

ジオシンセティックス液状化変形抑制工法の動的遠心模型試験に対する解析的検討

液状化, 盛土, ジオシンセティックス

東京工業大学
エターナルプレザーブ
エターナルプレザーブ
エターナルプレザーブ

国際会員 高橋章浩
正会員 ○Hla Aung
国際会員 倉知禎直
正会員 久保幹男

1. はじめに

筆者らは、液状化時の盛土の変形を抑制するために、砕石に高強度ジオシンセティックスを挟み込んだ構造体を盛土直下に配置する工法を検討している。本研究では、前報¹⁾に引き続き液状化時に盛土の変形を抑制する砕石とジオシンセティックスの効果を確認するための動的遠心模型試験に基づき動的有効応力解析を実施した。

2. 遠心模型実験

本対策工による液状化時変形抑制効果を検証するため、遠心模型実験を実施した。振動実験は 50g の遠心加速度場にて行った。検討ケースは無対策 (CASE1), 砕石のみの対策 (CASE2), 砕石とジオシンセティックスを配置した対策 (CASE3) の 3 ケースである。遠心模型実験の詳細は前報を参照されたい¹⁾。

3. 動的有効応力解析

2次元 LIQCA 解析手法 (LIQCA2D13)²⁾を用いて、遠心模型実験のシミュレーションを実施した。解析は微小変形理論に基づく繰返し弾塑性有限要素解析を平面ひずみ条件下で実施した。図-1 に二次元有限要素モデルを、図-2 に入力地震波を示す。境界条件は実験と同様に、底面は完全固定境界、側面は水平のみ固定境界とした。解析に用いる排水境界条件は地表面より-0.5m 位置とした。その他の条件として、初期剛性比例型減衰用の係数 (α_1) を 0.003 とした。また、解析安定化に用いる Newmark β 法の係数 (β) と (γ) を 0.3025 と 0.6 とした。計算時間増分 (Δt) を 0.01 秒とした。

地盤要素は 4 節点アイソパラメトリック要素で表現し、ジオシンセティックスは弾性梁要素でモデル化した。なお、砕石とジオシンセティックスの摩擦特性は実物実験結果を基に弾塑性ジョイント要素でモデル化した。解析に用いたパラメータを表-1, 2 に示す。豊浦砂の液状化特性に関するパラメータは (LIQCA2D13)²⁾のパラメータセットの例を基にせん断応力比 0.15, 繰返し回数 10 回にてフィッティングした。図-3 に要素シミュレーション結果を示す。

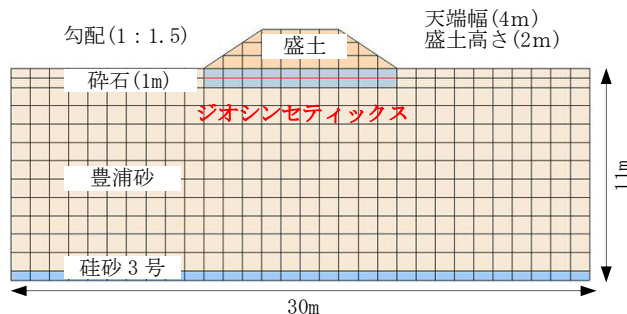


図-1 2次元有限要素モデル

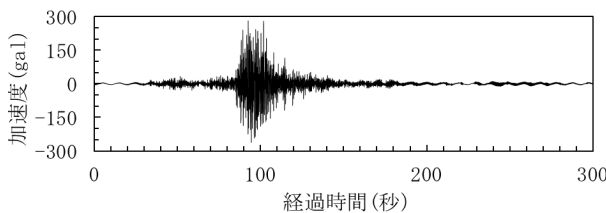


図-2 入力地震波

表-1 入力パラメータ I

パラメータ番号	梁要素		ジョイント要素		
	引張剛性	曲げ剛性	垂直方向バネ定数	せん断方向バネ定数	摩擦角
	EA (kN/m)	EI (kN/m ² /m)	Kn (kN/m)	Ks (kN/m)	Φ (°)
300L	3000	1.E-05	1.0E+08	30000	22

