

## ■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 …

### 【2020令和2年度 石垣・構造・建築合同WG】

- ・(7/3) 続櫓周辺石垣:解体修理が必要(H443上部・H446・H456・H458・H461)
- ・(10/9) 続櫓下石垣:外部補強(鉄骨等の構造物)＋上部解体修理で承認
- ・(12/15)続櫓周辺レーダ探査・発掘調査箇所を承認
- ・(2/22) 続櫓下石垣:大規模解体修理案の再提示⇒継続審議

### 【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

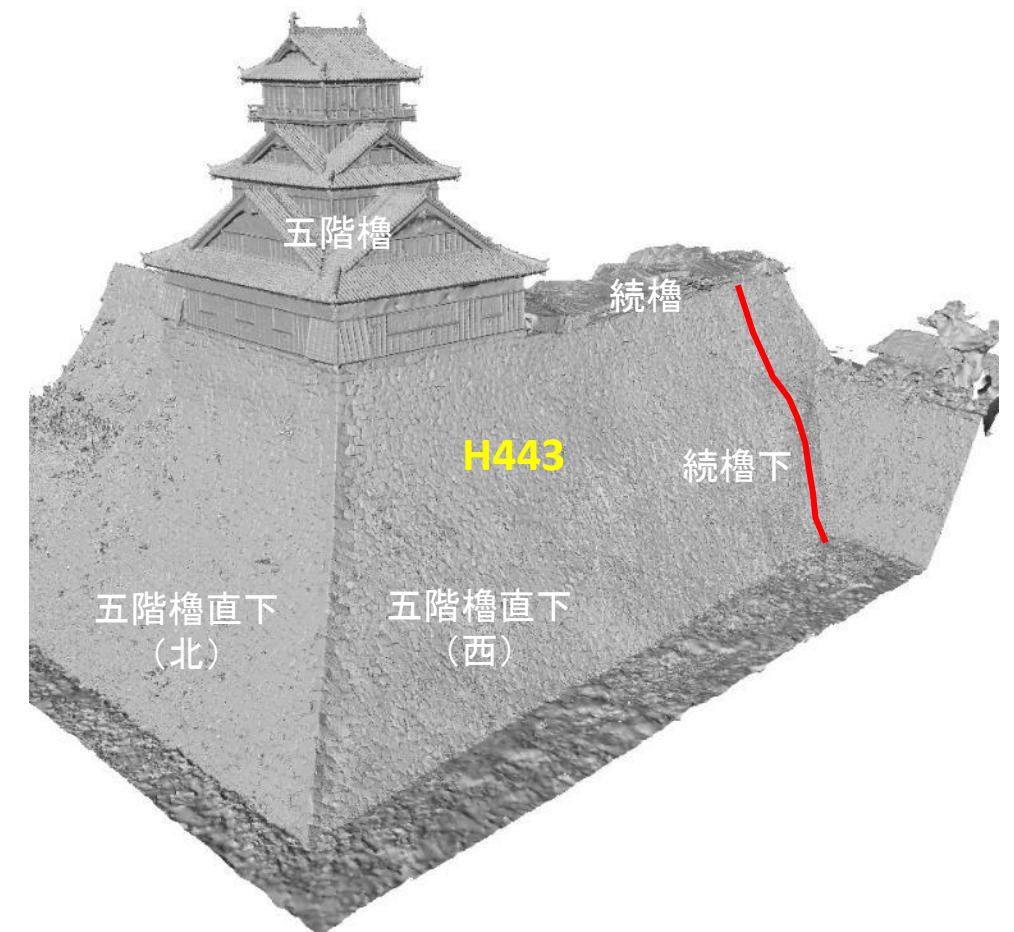
空堀発掘調査範囲の承認

### 【2022令和4年度 文化財修復検討委員会】

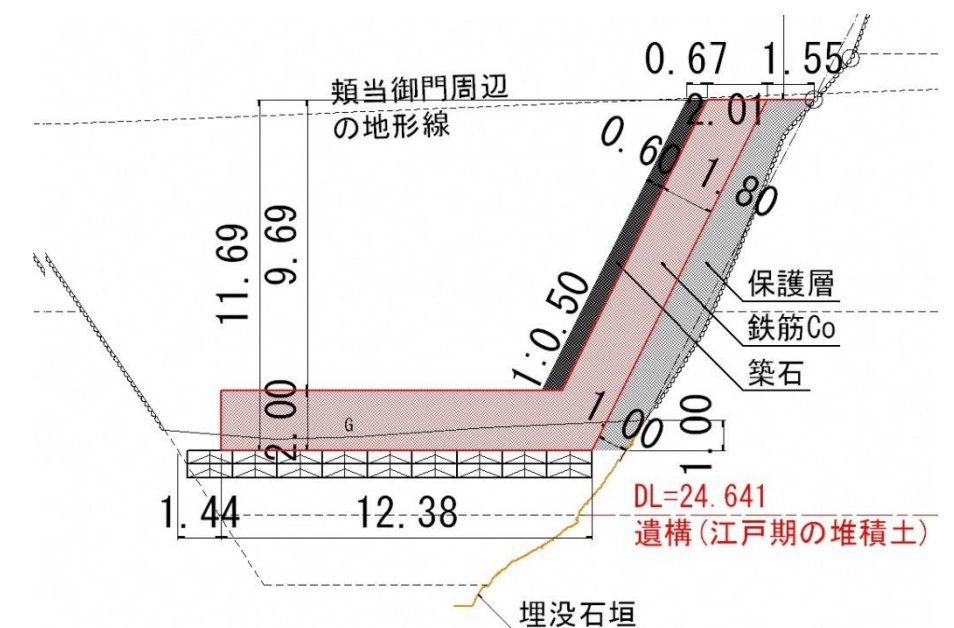
- ・(6/3)検証した基礎診断結果に基づき修理方針を検討  
石垣外部の安全対策の検討は行わないことで承認  
空堀確認調査現地視察
- ・(9/22)続櫓周辺石垣修理履歴・空堀発掘調査成果・続櫓下石垣非破壊調査結果の報告  
石垣前面押さえ補強案・支持対策案の提示⇒継続審議

