

個別要素法を用いたアルミ棒積層体地盤の大変形解析

早稲田大学 学生会員 ○江崎 晃一
 早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一
 清水建設(株) 正会員 桐山 貴俊
 清水建設(株) 正会員 齋藤 亮

1. はじめに

近年の地震による大規模な地盤の崩壊や土石流は深刻な社会問題である。これらの災害リスクに効果的に対応するためには、地盤崩壊後の大変形領域における定量的な評価技術の確立が必要不可欠である。そこで、大変形領域における変形量を評価する手法として数値解析法を用いることで地盤の大変形挙動を予測することが期待されている。本研究では、数値解析法として個別要素法を採用し、大変形領域における個別要素法の適用性について検討している。ここでは、アルミ棒積層体を用いた擁壁背後地盤の変形実験を対象に、自ら構築した個別要素法プログラムによる数値解析を実施し、実験結果と解析結果を比較することで、大変形領域における個別要素法の適用可能性について検討した¹⁾。実験および解析結果の変形形状を比較することで、定性的な評価を行った。

2. 実験装置および実験手順

擁壁実験装置は、擁壁部と擁壁背後地盤を構成するアルミ棒積層体からなる。擁壁部は、高さ 200(mm)、幅 10(mm)、奥行き 50(mm)の真鍮製の剛体壁であり、ハンドルにより主働方向に水平変位 95(mm)まで制御可能である。実験手順は次のとおりである。はじめに、模型地盤として、高さ 200(mm)、幅 50(mm)の寸法でアルミ棒を積み上げる。地盤作製時、変形形状を比較するための標点を縦横 10(mm)間隔で地盤内に設置する。地盤は密詰とし、可能な限り隙間なくアルミ棒を敷き詰める。アルミ棒の構成は長さ 50(mm)、直径 1.6(mm)、3(mm)の円形断面のアルミ棒を、質量比 2:1 の割合で混合して作製した。図-1 に実験実施前の擁壁とアルミ棒積層体の設置状況を示す。模型地盤作製後、擁壁を主働方向に 2(mm/min)の速度で変位 95(mm)まで水平変位させる。その時の模型地盤の変形状況を装置前方からカメラで撮影する。撮影した動画から、標点同士をつなぐことでアルミ棒積層体地盤の変形形状を確認する。

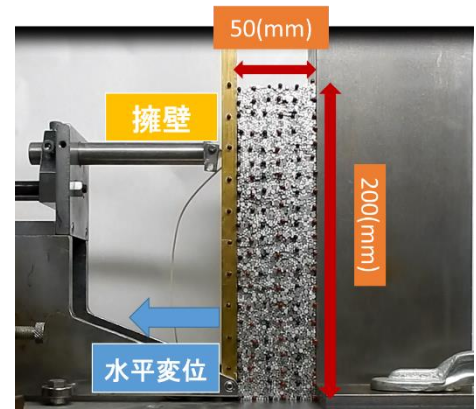


図-1. 変形前の擁壁とアルミ棒積層体

表-1. 数値解析における諸条件

積分時間間隔 Δt	s	0.000002
粒子密度 d	g/cm^3	2.7
法線ばね係数 k_n	N/m	20000000
せん断ばね係数 k_s	N/m	5000000
粘性減衰定数 h	-	0.05
ローカルダンピング α	-	0.12
摩擦係数 μ	-	0.36
回転ばねに乗じる定数 k_r	-	300000

