

補強空石積擁壁における遠心場傾斜土槽実験とその個別要素法解析

東京都市大学大学院 学生会員 ○佐野和弥

独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所 正会員 吉川直孝

東京都市大学 正会員 伊藤和也 正会員 田中剛 正会員 末政直晃

岡三リビング（株） 正会員 小浪岳治

エスティーエンジニアリング（株） 谷山慎吾

国立研究開発法人産業技術総合研究所 正会員 竿本英貴

1. はじめに

地震により発生する被害の 1 つとして宅地擁壁の崩壊が挙げられる。平成 28 年の熊本地震では、熊本県内で約 4000 件¹⁾以上の宅地擁壁が被災し、その中でも空石積擁壁の被災率が高かった¹⁾。擁壁の補強方法の一つに天端に対し下向きに直杭、斜杭を交互に挿入する補強方法²⁾がある。この補強方法は多くの補強材を使用するため、施工費が高くなる傾向があり、宅地擁壁の補強には進んで適用されづらい。そこで著者らは図-1 に示すような補強材に斜杭のみを用い、擁壁上部と補強材頭部を一体化させる補強方法を提案（以下、「一体化傾斜補強」という。）し、遠心場での傾斜実験を行っている³⁾。本報では個別要素法（以下、「DEM」という。）によりモデル化した無補強および一体化傾斜補強を施した空石積擁壁において傾斜実験を行い、既往の著者らが行った遠心場傾斜土槽実験の結果³⁾と DEM の結果を比較した。

2. 遠心場傾斜土槽実験

ここでは、まず著者らが実施した遠心場傾斜土槽実験についての概略を述べる。なお、詳細については文献³⁾に記載されており、本論文では無補強と一体化傾斜補強を施した空石積擁壁の

計 2 ケースについてのみに記載する。遠心実験では図-1 に示す高さ 110 mm の 5 段積みの空石積擁壁を作製し、背面地盤には $D_f=60\%$ とした気乾状態の珪砂 7 号を用いた。一体化傾斜補強を施した空石積擁壁は、図-1 内に示すように補強材として天端に対して 70 度傾けた長方形断面（奥行方向に 5mm、厚さ 1mm）のアルミ板が杭間 15mm 間隔で計 7 本設置され、最上段の擁壁ブロックと補強材頭部が一体化されたケースである。遠心加速度 20G 場にて模型土槽全体を傾斜させることで水平震度 (k_h) を模型全体に与えることで地震力を再現している。

3. DEM による傾斜実験

DEM では無補強と一体化傾斜補強を施した空石積擁壁を解析ソフト YADE⁴⁾によりモデル化した。一体化傾斜補強を施した空石積擁壁のモデル図を図-2 に示す。解析では板要素により模擬した土槽内に、遠心実験における実寸大に換算した高さ約 2200mm の空石積擁壁をモデル化し、擁壁ブロックを図-2 内に示すように複数の球要素による集合体（以下、「クランプモデル」という。）によりモデル化した。背面地盤の土粒子は図-3 に示す 4 個の球要素（半径 50mm）のクランプモデルによりモデル化⁵⁾され、遠心実験で用いた相対密度が 60%の珪砂 7 号と等価になるように密度が調整されている。補強材は半径 16.5mm の球要素を 7 個用い、それらを図-4 に示すように断面が直径 100

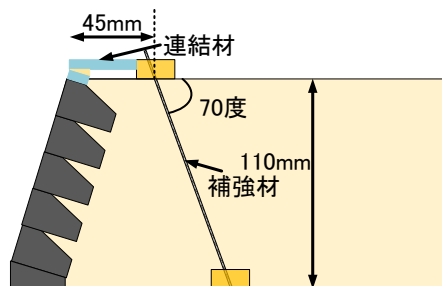


図-1 遠心実験での一体化傾斜補強

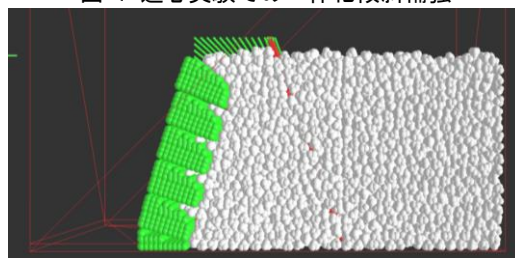


図-2 DEMでの一体化傾斜補強

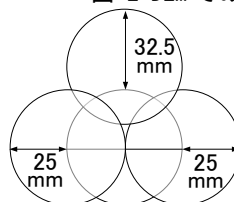


図-3 土粒子モデル⁵⁾

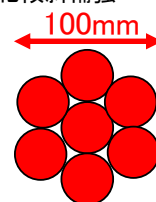


図-4 補強材断面図

キーワード 空石積擁壁 遠心模型実験 個別要素法

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1 丁目 28-1 東京都市大学 Email : g2291601@tcu.ac.jp

mm の円形形状および設置角度が 70 度になるよう、球要素間をボンドにより結合しモデル化された。ボンドは球要素間の接点に付与し、圧縮による剛性と等価で引張にも抵抗できるモデルである⁴⁾。DEM での補強材の曲げ剛性 EI は遠心実験時と等価であり、引張剛性 EA は 1/9 の値となっている。また、補強材の下端部は遠心実験同様に土槽に剛結されており、補強材上端部はクランプモデルを用いて最上段の擁壁ブロックと一体化されている。DEM にて用いたパラメーターを表-1 に示す。模型地盤をモデル化した後に 1.14 度/sec で土槽全体を最大 30 度まで傾斜させた。

