## 宇土櫓続櫓下石垣 復旧措置(案)について

## ■対象石垣

重要文化財宇土櫓続櫓下石垣

## ■これまでの経緯

2018平成30年度 ····

### 【2021令和3年度 文化財修復検討委員会】

- ・(5/31)外部補強(石垣前面押え補強)+西面解体修理案で検討を進めることで承認
- ・(10/18)平左衛門丸発掘調査成果の報告
- ・(2/2) 石垣前面押さえ補強案の提示・支持対策の必要性承認

空堀発掘調査範囲の承認

### 【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ことで承認

### 空堀確認調査現地視察

・(9/22)続櫓周辺石垣修理履歴・空堀発掘調査成果・続櫓下石垣非破壊調査結果の報告

石垣前面押さえ補強案・支持対策案の提示⇒継続審議

・(2/1)石垣前面押さえ補強の検討まとめ

改めて大規模解体修理案を含めた比較検討を行い、工法選択する

## ■今回の委員会での報告・審議事項

1. これまでの経緯詳細
 2. 石垣復旧措置の検討(解体修理案)
 3. 石垣耐震診断結果及び安全対策の検討【報告】
 4. 現代工法を伴う修理検討(解体修理案)
 5. H443石垣の復旧措置について
 6. 今後のスケジュールについて



# 宇土櫓続櫓下石垣 1. これまでの経緯詳細







## 宇土櫓続櫓下石垣 2. 復旧措置の検討 H446(1/2)

復旧勾配の設定



資料2-5

H446石垣について、 被災前の平面図および立面図を見比べると 左端から右端にかけて、以下のことが 読み取れる。 ・石垣の高さは大きく変化していない ・一方、平面図では徐々に幅が狭くなっている 以上のことから、左端から右端にかけて

石垣の勾配は徐々に急勾配になる。

隣接した石垣の立面図勾配からも勾配が 変化していることが読み取れる。	50.0
	45.0
3配① H443寸法図 右端勾配) 	40.0















# 宇土櫓続櫓下石垣 2. 復旧措置の検討 総合検討



## 宇土櫓続櫓下石垣 2. 復旧措置の検討 総合検討











# 宇土櫓続櫓下石垣 3.石垣耐震診断結果(報告)及び安全対策の検討

## 石垣耐震診断結果(報告)及び安全対策の検討

以下に石垣耐震診断の結果及び安全対策の検討一覧及び結果総括を示し、次頁以降に石垣毎の診断結果を示す。

### 石垣耐震診断結果及び安全対策の検討一覧

	石垣の取り扱い								石垣の修理検	討フロー					
万垣	被災 状況	872+12			①現状での診	断		<ol> <li>⑥修理(在来工法)での診断</li> <li>⑧安全性の検討</li> </ol>							
고면			常時/	時/ 判定項目			総合	常時/	判定項目			総合	ト載の	総合	⑨現代工法を
田方		47.1/2	地震時	示が	力線	円弧すべり	制守	地震時	示力線		円弧すべり	判定	上 戦 99 舌 立 建 选 物	利令	伴う修理検討
			(中/大)	転倒安全率	すべり安全率	安全率	+J/E	(中/大)	転倒安全率	すべり安全率	安全率	刊足	里入廷坦彻	刊足	
			常時	1.0以上	OK			常時	1.0以上	OK				安全性を	
H443	変状	修理検討	中規模	NG	OK	-	C	中規模	NG	OK	-	С	続櫓	確保中立ない	対象
			大規模	NG	NG			大規模	NG	OK				唯体山水ない	
			常時	出法レイレ	1 1 2 + H [A]	1日壮っの診断しけま	5/	常時	OK	OK				安全性を	
H446	崩落	修理検討	中規模		朋洛しているため、「①現 ただちに「⑥在来で	での診断」に進む		中規模	NG	OK	-	С	続櫓	メエロ e 確保山 またい	対象
			大規模		- うに 1 ® 任木			大規模	NG	OK				唯床山木ない	
	変状		常時	OK	OK		Α								
H455		修理検討	中規模	OK	OK	- A									
			大規模	OK	OK										
			常時	品茨レアレ	、るため 「①:	日壮での診断」けま	5/	常時	OK	OK				安全性を	
H456-1	崩落	修理検討	中規模		*るため、「① *ちに「⑥在来	死(人ての)お町」 はん での診断上 に進む	3. ひいいでした。 この1000000000000000000000000000000000000		NG	OK	-	С	-	確保出来ない	対象
			大規模					大規模	NG	OK				唯休田水ない	
			常時	OK	OK										
H456-2	変状	修理検討	中規模	OK	OK	-	A								
			大規模	OK	OK										
			常時	OK	OK										
H461	変状	修理検討	中規模	OK	OK	-	Α								
			大規模	OK	OK										