表-2 入力パラメータ II

パラメータ名	DLクレー	豊浦砂	砕砂3号	
単位体積重量	γ (kN/m ³)	15.0	19.5	20.0
透水係数	k (m/sec)	1.0.E-06	2.5.E-06	1.0.E-05
初期間隙比	e_0	1.050	0.754	0.673
圧縮係数	λ	0.018	0.009	0.025
膨潤係数	κ	0.0006	0.0001	0.0025
無次元初期せん断係数比	G_0/σ'_v	350	2100	2500
過圧密比	OCR	1.2	1.0	1.0
変相応力比	M^*	0.909	0.909	0.909
破壊応力比	M^*_f	1.158	1.158	1.511
硬化パラメータ	B_0	15000	9000	5000
硬化パラメータ	B_1	500	90	-
硬化パラメータ	C_f	-	-	-
異方性消失のパラメータ	C_0	2000	2000	2000
基準ひずみ (弾性剛性)	γ^{p*}	0.005	0.005	-
基準ひずみ (弾性剛性)	γ^{e*}	0.010	0.010	-
ゲル化係数	D_0	1.5	0.5	-
ゲル化係数	n	5.0	2.0	-

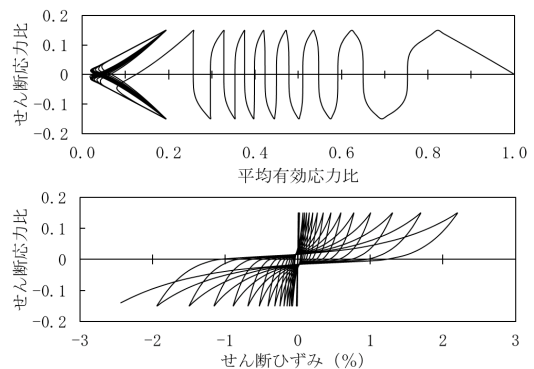


図-3 要素シミュレーション結果

4. 解析結果と考察

遠心模型実験のシミュレーションは、無対策の実験結果を再現し、同パラメータを用いて対策工の効果を表現できるかどうかを検証した。図-4 に盛土天端沈下量の時刻歴を示す。盛土天端の最終沈下量及び時刻歴について、解析結果が実験結果を良く再現している。盛土天端の最終沈下量は実験及び解析とも CASE1 と比べ、CASE2 で約 30% と CASE3 で約 40% 抑制している。以上のことから、液状化地盤のパラメータ設定及び砕石やジオシンセティックスのモデル化の妥当性がうかがえる。図-5 に液状化地盤中心部（深さ 3m）の過剰間隙水圧比時刻歴を示す。実験では加震初期から主要動加震前の液状化変形前の過程で過剰間隙水圧がほとんど生じないに対し、解析では過剰間隙水圧が生じている。主要動加震後、液状化発生後の過剰間隙水圧の発生状況は実験及び解析ともほぼ同じ傾向を示している。主要動前の挙動については、豊浦砂の液状化特性に関するパラメータが液状化過程までの挙動を表現できていない可能性があると考えられる。図-6 に盛土直下中央部から 1m の位置のジオシンセティックスの張力の液状化変形に伴う増分の時刻歴を示す。主要動加震後、液状化変形（盛土の沈下）に伴い、急激に張力が増加し、主要動終了後は、解析値はほぼ一定値を示し、実験値は減少傾向が見られた。発生する張力は、実験値を再現しており、前報¹⁾でも述べたように実験でデータを取れなかった部分の補間を使用できると考える。図-7 に液状化地盤中心部（深さ 3m）の有効応力経路を示す。実験結果は地盤内に配置した加速度計と間隙水圧計のデータを用いて評価した³⁾。若干の誤差のあるものの、実験と解析の着目点における応力経路が同様であったと考える。特に変形抑制効果の大きかった case3 では、実験・解析とも他のケースに比べ盛土直下で液状化抵抗が増加していることがわかった。解析と実験の誤差は、模型地盤の差異や計測値のノイズ等の影響によるものと考えられる。

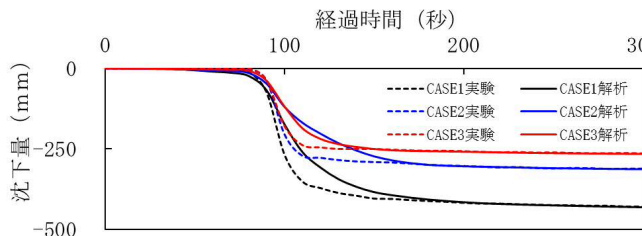


図-4 沈下量 時刻歴 (実験・解析)

