

■対象石垣

重要文化財東十八間櫓・北十八間櫓・五間櫓下石垣(17面)

■これまでの経緯

【2021令和3年度 文化財修復検討委員会】

- ・(5/31)北十八間櫓ほか8棟の耐震診断結果の報告、耐震補強案の承認
- ・(8/6)石垣復旧工法案の承認

⇒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復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

【2022令和4年度 文化財修復検討委員会】

- ・(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。

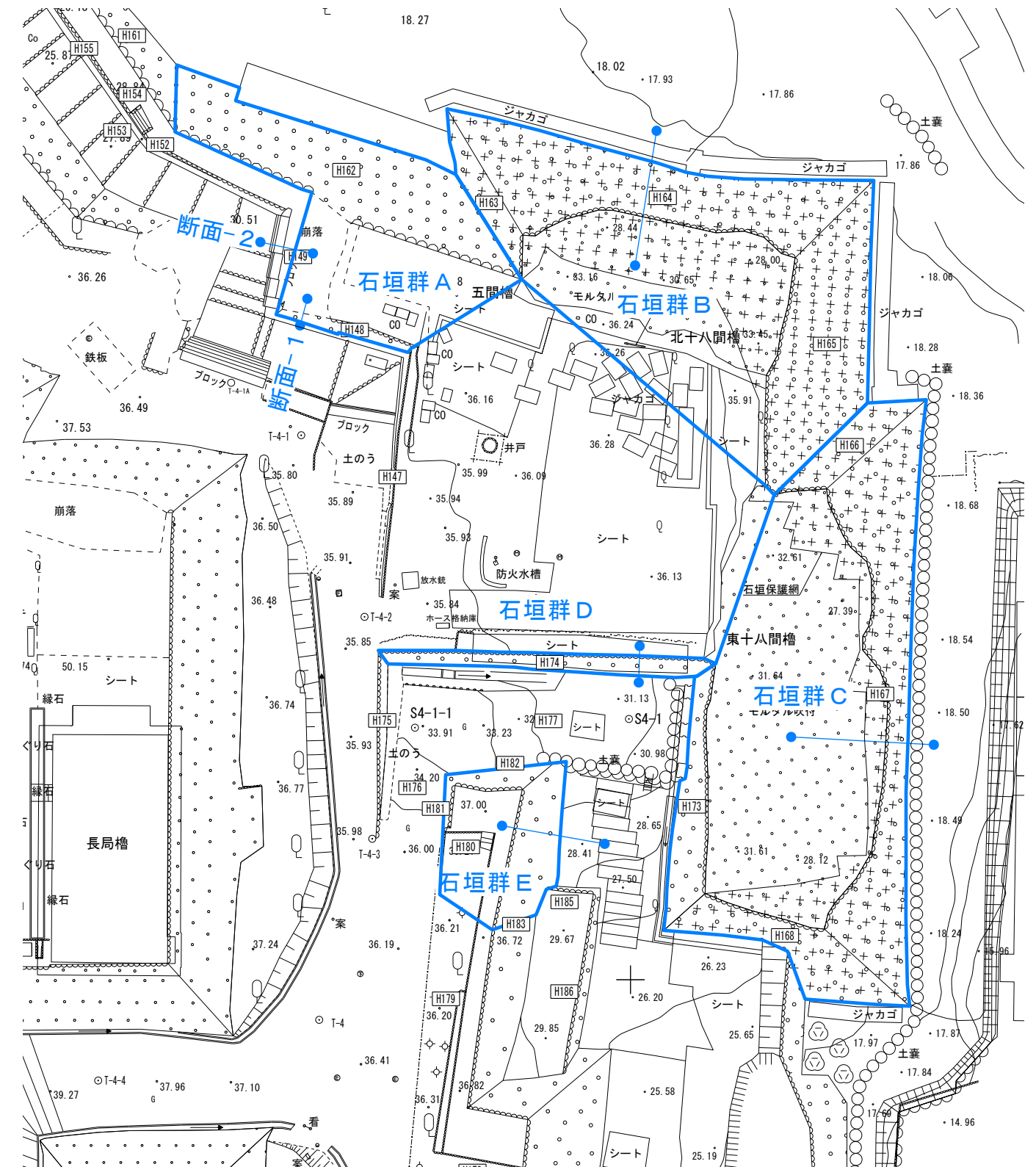
A判定となった石垣群Eについては、在来工法による修理を行う。

- ・(2/1)石垣群C、Dにおける石垣復旧措置(案)の審議

H162石垣下のコンクリート補強の調査結果の報告

⇒石垣群Dにおいては、掘削範囲拡大+ジオテキスタイル工法で承認。

H162石垣下のコンクリートについては、損傷箇所の修繕及び進行防止を目的とした検討を行う。



■今回の委員会での報告・審議事項

1. 石垣群A、B、Cの石垣復旧措置について【審議】
2. H162石垣下コンクリートの修繕対策について【審議】

現代工法の検討 (1) 石垣群C H166,167,168,173

裏込め復旧図				第1案				第2案				第3案			
				ジオグリッド				ジオグリッド+鉄筋挿入				掘削範囲拡大+ジオグリッド			
説明				・裏込めに補強材（ジオグリッド）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				・石垣解体に伴う床掘範囲のみに補強材（ジオグリッド）を敷設 し、不足抵抗力を補う対策として鉄筋挿入工と連結する案。 ・延長2.0m/2.5m、削孔径90mm、水平打設間隔@1.5m				・安定に必要な補強材（ジオグリッド）の敷設長が確保できるま で、掘削範囲を拡大する案。（約6.0m拡大）			
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を満足する敷設長を確保できない		第1案の不足抵抗力を補う対策(鉄筋)を実施		2.00	OK	安全率2.0を満足する敷設長を確保できる			
