

重要文化財東十八間櫓・北十八間櫓・五間櫓下石垣(17面)

【2021令和3年度 文化財修復検討委員会】

- ⇒崩壊・変状度合が著しく、変状部を残した状態で重要文化財建造物を復旧できないため、復旧措置として「解体工法」を選択・検討する。

石垣解体範囲検討のための復旧勾配基準設定案の承認

⇒石垣天端部の崩壊・変状が著しいため、重要文化財建造物の位置を手掛かりに旧勾配基準を設定し、石垣復旧勾配から解体範囲を検討する。

- ・(10/18)解体修理案の承認
- ・(2/2)石垣基礎診断の報告⇒継続審議

- ・(6/3) 検証した基礎診断結果に基づき修理方針を検討

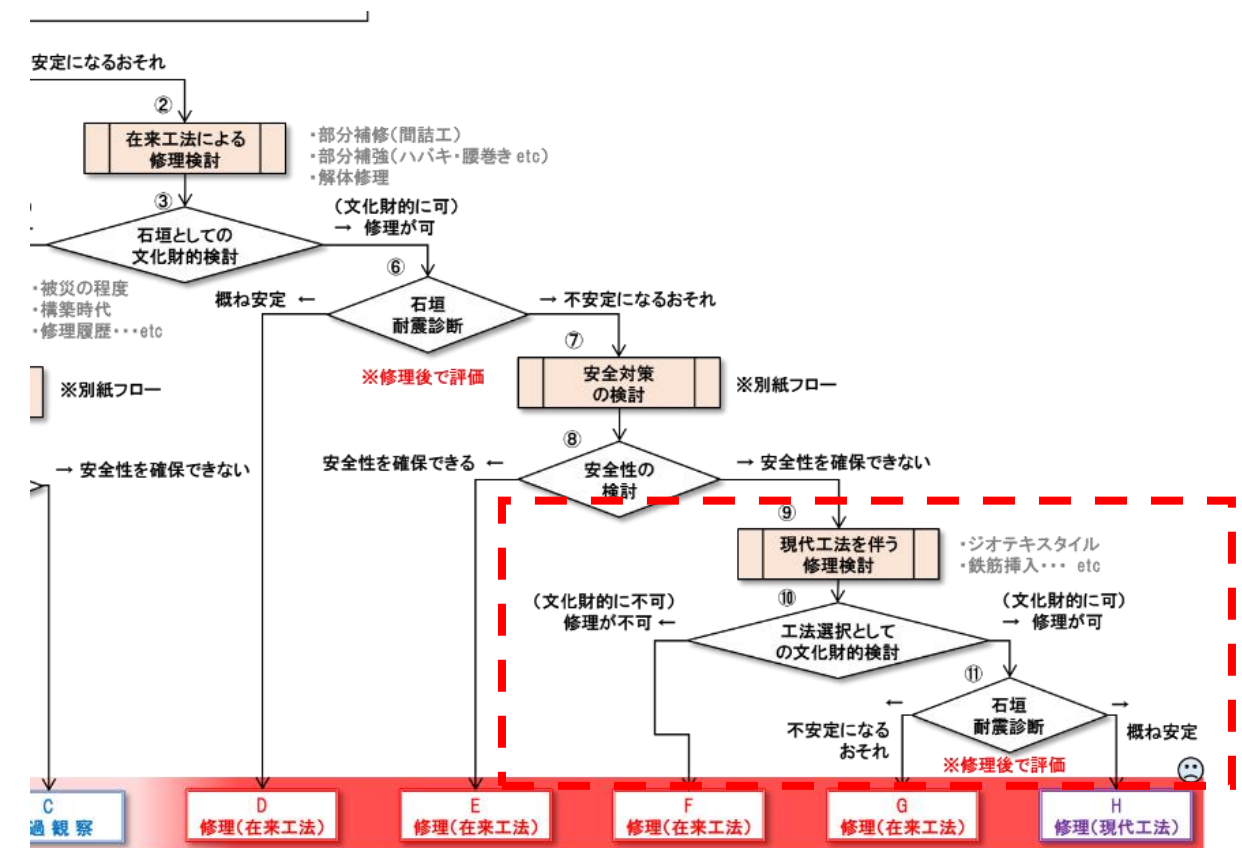
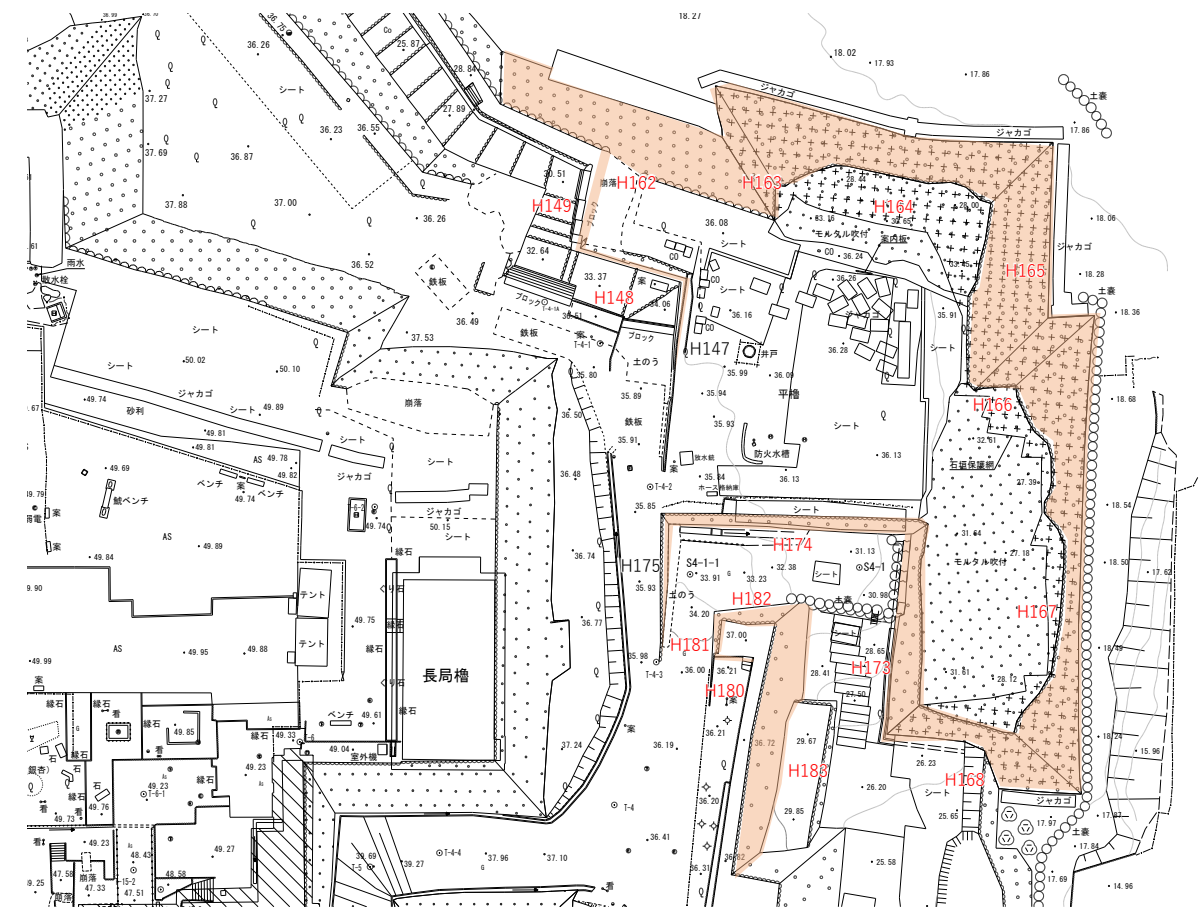
⇒石垣外部の安全対策の検討は行わない。

