液状化地盤上の既設盛土耐震補強法に関する遠心模型実験結果の３次元残留変形解析（その２）

大成建設　正会員　○立石　章
大成建設　正会員　青木智幸
大成建設　正会員　藤原斉郁

１．はじめに

液状化地盤上の既設盛土の耐震補強方法として、著者らは、法面の抑え部、液状化地盤中の改良体およびこれらを結ぶグランドアンカーより構成される工法を提案し、遠心模型実験によりその効果を検証してきた[1) 2) 3)]。この工法は、図-1 に示すように地盤変形を許しながらも盛土体として機能維持することに特徴を有することから、地震後の残留変形量が重要となる。そこで、提案工法の合理的設計法を開発する目的で、これまで２次元解析として用いられてきた静的に地震時残留変形量を求める手法[4) 5)]を３次元解析に適用した[6)]。本報では、盛土を弾塑性体として遠心模型実験結果をシミュレーションした結果を報告する。

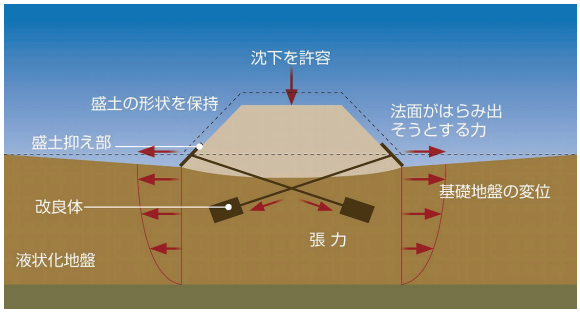


図-1　耐震補強法の概念図

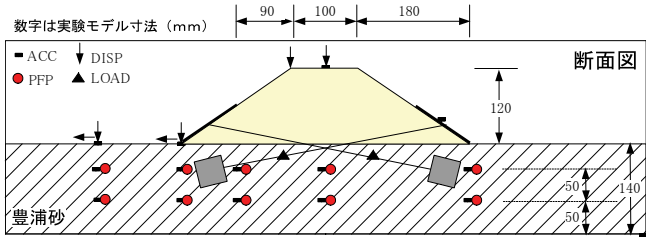


図-2　実験モデル図（対策ケース）

２．遠心模型実験の概要

実験は、30cSt（×10^{-6}m/s^2）のシリコンオイルにて飽和した豊浦砂による層厚 4.2m（以下、数値は実物換算値）の基礎地盤上に、豊浦砂とカオリン粘土を乾燥重量比 5：1 で混合した材料による高さ 3.6m の盛土モデルを作成し、遠心加速度 30g 場において加速度振幅 350Gal（×10^{-2}m/s^2）、40 波の正弦波で加振して行った。アンカープレートは厚さ 10cm のコンクリートに相当する剛性のアルミ版によりモデル化し、改良体は直径 1.2m×長さ 1.2m で周辺地盤と同等の密度に調整した剛体とし、曲げを伝達しないアンカーロッドにより結んだ。実験モデル図を図-2 に示す。実験の詳細は文献[1) 2) 3)]を参照されたい。

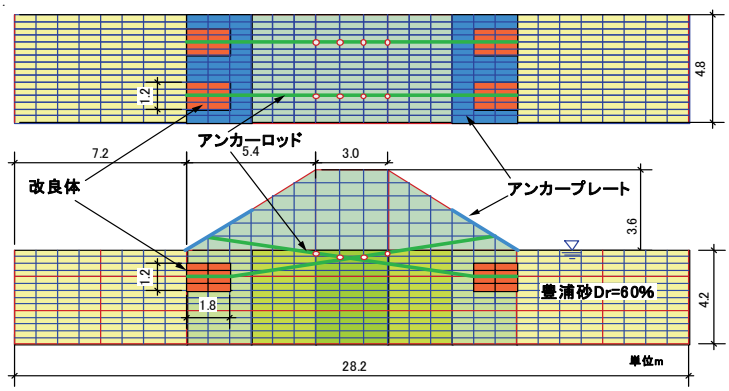


図-3　遠心模型実験の３次元モデル（対策ケース）

表-1　地盤条件

		材料	ρ_t, ρ_{sat} (g/cm^3)	液状化強度 Rl_{20}
盛土体		豊浦砂＋カオリン粘土	1.71	－
基礎地盤	自由地盤	豊浦砂 Dr=59%	1.85	0.19
	盛土直下地盤	豊浦砂 Dr=71%	1.88	0.23

３．シミュレーション解析方法

解析は、安田らによる液状化土のせん断剛性を与えて静的に地震時残留変形量を算定する方法[4) 5)]である。本研究では、対策ケースにおいて、盛土直下地盤が改良体間を３次元的にすりぬける変形挙動が

キーワード　液状化、補強法、既設盛土、遠心模型実験、有限要素法
連絡先　〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 土木技術研究所 地盤・岩盤研究室 TEL 045-814-7236

