.250	0.000
13 旧表層土	16.00	16.00	0.00	25.00	0.00	0.250	0.000
14 段丘 堆積物	18.00	18.00	35.00	0.00	0.00	0.250	0.000
15 段丘 堆積物	18.00	18.00	35.00	0.00	0.00	0.250	0.000
16 卯辰山 砂質土	17.80	17.80	33.00	11.00	0.00	0.250	0.000
17 卯辰山 粘性土	18.00	18.00	0.00	93.00	0.00	0.250	0.000
18 卯辰山 礫質土	20.00	20.00	40.00	0.00	0.00	0.250	0.000
19 卯辰山 砂質土	17.80	17.80	33.00	11.00	0.00	0.250	0.000
20 卯辰山 礫質土	20.00	20.00	40.00	0.00	0.00	0.250	0.000
21 卯辰山 粘性土	18.00	18.00	20.00	86.00	0.00	0.250	0.000

水の単位体積重量 = 10.00 (kN/m³)

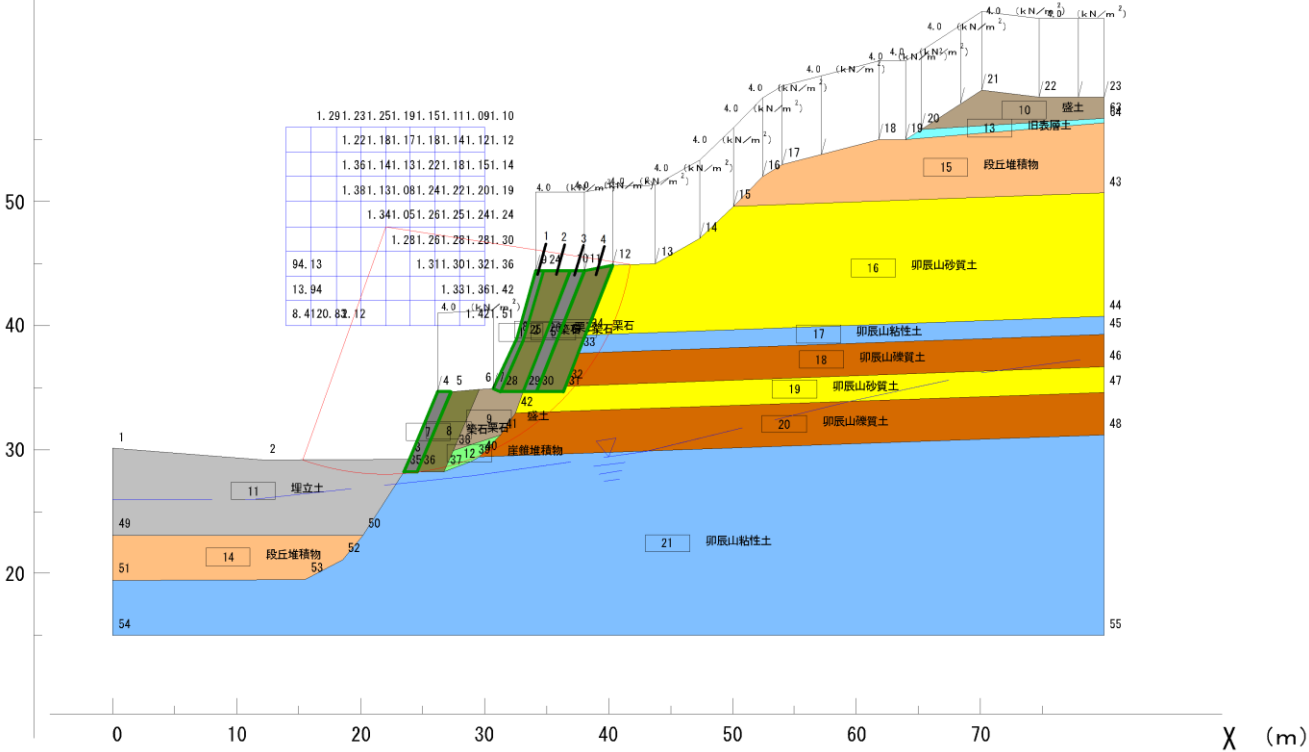
【常時】

最小安全率 F_s MIN = 1.510 (≧1.500) OK



【地震時】

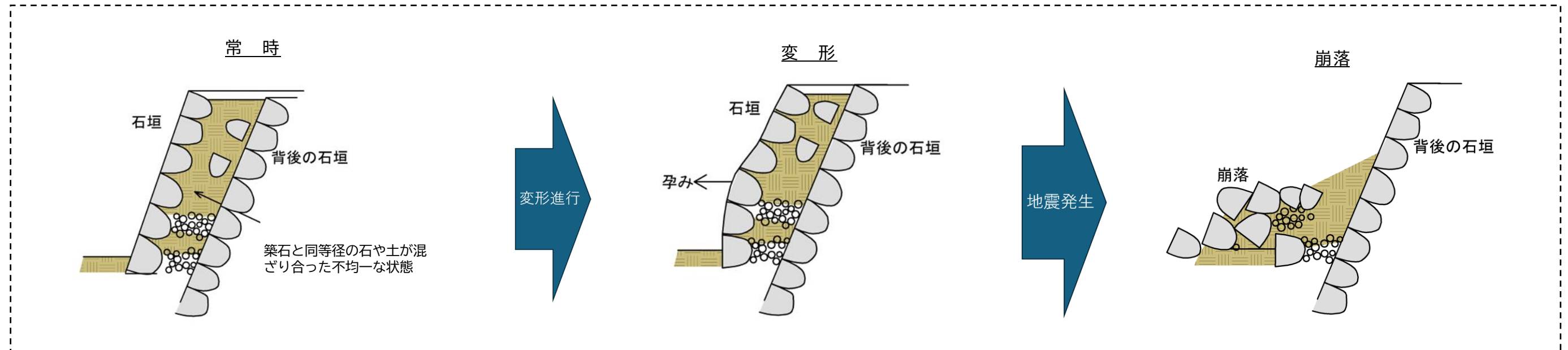
最小安全率 F_s MIN = 1.057 (≧1.000) OK



