

(2) 災害復旧について

§ 1. 災害復旧事業の進捗と災害復旧部会について

1. 災害復旧事業の進捗と今後について

<R6.8時点>

		令和4年度【実績】	令和5年度【実績】	令和6年度【実績・予定】							
①	本丸北西及び西門石垣	調査・設計	←————→								
	工事			←————→	←————→						
②	大手門北側土塀	調査・設計	←————→	復旧完了							
	工事		←————→								
③	中門石垣	調査・設計	←————→	←————→							
	工事	解体	←————→	←————→	←————→						
④	清水門石垣	調査・設計	←————→								
	安全対策				←————→						
災害復旧部会		第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	現在



①本丸北西石垣



②大手門北側土塀



③中門石垣



④清水門石垣

※写真は現在のものを掲載 (R6.8時点)

2. 災害復旧部会について

第9回仙台北城跡調査整備委員会（令和4年7月6日（水）実施）において、災害復旧事業の速やかな進捗を図るため、仙台北城跡調査・整備委員会内に、新たに災害復旧部会（委員4名）を設置することとした。令和4年10月18日に第1回災害復旧部会を開催し、これまで計9回部会を開催したところ。

委員構成（4名）： 藤澤委員、北野委員、風間委員、山中委員

R5. 11. 1第13回調査整備委員会にて報告済

3. 災害復旧部会実施状況について（報告）

	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回
開催日	令和4年10月18日	令和4年12月19日	令和5年3月28日	令和5年4月21日	令和5年8月28日
開催場所	WEB開催	現地開催	WEB開催	現地開催	現地開催
参加委員	3名参加、1名後日説明	4名（全員）	3名	4名（全員）	4名（全員）
議題	<ul style="list-style-type: none"> 中門石垣の解体について 本丸北西・西門石垣の地盤調査について 	<ul style="list-style-type: none"> 中門石垣の現況被災状況 中門石垣過去の地盤調査成果 中門石垣の被災・修復履歴 	<ul style="list-style-type: none"> 大手門北側土塀の復旧方針について 中門石垣地盤調査（案）について 中門石垣解体の状況について 	<ul style="list-style-type: none"> 大手門北側土塀の復旧方針について 中門北側石垣の解体状況 中門南側石垣の解体状況 	<ul style="list-style-type: none"> 前回と今回の地震の地震メカニズム・被災状況の比較について 安定計算実施に向けた設計条件の整理について 現代工法の比較について
意見等（抜粋）	<p>【中門石垣解体】</p> <ul style="list-style-type: none"> 前回修復した範囲内での解体について了承 解体の際の調査すべき点について（敷金、地割れ、密度試験等） <p>【本丸北西地盤調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> 地盤調査の追加等について（表面波探査等） 	<p>【中門石垣解体】</p> <ul style="list-style-type: none"> 解体前計測を十分行うこと 敷金や間詰石の影響を確認 <p>【中門過去の地盤調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> 南側石垣被災している箇所と被災していない箇所とを地盤調査で確認 	<p>【北側土塀復旧方針】</p> <ul style="list-style-type: none"> 土壁下地に用いる接着剤について 蛇籠の設置について <p>【中門地盤調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> 地盤状況を三次元で表示すること 地盤調査の追加等について（表面波探査等） 	<p>【北側土塀復旧方針】</p> <ul style="list-style-type: none"> 変状状況より石垣の積直しは行わない 地盤が下げられている部分に蛇籠を設置する <p>【中門解体状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> 北側石垣現代工法等について 南側石垣押さえ石の効果の有無 	<p>【安定計算について】</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計安全率の設定について（熊本城の例等） 内部摩擦角（ϕ）の設定について（他城の事例等） <p>【現代工法について】</p> <ul style="list-style-type: none"> 対人安全性を箇所毎に考慮して対策を検討・分類すべき 現代工法実施による遺構面への影響を検討すること

	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回
開催日	令和5年11月27日	令和6年3月6日	令和6年6月11日	令和6年8月1日	開催日未定
開催場所	現地開催	現地開催	現地開催	現地開催	
参加委員	4名（全員）	4名（全員）	3名参加、1名個別説明	4名（全員）	
議題	<ul style="list-style-type: none"> 本丸北西石垣・西門石垣の解体範囲（案）について 本丸北西石垣安定計算と現代工法について 沢門下石垣計測結果について 	<ul style="list-style-type: none"> 本丸北西石垣の解体範囲について 中門石垣安定計算と現代工法について 清水門石垣計測結果について 	<ul style="list-style-type: none"> 石垣解体から想定される被災メカニズムについて 土質調査について 現代工法の検討について 	<ul style="list-style-type: none"> 本丸北西石垣E面復旧方法について 本丸北西石垣・西門石垣復旧方法について 復旧方針の詳細について（石垣ごと） 	
意見等（抜粋）	<p>【解体範囲（案）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 要検討部分については、解体時の状況を見て判断すること <p>【安定計算と現代工法】</p> <ul style="list-style-type: none"> 前回修復時の現代工法について解体時よく調査を実施すること 設定安全率について 安全対策にはソフト面の対策も必要であり、サイン等の設置も検討すべき 	<p>【解体範囲】</p> <ul style="list-style-type: none"> 凹み変形した箇所は、全体の安定性には関係ないと考えられる <p>【安定計算と現代工法】</p> <ul style="list-style-type: none"> 求める石垣の安定性のレベルについて <p>【清水門石垣】</p> <ul style="list-style-type: none"> 修理をしないのであれば、計測等のモニタリングを随時して安全性を確認すべき 	<p>【現代工法】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋挿入工の必要性について整理すること 裏込め幅を狭くすることの妥当性等整理すること <p>【その他】</p> <ul style="list-style-type: none"> 本丸北西石垣E面の復旧方針について検討すること 西門石垣の復旧方法について検討すること 	<p>【E面復旧方法】</p> <ul style="list-style-type: none"> 石垣下部に抑え石の設置を検討すべき <p>【西門石垣復旧方法】</p> <ul style="list-style-type: none"> 在来工法でできる補強を実施すること <p>【復旧方針の詳細】</p> <ul style="list-style-type: none"> 専門用語は理解されにくい。できるだけわかりやすい表現にすること 	