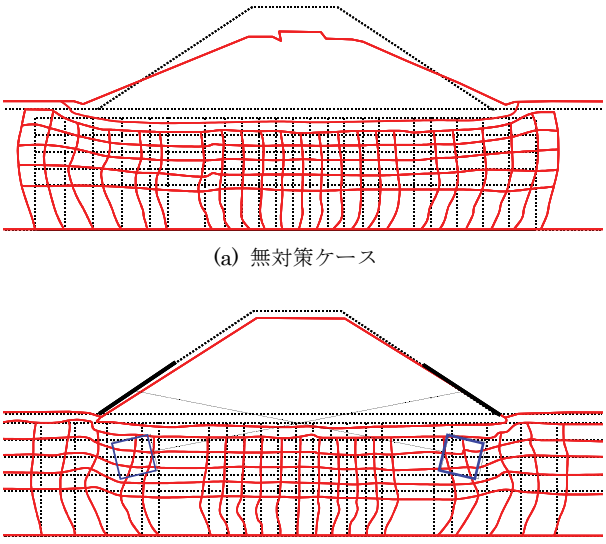
重要であり、これを表現する必要があるため、２次元解析コード ALID は用いずに、３次元有限差分法解析コード FLAC3D ver3.1 を用いて、以下のように解析を行った。(a) 地盤および改良体はソリッド要素で、アンカープレートはシェル要素で、アンカーロッドはケーブル要素でモデル化、(b) 液状化対象地盤は、安田らの提案しているバイリニアモデルとし、液状化土のせん断剛性は、水平震度を与えて簡易的に液状化安全率を算出し、安田・稲垣の式[5]より求めた。限界ひずみおよび第二勾配は安田らの研究[5]によった。(c) 盛土のせん断剛性は、No-tension と Drucker-Prager 降伏面による弾塑性モデルによった。(d) 液状化安全率算定のための水平震度は、無対策ケースの盛土天端沈下量をシミュレートできる 0.25 とし、対策ケースにも同じ震度を与えた。 (e) 荷重は、初期自重解析をあらかじめ行い、応力解放法によった。

３次元モデルを図-3 に、地盤条件を表-1 に示す。

４．シミュレーション解析結果

実験と解析による残留変形図（倍率１倍）を図-4、図-5 に、盛土天端沈下量とロッド軸力の残留値を表-2 に示す。両図とも地盤の残留変形は改良体間の中央断面である。これらより以下のことがわかる。

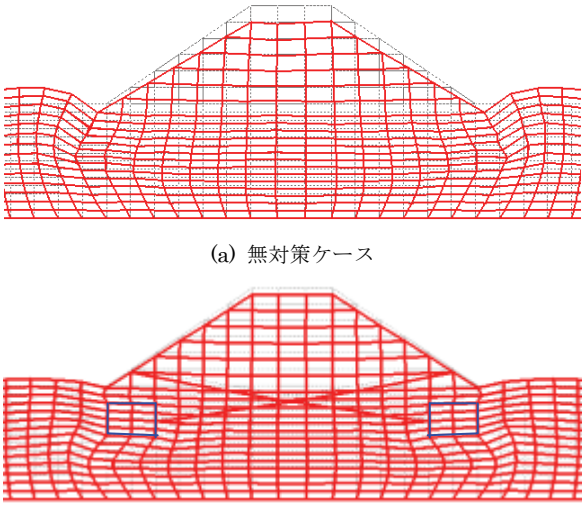
- 残留変形図の比較より、無対策ケースの実験では、基礎地盤が盛土直下では軸差せん断変形し、深部では単純せん断変形して、盛土体がストレッチングしている。解析ではこの現象を良く表現している。対策ケースでは、実験、解析とも、改良体が直下地盤の側方流動をある程度抑え、盛土体の沈下を低減する結果となっていて、全体的には解析による残留変形モードは、実験を良く模擬できている。
- 無対策、対策ともに、盛土天端沈下量は、解析は実験の 1～1.3 倍程度でよく模擬できているが、ロッド軸力は 4.6 倍と過大となっている。ロッド軸力については連続体によるモデル化が原因の一つとして考えられる。



(a) 無対策ケース

(b) 対策ケース　改良体ピッチ 2.25m

図-4　遠心模型実験結果による残留変形図



(a) 無対策ケース

(b) 対策ケース　改良体ピッチ 2.25m

図-5　静的残留変形解析結果による変形図

表-2　盛土天端沈下量とロッド軸力の比較

項目	盛土天端沈下量 (cm)		ロッド軸力 (kN)	
	実験	解析	実験	解析
無対策ケース	64 (1)	63 (0.98)	–	–
対策ケース 改良体ピッチ2.25m	18 (1)	24 (1.3)	65* (1)	299 (4.6)

５．まとめ

グランドアンカーを用いた盛土耐震補強工法について、遠心模型実験結果を３次元モデルを用いた静的残留変形解析法によりシミュレーションした。その結果、残留変形は実験結果を比較的よくシミュレートすることができたが、ロッド軸力は大きめに評価する結果となった。

参考文献　1）藤原・森川・堀越：液状化地盤上の盛土耐震補強法に関する遠心模型実験，土木学会第 63 回年次学術講演会，pp107-108，2008.　2）藤原・森川・堀越：液状化地盤上の盛土耐震補強技術の開発，大成建設技術センター報第 41 号，p38，2008.　3）藤原・森川・堀越・立石：液状化地盤上の盛土耐震補強法の効果に関する研究，第 44 回地盤工学研究発表会，pp.1629-1630，2009.　4）安田・吉田・安達・規矩・五瀬・増田：液状化に伴う流動の簡易評価法、土木学会論文集、No. 638/Ⅲ-49、71-89、1999. 12.　5）ALID 研究会：2 次元液状化流動解プログラム ALID/Win　第二版、平成 17 年 6 月.　6）立石・青木・藤原：液状化地盤上の既設盛土耐震補強法に関する遠心模型実験結果の３次元残留変形解析，第 46 回地盤工学研究発表会，No.738，2011（投稿中）.