

# 城郭石垣のDEM解析における地盤領域のモデリング

長岡技術科学大学 非会員 ○衛藤修平  
 長岡技術科学大学 正会員 福元豊  
 長岡技術科学大学 正会員 大塚悟

## 1. はじめに

城郭石垣は、現地で発生した転石等を有効に利用でき、景観面でも自然と調和し得る優れた伝統的構造物である。我が国では多く現存している城郭石垣に代表される空積みの石積み擁壁は、安定性が懸念されるため道路構造物として採用される機会がやや少なかった。最近では、地域性、環境、景観に優れた構造物としての石積み擁壁への関心が高まってきた背景がある。しかし日本は災害大国といわれ地震が多発し、これにより崩壊に至る可能性のある石垣も少なくない。2年前の2016年に発生した熊本地震においても、多くの石垣とその上に建立された文化財建造物が地震によって被害を受けた。そのため適切な維持管理を行うためにも、文化財建造物を含む城郭石垣の安定性を正しく評価する手法が必要となっている。

そこで、本研究は城郭石垣の地盤領域のモデリングに着目し、DEM解析を用いて、四角形の築石と栗石層をモデル化した解析を行った。モデル化した円形粒子

を2つずつ連結させるペア要素<sup>1)</sup> (灰色の粒子がペア粒子, 黒色の粒子がシングル粒子) を提案した。ペア要素の割合を3種類用意して、地震に対する耐震性の比較をした。

## 2. DEM解析

### 2.1 DEM解析について

通常、土は粒子の集合体から出来ているため、粒子物性と粒状体構造に支配されている。そこで丸棒や球の集合体の力学的挙動を表現できる数値解析手法としてDEM解析(個別要素法)が挙げられる。DEM解析では、粒子一つ一つがそれ自身は変形しない剛体の要素としてモデル化され代わりに接触する要素間に力学的モデルを導入することによって要素間の相互作用と個々の要素の運動が評価できる。

### 2.2 DEM解析における諸条件

図-1に2次元でモデル化した3種類の石垣を示す。それぞれペア要素割合を20%, 34%, 及び49%と変更した

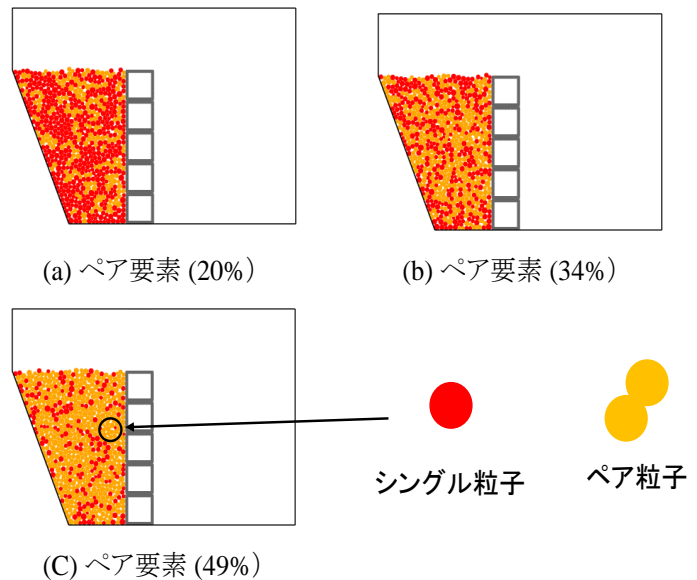


図-1 各ペア要素割合に対する石垣モデル

表-1 解析に用いたパラメータ

法線方向ばね定数(N/m) (壁境界/築石)	$2.0 \times 10^7, 1.0 \times 10^8$
接戦方向ばね定数(N/m) (壁境界/築石)	$5.0 \times 10^6, 2.5 \times 10^7$
local damping 係数	0.0
栗石の密度 / 築石の密度(kg/m <sup>3</sup> )	2200 / 2650
築石の摩擦(°)	30.96
栗石の摩擦(°)	30.96
栗石層のペア要素の割合(%)	20, 34, 49

ものである。円形粒子を組み合わせて表現した築石を5段配置し、周辺基礎基盤は固定境界として表現した。背面栗石のモデル化には円形粒子を2つずつ連結させたペア要素を用いた。最下段の築石は根石を模擬するため固定した。

図-1に解析に用いたパラメータの一覧を示す。法線方向ばね定数と接戦方向ばね定数と栗石の密度は2ケースずつ用意し、栗石層のペア要素の割合は20%、34%、49%を用意した。

図-2に本研究で使用したレベル1相当の入力地震波形を示す。地震波の継続時間は41秒で最大振動加速度は185.7(gal)である。垂直に石垣を積み重ねているため地震の影響を大きく受けやすいため、0.2で乗じた入力地震波形を用いた。