§ 2. 仙台城跡石垣の被災メカニズムと現代工法の検討について

石垣解体時に実施した各種調査を通して明らかになった仙台城跡石垣の被災メカニズム及び現代工法検討結果は以下のとおり。

1. 本丸北西石垣の被災状況

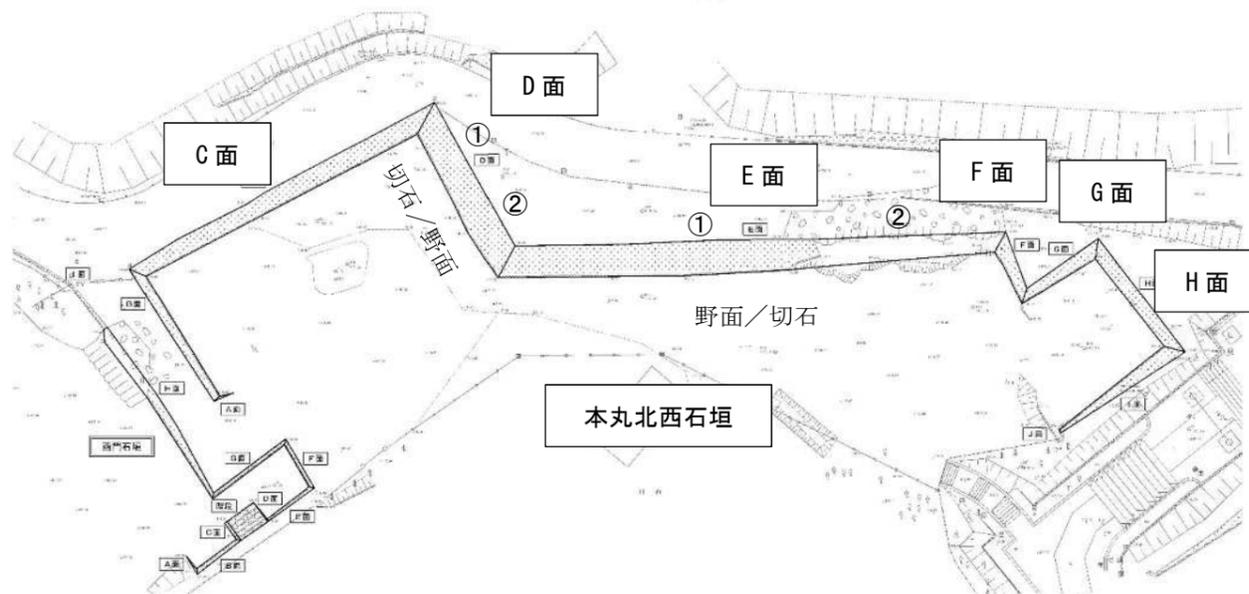


図 1.1 本丸北西石垣平面図

表 1.2 各面の石垣の種類と被災状況等

	石垣の種類	被災状況		裏込幅 (代表箇所)	東日本大震災時復旧時 現代工法施工の有無
		東日本大震災 H23	福島県沖地震 R3, R4		
C面	切石積み	崩壊	変形	約 2~3m	○
D面①	切石積み	変形	変形	約 2m	×
D面②	野面積み	一部変形	一部変形	約 1m	×
E面①	野面積み	一部変形	一部変形	約 1~1.5m	×
E面②	切石積み	崩壊	崩壊	約 2~3m	×
F面	切石積み	変形	変形	約 2~3m	×
G面	切石積み	変形	変形	約 2~3m	×
H面	切石積み	崩壊	変形	約 2~3m	×

<被災状況の特徴>

- ・野面積み石垣 → 被災が限定的、裏込幅は比較的狭い (2m 未満)
- ・切石積み石垣 → 被災が顕著、裏込幅は比較的広い (2m 以上)
- ・現代工法を実施したC面 → 崩壊 (H23) > 変形 (R3, 4)

2. 天端亀裂箇所の位置 (E面)



図 2.1 E面解体前上空写真



図 2.2 E面亀裂写真と亀裂箇所

<亀裂箇所の特徴>

- ・裏込幅広い 切石積み石垣 → 亀裂発生箇所が築石から離れている
- ・裏込幅狭い 野面積み石垣 → 亀裂発生箇所が築石に近い
- ・亀裂発生箇所は裏込石と背面盛土の境界部