### <u>結果総括</u>

- ・変状している石垣を対象として「現状での診断」を実施した。
- ・その結果、H455,H456-2,H461がA判定、H443がC判定となった。
- ・また、H461はA判定であるが石垣の天端ラインが蛇行しており、現状では続櫓の復旧が困難であるため解体が必要であると考えられる。
- ・「現状での診断」でC判定となった石垣(H443)及び崩落している石垣について「修理(在来工法)での診断」を実施した。
- ・その結果、H443, H446, H456-1がC判定となった。
- ・「修理(在来工法)で診断」でC判定となった石垣となった石垣について「安全性の検討」を実施した。
- ・その結果、H443,H446は重要文化財の続櫓が上載していること、H456-1は続櫓への動線上である ことから「安全性を確保できない」判定となった。
- ・「安全性の検討」で「安全性を確保できない」判定となった石垣について「現代工法を伴う修理 検討」に進む。



## <u>現代工法の検討 (2) H443</u>

「⑥修理(在来工法)で診断」の結果C判定となり、「⑧安全性の検討」で「安全性を確保できない」判定となったH443について「⑨現代工法を伴う修理検討」を実施する。

	 亩い は ⁄					第1案			第2案		
	表込の1	发口凶				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
Bor. No. 5 Dep. = 19.00 a M性 6 M性 8 Bc 2 B 2 M 4 M 4 Bc 2 Bc 2 Bc 2 Bc 2 Bc 2 Bc 2 Bc 2 Bc 2	<u>餐旧勾配</u> (被災前勾配) (始位置)		集) B6 A50-40 A30-43	· しょう · しょう · しょう	or. No. 5 <sup>IP</sup> 27. 29m <sup>IP</sup> 27. 20m <sup>IP</sup> 27. 20m <sup>IP</sup> 27. 20m <sup>IP</sup> 27. 20m <sup>I</sup>	・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	· · · · · · · · · · · · · ·	<sup>Bor. No.5</sup> <sup>P 27.20</sup> <sup>■ 12.00</sup> <sup>■</sup> <sup>■</sup> <sup>■</sup> <sup>■</sup> <sup>■</sup> <sup>■</sup> <sup>■</sup> <sup>■</sup> <sup>■</sup> <sup>■</sup>	・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	· 安定 る	<sup>by</sup> · J · J · J · J · J · J · J · J · J ·
				させる	条 I		・【鉄 隔@0.5	、肋】 処 5m	表4.5~7.0m、刖扎佺135mm、水平打設向	-1 -1 -1-	
				許容値<     計算結果     計算結果       2.00     NG     安全率2.0を満足する敷設長を確保できない       1.20     NG     安全率1.2を満足する敷設長を確保できない			許容値 第1案 第1案	[判定] の不足 の不足	計算結果 抵抗力を補う対策(鉄筋)を実施 抵抗力を補う対策(鉄筋)を実施	許容値 2.00 1.20	判定     計算結果       OK     安全率2.0を満足する敷設長を確保できる       OK     安全率1.2を満足する敷設長を確保できる
	外的安定 滑動	常時 地震時		1.5 1.2	OK OK	土圧が作用しないため算出不可 2.610	1.5 1.2	OK 2	上圧が作用しないため算出不可 2.610	1.50 1.20	OK 7.655 OK 2.201
安定性の       照査	外的安定	常時 e≦L/6 地震時 e≤L/3	m	1.0	OK	8.555 6.740	1.0	OK 8	3.555 5.740	1.633	OK -3.602
	外的安定		kN/m2	-	-	886.250	-	- 8	886.250	-	- 306.934
	支持	地震時     常時	kN/m2	- 1.20	- NG	1001.690 0.612	- 1.20	- 1 OK 1	1.209	- 1.20	- 306.292 OK 1.204
	土仲女化	地震時		1.00	NG	0.454	1.00	OK 1	1.052	1.00	OK 1.002
		外観への影響		$\triangle$		 受圧板の設置	$\triangle$	2		$\triangle$	受圧板の設置
文化財への	木	材料・内部への影響				補強材を裏込材に敷設する		<u>الا</u>	甫強材を裏込材に敷設する 貴構(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
影響		H443石垣		0			×			×	可逆性なし
	可逆性	H443石垣(埋没	 }部)	0	~~~~~		0	) 5	影響なし	0	<ul><li>影響なし</li></ul>
		空堀遺構		0			0	) []	影響なし	0	<ul><li>影響なし</li></ul>
		· 性		×		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
	その他間	問題点					-		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: ・ そのた	査を満足	こする案は第2 空間では遺構	2案・ 空蕹σ	· 第33 新占	えと	なるが、石垣背面の内部構造に 、是小の解体筋囲(1 客・2 客(	つい つ中#	ては	未だ不明な点が多く工法決定の 副)で解体工事に差手しの解体	のため 調本(	うの情報が少ない。 に上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 (3) H446.H456-1