- (9/22)石垣基礎診断結果の報告(再提示)

⇒耐震診断結果において、C判定となった石垣については現代工法を伴う修理検討を行う。

1. 石垣群C、Dにおける、石垣復旧措置(案)【審議】

2. H162石垣下のコンクリート補強の調査結果について【報告】



石垣の修理検討フロー（※一部抜粋）

耐震診断結果一覧（崩落）

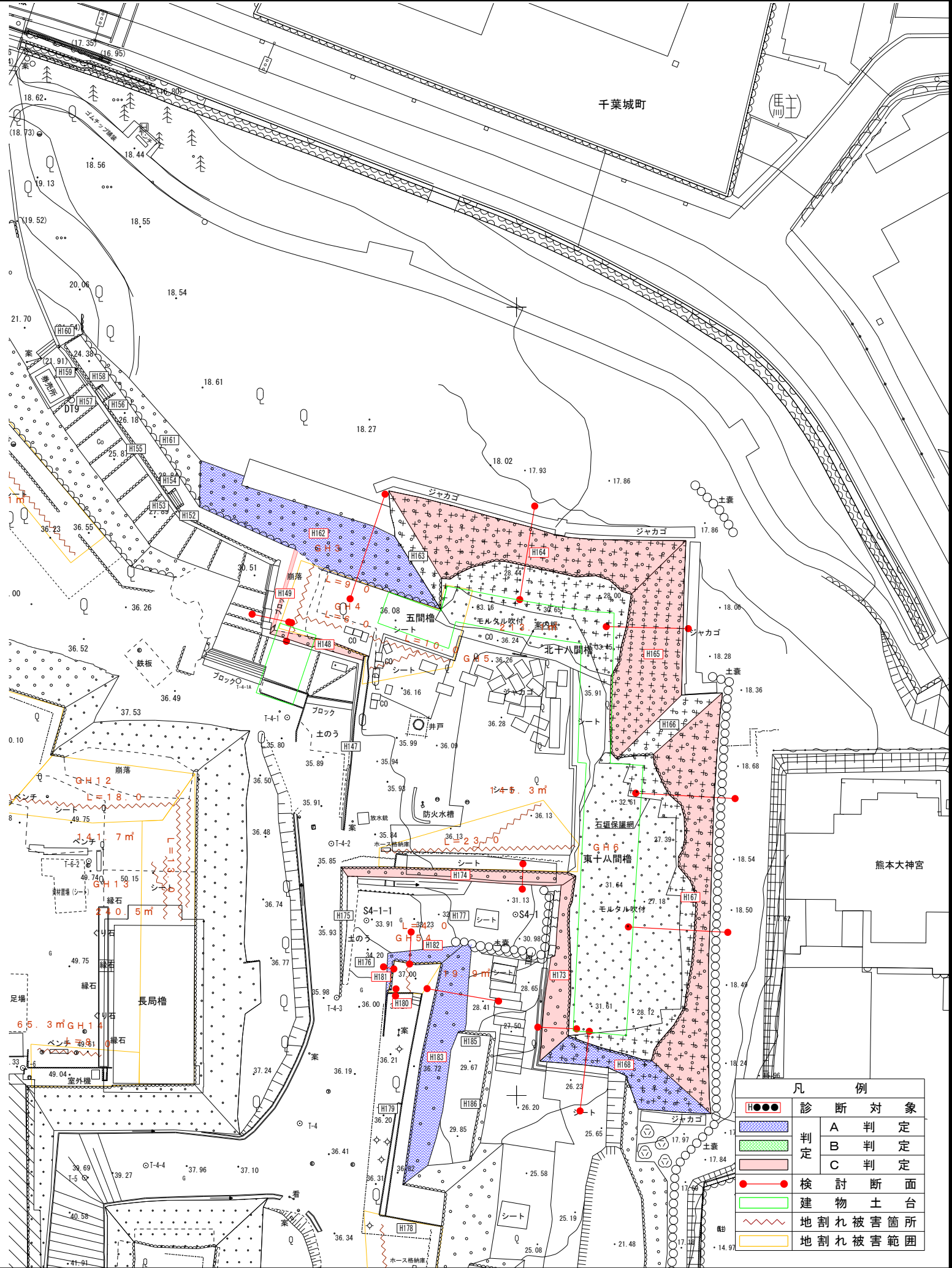
石垣 番号	石垣の取り扱い		①現状での診断									⑥在来での診断				
	被災 状況	取扱	常時/ 地震時 (中/大)	判定項目			総合判定	常時/ 地震時 (中/大)	判定項目			総合判定				
				示力線		円弧すべり 安全率			示力線		円弧すべり 安全率					
				転倒安全率	すべり安全率				転倒安全率	すべり安全率						
H148	崩落	修理検討	常時 中規模 大規模	- - -	- - -	-	-	常時 中規模 大規模	NG NG NG	OK OK OK	常時：OK 地震時：OK	C				
H149	崩落	修理検討	常時 中規模 大規模	- - -	- - -	-	-	常時 中規模 大規模	OK NG NG	OK OK OK	-	C				
H164	崩落	修理検討	常時 中規模 大規模	- - -	- - -	-	-	常時 中規模 大規模	OK OK NG	OK OK OK	-	C				
H165	崩落	修理検討	常時 中規模 大規模	- - -	- - -	-	-	常時 中規模 大規模	OK OK NG	OK OK OK	-	C				
H167 No.23	崩落	修理検討	常時 中規模 大規模	- - -	- - -	-	-	常時 中規模 大規模	OK NG NG	OK OK OK	-	C				
H167 No.40	崩落	修理検討	常時 中規模 大規模	- - -	- - -	-	-	常時 中規模 大規模	NG NG NG	OK OK NG	-	C				
H168	崩落	修理検討	常時 中規模 大規模	- - -	- - -	-	-	常時 中規模 大規模	OK OK OK	OK OK OK	-	A				
H173	崩落	修理検討	常時 中規模 大規模	- - -	- - -	-	-	常時 中規模 大規模	OK NG NG	OK OK OK	-	C				
H174	変状 (一部崩落)	修理検討	常時 中規模 大規模	- - -	- - -	-	-	常時 中規模 大規模	OK OK NG	OK OK OK	-	C				