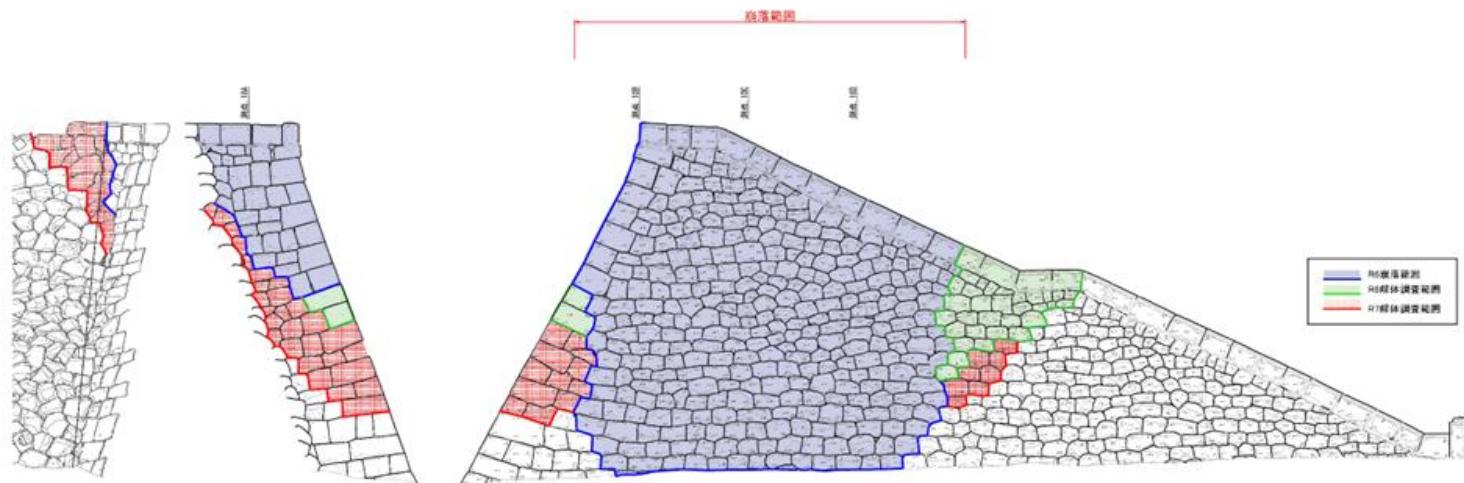
図：円弧すべり解析の結果（本丸南石垣）

(2)-2 変位・崩落のメカニズム及び考察

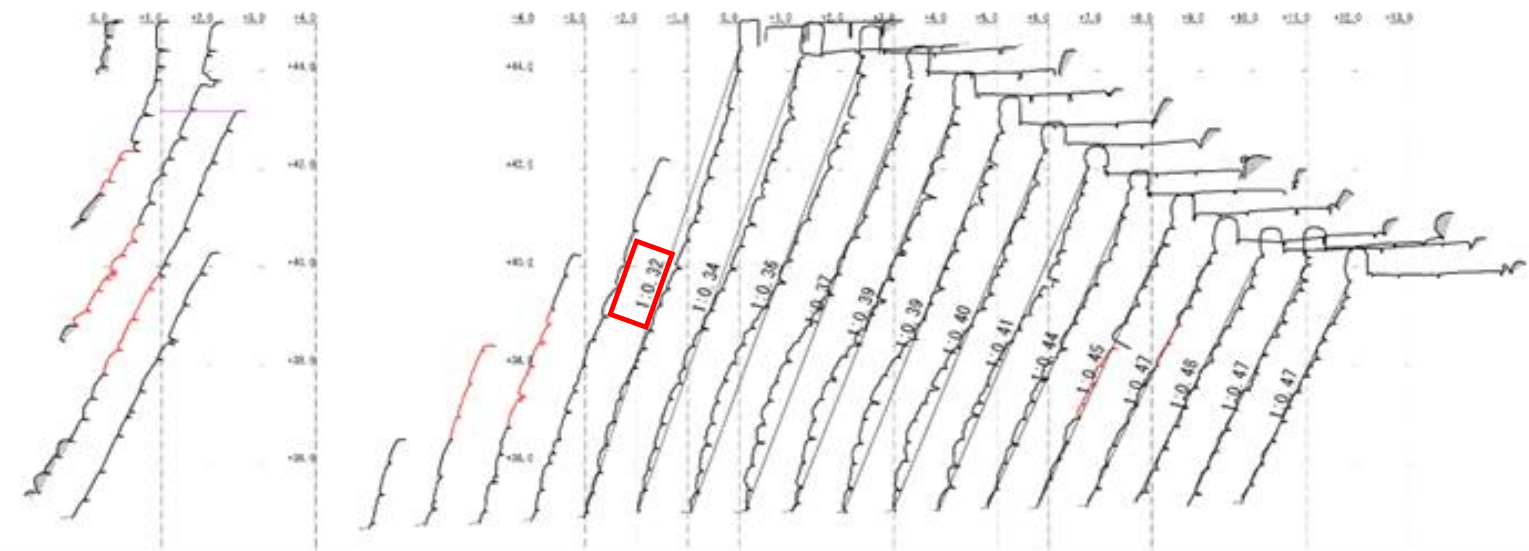
- ・今回崩落した石垣面とその背後の石垣との間には、築石と同等径の石や土が混ざり合った不均一な状態であったことから、既に孕み出しの要因となっており、今回の地震に伴う横振動により、崩落に至った。
- ・背面の栗石の粘着力、内部摩擦角の値は、所定の強度を満たしていない状態であったと考えられる。



図：石垣の変状発生イメージ



図：石垣立面図



図：石垣の勾配（地震前）

(2)-3 復旧断面の検討

1)復旧の考え方

本丸南石垣の栗石（旧材）では、栗石の量が不足するため、旧材に新規材（粒度調整したもの）を加え、伝統工法で復旧する。

表：累積示力線法で使用する物性値（本丸南石垣）

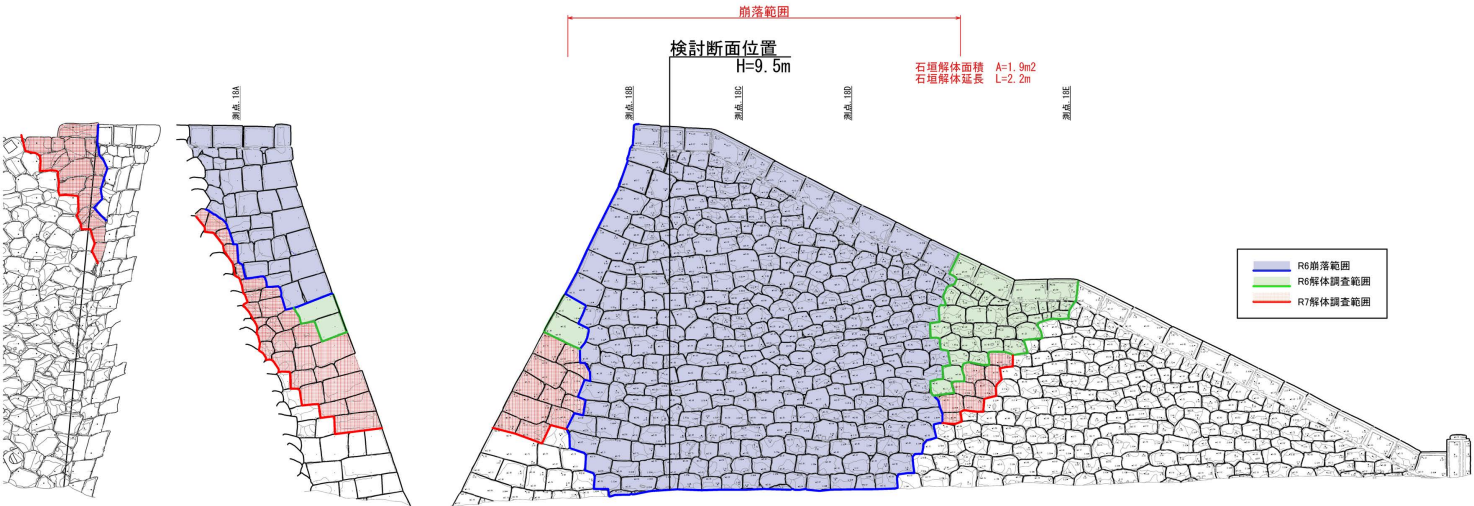
物性値		採用値	地震前	採用値
築石	単位体積重量 (kN/m3)		21.7	22.1
	底面摩擦角 (°)		45.0※1	
	背面摩擦角 (°)		栗石の内部摩擦角と同値※1	
栗石	単位体積重量 (kN/m3)		18.0※1	19.0※2
	内部摩擦角 (°)		35.0※1	43.0※2
	粘着力 (kN/m2)		—	15.7※2
上載荷重 (kN/m2)			4.0	
設計水平震度	中規模地震動		0.15※1	
	大規模地震動		0.2※1	