	外的安定 滑動	常時		1.20	NG	安全率1.2を満足する敷設長を確保できない		第1案の不足抵抗力を補う対策(鉄筋)を実施		1.20	OK	安全率1.2を満足する敷設長を確保できる			
		地震時		1.50	OK	土圧が作用しないため算出不可		1.50	OK	土圧が作用しないため算出不可		1.50	OK	3.682	
	外的安定 転倒	常時 $e \leq L/6$	m	1.20	OK	2.610		1.20	OK	2.610		1.20	OK	1.463	
		地震時 $e \leq L/3$	m	0.505	OK	8.935		0.505	OK	8.935		1.083	OK	-3.282	
	外的安定 支持	常時		0.336	OK	7.158		0.336	OK	7.158		2.167	OK	-1.624	
		地震時		-	-	1294.20kN/m2		-	-	1294.20kN/m2		-	-	316.098kN/m2	
文化財への 影響	外観への影響			△	受圧板の設置		△	受圧板の設置		△	受圧板の設置		△	受圧板の設置	
	材料・内部への影響			△	補強材を裏込材に敷設する		△ ×	補強材を裏込材に敷設する 遺構(裏込め等)へ鉄筋挿入工を施工する		△ ×	補強材を裏込材に敷設する 解体範囲拡大により遺構(裏込め等)の掘削が生じる				
	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				×	栗石復旧を補強材敷設間隔に合わせる		×	栗石復旧を補強材敷設間隔に合わせる		×	栗石復旧を補強材敷設間隔に合わせる				
						-	鉄筋挿入の事前引抜試験が必要								
						-	鉄筋挿入工打設機械の足場が必要								
						-	地山の状況によって鉄筋挿入の長さが変わる								
						-	解体時の地山の状況で可能な場合は段切りを行う								

・安定照査を満足する案は第2案・第3案となるが、石垣背面の内部構造については未だ不明な点が多く工法決定のための情報が少ない。
・そのため、現段階では遺構保護の観点から最小の解体範囲（1案・2案の床堀範囲）で解体工事に着手し、解体調査により得られた情報を踏まえた段階で最終的な修理工法を検討したい。