## ■今回の委員会での報告・審議事項

### 1. 石垣復旧措置案【審議】



宇土櫓続櫓下石垣



石垣前面押さえ補強案

**H30.10.18 熊本城文化財修復検討部会**

【承認】続櫓下部については積み直しを含めた修理が必要。修理手法については今後検討。

**R1.7.12・R1.11.7 石垣・構造合同ワーキング**

【報告】石垣修理履歴・被害状況〔対象石垣：H442、H443、H446、H456～H458、H461～H463、H465〕

**R1.12.25 石垣・建築・構造合同ワーキング****R2.3.26 熊本城文化財修復検討委員会**

石垣修理履歴不明

※H443の大部分が構築当初石垣と想定

大規模解体修理の場合は損失が大きい

【承認】膨らみ部は解体修理ではなく押さえによる対応（ただし、盛土で覆い隠すのではなく鉄骨など別案で検討を）

**R2.10.9 石垣・建築・構造合同ワーキング**

【承認】鉄骨構造物による押さえと石垣上部の解体修理

**R3.2.22 石垣・建築・構造合同ワーキング**

【承認】鉄骨構造物による押さえ補強の差戻し

《委員指摘》

石垣解体修理範囲の縮小化を検討

（事務局より差戻しの提案理由）

- ・鉄骨等による押さえ補強は将来に課題を先送り
- ・耐用年数を迎えた更新時期への対応（建物・石垣解体修理）が懸念

**R3.5.31 熊本城文化財修復検討委員会**

【承認】はばき石垣+石垣上部の解体修理

《委員指摘》

はばき石垣の高さは頬当御門土橋を越えないよう検討（現代工法を取り入れるなど規模感を最小限に！）

（事務局案）

- ・伝統工法による修理を尊重し、石垣解体修理範囲の縮小化を図る

**R4.2.2 熊本城文化財修復検討委員会**

【承認】はばき石垣の支持対策の必要性

【承認】空堀の発掘調査の実施

《委員指摘》

空堀の土層の堆積状況を確認し、改良可能な範囲を明らかにすること

（事務局案）

- ・押さえ補強の規模縮小化を図るため、内部構造（栗石・コンクリート等）を含め複数案提示
- ※いずれの案も空堀の地耐力が不足

**R4.6.3 熊本城文化財修復検討委員会**

【報告】石垣修理履歴・被害状況報告（再提示）

**R4.9.22 熊本城文化財修復検討委員会**

【報告】石垣修理履歴・被害状況報告（再提示）

【報告】発掘調査成果（空堀の遺構分布及びH443根石の状況）

【報告】H443膨らみ内部の非破壊調査結果

《委員指摘》

押さえ補強の規模や圧密試験による沈下量等の詳細な検討を実施

**【押さえ補強検討に伴う調査設計にて新たに判明した事項】**

- ・石垣修理履歴見直し（※H443石垣の大部分が江戸期に修理された可能性有）
- ・空堀調査時に検出された埋没部石垣の傾斜が緩やかで堀の中央付近まで延びている
- ・押さえ補強が空堀遺構に影響（圧密沈下）
- ・空堀遺構への影響を考慮した押さえ補強の形状（逆L型鉄筋コンクリート）
- ・膨らみ内部の緩みが確認され、押さえ補強の高さが一部頬当御門土橋より高くなる



石垣前面押さえ補強の圧密沈下の検討

- 下記条件により圧密沈下の検討を行った。
- > 令和4年度第2回委員会で提示した第4案をベースに縦壁やフーチングの高さを再検討した形状
  - > 右写真で示す位置でBc1,Bc2,Aso-4sのサンプリングを実施し、圧密試験を実施して得られた結果を反映

沈下量は下記公式により算出した。（宅地防災マニュアルp44）

$$S = \sum \frac{e_0 - e}{1 + e_0} \times H_n$$

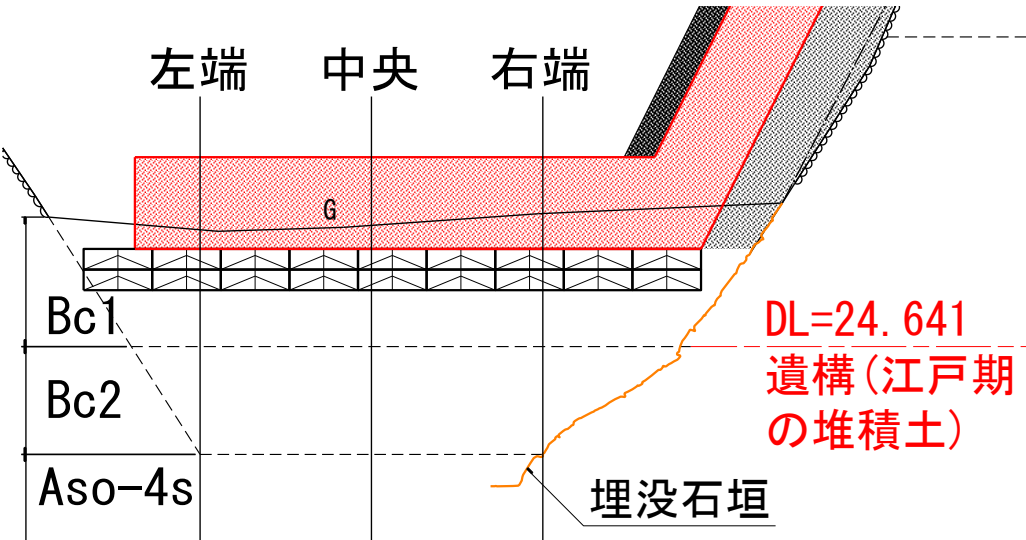
(S：沈下量、e0：P0に対する間隙比、 e：P0+ΔPに対応する間隙比、P0：構造物載荷前の有効土被り厚、  
ΔP：構造物載荷による地盤内鉛直増加応力、Hn：各土層の厚さ )

Bc2において**最大13.3cm程度（右端）**、 Aso-4sにおいて**最大4.5cm程度（右端）**の圧密沈下が発生する可能性があることが確認された。このことから、埋没石垣の下部に存在するAso-4sが沈下することで埋没石垣への影響が生じる可能性も考えられる。

なお、圧密沈下の検討は通常周囲が開けた盛土において行う。そのため、空堀側面の石垣からの摩擦が生じ、かつ盛土ではない構造物での圧密沈下の検討は精度誤差が生じている可能性が高い。



| 区分   | 沈下量（cm） |       |       |        |        |        |        |       |       |        |        |        |
|------|---------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
|      | Bc1     |       |       | Bc2    |        |        | Aso-4s |       |       | 合計     |        |        |
|      | 左端      | 中央    | 右端    | 左端     | 中央     | 右端     | 左端     | 中央    | 右端    | 左端     | 中央     | 右端     |
| 即時沈下 | -       | -     | -     | -      | -      | -      | -      | -     | -     | 1.369  | 1.322  | 0.955  |
| 圧密沈下 | 6.710   | 7.490 | 8.238 | 10.495 | 12.862 | 13.268 | 4.061  | 4.576 | 4.514 | 21.265 | 24.928 | 26.021 |
| 合計   | 6.710   | 7.490 | 8.238 | 10.495 | 12.862 | 13.268 | 4.061  | 4.576 | 4.514 | 22.634 | 26.250 | 26.976 |