※1 文化財石垣基礎診断実施要領（案）を参照

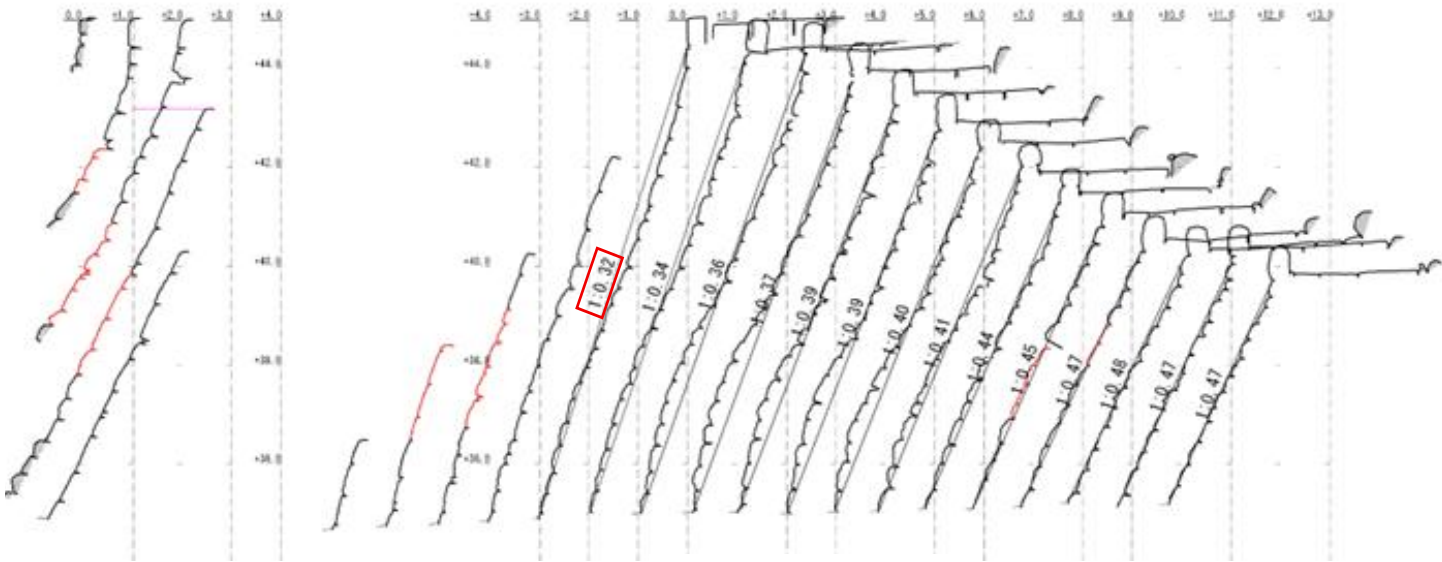
※2 令和7年度実施の栗石の試験結果を参照
（旧材である栗石の量が不足することから、新材の試験結果を採用）

2)石垣の復旧勾配

石垣の復旧勾配については、石垣高さが最も高い箇所の勾配である、1:0.32 で累積示力線法の検討を行う。



図：石垣立面図



図：石垣の勾配

(2)-4 安定性評価（復旧後）

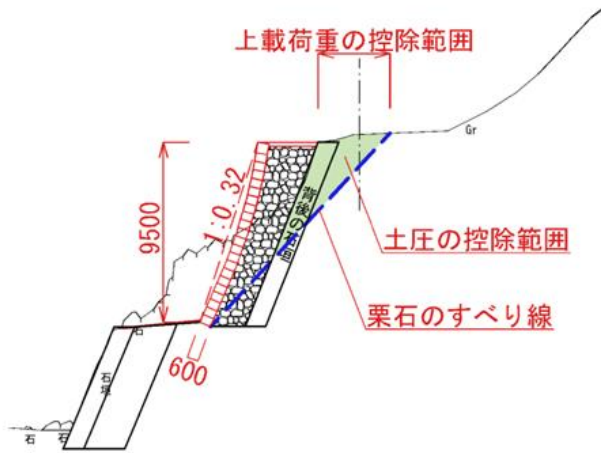
以下の復旧断面を、累積示力線法で安定計算を行った結果、大地震でも OK となる。なお、地震前と同様に、背後の石垣が受け持つ土圧及び上載荷重は控除。

表：評価結果一覧表

番号	名 称	石垣勾配	石垣高さ (m)	ソリの 有無	築石控 (m)	築石の定数			栗石の定数			崩落 有無	示力線位置 (m)		
						単位体積重量	底面摩擦角	背面摩擦角	単位体積重量	内部摩擦角	粘着力		常時	中地震	大地震
						(kN/m ³)	(°)	(°)	(kN/m ³)	(°)	(kN/m ²)				
18	本丸南石垣（近代階段）	1:0.32	9.50	有	0.60	22.1	45	43	19.0 試験値 R7	43 試験値 R7	15.7 試験値 R7	有	0.81 OK	0.21 OK	0.01 OK

※中地震（中規模地震動）：供用期間中に 1～2 度程度発生する一般的な地震動

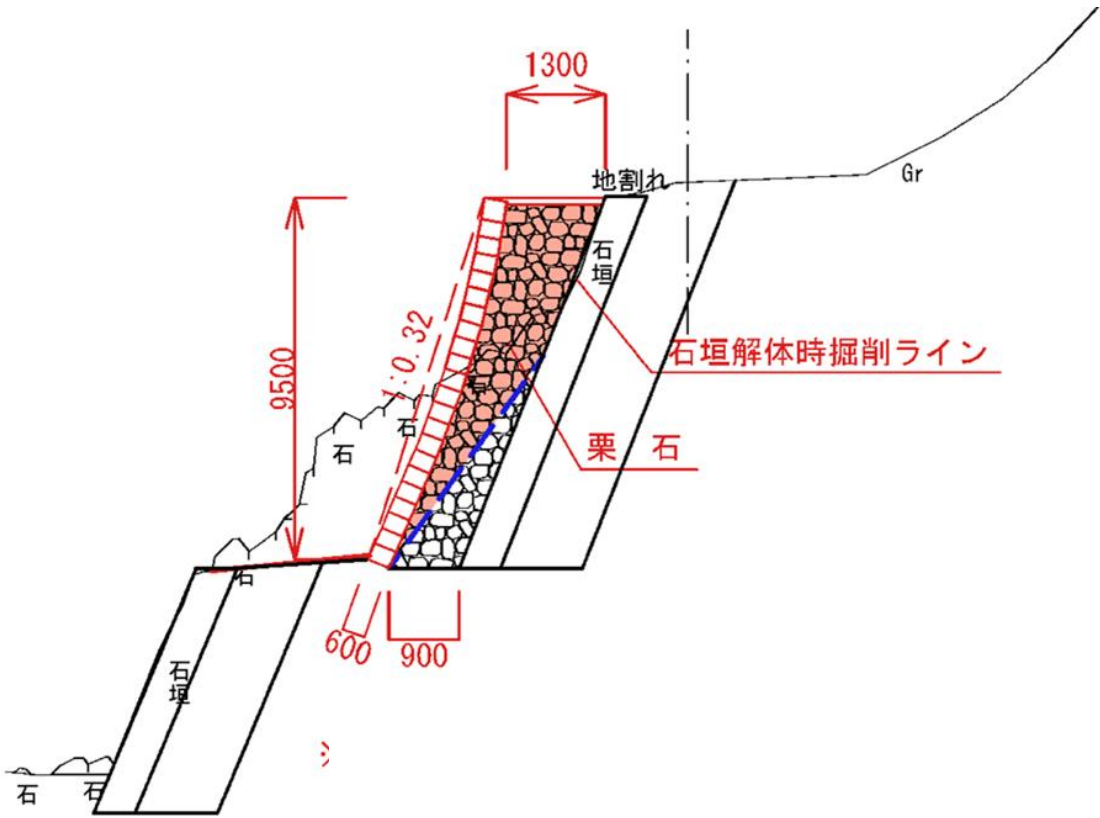
大地震（大規模地震動）：発生率は低い但直下またはプレート境界で発生する地震を想定した高レベルの地震動



図：荷重・土圧控除の考え方

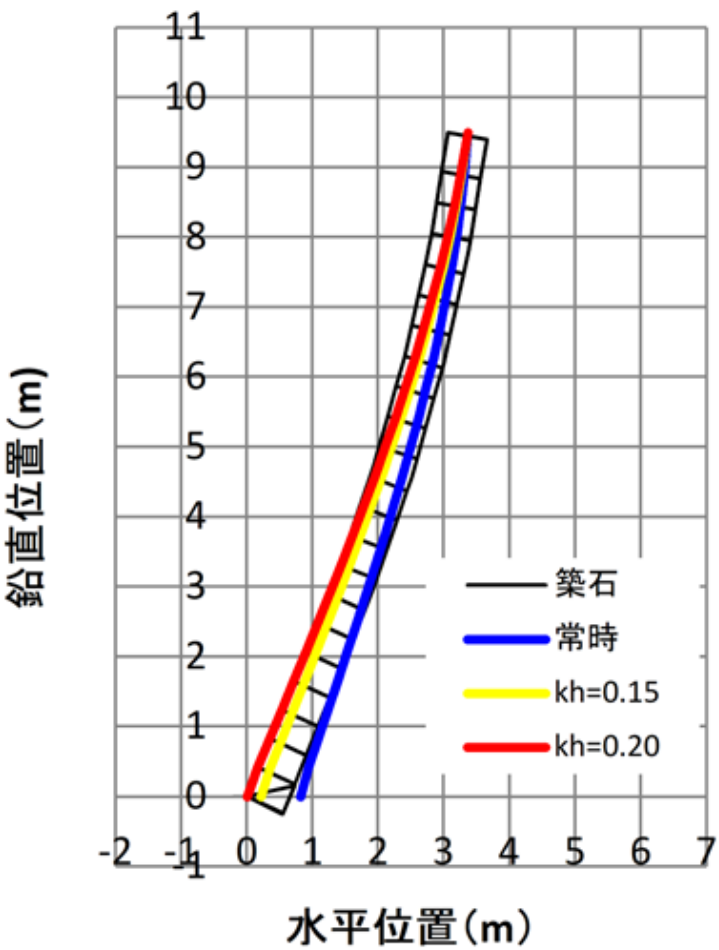
復旧設計断面の考え方

- ・石垣勾配は、遺構断面をもとに1:0.32に設定し、反りを設ける。
- ・崩落した栗石だけでは、量が不足するため、新規材（粒度調整したもの）を補充して施工する。



