

個別要素法を用いた城郭石垣の補修工事前後の動的安定性の評価

ハザマ 正会員 ○野間 康隆, 西村 毅, 山本 浩之, 笠 博義
 関西大学 正会員 西形 達明
 関西地盤環境研究センター 正会員 西田 一彦

1. はじめに

国内には構築後 400 年以上経過した城郭石垣が多数存在しており、老朽化が問題となっている石垣も少なくない。このような石垣では、孕み出し等の安定性に影響を及ぼす現象が確認され、石垣の解体積直しによる補修工事数も多く実施されている。しかしながら、現状では老朽化した石垣の補修前後での安定性を評価する技術が確立していないことから、補修工事による効果が不明瞭となっている場合がある。本研究では、不連続体解析の一種である個別要素法による安定性解析¹⁾を用い、孕み出しが生じた石垣の補修工事前後の動的安定性の変化を検証することを試みた。

2. 解析概要

解析ケースを表-1に示す。ケース1は、補修工事前の孕み出した石垣を想定したケースである。ケース2, 3は、工事後の石垣を想定しており、既往の補修工事例²⁾を参考に、表-1に示すような工法の適用を考慮したケースとした。補修工事後のケース2, 3では、根石前面の杵工(杭工)設置の有無を変化させた。

表-2に本研究で使用した解析中の入力物性値を示す。特に、地盤、改良地盤の粒子間摩擦係数は、砂地盤($\phi=40^\circ$ 程度)と文化財で使用例の多い石灰処理による改良地盤($\phi=45^\circ$ 程度)相当になるように設定した。杵工は築石と同物性値とした。

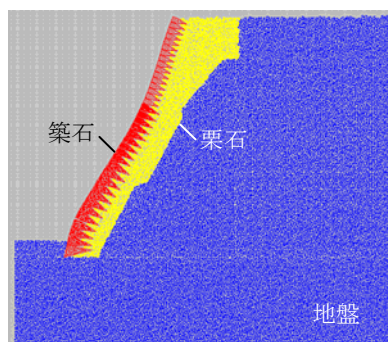
図-1に、各ケースの静的安定後のモデルを示す。石垣の高さは、根石から 14m 程度を想定した。また、石垣の築石断面形状は、できるだけ実際のものに近い形で単純化して設定した。杵工については、根石前面に石材と松杭(3m)を設置したモデル

表-1 解析ケース

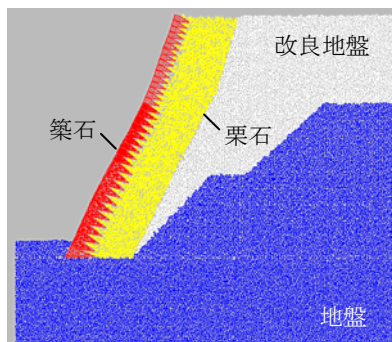
項目	補修工事前	補修工事後	
	ケース1	ケース2	ケース3
築石の孕み出し	○		
築石積直し		○	○
栗石層の拡幅		○	○
改良地盤の施工		○	○
杵工の設置			○

表-2 入力物性値

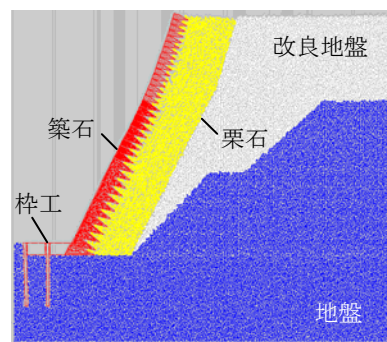
	築石	栗石	地盤	改良地盤
要素形状	三角形, ホームベース 状クランプ	土星状クランプ		
寸法(mm)	長辺 1000～1500	最大直径 200～300	最大直径 150～200	
密度(kg/m ³)	2650			
法線・接線方向 ばね定数 (N/m)	1×10 ⁸			
法線・接線方向 粒子間粘着力 (kN)	0			
粒子間摩擦係数	2.00	0.65	0.66	0.84



(a) ケース1



(b) ケース2



(c) ケース3

図-1 静的安定後のモデル

キーワード 城郭石垣, 孕み出し, 補修効果, 個別要素法

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 ハザマ技術研究所 TEL 029-858-8813

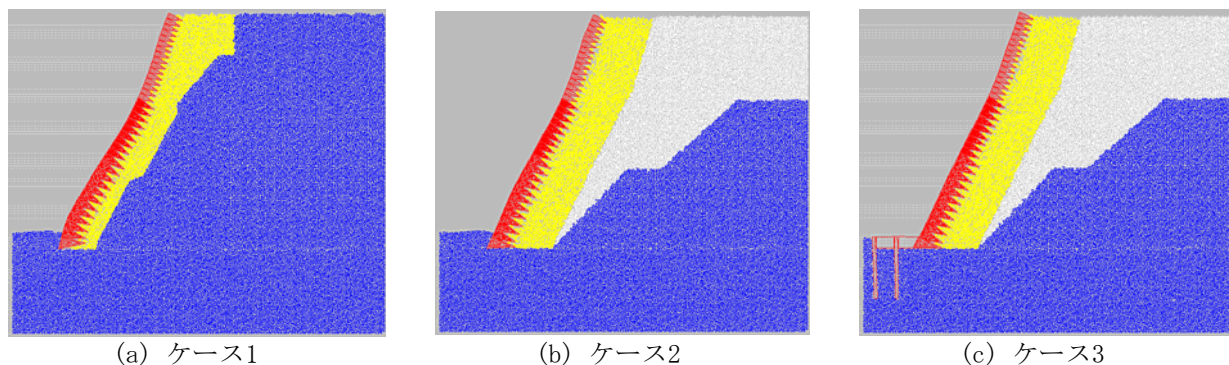


図-2 解析終了後の変形図(400gal)