「⑥修理(在来工法)で診断」の結果C判定となり、「⑧安全性の検討」で「安全性を確保できない」判定となったH446,H456-1について「⑨現代工法を伴う修理検討」を実 施する。



段階で最終的な修理工法を検討したい。

直	判定	計算結果
)	OK	安全率2.0を満足する敷設長を確保できる
)	OK	安全率1.2を満足する敷設長を確保できる
)	OK	土圧が作用しないため算出不可
)	OK	2.540
3	OK	3.686
2	OK	2.953
	-	222.560
	-	228.960
)	OK	1.336
)	OK	1.069
$\triangle$		受圧板の設置
$\triangle$		補強材を裏込材に敷設する
X		解体範囲拡大により遺構(裏込め等)の掘削
×		可逆性なし
×		栗石復旧を補強材敷設間隔に合わせる

# 宇土櫓続櫓下石垣 5. H443石垣の復旧措置について

## <u>H443石垣の復旧措置について</u>

							石垣前面押	さえ補強案			·			
	イメージ図						学進         留物復旧に影響する解体修理           第二番4mft近の裏実石が緩くなっている 取開を解体修理         0.68         1.44           0.68         1.44         Bc           1.45         0.68         1.45           1.45         0.68         1.45           1.45         0.68         1.45           1.45         0.68         1.45           1.45         0.68         1.45           1.45         0.68         1.45           1.45         0.68         1.45           1.45         0.66         1.45           1.45         0.66         1.45           1.45         0.65         1.45           1.45         0.65         1.45           1.45         0.65         1.45           1.45         0.65         1.45           1.45         0.65         1.45           1.45         0.65         1.45           1.45         0.65         1.45           1.45         0.65         1.45           1.45         0.65         1.45           1.45         0.65         1.45           1.45         0.65         1.45           1.45         0.65         1.45     <							
	説明						・底版を拡張し、逆L型の一体構造物とし接地圧を低減し、滑動安全率を満足する底版長 さを設定。石垣と押え補強間に保護層(砕石)を設置。 ・押さえ補強単体では支持の常時安全率を満足しないため、区画分割型土のうにて支持対 策を実施							
				許容値	判定			計質結果	許容値	有判定				
								山并恒不	第13	星の不	 足抵抗力を補			
	内的安定	地震時		$\langle \rangle$					第13	その不	足抵抗力を補			
				1 50	OK	2 48			15		<u>   </u> +圧が作用			
	~ ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~			1.00	OK	1 02			1.0	OK	2 610			
安定性の		/32版内 堂時 e ≤1 /6	m	1.00	OK	10.1			1.2	OK	8 555			
照査	—————————————————————————————————————	市内で=ビ/0 地震時 ρ≤1 /3	m	1.00	OK	3 72			0.667		6 740			
	从的安定		kN/m2	135	OK	126.00				-	886 250			
	大时反定	中町 	kN/m2	100		120.00					1001 600			
			KIN/1112	400		129.00			1 20		1 200			
	全体安定	市时		$\langle \rangle$	$\langle \rangle$				1.20		1.209			
		地辰时				曲とうばさ	やぶりれつの読声を	要う	1.00	UN	1.052			
				~		押さん開始	4/11/11/443の別回で 	復り						
	(م) 4	知って見る		~		「「「「「「」」」の「「」」」。	901、00応音 			^	一番「振の記録			
	211	既への影音		~		京観への家	2音 日上掻た拭えて言・	* 畑*ミばひち悪らの択成上目上			文圧版の設置			
				^		(規ヨ御)	」工筒を越える向。	さ、押さん開始を復り至堀盈工取入	2.5					
文化財への						IN 住皮寺)				~				
影響		中立・の見郷				H443石坦	◎ 埋配田内に補強			7	佣蚀材を表え			
	松井・	内部への影響		×		何里かH44	は、作用し変形す	るり能性	>	<	遺構(裏込め			
				×		堀氏の夏悼	第回への影響			-				
		H443石坦	立7 \			可逆性あり		ヨノ 細R ノミナ っ	>	×	可逆性なし			
	り迎任	H443石垣(理没)	司シノ	×		押え伸強の	) 圧密沈下により	影響かめる		ر 	影響なし			
		空 堀 道 構		×		<b>押</b> Λ 補強σ	) 上密沈トにより	影響かめる	(	J	影響なし			
	施工性					宇土櫓五階	皆櫓素屋根の影響	による分割施工	;	<	栗石復旧を褚			
	その他問題占									-	鉄筋挿入の事			
											鉄筋挿入工打			
	総合評価						×	<						