— — — — —：累積示力線法の裏込め材のすべり勾配
■：すべり勾配内の栗石の範囲

図：石垣復旧断面



図：累積示力線法（勾配 1:0.32）

(3)玉泉院丸南西石垣

(3)-1 安定性評価（地震前）

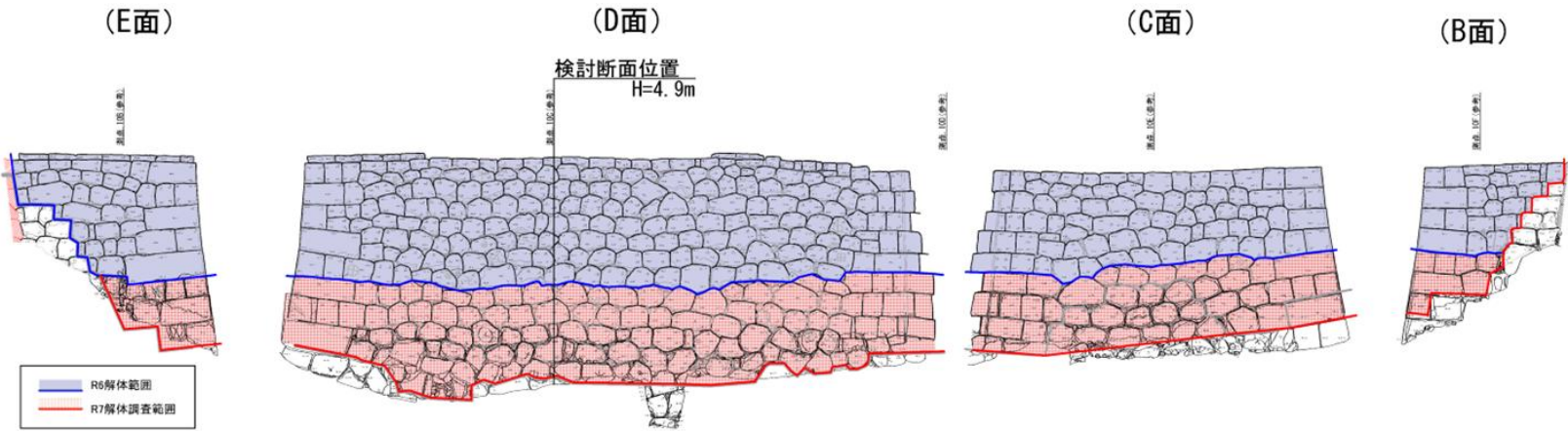
1)累積示力線法

石垣高さ及び勾配については、変形した石垣における最大の高さ及びその地点の地震前に計測した勾配を採用する。累積示力線法の結果は、中地震及び大地震で NG となった。

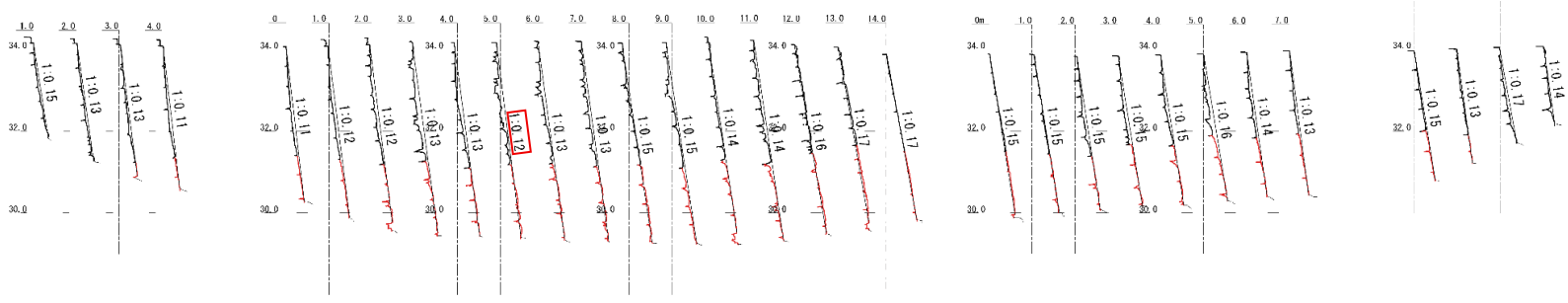
表：評価結果一覧表

番号	名 称	石垣勾配	石垣 高さ (m)	築石控 (m)	築石の定数			栗石の定数			崩落 有無	示力線位置 (m)		
					単位体積重量	底面摩擦角	背面摩擦角	単位体積重量	内部摩擦角	粘着力		常時	中地震	大地震
					(kN/m3)	(°)	(°)	(kN/m3)	(°)	(kN/m2)				
10	玉泉院丸南西石垣	1:0.12	4.90	0.79	22.7	45	42.9	19.3	42.9	10.9	無	0.33 OK	-0.03 NG	-0.15 NG

※中地震(中規模地震動): 供用期間中に 1～2 度程度発生する一般的な地震動
大地震(大規模地震動): 発生率は低いが直下またはプレート境界で発生する地震を想定した高レベルの地震動



