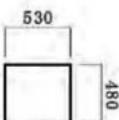


c 接着仕様

F 25



正面図



断面図

せん断応力

破断面積  $0.53 \times 0.48 = 0.2544 \text{m}^2$

破断面に生じる応力  $0.25 \times 148.98 = 37.245 \text{kN}$

全ネジボルト(SUS304)16mmの許容せん断荷重  $15.0 \text{kN}$

$37.24 / 15.0 = 2.482667 \rightarrow 3$  本必要

全ネジボルト(SUS304)20mmの許容せん断荷重  $23.4 \text{kN}$

$37.24 / 23.4 = 1.591453 \rightarrow 2$  本必要

引張応力

破断面積  $0.53 \times 0.48 = 0.2544 \text{m}^2$

破断面に生じる応力  $0.25 \times 60 = 21.4 \text{kN}$

全ネジボルト(SUS304)16mmの許容引張荷重  $21.4 \text{kN}$

$15 / 21.4 = 0.700934 \rightarrow 1$  本必要

全ネジボルト(SUS304)20mmの許容引張荷重  $33.4 \text{kN}$

$15 / 33.4 = 0.449101 \rightarrow 1$  本必要



接合イメージ

せん断応力を考慮した場合、16mmが3本もしくは20mmが2本必要となる。石材の大きさ及び形状、破損状況から削孔数を少なくした方が望ましいと考え、20mmを2本挿入した。なお、ボルトの定着長さは新たなワレやヒビが生じない程度とした。当該石材は、先にエポキシ樹脂系接着剤で接着してから削孔してボルトを挿入した。



先に接着



接着養生後に削孔(径30mm 2か所)

### F31

石材が複数（破片数6つ）に破断していることから、全ネジボルトよりも小口径のダボピン（SUS304）及び接合で使用した鎌を用いて接着した。この石材に関しては、解析結果を踏まえた加工を行っていないことから、積直しや載荷試験において注視することとした。



仮組み状態（上面）



仮組み状態（底面）

#### 加工手順

- ・2本のダボピンで破片AとBを接着
- ・3本のダボピンで接着したABと破片Cを接着
- ・鎌にて破片AとCを連結

なお、ダボピンの固定は接着剤を使用して、鎌は無収縮モルタルにて固定した。



接着イメージ



接着イメージ



ダボピン挿入後



完了

**せん断応力**

破断面積             $0.73 \times 0.67 = 0.489 \text{m}^2$   
 破断面に生じる応力     $0.49 \times 89.568 = 43.88832 \text{kN}$   
 全ネジボルト (SUS304) 16mm の許容せん断荷重     $15.0 \text{kN}$   
 $43.89 / 15.0 = 2.926 \rightarrow 3$  本必要  
 全ネジボルト (SUS304) 20mm の許容せん断荷重     $23.4 \text{kN}$   
 $43.89 / 23.4 = 1.875641 \rightarrow 2$  本必要

**引張応力**

破断面積             $0.73 \times 0.67 = 0.489 \text{m}^2$   
 破断面に生じる応力  $0.49 \times 54.917 = 26.90933 \text{kN}$   
 全ネジボルト (SUS304) 16mm の許容引張荷重     $21.4 \text{kN}$   
 $26.91 / 21.4 = 1.257477 \rightarrow 2$  本必要  
 全ネジボルト (SUS304) 20mm の許容引張荷重     $33.4 \text{kN}$   
 $26.91 / 33.4 = 0.805689 \rightarrow 1$  本必要



接合イメージ

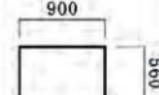
せん断応力を考慮した場合、16mmが3本もしくは20mmが2本必要となる。石材の大きさ及び形状、破損状況から削孔数を少なくした方が望ましいと考え、20mmを2本挿入した。なお、ボルトの定着長さは新たなワレやヒビが生じない程度とした。当該石材は、先に削孔してボルトを挿入してから、エポキシ樹脂系接着剤で接着した。



先に削孔して全ネジボルトを挿入



接着

|  |   |
|--|---|
|  <p>正面図</p><br> <p>断面図</p> | <b>せん断応力</b>  |
|  | 破断面積 $0.90 \times 0.56 = 0.504 \text{m}^2$<br>破断面に生じる応力 $0.50 \times 89.568 = 44.784 \text{kN}$<br>全ネジボルト (SUS304) 16mm の許容せん断荷重 $15.0 \text{kN}$<br>$44.78 / 15.0 = 2.985333 \rightarrow 3$ 本必要<br>全ネジボルト (SUS304) 20mm の許容せん断荷重 $23.4 \text{kN}$<br>$44.78 / 23.4 = 1.913675 \rightarrow 2$ 本必要 |
|  | <b>引張応力</b>   |
|  | 破断面積 $0.90 \times 0.56 = 0.504 \text{m}^2$<br>破断面に生じる応力 $0.50 \times 54.917 = 27.4585 \text{kN}$<br>全ネジボルト (SUS304) 16mm の許容引張荷重 $21.4 \text{kN}$<br>$27.45 / 21.4 = 1.28271 \rightarrow 2$ 本必要<br>全ネジボルト (SUS304) 20mm の許容引張荷重 $33.4 \text{kN}$<br>$27.45 / 33.4 = 0.821856 \rightarrow 1$ 本必要   |



接合イメージ

せん断応力を考慮した場合、16mmが3本もしくは20mmが2本必要となる。破断面が広いことから、削孔径を小さくして数を増やした方が望ましいと考え、16mmを3本挿入した。なお、ボルトの定着長さは新たなワレやヒビが生じない程度とした。当該石材は、先にエポキシ樹脂系接着剤で接着してから削孔してボルトを挿入した。



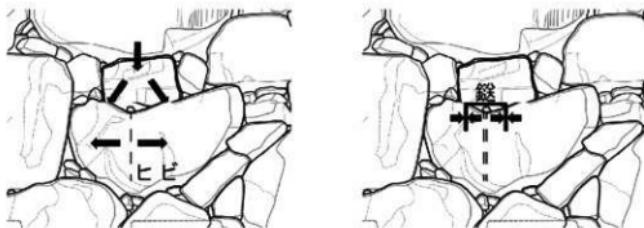
先に接着



削孔して全ネジボルトを定着（余分は切断）

2) 接合 3石 石垣3082面・・・F105及びF143  
石垣3083面・・・B24

接合とは、上載荷重の増加にともなう応力（ストレス）によりヒビからワレへの進行を抑制する措置を指す。具体的な方法として、ヒビ割れた部分を跨ぐようにステンレス製の 錨 を設置した。



このまま積直した場合、下の石を押し広げて割れてしまう。

接着のイメージ図

加工による衝撃でヒビを広げないために、接着同様にヒビから10cm離した位置に錨を打ち込み、無収縮モルタルにて石材に固定する方法を基本とした。なお、石材の破損状況に応じて独自の加工を施したものもある。B24は、複数に破断した上に破片が細かいことから、錨を倒して使用した。錨の大きさや太さは、石材の配石位置（角石や平石・根石付近や天端付近など）、上載荷重等を考慮するとともに、別途算出した石材に働く推定応力（ストレス）を参考に決定した。

a 接合石材の破損状況と硬度調査結果

接合対象石材は、ヒビや浮きが生じているものの、いずれも硬度が高いことから、石材加工により再利用が望まれるものである。ただし、F105や F143は、石垣の中段よりも下に位置することから、石垣の上載荷重だけでも相当なものとなる。そのため石材の状態を踏まえた加工を施す必要がある。別途調査した接合石材の目視による破損調査及び硬度調査結果（石材カルテ）を掲載する。

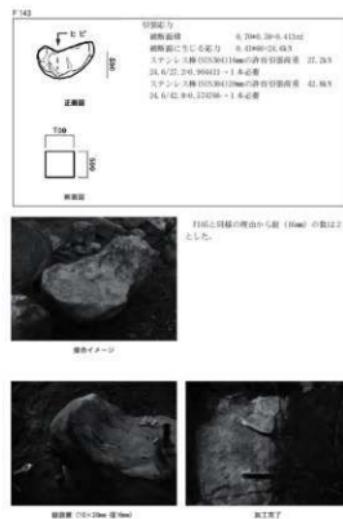


図6- 23 F 143 石材調査カルテ

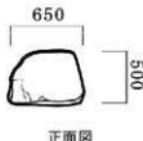


図6- 24 B 24 石材調査カルテ

b 接合仕様

ヒビからワレへの進行を防ぐために設置した鍔の役割を考え、引張応力を参考にして鍔の数及び太さを決定した。

F105



正面図

引張応力

$$\text{破断面積} \quad 0.65 \times 0.50 = 0.325 \text{m}^2$$

$$\text{破断面に生じる応力} \quad 0.33 \times 60 = 19.8 \text{kN}$$

ステンレス棒(SUS304)16mmの許容引張荷重 27.2kN

$$19.8/27.2 = 0.727941 \rightarrow 1 \text{本必要}$$

ステンレス棒(SUS304)20mmの許容引張荷重 42.8kN

$$19.8/42.8 = 0.462616 \rightarrow 1 \text{本必要}$$



接合イメージ

推定応力を基に鍔の規模を考えた場合、16mmが1本で足りることになる。しかし、鍔を1本した場合、石材と鍔の間にわずかな隙間が生じるため破断箇所の拘束力が弱く、荷重を受けた時に広がるおそれがあると考えた。そこで、破断箇所の拘束をより確かなものとするため鍔の数を2本とした。



鍔設置 (10×30mm 径16mm)



加工完了

## ⑤石積み

石積みの作業は、バックホウ（クレーン機能付き）とラフテレーンクレーン（以降「クレーン」という）を併用して行った。作業に従事する石工は近世城郭の石垣解体修理の実績を有するものとし、平成26～27年度の桜御門石垣解体工事に従事した石工を職長として配置した。石積み及び定点観測の作業効率向上を目的として予め積直し順序を示した模式図を作成したが、石材加工や新補石材の合端調整に時間を要し、計画通りに積直すことはできなかった。本試験における積直し経過を下図に示す。

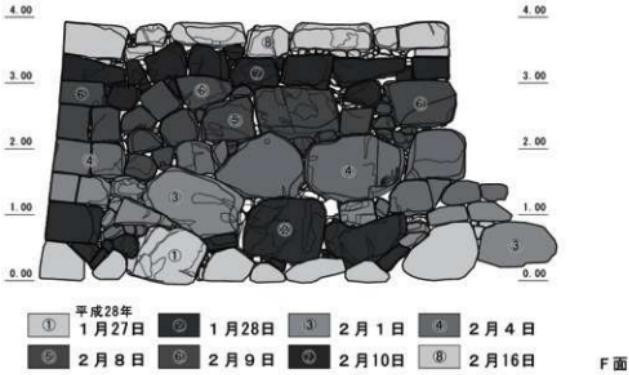


図6-25 東面石積経過図

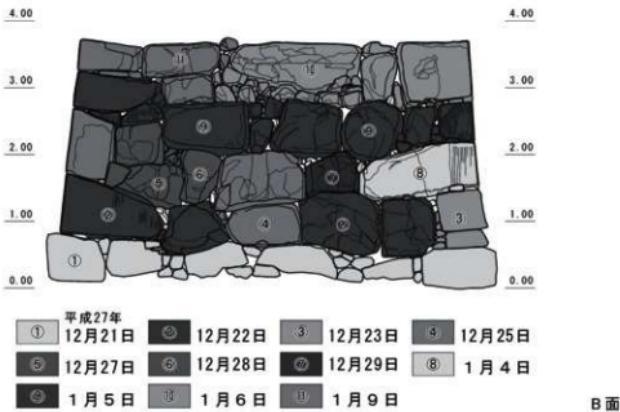


図6-26 西面石積経過図

桜御門石垣は、経年劣化や昭和20年の高松空襲による被熱の影響で、石材の多くにヒビやワレ、カケ、剥離等の破損が生じている。当該石垣の修理方針を再利用率の向上としていることから、破損した石材についても接着や接合等の加工を施した上で再利用した。ただし、破損の程度や石材の強度不足から、加工を施しても再利用は難しいと判断せざるを得ないものもあった。そのような石材については、転用石による補完を優先し、それでも代替石材がない場合に限り新補石材と交換することとした。本報告書における各石材の呼称及び取扱いを次頁に示す。

## <石材の名称>

### 1) 再利用石

解体した位置に積直す石材は、健全石及び破損石、加工石の3種類で、本報告書における各石材の定義を以下に示す。

#### ア) 健全石

ワレやヒビ、欠け、剥離等の破損がほとんど生じていない石材。

#### イ) 破損石

石垣の安定性に影響しない軽微な破損が生じている石材。

#### ウ) 加工石

破損の程度が大きいものの、硬度が高いことから接着や接合等の加工を施した石材。

### 2) 転用石

新補石材と交換する石材の内、別の位置で積石として利用するもの。

### 3) 新補石

破損の程度が石垣の安定性を欠くもので、加工を施しても再利用が困難と判断した石材の替わりに積直す石材。※本業務では別途購入したものを使用した。

## <石材の取り扱い>

### 1) 健全石及び破損石

石材への加工は原則行わず、解体前の位置に積直した。石材の当たりは解体時に記録した位置を基本としたが、孕みを解消する点や剥離やカケ等の破損により、当たりの変わったものもある。その場合は、桜御門での積直しの目安とするため、新しい合端に墨汁でヒゲを付けた。

### 2) 加工石

取り扱いは上記の石材と同様。ただし、破損石材は石材強度調査等で構造上支障とならないものとして分類しているが、目に見えない部分での破損も十分に考えられる。そのため、積直しや載荷試験にともなうストレスで新たなワレやヒビが生じることを想定し、目視観察はもちろんのこと、定点観測の観測点を増やしたりガラス棒を設置するなど異常がないか注視した。

### 3) 転用石

積石としての再利用率を向上させるため、必要最小限の加工を行った。なお、再利用石及び新補石と区別するため、石材の控え部分に墨汁にて『転27』と記した。

### 4) 新補石

破損石及び加工石は、剥離やカケ等により石材が小さくなり、解体前と当たりが変化している。新補石は、交換する石材よりも大きくすることで、周辺石材を可能な限り解体前の位置に戻すことに努めた。再利用石材及び転用石と区別するため、石材の控え部分に墨汁にて『H27』と記した。

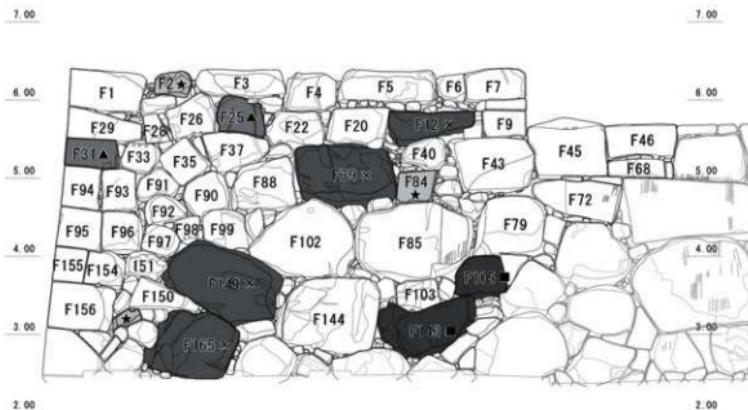


図6-27 F面(3082)解体石材取り扱い区分図 S=1/60

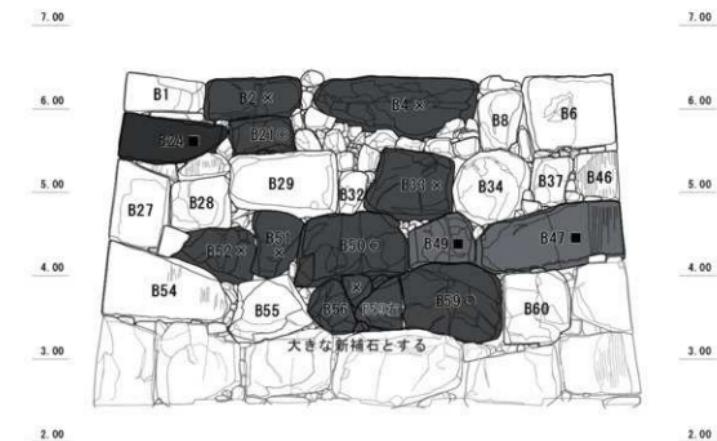


図6-28 B面(3083)解体石材取り扱い区分図 S=1/60

| 凡例                |
|-------------------|
| ■ 再利用石 - 健全石      |
| ● 再利用石 - 破損石      |
| ■ 再利用石 - 加工石 (接合) |
| ▲ 再利用石 - 加工石 (接着) |
| ★ 転用石             |
| ✖ 新補石             |



G面 (3079面)



J面 (3081面)



B面 (3083面)



A面 (3019面)



F面 (3082面)



C面 (3084面)

各石垣面の根石を含む石積・解体面積は以下のとおり。なお、角石部分については、正面の面積を控除して側面のみ求積した。

表6-4 各石垣面石積・解体面積

単位: m<sup>2</sup>

| 石垣番号  | G (3079) | J (3081) | F (3082) | 計     |
|-------|----------|----------|----------|-------|
| 積直し面積 | 12.51    | 2.47     | 24.28    | 39.26 |

| 石垣番号  | A (3019) | B (3083) | C (3084) | 計     |
|-------|----------|----------|----------|-------|
| 積直し面積 | 9.46     | 21.27    | 10.40    | 41.13 |

合計80.39m<sup>2</sup>

## ⑥栗石充填

桜御門の石垣解体で撤去した支給材を優先的に使用し、不足分は購入材で補った。石材の投入や撒き出しはバックホウやクレーンにて行ったが、最終的には人力によって隙間なく丁寧に詰めた。東側石垣が $55m^3$ （支給材 $49m^3$ +購入材 $6m^3$ ）、西側石垣が $46m^3$ （全て支給材）の栗石を充填した。



中段付近まではバックホウによる投入



天端付近はクレーンによる投入



布モッコからの撒き出し



人力による敷き均し

## ⑦大型土のう製作・設置

裏込め栗石を押さえるために購入土（真砂土）を中詰めした大型土のう（径 $110*108cm$ 円筒形）を110袋製作した。石垣背面と石垣のない側面で階段状に積み上げた。なお、出面部は、上載荷重による変形量を観測するため、角石から僅かに離して置いた。



東側石垣側面



東側石垣背面



西側石垣側面



西側石垣背面

#### ⑥反射シート設置

定点観測対象石材に対して、石積み後に反射シートを設置した。設置位置は、石材正面が傾くことにより観測点の高さが変化することを極力抑えるため、可能な限り石材の中央とした。また、地盤沈下の有無を確認するために、根石についても定点観測の対象とした。定点観測は正面だけを行い、側面については石積終了後（載荷試験前）にガラス棒を設置した。設置位置と管理番号については定点観測に記す。なお、反射シートは試験終了後に取り外した。



ブラシで表面の汚れを落とす



コーティング剤を付ける



プラバンに貼り付けた反射シートを付ける



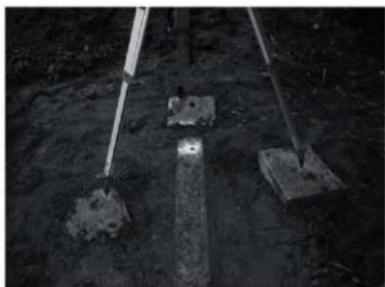
設置完了

### ⑨光波計測

反射シート設置後に初期値を計測した。その後、概ね1段積み上げる毎に各点を計測して、水平及び垂直移動量を記録した。許容値は計測時における石垣高さの0.3%とし、許容値を超える場合や他点と比べ異常な動きがみられる場合は、速やかに作業を中止して原因を究明するとともに、調査職員と対応を協議する体制とした。計測結果は定点観測にまとめる。なお、計測器は防犯上及び夜露による故障を防ぐために毎日撤去したが、三脚については足下のコンクリートベースに固定し、計測終了まで残置して計測精度の向上に努めた。

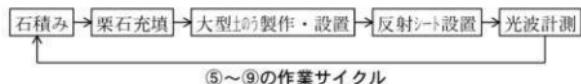


光波計測



三脚のズレ止め

※⑤の石積み作業に戻る。天端石までの石積み作業が完了した段階で⑩に移る。



### ⑩仮設足場設置

当初、積直し作業に合わせて石垣前面に単管足場を設置する計画としていたが、定点観測の支障となることから可動式の足場を用いた。



載荷試験での作業を考慮して2台組み立て



光波計測時は足場を移動

## ⑪重量計設置

天端角石に所定の荷重が載荷しているか確認するため、天端角石の上に重量計（マルチロードメーター）を設置した。なお、積石に対して点載荷とならないよう、コンクリート製のベースとズレ止めのアングルを付けた鋼製プレート（9\*500\*900）を設置してから重量計を置いた。



コンクリートベースとプレート



重量計設置（黄色い板状のもの）



指示計



表示部拡大（片側のみも表示可）

## ⑫台座製作・設置

敷き鉄板を置くための台座をH形鋼にて製作した。台座は敷き鉄板9枚分（約16t）の設置に耐えうる構造であるとともに、天端角石だけに台座及び敷き鉄板の荷重をかけるため立ち上がり（脚部）を設けた。4点支持の構造として計画の4倍の重量を載荷した。重量を計測しない後方2点は、台座を水平に設置するため切石や木材等にて重量計と高さを合わせた。



台座全体



立ち上がり



木材とスペーサーにて高さ調整



石材のみで高さ調整

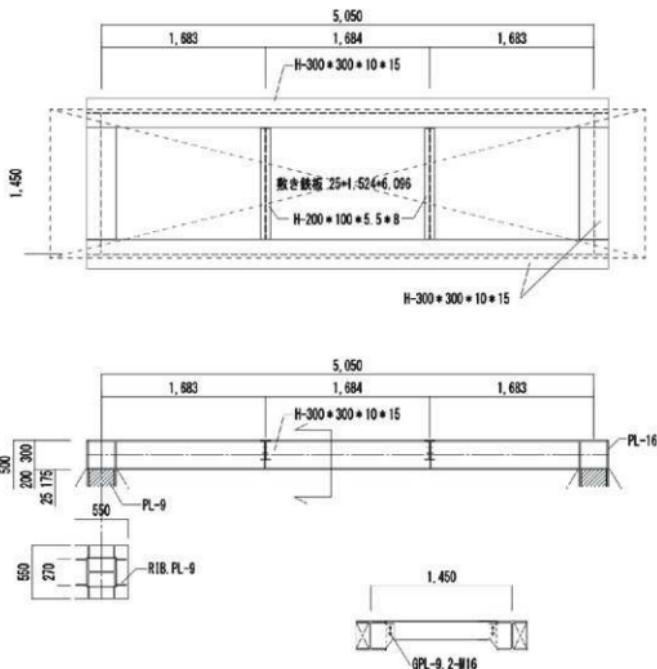


図6-29 台座詳細図 S=1/50

### ⑬光波計測

台座を設置した後、光波計測を行い水平及び垂直移動量を記録した。許容値等の考え方は⑨に準じた。

#### ⑩敷き鉄板設置

台座の上に敷き鉄板（25\*1,524\*6,096:1,823kg/枚）を9枚設置した。長さが6mもあることから風の影響を受けやすく、危険をともなう作業であることから、天候の安定した日もしくは時間帯を選んで作業を行った。先端に鉤爪の付いた3本吊りワイヤーにて吊り上げ、石垣の様子（変形）を確認しながら慎重に積み重ねた。

1枚毎に敷き鉄板の重心が異なることから、左右のバランスを絶えず確認し、バランスが取れるまで向きや位置を変えて置き直した。台座から9枚の敷き鉄板を設置するまでに、何度も置き直しを行ったことから、石垣は載荷状態から自重だけの状態を短時間の内に往復したことになる。



敷き鉄板 9枚



厚さ25mm

#### ⑪光波計測

敷き鉄板を3枚設置する毎に光波計測を行い、水平及び垂直移動量を記録した。許容値の考え方方は⑨に準じた。



#### ⑫～⑯の作業フロー

##### ■ガラス棒設置

定点観測では、変形の有無を目視にて確認することが難しいことから、積直し完了後に側面及び正面の隅角部を中心にガラス棒を設置した。



東面石垣ガラス棒設置状況



西面石垣ガラス棒設置状況

表 6-5 東面載荷試驗經過狀況



右側後面

|           |          |   |    |
|-----------|----------|---|----|
| 2016.8.28 | 11:30:57 | 2 | 右側 |
| 00101:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00102:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00103:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00104:    | 258.4m   | 1 | 右側 |

|           |          |   |    |
|-----------|----------|---|----|
| 2016.8.28 | 12:05:56 | 3 | 右側 |
| 00101:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00102:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00103:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00104:    | 258.4m   | 1 | 右側 |

|           |          |   |    |
|-----------|----------|---|----|
| 2016.8.28 | 12:38:57 | 4 | 右側 |
| 00101:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00102:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00103:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00104:    | 258.4m   | 1 | 右側 |

|           |          |   |    |
|-----------|----------|---|----|
| 2016.8.28 | 13:08:57 | 5 | 右側 |
| 00101:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00102:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00103:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00104:    | 258.4m   | 1 | 右側 |

表 6-6 西面載荷試驗經過狀況



右側後面

|           |          |   |    |
|-----------|----------|---|----|
| 2016.8.28 | 11:30:57 | 1 | 右側 |
| 00101:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00102:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00103:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00104:    | 258.4m   | 1 | 右側 |



右側後面

|           |          |   |    |
|-----------|----------|---|----|
| 2016.8.28 | 11:30:57 | 2 | 右側 |
| 00101:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00102:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00103:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00104:    | 258.4m   | 1 | 右側 |



右側後面

|           |          |   |    |
|-----------|----------|---|----|
| 2016.8.28 | 11:30:57 | 3 | 右側 |
| 00101:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00102:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00103:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00104:    | 258.4m   | 1 | 右側 |



右側後面

|           |          |   |    |
|-----------|----------|---|----|
| 2016.8.28 | 11:30:57 | 4 | 右側 |
| 00101:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00102:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00103:    | 258.4m   | 1 | 右側 |
| 00104:    | 258.4m   | 1 | 右側 |