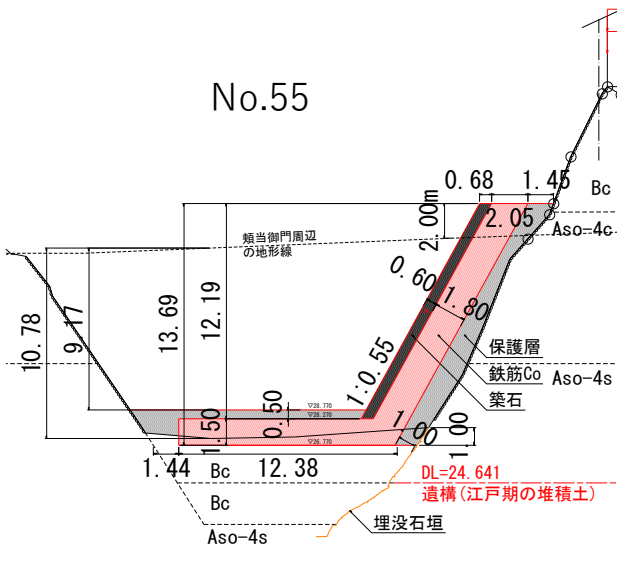
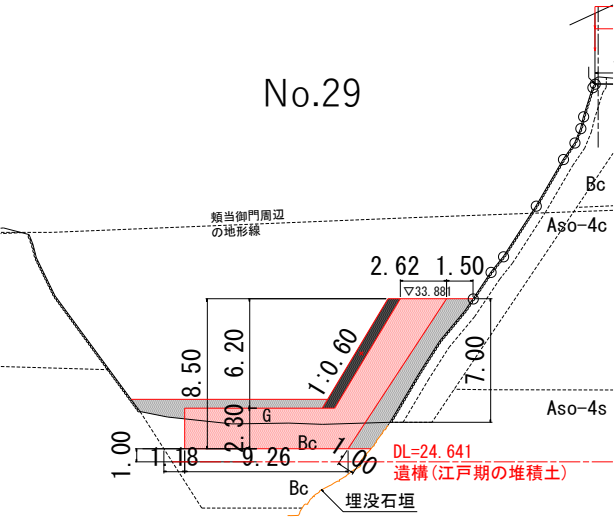
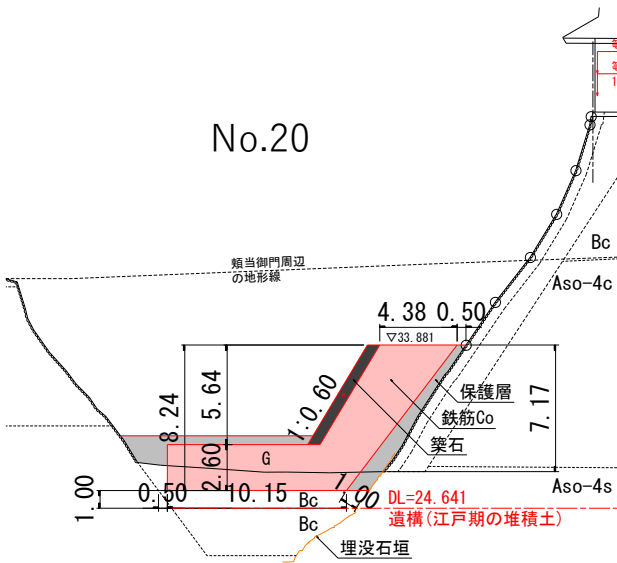
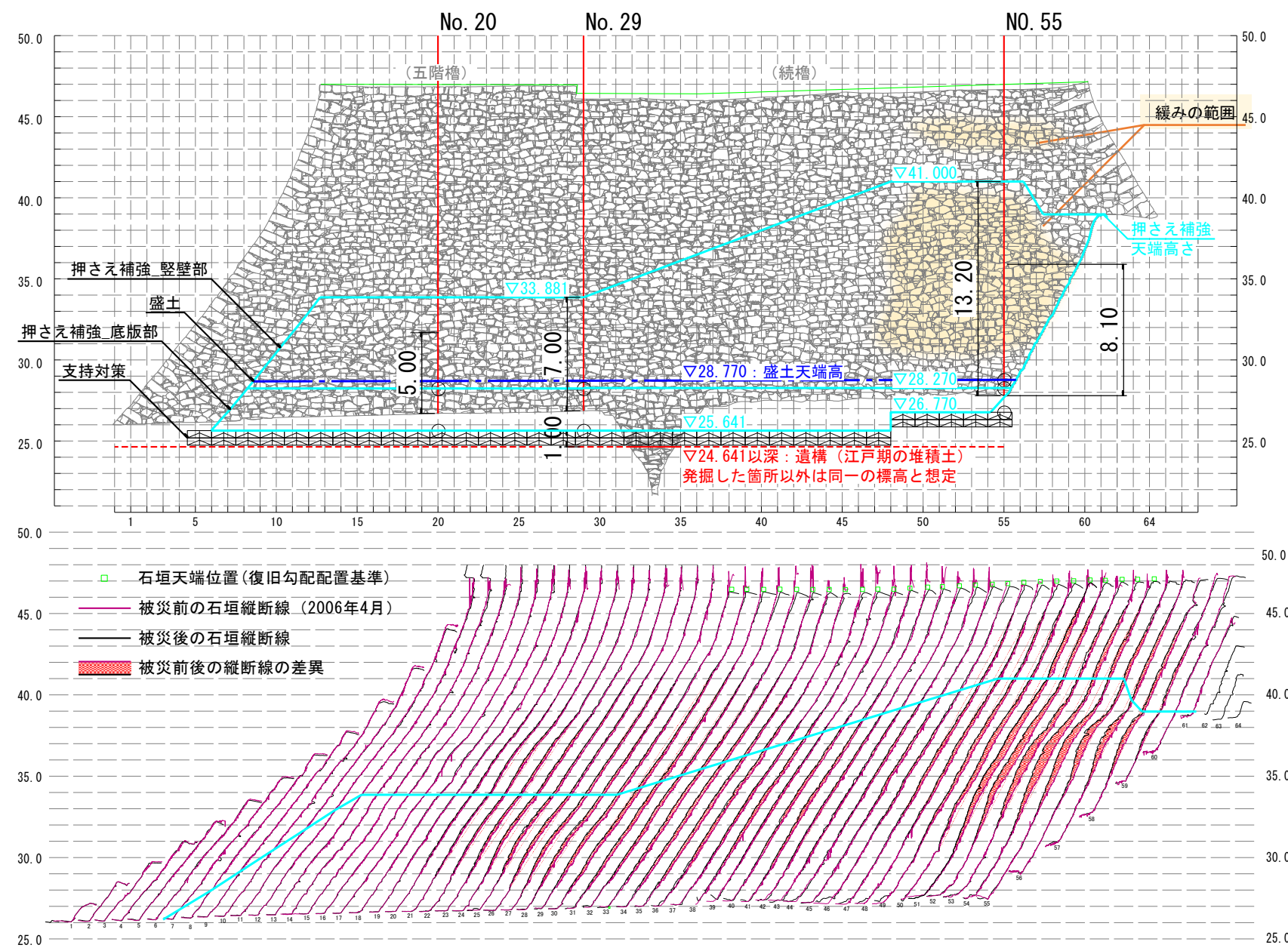