### 2.3 解析結果

図-3に解析結果を示す。栗石層のペア要素の割合が49%の解析結果のみ石垣が崩落することはない。このことより、ペア要素の割合が大きいほど栗石層で粒子同士の摩擦力が増えるため地震による影響を受けにくいことが分かった。実用化を図るには、最適な栗石層のペア割合を見出すことが今後の課題である。

図-4に石垣の最上段について着目した各ペア要素割合に対する築石重心の水平変位の解析結果をグラフにしたものである。ペア要素20%のグラフから地震を受けてから10分ほどで水平変位の値が急上昇していることから崩落していることが分かる。同様にペア要素34%では、25分ほどで崩落していることが分かる。

### 3. おわりに

本研究は、城郭石垣の地盤領域のモデリングに着目し、DEM解析を用いて、四角形の築石と栗石層をモデル化した解析を行った。栗石層にペア要素を用いた結果、割合が大きくなるほど、粒子間の摩擦力が増え、地震による影響を受けにくくなる。

#### 参考文献

- 1) 吉田 順：一面せん断試験に対するDEM解析の適用に関する一考察，地盤工学会研究発表会発表講演集，2005
- 2) Yutaka Fukumoto, Jun Yoshida, Hide Sakaguchi and Akira Murakami: The effects of block shape on the seismic behavior of dry-stone masonry retaining walls: A numerical investigation by discrete element modeling, Soils and Foundations, Vol.54, No.6, pp.1117-1126, 2014

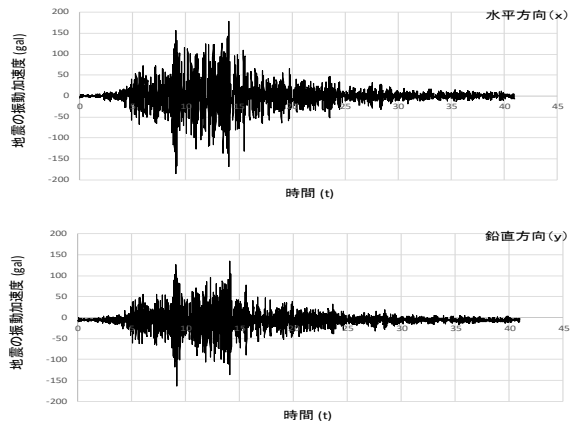


図-2 入力地震波形

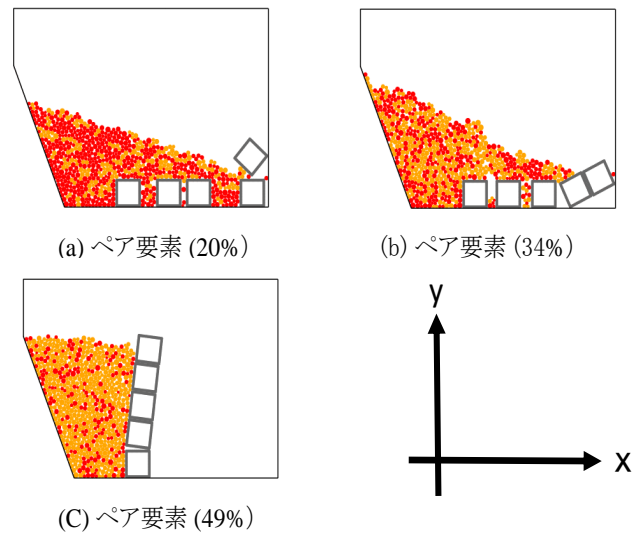


図-3 解析結果

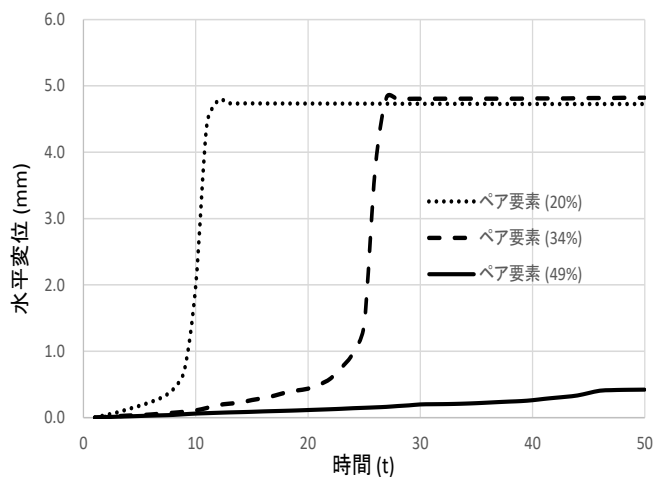


図-4 各ペア要素割合に対する水平変位の解析結果