## ⑩経過観察

載荷状態での経過観察は、東側石垣が平成28年2月19日から24日までの6日間、先行した西側石垣も平成28年1月13日から18日までの6日間行った。日曜日を除く1日1回の定点観測とともに、ガラス棒については毎日破損が生じていないか確認を行った。1日目に東面石垣の側壁石垣3079(G)面でガラス棒が1本破損したことを受け、さらにガラス棒が破損し危険と判断した場合は現場の判断で石垣正面に大型土のうを設置するとともに荷重の除去を行うこととした。幸いにもその後ガラス棒の破損は確認されなかった。



ガラス棒破損箇所



ガラス棒破損状況

## ⑪敷き鉄板撤去

6日間の経過観察後、台座の上に載せた敷き鉄板を撤去した。作業は設置時と同様の方法にて慎重に行った。また、吊り上げた敷き鉄板は風の影響を受け易く、危険をともなう作業であることから、気候が安定した日もしくは時間帯を選んで作業を行った。

## ⑫光波計測

敷き鉄板を3枚撤去する毎に光波計測を行い、水平及び垂直移動量を記録した。許容値等の考え方方は⑩に準じた。



⑪～⑫の作業サイクル

## ⑬台座撤去・仮置き

石垣の上に載せた台座をクレーンにて撤去した。2回目（東側石垣）の載荷試験の終了後、適切に処分した。

## ⑭重量計取り外し

台座を撤去した後に重量計を取り外した。

## ⑮光波計測

台座撤去後に光波計測を行い、水平及び垂直移動量を記録した。許容値等の考え方方は⑩に準じた。

## ⑫石積み解体

解体は、ラフテレンクレーンとバックホウ（クレーン機能付き）を併用して、天端から水平に1石ずつ慎重に取り外した。本作業は、石積み作業に従事した石工及び職長を充てた。解体した石材は、石垣面毎に天端石から順にヤードへ平置きして、本試験前の状態に戻した。なお、新補石材については、積直しの目安とするため、隣接する石材との合端にヒゲを付けた。再利用石の破損状況を確認とともに、接着及び接合した石材の加工部分に不具合が生じていないか目視にて確認した。

## ⑬栗石撤去・仮置き

石積みの解体高さに合わせて、背後の栗石を撤去した。バックホウによる施工を基本としたが、石尻部分は積石を破損しないよう人力にて撤去した。撤去した石材は、支給材と購入材を分けて、現場に仮置きした。

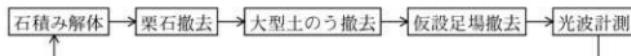
## ⑭大型土のう撤去・仮置き

栗石の撤去に合わせて、大型土のうを撤去した。バックホウもしくはクレーンにて撤去し、現場に安定した形で仮置きした。

## ⑮光波計測

1段解体する毎に各点を計測して、水平及び垂直移動量を記録した。許容値等の考え方は⑨に準じた。

※⑫の石積み解体作業に戻る。



## ⑯～⑰の作業サイクル

## ⑯根石撤去・仮置き

石積みの解体及び栗石撤去等が完了した時点で根石を撤去した。撤去した石材は現場に仮置きした。

## ⑰地業の撤去及び埋め戻し

石垣3082面の耐久試験が終了後、地業の栗石を撤去して現場に仮置きした。堀方は掘削土及び現場仮置き土にて埋め戻した。

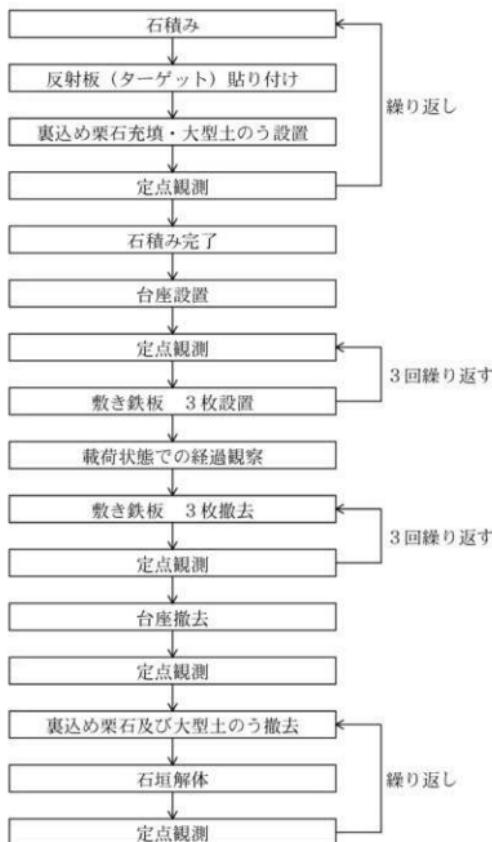
## 定点観測

### ①概要

石垣積直しから載荷試験までの上載荷重が増加していく過程及び経過観察、敷き鉄板の撤去から石垣解体までの荷重が減少する過程において石垣の定点観測を行った。

載荷試験では天端角石に4点支持の台座（約1t）を設置した。台座に1枚の重量が約1.8tの敷き鉄板を9枚載せると、台座及び敷き鉄板の総重量は約17tとなり、1か所当たり約4tの載荷となる。なお、台座の下に重量計を設置して、重量を確認するとともに、試験中の安全管理として不均等な載荷となっていないか絶えず確認した。

作業手順



## ②観測箇所

観測箇所は間詰め石を除く全ての積石を対象とした。なお、接着した石材については、各破損片毎に観測点を設けた。



図6-30 東側石垣定点観測箇所図



図6-31 西側石垣定点観測箇所図

### ③観測のタイミング及び許容値

観測は石積及び解体後、載荷試験での各段階毎に行った。各石垣面の観測タイミング時期は次頁に示す。光波計測でも述べたように観測値の許容値は、石垣高さの0.3%とし、許容値を超える場合や他点と比べて異常な動きがみられる場合は、速やかに作業を中止して原因を究明するとともに、調査職員と対応を協議することとした。

石垣の変形と安定性の評価については、整備会議の西田委員が提唱する孕み出し指標があるものの、わずかな変形に対して評価する基準がない。そのため、史跡高松城跡にて定点観測を行う場合は、法面における変形率と安定性を評価するために行った実験データ（土木学会論文集：地山補強土工法を用いた掘削斜面の変位計測による安定管理）を基準としている。これまでに、天守台及び地久櫓台にて定点観測を行っているが、0.3%を超える移動量は観測されていない。また、載荷試験による定点観測の他事例として、平成14年度に特別史跡熊本城跡の本丸御殿復元にともない行っている。この時の許容値は1/200とし、百分率にすると0.5%となる。

### ④観測結果

載荷試験開始から荷重を除去するまでの間において、許容値を超える観測点はなかった。各観測点の移動量は資料に掲載する。各面の水平移動及び垂直移動の傾向は以下のとおり。

#### 石垣3082（F）面

載荷試験中や載荷除去中と比べて経過観察中の水平及び垂直移動量が多い。特定の部位だけではなく石垣全体で移動している。同時期にガラス棒が破損していることから、測量誤差ではなく実際に動いたものと考えられる。

#### 石垣3083（B）面

載荷試験から経過観察、載荷除去における水平及び垂直移動量はわずかであった。

なお、石垣積直しの期間を除いて、部位（角石と平石）や高さにおいて水平及び垂直移動に大きな差は生じなかった。

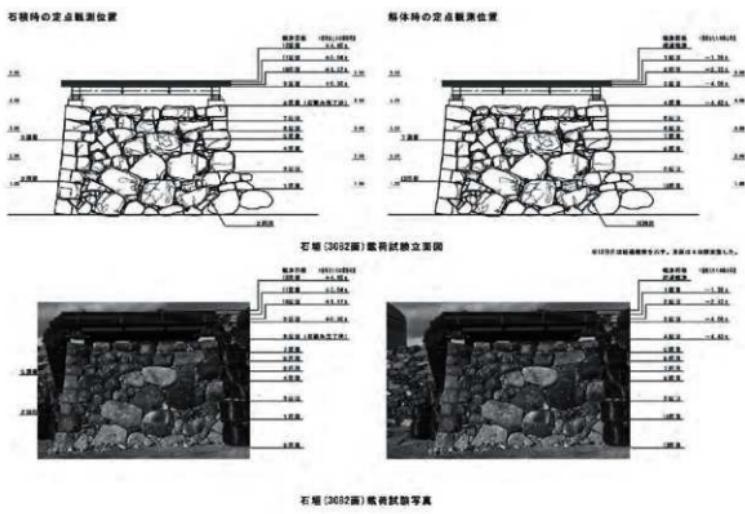


図6-32 F面(3082) 観測位置

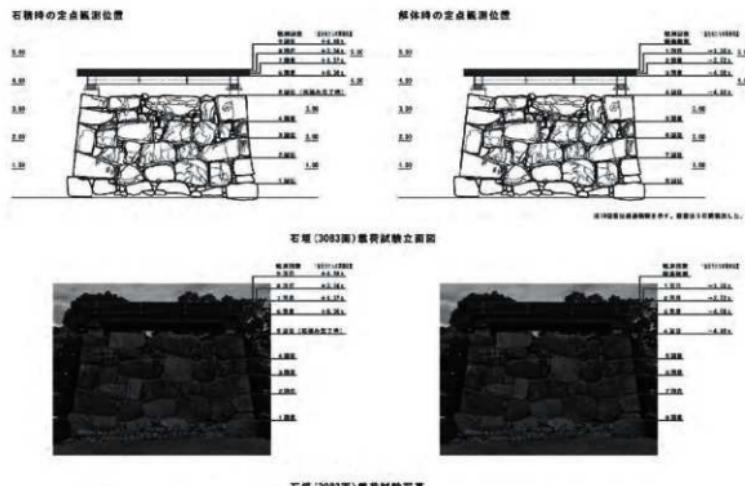


図6-33 B面(3083) 観測位置

## まとめ

試験対象石垣の特徴や本試験で得られたデータを踏まえ、石材の取扱いに方法についてまとめ る。

### ① 試験対象石垣の特徴

#### 石垣3082（F）面

- ・北側隅角部は整形した石材を用いているが、算木積みになっていない。平石部は、石材の大 きさにかなり差があることから、全体が乱積みとなっている。
- ・南側隅角部及びその下部は、積石同士を当てずに小さい石材を間に噛ませている。
- ・平石部は石材の横幅より控えが短いものが多数ある。
- ・石質は大半が花崗岩でわずかに安山岩を用いる。
- ・破損箇所を中心に孕み出しが生じているが、天端部分で沈下は生じていない。
- ・石材の当たりで垂直にワレが生じた石材が多い。
- ・石垣解体調査にて桜御門焼失後に積み替えた痕跡は確認されず。

#### 石垣3083（B）面

- ・隅角部は加工した石材を用いているが、完成度の高い算木積みとはいえない。平石部は、石 材の大きさに極端な差がなく、乱積みではあるがある程度横目地が通っている。
- ・北側隅角部及び中央天端付近は、積石同士を当てずに小さい石材を間に噛ませている。
- ・平石部は石材の横幅より控えが短いものが多数ある。
- ・石質は大半が花崗岩でわずかに安山岩を用いる。
- ・破損箇所を中心に孕み出しが生じているが、天端部分で沈下は生じていない。
- ・石材の当たりで垂直にワレが生じた箇所が多く、破損箇所が横に連続している。
- ・石垣解体調査にて桜御門焼失後に積み替えた痕跡は確認されず。

### ② 破損石材の取扱い

#### 石垣3082（F）面（図6-27）

- ・新補石の数は4石で、石材が碎けるなど石材加工を施しても再利用は難しく、面が大きく転 用石での交換がきかない石材を対象とした。
- ・石垣上部の2石を接着して、下部の2石を接合した。
- ・石材加工を施しても再利用は難しい石材の内、それほど大きくない3石については転用石に て補足した。

#### 石垣3083（B）面（図6-28）

- ・新補石の数は6石で、石材が複数に破断するなど石材加工を施しても再利用は難しく、面が 大きく転用石での交換がきかない石材を対象とした。
- ・B56は、B59左側の破損箇所を取り込んで、破損する前より大きくした。
- ・石垣上部の1石を接合して、中段の2石を接着した。F31は複数に破断していたが、角石で あることから、石材加工を施して再利用の可能性を探ることとした。
- ・B50は石材中央でワレが生じているが、周辺石材を新補石材に換えることで石材加工せずに そのまま再利用した。

### ③耐久試験後の加工石材の状態

石垣3082 (F) 面

- 接着したF25は、上載荷重が天端石だけであることから当然変化は生じていない。桜御門を建設する際は土台が受けた荷重がさらに加わる。
- 複数に破断したF31は小口径のピンや鍵で1つにしたことから、接着面での強度不足を心配した。しかし、上載荷重を受けても接着面での破断ではなく、とくに異常はみられない。
- 接合したF105及びF143に異常はみられない。

石垣耐久試験終了後のF面加工石材



F31正面（接着）



F31背面（接着）



F25（接着）



F143（接着）



F105正面（接合）



F105背面（接合）

### 石垣3083（B）面

- 接着したB47及びB49に異常はみられない。
- B24は石材右側のヒビが加工による振動で広がったため、鎌を横に倒して設置したことから、上載荷重による破碎を心配した。しかし、上載荷重を受けても砕けることもなく、とくに異常はみられない。



石垣耐久試験終了後のB面加工石材

B47（接着）



B24（接着）



B49（接着）

### ④載荷試験による石垣及び石材への影響

#### 1) 石垣の変形

定点観測結果やガラス棒の破損が示すように上載荷重により石垣全体が変形している。この変化にともない東面石垣では敷き鉄板を8枚載せた際に天端から2段目の角石脇に詰めた間詰め石が落下した。



間詰め石落下前



間詰め石落下後

## 2) 石材の破損

石垣3082 (F) 面

- 接着加工を施したF25の真下の石材 (F37) にヒビが生じた。



控え部分でヒビが生じている(F37)



控え部分の拡大

石垣3083 (B) 面

- 破損したまま再利用したB50は、両片ともヒビからワレに進行した。この石材は、解体前に石材中央にて割っていたが、周辺石材を新補石に交換したこと、加工せずにそのまま積直したものである。



B50正面（ワレの前）



B50右片がワレに進行



B50（左片背面）据え直し後（ヒビの状態）



B50（左片背面）石垣解体（ワレに進行）

##### ⑤石材再利用判定（三次判定）

石垣解体時に作業に従事した石工の目視により一次判定を行った。その後、目視や打音だけではなく硬度調査結果を踏まえ二次判定を行った。その判定結果を検証するために耐久試験を行い、石材の状態を踏まえ三次判定を行った。

各石垣面における石材の取扱いは以下のとおり。

###### 石垣3082（F）面

破損石材の取扱いを検討する際図6-27に、F85及び102、103の3石は上載荷重で砕けるおそれがあるとして構造上の課題としていた。しかし、耐久試験後に石材の状態を確認したところ、ヒビの拡大やワレへの進行は確認されなかった。石材加工を施した石材にも異常がみられなかつたが、F37に新たな破損（ヒビ）が生じた。打音検査を行ったがヒビは深くないと判断し、三次判定では再利用可能（青色）と判定した。

###### 石垣3083（B）面

破損石材の取扱を検討する際図6-28に、北側隅角部は積石の間に小さな石材を挟んでいることに対して、上載荷重で砕けるおそれがあるとして構造上の課題としていた。しかし、耐久試験後に石材の状態を確認したところ、破損は確認されなかつた。石材加工を施した石材にも異常がみられなかつたが、B50はヒビがワレに進行した。周辺に新補石材が集まることから、接着処理を施し再利用を検討する。

積直し作業中は、破損の有無にかかわらず、石材の状態を確認、把握しておく必要がある。上載荷重の増加にともない、ヒビからワレへの進行や新たなワレ等が生じた場合は直ちに作業を止める。破損した原因を探るとともに石材加工又は石材交換等により、安定した石垣の構築に努めていく必要がある。

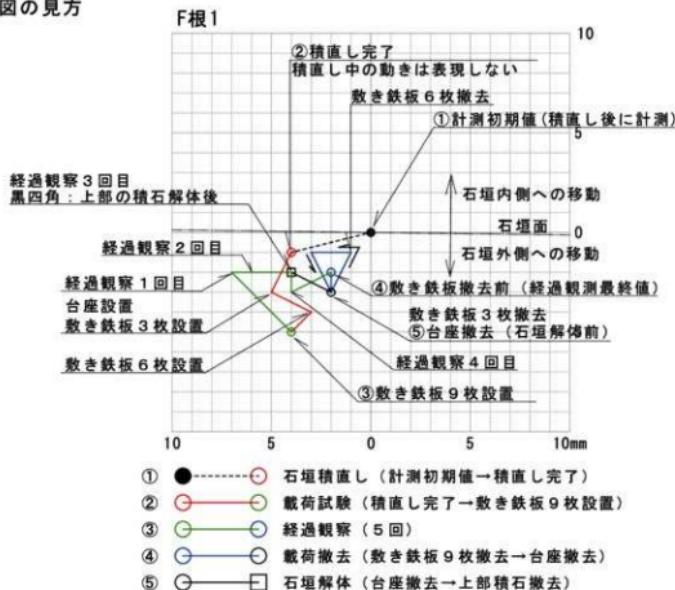
表6-7 F面(3082)石材再利用判定

| 石種番  | 石材番号 | 一次判定    |         |      | 加工      | 備考                      |
|------|------|---------|---------|------|---------|-------------------------|
|      |      | 二次判定    | 三次判定    | 判定せず |         |                         |
| 3082 | F1   | 再生利用可能  | 再生利用    | 判定せず | 転用石と交換  |                         |
|      | F2   | 再生利用    | 再生利用不可  | 判定せず |         |                         |
|      | F3   |         |         |      |         |                         |
|      | F4   |         |         |      |         |                         |
|      | F5   |         |         |      |         |                         |
|      | F6   |         |         |      |         |                         |
|      | F7   |         |         |      |         |                         |
|      | F9   |         |         |      |         |                         |
|      | F12  |         |         | 判定せず | 新補石材に交換 |                         |
|      | F20  |         |         |      |         |                         |
|      | F22  |         |         |      |         |                         |
|      | F25  | 再生して再利用 | 再生して再利用 | 検査   |         |                         |
|      | F28  |         |         |      |         |                         |
|      | F30  |         |         |      |         | 表面が汚れていることから研磨し時に注意する   |
|      | F31  |         |         | 被膜除去 |         |                         |
|      | F33  |         |         |      |         |                         |
|      | F35  |         |         |      |         |                         |
|      | F37  |         |         |      |         | 新たにヒビが発生したことから研磨し時に注意する |
|      | F39  |         |         | 判定せず | 新補石材に交換 |                         |
|      | F40  |         |         |      |         |                         |
|      | F43  |         |         |      |         |                         |
|      | F45  |         |         |      |         |                         |
|      | F46  |         |         |      |         |                         |
|      | F68  |         |         |      |         |                         |
|      | F72  |         |         |      |         |                         |
|      | F75  |         |         |      |         |                         |
|      | F84  |         |         | 判定せず | 転用石と交換  |                         |
|      | F85  |         |         |      |         |                         |
|      | F88  |         |         |      |         | 欠陥したままで再利用              |
|      | F90  |         |         |      |         |                         |
|      | F91  |         |         |      |         |                         |
|      | F92  |         |         |      |         |                         |
|      | F93  |         |         |      |         |                         |
|      | F94  |         |         |      |         |                         |
|      | F95  |         |         |      |         |                         |
|      | F98  |         |         |      |         |                         |
|      | F99  |         |         |      |         |                         |
|      | F100 |         |         |      |         | ヒビが多数あることから研磨し時に注意する    |
|      | F105 | 再生して再利用 | 再生して再利用 | 検査   |         |                         |
|      | F142 |         |         | 検査   |         |                         |
|      | F144 | 再生利用可能  | 再生利用    |      |         |                         |
|      | F149 | 再生利用可能  | 判定せず    |      | 新補石材に交換 |                         |
|      | F150 | 再生利用    | 再生利用    |      |         |                         |
|      | F151 |         |         |      |         |                         |
|      | F154 |         |         |      |         |                         |
|      | F155 |         |         |      |         |                         |
|      | F165 |         |         | 判定せず | 新補石材に交換 |                         |

表6-8 B面(3083)石材再利用判定

| 石種番  | 石材番号 | 一次判定   |      |         | 加工 | 備考                   |
|------|------|--------|------|---------|----|----------------------|
|      |      | 二次判定   | 三次判定 | 判定せず    |    |                      |
| 3083 | B1   |        |      |         |    |                      |
|      | B2   |        |      | 判定せず    |    | 新補石材に交換              |
|      | B4   |        |      | 判定せず    |    | 新補石材に交換              |
|      | B5   |        |      |         |    |                      |
|      | B8   |        |      |         |    |                      |
|      | B21  |        |      |         |    |                      |
|      | B24  |        |      |         |    | ヒビが多數あることから研磨し時に注意する |
|      | B27  |        |      |         |    |                      |
|      | H2H  |        |      |         |    |                      |
|      | W29  |        |      |         |    |                      |
|      | B32  |        |      |         |    |                      |
|      | B33  |        |      | 判定せず    |    | 新補石材に交換              |
|      | B34  |        |      |         |    |                      |
|      | B37  |        |      |         |    |                      |
|      | B46  |        |      |         |    |                      |
|      | B47  | 再生利用可能 | 再生利用 | 検査      |    |                      |
|      | B49  |        |      | 検査      |    |                      |
|      | M60  |        |      | 検査して再利用 |    | 研磨試験時にヒビが発生・接着率が必要   |
|      | B51  |        |      | 判定せず    |    | 新補石材に交換              |
|      | B52  |        |      | 判定せず    |    | 新補石材に交換              |
|      | B54  |        |      |         |    |                      |
|      | B55  |        |      |         |    |                      |
|      | B58  |        |      | 判定せず    |    | B58の左片を取り込んで新補石材に交換  |
|      | B69  |        |      |         |    | 欠陥したままで再利用           |
|      | B80  |        |      |         |    | ヒビが多數あることから研磨し時に注意する |