石垣前面押さえ補強の形状

No.20、No.29、No.55の耐震診断により石垣が不安定になる高さを算定し、その高さを参考に押さえ補強の高さを設定。  
※No.20とNo.29の豎壁の高さが同じにも関わらず、壁厚が異なるのは上載荷重の違い（五階櫓、続櫓）によるもの。

|       | 石垣が不安定になる高さ（耐震診断） |                            | 押さえ補強の高さ                  |                                                                                                                                                                  |
|-------|-------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| No.20 | 下から5.0m           | 資料3-巻末-1<br>令和元年度のWG及び委員会※ | 7.0m                      | 石垣が不安定になる高さ（5.0m）に合わせる場合、背面からの土圧を抑えるための構造は断面方向に大きな形状になる。これに伴い、空堀に作用する地盤反力が大きくなり、区画分割型土のうによる支持対策を用いても支持力を満足することができない。（資料3-巻末-4参照）<br>上記を踏まえ、No.29と同じ高さである7.0mとした。 |
| No.29 | 下から7.0m           | 資料3-巻末-2                   | 7.0m                      | 石垣が不安定になる高さに合わせる。                                                                                                                                                |
| No.55 | 下から8.1m           | 資料3-巻末-3                   | 13.2m<br>膨らみ箇所を<br>全て覆う高さ | 石垣面が大きく膨らんでいることに加え、レーダ探査等の非破壊の調査により背面に密度が緩い部分がある可能性が確認されたことから、膨らみ箇所を全てを覆う高さの押さえ補強とすることが承認。（令和4年度第2回委員会）                                                          |





石垣前面押さえ補強のイメージ図

石垣前面押さえ補強のイメージは下図のとおりである。



図1 イメージ図 俯瞰



図2 イメージ図 頬当御門土橋から

石垣前面押さえ補強の検討まとめ

| 評価項目   |          |   | 内容                                                                         |
|--------|----------|---|----------------------------------------------------------------------------|
| 文化財的観点 | 外観への影響   | × | 城郭平面構造、景観に影響（頬当御門土橋を越える高さ、押さえ補強を覆うための空堀盛土最大2.5m程度など）                       |
|        | 材料内部への影響 | ○ | H443石垣修理範囲内に補強が不要                                                          |
|        | 可逆性      | ○ | 押さえ補強上部のH443石垣解体範囲を除き、H443石垣の本質的価値の保存が可能                                   |
|        |          | × | 押さえ補強により空堀遺構の圧密沈下及びH443埋没部石垣への影響がある                                        |
| 安定性    |          | ○ | 地震時においても安定性が保たれる                                                           |
| 施工性    |          | ○ | 施工可能（ただし、宇土櫓五階櫓素屋根の影響による分割施工）                                              |
| 維持管理性  |          | △ | 永久構造物となるため定期的な維持管理は不要<br>（ただし、鉄筋コンクリート構造物のため撤去する場合は宇土櫓石垣の解体修理が必要になるなど懸念あり） |

石垣前面押さえ補強の検討に伴う調査設計により、当初想定していたよりも、城郭平面構造や景観に影響があること、また、空堀内の本質的価値に影響があることから、次回委員会にて、改めて大規模解体修理案を含めた比較検討を行い、工法選択したい。