耐震診断結果一覧（変状）

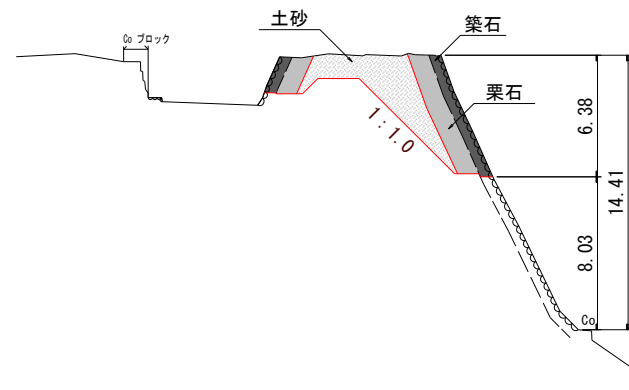
石垣 番号	石垣の取り扱い		①現状での診断								⑥在来での診断							
	被災 状況	取扱	常時/ 地震時 (中/大)	判定項目			総合判定	常時/ 地震時 (中/大)	判定項目			総合判定						
				示力線		円弧すべり 安全率			示力線		円弧すべり 安全率							
				転倒安全率	すべり安全率				転倒安全率	すべり安全率								
H162	変状	修理検討	常時	OK	OK	-	C	常時	OK	OK	-	A						
			中規模	NG	OK			中規模	OK	OK								
			大規模	NG	OK			大規模	OK	OK								
H180	変状	修理検討	常時	-	OK	-	A	常時	-	OK	-	A						
			中規模	-	OK			中規模	-	OK								
			大規模	-	OK			大規模	-	OK								
H181	変状	修理検討	常時	OK	OK	-	A	常時	OK	OK	-	A						
			中規模	OK	OK			中規模	OK	OK								
			大規模	OK	OK			大規模	OK	OK								
H182	変状	修理検討	常時	OK	OK	-	A	常時	OK	OK	-	A						
			中規模	OK	OK			中規模	OK	OK								
			大規模	OK	OK			大規模	OK	OK								
H183	変状	修理検討	常時	OK	OK	-	C	常時	OK	OK	-	A						
			中規模	OK	OK			中規模	OK	OK								
			大規模	NG	OK			大規模	OK	OK								

結果総括

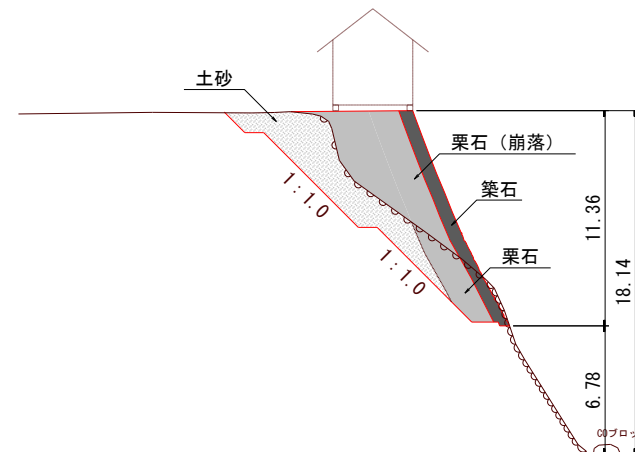
- ・変状している石垣を対象として「①現状での診断」を実施した。
- ・その結果、H180,181,182がA判定、H162,H183がC判定となった。
- ・H180,181,182がA判定であるものの、大きく変状していることは明らかであり、在来工法による修理が必要であると考えられる。
- ・そのため、全ての石垣に対し、「⑥在来工法による修理時での診断」を実施した。
- ・その結果、H162,168,180,181,182,183がA判定、それ以外の石垣がC判定となった。
- ・今後A判定になった石垣については在来工法により修理を行い、C判定となった石垣については修理検討フロー「⑨現代工法を伴う修理検討」に移行し検討を行う。