4. 遠心実験と DEM の比較

水平震度と最上段の擁壁ブロックの水平変位の関係を図-5 に示す。同図から、無補強のケースにおいて、擁壁は前面側に徐々に変位し、ある水平震度において変位が急増し崩壊に至っており、実験および DEM とともに類似する崩壊挙動を呈した。また、実験での補強擁壁は水平震度 0.53 時に前面側に大きく変位し崩壊している。それに対して DEM の補強擁壁は前面側に変位が漸増する挙動を示したが、崩壊には至らなかった。しかしながら、DEM においても水平震度 0.53 までの水平変位の増加傾向は実験とほぼ同様であった。水平震度と合土圧増分の関係を図-6 に示す。合土圧とは最上段、上から三段目、最下段の擁壁ブロックに加わる土圧がその周辺の土圧の代表するものと仮定して擁壁高さの 1/3 を乗じそれらを足し合わせたものである。傾斜によって擁壁に生じる土圧の増分を確認するために、傾斜開始前の合土圧値を 0 としており、地盤が擁壁を押す場合を正としている。同図から無補強における擁壁の合土圧増分は実験および DEM とともに、水平震度付与後すぐに負の値を示した。これは擁壁ブロック個々の変形により擁壁の受ける土圧が静止土圧から主動土圧に変化したためであり³⁾、このことから DEM は空石積擁壁特有の個々の擁壁ブロックの変形を再現できていることが分かる。また、補強擁壁における合土圧増分は実験および DEM とともに水平震度が大きくなるにつれて増加する挙動を示した。これは空石積擁壁が補強材に加わる断面力により鉛直下向きの圧縮力を受け、個々のブロックで変形しない「もたれ擁壁」のような状態³⁾になったためであり、DEM を用いることでその現象を再現できることが分かった。

5 まとめ

本報では、DEM によりモデル化した無補強および一体化傾斜補強を施した空石積擁壁において傾斜実験を行い、既往の遠心場傾斜土槽実験の結果³⁾と比較することで、DEM における空石積擁壁の再現性の検討を行った。その結果、DEM での擁壁壁面の変位および擁壁ブロックに加わる土圧をよく再現できることが示された。

参考文献

1)橋本：2016 年熊本地震による被災宅地擁壁の被害分析，土木学会論文集，No. 4，pp. 522-533
2)三木ら：網状ルートパイル(R. R. P.) 工法の日本における実施例，土と基礎，31(9)，pp.35-40，1983
3)佐野ら：宅地の既設空石積擁壁の耐震補強方法に関する遠心場傾斜土槽実験，土木学会論文集，Vol. 79, No. 3, 22-00204, 2023
4)Similauer et. al: Yade DEM formulation, The Yade Project, 1st ed., 2010
5)Saomoto et. al: Round robin test on angle of repose: DEM simulation results collected from 16 groups around the world, Soils and Foundations, Volume 63, Issue 1, February 2023, 101272.

表-1 DEM に用いたパラメーター

	壁要素	球要素 (背面地盤)	球要素 (擁壁)	補強材
ヤング率(N/m ²)	250×10 ⁶	250×10 ⁶	250×10 ⁶	941×10 ⁶
ポアソン比	0.3	0.3	0.3	0.3
摩擦角度(度)	5(側面) 36.1(底面)	36.1	33.5	1
密度(kg/m ³)	1944	919	690	688
数値ダンピング	0.3			
引張強度(N/m ²)	-	-	-	885×10 ⁵
圧縮強度(N/m ²)	-	-	-	885×10 ⁵

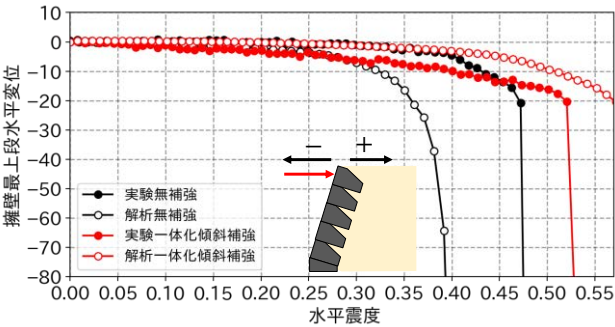


図-5 水平震度と擁壁最上段変位の関係

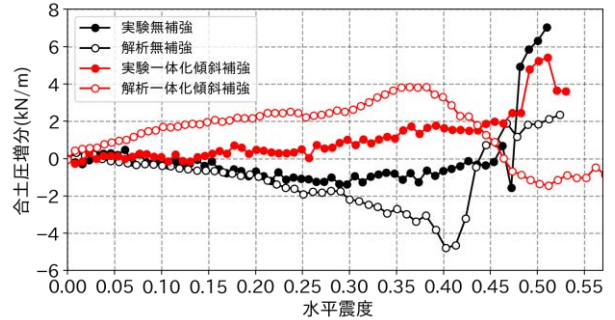


図-6 水平震度と合土圧増分の関係