

3次元DEMによる築石形状を考慮した石積み擁壁の地震時挙動の再現

京都大学農学研究科 学生会員 ○福元 豊
 京都大学農学研究科 正会員 村上 章

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、その変形メカニズムには不明な点が多いため、工学的な検討が十分に実施されておらず、経験による設計・施工・修復が行われているのが現状である¹⁾。これまでに著者らは、遠心模型実験²⁾を模擬した2次元DEM解析³⁾を行い、実験結果と解析結果を比較することで、空積みの石積み擁壁の地震時変形挙動を2次元DEMで検討することの有用性を示した。本報では、3次元DEMにおいても2次元DEMと同じように石積み擁壁の変形挙動を再現できることを示す。

2. 遠心模型実験

解析に先立つ遠心模型実験²⁾では、形状の異なる2種類の築石(直方体とくさび形)を用いた実物大の約1/33模型を用意して、各々の耐震性と変形の仕方について検討している(図-1)。その結果、くさび形の場合は直方体の場合よりも強度が高くなった。また、図-1で観察できる通り、両者の変形・倒壊の仕方にも大きな違いが見られた。直方体の場合は築石全体が転倒して倒壊し、くさび形の場合は擁壁中央部がはらみ出して倒壊に至った。本報では、この実験で得られた築石の形状による地震時挙動の違いを3次元DEMで再現することを目的としている。

3. DEMでのモデル化

3次元DEMによるモデル化は、図-2のように実物大スケールで遠心模型を模擬して行った。幅9m、奥行き4m、高さ5mである。築石は、図-2に示すように目的の形になるように表面に粒子を並べることで表現した。築石は高さ方向に5段設置し、周辺基礎地盤は固定平面境界として表現した。裏込めの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(橙色粒子がペア粒子、赤色粒子がシングル粒子)を用いた。

栗石粒子のペア率と充填率の値を変えながらパラメトリックに検討することで、模型実験と同じ荷重条件で倒壊に至るような背面の栗石層の条件を探した。

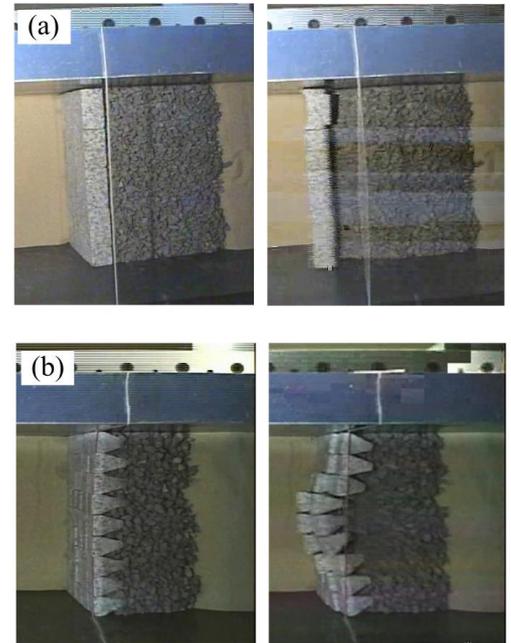


図-1 遠心模型実験²⁾ (a) 直方体築石 (b) くさび形築石

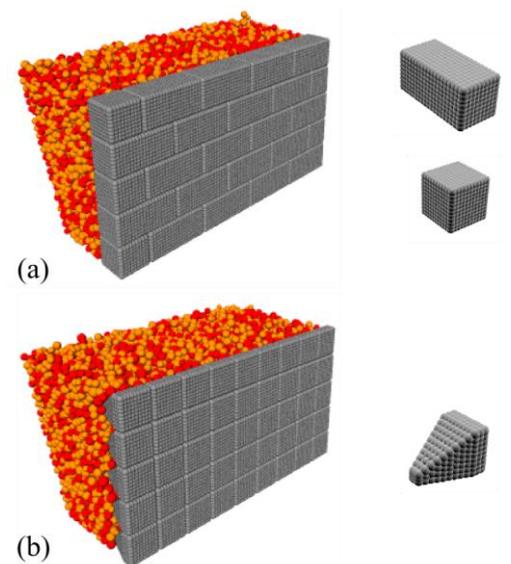


図-2 DEMシミュレーションモデル (a) 直方体築石 (b) くさび形築石

キーワード 石積み擁壁, 個別要素法, 地震応答解析

連絡先 〒606-8502 京都府京都市左京区北白川追分町 TEL 075-753-6151

4. 変形モードの比較

入力した地震荷重は、2 Hz の sin 波であり、振幅は直方体の場合が 200 gal、くさび形の場合が 400 gal である。倒壊するまで加振を続けた。

図-3 は、各築石の残留水平変位量を時間ごとにプロットしたグラフである。縦軸は各築石の重心の高さ、横軸は水平変位量である。図-3(a)より、直方体の場合は 5 段の築石全体が一体となって転倒していることがわかる。一方、くさび形の場合は、図-3(b)より、上から 2、3 段目の築石の水平変位が時間とともに卓越する、はらみ出しの変形を確認することができる。これら傾向は、模型実験で得られた結果と一致している。