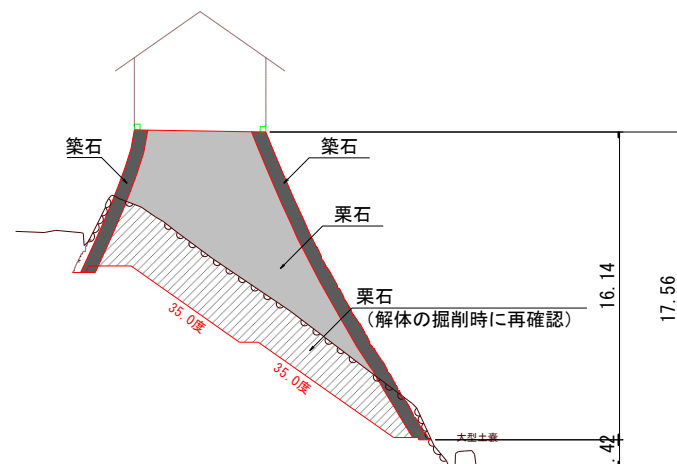
石垣群 A



石垣群 B

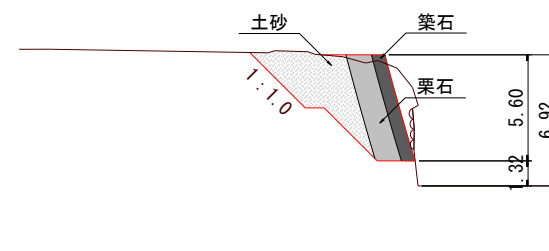


石垣群 C



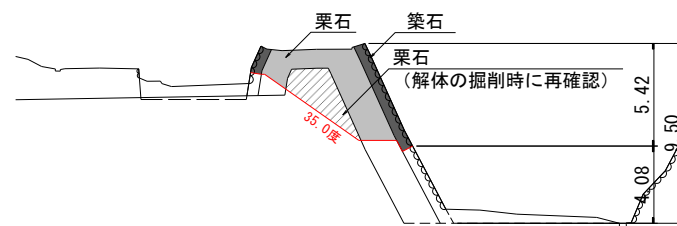
今回の対象

石垣群 D



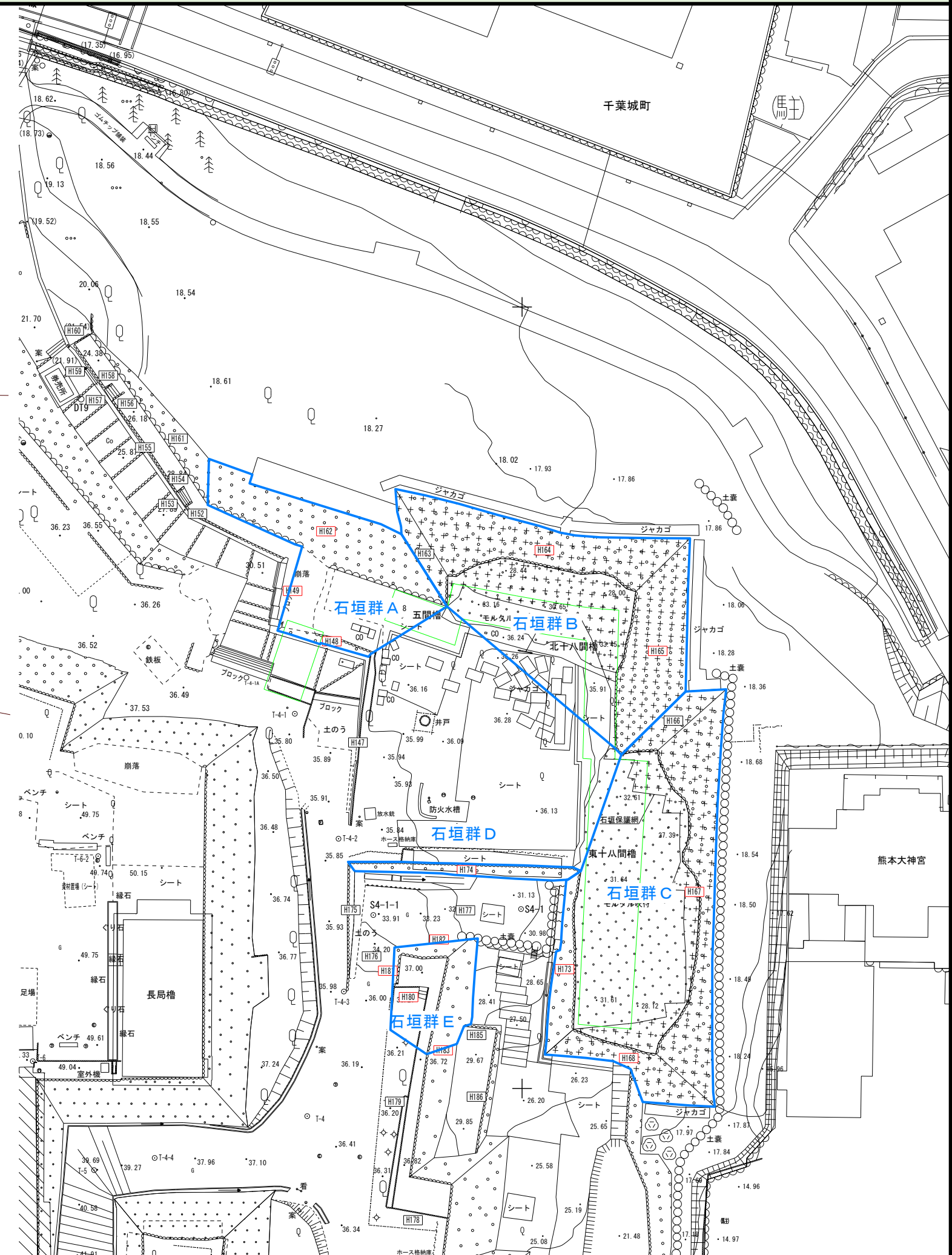
今回の対象

石垣群 E



【在来工法による修理】

令和4年度第2回 熊本城文化財修復検討委員会にて承認



現代工法の検討【石垣群D】

石垣群Dの現代工法の比較結果は下表のとおりである。なお、石垣群Dのうち最も条件が厳しい断面（H174-No.23）を選定し検討を行った。

裏込め復旧図				第1案				第2案					
				ジオテキスタイル工法				掘削範囲拡大+ジオテキスタイル工法					
説明				裏込めに補強材（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				安定性を満足するため、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。					
安定性の 照査				許容値	判定	計算結果			許容値	判定	計算結果		
	内的安定	常時		2.00	OK	安全率2.0を満足する必要敷設長が確保できる			2.00	OK	安全率2.0を満足する必要敷設長が確保できる		
		地震時		1.20	NG	安全率1.2を満足する必要敷設長が確保できない			1.20	OK	安全率1.2を満足する必要敷設長が確保できる		
	外的安定 滑動	常時		1.50	OK	1.597			1.50	OK	3.338		
		地震時		1.20	NG	0.938			1.20	OK	1.553		
	外的安定 転倒	常時 $e \leq L/6$	m	0.228	OK	-0.200			1.333	OK	-0.567		
		地震時 $e \leq L/3$	m	0.456	OK	0.378			2.667	OK	-0.092		
	外的安定 支持	常時		300	OK	119.841			300	OK	114.437		
地震時			900	OK	120.400			900	OK	112.788			
全体安定	常時		1.20	OK	1.457			1.20	OK	1.361			
	地震時		1.00	OK	1.313			1.00	OK	1.131			
文化財への 影響	外観への影響※			—	築石を固定する受圧板の有無による			—	築石を固定する受圧板の有無による				
	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。掘削範囲拡大により、遺構（裏込め・盛土）の掘削が必要。				
	可逆性			○	可逆性あり			○	可逆性あり				
施工性 その他問題点				×	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			×	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				
総合評価				遺構（裏込め・盛土）への影響は最低限であるが、安定性は確保できない。				遺構（裏込め・盛土）への影響は第1案と比較すると大きいが、遺構面への影響範囲は同じで安定性は確保できる。					