図：石垣立面図

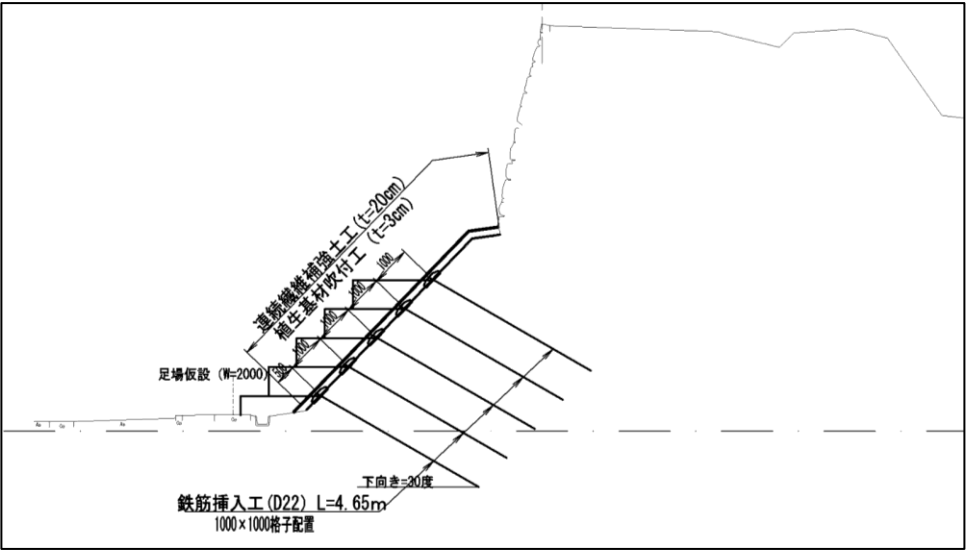


2)円弧すべり解析

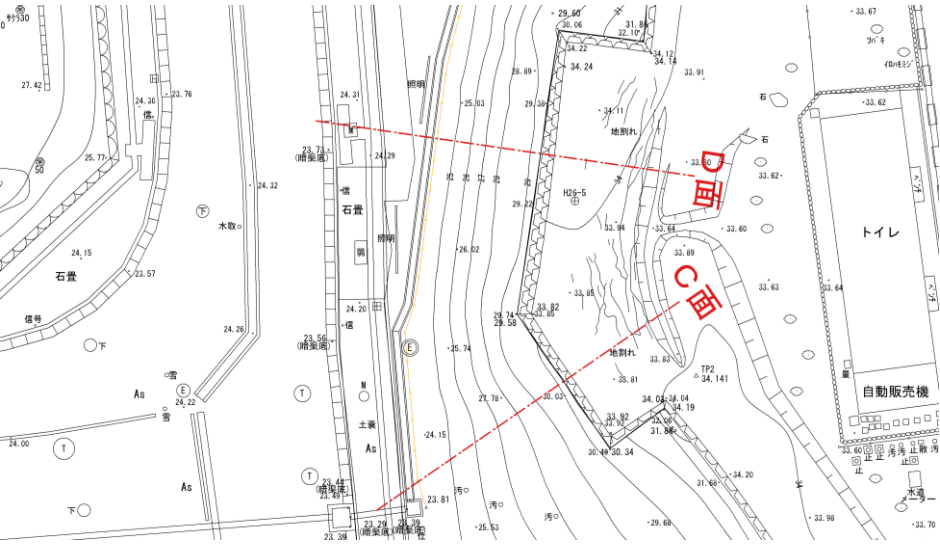
平成 19 年度の修築時においては、石垣基礎の支持力対策として、鉄筋挿入工及び連続繊維補強土工が採用されており、円弧すべり解析によって安定性評価を行っている。

平成 19 年度の修築時の円弧すべり検討では、中地震を最大として設計水平震度 0.12として安定検討を行っていたが、今回は「文化財石垣基礎診断実施要領（案）p.18」の要領に基づいて、大地震にも対応する設計水平震度 0.25（大地震時）を用いて評価を行った。

評価の結果は、C 面、D 面ともに、常時及び地震時で、既存の鉄筋挿入工で安全率が満足することが確認された。



図：鉄筋挿入工及び連続繊維補強土工標準断面図(H19 修復時)



図：検討断面位置

石垣、裏込め、背面盛土、地山を含めた石垣構造全体の土層断面に対し、円弧すべり解析を実施し安定性を確認する。

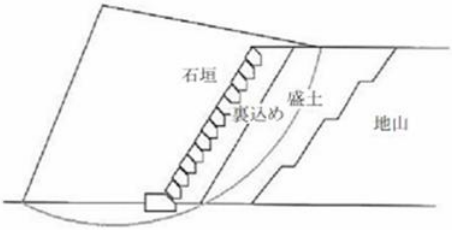


図-7 石垣背面全体の円弧すべりの考え方

円弧すべり解析は次式により安全率を求める。

安全率： $F_s = M_r / M_d$ ・・・式-13

ここに

M_r ：土のせん断抵抗によって生じる抵抗モーメント（KN・m）
 $M_r = M_{ro} + M_{rc}$
 M_{ro} ：摩擦抵抗モーメント（KN・m）
 M_{rc} ：粘着抵抗モーメント（KN・m）
 M_d ：堤体自重、上載荷重、地震力によって生じる転倒モーメント（KN・m）
 $M_d = M_{d1} + M_{d2}$
 M_{d1} ：堤体自重、上載荷重、残留水により生じるもの（KN・m）
 M_{d2} ：地震力により生じるもの（KN・m）

円弧すべり解析の常時、大地震時の安全率（ F_s ）を表-7に示す。

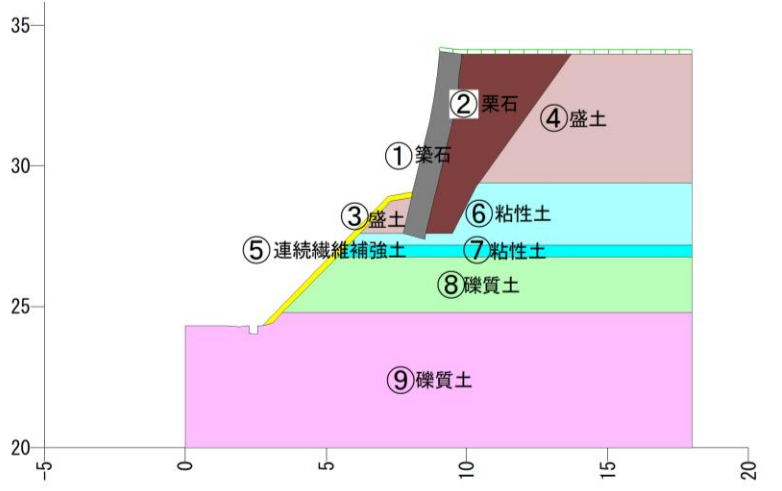
表-7 円弧すべり解析による安全率（ F_s ）	
	安全率
常時	1.5
大地震時	1.0