## 水平移動図の見方



## 垂直移動図の見方

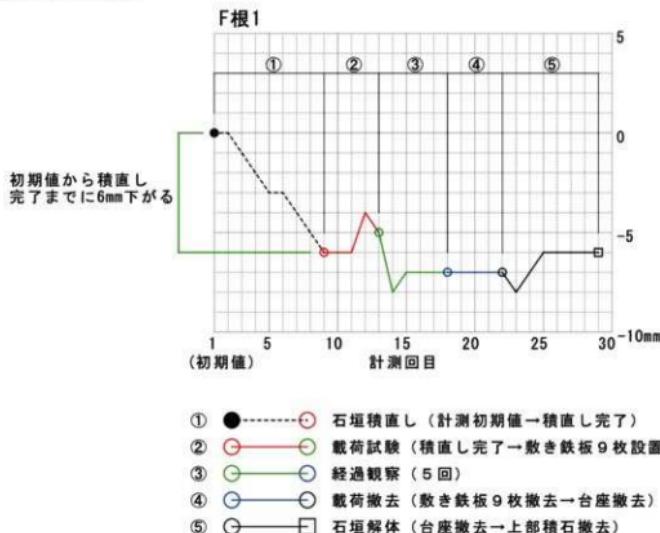


図6-34 定点観測凡例

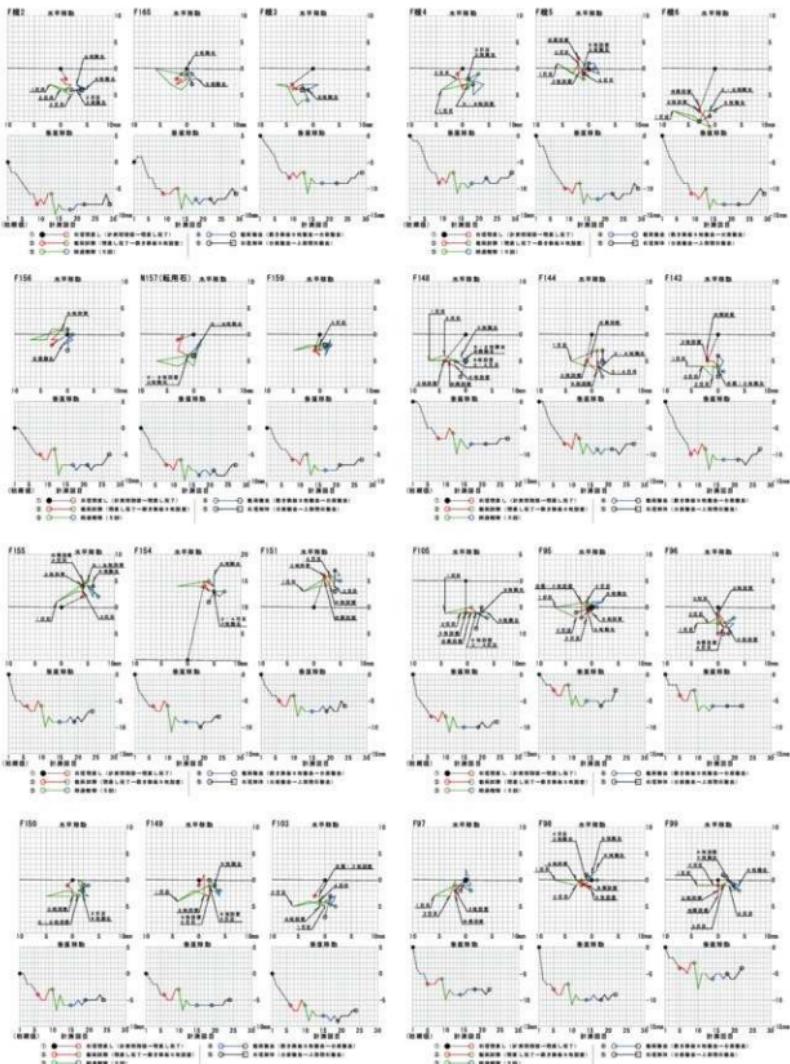


図6-35 定点観測図①

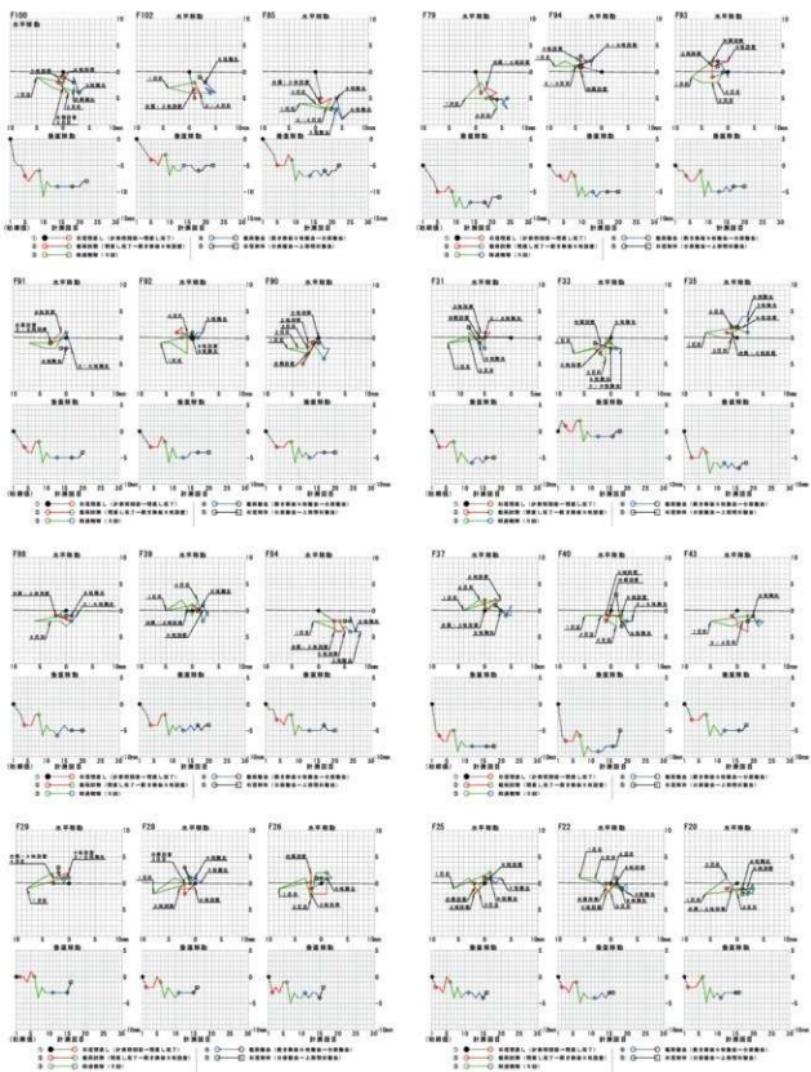


図6-36 定点観測図②

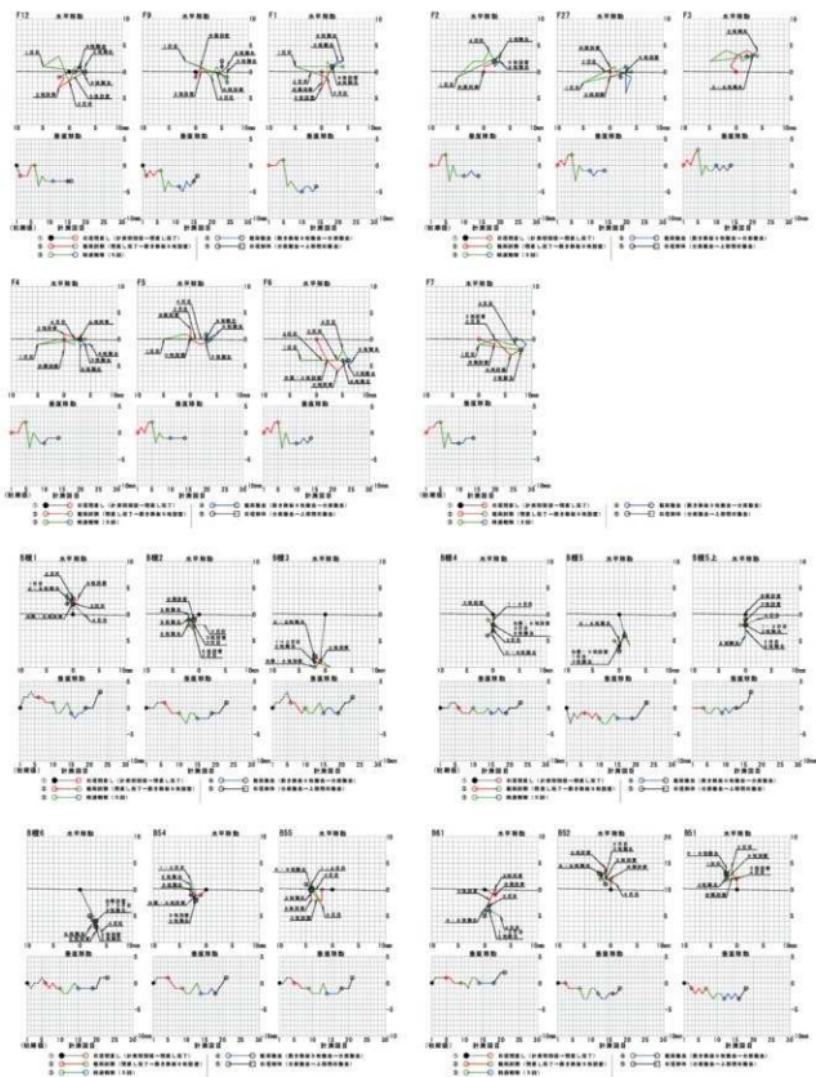


図6-37 定点観測図③

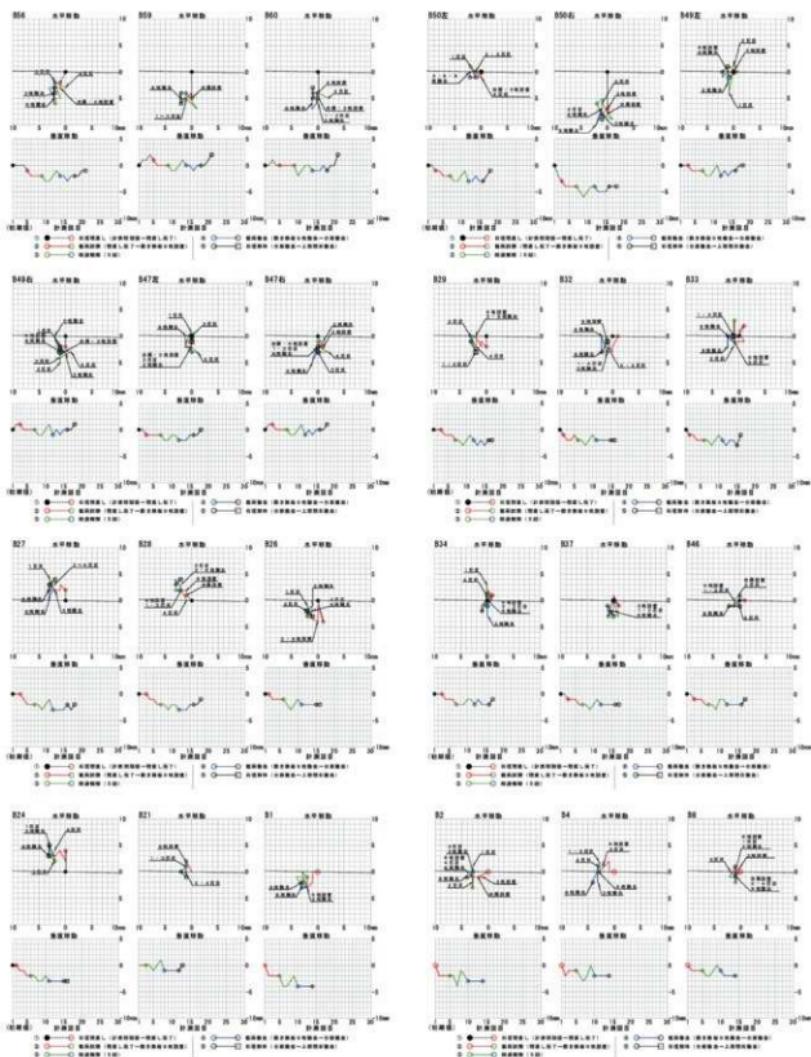


図6-38 定点観測図④



図6-39 試験中写真①



図6- 40 試験中写真②



接着作業場



接着作業場



タヒビン導入



接着作業



接着作業



接着作業



角の部分を接着



接着作業



完了



タヒビン導入後



接着作業中



接着作業モニタル充填

図6-41 試験中写真③



全ネジ埋入(往20m×上3m)



所生完了



運搬用搬手



施工前



施工後



施工後



所生位置決め



所生位置決め(往20m×上3m)



所生位置決め

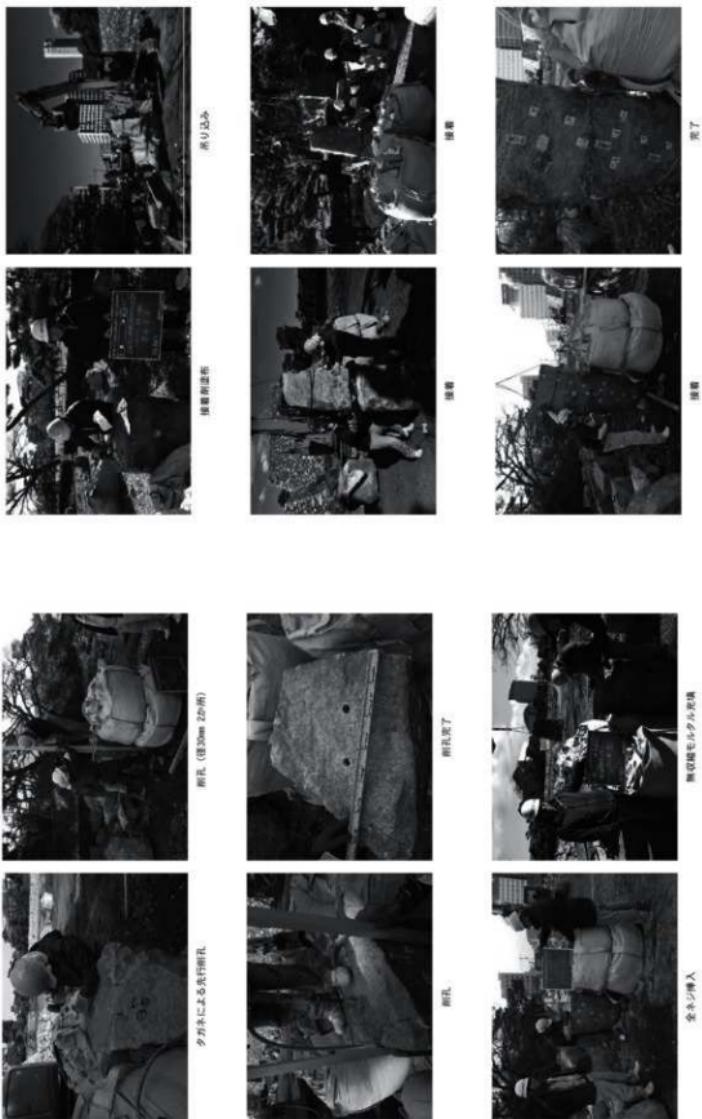


図6-43 試験中写真⑤

石材接着  
1) F105



施工用 (接着面)

2) F143



施工用 (接着面)

図6-44 試験中写真⑥



接着面 (10×20mm 厚1mm)



所用 (径20mm×4mm)



無砂磨モルタル充填\*



完了

\* 仕方: 砂利:高さ:セメント:水:混合比7.5:2.5:2.5:1

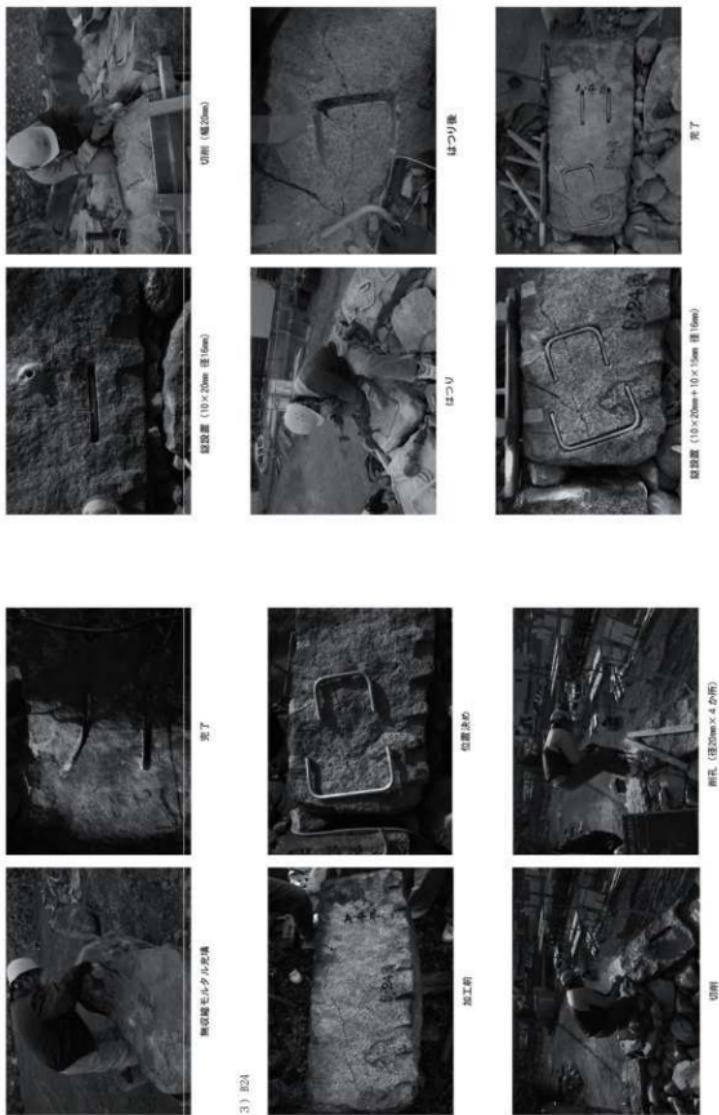


図6-45 試験中写真⑦

## 第6節 桜御門石垣耐久試験における常時微動計測結果

### 1. 調査目的

史跡高松城跡桜御門石垣の解体修理工事に伴い、石垣修理後の桜御門の建設を考慮した桜御門石垣の構造的な安定性を検討するために、石材の再利用を目的とした石材個々の強度調査や、石垣積直しや載荷試験等が実施された。この載荷試験時において、上載荷重の載荷に伴う石垣全体の安定性の変化を確認するために、上載荷重載荷前、載荷中、除荷後の3回の常時微動測定を実施し、各段階での常時微動振動特性（周波数、H/Vスペクトル比）を算出した。本報告は、得られた常時微動振動特性から、桜御門石垣の安定性について述べるものである。

### 2. 常時微動とは

地盤は種々雑多な振動源によって絶えず微小に振動している。特に周期1~2秒よりも短周期の微動は主として交通機関・機械などの人工的振動源から発せられた無数の波動の集合によって成り立っていると考えられており、常時微動と呼ばれている。常時微動には比較的浅所の地盤の振動特性が反映されていることから、地震時における地盤の動特性を知るための簡便な手段として多く利用されている。常時微動の揺れの様子は場所によって異なるが、一般に硬質な地盤では振幅が小さく周波数が高くなり、軟弱な地盤では振幅が大きく周波数が小さくなる。

石垣構造物の常時微動特性は、地盤から石垣構造物に入力する振動の大きさや向きが同じであるとすると、石垣構造物全体の剛性を反映して、石垣石や栗石のかみ合わせが大きければ剛性が高くなり（周波数が高くなり）、かみ合わせが小さければ剛性は低くなる（周波数が小さくなる）ことが考えられる。また、載荷重により作用する応力が大きいほど剛性は高くなり、除荷により応力が低下すると剛性は低下することから、上載荷重の載荷前、載荷中、除荷後によつても周波数は変化することが予想される。

また、常時微動測定によるスペクトル解析によって、石垣構造物に対応する周波数とともに、H/Vスペクトル比（水平成分Hと上下成分Vのスペクトル比）が得られる。このH/Vスペクトル比を計算することで、水平成分への揺れやすさを表すことができる。すなわち、上載荷重の有無によってH/Vスペクトル比が変化すると考えられる。

### 3. 常時微動計測の方法

#### 3.1 計測日時

上載荷重の積載前：2016年2月17日（水）15:00～17:00（2時間計測）

上載荷重の積載中：2016年2月24日（水）9:00～12:00（3時間計測）

上載荷重の除荷後：2016年2月25日（木）13:00～17:00（4時間計測）

#### 3.2 測定箇所および測定方法

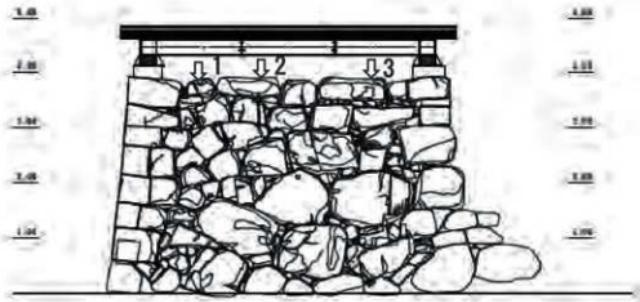
図6-46に、桜御門石垣耐久試験のために積み直された石垣の、載荷試験時の模式図を示す。図中の3箇所に常時微動計（応用地質（株）製 McSEIS-MT NEO）を設置した（写真6-4参照）。常時微動計の番号は、正面に向かって左側から、No.1, No.2, No.3とした。

常時微動計の設置方法を以下に示す。

- ① 測定位置にコンクリート板（30cm 角、厚さ 1cm）を敷き、微動計が不安定にならないようした。コンクリート板が不安定な場合は、粘土を敷くなどして安定させた。
- ② 微動計の向きは、微動計の向きが石垣面と直交するように設置した。
- ③ 計測時間は 180 分とし、計測中は風を遮るためにカバーで覆った。

常時微動測定においては、水平 2 方向（石垣面に直交方向と平行方向）と上下方向の 3 成分について、サンプリング周波数 100Hz とし、その加速度波形からノイズの少ない 40.96 秒間のデータを抽出し、フーリエスペクトルを求めた。なお、スペクトルはバンド幅 0.24Hz の Parzen ウィンドウにより平滑化した。

常時微動測定は、上載荷重の載荷前、載荷中、除荷後にそれぞれ実施した。なお、載荷試験における載荷重は、天端角石に 4 点支持の台座（約 1t）が設置され、台座に敷き鉄板約 16.2t（9 枚 × 約 1.8t）を載せると、台座 1 か所当たり約 4t の荷重となる。



(b) 正面図



(a) 正面写真

図6-46 耐久試験として積み直した桜御門石垣と常時微動計の設置位置

### 3.3 計測状況写真

写真6-4～6に、載荷前、載荷中、除荷後における常時微動計の設置状況をそれぞれ示す。

#### 1) 載荷前



写真6-4 載荷前における常時微動計の設置状況

#### 2) 載荷中

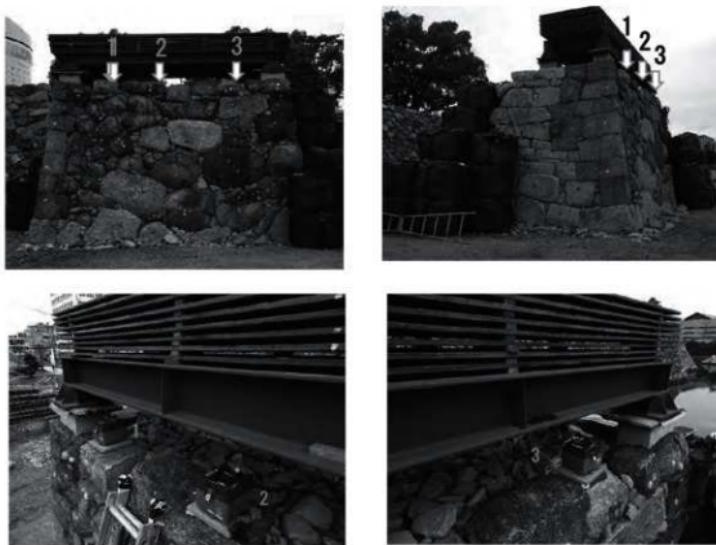


写真6-5 載荷中における常時微動計の設置状況

3) 除荷後

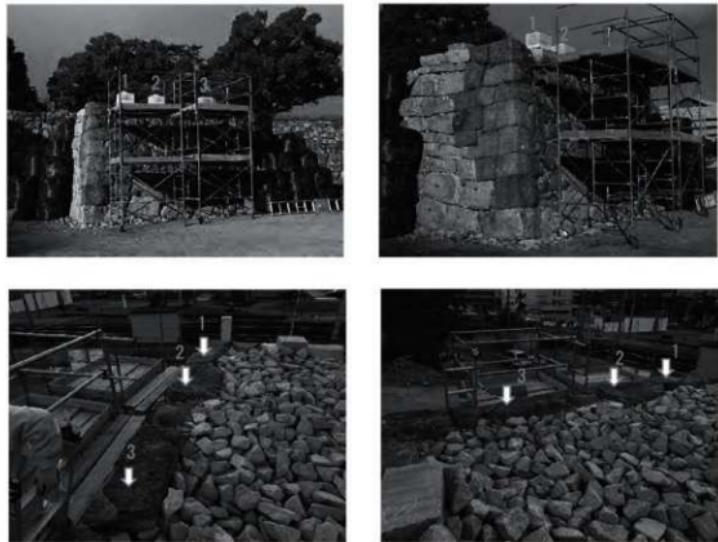


写真6- 6

除荷後における常時微動計の設置箇所

## 4. 常時微動の計測結果

### 4.1 各方向の加速度スペクトル

図6-47～49に、載荷前、載荷中、除荷後における各方向の加速度スペクトルを示す。石垣部に相当すると考えられる概ね5～15Hzの周波数帯において、加速度スペクトルはいずれの箇所でも、載荷中に高い値を示している。また、6Hz付近のピークに比べて7Hz付近の振幅が1オーダー程度小さくなる谷が見られる特徴がある。計測点による顕著な違いは見られない。

#### 1) 載荷前

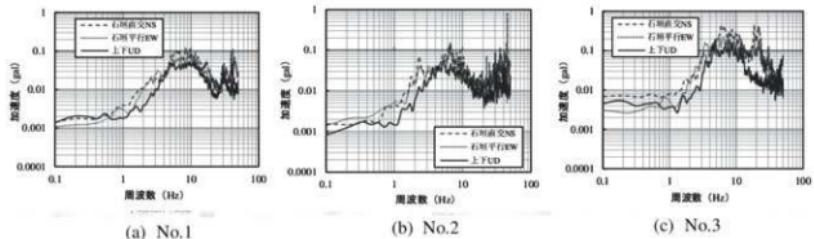


図6-47 載荷前における加速度スペクトル

#### 2) 載荷中

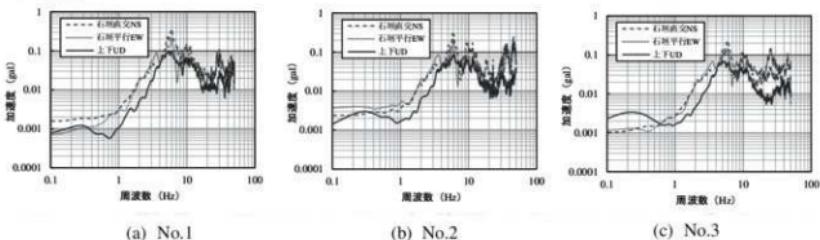


図6-48 載荷中における加速度スペクトル

#### 3) 除荷後

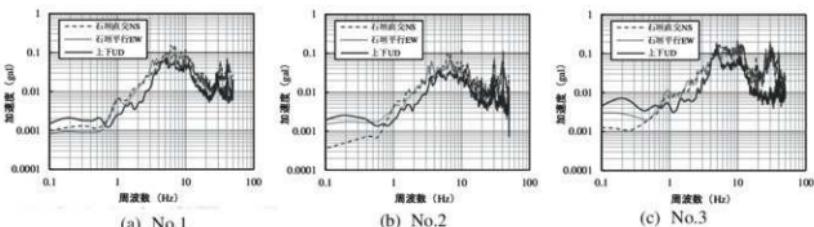


図6-49 徐荷後における加速度スペクトル

#### 4.2 各水平方向のH/Vスペクトル

図6-50～52に、載荷前、載荷中、除荷後における各方向のH/Vスペクトルを示す。各地点ともにH/Vスペクトルの測定周波数全域にわたっての形状に大きな差は見られない。しかし、載荷中のH/Vスペクトルの全計測点の7Hz付近において前後のピークより0.5～1オーダー小さい谷が現われている。7Hz付近での石垣平行方向の加速度スペクトルの振幅減であると考えられる。すなわち、石垣両端に載荷されることによって石垣両側の剛性が増加した結果によるものと考えられる。

##### 1) 載荷前

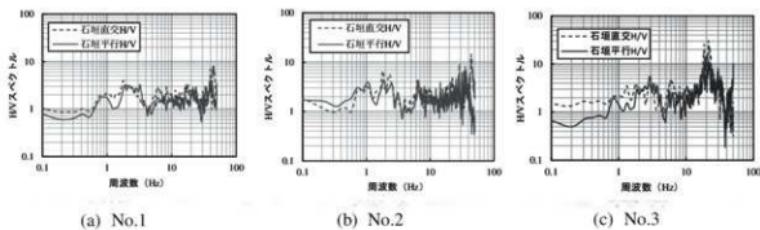


図6-50 載荷前におけるH/Vスペクトル

##### 2) 載荷中

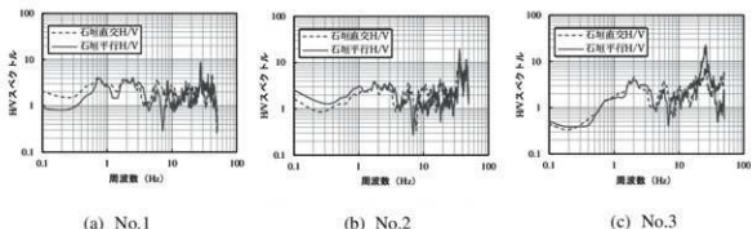


図6-51 載荷中ににおけるH/Vスペクトル

##### 3) 除荷後

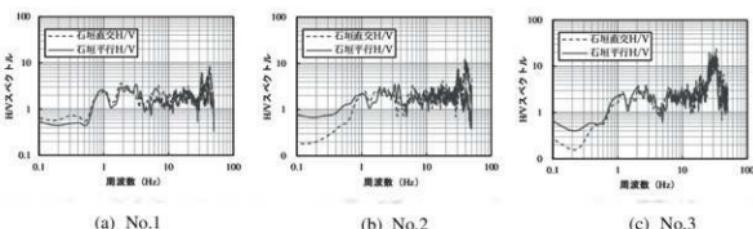


図6-52 徐荷後におけるH/Vスペクトル

## 5. 載荷にともなう振動特性の変化

図6-53に、載荷試験の各段階におけるH/Vスペクトル比の変化を示す。一般に、載荷にともない石垣全体の剛性が高くなると、H/Vスペクトル比は低下することが考えられる。石垣平行方向に着目するとNo.2は載荷前より載荷中の値が低下しているが、No.1およびNo.3ではその顕著な傾向は見られない。