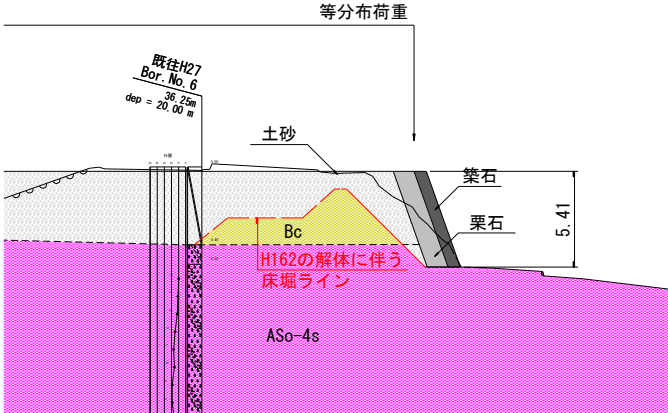
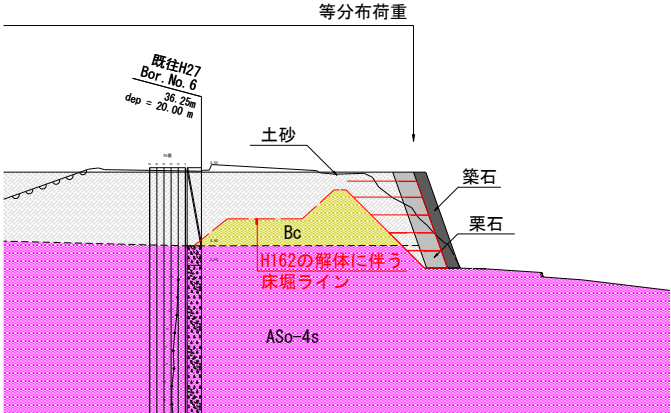
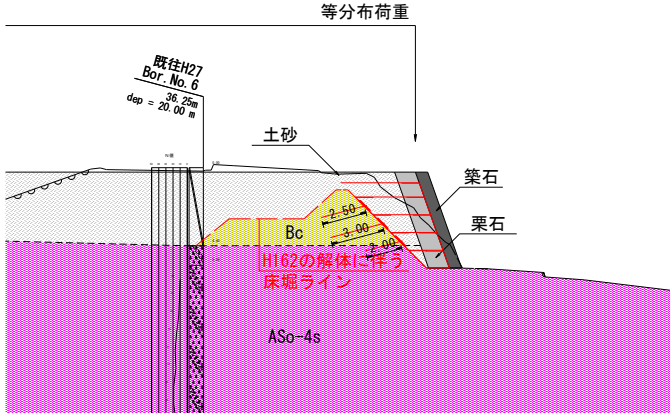
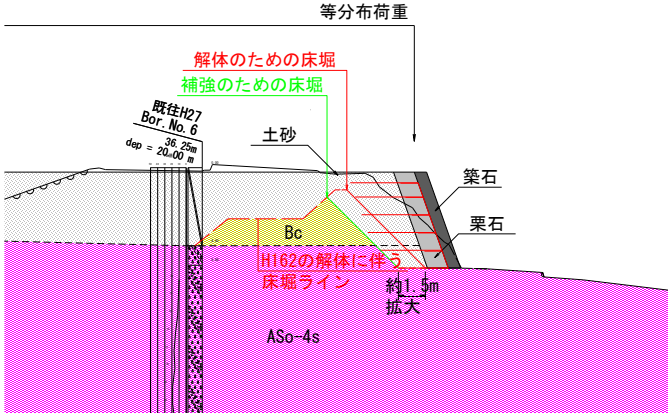
現代工法の検討 (2) 石垣群B H163,164,165