3. 崩壊した石材位置の調査

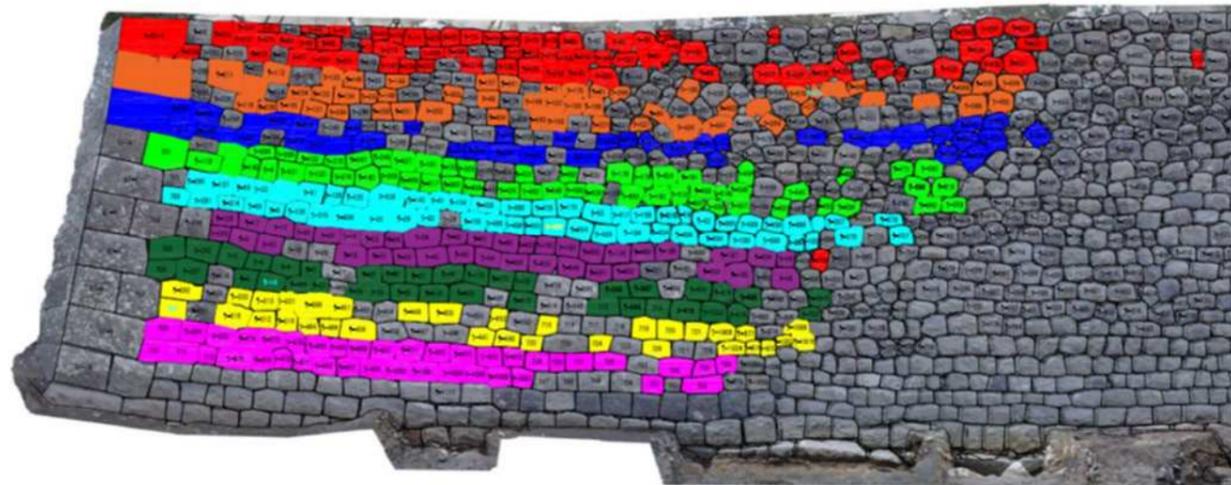


図 3.1 E 面石垣崩落前立面図

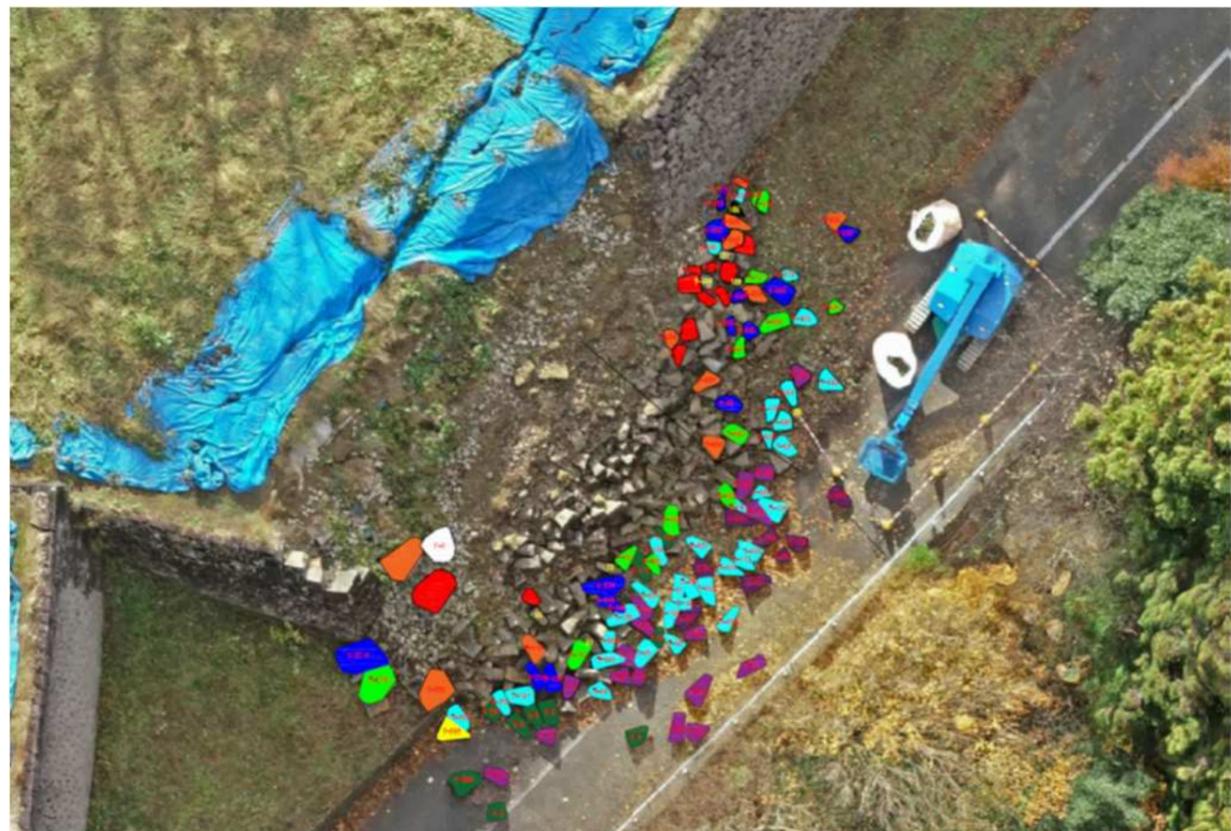


図 3.2 E 面石垣崩落後上空写真①



図 3.3 E 面石垣崩落後上空写真②

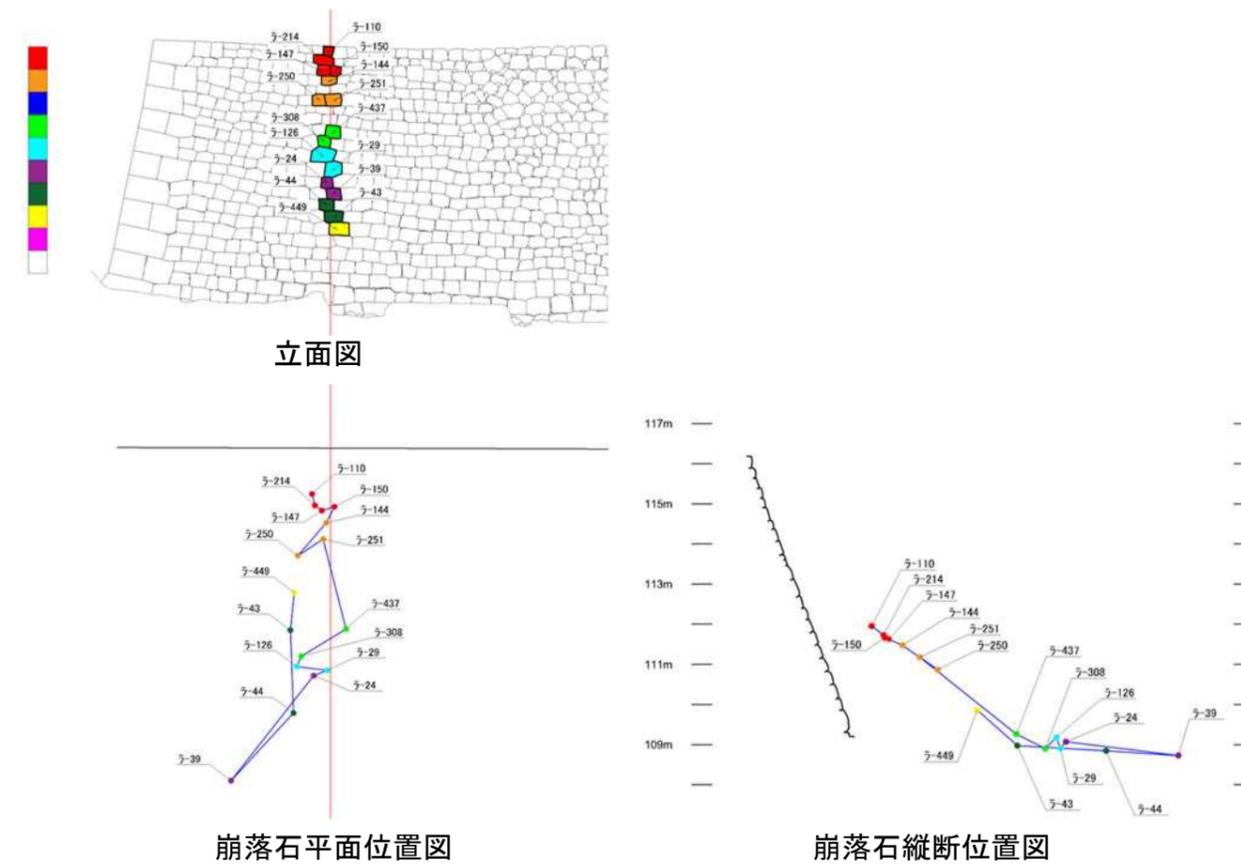


図 3.4 E 面石垣崩落状況図

<崩落石材の特徴>

- 中段部（紫、水色、緑）の石材が遠くまで移動している
- 上段部（赤、橙、青）の石材は築石近くに位置している
- 崩落石材の位置から「く」の字状に折れるように崩壊した

4. 今回の地震における被災メカニズム

「2. 天端亀裂箇所的位置」や「3. 崩壊した石材位置の調査」等から、被災状況として地滑り的な崩壊（図4.1参照）は発生しておらず、地震時における裏込石の動きに対し、築石が耐えられなくなり変形を起こし、さらに変形が進んだ箇所においては崩壊まで至ったと考えられる（図4.2参照）。