図6-54に、石垣部に相当するH/Vスペクトル比での周波数の変化を示す。一般に載荷にともない石垣全体の剛性が高くなると、周波数は上昇すると考えられるが、いずれの測定地点とともにその顕著な傾向は見られない。

### 1) H/Vスペクトル比の変化

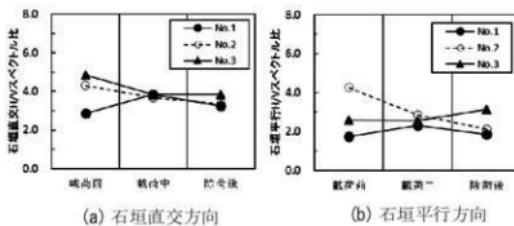


図6-53 載荷にともなうH/Vスペクトル比の変化

### 2) 石垣部に相当する周波数の変化

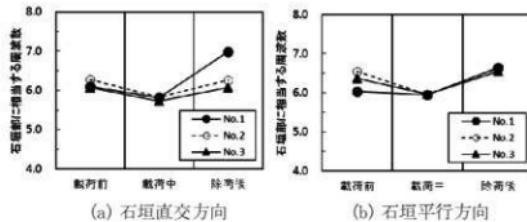


図6-54 載荷にともなう石垣部に相当する周波数の変化

## 6.まとめ

載荷試験における當時微動計測によって、石垣の両端の載荷による振動特性の変化は石垣平行方向の水平成分に現われることや、これらの変化は石垣両端部の剛性が増加することによって生じるものであることが示唆された。載荷試験時に並行して実施した石垣の変形挙動観測からは、石垣の移動量は概ね2mm以内のわずかな値にとどまっており、また石垣石の割れも生じていないことから、積み直された石垣石は密にかみ合うことで既に高い安定性を呈し、載荷によつても安定性に大きな影響を及ぼさなかつたことが推測される。

## 第7章 石垣修理工事

### 第1節 各年度の修理工事

西半は平成26年度、東半は平成27年度に解体を行い、27年度には石垣耐久試験（第6章）を経て石材の再利用についての判定と補強方法を定め、28年度に一部追加解体を行った上で東西両面ともに石積みを行った。工事名と受注者は以下のとおり。

#### 平成28年度

業務名 史跡高松城跡桜御門石垣修理工事

履行期間 平成28年8月25日～平成29年1月31日

受注者 四国産業株式会社

なお、工事図面を図7-6～13に掲載している。この図面は、発注時のものではなく、工事完了前に変更内容を朱書きで修正したものであり、実際の工事内容を示す資料として提示する。

### 第2節 復元勾配

石垣修理工事の実施設計にあたり、復元勾配の設定を行った。当石垣については基本的に孕み等により勾配が変形している箇所が殆どみられなかったため、修理前の石垣勾配を基準として勾配を設定している。図7-1～5に整理した。東西ともに一段高い部分については、最上部の1石で勾配を折っている。それ以外は根石から頂部までの直線勾配を基本としている。石垣に輪取りは無く、直線的な構造として勾配を決定している。

### 第3節 修理手順と具体的方法

#### 第1項 地盤対策

地盤対策工事は行っていない。

#### 第2項 丁張り

第2節で設定した復元勾配に従って、現地に丁張りを設置した。丁張りは石垣各面の前面に木柱を打設し、勾配定規で直線的な板材の勾配を目視しながら設定した。復元勾配は天端石付近の1～2石で勾配を起こしており、それ以下は直線勾配で設定している。積直しが進む度に上部に継ぎ足しており、単管足場の設置など、工事が石垣上部に近づくほど幅が狭まるため、適宜配置を変更して立て直した。

#### 第3項 石材再利用判定

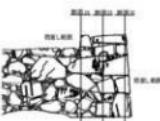
石材の再利用率を向上させるため、本工事では3次の再利用判定を行っている。詳細は第6章のとおり。

#### 第4項 新補石材加工

新補石材については、割れ石の前面の形状をベニヤ板を切って型を取っており、その型を基に新補石材を形成した。控えの長さは、交換前の石材が石垣各面の平均的控え長さに達しないものについては、平均控え長さ以上とし、平均を超えるものについては交換前の石材の大きさ以上とした。新補石のうち花崗岩は丸亀市広島で産出する青木石を使用した。安山岩は坂出市加茂町で産出する加茂石を購入した。

成形加工は主に花崗岩に対して行ったが、まずルートハンマーで石材に穴を開け、穴にセリ矢を設置し、セットウで叩いて割った。その後カッターで大まかな形状を加工した。なお、野面石相当部分は、石材の前面及び側面の前面寄り部分について、ノミ及びコヤスケにより整形を行ったが、基本的には面には購入石の自然面で風化した（現場では「錆」と呼称していた）面を最大限活かして加工を行った。角石は形

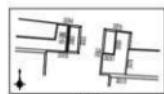
②西側石組



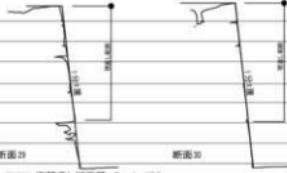
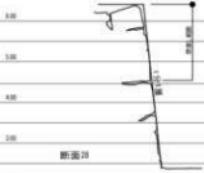
301(A) 断面位置図  $S=1/100$



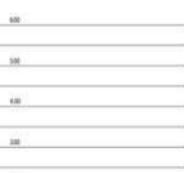
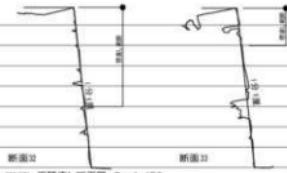
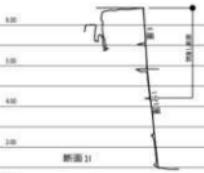
304(C) 断面位置図  $S=1/100$



右側面

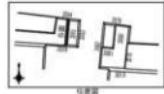
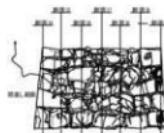


301(A) 面積出し断面図  $S=1/50$



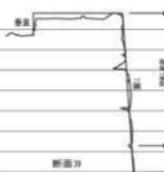
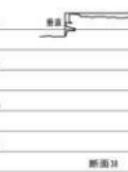
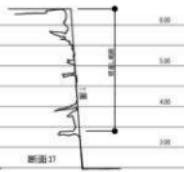
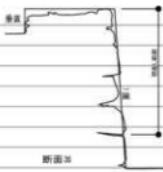
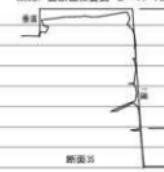
304(C) 面積出し断面図  $S=1/50$

図7-1 A・C面復元勾配



左側面

303(B) 断面位置図  $S=1/100$



303(B) 面積出し断面図  $S=1/50$

図7-2 B面復元勾配

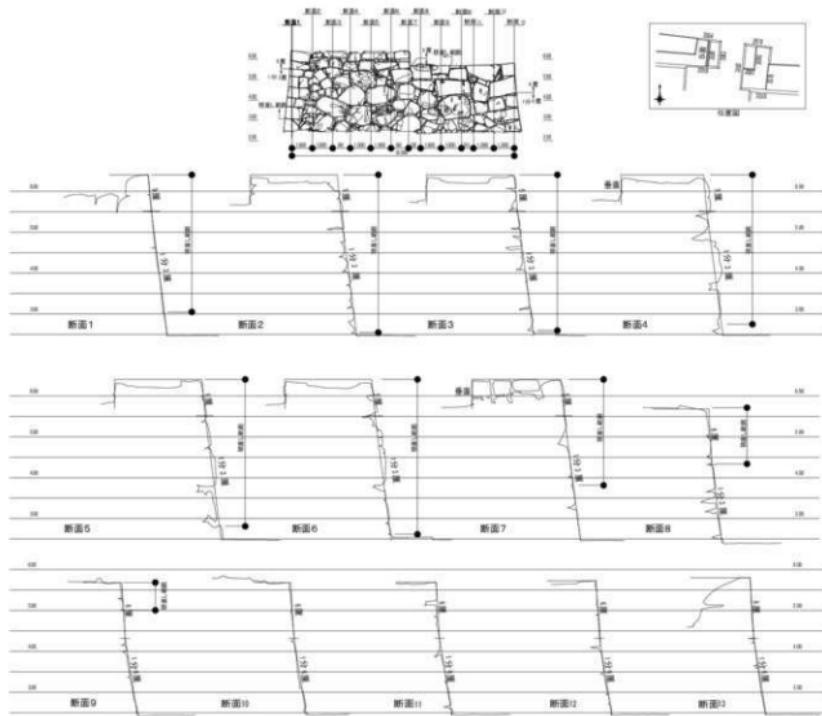


图7-3 F面復元勾配

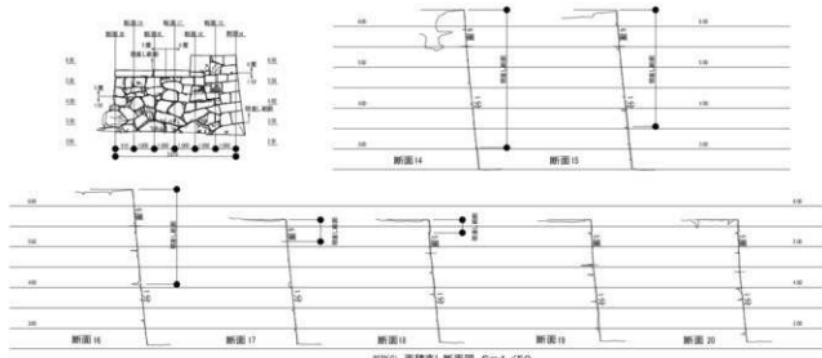


图7-4 G面復元勾配

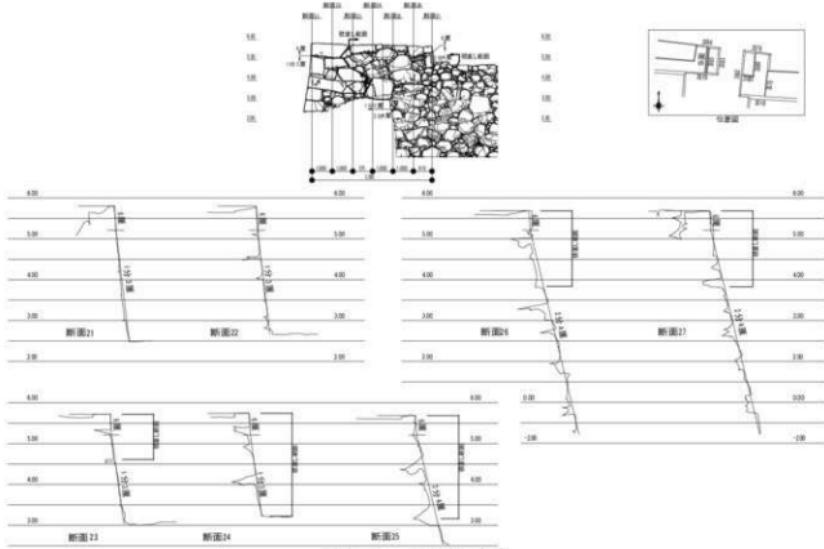


図7-5 E面復元勾配

状を合わせるために全面加工した面が露出しているものがある。また、新補石材は全て上面に旧石材の番号と積直した年度を墨書きした。

#### 第5項 石積み

仮設ヤードに仮置きされた石材から次に積上げる石材を選び、ワイヤーで玉掛けしたの後に、クレーン使用のバックホウにてダンプトラックに積み込み、現場付近まで移動させ、クレーンにより施工箇所へ移動した。解体前の墨打ちと写真を基に原位置に戻していくが、周辺石材とのあたりや飼石の設置、基準勾配とのすり付け等について検討を行い、微調整を繰り返して設置した。

なお、旧石材のうち、被熱によって表面に剥離が生じている箇所については、修理後も横を来園者が頻繁に往来することから、安全性の観点から剥離しかかっている箇所は積極的に剥がしていった。特に上位に位置する石材についてはこうした作業を入念におこなった。剥離した端材は栗石中に転用している。

#### 第6項 栗石施工

掘削範囲については、当初盛土相当であった範囲にも栗石を施工することとしたため、本来用いられていた栗石よりも多くの栗石が必要となることから、不足分は坂出市加茂産安山岩を新規購入して補った。新規購入に際しては、発掘調査で確認した栗石の平均的な粒径分布を基準として、新石の粒径を調整した。この他、割れて再利用できなかった築石や間詰めも栗石として再利用した。なお、旧材と新材については判別できるよう、当初は旧材を用いて施工し、不足した上部を新材料とした。

施工手順としては石積み1段分の施工後、栗石をワイヤーモッコに入れクレーンにより施工箇所まで運搬し、人力で施工した。

なお、一部築石の新石を設置する際、石材の当たりを調整するために仮据え状況でルートハンマー、カッター、鋸などによる、研り等の加工を行っている。この際の切片が栗石に一部混入しているものもある。

また、築石のうち割れて再利用が不可としたものについて、一部を栗石中に転用している。

#### 第7項 盛土施工

盛土材は周辺海浜部の砂を多く含むため、盛土の粘着力が弱いことが天守台石垣等の修理工事の際に指摘されていた。このため、天守台石垣の修理工事の際と同様に、盛土の粘着力を増すべく、石灰を混和する方法を探った。石灰の混和率については天守台石垣修理工事と同様とし、2%の石灰を混和し施工することとした。

施工手順としては、作業ヤードにおいて盛土と石灰を混和し、重機で攪拌した。その後モッコに移し、クレーンで吊り上げて施工箇所まで運搬し、小型のバックホウにて厚さ30cmごとに敷き均した後にランマーで転圧して締め固めた。なお、最適含水比での施工を行うため、旧材の盛土については常時シート養生を行い、雨天時には石灰の混合及び盛土の施工を行わないこととした。

#### 第8項 間詰め石施工

築石・栗石・盛土の施工が数段分完了した後に、間詰め石を詰めていく作業を行った。解体時に番号をつけたものは原則元の場所に戻すこととしたが、石垣の間隙等の形状は完全に元通りになることが少ないと、本来の位置の周辺で用いることも可とした。また、間詰め石は抜け落ちた箇所が多くなったため、新たに間詰めを入れる箇所も多数所在した。新たな間詰め石は購入石材では粒径や風合いがそろいすぎる事が懸念されたことから、旧栗石の中から使用するとともに、焼損石材で表面が剥離したものも多用した。表面が被熱で赤変した栗石は存在しないことから、石垣表面の風合いに合わせてこのような焼損石材の破材を利用したが、一方で剥離面の鋭利な形状がやめ目立つ点は止むを得ない。施工に際しては、大きな間隙にはなるべく大きな石材を詰め、小振りな間詰め石が集中することが無いように努めた。間詰め石の設置にあたっては、手で詰めたのちに、セットで外側から叩いて締めていった。

#### 第9項 天端施工

最上段は石垣修理完了後に桜御門復元整備工事が予定されていたことから、盛土による被覆を行わず、栗石が露出した状態で仕上げとした。東西ともに一段下がった箇所については、盛土を施工し、二和土のタタキ仕上げとした。

#### 第10項 測量

積直しが完了した石垣を対象に、3次元地上レーザー測量を実施し、各石垣の平面図、立面図及び縦横断面図、デジタルオルソ画像を作成した。

### 第4節 施工監理

#### 第1項 施工監理体制

専任監督員は、高松市創造都市推進局文化財課が務め、同市都市整備局公園緑地課に協力を得て工事を進めた。また、施工監理は委託した。業務名及び履行期間、受注者は以下のとおり。

平成28年度

委託名 史跡高松城跡櫻御門石垣修理工事監理業務委託

履行期間 平成28年8月25日～平成29年1月31日

受注者 株式会社 空間文化開発機構

#### 第2項 監理業務内容

工事監理業務の主な内容は、設計図書の意図説明、施工計画書の確認、施工図と設計図の照合と整合指導、工程管理及び品質管理の指導、工程会議の出席、丁張り確認、段階検査、出来高確認、変更設計図面の作成及び工事費内訳書の査定、工事管理図書の確認、竣工検査の立会、履行期間中に開

催する史跡高松城跡整備・石垣・建造物整備会議の資料作成及び参席などである。

### 第3項 工程会議等

工事関係者相互間の連絡、連携を図るため、工事進捗状況に応じて工程会議若しくは現場確認を随時行った。出席者は、公園緑地課及び文化財課、工事請負者、工事監理者の4者。また、工事期間中に開催する整備会議に出席し、指導内容を理解して工事に反映した。開催一覧と重要な協議内容を以下にまとめる。

#### 平成28年度

##### 第1回工程会議 平成28年6月12日

- ・石積は東西交互に積み上げ、堀に面した面を最後に行う。
- ・石材の接着は石垣整備会議で確認を得てから行うこと。
- ・盛土の縮固め試験の基準値は、現場土砂にて室内土質試験を行い設定すること。
- ・栗石が不足する場合は、購入材を使用すること。

##### 第2回工程会議 平成28年9月23日

- ・F 161 の破損石材の取扱について、破片を接着するとともに、その上の石材F 156 を新石に交換する。新石はF 153 及び 157 を取り込んだ大きさとし、控部分はG 60 の控部分に張り出した形態にしてF 161 への負担をできるだけ軽減すること。
- ・B 61 の負担を軽減するため、B 60・61 の背後でB 47 を下から支えること。
- ・B 50 は予定通り接着加工を行うこと。

##### 第3回工程会議 平成28年10月7日

- ・積み直し後埋め戻す箇所は、測量してから埋め戻すこと。
- ・B 28 は表面にヒビが入っていたため、向きを変えて積みなおすこと。

##### 第4回工程会議 平成28年10月20日

- ・F 156 は新石に交換する。旧石は別の場所に転用すること。
- ・新石は丸亀市の広島産の青木石とする。
- ・解体前の位置で再利用できない間詰石は、最小限の加工で再利用率を向上させること。
- ・D 22 は、ワレが発生しているが、接着等は行わずに再利用すること。

##### 第5回工程会議 平成28年10月31日

- ・新石の調達や加工のため、工程が遅れている。工期延長の検討が必要。
- ・3085 面の天端に空きが目立つことから、転用石で補充すること。

##### 第6回工程会議 平成28年11月9日

- ・3078 面の追加解体は行わない。擦り付けること。
- ・E面東側角石の勾配が逆勾配になっているため、再検討すること。

##### 第7回工程会議 平成28年11月23日

- ・工期を1月末まで延長したい。
- ・E4に介石を変えて飛び出しが目立たないようすること。
- ・F 31 は設計通り再利用すること。ただし、途中で破損した場合はF 156 を転用すること。
- ・F 85 は右を少し前に出して、やや後ろに倒すこと。

##### 第8回工程会議 平成28年12月1日

- ・F 43 左下の小さい石材をまとめて、大きな石材に交換すること。
- ・F 39 は現地に展示するため、転用しないこと。

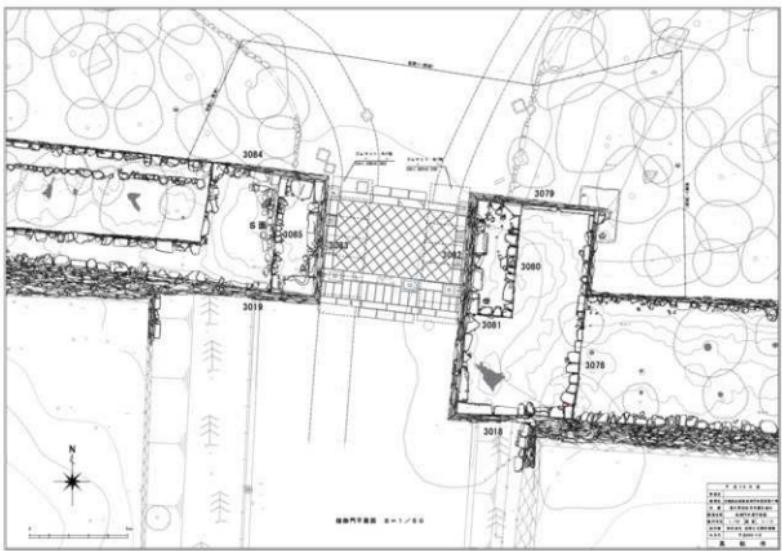
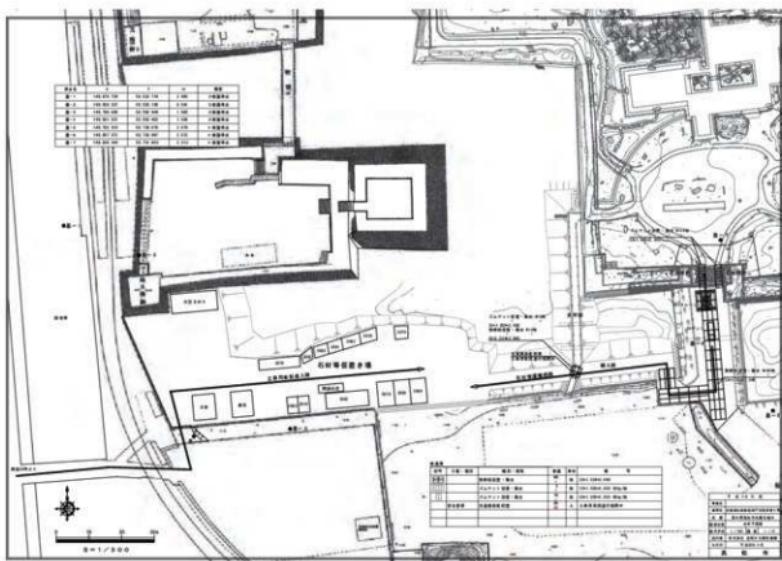


図7-6 石垣修理工事変更設計図面①

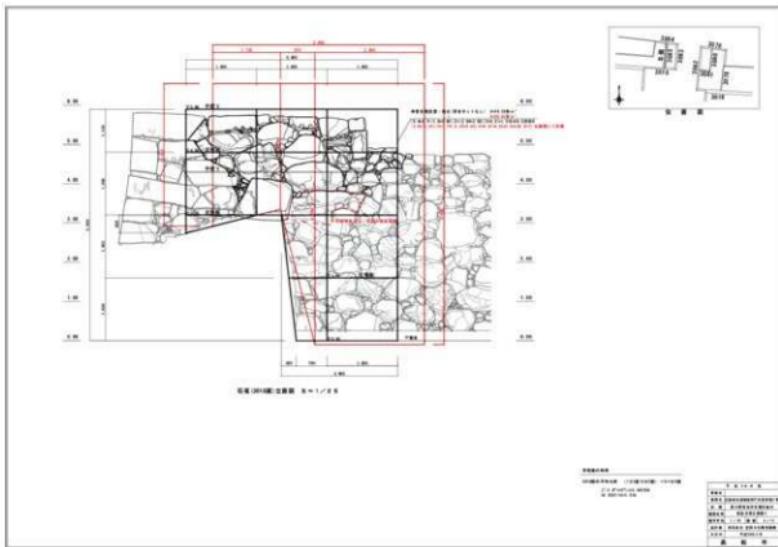
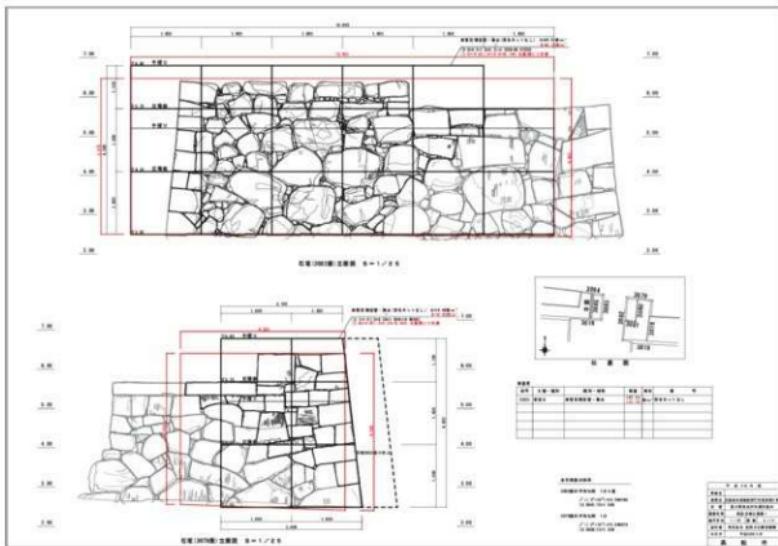