裏込め復旧図				第1案				第2案				第3案						
				ジオグリッド				ジオグリッド+鉄筋挿入				掘削範囲拡大+ジオグリッド						
説明				・石垣解体に伴う床堀範囲において、補強材（ジオグリッド）を敷設し、その補強材の引抜抵抗力により安定させる案				・石垣解体に伴う床堀範囲のみに補強材（ジオグリッド）を敷設し、不足抵抗力を補う対策として鉄筋挿入工と連結する案。 ・延長2.0m、削孔径φ90mm、水平打設間隔@1.5m				・安定に必要な補強材（ジオグリッド）の敷設長が確保できるまで、掘削範囲を拡大する案。（約3.9m拡大）						
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を満足する敷設長を確保できない			第1案の不足抵抗力を補う対策(鉄筋)を実施			2.00	OK	安全率2.0を満足する敷設長を確保できる				
	外的安定 滑動	常時		1.20	NG	安全率1.2を満足する敷設長を確保できない			第1案の不足抵抗力を補う対策(鉄筋)を実施			1.20	OK	安全率1.2を満足する敷設長を確保できる				
		地震時		1.50	OK	土圧が作用しないため算出不可			1.50	OK	土圧が作用しないため算出不可			1.50	OK	2.941		
	外的安定 転倒	常時 e ≤ L/6	m	1.20	OK	2.80			1.20	OK	2.80			1.20	OK	1.323		
		地震時 e ≤ L/3	m	0.579	OK	6.261			0.579	OK	6.237			0.750	OK	-1.641		
	外的安定 支持	常時		0.386	OK	5.004			0.386	OK	4.958			1.500	OK	-0.487		
		地震時		-	-	737.55kN/m2			-	-	863.13kN/m2			-	-	228.366kN/m2		
文化財への 影響	外観への影響			△	受圧板の設置			△	受圧板の設置			△	受圧板の設置					
	材料・内部への影響			△	補強材を裏込材に敷設する			△	補強材を裏込材に敷設する			△	補強材を裏込材に敷設する					
	可逆性			×	遺構(裏込め等)へ鉄筋挿入工を施工する			×	遺構(裏込め等)へ鉄筋挿入工を施工する			×	解体範囲拡大により遺構(裏込め等)の掘削が生じる					
施工性 その他問題点				○	可逆性あり			×	可逆性なし			×	可逆性なし					
				×	栗石復旧を補強材敷設間隔に合わせる			×	栗石復旧を補強材敷設間隔に合わせる			×	栗石復旧を補強材敷設間隔に合わせる					
								-	鉄筋挿入の事前引抜試験が必要									
								-	鉄筋挿入工打設機械の足場が必要									

- ・安定照査を満足する案は第2案・第3案となるが、石垣背面の内部構造については未だ不明な点が多く工法決定のための情報が少ない。
- ・そのため、現段階では遺構保護の観点から最小の解体範囲（1案・2案の床堀範囲）で解体工事に着手し、解体調査により得られた情報を踏まえた段階で最終的な修理工法を検討したい。

裏込め復旧図				第1案			第2案			第3案		
				ジオグリッド			ジオグリッド+鉄筋挿入			掘削範囲拡大+ジオグリッド		
説明				・石垣解体に伴う床堀範囲において、補強材（ジオグリッド）を敷設し、その補強材の引抜抵抗力により安定させる案								
安定性の 照査	内的安定	常時		2.00	OK	必要敷設長が確保できる						
		地震時		1.20	OK	必要敷設長が確保できる						
	外的安定 滑動	常時		1.50	OK	土圧が作用しないため算出不可						
		地震時		1.20	OK	2.69						
	外的安定 転倒	常時 $e \leq L/6$	m	0.741	OK	1.811						
		地震時 $e \leq L/3$	m	0.494	OK	1.457						
	外的安定 支持	常時		-	-	126.00kN/m2						
		地震時		-	-	125.82kN/m2						
全体安定	常時		1.20	OK	1.697							
	地震時		1.00	OK	1.233							
文化財への 影響	外観への影響			△		受圧板の設置						
	材料・内部への影響			△		補強材を裏込材に敷設する						
	可逆性			○		可逆性あり						
施工性 その他問題点				×		栗石復旧を補強材敷設間隔に合わせる						

