

空石積擁壁の地震時挙動に関する検討～遠心場傾斜土槽実験と FEM 解析との比較～

東京都市大学 学生会員○小澤茉莉

東京都市大学大学院 学生会員 佐野和弥

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

岡三リビック 正会員 小浪岳治

エスティーエンジニアリング 谷山慎吾

JIP テクノサイエンス 竹原和夫

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年熊本地震では、熊本県内で4043件の宅地擁壁が被災した¹⁾。被災した宅地擁壁について調べると、それらのほとんどが現在の建築基準法を満足していない既存不適格擁壁であった¹⁾。今後はこのような既存不適格擁壁に加えて老朽化した擁壁が増加することが考えられ、効率的な擁壁補強が求められる。現在、既存擁壁の補強対策技術としては公共工事を中心としてアンカー工法などが存在するが、宅地擁壁への適用は施工性、費用の問題から限定的である²⁾。そこで、宅地擁壁にも適用可能な擁壁補強対策を確立するために、筆者らは遠心場震度法シミュレータを用いた遠心場傾斜土槽実験を行い空石積擁壁の地震時安定性を検討している³⁾。本報告では、無対策での空石積擁壁地盤の遠心場傾斜模型実験結果とFEM解析結果の比較を行い幾つかの考察を行った。

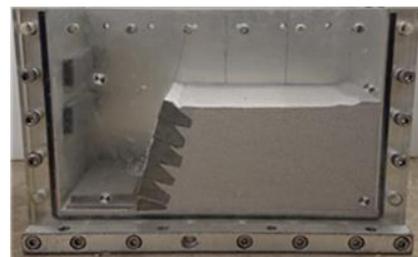


写真-1 使用した模型空石積擁壁

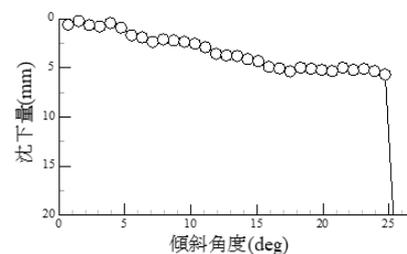


図-1 変位計データ

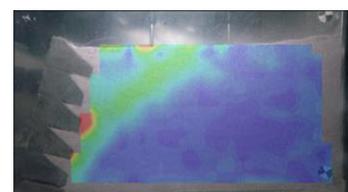


図-2 解析結果 (傾斜角度 25 度)

2. 遠心場傾斜土槽実験³⁾

筆者らが実施した遠心場傾斜土槽実験について概略と結果を述べる。なお、詳細については文献³⁾を参照されたい。遠心場傾斜模型実験はアルミ製模型土槽 (内寸幅 300mm×高さ 200mm×奥行 120mm) 内に背面地盤として気乾状態の珪砂7号を用いて高さ 110mm、傾斜角度 73 度の模型石積擁壁を作製した (写真-1)。模型石積ブロックは 3D プリンターを用いて製作した石膏である。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。計測項目は、土槽と一体化させた HDV カメラ (GoPro HERO Session5) から画像解析実施のための映像を、法肩から 46mm と天端中央部に設置した接触型変位計から鉛直変位である。

実験結果として法肩から 46mm に設置した変位計の沈下量～傾斜角度関係を図-1 に示す。傾斜開始から緩やかに沈下し、傾斜角度約 25 度 ($k_h=0.47$) 時にて崩壊している。また、HDV カメラの映像から画像解析 (TN-SKIP⁴⁾) を行うと、図-2 のような最大せん断ひずみ分布が得られ、直線的なすべり形状が確認できる。

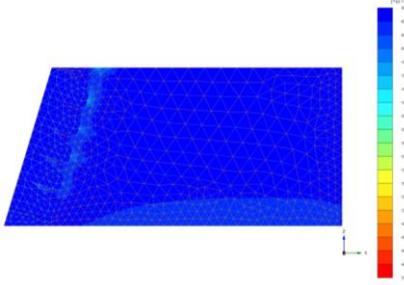
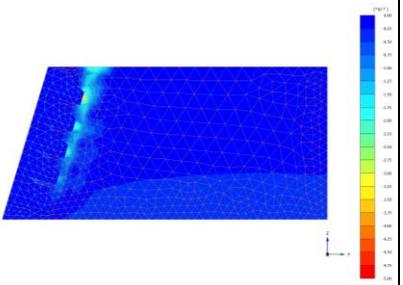
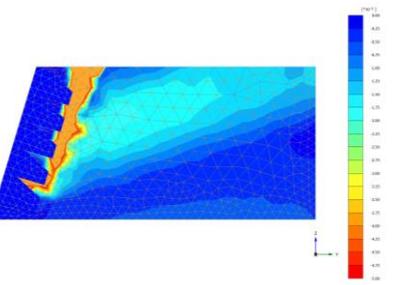
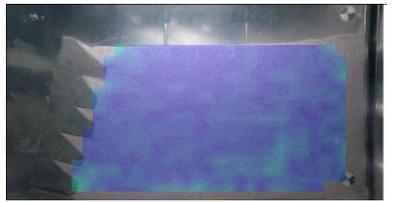
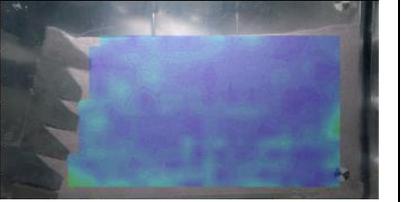
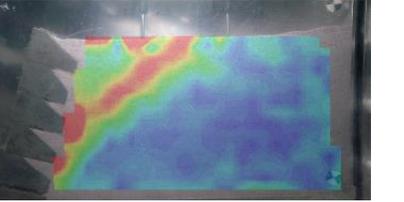
表-1 使用した各パラメーター