図7-7 石垣修理工事変更設計図面②

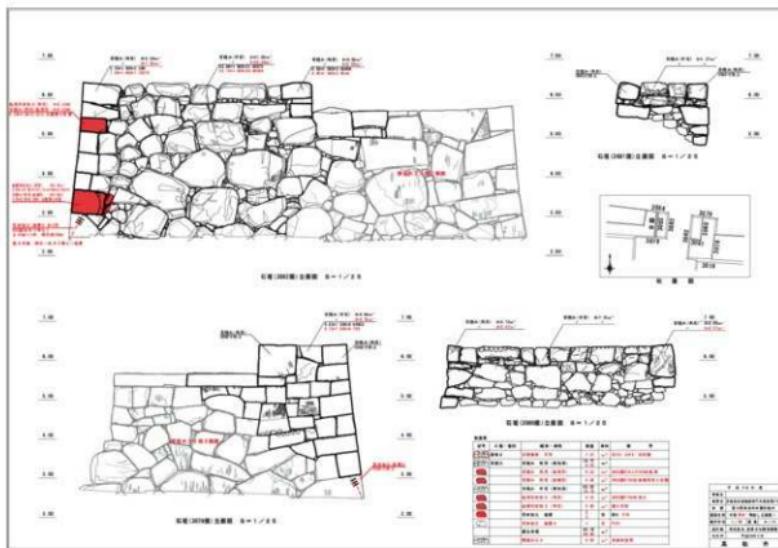
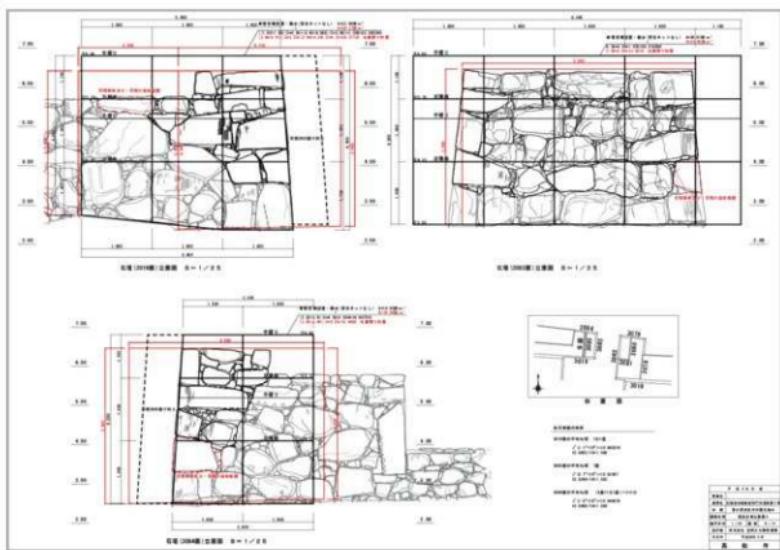


図7-8 石垣修理工事変更設計図面③

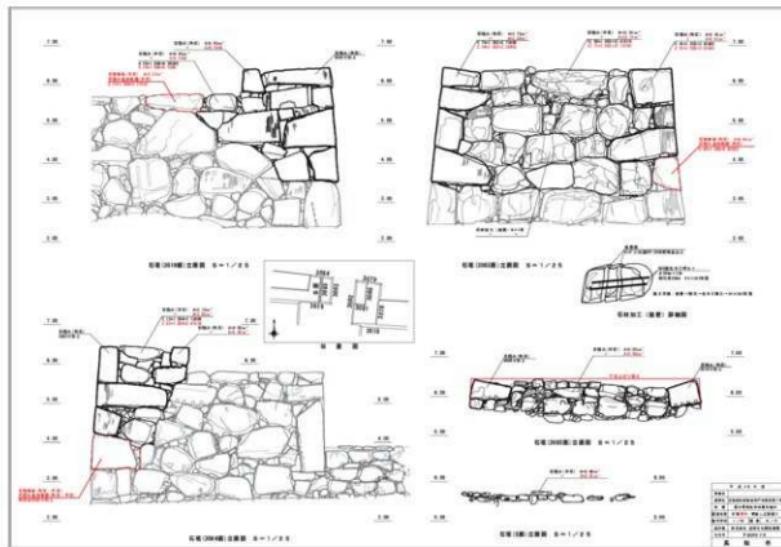
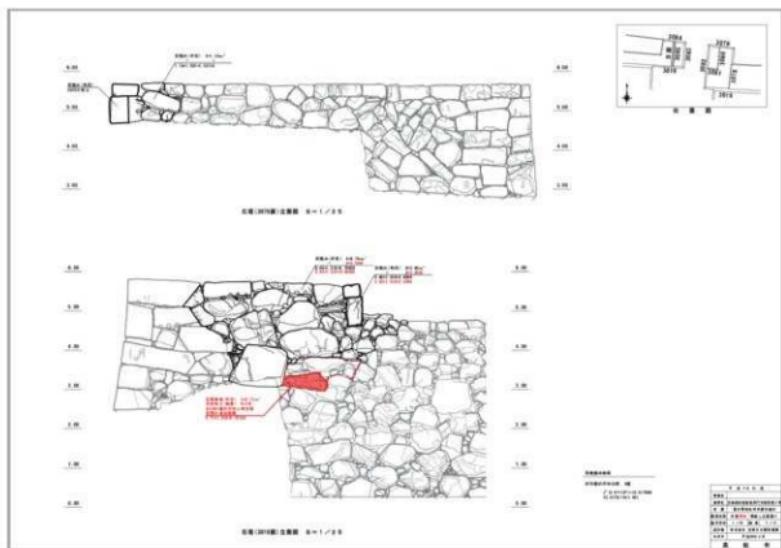


図7-9 石垣修理工事変更設計図面④

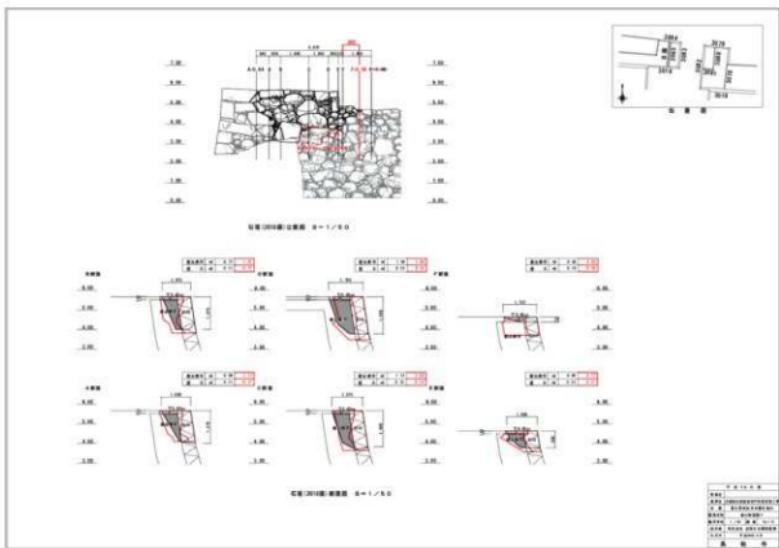
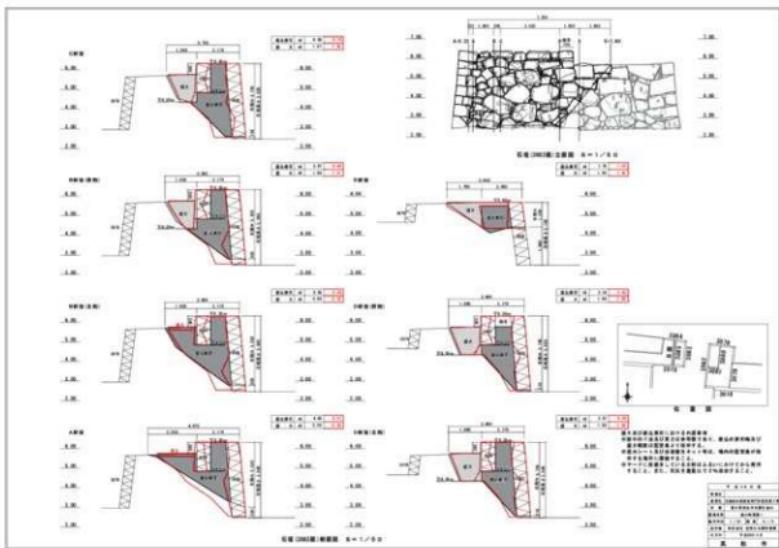


図7-10 石垣修理工事変更設計図面⑤

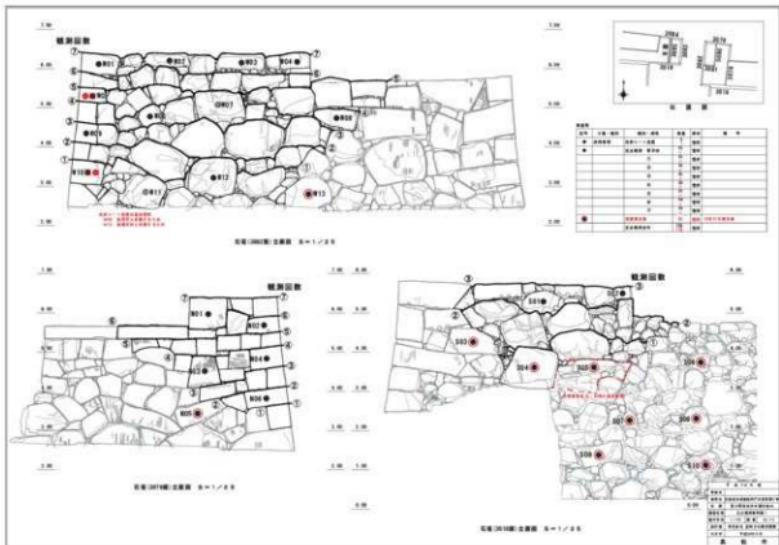
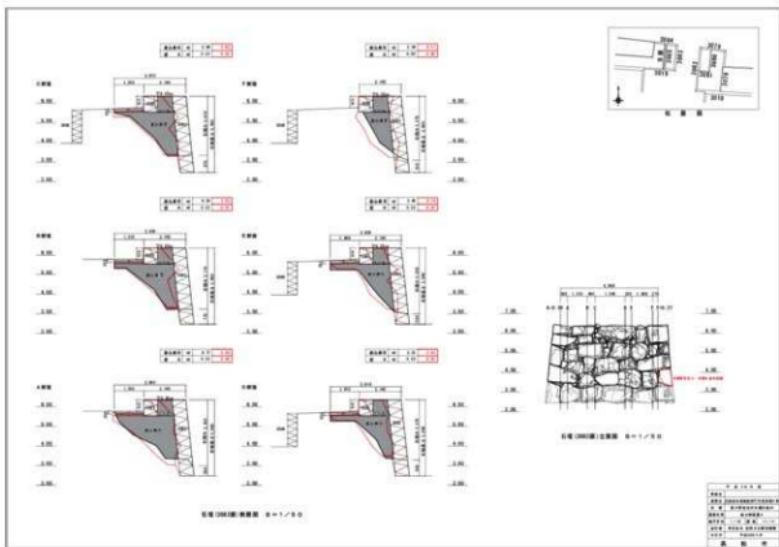


図7-11 石垣修理工事変更設計図面⑥

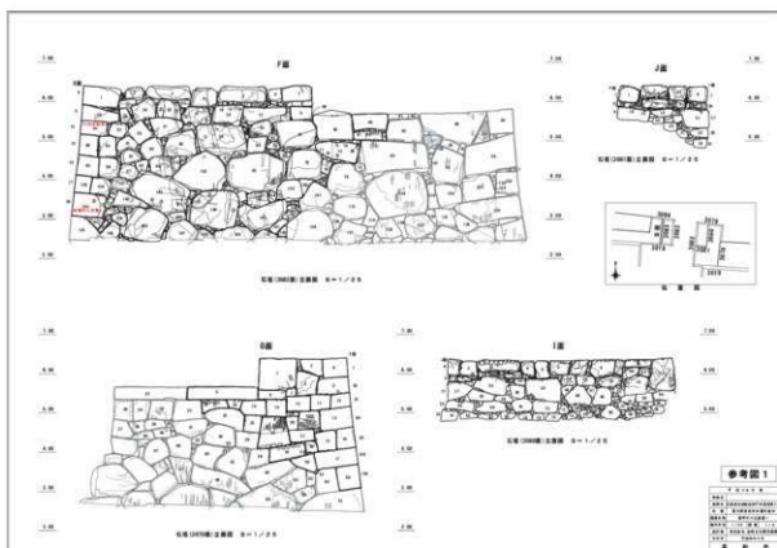
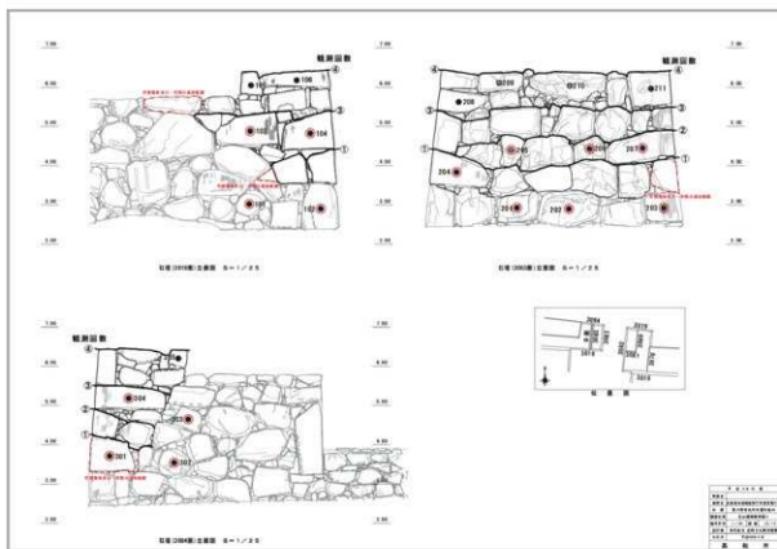


図7-12 石垣修理工事変更設計図面⑦

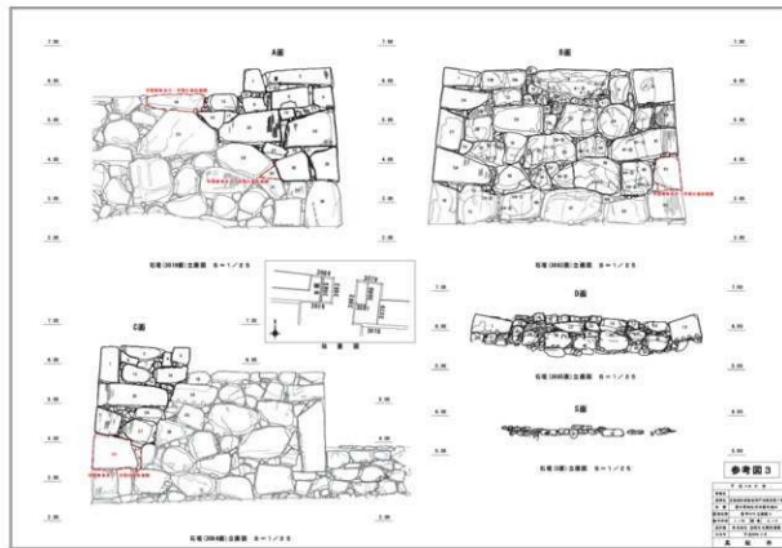
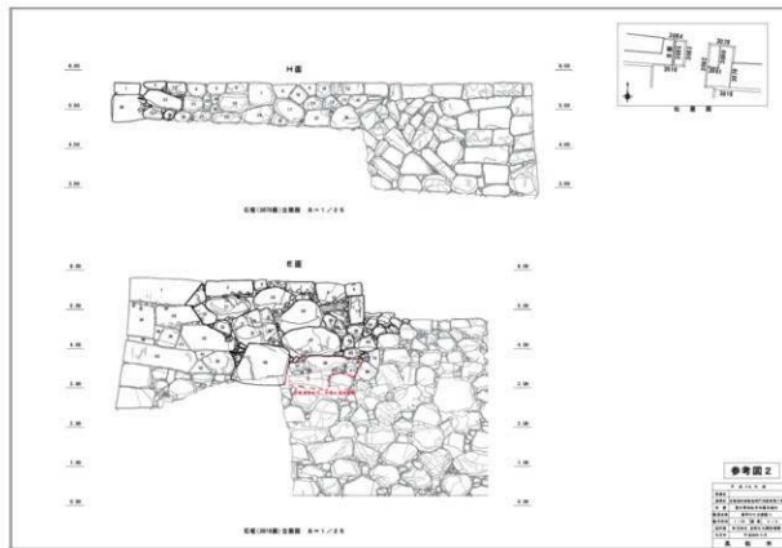


図7-13 石垣修理工事変更設計図面⑧

### ■適用範囲

この特許は移設工事、史跡保存施設開拓工事修理工事（以下「本工事」という）に適用する。記載の事例は移設工事でありながら、監督者の指示に従うこと、なら、国宝や史跡等における取扱いの規制を遵守するためのものである。本特許の適用範囲では、本特許の規定を使用する。不使用の場合は、別途規定による。

本特許は、空港飛行場構造物の適切な実験調査と施工技術の確立を目的としていることから、工場内に施工機器を置く場合は、監督し内部で施工すること、なら、工場外で施工する場合は、監督から認められた場合の施工場所にて施工すること、監督員が在場時に、会社の既定内面を閲覧し、要望が生じた場合は監督員が、直ちに変更に応じること。

### 第1条 施工工事

#### （1）施工品質・施工法

複数個の石柱のうちの1柱が安定しない場合は、上のうを書き列へなどして不陸を調整すること。また、解体が表示している箇所についても、上う等にて書きした上で鉛錆を敷くこと。監督者は、ズレや解体が生じないかを測算的に確認すること。

#### （2）ゴムマット・鉛錆・蓋板

複数門の門石の位置を相違しないように、ゴムマットを敷いた上で鉛錆を設置すること。監督者は、マットにズレが生じないかを測算的に確認すること。

#### （3）防波堤工事

①防波堤に埋むる部分は、地盤を与えないように土を敷きこむこと。前面堤はラグラン等の泥丸の施工や、堤防全長の変形率が2%以内、定期的に監視状況を確認すること。

②堤頭部は、直角で並進調査を行なうところから、繩張点と反斜率との間に斜材を設置しないこと。ただし、堤頭が直角で並進調査が出来ない場合は、監督員の許可を得てから斜材の施工を実施すること。

### 第2条 工事

#### （1）土砂改良

①透水材は、ヤードの剥離土を使用すること。なお、あらかじめスケルトンバッサットでふるい分け、透水性を確保すること。

②透水材に対する水洗は最適比で2%（1m<sup>3</sup>に対して2t）を加減し、十分に浸透した上で使用すること。

③透水材は、使用時に若干水洗を計画し、必要に応じて水洗比の調査を行い、可能な限り水洗比率に近づけるものを使用すること。

#### （2）盛土

#### （3）土木工事

①地盤に埋むる部分は、地盤を与えないように土を敷きこむこと。前面堤はラグラン等の泥丸の施工や、堤防全長の変形率が2%以内、定期的に監視状況を確認すること。

②堤頭部は、直角で並進調査を行なうところから、繩張点と反斜率との間に斜材を設置しないこと。ただし、堤頭が直角で並進調査が出来ない場合は、監督員の許可を得てから斜材の施工を実施すること。

③地盤は地盤が完了して残存する新材料を用いること。

#### （4）橋梁

①解体作業は、クレーンを用いて基礎から水平に上石及び取り外すこと。なお、ワイヤー等で石材を拘束しないように留意すること。

②被覆の施工や初期の監視については、解体範囲を拡大する場合もあり得る。本工事における解体範囲は、解体後の安定性等を考慮して監督員が判断する。

#### （5）石材調査

①地盤に埋むる場合は適合率を算出すること。力士の模式は別途のとおり。

②調査データは、各石材表面に整理することとともに、岩石及び珪瓦大きさ区分、破損箇所等を作成すること。

#### 第3条 石工

石工工事は、平成26～27年度に行った軽便門石の解体工事に従事した石工（職人）を来てること。作業が仕事なく終業するよう、工長、人員の配備について、監督員と協議すること。

#### （1）丁番石

①解体する石材は、基盤に下石を敷き、繕いし後座を設すること。設置位置は、新規に開発をされた土地とし、1枚の設置位置は1枚を基本とする。なお、丁番石の施工方法や設置位置、高さ高さについては、監督員と協議して決定すること。

②丁番石は、監督員及び技術者と解体石材の整備会議の確認を受けるとともに、均配示を受けた場合は、速やかに実施すること。

#### （2）石材水平

石材工事は、いずれも解体の役割に換算せず同じであるが、その取り扱いが異なる。

①解体前の解体石材で、解体前の位置で再利用可と判定したものは、解体加工せずに使用すること。

②解体内の解体の範囲に属した石材（石柱と同様で解体した石材代りに繕いしを行つて）は加工工事を行なう。予め加工する職人を除く上での加工方法及び材料を監督に説明すること。本工事で導入した新規石と区別するため、石材の剥離部分に墨書きにて「新規石」と「既存石」を書き込むこと。

③既存の剥離出しは30cm以内とし、剥離コンクリートで十分に繕い固めること。また、必要に応じて転写することによる剥離石への押ししおりをしないで留めること。

④既存の剥離は、高さより大きな既存剥離部の約60%以上とし、剥離上層部に剥離調査を行ない、その結果を監督員が報告すること。

⑤既存の剥離を確認し、施工者の勞つぱに施工すること。また、施工時に剥離出した場合は作業を中止し、施工者は効率にて養生し、雨水の浸透を防ぐこと。

#### 第3条 施工作業

（1）工事事務

①石柱調査を実施する場合は、石柱解体対象範囲の石材（開口部の石を含む）に封鎖した上部や底部をカバーするかで検査すること。なお、石柱に周囲の負荷をかけて崩壊しないようすること。

②石柱の底や天端等の変形、石柱や加工面、繕いが乱れの程度、使い方を調査し、監督支給する手帳に記録すること。

③既存の石柱は、石柱の高さに沿って垂直に並んである場合は、監督等が石材表面の取り扱いを行なうこと。

④解体調査に実施した石柱調査成績をもとに、既存しの標準となる各石柱の繕い及び既存調査箇所を実施すること。

⑤解体調査の結果に最も、監督調査の結果に差異を生じること。

#### （2）石材

①解体石材（解体工事の開拓面の石を含む）に全て管理番号を付すること。なお、石柱については、解体工事の番号（二重番号）を記載すること。

②石柱表面に沿ったアラフーパーベットを用いて、天端から本体に隙間を開けを確認すること。

③解体前には剥離したガルニールを張ってマジックで番号を貼り、上部の石材解体側面に石材標え番号に番号を記載すること。

④剥離調査する石材の面積を算出すること。

⑤剥離調査する石材の面積を用いて、番村立譲調査を作成すること。

#### （3）解体

①構造の日安に沿うるため、解体前の横幅に対して30cm開拓面の剥離（新規及び半壁方向）を行うこと。なお、柱根が小さい場合は、柱たちの間隔を既めて10cmにつき1本以上の水平及び垂直の筋打ちを行うこと。

②解体する石材との合戻しヒゲを記すこと。

#### （4）剥離

①剥離の日安に沿うるため、解体前の横幅に対して30cm開拓面の剥離（新規及び半壁方向）を行なうこと。なお、柱根が小さい場合は、柱たちの間隔を既めて10cmにつき1本以上の水平及び垂直の筋打ちを行うこと。

②剥離する石材との合戻しヒゲを記すこと。

#### （5）軽便石材

①解体前の解体の結果に再利用不可能と判定した場合、既存の石材の中央から軽便可能な石材を残すこと。ただし、解体用が使わなければ、解体石材の剥離面の石及び破損部位を取り込み可能な範囲に引きすぎること。石柱剥離部をより強度なものとするため、強化版を剥離面分を大きくして石柱の重心を確保する。

②解体用に取り立てた石材は既存にして使用すること。

③解体用石材に取り立てた石材は既存にして使用すること。

④既存の石材を用いること。また、軽用することを石材下方に記載すること。

#### （6）新規石材

①新規石材を構築するため、新規石の表面調査は開拓面の剥離と石柱剥離部位を有する込みで能な取り大きさにすること。原石の裏面は既存石材の上に取り付けて監視用と認定すること。

②既存石材は、既存石材の強度をより強度なものとするため、剥離面分を大きめて石柱の重心を確保するよりも既存石材内に設けること。

③既存石材に取り立てた石材は既存にして使用すること。

④既存の石材を用いること。また、軽用することを石材下方に記載すること。

#### （7）開拓面

①開拓した地盤の石材は、解体前の位置に残すこと。番村していない石材も可能な限り元の位置に残すこと。

②確実に開拓した石柱として利用すること。

③確実に開拓した石柱として利用すること。

#### （8）施工方法

①解体調査に実施した石柱調査成績をもとに、石材の剥離部分に墨書きにて「石材番号・剥離・剥離」を書き込むこと。

図7-14 石垣修理工事変更特記仕様書①

に、石垣の4次判定（内側面の寸法）結果についても記載すること。  
②転用石は、修理前の石材番号で新規に石材カラーチャートを作成すること。  
③既存の転用石材を基に、各面・各面の一観測及びグラフの作成と、各面間（空隙率）を合算する。  
※各面間の計算結果を基に、下振りに対して一部で合むせることとし、面全体で無理に合むせることをしないこと。  
※上記は、織ね、一概毎に行うこと。織ぬす鋼板で高さ12mm前後を標準とするが、サルトや船用などの变形の跡などして複数でいくことから、鋼板石ととの積み合せは、織石の当たりを考慮し、織ねの特徴を確認すること。なお、織ぬした場合は、別途記述する。  
※石材背面での修理でも現石の認定が付かない場合、監督員ごとに現石の変更について協議し、それでも実家でもない場合は、転用石若しくは新緑石を用意すること。  
④転用石は、転用前の形状に構造することを基本とすが、実定じた石和を構成していたら、位置の確認や、転用石又は新緑石材を修正する場合も含め、原図、二面で合わせること。下は2点(6)を合わせると直立式とし、左は2点(6)を合わせて横置式とすること。  
※石材背面の番号一覧表、石種定丁液で除去すること。

(7) 磨石突起部  
①転用石は、現場配置き材を優先的に使用するが、不足分する場合は購入すること。なお、輸入材は、事前にサンプルを提出し、監督員の承認を得ること。  
②内規則シートは、できるだけ石材中央に配置すること。  
③コーキングの厚みを調整して反射シートに内面を付け、範囲点と直対応すること。

(8) 視点観察  
①視点の画面において織石の移動量を測定するものであり、得られた成炎を安全対策に反映するここと。  
②実際織石は、測量から1時間以内に織石をまとめた、監督員に報告すること。  
③織石の右端高さに対する3%以上の変形、もしくは他の柱比へ異常な傾き・移動方向が計測された場合、速やかに右端高さを修正すること。また、原因を調査し、対応策について監督員と協議すること。  
※右端高さはデーターとともに、監督員に複数者を提出すること。