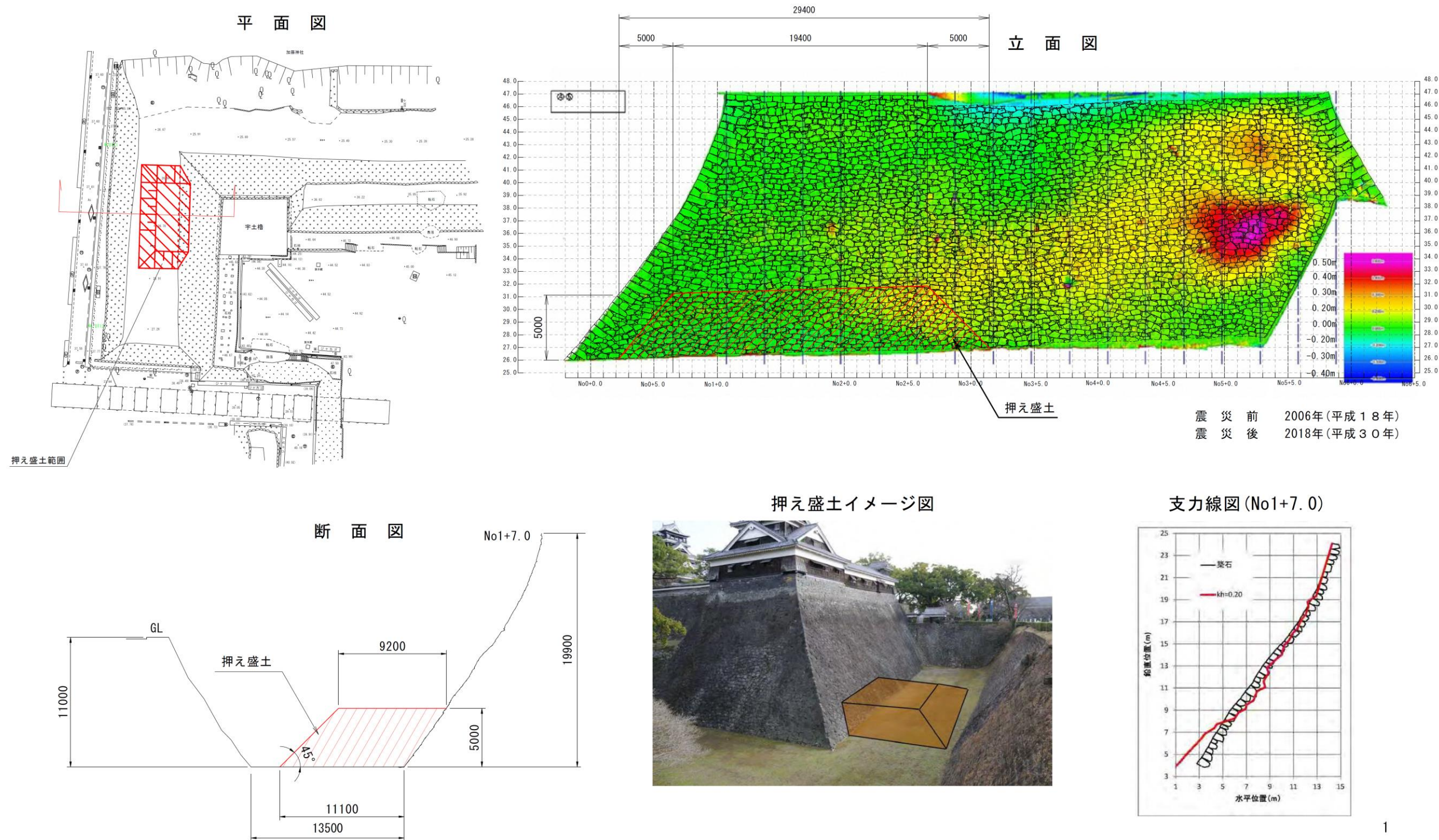


## 石垣が不安定になる高さ (No.20)

出典：「令和元年度熊本城文化財修復検討委員会石垣・構造合同ワーキンググループ」「令和元年度 第2回 熊本城文化財修復検討委員会」

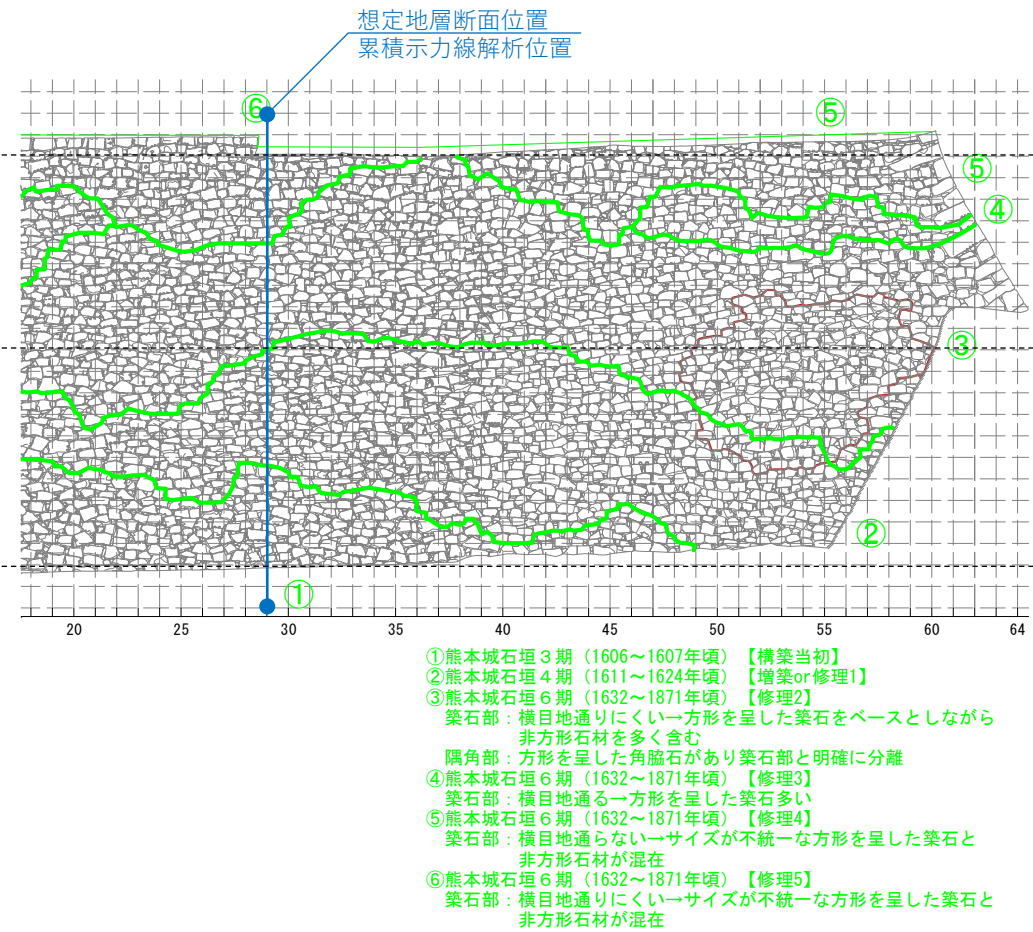
## 重文下資料1 宇土櫓・櫓下石垣(H443・五階櫓下) 復旧措置の提示

押え盛土による補強を行う場合の想定範囲を以下に示す。

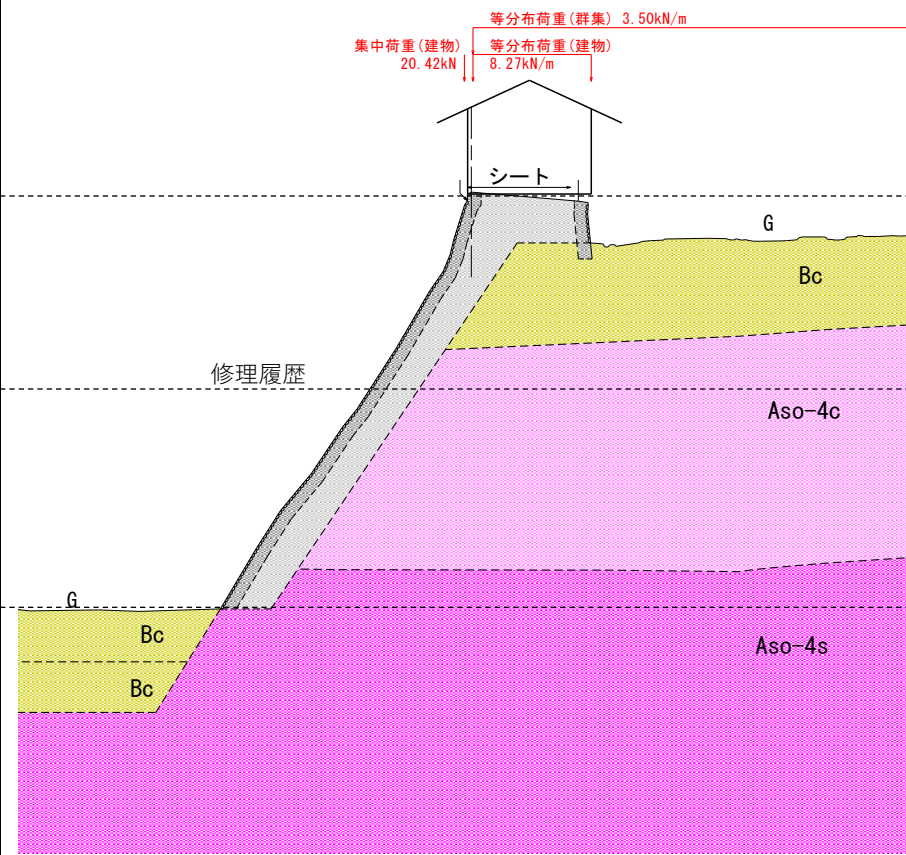




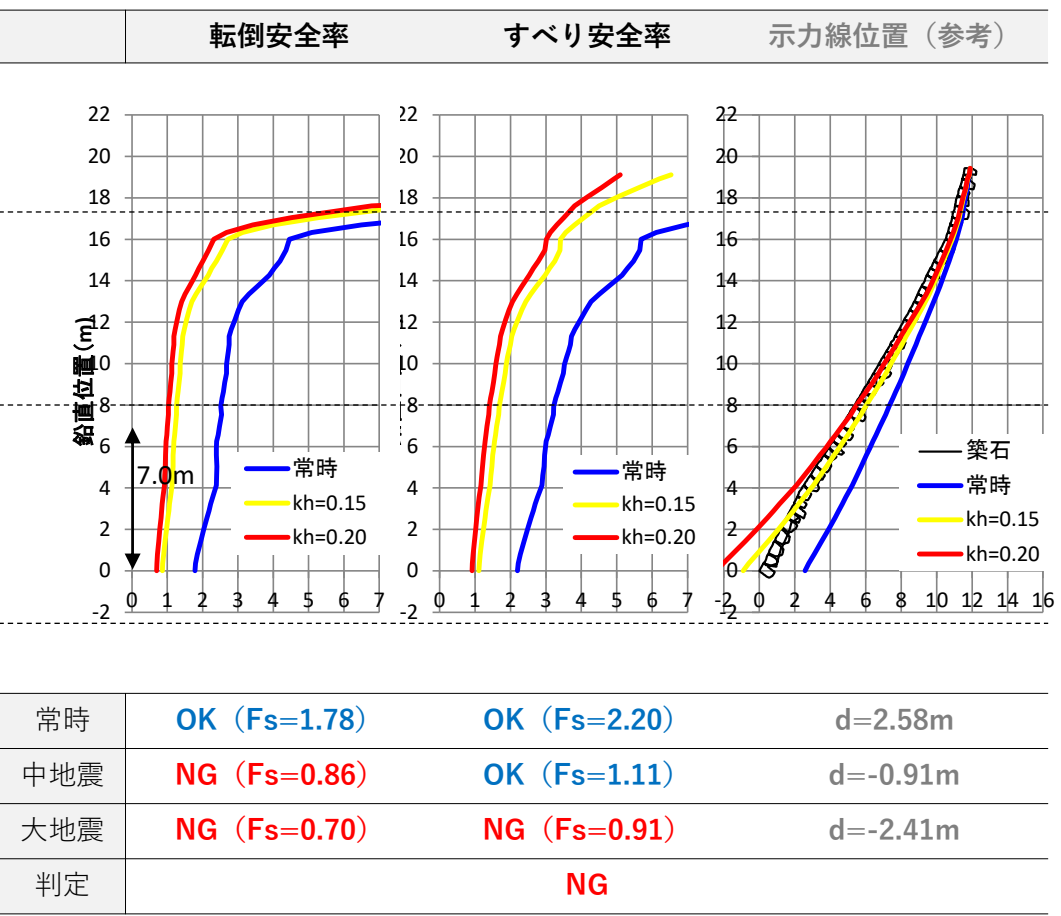
立面図



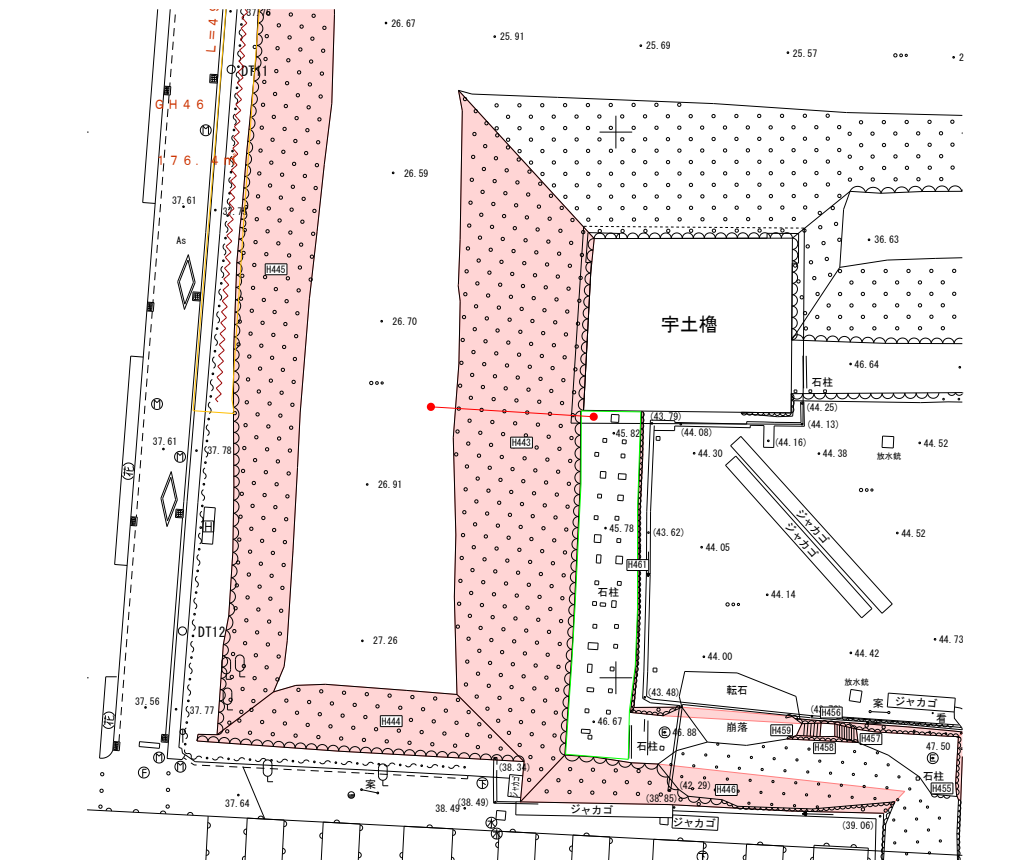
想定地層断面図



築石の安定性評価（累積示力線解析）



平面図



石垣背面全体の安定性評価（円弧すべり解析）

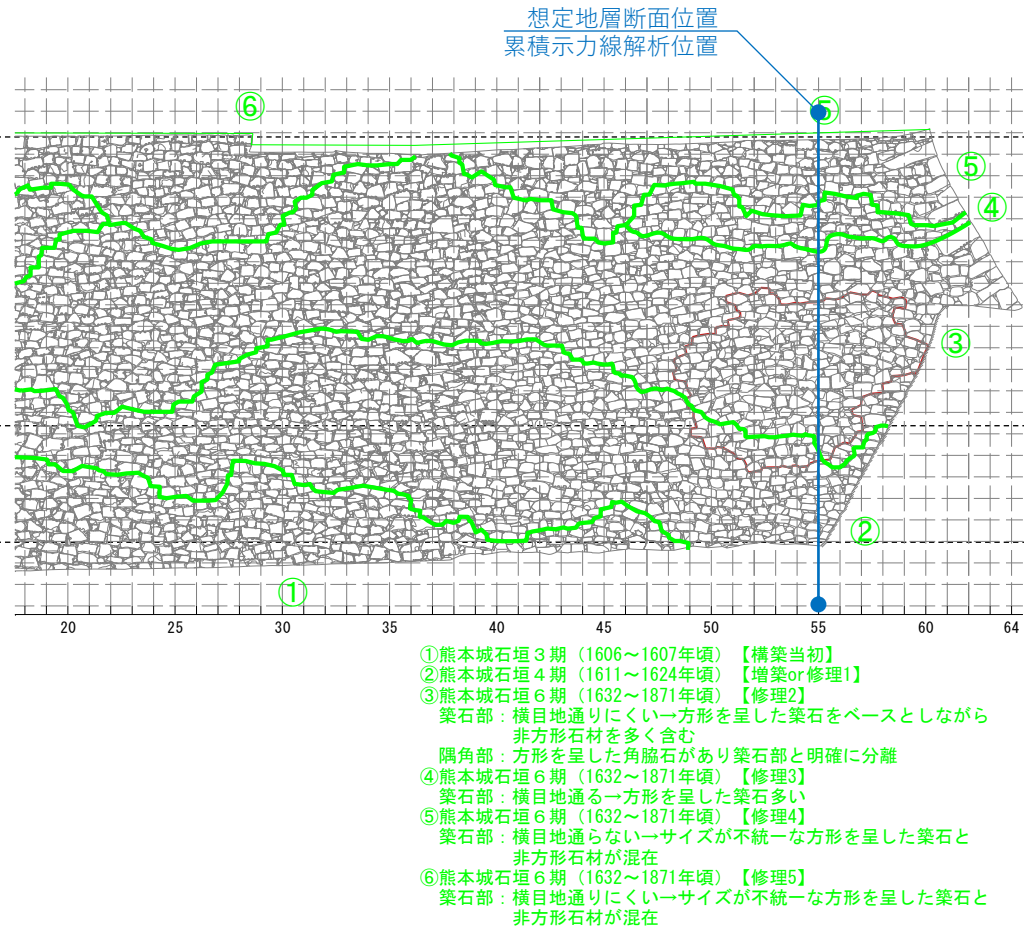
運用なし

診断内容、結果、背面構造の設定

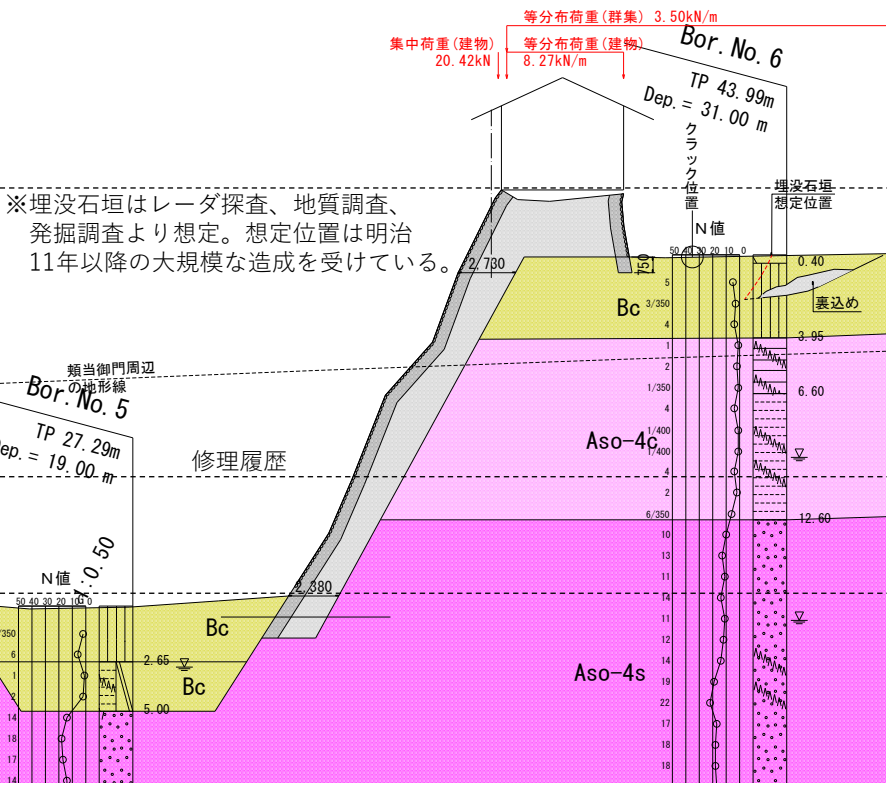
| 診断内容、結果            |    |                                                                                       |    |      |
|--------------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------|----|------|
| 診断手法               | 運用 | 理由                                                                                    | 判定 | 総合判定 |
| (1)築石の安定性          | ○  | 必ず実施する。                                                                               | NG | C    |
| (2)石垣根入れ部の安定性      | ×  | 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                                                            | -  |      |
| (3)石垣背面全体の安定性      | ×  | 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 | -  |      |
| 背面構造の設定（累積示力線法解析時） |    |                                                                                       |    |      |
| 背面構造               |    | 理由                                                                                    |    |      |
| 栗石                 |    | 築石の背面は栗石層、Bc層、Aso-4c層の複層構造になっているが、築石に土圧を作用する土層としては栗石層が支配的であると判断した。                    |    |      |