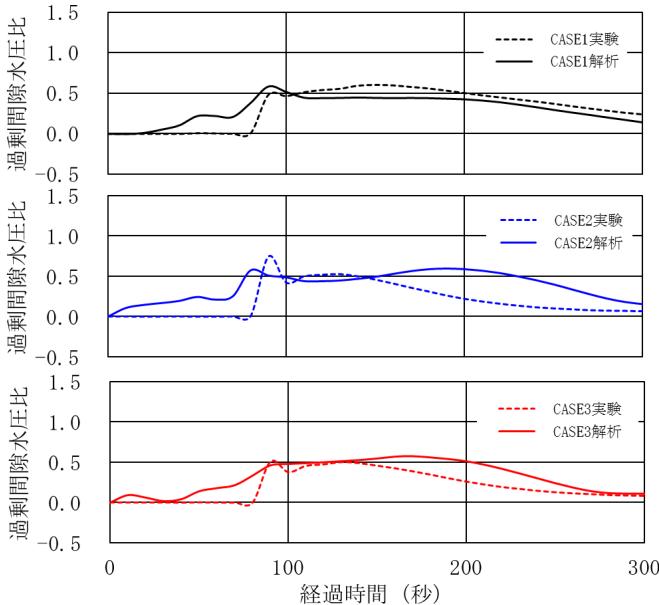


図-5 過剰間隙水圧比 時刻歴 (実験・解析)

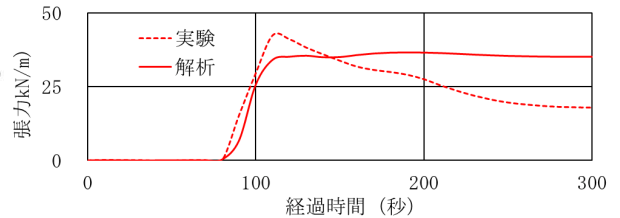


図-7 張力 時刻歴 (実験・解析)

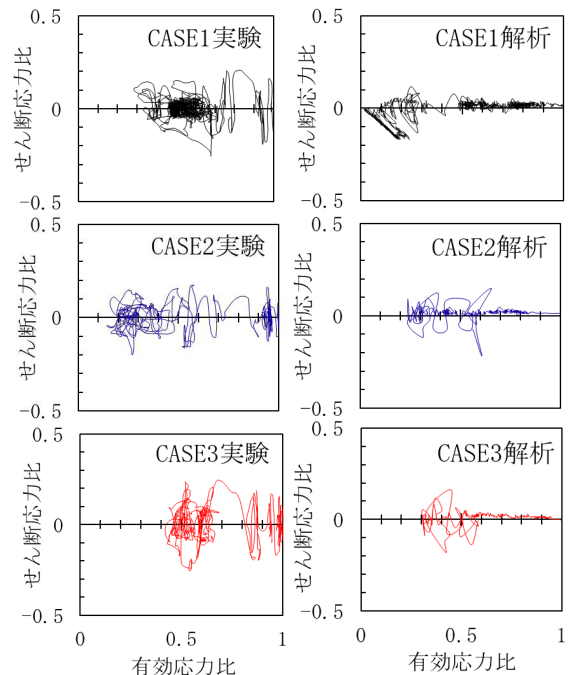


図-7 有効応力経路

5. まとめ

動的有効応力解析手法を用いて盛土直下に砕石とジオシンセティックスを配置した対策工における遠心模型実験を検討した結果、変形抑制効果を精度よく表現できた。今後は過剰間隙水圧の発生状況も含め、設計への適用性を検討していきたい。

参考文献：1)高橋，関，PRAMADIYA，倉知，AUNG，久保：ジオシンセティックス液状化変形抑制工法の動的遠心模型試験，第 50 回地盤工学研究発表会投稿中，2015. 2) (一社)LIQCA 液状化地盤研究所：LIQCA2D13・LIQCA3D13(2013 年公開版)資料，2013. 3)KOGA, MATUSO：Shaking table tests of embankments resting on liquefiable sandy ground，S&F, vol. 30, No. 4, pp. 162-174, 1990.