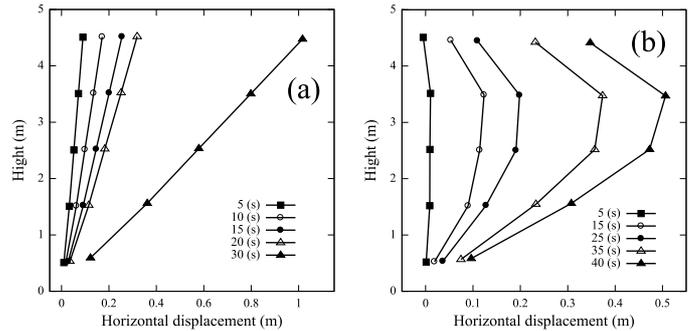


図-3 築石の水平変位量の時間変化 (a) 直方体築石 (b) くさび形築石

5. 倒壊モードの比較

図-4 は、倒壊途中のスナップショットであり、全体、断面、上空からそれぞれ見た様子である。この写真の断面の倒壊の様子から、図-3 で見た築石の形状による変形の仕方の違いを視覚的に確認することができる。

また、図-1 の模型実験での上空から見た倒壊の様子と図-4 の上空から見た倒壊の仕方が非常に良く一致していることがわかる。

6. おわりに

以上より、適切なモデル化を行うことで、3次元DEMによって築石形状による石積み擁壁の挙動の違いを再現できることがわかった。また、築石の形状によって、地震時の擁壁の安定性と変形モードに違いが生じることがわかった。特に、はらみ出し変形は、擁壁背面の栗石層とかみ合うような築石形状に起因するものであることが示唆された。すなわち、石積み構造物の安定性をシミュレートする場合に、築石の形状までを考慮することは重要である。本研究課題の遂行にあたり、多くの資料と有益なご助言をいただいた清水建設株式会社の吉田順氏に感謝の意を表します。

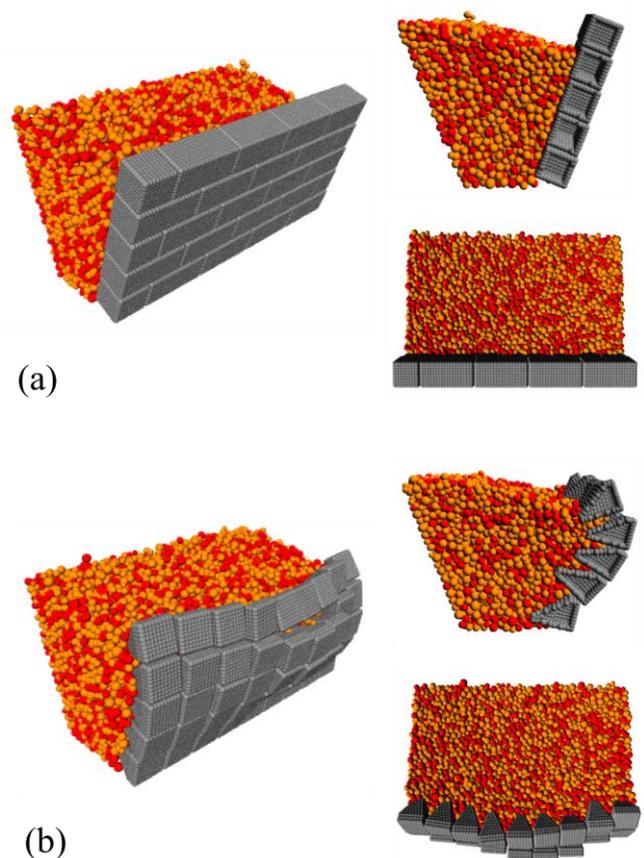


図-4 倒壊時のスナップショット (a) 直方体築石 (b) くさび形築石

参考文献

1) 池谷清次他 (2004) : 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 2) 吉田順他 (2009) : 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 3) 福元 豊他 (2012) : 2次元DEMによる築石形状が地震時の石垣挙動へ与える影響の検討, 第47回地盤工学研究発表会発表講演集