文化財石垣基礎診断実施要領（案）p.16

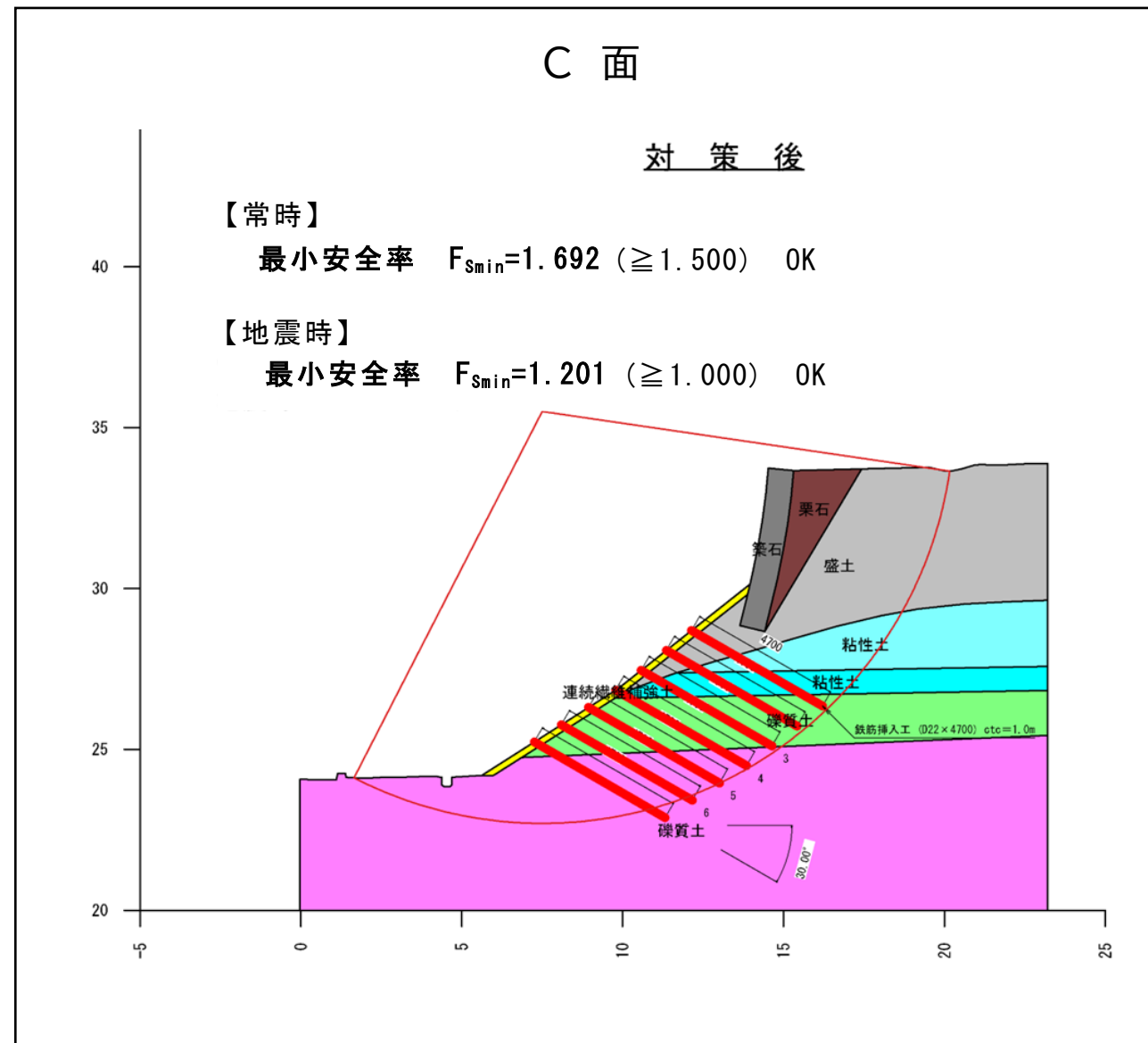
表 円弧すべりに用いる土質定数（玉泉院丸南西石垣）

No.	地層名	土質名	湿潤重量	飽和重量	粘着力	内部摩擦角		N値
			γ_t (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	C (kN/m ²)	ϕ (°)	$\tan \phi$	
①	築石	築石	22.7	22.7	0.0	—	—	50
②	栗石	礫質土	19.3	19.3	10.9	42.9	0.929257	30
③	盛土	礫混り粘性土	19.0	19.0	35.0	16.0	0.286745	10
④	盛土	礫混り粘性土	19.0	19.0	35.0	16.0	0.286745	10
⑤	連続繊維補強土	砂質土	18.0	18.0	19.0	37.0	0.753554	0
⑥	粘性土	粘性土	17.0	17.0	80.0	0.0	0.0	5
⑦	粘性土	粘性土	17.0	17.0	110.0	0.0	0.0	5
⑧	礫質土	礫質土	20.0	20.0	0.0	39.0	0.809784	40
⑨	礫質土	礫質土	18.0	18.0	0.0	33.0	0.649408	20

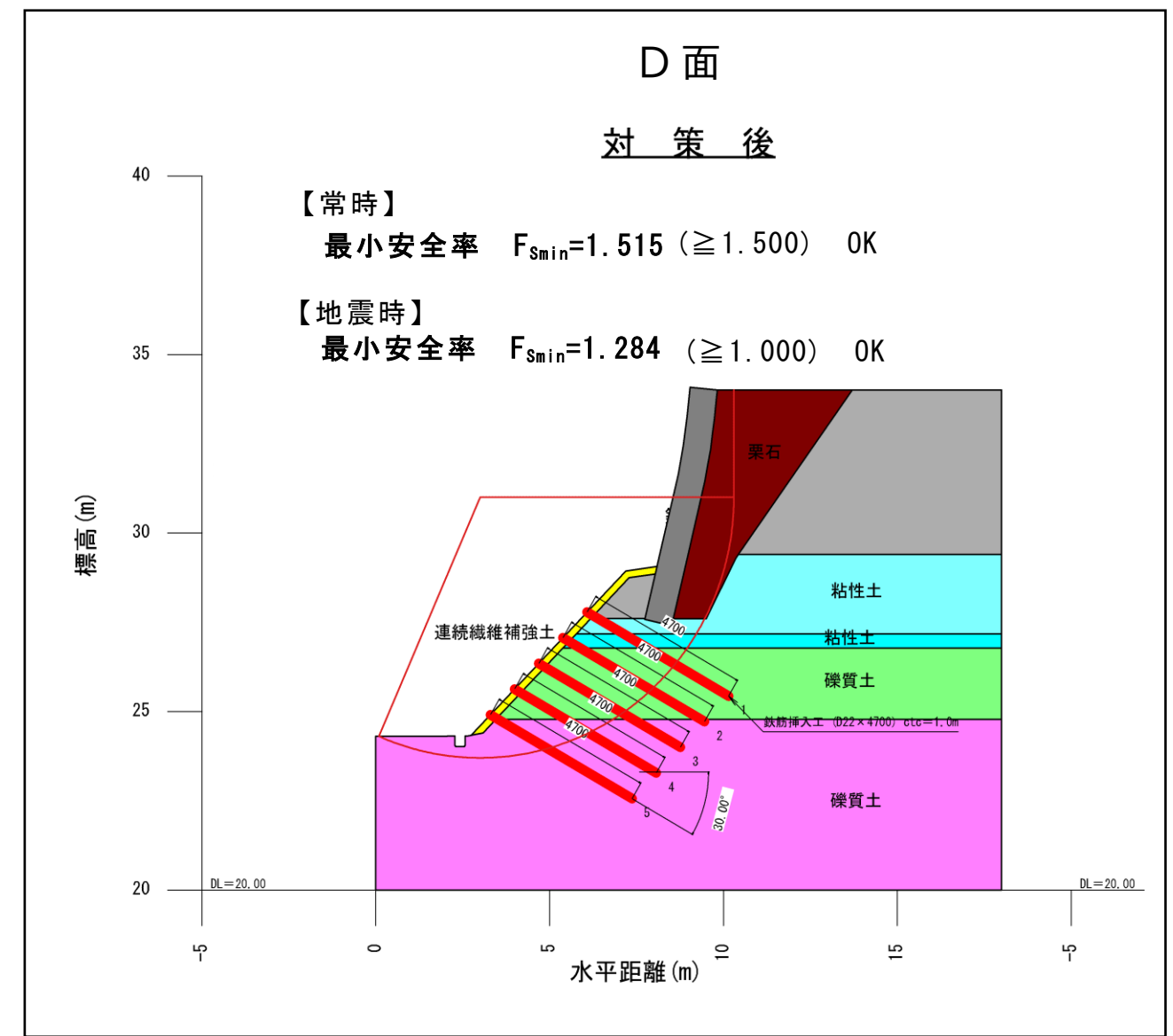
※水の単位体積重量 $\gamma_w = 10.0$ (kN/m³)



図：石垣の地形・土質構成



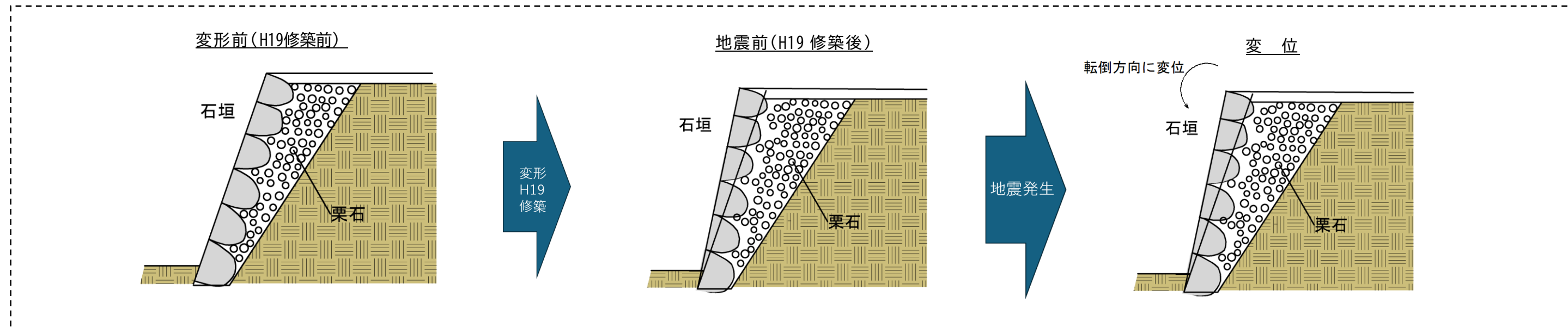
図：円弧すべり解析の結果(玉泉院丸南西石垣 C 面)