現代工法の検討 （4）石垣群A 断面2 H149

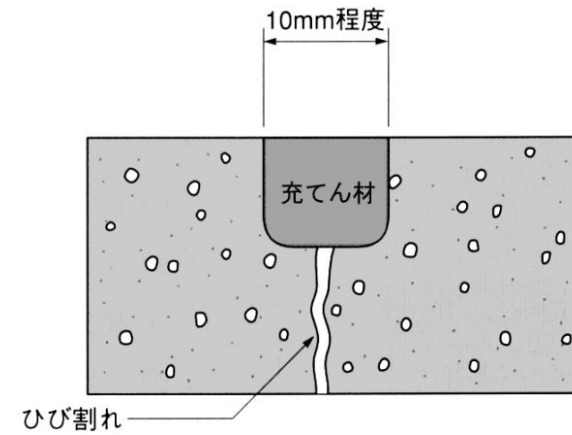
裏込め復旧図				第1案				第2案				第3案					
				ジオグリッド				ジオグリッド+鉄筋挿入				掘削範囲拡大+ジオグリッド					
																	
説明				・石垣解体に伴う床堀範囲において、補強材（ジオグリッド）を敷設し、その補強材の引抜抵抗力により安定させる案				・石垣解体に伴う床堀範囲のみに補強材（ジオグリッド）を敷設し、不足抵抗力を補う対策として鉄筋挿入工と連結する案。 ・鉄筋挿入の諸元： 延長2.5m/3.0m/2.0m、削孔径φ90mm、水平打設間隔@1.5m				・安定に必要な補強材（ジオグリッド）の敷設長が確保できるまで、掘削範囲を拡大する案。（約1.5m拡大）					
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	OK	安全率2.0を満足する敷設長を確保できる		第1案と同じ		2.00		OK	安全率2.0を満足する敷設長を確保できる				
	外的安定 滑動	常時		1.20	NG	安全率1.2を満足する敷設長を確保できない		第1案の不足抵抗力を補う対策(鉄筋)を実施		1.20		OK	安全率1.2を満足する敷設長を確保できる				
		地震時		1.50	OK	土圧が作用しないため算出不可		1.50		OK	土圧が作用しないため算出不可		1.50		OK	7.689	
	外的安定 転倒	常時 e≦L/6	m	1.20	OK	2.660		1.20		OK	2.660		1.20		OK	2.607	
		地震時 e≦L/3	m	0.642	OK	2.910		0.642		OK	2.910		0.633		OK	-0.828	
	外的安定 支持	常時		0.428	OK	2.304		0.428		OK	2.304		1.267		OK	-0.406	
		地震時		-	-	231.99kN/m2		-		-	231.99kN/m2		-		-	92.252kN/m2	
文化財への 影響	外観への影響			-	-	242.92kN/m2		-		-	242.92kN/m2		-		-	89.852kN/m2	
	材料・内部への影響			1.20	OK	1.308		1.20		OK	1.308		1.20		OK	1.310	
	可逆性			1.00	OK	1.015		1.00		OK	1.015		1.00		OK	1.034	
施工性 その他問題点				×	栗石復旧を補強材敷設間隔に合わせる		×		栗石復旧を補強材敷設間隔に合わせる		×		栗石復旧を補強材敷設間隔に合わせる				
							-		鉄筋挿入の事前引抜試験が必要								
							-		鉄筋挿入工打設機械の足場が必要								

・安定照査を満足する案は第2案・第3案となるが、石垣背面の内部構造については未だ不明な点が多く工法決定のための情報が少ない。
・そのため、現段階では遺構保護の観点から最小の解体範囲（1案・2案の床堀範囲）で解体工事に着手し、解体調査により得られた情報を踏まえた段階で最終的な修理工法を検討したい。

