

『石垣修復支援システム』を用いた石垣の大規模修復工事（その1）

清水建設(株) 正会員 ○山内 裕之, 吉田 順
宮内庁 巽 耕一, 根岸 明廣
(株)計測リサーチコンサルタント 木本 啓介, 西村 正三
(有)宮塚文化財研究所 宮塚 義人

1. はじめに

皇居山里門の石垣は江戸城によく見られる、土塁上に築かれた鉢巻き石垣で、その構造は高さ5m前後の切込接形式の石垣で門が併設されている。(写真-1) 当該地は武蔵野台地のうちの麴町台地端部に位置し、山里門石垣は近年では大正13年に一部修復された記録はあるが、普請時期等については確証を得られていない。石垣は地震の影響により隅角部は垂直に起き上がり、中央部は大きく倒れ込むように変形しており崩壊の危険性が高く修復工事を行う必要があった。(写真-2) 石垣解体調査の結果、根石は大きく石垣前面に滑り出すように前傾した非常に不安定な状況で、根石を含めた抜本的な修復工事が必要で、(写真-3) 築石の配置検討、石垣構造照査、石垣・基礎地盤の地震時安定性検討等を行うことが必要であり、平成17年から平成18年にかけて開発した『石垣修復支援システム』を改善し山里門石垣の修復計画を行った。

2. 石垣の修復計画の概要

山里門石垣は埋蔵文化財包蔵地に指定されており、文化財の復元に準じた対応が必要であった。石垣解体に伴い発掘調査と測量を行い、その修復計画は、石垣普請当時の形状・構造を検討し、かつ、安定性を向上させることが要求される。これに対し、「石垣修復支援システム」を改良し計画を行った。このシステムは、三次元計測により石垣を調査・記録し個々の築石及び石垣全体を3次元モデル化する「石垣の調査・記録技術」、石垣の3次元モデルを基に修復形状の検討を行う「石垣組立シミュレーション技術」、地震時の安定性を検討する「石垣安定性検討技術」で構成されている。このシステムの大きな特徴として石垣の形状を立体的に確認できるため、構造上の弱点の分析、対策工の計画を効果的に行うことができる。また、石垣の微妙な線形、勾配、構造等を視覚で確認できるため、修復計画への石工の参画と、その伝統的技能を反映させることが可能である。山里門石垣修復工事では石垣形状(切込接)に対応した「石垣組立シミュレーション技術」の改良と精度向上を行った。

3. 石垣の配置検討

解体時に行った調査により、山里門石垣は、1) 根石が石垣前面に倒れるように変形している。2) 石垣隅角部の算木積みからは鉄製の敷金が出土しており、江戸時代の普請あるいは修復以降の解体は行われていない。3) 石垣面には石垣変形時に発生したと考えられる築石間の隙間が多く、後世にその隙間を塞いだ間詰が多く見られる。4) 石垣両端部で石垣段数が違い石垣の沈下等により部分的に積み増された痕跡がある。5) 基礎地盤からは地すべりに起因すると考えられる硬化面の段差、断層面がある。石垣の配置検討は、調査結果を基に石垣の

キーワード：石垣、修復、すべり面、地震、3Dレーザ、修復シミュレーション

〒105-8007 東京都港区芝浦一丁目2-3-12, tel:03-5441-0611, fax:03-5441-0513



写真-1 山里門全景（修復後）



写真-2 石垣変形状況（修復前）



写真-3 根石変形状況

構造上の弱点を解消する方向で3次元シミュレーションを行い決定した。その結果、石垣が全体的に前面に変形したことを前提条件とし、3)の隙間を解消させることを目的に 2)の算木積みを構成する角石の相互の位置関係を維持し、4)の石垣段数を合わせる方向で沈下した石垣を上げるように配置計画を行った。

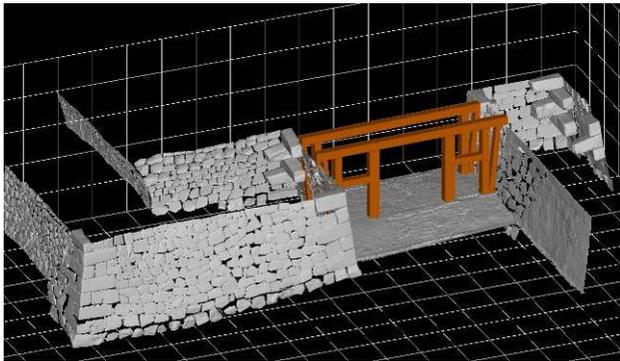


図-1 石垣形状 (修復前)