また、裏込石の幅が大きい切石部については、野面部に比べ変形量が大きい。これは、裏込幅の大きい箇所は地震時の動きが大きいと推定される。

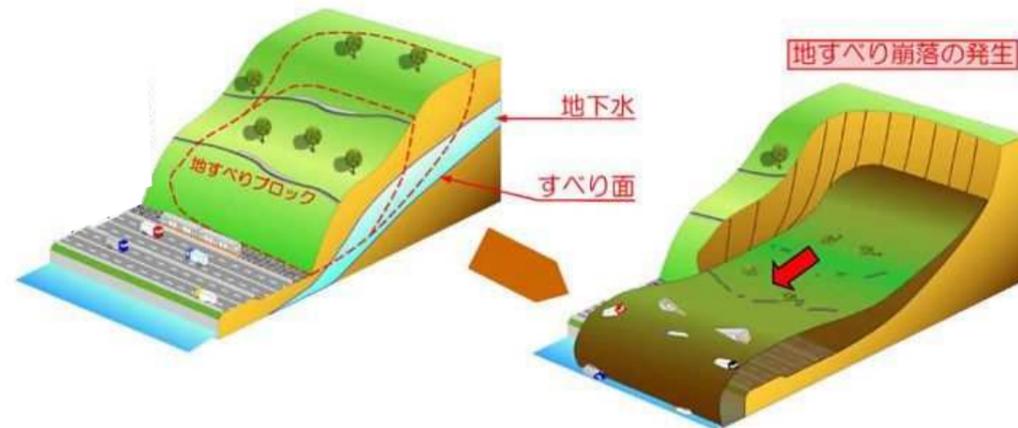


図 4.1 地滑り崩落状況

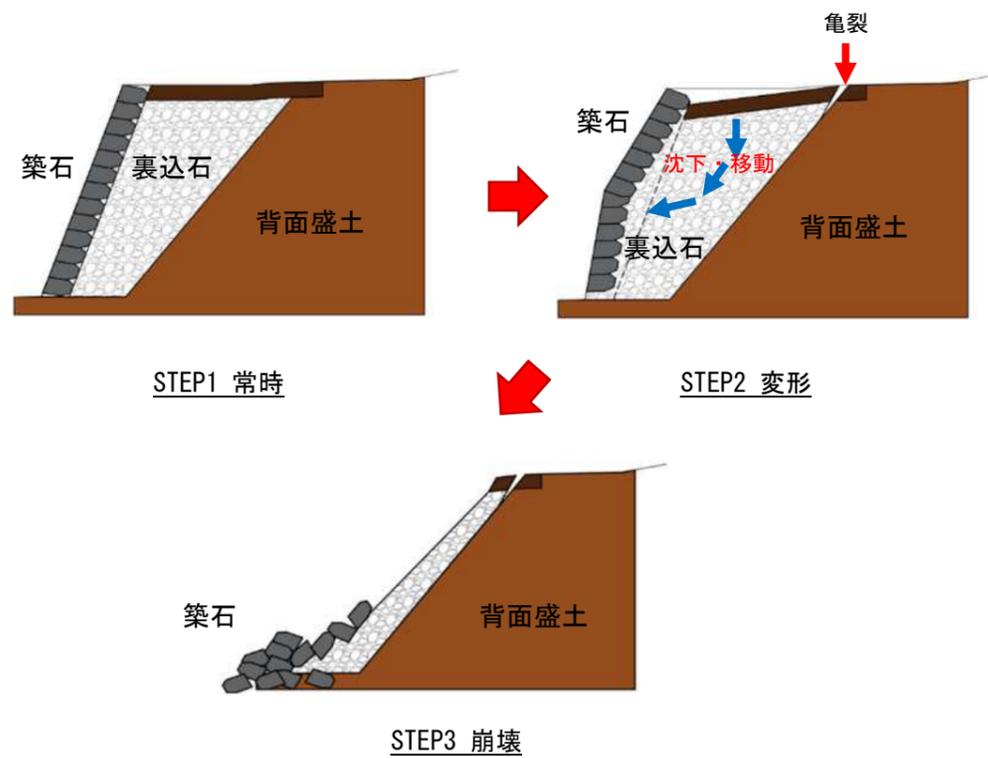


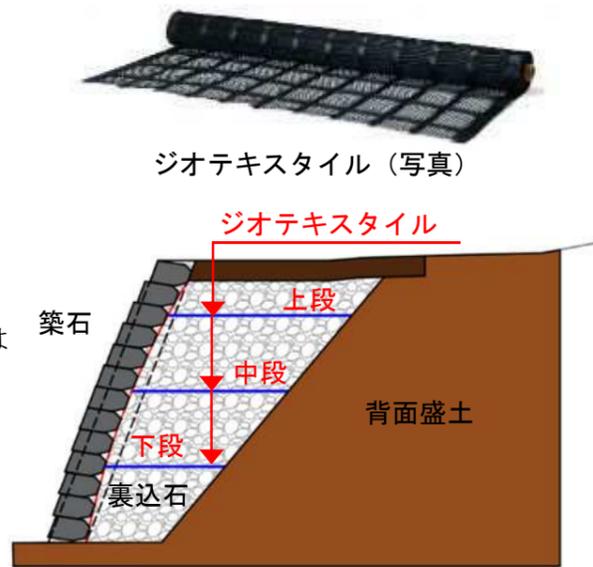
図 4.2 今回の石垣被災状況

5. 現代工法施工箇所の被災状況確認

5.1 解体調査の趣旨

本丸北西石垣のC面については、東日本大震災の復旧の際に、現代工法として、ジオテキスタイルという高強度プラスチック製の網を裏込石の部分に上・中・下段の3段配置している(図5.1写真参照)。これは裏込石の安定性を向上させ耐震性を高たためのものである。

今回の石垣解体においては、現代工法施工箇所について調査を実施することにより、ジオテキスタイルの効果検証と今後の対策について検討を行った。



現代工法施工状況(断面図)

図5.1 現代工法施工断面とジオテキスタイル

5.2 解体→状況確認

<上段>



ジオテキスタイルは健全(破断なし)

<中段>



ジオテキスタイルに破断有り

<下段>



ジオテキスタイルは健全(破断なし)

5.3 中段の破断状況について



図5.3.1 中段ジオテキスタイルの破断状況(上空写真)