※受圧板の要否については検討中

現代工法の検討【石垣群C】

石垣群Cの現代工法の比較結果は下表のとおりである。なお、石垣群Cのうち最も条件が厳しい断面（H167-No.23）を選定し検討を行った。

裏込め復旧図				第1案				第2案				第3案				
				ジオテキスタイル工法				多数アンカー工法				掘削範囲拡大+大型ふとんかご+ジオテキスタイル工法				
説明				・ 裏込めに補強材（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 ・ 内定安定の照査において、想定されるすべり線より外側に必要定着長を確保した補強材を敷設する必要がある。石垣群Cは天端の幅が限定的であるため、必要な敷設長が確保できない（赤着色箇所）				・ 下記の手法により発生する引き抜き抵抗力で安定させる工法 ①上部：両面の壁面材をタイバーで連結したもの ②中部：タイバーとアンカープレートを連結したもの ③下部：タイバーとアンカーバーを連結したもの ※アンカープレートを設置するための十分な長さを確保できない箇所のみアンカーバーを適用				・ 上部は裏込めに補強材（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。 ・ 下部は第1案を踏まえてジオテキスタイルの敷設長さが天端幅に収まるように敷設高さ（約8.0m）を検討し、それ以下の部分をすべりが発生しない置き換え基礎とし、これを大型ふとんかご（内部栗石）とする工法。				
安定性の照査	内的安定	常時		許容値	判定	計算結果		許容値	判定	計算結果		許容値	判定	計算結果		
		地震時		2.00	NG	安全率2.0を満足する必要敷設長が確保できない						2.00	OK	安全率2.0を満足する必要敷設長が確保できる		
	外的安定 滑動	常時		1.20	NG	安全率1.2を満足する必要敷設長が確保できない		従来の多数アンカー式補強土壁は壁面材がコンクリートである。しかし、文化財的観点から完全に分断されることはない、かご枠による壁面材の採用を考えている。 おおよそ上記のような構造になると想定している。					1.20	OK	安全率1.2を満足する必要敷設長が確保できる	
		地震時		1.50	NG	0.329							1.50	OK	11.436	
	外的安定 転倒	常時 $e \leq L/6$	m	1.20	NG	0.221							1.20	OK	2.717	
		地震時 $e \leq L/3$	m	0.088	NG	5.360							0.933	OK	-1.975	
	外的安定 支持	常時		1.867	OK	-1.331							1.867	OK	-1.331	
		地震時		300	OK	161.900							300	OK	161.900	
全体安定	常時		900	OK	162.120							900	OK	162.120		
	地震時		1.20	OK	1.229							1.20	OK	1.229		
			1.00	OK	1.034						1.00	OK	1.034			
文化財への影響	外観への影響※			—	築石を固定する受圧板の有無による			—	築石を固定する受圧板の有無による			—	築石を固定する受圧板の有無による			
	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			×	多数アンカーを栗石層へ敷設することによる影響あり。地山へアンカーバーを施工するため遺構（裏込め・盛土）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。大型ふとんかご（段切り）を施工するため遺構（裏込め・盛土）への影響あり。			
	可逆性			○	可逆性あり			×	可逆性なし			×	可逆性なし			
施工性 その他問題点				×	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			×	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			×	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			
総合評価				遺構（裏込め・盛土）への影響は最低限であるが安定性は確保できない。				遺構（裏込め・盛土）への影響は第1案と比較すると大きいが安定性は確保できる。				遺構（裏込め・盛土）への影響は第1案と比較すると大きいが安定性は確保できる。				

※受圧板の要否については検討中

R3年度第3回委員会で千田委員から以下の指摘があり、H162下のコンクリート補強の対策を検討する。

資料 2-2-9 の中でH162 の五間櫓下石垣裾の昭和 34 年のコンクリート補強の図面が入っていた。これは石垣を押える機能があったと思うが、特別史跡として違和感を感じる。今であつたら違った形で裾を押えることを考えるのではないか。コンクリートが一部断裂しており、元々の設計値の役割を今後も果たしていけるかが心配。また、石垣を修理していく中で熊本城の特別史跡としての歴史的景観をどのように高めるか。石垣修理の方針と共に近代以降の補強施設を現状のままでいくのか、歴史的景観に配慮した形で改善がはかれるのか。検討して委員会に提案して欲しい。

現況の整理

コンクリート補強について

コンクリート補強の機能	石垣に変状、かみ合いの不良、間詰め石の抜けなど異常があり危険なため、変状部を押さえる目的で昭和34年に設置されたとみられる。
損傷状況	ひび割れ（5カ所）・剥離（4カ所）・鉄筋露出（2カ所）・豆板（14カ所）が確認された。
地震の影響	石垣変状箇所付近のコンクリートのひび割れ（幅14mm）が発生している。

コンクリート圧縮強度

測定方法	シュミットハンマーによる簡易測定を実施。
鉄筋コンクリート最低設計基準強度	21N/mm2 （道路土工擁壁工指針p72より）
測定結果について	次項に表を記載。 最低値と同程度か下回る値となった。