3. 解析条件および解析手順

個別要素法による数値解析については表-1 に示す条件で解析を行った。法線ばね定数、粘性減衰定数、ローカルダンピング、回転ばねに乗じる定数については計算の安定性と収束性を考慮し、試算を行って決定した。せん断ばね定数については、法線ばね定数に対する低減率 0.25 を導入して定めた。アルミ棒の粒子間摩擦角については松岡ら²⁾により 16° であることが示されている。既往の研究³⁾で実験に使用するアルミ棒の一面せん断試験を実施したところ、内部摩擦角が 23.5° となった。粒状体としての粒子間摩擦角は粒状体の応力状態によって変化するパラメータであるので、本実験では粒子間摩擦角が 16° 以上になると予想できる。以上を考慮して解析時の粒子間摩擦角を 20° (摩擦係数 $\mu=0.36$) と設定した。前報¹⁾と比較して、積分時間間隔を前報の 1/10 倍にしたことで法線ばね定数や摩擦係数の値をより大きく、ローカルダンピングの値をより小さく設定することができた。解析上の地盤作成方法については空中落下法を用いて粒子を充填した。空中落下法による粒子充填状況を図-2 に示す。充填後に左側の壁を速さ 5(mm/s)で主働方向に変位 95(mm)まで平行移動させ、解析後に可視化し、粒状体の挙動を確認した。実験と同様に標点粒子を縦横 10(mm)間隔で地盤内に設置し、標点同士をつなぐことでアルミ棒積層体地盤の変形形状を確認する。

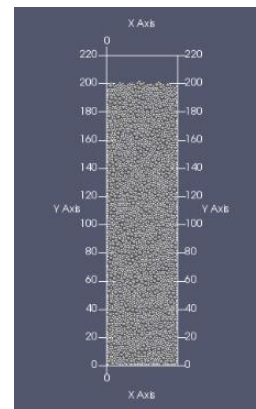


図-2. 空中落下法による粒子充填

4. 実験結果および解析結果

実験結果と解析結果を比較する。図-3 の赤枠線はアルミ棒積層体の外形線である。図-3

の変形図より、変位 65(mm), 80(mm), 95(mm)で実験結果と解析結果がよく対応していることが分かる。一方、変位 5(mm)~35(mm)では解析結果における粒状体の外形が実験結果の外形よりも小さくなっていることが分かる。これは、解析時の粒子充填で空中落下法を用いたことによるものと考えられる。実験の地盤作成時は可能な限り隙間なくアルミ棒を敷き詰めたが、空中落下法では粒子が実験時と比較して密に充填されない。擁壁の移動に伴い実験では地盤で体積膨張傾向、解析では体積収縮傾向となった。擁壁の移動に伴って体積膨張および体積収縮の影響が減り、変位 80(mm),95(mm)の変位が大きい場合では実験結果と解析結果の外形が徐々に近似したと考えられる。