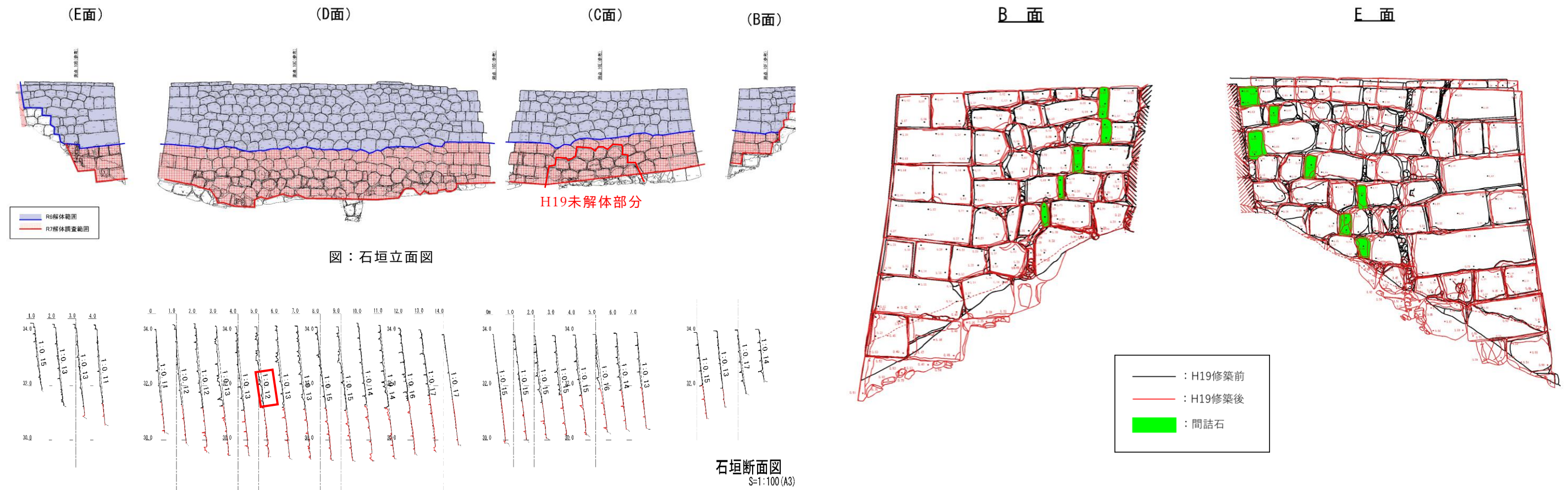
図：円弧すべり解析の結果(玉泉院丸南西石垣 D 面)

(3)-2 変位・崩落のメカニズム及び考察

- ・平成19年に修築した石垣勾配が、一部未解体部分に合わせるため1:0.12の急勾配であった。今回の地震に伴う横振動に対して、石垣が支えきれずに変形を起こした。



図：石垣の変状発生イメージ



(3)-3 復旧断面の検討

1)復旧の考え方

栗石は旧材に新規材（粒度調整したもの）を加え、伝統工法で復旧する。

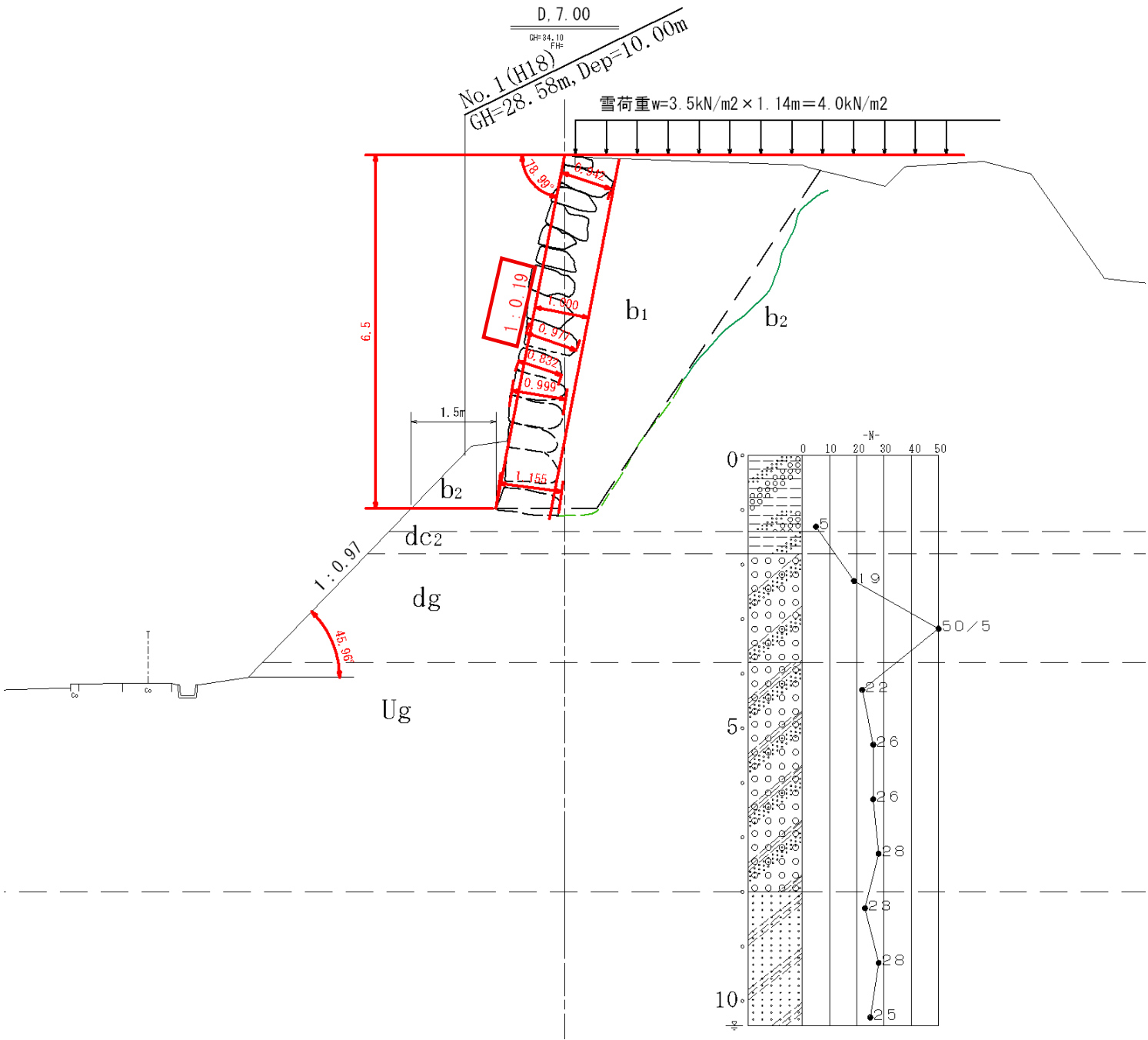
表：累積示力線法で使用する物性値（玉泉院丸南西石垣）

物性値		採用値	地震前	採用値
築石	単位体積重量 (kN/m3)		22.7	22.7
	底面摩擦角 (°)		45.0※2	
	背面摩擦角 (°)		栗石の内部摩擦角と同値※2	
栗石	単位体積重量 (kN/m3)		19.3※1	19.2※3
	内部摩擦角 (°)		42.9※1	44.2※3
	粘着力 (kN/m2)		10.9※1	8.9※3
上載荷重 (kN/m2)			4.0	
設計水平震度	中規模地震動		0.18※2	
	大規模地震動		0.24※2	

※1 平成18年度の石垣復旧時の値を参照
※2 文化財石垣基礎診断実施要領（案）を参照
※3 令和7年度実施の栗石の試験結果を参照

2) 石垣の復旧勾配

平成 19 年度の解体修築では、設計勾配である1:0.19 よりも急な勾配(1:0.12)で修築したが、今回は 1:0.19 で復旧する。



図：平成19年修築時の安定解析モデル

(3)-4 安定性評価（復旧後）

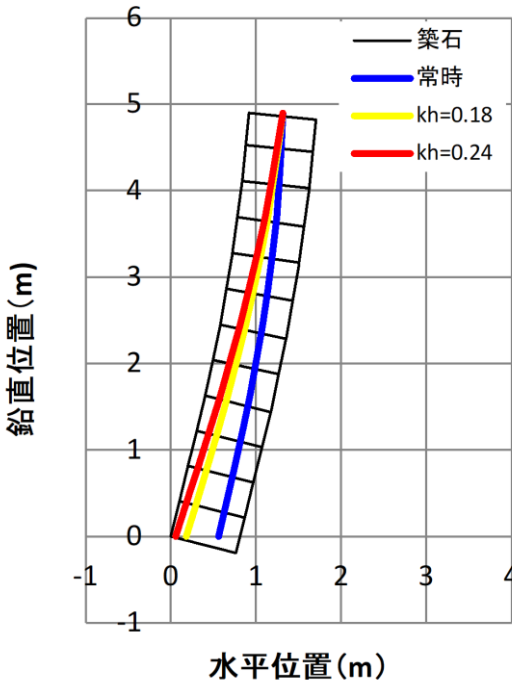
以下の復旧断面を、累積示力線法で安定計算を行った結果、大地震でも OK となる。