調査日時（2021年10月）



全体の状況写真

被災後写真（2021年6月）



〔出典：熊本城北十八間櫓・東十八間櫓台石垣復旧設計業務〕

被災前写真（2014年4月）



〔出典：北野博司委員〕

地震による損傷部

地震前

被災前写真（2011年8月）



〔出典：北野博司委員〕

地震後

被災後写真（2021年12月）



〔出典：熊本城北十八間櫓・東十八間櫓台石垣復旧設計業務委託〕

ひび割れ

被災後写真（2021年12月）



施工不良や環境、外力等によりひび割れが発生した状態。

剥離

被災後写真（2021年12月）



経年劣化等によりコンクリート表面がはがれた状態。

鉄筋露出

被災後写真（2021年12月）



鉄筋が錆びて膨張することによってコンクリートが剥落した状態。

豆板

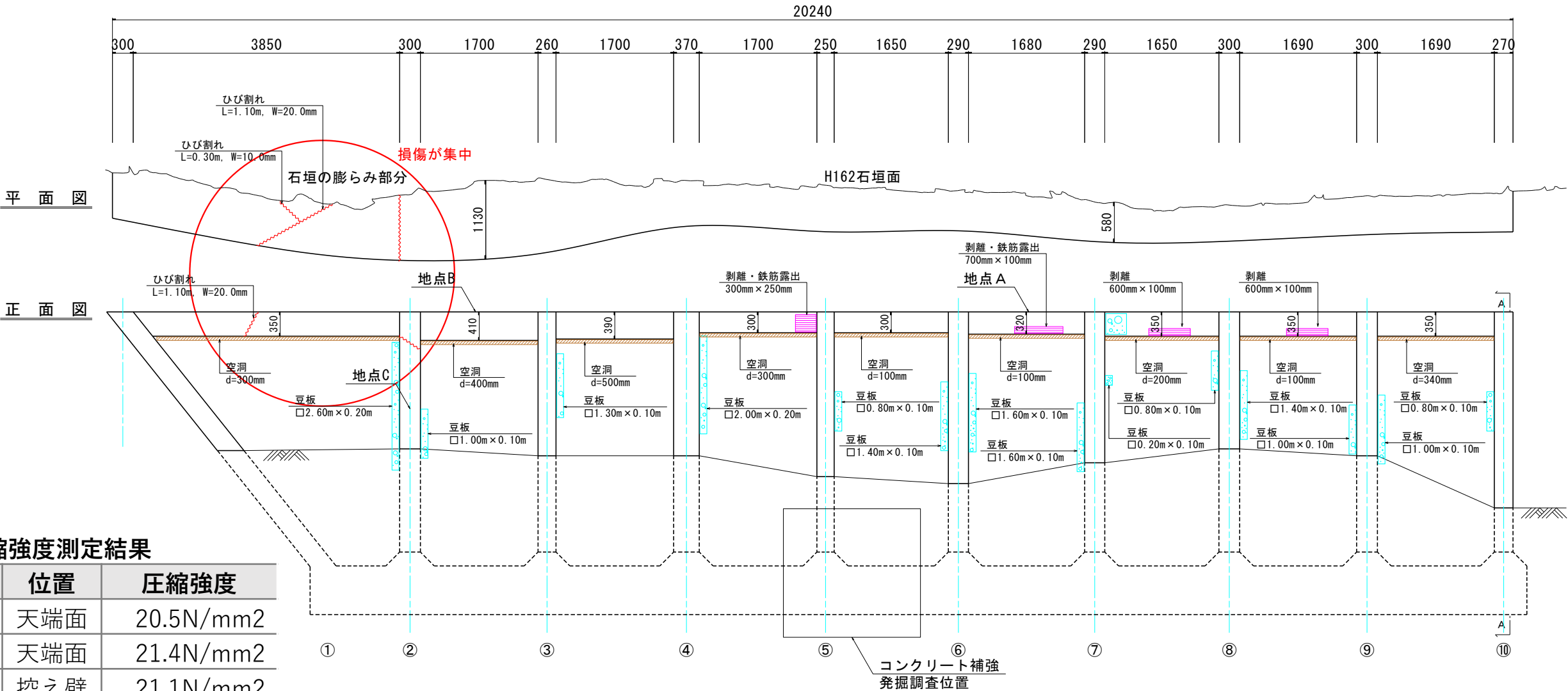
被災後写真（2021年12月）



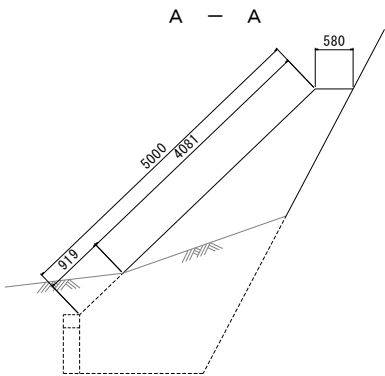
モルタルの充填不良によって粗骨材が多く集まり、空隙の多くなった状態。

〔出典：熊本城北十八間櫓・東十八間櫓台石垣復旧設計業務委託〕

損傷図



断面図



簡易圧縮強度測定結果

地点名	位置	圧縮強度
A	天端面	20.5N/mm2
B	天端面	21.4N/mm2
C	控え壁	21.1N/mm2

凡例	表示
ひびわれ	
剥離・鉄筋露出	
豆板	
その他	

コンクリート補強 発掘調査写真



評価・対策の方針

評価	コンクリート自体の強度はそれほど低くはないが、損傷図赤丸の膨らみ部分については膨らみが大きいこと・コンクリート厚が大きくなっていること・ひび割れが集中していることから石垣からの荷重が大きいと想定される。 今回の熊本地震で石垣からの荷重が大きく加わり損傷が発生しているため、放置した場合、損傷がさらに進行することが想定される。 また、コンクリート補強を外すと石垣が不安定化する恐れがあるため、コンクリート補強を外さない手法での検討が必要である。
対策の方針	評価の結果から、損傷箇所の修繕及び進行防止を目的として対策を検討する。