・H443石垣は、解体修理の方針で復旧を行うこととしたい。



# 宇土櫓続櫓下石垣 6. 今後のスケジュールについて

## 中上梅工陟梅下, 結梅下工石の空港工程 (安)

	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度	2031年度	2032年度
項目	令和4年度	令和5年度	令和6年度	令和7年度	令和8年度	令和9年度	令和10年度	令和11年度	令和12年度	令和13年度	令和14年度
						会審議					
円口米住1  辺    											
建物阱冲休仔⊥争 											
祖立这計 											
建物修理上争 											
				<u> </u>	階櫓下石垣の安定	性再評価の結果	₹(報告)				
石垣】宇土櫓五階櫓下					の補強工法の冉樹 審議:12月頃、6月	討 1頃の2回予定		<u>.</u>			 
穴蔵内部調査								I	F		
石垣被害状況調査								TREE			
発掘調査 								五階位	続櫓		
ボーリング調査・土質試験・解析		の調査結里及び	<u> </u>								3
石垣安定性再評価	験結果					Hers <sub>結</sub>	<b></b> 抱下	*			
石垣基礎診断(再)	を基に、ヨ	5階櫓下石垣の9	定性を再評価					五階櫓下	五階櫓下		
石垣補強工法検討						4		(北)		State State State	
前面押さえ・鉄筋挿入工ほか											
委員会審議					( *	* /			検討	対象箇所	
								C. C. Start	and the second sec	1	
 【石垣】宇土櫓続櫓下											
石垣復旧設計									検討対象	箇所の変状観測	により継続的
委員会審議(復旧方針)		※方針>	, 夬定						なモニタ	リングを実施	
 石垣解体工事		7			石均		」 の情報を反映した	- こ変更設計			
解体時調查						『補強工法の検	討				
大型三軸圧縮試験(栗石) 続机	大型三軸圧縮試験(栗石) 続櫓下石垣復旧方針の決定						-				
「石垣復旧変更設計	前面押さえ補強										
	大規模解体修理		}								



理由	判定	総合 判定
必ず実施する。	NG	
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	-	
上部地盤にクラックはあるが、下 部地盤は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	-	С



生日	刊上	判定
必ず実施する。	OK	
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	-	Λ
崩壊の実現象を考慮したとき、 H455方向に背面全体を通過する 円弧は生じないと判断したため。 なお、下部地盤に隆起等も確認で きない。	-	A





理由	判定	総合 判定
必ず実施する。	OK	
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	-	Δ
上部地盤にクラックがなく、下部 地盤に隆起等も確認できない。そ のため、背面全体を通過する円弧 は生じないと判断したため	-	



理由	判定	総合 判定
必ず実施する。	NG	
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	-	
上部地盤にクラックはあるが、下 部地盤は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	-	С



理由	判定	総合 判定
必ず実施する。	NG	
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	-	
上部地盤にクラックはあるが、下 部地盤は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	-	С



### 現代工法の検討 (1)設計手順について

宇土櫓続櫓下石垣の現代工法検討において、次頁以降で提示する「ジオテキスタイルと鉄筋挿入を連結する工法」の設計手法は以下のとおりである。「内的安定」「外的安定」「全体安定」の3項目を照 査する等の基本的な考え方は「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル 第二回改訂版 平成25年12月(以下、「ジオテキマニュアル」という。)」に準拠している。 (1) STEP 1