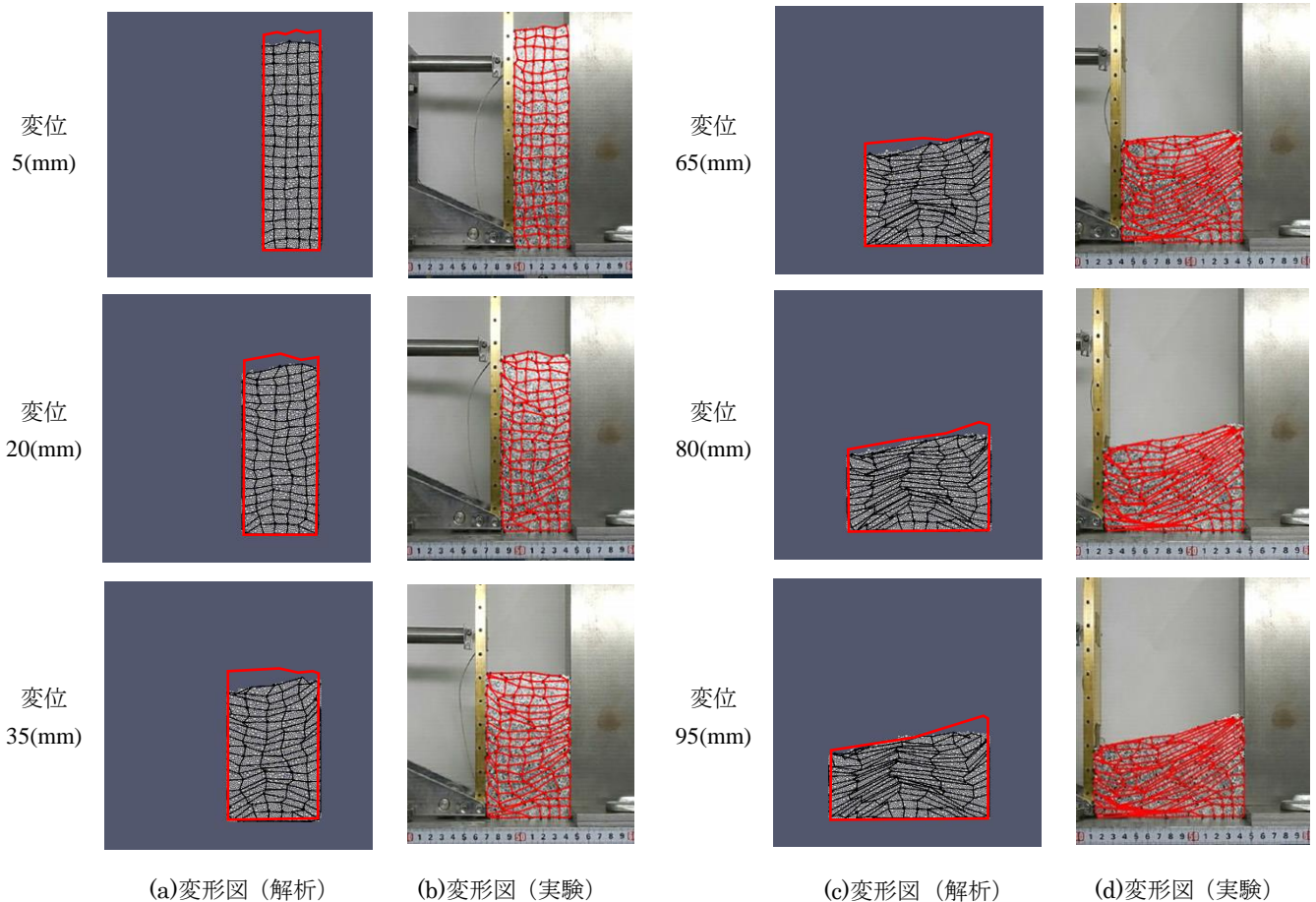


図-3. 実験と数値解析の変形比較図

5.まとめ

本研究ではアルミ棒積層体を用いた擁壁背後地盤の変形実験において、大変形領域における実験結果と個別要素法を用いた解析結果の比較を行った。研究成果は以下の通りである。

- 1) 変位 65(mm),80(mm),95(mm)のように変位が大きくなるほど、実験結果と解析結果の外形線が近似した。一方で、変位が小さい場合では解析結果の外形線が実験結果のものより小さくなった。これは解析において空中落下法を用いたことと摩擦係数を小さく設定したことによるものと考えられる。
 - 2) 定性的に評価して、大変形領域における個別要素法の適用可能性を示した。
- 今後の課題として、入力物性値の再検討、土圧やひずみなどの定量的な評価を行うことで再現性の高い解析手法の確立を目指す。

<参考文献>

- 1) 江崎晃一, 赤木寛一, 桐山貴俊, 齋藤亮: 個別要素法を用いたアルミ棒積層体の大変形解析, 第 53 回地盤工学研究発表会, 2018. (投稿中)
- 2) 松岡元, 齋木清志: 2 次元粒状体 (丸棒) の粒子間摩擦角 ($\phi \mu$) の一測定法, 第 27 回土質工学研究発表会, pp.579 ~580, 1992.
- 3) 藤井幹生, 三浦丈典, 中筋智之, 赤木寛一, 桐山貴俊: 大変形領域に着目した擁壁背後地盤の変形挙動, 第 12 回地盤工学会関東支部発表会, pp.98~99, 2015.
- 4) 三浦丈典, 桐山貴俊, 赤木寛一: 地盤構成のアスペクト比に着目した擁壁背後地盤の大変形挙動, 土木学会第 71 回学術講演会, Vol.71, No.3, pp.177-178, 2016.