

築石形状が地震時の石垣挙動へ与える影響の個別要素法による検討 DEM Analysis for Seismic Behavior of Masonry Retaining Wall: Effects of Block Shape

○福元 豊*・吉川 航**・村上 章*

Yutaka Fukumoto, Wataru Kikkawa, Akira Murakami

1. はじめに

石積み擁壁は、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構造物である。しかし、その力学的メカニズムに不明な点が多く耐震性に不安があることから、道路構造物として積極的に選択されていないのが現状である¹⁾。本報では、築石形状が城郭石垣の安定性へ与える影響について2次元のDEM（個別要素法）を用いて考察した。

2. 解析パラメータの決定

写真-1の遠心模型実験²⁾と比較することで、栗石層を適切に表現するためのパラメータの与え方を決定した。ここでは、四角形の築石と楔形の築石を組み合わせた4種類の石垣模型を作製し、各々の耐震性について検討している。この実験を模擬して、図-1のように2次元で4種類の石垣を実物大スケールでモデル化した（case 1, 2, 3, 4）。円形粒子を組み合わせて表現した築石を5段配置し、周辺基礎地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³⁾（濃い灰色粒子がペア粒子、薄い灰色粒子がシングル粒子）を用いた。最下段には、実験と同じように寝石を設置した。模型実験で測定された各ケースにおける倒壊までの荷重条件（加振加速度、加振回数）を実物大スケールに換算した値を用いてDEM解析を行った。その際、栗石の摩擦、栗石層のペア要素の割合、栗石の充填状態を調節し、実験と同じ荷重条件で倒壊に至るパラメータを探した。その結果、栗石間の摩擦 25° 、ペア要素の割合66%、密詰めの場合に実験結果との良い一致が得られた。

3. 築石形状による安定性の違い

遠心模型実験²⁾との比較によって決定したパラメータを用いて、同一の地震波を入力した場合のcase 1からcase 4の石垣の挙動の違いを考察した。地震波の入力波形は、レベル2地震相当の1995年兵庫県南部地震（海洋気象台）とする。地震波の継続時間は15秒で、最大加速度は812.0 (gal)である。



写真-1 遠心模型実験²⁾ (case 1)

Centrifuge model test (case 1)

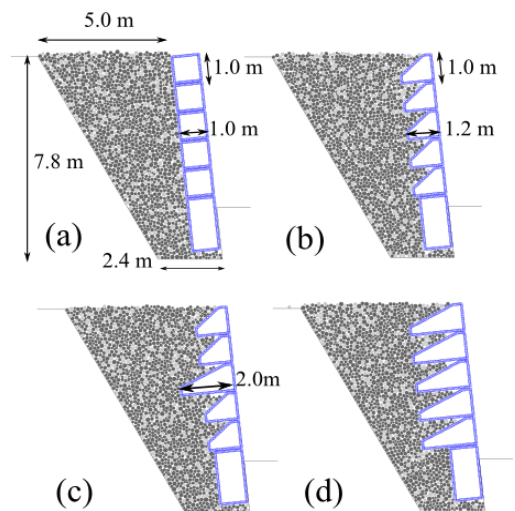


図-1 加振前の石垣 (a) case 1 (b) case 2 (c) case 3 (d) case 4

Masonry retaining wall before shaking (a) case 1 (b) case 2 (c) case 3 (d) case 4

*京都大学 Kyoto University **農林水産省 Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries

石積み擁壁、地震応答解析、個別要素法

図-2は、加振終了時（地震波を入力してから15秒後）における各ケースの5つの築石の水平変位量を示したグラフである。縦軸は各築石の重心の高さ、横軸は水平変位量である。図-2より、case 1では上の段にある築石ほど変位量が大きく、5つの築石が一体となって転倒している。また、各築石の水平変位量も他のケースに比べてかなり大きい。一方、case 2では、中段の築石を先頭に膨らむように変形していることがわかる。これは「はらみ出し」と呼ばれ、空積みの石積み擁壁に特有の変形とされている。さらに、築石の大きさがcase 1とさほど変わらないにも関わらず、石垣の最終変位量はcase 1よりも大幅に小さくなった。case 3,4の変位量はcase 2よりもさらに小さく、安定性が高い。case 4の方がcase 3の変位量よりも若干小さくなった。