第6条 善光寺塔  
文化財環境整備工事への善光寺修復のため、高松市が現地見学会を開催する際は、可能な限り協力すること。

#### 図7-15 石垣修理工事変更特記仕様書②

### 第9回工程会議 平成 28 年 12 月 9 日

- F 43 左下に入れた転用石について、右側端の前面を落すこと。

### 第10回工程会議 平成 28 年 12 月 15 日

- F 29 を無加工にて再利用するためにも、接着接合処理を施したF 31 を交換すること。交換条件は①F 156 の転用を優先すること。難しい場合は、ヤードの仮置き材を用いること。②交換する石材の形状は、F 29 との接触面が広くなるようにすること。

### 第11回工程会議 平成 28 年 12 月 21 日

- F 31 の転用石（F 156）のおさまりを確認。
- F・G面の間詰石で、割面を表面に見えるものが多く目立つので加工すること。

### 第12回工程会議 平成 29 年 1 月 10 日

- 埋め戻し状況確認。
- 工事完了を確認。

## 第8章 石垣修理に伴う調査

### 第1節 石垣測量と修理前後の比較

石積み完了後に、解体前の状況との比較を行い、修理の妥当性を検証するとともに、今後の維持管理の基礎情報とすべく、修理後石垣の三次元地上レーザー測量を実施した。なお、測量の対象としたのは石垣の解体修理を実施した10面のみであり、中でも解体範囲を中心としてその周辺に留めた。線画については未解体範囲を解体前のデータと合成して作図しているが、陰影図については計測範囲をそのまま図示している（図8-1～6）。

天守台や地久櫓台の石垣では、孕み等を修正したため、石垣修理前後の立面形状が大きく変わることから、重ね図を作成したが、本石垣では大きく立面形態の変化が無いため作図しなかった。断面形状についても大きく変更はなかったが、こちらについては断面重ね図を作成している（図8-7～10）。なお、断面7・17については解体修理を実施していないことから、解体前の断面図のみを図示する。

勾配について大きさは変化がないこと、間詰石を充填したことによって空隙が小さくなっており、石垣の安定性が向上したことがうかがえる。

### 第2節 定点観測

石垣解体及び石垣耐久試験の際に設置した反射板を利用して、石積み中の変位を計測して工事の安全管理の目安とした。基準とした許容値も解体時と同様に石垣高さの0.3%である。石積みを1段行うごとに計測し、変位量と変位の方向を図示した（図8-11～16）。結果として許容値を超える変形は観測されず、工事期間を通じて安定した状態で修理工事が完了したことを確認した。

設置した反射板は今後の安全管理でも利用するために設置したままにすることとした。なお、報告書は今後刊行予定であるが、石垣修理後に実施した桜御門復元整備工事においてもこの反射板を用いて施行中の安全管理を行っている。

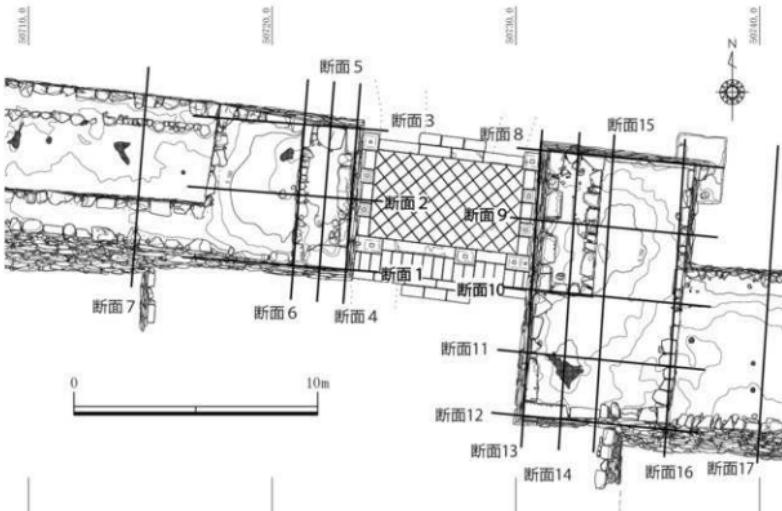


図8-1 縦断面図位置

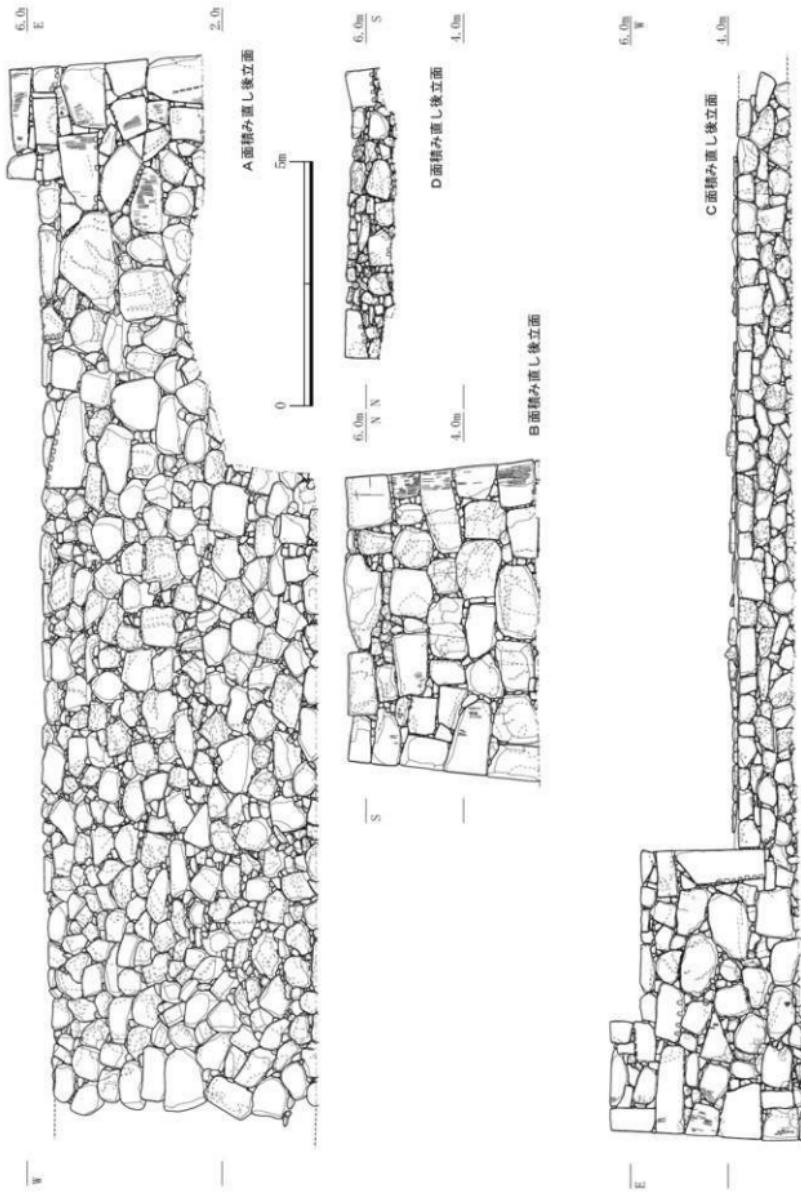


図8-2 石垣修理後立面図①

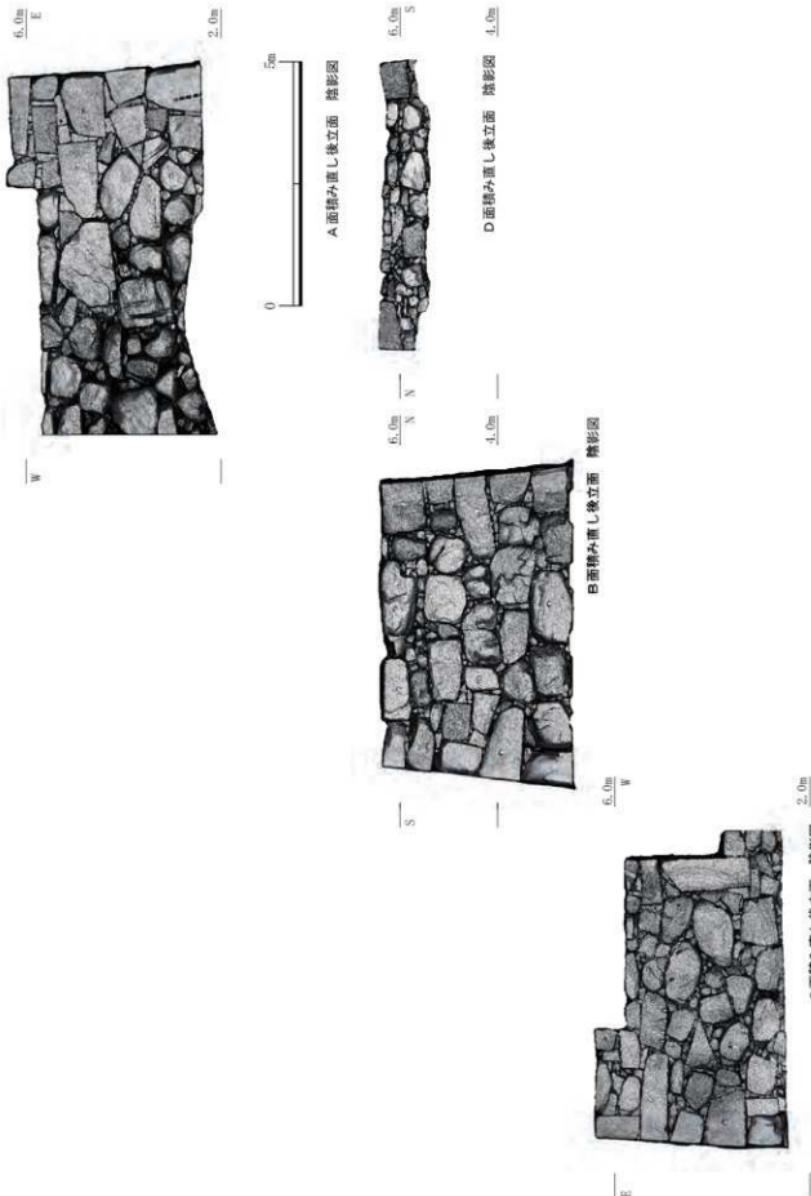
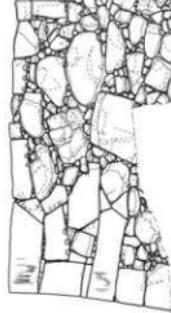


図8-3 石垣修理後立面陰影図①

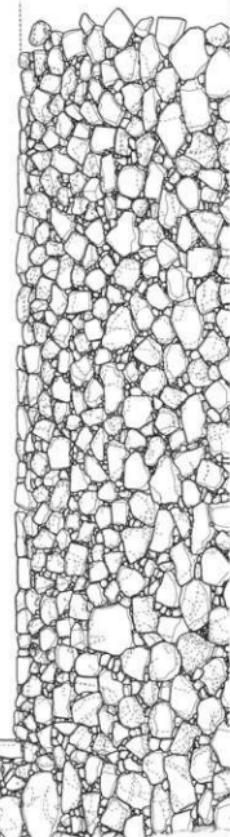
E

6.0m



E

5.0m



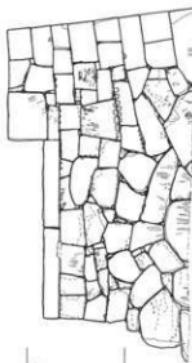
m

0

E面積み直し後立面

W

6.0m



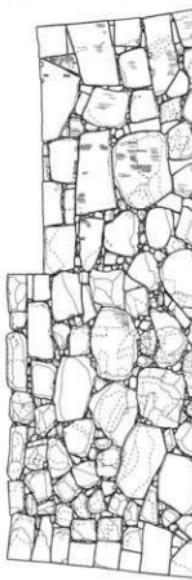
G面積み直し後立面

E

—

W

4.0m



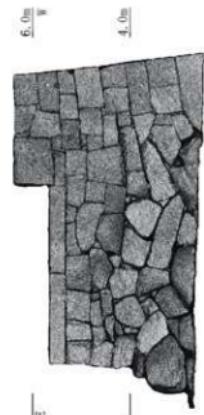
F面積み直し後立面

N

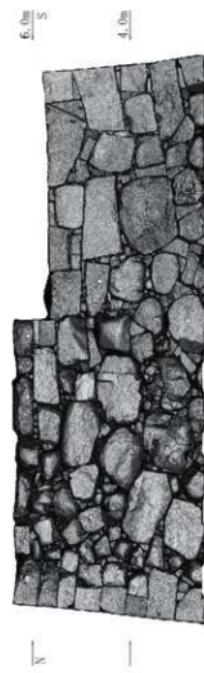
—

図8-4 石垣修理後立面図②

G面積み面し後立面 陰影図



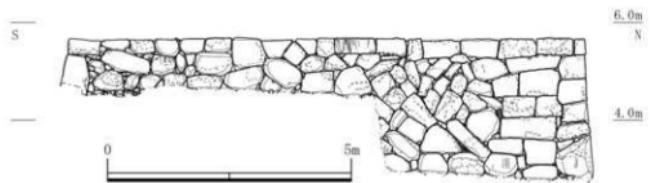
F面積み面し後立面 陰影図



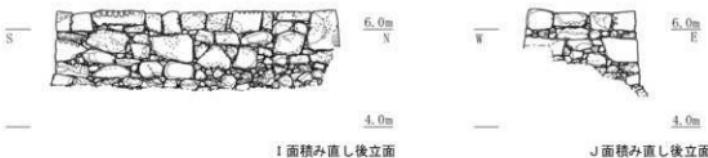
E面積み面し後立面 陰影図



図8-5 石垣修理後立面陰影図②

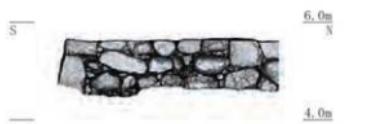


H面積み直し後立面



I面積み直し後立面

J面積み直し後立面



H面積み直し後立面 陰影図



I面積み直し後立面 陰影図

J面積み直し後立面 陰影図

図8-6 石垣修理後立面図③・陰影図③

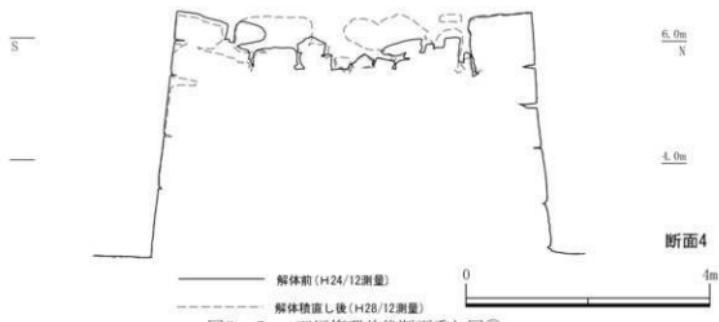
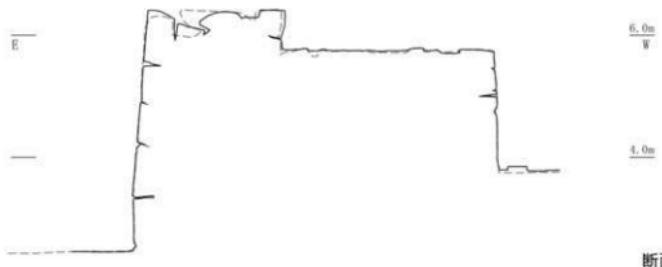
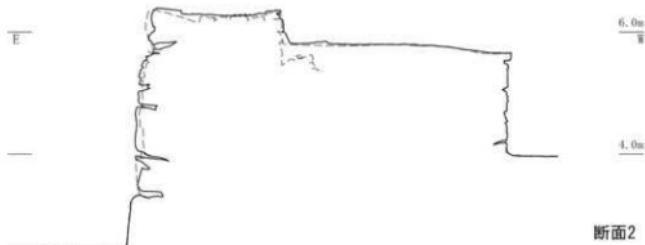
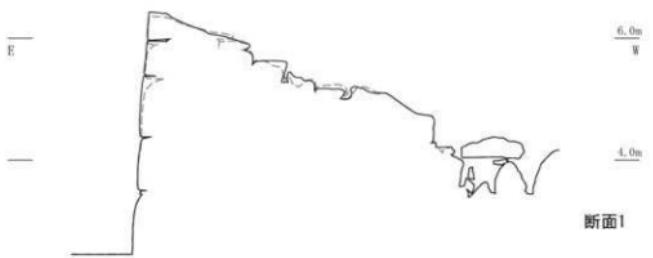


図8-7 石垣修理前後断面重ね図①

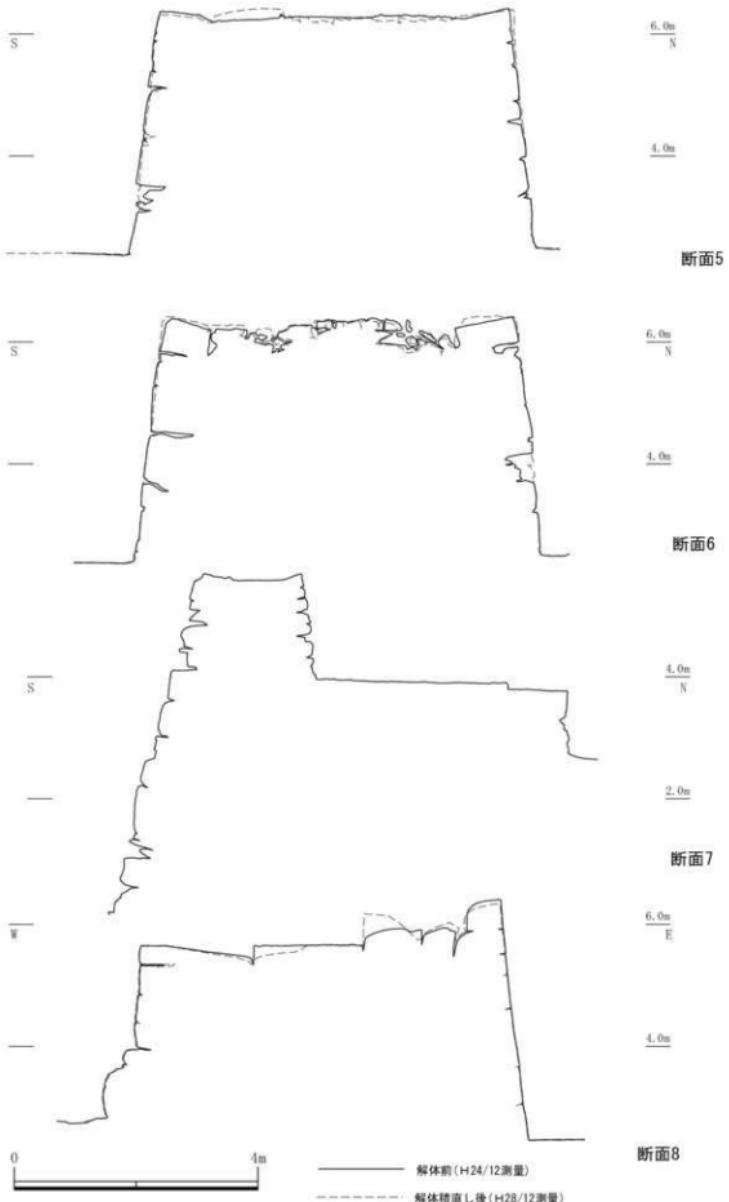
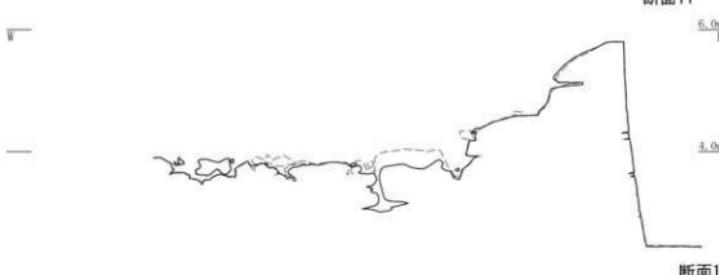
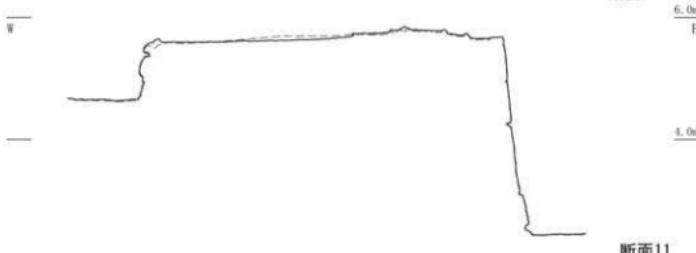
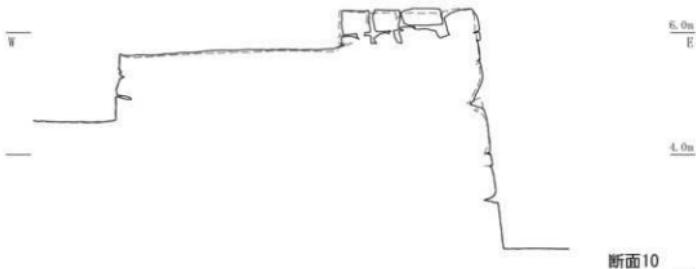
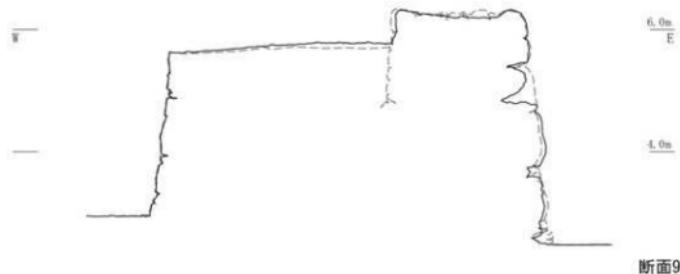


図8-8 石垣修理前後断面重ね図②



0 4m

——— 解体前(H24/12測量)  
----- 解体積みし後(H28/12測量)