表：評価結果一覽表

番号	名 称	石垣勾配	石垣 高さ (m)	ソリの 有無	築石控 (m)	築石の定数			栗石の定数			崩落 有無	示力線位置 (m)		
						単位体積重量	底面摩擦角	背面摩擦角	単位体積重量	内部摩擦角	粘着力		常時	中地震	大地震
						(kN/m3)	(°)	(°)	(kN/m3)	(°)	(kN/m2)				
10	玉泉院丸南西石垣	1:0.19	4.90	有	0.79	22.7	45	44.2	19.2 試験値 R7	44.2 試験値 R7	8.9 試験値 R7	無	0.56 OK	0.18 OK	0.05 OK

※中地震(中規模地震動):供用期間中に1~2度程度発生する一般的な地震動

大地震(大規模地震動):発生率は低いが直下またはプレート境界で発生する地震を想定した高レベルの地震動

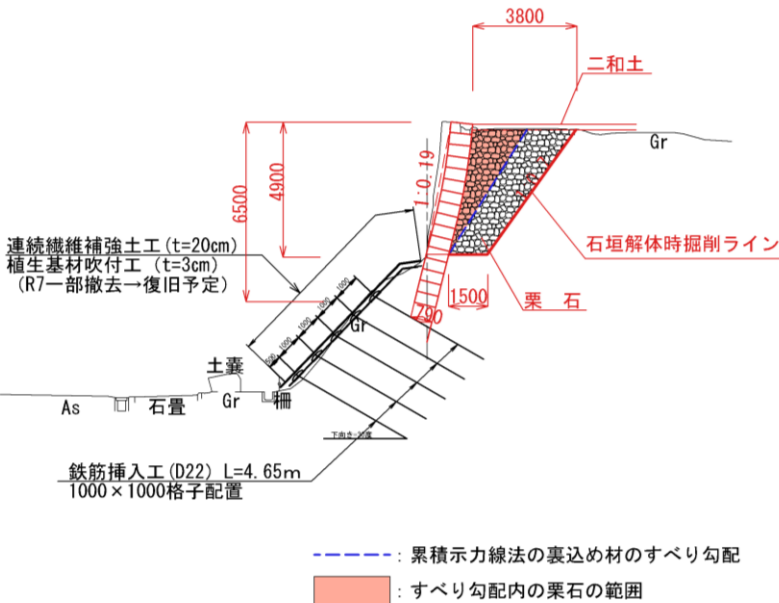


図：累積示力線法(勾配 1:0.19)

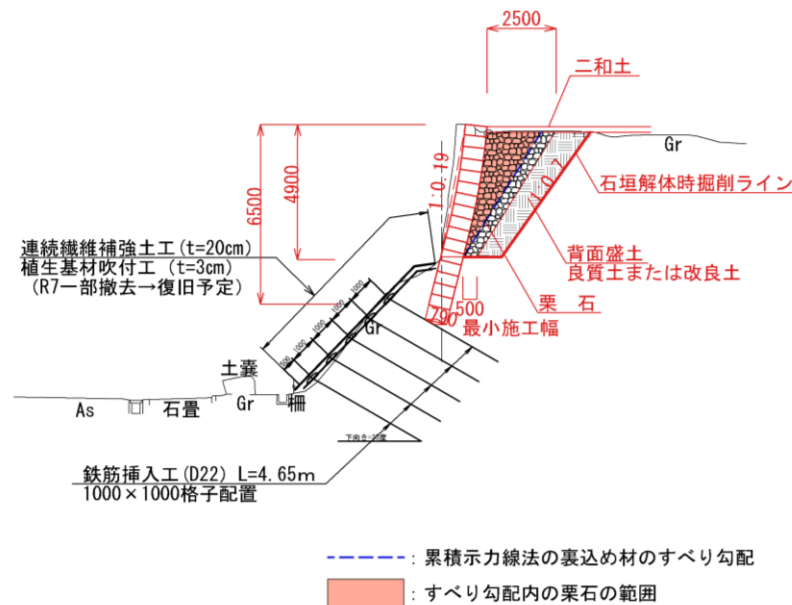
復旧設計断面の考え方

- ・石垣勾配は、1:0.12 から 1:0.19 に修正する。
- ・栗石については、平成19年の栗石施工範囲を改め、上部2500mm、下部500mmの範囲を栗石とし、背面側は良質土又は改良土で施工する。
- ・栗石上部には、雨水が浸透しないように二和土を施工する。

【設計案】



【改良設計案】



令和8年度の作業内容及びスケジュール（案）について

【資料】

【金沢城公園】

- 令和7年度に解体及び埋蔵文化財調査が完了した⑮本丸南石垣、⑳石川前土橋石垣、⑩玉泉院丸南西石垣で、石垣の積直し工事に着手する。
- ⑬玉泉院丸南石垣、⑯本丸北石垣では、令和7年度に引き続き解体及び埋蔵文化財調査を実施する。
- 変形が顕著な⑦御居間先下・⑧庭籠下石垣では、令和7年度に引き続き、上面遺構の埋蔵文化財調査を実施する。

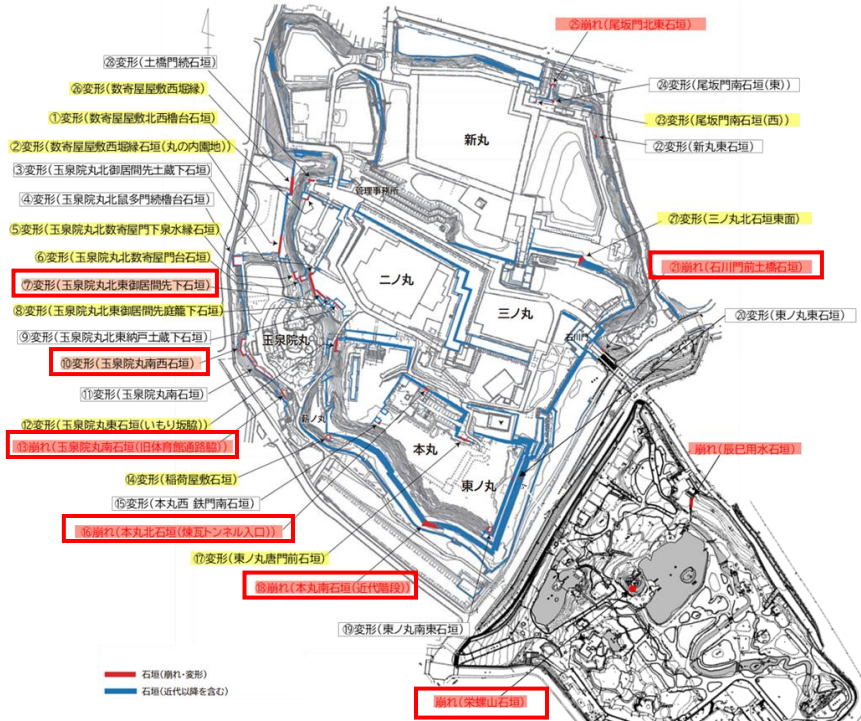
【兼六園】

- 栄螺山石垣では、令和7年度に引き続き解体及び埋蔵文化財調査を実施する。

【R8工程表】

名称	番号	石垣名称	被災区分	R8予定														
				4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
金沢城公園	⑮	本丸南石垣	崩れ															
	㉑	石川門前土橋石垣	崩れ															
	⑩	玉泉院丸南西石垣	変形 (前倒れ)															
	⑬	玉泉院丸南石垣	崩れ															
	⑯	本丸北石垣	崩れ															
	⑦⑧	御居間先下・庭籠下石垣	変形 (前倒れ)															
兼六園		栄螺山石垣	崩れ															

【作業予定箇所】



令和8年度作業対象石垣