石垣の解体に伴う床堀範囲内に敷設するジオテキスタイルのみで内的、外的、全体の安定性を検討する。



### (2) STEP 2

「①内的安定」がNGとなった場合、ジオテキスタイルと鉄筋挿入の連結による対策を検討する。ここでジオテキマニュアルp247によると「ジオテキスタイルの必要定着長を確保できない場合は、同等以 上の引抜き抵抗力を発揮できるアンカー等を地山に設置してジオテキスタイルの不足抵抗力を補うような対策を検討してもよい」とされている。これに準拠し具体的に次のとおり検討する。まず左下表より 必要敷設長が確保できないジオテキスタイルを整理する(位置番号2~8)。次に当該ジオテキスタイルに作用するすべての引張力が鉄筋に作用しても引き抜けない鉄筋挿入の長さを一段毎に設定する。 なお、ジオテキスタイルが引き抜けようとしたとき、地山を破壊する力が作用する。そこで鉄筋の打設角度は施工を考慮した最小値である15度を標準とする。

上里	++ 4/1	天端から	敷設間	引引	長力	必要鴺	的設長	使用		常時				地震時			
112 一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	竹 种 No	敷設深さ	隔	Т (k	N/m)	L	(m)	敷設長	位置	Tg	Ts	$L_1$	Tg	Ts	$L_1$	決定値	
留方	NO	h (m)	V (m)	常時	地震時	常時	地震時	L (m)		kN/m	kN/本	m	kN/m	kN/本	m	m	
11	44	1. 153	1. 153	6. 845	18. 384	4. 066	6. 285	8. 561	11								
10	44	2. 153	1.000	7. 220	17. 131	4. 184	6. 226	6.940	10								
9	44	3. 153	1.000	8. 851	18. 556	4. 234	6. 101	6. 328	9								
8	44	4. 153	1.000	10. 654	20. 100	4. 216	5.907	5. 729#	8	10.654	16.545	0.770	20.100	31.214	0.908	1.0	
7	44	5. 153	1.000	12. 558	21. 712	4. 116	5. 628	5. 137#	7	12.558	19.501	0.908	21.712	33.717	0. 981	1.0	
6	44	6. 153	1.000	14. 523	23. 368	3. 925	5. 252	4. 553#	6	14. 523	22.553	1.050	23.368	36.289	1.055	1.5	
5	44	7. 153	1.000	16. 526	25. 050	3. 677	4.808	3. 028#	5	16.526	25.663	1.194	25.050	38.901	1. 131	1.5	
4	44	8. 153	1.000	18.030	26. 750	3. 379	4. 300	2. 592#	4	18.030	27.999	1.303	26.750	41.540	1.208	1.5	
3	44	9. 153	1.000	20. 132	28. 137	2. 890	3. 572	2. 138#	3	20.132	31.263	1.455	28.137	43.694	1.271	1.5	
2	44	10. 153	1.000	22. 245	29. 894	2. 127	2. 523	1. 648#	2	22. 245	34. 545	1.608	29.894	46.423	1.350	2.0	
1	44	11. 153	1.000	24. 364	31.656	1.000	1.000	1. 158	1								

(3) STEP 3

「ジオテキスタイル」と「STEP2で定めた長さの鉄筋」を連結した解析モデルにて全体安定の安全率を照査する。

③全体安定 照査事項:補強領域の外側及び補強領域を横切るすべりに対 熊本城石垣基礎診断実施要領の運用(案)によると「円弧 すべりでは石垣の擁壁としての抵抗力を正当に評価すること ができない」とされている。これに伴い補強の構造が文化財 的観点から大規模になる可能性がある。そこで、必要に応じ て、実現象を考慮し診断対象外のすべりを除外ずる等円弧す Aso-4s

資料2-参考8



### <u>計算例</u>

補強材の水平間隔1.5m、ψ=15° 補強材と地山の付着力(kN/m)=21.488(kN/m) ※付着力はN値により決まる。

 $\frac{22.245(kN/m)}{\cos 15^{\circ}} \times 1.50(m) = 34.545(kN)$  $34.545(kN) \div 21.488(kN/m) = 1.608(m)$