図8-9 石垣修理前後断面重ね図③

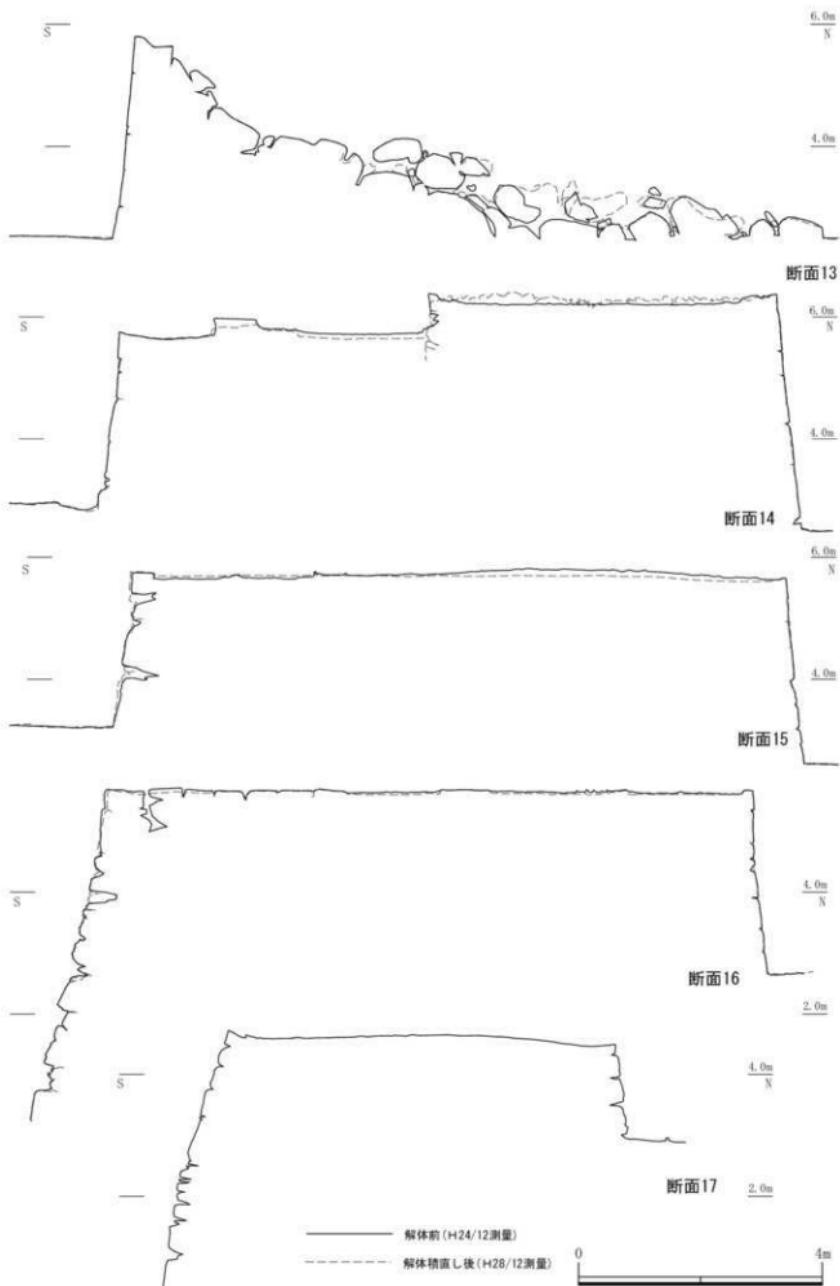


図8-10 石垣修理前後断面重ね図④

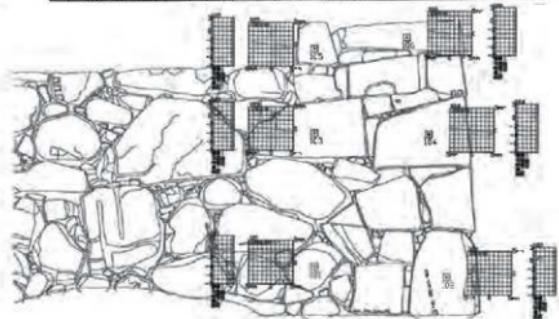


図8-11 A面定点観測結果

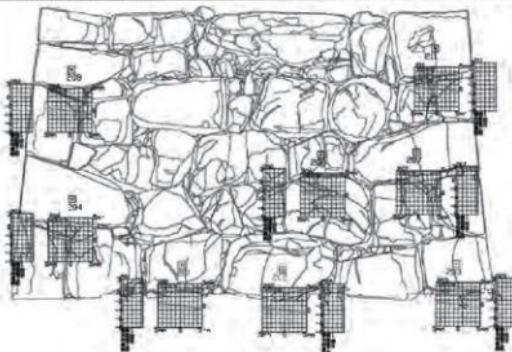


図8-12 B面定点観測結果

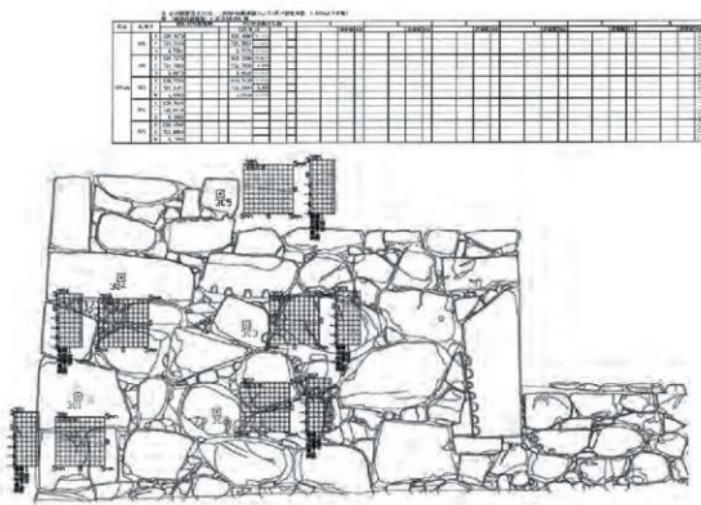


図8-13 C面定点観測結果

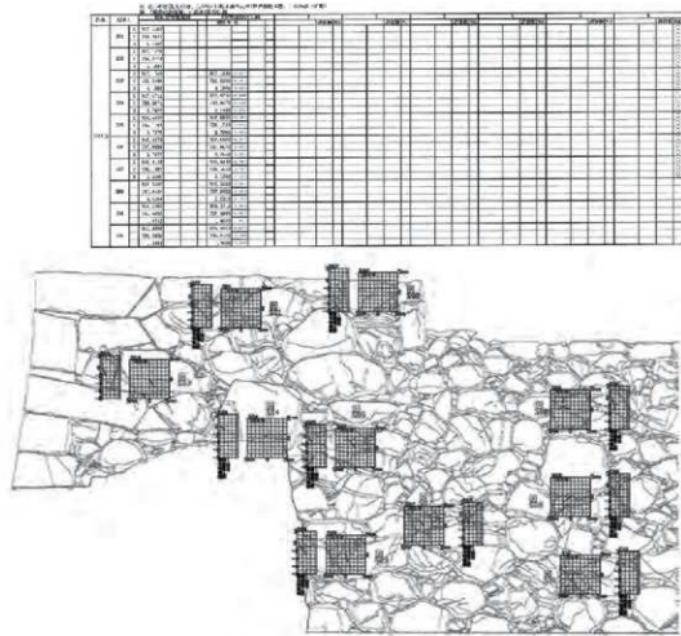


図8-14 E面定点観測結果

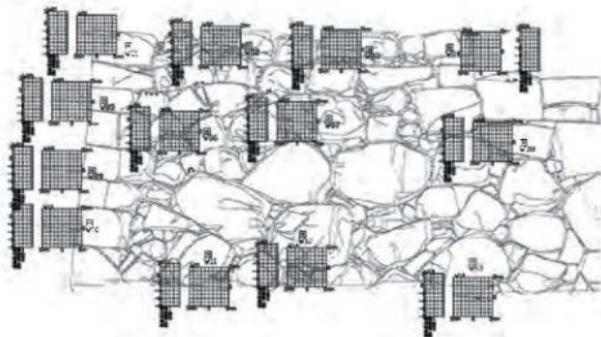


図8-15 F面定点観測結果

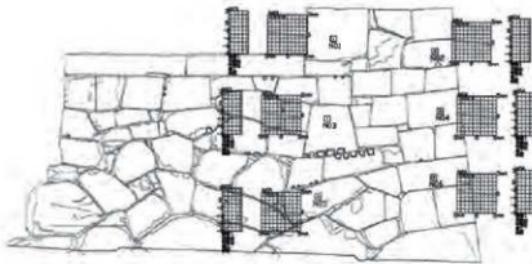


図8-16 G面定点観測結果

## 第9章 教育普及活動

### 第1節 現地説明会・体験会

桜御門石垣の解体修理が完了した平成29年4月に、現地説明会を実施した。

見学会の内容としては、事業の概要を示した資料を配布し、担当職員による解説を行った。当日は約150人の参加者を得た。

なお、説明会で用いた資料は、高松市役所のホームページから閲覧することが可能である。

第1回：[http://www.city.takamatsu.kagawa.jp/kurashi/kosodate/bunka/bunkazai/iseki.files/16962\\_L24\\_sakuragomon\\_s.pdf](http://www.city.takamatsu.kagawa.jp/kurashi/kosodate/bunka/bunkazai/iseki.files/16962_L24_sakuragomon_s.pdf)

### 第2節 展示

桜御門の石垣修理の状況について、高松市埋蔵文化財センター及び玉藻公園陳列館において、写真パネル及び遺物の展示を行った。



図9-1 桜御門石垣見学会の様子



図9-2 桜御門石垣見学会資料の一部①

### 3. 門を覆すする一連構の表示

#### (1) 石垣の表示

石垣では、石垣の表面を表現する「表面表示」、石垣の裏側を表現する「裏表示」、石垣の裏側に隣接する構造物を表現する「裏隣接表示」、石垣の裏側に隣接する構造物を裏隣接表示する「裏隣接裏表示」がある。裏隣接裏表示は、裏隣接表示の裏側に隣接する構造物を裏隣接表示するものである。

#### (2) 門門柱の表示

石垣門では、石垣門の門柱を表示するため、複数の表示を行なう。複数の表示は、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

門柱には、門柱に接する石垣の裏側を裏隣接表示して示す、「裏隣接裏表示」。

門柱頭部には、「アーチモルタル」が頭部の構造物を表現する。

また、門柱頭部を示すときには、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

また、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

#### (3) 門の表示

石垣門の門頭部を表示するとき、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

門頭部には、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

また、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

#### (4) 廊の表示

石垣門の廊を表示するとき、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

廊には、「アーチモルタル」が頭部の構造物を表現する。

また、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

#### (5) 案内表示

石垣門の案内表示を示すとき、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

案内表示には、「アーチモルタル」が頭部の構造物を表現する。

また、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

#### (6) 通路の表示

石垣門の通路を表示するとき、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

通路には、「アーチモルタル」が頭部の構造物を表現する。

また、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

#### (7) 通路の表示

石垣門の通路を表示するとき、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

通路には、「アーチモルタル」が頭部の構造物を表現する。

また、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

#### (8) 通路の表示

石垣門の通路を表示するとき、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

通路には、「アーチモルタル」が頭部の構造物を表現する。

また、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

#### (9) 通路の表示

石垣門の通路を表示するとき、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

通路には、「アーチモルタル」が頭部の構造物を表現する。

また、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

#### (10) 通路の表示

石垣門の通路を表示するとき、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

通路には、「アーチモルタル」が頭部の構造物を表現する。

また、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

### 4. 路面を被すするもの表示

#### (1) 路面の表示

路面では、路面の表面を表現する「表面表示」、路面の裏側を表現する「裏表示」、裏隣接表示する「裏隣接表示」、裏隣接裏表示する「裏隣接裏表示」がある。

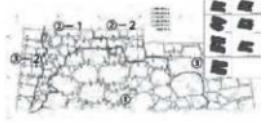


図9-3-1 石垣の表示

#### (2) 路面の表示

路面では、路面の表面を表現する「表面表示」、路面の裏側を表現する「裏表示」、裏隣接表示する「裏隣接表示」、裏隣接裏表示する「裏隣接裏表示」がある。

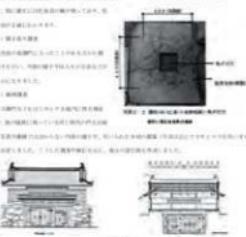


図9-3-2 路面の表示

### 5. 並木や一連構の表示

並木や一連構を表示するとき、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

並木には、「アーチモルタル」が頭部の構造物を表現する。

また、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

#### (1) 並木の表示

並木を表示するとき、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

並木には、「アーチモルタル」が頭部の構造物を表現する。

また、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

#### (2) 並木の表示

並木を表示するとき、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

並木には、「アーチモルタル」が頭部の構造物を表現する。

また、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

#### (3) 並木の表示

並木を表示するとき、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。

並木には、「アーチモルタル」が頭部の構造物を表現する。

また、複数の表示間隔を規定する「間隔表示」として示す。



図9-3 桜御門石垣見学会資料の一部②

## 第10章 考察とまとめ

### 第1節 石積み技法の検討

石垣解体に先立つ、石垣の表面観察の段階で、石材の加工の程度や形状の違い、目地の存在から、複数回の改修の可能性を推測することができた。この推測を解体によって追検証するため、今回新たに解体中の石積み技法について記録を作成することとした。それが築石の設置技法（石積み技法）についての分類である。作業開始前に石積み技法について、上下の築石の当て方と飼石の当て方を分類し、その組み合わせを図示した（図10-1）。

まず、上下に位置する石材の積み方について区分を行った。1類は、築石間が石垣前面の面でのみ接している類型である。作業する石工による助言では、通称「1番で当てる」と呼称することである。続いて、2類は、上下の石材が胴部で接するもので、通称「2番で当てる」と呼ばれる技法である。なお、天守台・地久櫓台といった築城当初の野面石乱積みからなる石垣の大半はこの2類で構築されていた。胴部で当てるため、面側に空隙ができることがあるが、この空隙は間詰で解消するのが一般的である。3類は上下の石材が直接接することなく、拳大程度の石材を全面に噛ませて設置する方法である。工事中は「全噛ませ」と呼称した。上位石材の高さ調整のためであろうか、石積みの強度としてはあまり強くないのではないかと推測される。最後に4類は、上下の石材の接地部（基本的には面側）を加工して、面的な設置を企図したものである。加工はノミで平滑に削った痕跡が確認できる。

続いて、飼石の設置方法である。飼石は築石の背部に設置して、石積みの安定性を高めたり、石垣勾配の調整を行うための役割を果たす。a類は拳大以下の小型の石材を多用するものである。b類は比較的大型（長辺が人頭大以上）の石材を使用するもの。c類は飼石を使用しないものである。

上下の石材の当て方と飼石の当て方の組み合わせによって分類し、図中に示した（図10-2～5）。なお、本石垣については、石材の被熱により石の面が割れて欠損し、当初1類で築いていたものが、結果として3類のように見える箇所も散見された。石垣の劣化に伴う変形で、見かけ上は本来と異なる石積み技法に見える危険性がある分類であることは付記しておきたい。石材の加工や配石等も勘案して総合的に判断する必要がある。

解体の結果、対象とした桜御門石垣には多様な石積み技法が用いられていました。

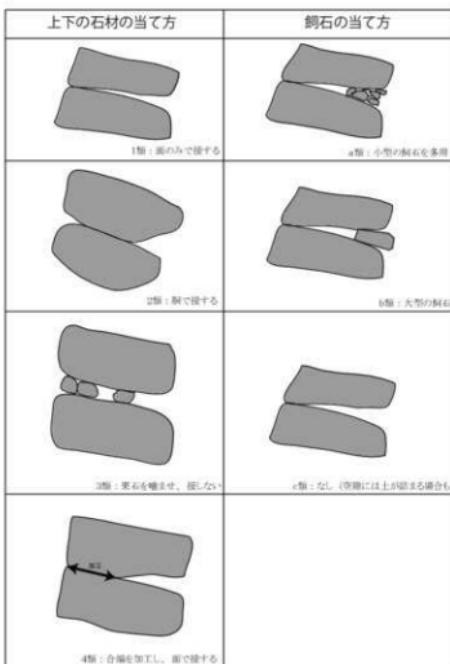


図10-1 石積み技法分類図

ること、ある程度分布が集中する=改修の単位として把握できる可能性が高いことが明らかになった。特に石垣の改修に關係すると考えられる特徴について、次節で詳述する。

## 第2節 石垣改修の痕跡

改修の痕跡を整理する前に、石垣の基本構造と解体に伴う発掘調査の関係を整理しておきたい。まず、基本構造として築石の背面に栗石層があり、その背面にさらに盛土層がある。今回の工事のように、史跡整備に伴う石垣修理では、解体範囲を最小限に抑えつつ、石垣変形の原因を解消した上で修理することが求められる。この場合、石垣の解体範囲は石垣下部に向かってすばまる形状で設定されることになる。つまり、石垣上位では背面構造も含めて広く掘削するのに対し、下部では掘削範囲が著しく狭くなる。解体時の断面図を見れば（例えば図5-11等）一目瞭然である。

こうした石垣構造の特性と工事の性格が発掘調査に与えるネガティブな側面として、①栗石は空隙が多く、調査中でも遺物や土砂、より小型の栗石が下部に転落し、結果として混入が多発するため時期決定の指標としづらい。②上部では盛土まで掘削が及んでも、下部に行くにつれ盛土まで掘削が及ばない場合が多い。③栗石は分層が困難な場合が多く、比較的詳細に分層可能な盛土との対応関係が把握しづらい、といった点が挙げられる。以上の条件から、少なくとも今回の調査では、石垣表面で見られた改修単位と背面の調査成果を1対1で対応して整理することは困難である。以下では、背面構造の調査成果と石垣表面に見られる石積み様相の変化=改修の痕跡を、ある程度大づかみに整理した成果を報告する。

西半石垣では、都合3単位の改修を想定した。順に西①～③と呼称する。西①では、石垣築造当初の構造が遺存していると考えられる。算木積みの隅角部と野面石乱積みの築石部で構成され、西半石垣の大半を占める。改修は石垣の天端周辺で想定される。背面まで広く掘削が及んでおらず、構築時期は不明とせざるを得ない。西②は、石積み技法で3aと分類した、築石を間詰石・栗石の上に積み、築石間に接地点がない石積み技法が集中して見られる範囲である。こちらも対応する遺物を抽出することが出来ておらず、西①よりも新しいという点が確認できるのみである。西③は、石積みの間にセメントを用いた練積みの範囲である。遺物での検証は出来ないが、セメントを伴う点から近代以降の改修と判断して大過ないだろう。特に改修石材に火災による赤変が認められない点からは、戦後の改修の可能性が高いと想定できる。

東半石垣では、比較的複雑な改修が想定される。東①は、野面石乱積みの築石部分である。石垣築造当時の遺存部分と想定している。こちらも背面まで掘削が及んでおらず、構築時期は不明とせざるを得ない。東②は東①とは様相が異なる範囲で、なおかつ石積みの技法等の特徴から3分した。東②-1は小型の割石を多用している部位で、石積みは1類が卓越する。東②-2は南西側の隅角部を含む範囲で、角石・角脇石の他に築石も大型の割石を用いる。こちらは未解体で石積み技法はほぼ不明であるが、表面観察からは間詰を入れる空隙が少ないため石積技法は1類が多いと考えられる。東②-1と2は、同一技法による石垣の可能性もあるが、使用石材の大きさにかなり差が認められることから、ここでは異なる単位として抽出しておく。なお、東②-2と西①を比較してみると、角石の形状や加工方法、角脇石の複数石使用といった点に共通性が認められる。東②-3は比較的大型の割石を多用しており、石積みに3類を多用する。石積み技法の特徴からは、西②との共通性が高いと考えられる。I・J面の基盤層となった盛土出土遺物からは、様相3以降の年代が想定される。東③は小型で規格的な切石を用いて、隅角部から築石部までを構築するもので、石積み技法は基本的に4類である。空隙を少なくするために石材の合端にも入念な加工がおこなわれている。北面に集中しており、石積みの様相から他の改修単位よりも新相に位置づけられる。G9背面出土遺物から、様相8以降の改修が想定できる。東④は北面最上部で、延石を設置したものである。栗石を伴わず、最上部のみの改修と考えられる。時期の特定は難しいが、東③よりも後出することは明らか

である。なお、出土遺物の総量を見ると、西半よりも東半の解体時に出土した遺物が圧倒的に多く、上記の複数回の改修に伴い、文字通り瓦礫として瓦が大量に混入したものと考えられる。改修の履歴の違いは、こうした遺物量にも端的に反映されていると考えられる。

以上を整理すると、西①と東①はそれぞれ現存する範囲で最も古相を示す石垣である。西①では割石を築石部にも利用し、ある程度1類と2類が並存する一方、東①は野面石の乱積みで基本的に2類が卓越する点が相違点として挙げられる。このため、構築時期がやや異なる可能性も考えられる。遺物から年代を推定することはできないが、石積み技法からみると、東①は天守台・地久橹台といった築城当初の石垣と同様の用材、技法で構築されている。このため、築城期（様相1、17世紀初頭）を想定することも可能であろう。統いて西①は、隅角部が天守台・地久橹台石垣（高上 2015）に比べて控え長が短く、角脇石にも割石を多用し、数が少ない点からも、より新相に位置づけてよいだろう。編年上の定点がないため、相対的に新相を示すというところまでは評価はできず、構築時期は今後の課題である。統いて、3類に分類した石積みを多用する西②・東②-3は同時期に改修されたものと考えられ、様相3（1640～50年代）以降である。東③は背面出土遺物から様相8（1821～72年）以降である。東④は時期不明であるが、東③より後出することは明らかである。

なお、解体範囲ではないが、H面の北半については、谷積みによる積み直しが確認され、石積み技法からは近代以降の可能性が想定される（図3-7左）。G-H面の隅角部はこの改修に伴い本来位置から西に約0.5m程度位置を変えて積み直されたものである。G面とH面北半では石積みの様相が異なり、前者は切石の布積み風、後者は谷積みであることから、施工時期は異なるものと考えられ、石積みの特徴からは後者がより新相を示す可能性が高いと考えられる。H面の積み直しに伴い、G面の東端も改変を伴った可能性はあるが目地等で確認することはできなかった。H面の積み直しについては、積み直しによってH面が直線状に多聞橹台上までつながっていることから、桜御門東側の多聞橹台上における平面プランの改変が契機になっていると考えられる。谷積みの施工から近代以降の出来事であるとは考えられるものの、こうした改変の原因・理由については不明とせざるを得ない。

整理すると、東西両面で石垣の改修が想定され、特に東面では複数次の改修が確認された。当該石垣は建造物の基礎としての石垣であるため、石垣改修は必然的に建造物にも大きく影響したことは動かない。建造物の改修を主要因として改変がなされた可能性も当然考えることはできる。ただし、今回の調査では石垣そのものの改修の時期をある程度把握することができたものの、改修の要因を特定できるような調査成果を得ることはできなかった。単純に石垣の変形に伴う部分的な修補の痕跡であるのか、建物の建て替えや形状変更に伴う改変であるのかを確認しなければ、石垣改修の要因を推定することは困難であるが、最小限の解体による修理という条件下では、こうした問題を解明するまでの情報を手に入れることは困難である。当然オリジナルの石垣は可能な限り残しているので、調査範囲で得られた情報を最大限整理したうえで、今後の課題としておきたい。

以上、冒頭で整理した資料の限界を踏まえつつ、推論に推論を重ねた感は否めない。特に石垣背面由來の遺物で年代を決定しきれなかった部分については、城内の類例から年代を推定するところが多かった。資料の限界は前提としつつ、機会を見つけて徐々に年代観の精度を向上させる必要が今後もあることを再確認しておきたい。

### 第3節 桜御門石垣修理工事の意義

石垣修理の基本方針は第6章第2節に整理しているが、桜御門石垣は、これまで史跡高松城跡内で実施してきたどの石垣修理とも異なり、火災による熱を受け石材の破損率が高いこと、高松空襲という歴史的事

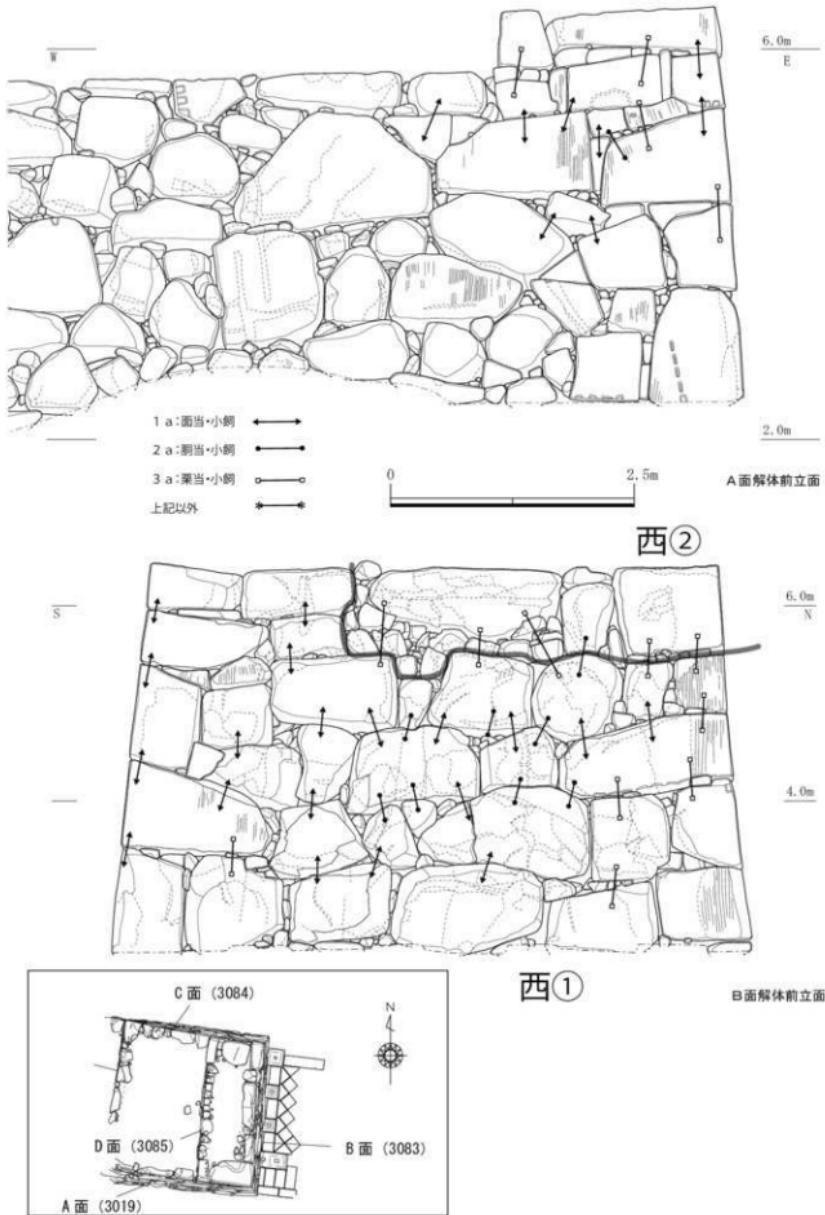


図 10-2 西半石垣石積み技法分布①

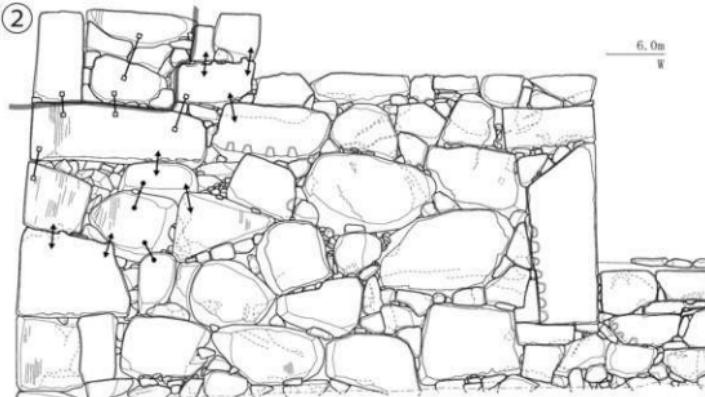
実の痕跡として、現況の可能な限りの保存と石垣の安全性を両立するための各種試みを行った点が大きな特徴である。石材の再利用率向上を目指した三次に渡る再利用判定の過程は、第6章第3～5節を参照いただきたい。

結果的に石材数ベース（間詰石も含む）のカウントで、新石交換率は1.4%程度（9石/662石）である。間詰石を除き角石と築石に限っても3.4%（9石/268石）であり、天守台、地久櫓台の工事では8～9%程度であったことを踏まえても、再利用率が格段に向上したことを指摘できる。なんらかの加工を行って再利用した石材は1.2%（8石/662石）にのぼり、最小限の加工で本来の石垣を保全しつつ、安定した石垣を築くという当初設定した石垣修理の方針を達成できたものと考える。文化財としての石垣の価値のうち、材質の真实性をかなり残すことができたこと、景観としての旧石垣の姿もまた最大限残すことができたと評価できるであろう。

なお、他の石垣では実施していない方法として、旧石材への加工をはじめとした各種手当を多数実施した。列記すると、割れ石の接合・接着、表面が剥離しかかっている石材の表面剥ぎ取り、である。石材単体で見たときには、二次的な加工によって改変が加えられたことになるため、これまでの工事では基本的に採用していなかった。旧石材の保存（加工しないこと）と、再利用率の向上及び安全性の確保を天秤にかけて、協議を重ねた結果としてこうした方法を採用した。