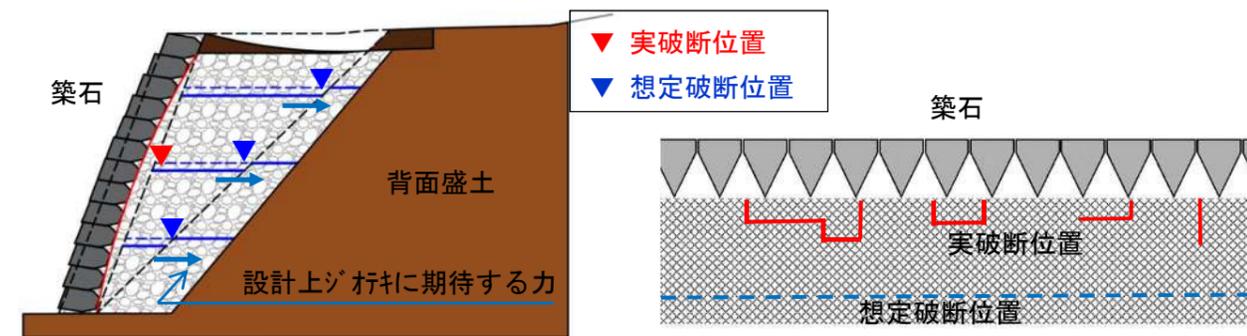


図5.3.2 実際の破断位置と想定破断位置(断面) 図5.3.3 実際の破断位置と想定破断位置(平面)

- <ジオテキスタイル破断状況の特徴>
- ・中段のみ破断している(上・下段は破断なし)
 - ・破断の方向が一定ではなく、ランダムである
 - ・築石に近い部分での破断である
 - ・上記により、裏込石の変形・沈下が顕著な箇所での不等沈下による破断と想定

5. 4 現代工法の検証と今後の対策について

現代工法（ジオテキスタイル）を実施した本丸北西石垣C面は、今回の地震において崩壊を免れた。東日本大震災の際は崩壊したことを考えると、現代工法を取り入れたことによる一定の効果はあったと考えられる。

しかしながら、崩壊は免れたものの変形を起こし、もし更なる変形が進んだ場合、崩壊に至ったものと考えられる。

そこで、同じ現代工法を実施した仙台城跡の2つの石垣を比較し、更なる対策の要否について検討した。

5. 5 ジオテキスタイルの定着方法について

(1) 本丸北西石垣

- ・C、F、G、H面については、背面盛土の掘削は遺構面の損失を伴うため、遺構面をできるだけ保存する観点から、背面盛土部（安定領域）に鉄筋を挿入し、鉄筋とジオテキスタイルを連結する。
- ・E面については、背面盛土部に旧石材と想定される巨石が存在する（図5.5.1参照）ため、遺構面保存の観点から、背面盛土前面に改良盛土を設置し、改良盛土にジオテキスタイルを定着させる。



図 5.5.1 E面背面盛土写真

	本丸北壁石垣 (H15 修復)	本丸北西石垣 (H27 修復)
ジオテキスタイル配置断面		
配置の相違点	①背面盛土を掘削し、セメント改良盛土としている ②ジオテキスタイルを改良盛土部（安定領域）に最低1m定着している	①背面盛土を遺構面として掘削していない ②ジオテキスタイルを盛土部（安定領域）に定着させていない
被災状況	顕著な被災なし	孕み出し変形を生じる

図 5.4.1 現代工法配置と被災状況の比較

図 5.4.1 の比較において、以下の相違点が分かった。

- ・本丸北壁石垣は、背面の盛土部（安定領域）にジオテキスタイルを定着しており、顕著な被災は見受けられなかった。
- ・本丸北西石垣は、背面の盛土部（安定領域）にジオテキスタイルを定着しておらず、築石に変形（孕み出し）が生じた。

ジオテキスタイルは引抜き抵抗力が確実に発揮できるよう安定領域※に定着する（道路土工 擁壁工指針 P. 252）。
※安定領域とは、一般的にはすべり面より奥側を示すが、本事例のようにすべり線内に盛土部がある場合は、盛土部を安定領域とみなす。