(1) 対策の基本方針

(2) 修繕

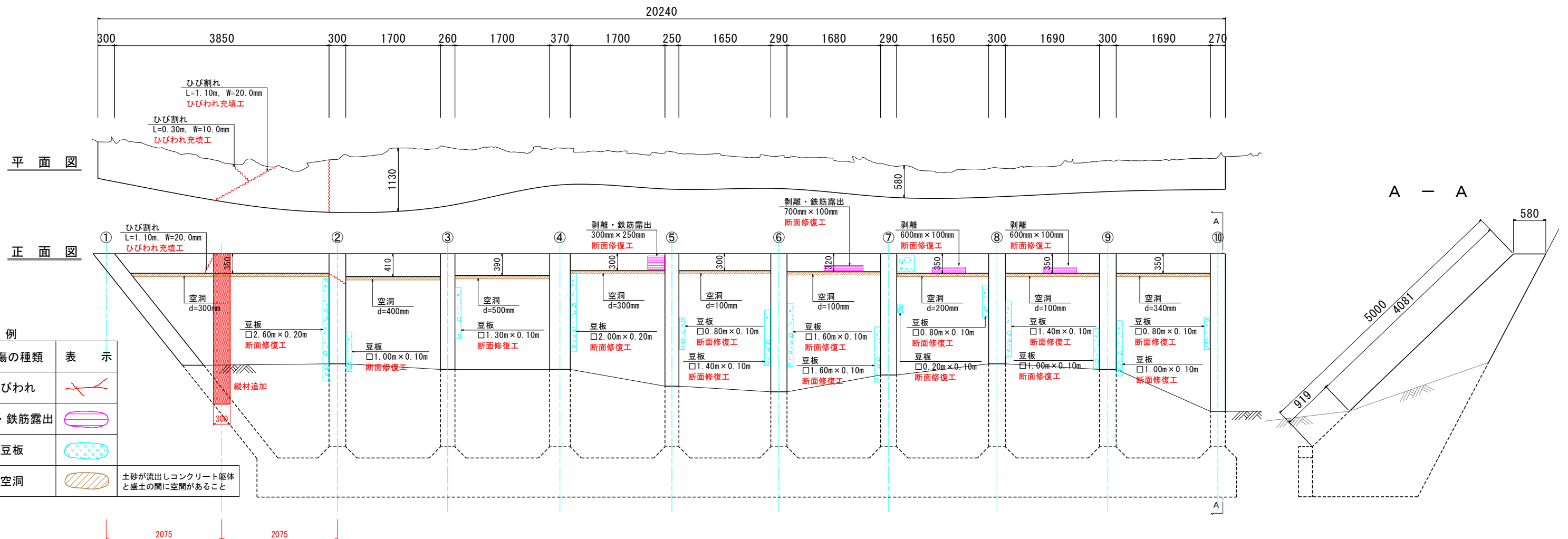
損傷の種類	修繕工法	内容
ひびわれ	ひびわれ充填工	ひびわれに沿ってU型にコンクリートをカットした後、その部分に補修材（シーリング材等）を充填する工法
	部材の追加	横材のスパンが大きい区間①～②の中央部に他の縦材と同等の部材を追加する。
剥離・鉄筋露出・豆板(ジャンカ)	断面修復工	劣化したコンクリートを除去した後に、除去した断面をセメント系材料で充填する工法
空洞	土砂が流出しコンクリート躯体と盛土の間に空洞がある状況。上記修繕と同時期に盛土材の充填を実施する。	



ひびわれ充填工 イメージ図

断面修復工 イメージ図

出典：国土交通省中部地方整備局HP



H162 下コンクリートの修繕対策について

(3) 修景
修景案として下記の「自然色防草土吹付工法」、「客土吹付+張芝工法」を提示する。

	現在	第1案：自然色防草土吹付工法	第2案：客土吹付+張芝工法
概要	—	コンクリート躯体部及び盛土部を対象に自然色防草土を吹き付けることで強固で耐久性のある遮根層を形成する。この吹付材の材料はシラス、竹繊維、にがり成分である。勾配は既存のコンクリート補強の縦材と同じ1：1.0である。	コンクリート躯体部及び盛土部を対象に合成繊維等を混合した客土を吹き付け、1：1.0ののり面を形成したのち、張芝で全体を被覆する。
イメージ図			
			
景観	—	土系の色（茶～黄色）しか選択できない。	周囲の芝生と調和する。
維持管理性	—	城内での事例があり、維持管理は行っていない。	城内での事例があり、維持管理（除草作業）を行っている。