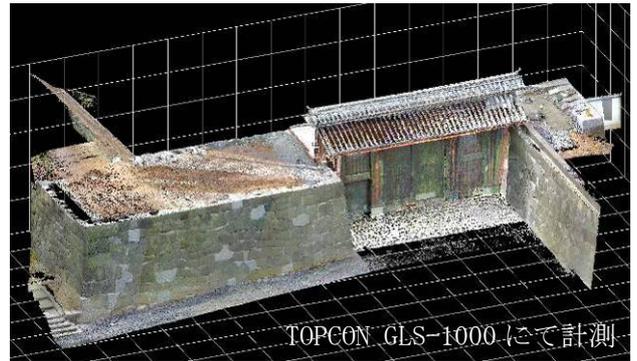


図-2 石垣形状 (修復後)

4. 石垣の構造改良

石垣の構造は、地震時の安定性を向上させることを目的に改良する。日本の伝統技法である空積は、裏込にぐり石を用いることにより水圧が石垣に作用しないことが特長である。既存の石垣の裏込は、土砂が混入し空積の利点が損なわれた状態であり、裏込めからの土砂の除去、碎石充填による密度改良、基礎地盤不良個所のぐり石基礎への入れ替え、盛土・埋戻し材の石灰改良等の対策を行った。

5. 石垣の地震時安定性検討

石垣の安定検討は、石垣本体と基礎地盤について実施する。検討は、各々に対し設計的な手法、解析的な手法について検討を行い評価する。石垣本体に対しては、試行くさび法、2次元個別要素法 (DEM解析) による検討 (図-4)、石垣基礎地盤に対しては、円弧すべり法、動的FEM解析 (図-5) による検討を行った。表-1 に各手法による検討結果を示す。

表-1 石垣検討結果一覧

検討対象	手法分類	検討方法	検討結果
石垣本体	設計的な手法	試行くさび法	中規模地震に抵抗
	解析的な手法	DEM解析	最大加速度 800gal
基礎地盤	設計的な手法	円弧すべり法	中規模地震に抵抗
	解析的な手法	動的FEM解析	最大加速度 350gal

表-1 より、石垣本体については、レベル1クラスの大規模地震について安定性を有する結果が得られた。一方基礎地盤については関東大震災レベル (250gal 程度) の地震に対して安定性を有する結果が得られた。

6. まとめ

『石垣修復支援システム』を用いた山里門石垣の修復は、石垣の大規模修復を効率的にかつ有効に行うことが出来た。今後も同システムを活用し修復データを蓄積し我が国の文化遺産の保全に役立てればと思う。

参考文献 1) 山内裕之, 吉田順他: 皇居・中之門石垣の地震時安定性に関する検討—その1 修復前後の安定性検討、—その2 解析的・実験的検討 第62回土木学会年次学術講演会, 2007

2) 西村正三他: 皇居東御苑内本丸中之門石垣—3Dモデル配置システム 第62回土木学会年次学術講演会, 2007

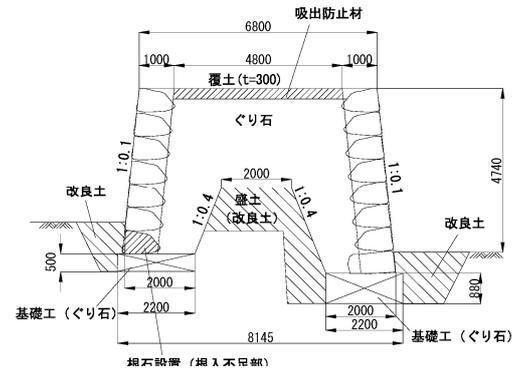


図-3 石垣修復断面

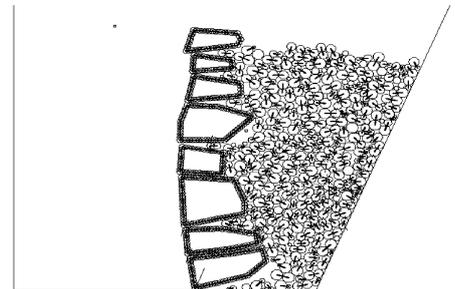


図-4 DEM解析断面

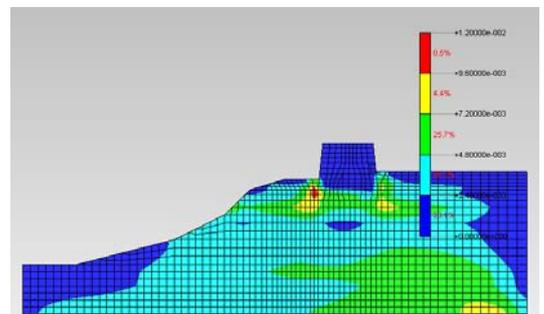


図-5 動的FEM解析結果