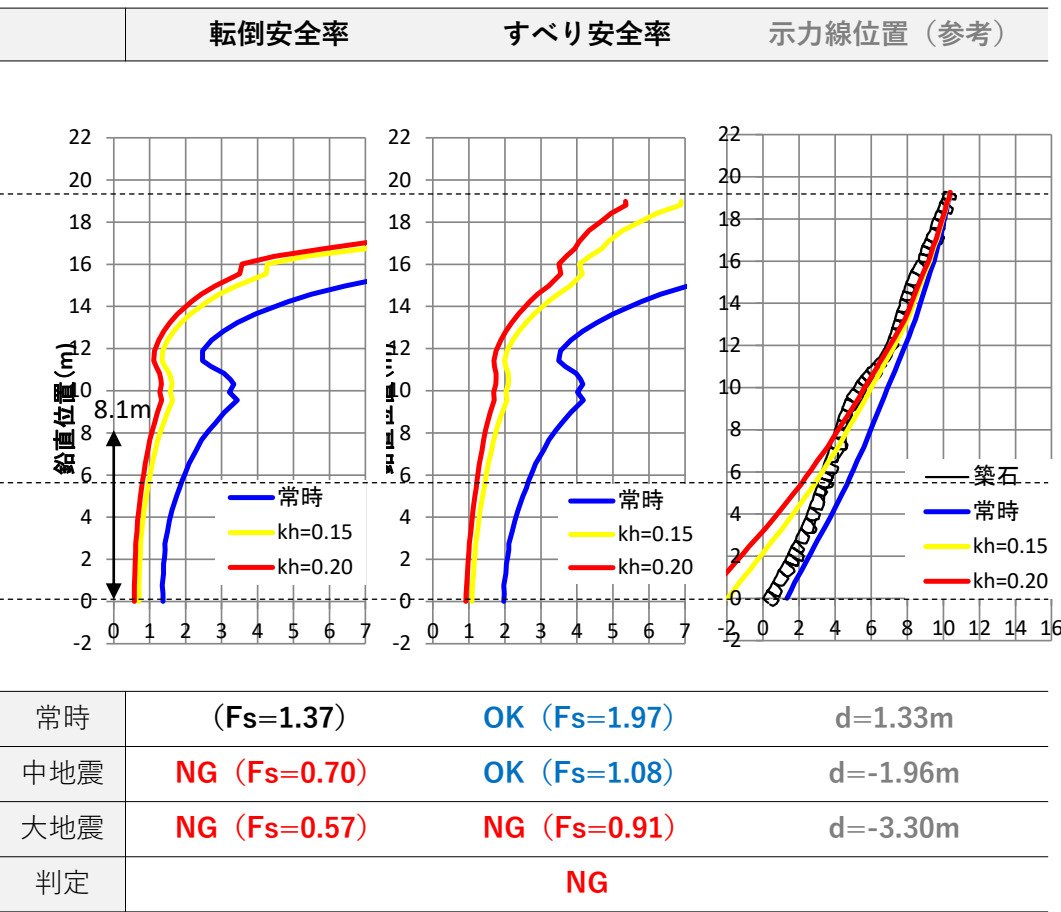
立面図



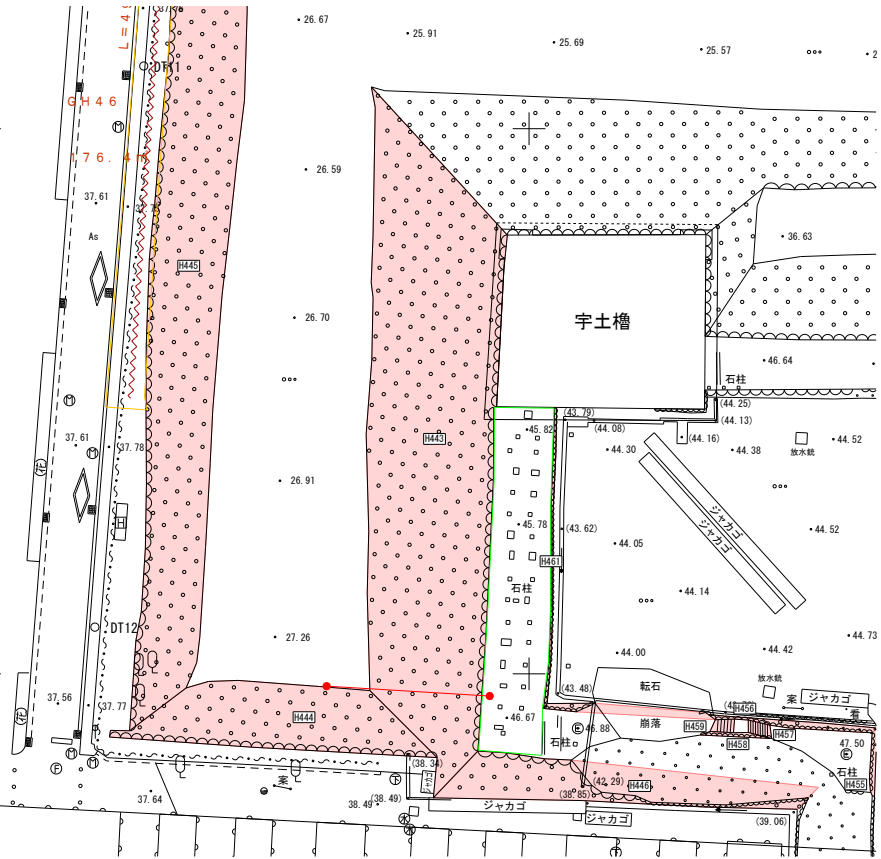
想定地層断面図



築石の安定性評価（累積示力線解析）



平面図



石垣背面全体の安定性評価（円弧すべり解析）

運用なし

診断内容、結果、背面構造の設定

| 診断内容、結果            |    |                                                                                       |    |      |
|--------------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------|----|------|
| 診断手法               | 運用 | 理由                                                                                    | 判定 | 総合判定 |
| (1)築石の安定性          | ○  | 必ず実施する。                                                                               | NG | C    |
| (2)石垣根入れ部の安定性      | ×  | 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                                                            | -  |      |
| (3)石垣背面全体の安定性      | ×  | 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 | -  |      |
| 背面構造の設定（累積示力線法解析時） |    |                                                                                       |    |      |
| 背面構造               |    | 理由                                                                                    |    |      |
| 栗石                 |    | 築石の背面は栗石層、Bc層、Aso-4c層の複層構造になっているが、築石に土圧を作用する土層としては栗石層が支配的であると判断した。                    |    |      |