- 石垣の耐震性をより向上させるため、ジオテキスタイルを設置するとともに、ジオテキスタイルを盛土部（安定領域）に定着させる

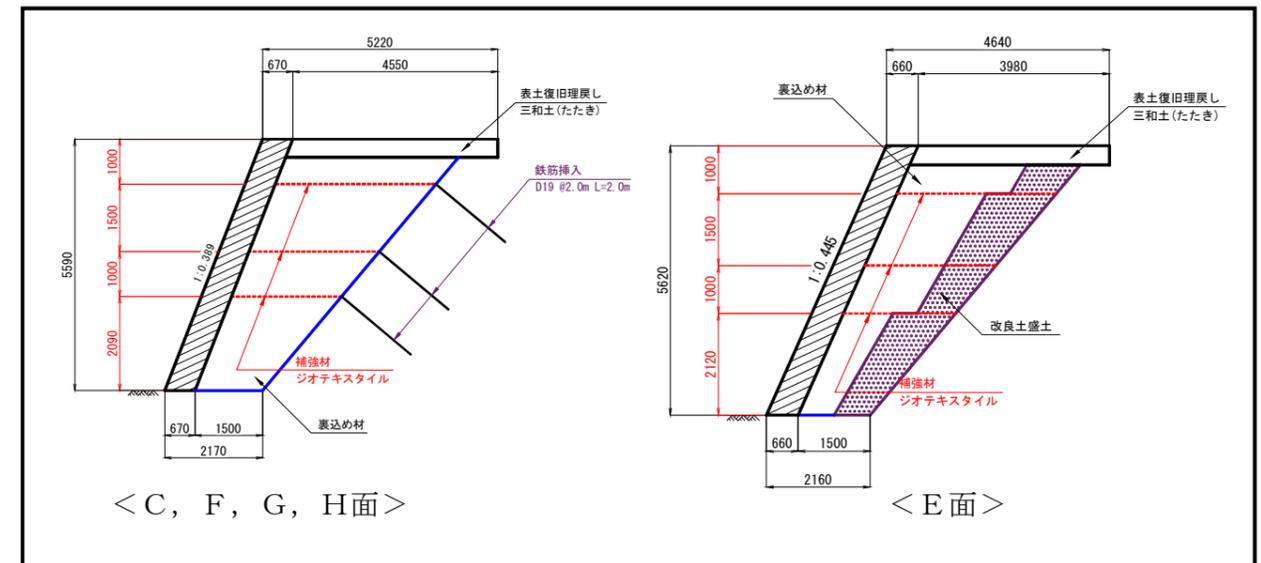


図 5.5.2 本丸北西石垣標準断面図

(2) 中門北側石垣

表土復旧埋戻し部分（安定領域）にジオテキスタイルを定着させる。

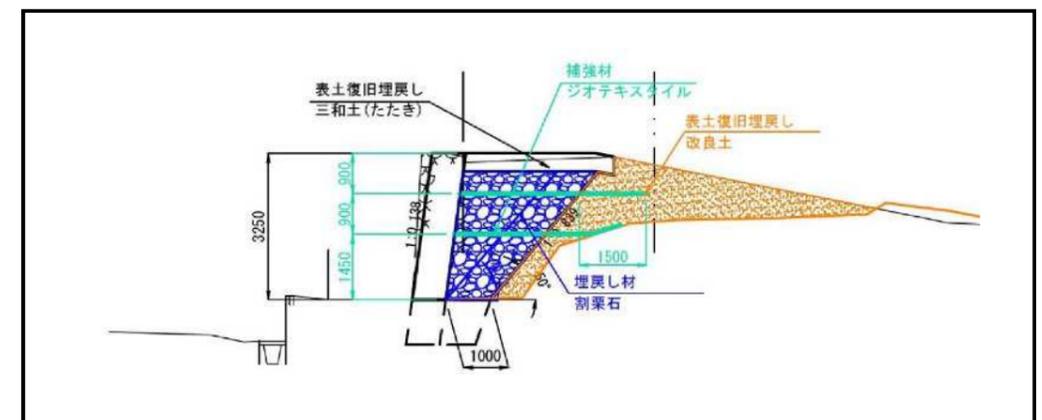


図 5.5.3. 中門北側石垣標準断面図

§ 3. 災害復旧方針と復旧方針の詳細について

仙名城跡の災害復旧については、令和4年7月6日に開催した第9回仙名城跡調査・整備委員会にて示した史跡仙名城跡災害復旧方針に基づき実施していくこととしている。

復旧方針における「2 文化財としての価値の保全と安全対策の導入」について、以下に具体的に示す。

<史跡仙名城跡災害復旧方針抜粋>

2 文化財としての価値の保全と安全対策の導入

- (1) 石垣等は国指定史跡であることから、文化財としての価値の保全を前提とし、伝統工法を基本とした復旧を行う。
- (2) 復旧方法の検討にあたっては、伝統工法による補強方法の検討を行い、それにより十分な強度を得られないと判断された場合は、現代工法の導入を検討する。現代工法の導入にあたっては、文化財的な価値を損なわない範囲で補強工法を検討する。

●復旧方針の詳細

- ・仙名城跡の石垣は、東日本大震災及び福島県沖地震と、直近15年以内に2度の大規模な崩落等の被害が発生した。いずれの地震においても、崩落箇所は市道に近接していながら、人的・物的被害は奇跡的に発生しなかった。しかしながら、今後同様の崩落等が発生した場合、被害が発生しないとの保証はない。
- ・このため、今回の災害復旧にあたっては、文化財的価値を保全しつつ、崩落等による人的・物的被害の発生を最大限防ぐことを目指す。具体的には、目標安全率を高く設定し、上記2地震と同等レベルの地震でも石垣が崩落しない耐震強度が期待できるような対策を行う。
- ・工法の検討にあたっては、「石垣の安全対策検討フローチャート」（資料3-9）に基づき、石垣ごと・面ごとに安定計算を行った上で、必要離隔距離が確保できるか及び現代工法を用いないで落石対策が可能かを検討し、これらの対策がとれない場合にのみ、必要な範囲・内容の現代工法を導入する。
- ・また、伝統工法により復旧する場合においても、再度の崩落や変形を生じさせないように、伝統工法の範囲内で実施可能な対策を実施する。

●石垣ごとの復旧方針及び工法の内容

1. 本丸北西石垣

- ・被災したC～H断面のうち、D面以外は伝統工法による復旧では必要な耐震強度が確保できない。
- ・また、市道からの必要離隔が確保できない。
- ・落石対策を実施できる箇所が限定的であり、連続的に設置できない。
- ・以上を踏まえ、現代工法を取り入れた復旧を行う。
裏込石部にジオテキスタイルを設置するとともに、背面盛土部に設置した鉄筋挿入工と連結することで耐震性を向上させる。
(※E面のみ、ジオテキスタイルを改良盛土に定着)

2. 酉門石垣

- ・必要離隔が十分確保できるため、文化財的価値の保全の観点から、伝統工法にて復旧する。
- ・ただし、過去の地震でも崩壊を繰り返していることから、裏込石の粒度改良等伝統工法での補強を検討し実施する。