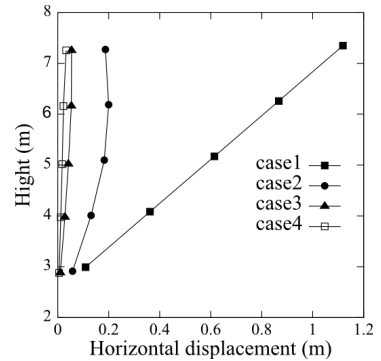


図-2 加振終了時の石垣の水平変位量
Horizontal displacement of each block after shaking

4. 築石形状による変形モードの違い

図-2で示した加振終了時の最終的な状態に至るまでの間、時間の経過とともにどのように石垣の変形が進展しているかを調べた。図-3は、加振が終了するまでの15秒間の各時間における築石の水平変位量を示したグラフである。図-3(a)より、case 1では、地震波の継続時間中に一貫して築石が一体となって転倒するような変形を示している。次に、case 2では、地震波を入力して5秒後まではcase 1と似た変形を示した。しかし、最大の加速度が作用する5秒～7.5秒の間で中段の築石が大きく変位し、はらみ出しの変形に移行した。このような変形モードは、楔形の築石を用いた実物大の振動模型実験⁴⁾で測定された傾向と同じである。7.5秒以降は、時間とともに「はらみ出し」の度合いが大きくなった。case 3でも、case 2と同じような変形モードを示した。ただし、図-3(b)と(c)を比較すると、case 3では力石を配置した中段の変位量が相対的に小さくなっている。最後にcase 4では、図-3(d)より、最上段の築石の変位量がそれより下の段にある築石よりも大きくなった。しかし、今回検討した地震荷重の下では、case 4の最終的な築石の変位量が非常に小さいため、正しく変形モードを評価できていない可能性がある。

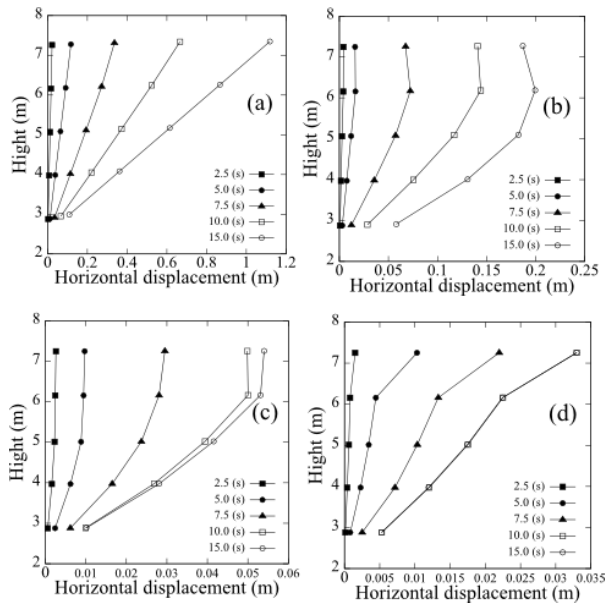


図-3 石垣の水平変位量の時間変化 (a) case 1 (b) case 2 (c) case 3 (d) case 4

Evolution of horizontal displacement of each block as a function of time (a) case 1 (b) case 2 (c) case 3 (d) case 4

参考文献 1) 池谷清次他：石積み擁壁の道路構造物への適用に対する課題と展望，土木計画学研究講演集，2004
2) 吉田 順他：遠心模型実験による石垣の地震時安定性に関する検討，土木学会年次学術講演会講演概要集，2009
3) 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，地盤工学研究発表会発表講演集，2005
4) 山本浩之他：実物大モデルを用いた城郭石垣の地震時挙動の検討，土木学会論文集 C，2010