	ブロック	地盤 (珪砂7号)	インターフェース
材料モデル	線形	モール・クーロン	線形
単位体積重量 γ (kN/m ³)	21.60	14.02	14.02
剛性 E (kN/m ²)	25×10^6	45×10^3	25×10^2
粘着力 c (kN/m ²)	—	0	—
内部摩擦角 ϕ (度)	—	44.2	—
ダイレイタン シー角 ψ (度)	—	0	—

キーワード： 空石積擁壁, 遠心模型実験, 画像解析, FEM 解析

〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL : 03-5707-0104 E-mail : g1818026@tcu.ac.jp

表-2 解析結果

	傾斜角度 13 度 ($k_h=0.23$)	傾斜角度 18 度 ($k_h=0.32$)	傾斜角度 25 度 ($k_h=0.47$)
FEM 解析			
画像解析	 4 度→13 度	 4 度→18 度	 4 度→25 度

3. FEM による遠心模型実験の再現解析

FEM による遠心模型実験の再現解析には地盤専用有限要素法ソフトウェア PLAXIS 3D CEV20 (Bentley Systems 製) を使用した⁵⁾。FEM 解析では、遠心模型実験と同じサイズで地盤形状と模型石積ブロックを再現した。これらをオートメッシュ機能により要素分割し、土要素 8104 要素、節点数 16371 点、平均要素サイズ 16.43mm の解析モデルにて解析を実施した。使用した材料パラメータを表-1 に示す。模型石積ブロックは線形材料とした。なお、模型ブロック間には線形のインターフェース要素を設定して相対変位が生じる条件にした。地盤材料はモール・クーロン則とし、既往研究を参考にして決定した。解析は、自重解析ののちに、鉛直方向に 20G を付与し、その後水平方向に 1.4G ($k_h=0.07$)、4.6G ($k_h=0.23$)、6.4G ($k_h=0.32$)、9.4G ($k_h=0.47$) を与えることで、遠心模型実験での震度法シミュレータによる実験を再現した。

4. 解析結果と考察

表-2 は傾斜角度 13 度 ($k_h=0.23$)、18 度 ($k_h=0.32$)、25 度 ($k_h=0.47$) の際の最大せん断ひずみ分布のコンター図を FEM 解析 (上) と画像解析 (下) として示したものである。FEM 解析結果を見ると、傾斜角度 13 度 ($k_h=0.23$) では、地盤とブロックとの境界付近でせん断ひずみが表れ始め、傾斜角度 18 度 ($k_h=0.32$) ではそれが拡大し、崩壊直前の傾斜角度 25 度 ($k_h=0.47$) では地盤とブロックとの境界付近に加えて地盤内にもせん断ひずみが卓越する領域が確認できる。一方、画像解析結果を見ると、傾斜角度 18 度 ($k_h=0.32$) にて最終的にすべり線となる箇所に薄く直線状にせん断ひずみが発生し始め、崩壊直前の傾斜角度 25 度 ($k_h=0.47$) では地盤とブロックとの境界付近と地盤内に直線状のせん断ひずみが卓越する様子が確認できた。FEM 解析のほうが最終的なすべり線形状が成す角度が緩いが概ね類似する結果が得られた。

5. まとめ

本報告では著者らが行った空石積擁壁地盤の遠心場傾斜模型実験結果と FEM 解析結果の比較を行ったところ、滑り線の発生など概ね整合する結果が得られた。今後は、補強材の設置方法などについて FEM 解析を用いたパラメトリックスタディー等を行い、模型実験の補完を行いたい。

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 Original Paper
- 2) 熊本県・熊本市：被災宅地復旧の手引き～熊本地震による被災者の皆さまへ～，<https://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/attachment/42195.pdf>
- 3) 佐野ら：空石積擁壁の地震時挙動に関する遠心傾斜土槽実験，第 55 回地盤工学研究発表会，pp.751-752，2020
- 4) 上野ら：サブピクセル精度をもつ相互相関法の2次元模型実験への適用，日本実験力学学会講演論文集，No.2，pp.256-261，2002
- 5) Bentley Systems：PLAXIS 3D，<https://www.bentley.com/ja/products/product-line/geotechnical-engineering-software/plaxis-3d>