西②

E



1 a:面当→小剣

2 a:剣当→小剣

3 a:栗当→小剣

上記以外

C面解体前立面

セメント  
西③

N

0

2.5m

栗石

D面解体前立面

セメント

図10-3 西半石垣石積み技法分布②

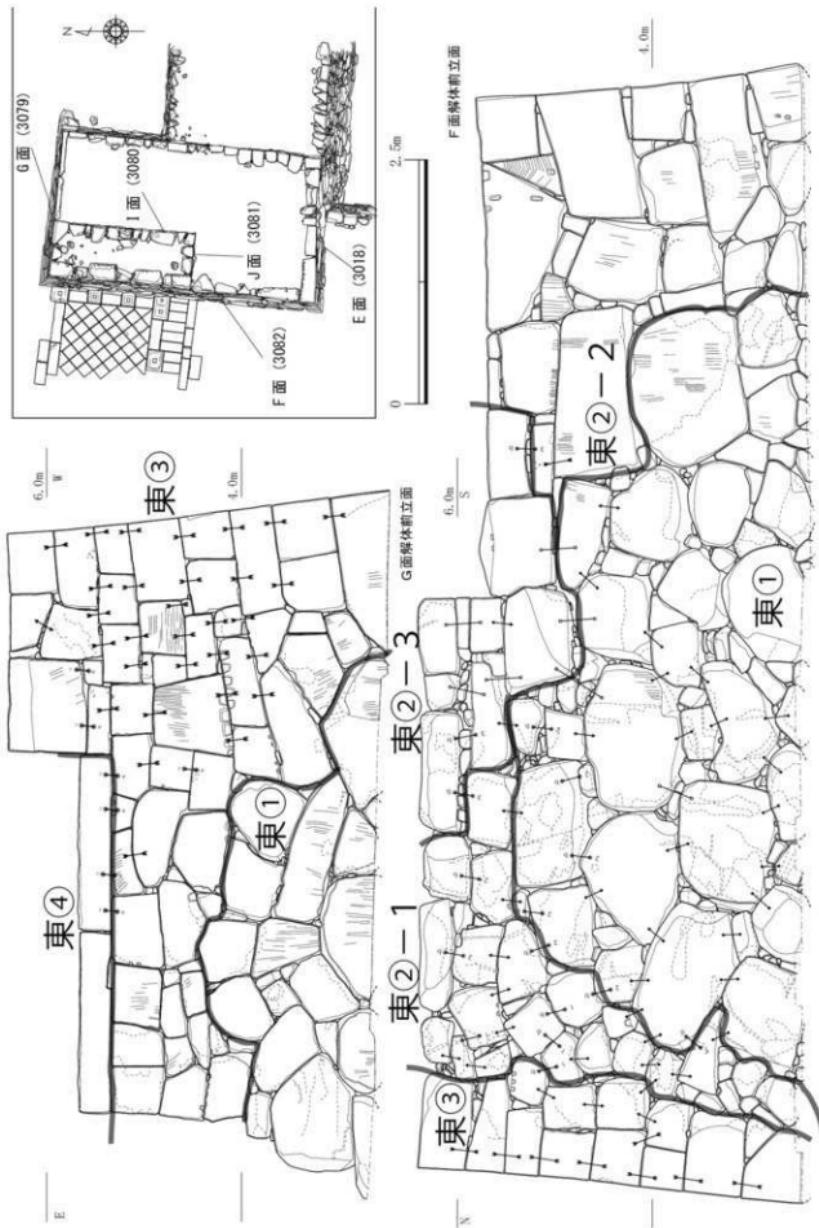


図 10-4 東半石垣石積み技法の分布と改修の履歴①

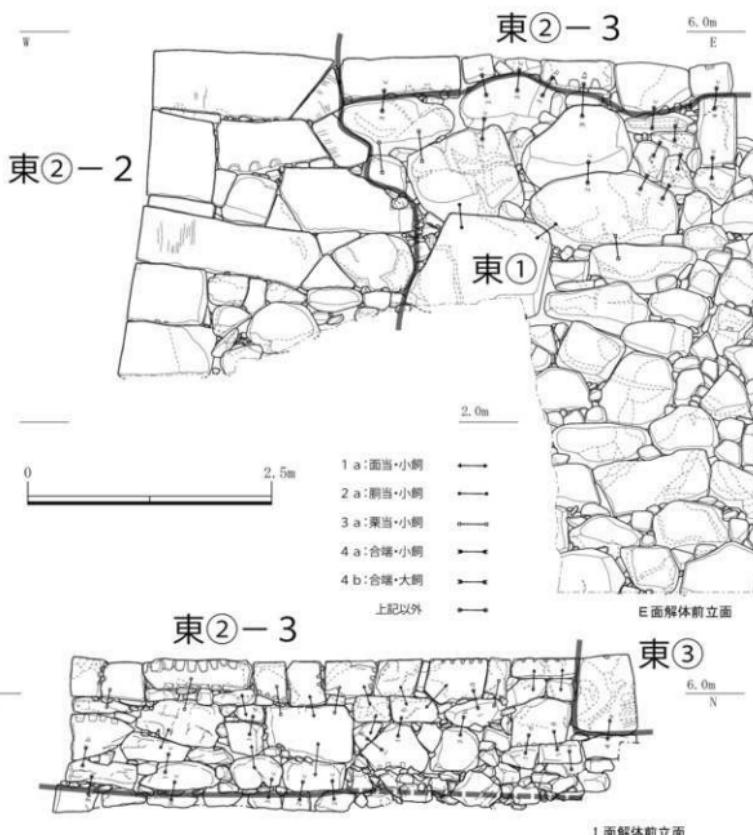


図 10-5 東半石垣石積み技法の分布と改修の履歴②

表 10-1 石垣改修の単位と特徴

| 改修単位 | 隅角部  |           |       | 角筋石  |              | 裏石部    |       |         | 裏石の様相 | 想定される年代        |
|------|------|-----------|-------|------|--------------|--------|-------|---------|-------|----------------|
|      | 石材加工 | 裏石        | 石積み仕法 | 石材加工 | 1段当た<br>り石材数 | 石材加工   | 石垣の裏石 | 石積み仕法   |       |                |
| 西①   | 削石   | 真木積（屋根多用） | 1頭主体  | 削石   | 1~3          | 野面石+削石 | 丸積み   | 1・2頭    | 自然礫   | 築城期よりや<br>く陸焉か |
| 西②   | 削石   | —         | 3頭    | —    | —            | 野面石+削石 | —     | 3頭      | 自然礫   | 築城3以降          |
| 西③   | —    | —         | —     | —    | —            | 削石     | —     | セメント接着み | 自然礫   | 最近か            |

| 改修単位 | 隅角部  |     |          | 角筋石  |              | 裏石部    |       |          | 裏石の様相  | 想定される年代 |
|------|------|-----|----------|------|--------------|--------|-------|----------|--------|---------|
|      | 石材加工 | 裏石  | 石積み仕法    | 石材加工 | 1段当た<br>り石材数 | 石材加工   | 石垣の裏石 | 石積み仕法    |        |         |
| 東①   | —    | —   | —        | —    | —            | 野面石    | 丸積み   | 2頭主体     | 自然礫    | 築城期か    |
| 東②-1 | —    | —   | —        | —    | —            | 野面石+削石 | 丸積み   | 1頭       | 自然礫+削礫 | —       |
| 東②-2 | 削石   | 真木積 | 1頭か（半解体） | 削石   | 1~2          | 削石     | 丸積み   | 1頭か（半解体） | 自然礫+削礫 | —       |
| 東②-3 | 削石   | —   | 不定型      | —    | —            | 野面石+削石 | 丸積み   | 3頭主体     | 自然礫+削礫 | 築城3以降   |
| 東③   | 削石   | 真木積 | 4頭       | 切石   | 1            | 切石     | 有里し積み | 4頭       | 自然礫+削礫 | 築城3以降   |
| 東④   | —    | —   | —        | —    | —            | 切石     | 丸積み   | 4頭       | なし（嵌土） | —       |

一方、仮積み試験の実施に代表されるように、工程が多くなったことから経費が通常の解体修理よりも高額になった点は否めない。ただ、本例については、仮積み試験を行わず、一次判定に基づき修理した場合、多くの石材が新補石材との交換が必要と判断せざるを得なかつた事は第6章で既述のとおりである。新補石材の購入について、在地の花崗岩が比較的の高価であり、加工費まで含むとかなりの経費が見込まれるが、石垣耐久試験等の結果再利用率が向上したことで、こうした新材調達費を大きく抑制することができた点は強調しておきたい。

石垣の持つ価値は、その石垣の履歴と現状に応じて多様かつ重層的である。工事の実施に際しては、対象となる石垣の特性を見極め、工事方針を定めたうえでその時取りうる最適の工法を選択するための議論を欠かすことはできない。本事例は高松城跡における石垣修理の特異な一事例として、今後の修理方法の検討の一里塚となれば大きな意義を持つことだろう。

## 【参考文献】

- 市村高男・上野進・渋谷啓一・松本和彦編 2009『中世讃岐と瀬戸内世界 港町の原像：上』
- 小林謙一・佐川正敏 1989『平安時代～近世の軒丸瓦』『伊河留木』法隆寺昭和資財調査概報 10
- 佐藤竜馬 2003『出土瓦の検討』『高松城跡（西の丸町地区）II』香川県教委・（財）香川県埋文調査センター
- 佐藤竜馬 2014a「高松城はいつ造られたか？」『高松老人大学 発表資料』
- 四国村落遺跡研究会 2007『港町の原像～中世港町・野原と讃岐の港町～』四国村落遺跡研究会シンポジウム
- 高上拓 2015「高松城本丸の構築年代と石垣の構造」『西国城館論集』III
- 高松市・高松市教委 2008『石垣基礎調査報告書』史跡高松城跡整備報告書第2冊
- 高松市・高松市教委 2013『史跡高松城跡（天守台）－石垣解体・修理編－』
- 高松市・高松市教委 2016『史跡高松城跡（地久櫓台石垣整備）』
- 松本和彦 2003『西の丸町地区出土の陶磁器について』『高松城跡（西の丸町地区）III』香川県教育委員会・（財）香川県埋文調査センター
- 山崎信二 2000『中世瓦の研究』
- 渡邊誠 2017「四国における近世瓦の生産と流通－高松藩における御用瓦師の成立－」『幕藩体制下の瓦』第66回埋蔵文化財研究集会
- 渡邊誠 2021「近代瓦生産の基礎的研究」『持続する志 下 岩永省三先生追職記念論文集』





桜御門石垣遠景（写真中央クレーンの右側、東から）



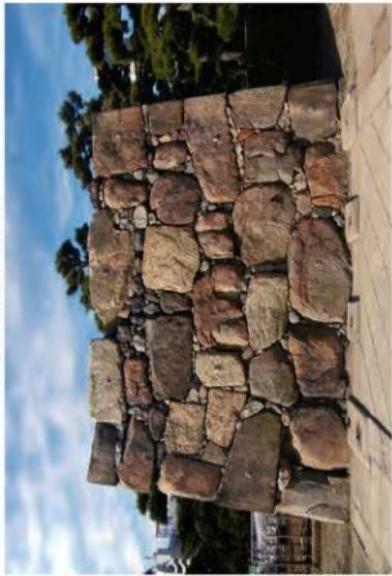
工事遠景（東から）

写真図版 2





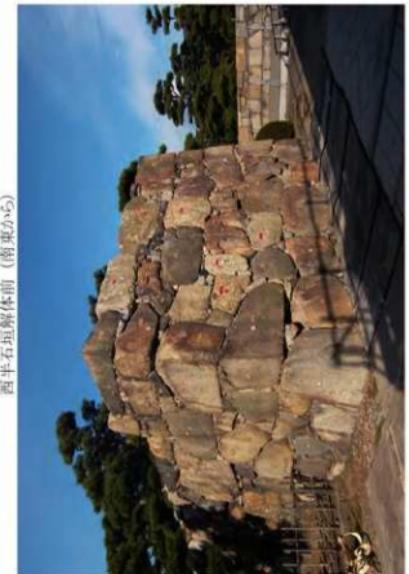
西半石垣解体前（東方から）



西半石垣修理後（東方から）



東半石垣解体前（南東方から）



東半石垣修理後（南東方から）



西半石垣解体前（北東方c<sub>2</sub>）



西半石垣修理後（北東方c<sub>2</sub>）



東半石垣解体前（北東方c<sub>2</sub>）



東半石垣修理後（北東方c<sub>2</sub>）





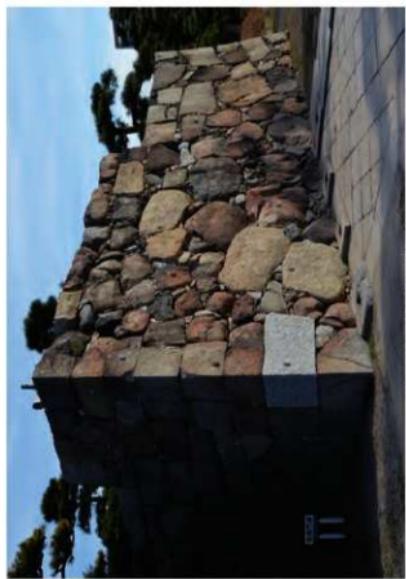
東半石垣解体前（北から）



東半石垣修理後（北から）



西半石垣解体前（北西から）



西半石垣修理後（北西から）

東南石垣解体前 (南東から)



東南石垣解体前 (南西から)



東半石垣解体前 (南東から)



東半石垣解体前 (南西から)





東半石垣上面調査前状況（南東から）



東半石垣上面調査前状況（南から）



西半石垣上面調査前状況（西から）



西半石垣上面調査前状況（南から）



東半石垣根石トレンチ調査前状況（北東から）



東半石垣根石トレンチ調査前状況（北西から）



内堀内仮設ヤード設置状況（東から）



内堀内仮設ヤード設置状況（西から）



掃除機による上面清掃



石材番付け作業



石材番付け作業（石面ガムテープ）



石材番付け作業（背書き）



上面墨打ち



朱墨で強調した上面墨打ち



石材カルテ作成①



石材カルテ作成②



栗石掘削



栗石解体



石材吊り上げのためのワイヤー廻し



石材吊り上げ



栗石粒径調査 石材色付け



栗石粒径調査 計測



割れ石型どり



石材破損状況の記録



西半石垣上面試掘状況（南から）



西半石垣上面焼土面検出状況（南から）



西半石垣上面試掘状況（南西から）



西半石垣上面焼土面検出状況（南西から）



西半石垣上面 焼土の集中と被熱した石垣（南から）



西半石垣上面 焼土面検出状況（南から）



西半石垣上面 セメントに上る石垣固定状況（南から）



セメント部分拡大



西半石垣上面グリッド調査状況（北から）



西半石垣上面グリッド調査状況（北西から）



西半石垣上面栗石検出状況（北から）



西半石垣上面栗石検出状況（南西から）



西半石垣上面遺構断面（西から）



西半石垣上面遺構完掘状況（西から）



西半石垣上面石列（S面）検出状況（南西から）



西半石垣上面（S面と前面の断面）（南西から）



西半石垣上面（S面と前面の断面）（北から）



西半石垣上面（S面解体状況）（南西から）



西半石垣上面（S面解体状況）（南から）



西半石垣1段目解体状況（南東から）



西半石垣1段目解体状況（北から）



西半石垣1段目解体状況（南から）



西半石垣 石垣間に押し込まれたセメント①



西半石垣 石垣間に押し込まれたセメント②



西半石垣2段目解体状況  
(南東から)



西半石垣2段目解体状況  
(南西から)



西半石垣2段目解体状況  
(南から)



西半石垣3段目解体状況  
(北から)



西半石垣3段目解体状況  
(南東から)



西半石垣3段目解体時 盛土と栗石  
の関係 (北東から)



西半石垣4段目解体状況（北から）



西半石垣4段目解体状況（南から）



西半石垣2段目解体完了状況（南から）



西半石垣3段目解体完了状況（南から）



西半石垣2段目解体完了状況（東から）



西半石垣3段目解体完了状況（東から）



西半石垣2段目解体完了状況（北東から）



西半石垣3段目解体完了状況（北東から）



西半石垣2段目解体完了状況（北から）



西半石垣3段目解体完了状況（北から）



西半石垣解体完了状況（東から）



西半石垣解体完了状況（南東から）



西半石垣解体完了状況（南から）



西半石垣解体完了状況（北東から）



発掘作業状況①（南東から）



発掘作業状況②（南東から）



石垣測量状況（南東から）



東半石垣焼土層半裁状況（北から）



東半石垣焼土層半裁状況（南から）



東半石垣栗石検出状況（北から）



東半石垣栗石検出状況（南から）



葵文の瓦出土状況（南から）



鉄製の根巻を持つ遺構（東から）



東半石垣1段下グリッド調査（南から）



東半石垣1段下グリッド調査（北から）



東半石垣1段下焼土層上面検出状況（北西から）



東半石垣1段下焼土層断面（南から）



東半石垣天端南面石垣（南から）



東半石垣天端東面石垣（南東から）



東半石垣背面盛土掘削状況（北東から）



東半石垣背面盛土東壁断面（南西から）



東半石垣背面盛土南壁断面（北から）



東半石垣背面盛土南壁断面 盛土と栗石の関係（北東から）



東半石垣背面盛土東壁断面 盛土と栗石の関係（北西から）



東半石垣 1段目解体状況（北から）



東半石垣 1段目解体状況（南から）



東半石垣 2段目解体状況（南東から）



東半石垣 2段目解体状況（南から）



東半石垣 2段目解体状況（北から）



東半石垣 2段目解体状況（南西から）



東半石垣 2段目解体時の根石と栗石の関係（北から）



東半石垣 2段目解体時の根石と栗石の関係（北東から）



東半石垣 3段目解体  
状況（南から）



東半石垣 3段目解体  
状況（北から）



東半石垣 3段目解体  
状況（北東から）



東半石垣 4段目解体状況（南から）



東半石垣 4段目解体状況（北から）



東半石垣 4段目解体時 隅角部の介石設置状況（北から）



東半石垣 4段目解体時隅角部の加工と介石（北東から）



東半石垣 4段目解体時 矢穴の残る介石（北から）



東半石垣 5段目解体  
状況（南から）



東半石垣 5段目解体  
状況（南西から）



東半石垣 5段目解体  
状況（南東から）



東半石垣 6段目解体状況（南から）



東半石垣 6段目解体状況（西から）



東半石垣 6段目解体時 隅角部の状況（北から）



東半石垣 6段目解体状況（北から）



東半石垣 6段目解体時 鉄製アンカ一検出（北から）



東半石垣 7段目解体状況（北から）



東半石垣 7段目解体状況（南から）



東半石垣 7段目解体状況（北東から）



東半石垣 8段目解体状況（北から）



東半石垣 8段目解体状況（南から）



東半石垣 9段目解体状況（北東から）



東半石垣 9段目解体状況（南から）



東半石垣 9段目解体状況（西から）



東半石垣 9段目解体状況（北西から）



東半石垣 9段目解体状況（西から）



東半石垣 9段目解体状況（北西から）



東半石垣 E面1段目清掃状況（西から）



東半石垣 E面1段目清掃状況（東から）



東半石垣 E面1段目解体状況（北から）



東半石垣 E面1段目解体状況（西から）



東半石垣 E面2段目解体状況（北東から）



東半石垣 E面2段目解体状況（西から）



東半石垣 E面3段目解体状況（西から）



東半石垣 E面3段目解体状況（東から）



東半石垣 3段目解体時（南西から）



東半石垣 4・5段目解体時（南西から）



東半石垣 6段目解体時（南西から）



東半石垣 7段目解体時（南西から）



東半石垣 3段目解体時（西から）



東半石垣 4・5段目解体時（西から）



東半石垣 6段目解体時（西から）



東半石垣 7段目解体時（西から）



東半石垣 3段目解体時（北西から）



東半石垣 4・5段目解体時（北西から）



東半石垣 6段目解体時（北西から）



東半石垣 7段目解体時（北西から）



東半石垣 解体完了状況（南から）



東半石垣 根石トレーニチ1 完掘状況（北から）



東半石垣 根石トレーニチ1 土器検出状況（北から）



東半石垣 根石トレーニチ1 瓦集中（北西から）



東半石垣 根石トレーニチ1 断割り状況（北から）



東半石垣 根石トレーニチ1 断割り断面（東から）



東半石垣 根石トレンチ1 南側根石深度（東から）



東半石垣 根石トレンチ1 南側根石深度確認状況（東から）



東半石垣 根石トレンチ2 完掘状況（南から）



東半石垣 根石トレンチ2 埋没石垣列側面（東から）



東半石垣 根石トレンチ2 埋没石垣列側面（北東から）



積直し用丁張設置状況



丁張の木材と水糸による勾配確認



石材の当たり調整状況



新補石材の設置状況



栗石設置状況



新補栗石設置と検測状況



盛土への石灰混和状況



盛土施工状況



割れ石を石垣背面の捨石（力石）に流用①



割れ石を石垣背面の捨石（力石）に流用②



割れ石を隅角部背面の捨石（力石）に流用



割れ石を間詰石に流用



隅角部背面の介石加工



定点観測用ターゲット設置状況



定点観測状況



盛土施工状況



盛土転圧状況



東半石垣隅角部のワレ



割れた部材に穿孔



接合相手にも穿孔し、ダボピンと樹脂で接合



接合状況



新石加工状況（石割）



新石加工状況（表面加工）



新石設置状況



石材接着用エポキシ樹脂混合状況



エポキシ樹脂塗布状況



接合部位に穿孔（接着後一方向から穿孔）



穿孔部に差し込んだステンレスボルト



接合状況



余分なステンレスボルト



ステンレスボルトをサンダーで切断



接合した石材使用状況



西半石垣石積み前状況（南東から）



西半石垣石積み状況（北西から）



西半石垣 1段目石積み状況（東から）



西半石垣 3段目石積み状況（東から）



西半石垣 3段目石積み状況（北東から）



西半石垣 4段目石積み状況（東から）



西半石垣 4段目石積み状況（北東から）



西半石垣 石積み完了状況（北東から）



西半石垣石積み完了状況（西から）



西半石垣石積み後盛土施工完了状況（西から）



東南石垣 1段目石積み状況（南から）



東南石垣 2段目石積み状況（南から）



東南石垣 3段目石積み状況（南から）



東南石垣 3段目石積み状況接写（南から）



東南石垣 石積み完了状況（南から）



東南石垣 石積み完了状況（南東から）



東半石垣 石積み前状況（南西から）



東半石垣 1段目石積み状況（南西から）



東半石垣 3段目石積み状況（南西から）



東半石垣 3段目石積み状況（北西から）



東半石垣 4段目石積み状況（北西から）



東半石垣 5段目石積み状況（北西から）



東半石垣 6段目石積み状況（北西から）



東半石垣 6段目石積み状況（南西から）















T17



T21



T136



T73



T224



T161



T207



T130



T96



T162



T202



T220



T100



T159



T101



T97



T98



T99



T24



T205



T168



T181



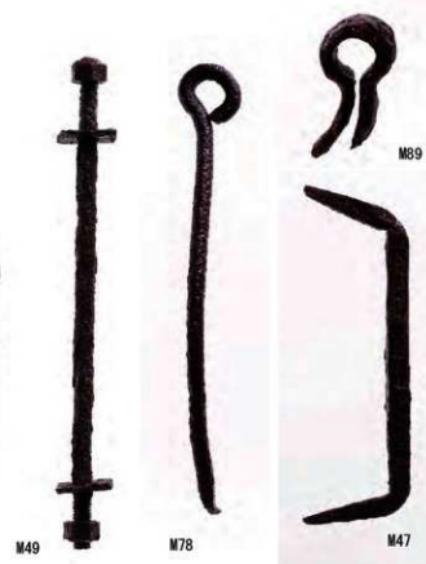
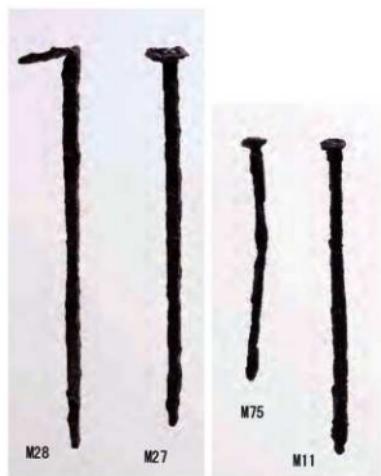
T72



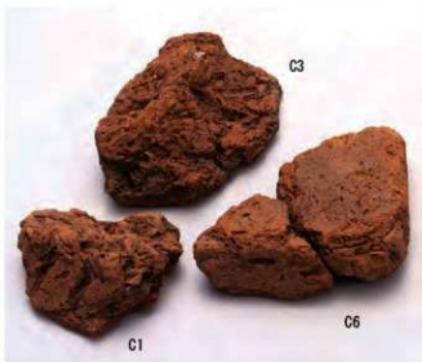
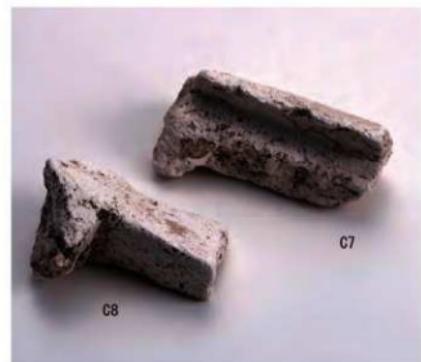
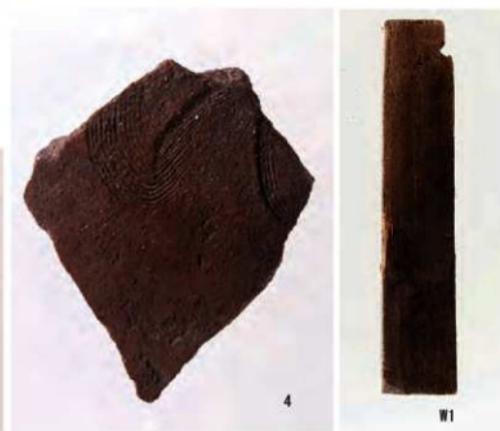
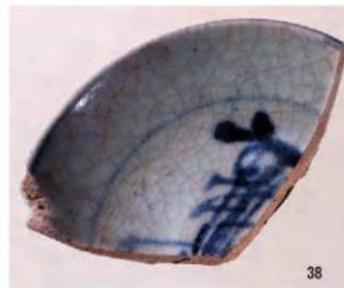
T157



T23







## 報告書抄録

高松市埋蔵文化財調査報告第231集

史跡高松城跡 整備報告書 第10冊

## 史跡高松城跡

(桜御門石垣整備)

2022年3月31日

編 集 高松市教育委員会  
高松市番町一丁目8番15号  
発 行 高松市・高松市教育委員会  
印 刷 有限会社 中央ファイリング