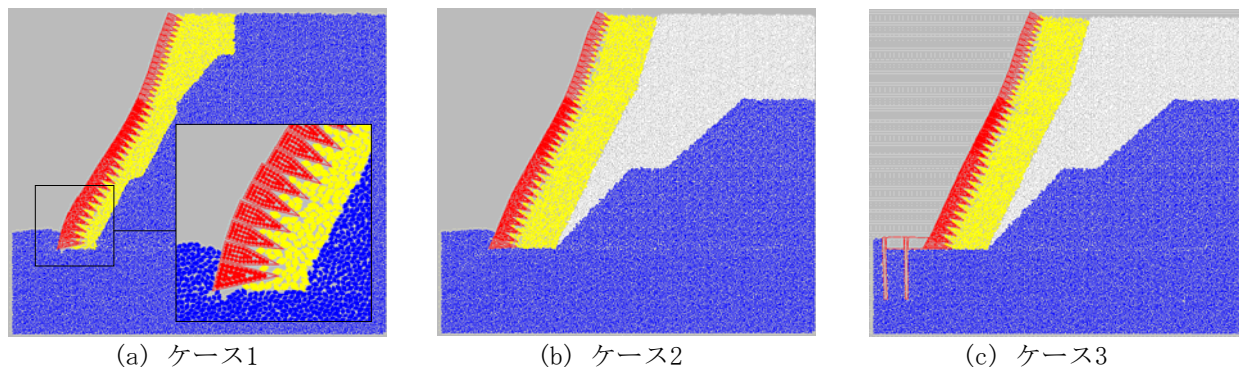


図-3 解析終了後の変形図(800gal)

とした。動的解析では、周波数 3Hz の正弦波 20 波を用い、振幅を 400 ならびに 800gal と変化させ解析を実施した。なお、動的解析終了後 1s 間の静的解析を実施している。

3. 解析結果

図-2, 3に解析終了後の変形図を、図-4に築石の変位状況を示す。

振幅 400gal の波形を使用した動的解析では、いずれのケースでも築石の連続性は保たれているものの、ケース1では、根石付近で最大 18cm 程度の変形を示した。これに対し、補修工事後のケース2,3では、根石の変形は小さく、逆に天端付近で 8~12cm 程度の変形を示した。

さらに、振幅 800gal の波形を使用した動的解析では、ケース1で図-3(a)に示すように、根石付近で石材がずれ出す現象が確認され、図-4より最大 28cm 程度の変形が確認された。これに対し、築石の積直し、栗石層の拡幅、改良地盤の施工を実施したケース2では最大 18cm 程度、さらに枠工を実施したケース3では、最大 13cm 程度の変形に留まり、補修工事による動的安定性の効果が確認された。

4. まとめ

今回個別要素法を用いて、老朽化した城郭石垣の補修工事前後の動的安定性の評価を試みた。その結果、補修工事を実施することにより石垣の変形量が小さくなることが確認され、特に根石前面の枠工は石垣の耐震性能の向上に大きく寄与することが判明した。

参考文献

- 1) 笠ら：個別要素法による城郭石垣の安定性解析の試み，土木学会土木史研究論文集，Vol.27， pp. 45-51， 2007.
- 2) 西田ら：高松城天守台解体時の力学調査と保全工法，土木学会土木史研究論文集，Vol.29， pp. 235-242， 2009.

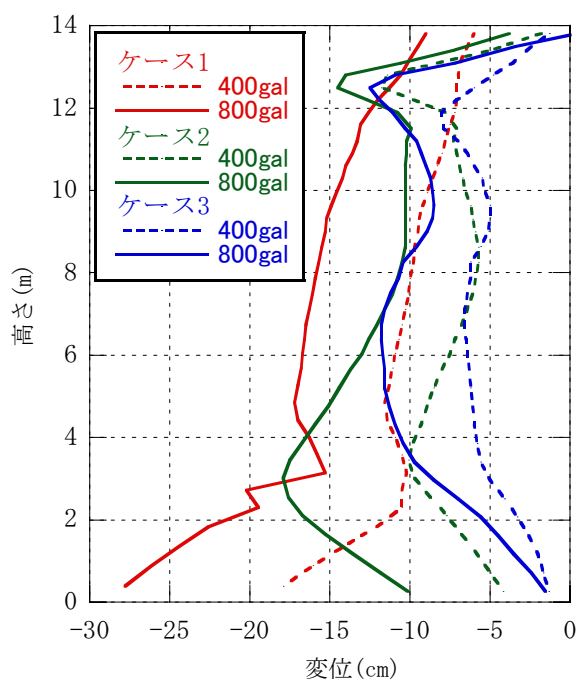


図-4 築石の変位状況