3. 中門石垣

①南側石垣

- ・安定計算の結果、必要な耐震強度が確保できるため、伝統工法にて復旧する。

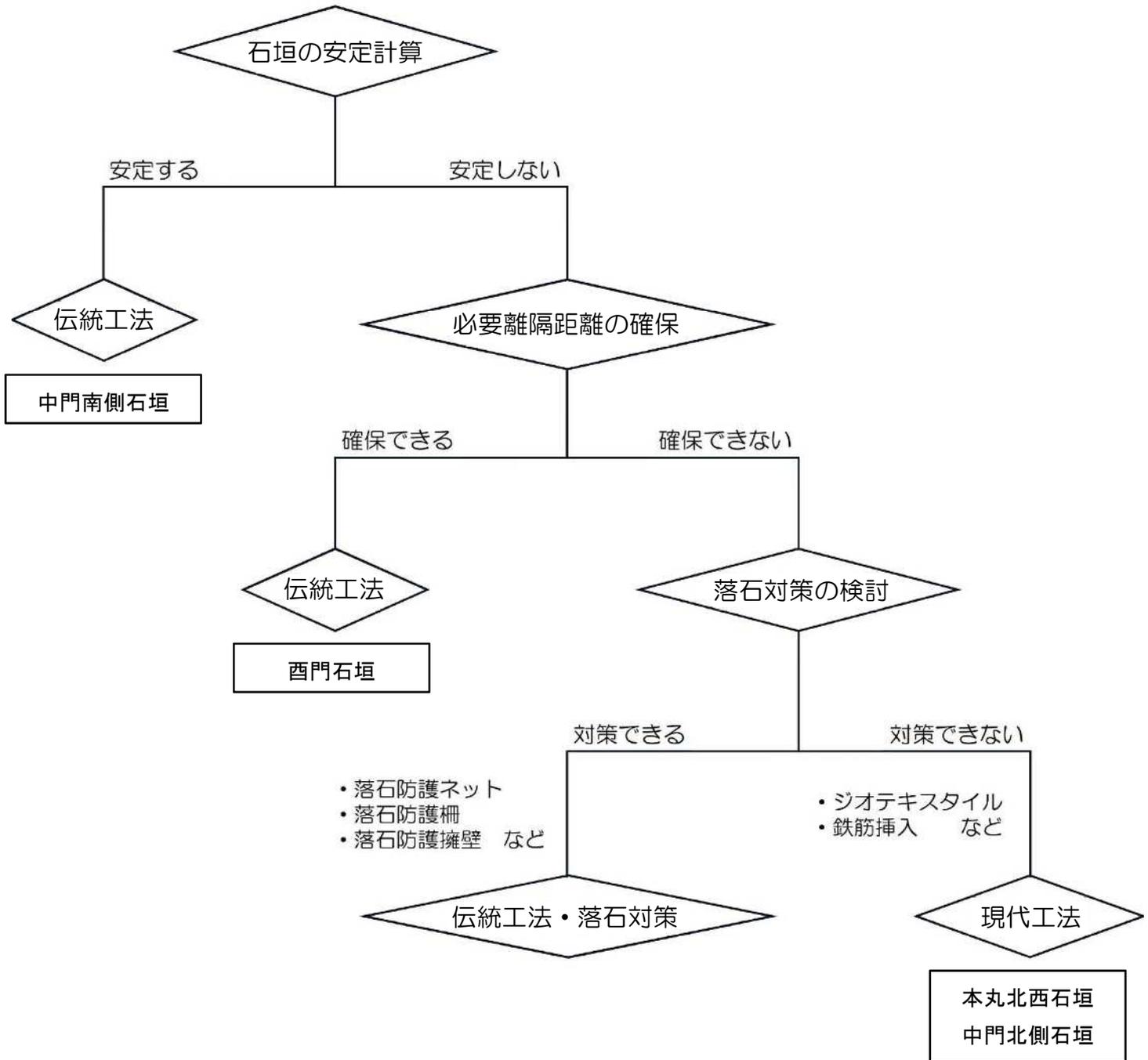
②北側石垣

- ・安定計算の結果、伝統工法による復旧では必要な耐震強度が確保できない。
- ・また、歩道からの必要離隔が確保できない。
- ・落石対策を行うための歩道との離隔がない。
- ・以上を踏まえ、現代工法を取り入れた復旧を行う。
裏込石部に補強ネットを設置する。補強ネットは遺構面の上に配置し、表土復旧部分に定着させ耐震性を向上させる。

4. 清水門石垣

- ・変形の被害は生じたものの極めて限定的であることと、変形を生じた箇所が過去に解体履歴がないため、文化財的価値の保全の観点から積み直しは行わず、落石対策のみ実施する。

○仙台城跡災害復旧事業における
石垣の安全対策検討フローチャート



※本丸北西石垣は落石対策を実施できる箇所が限定的であり、連続的に設置できないため安全性が確保できない

※中門北側石垣においては落石対策を行う離隔がない

復旧石垣位置図



◆復旧する石垣と現代工法の導入

石垣名称	①安定計算	②必要離隔	③落石対策	工法選定
中門南側石垣	○			伝統工法
西門石垣	×	○		伝統工法
本丸北西石垣	×	×	×	現代工法
中門北側石垣	×	×	×	現代工法