

浸透固化改良土における盛土構造物の地震時シミュレーション

東北大学 学 ○安楽 宗一郎 正 風間 基樹・渦岡 良介・仙頭 紀明
五洋建設 正 三藤 正明・熊谷 隆宏・吉田 誠

1. はじめに

液状化地盤上の盛土構造物は地震時に大きな被害が発生する。近年、液状化対策の有効な工法として浸透固化処理工法¹⁾が注目されている。この工法は、地盤中の間隙水を恒久的に強度を発揮する水ガラス系の薬液に置換することで、液状化防止を図る工法である。本研究では、浸透固化改良された液状化地盤上の盛土構造物の地震時挙動、特に盛土直下の地盤の挙動の把握を目的として、解析コード LIQCA²⁾を用いて、五洋建設技術研究所で行われた盛土構造物の模型振動実験結果のシミュレーションを行った。

2. 盛土構造物の模型振動実験

図-1 に実験模型の概要を示す。実験は、浸透固化により地盤改良された場合とされない場合の2ケースについて実施した。

盛土、液状化層には相馬珪砂5号、不透水層にはベントナイトを使用した。地盤の相対密度は59%、改良砂の薬液濃度は5.9%である。図-2 に模型スケールの入力地震動を示す。入力地震動は、2Hz、10波、最大加速度200Galの正弦波を想定した。

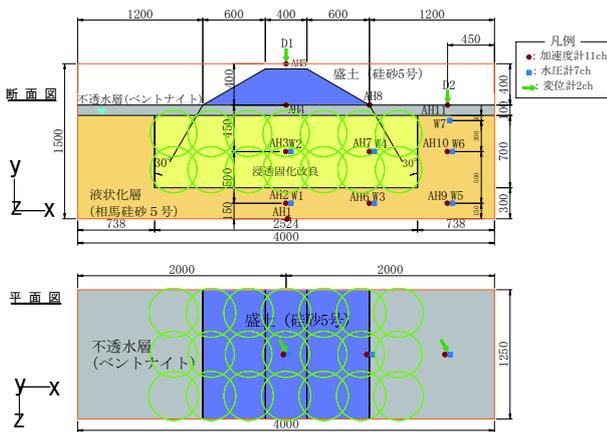


図-1 実験模型 (改良砂)

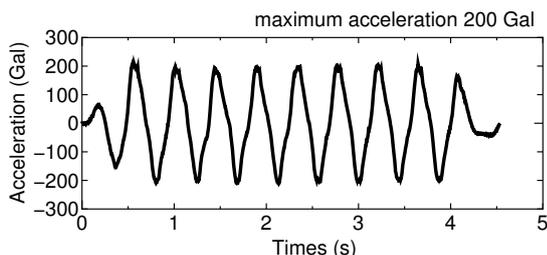


図-2 入力地震動 (模型スケール)

3. シミュレーション

3.1 解析条件

解析モデルはZ方向全節点拘束、地盤底面全方向拘束、地盤両側面X方向変位拘束とした。水面は不透水層(ベントナイト層)下にあり、底面と側面を非排水境界とし、それ以外の水面下では水の移動は自由である。要素数は546、節点数は593である。

解析に用いたパラメータを表-1に示す。パラメータ設定は、室内試験³⁾を対象に要素シミュレーションを行い、未改良砂の場合は、室内試験の液状化強度、変形特性の両方がほぼ等しくなるように設定した。改良砂の場合は、室内試験の変形特性にほぼ等しくなるようにパラメータ設定した「改良砂1」と室内試験の液状化強度にほぼ等しくなるようにパラメータ設定した「改良砂2」の2通りのパラメータ設定を行った。本研究では、未改良砂、改良砂1、改良砂2、を再現するのに、変更するパラメータを透水係数k、圧縮指数λ、膨潤指数κ、塑性規準ひずみ γ_r^P 、弾性規準ひずみ γ_r^E の5つだけとし、パラメータの影響を把握しやすいように解析を行った。

表-1 解析に用いたパラメータ

パラメータ	未改良砂	改良砂 1	改良砂 2
密度 (g/cm ³) ρ	1.868	1.868	1.868
透水係数 (m/s) k	1.33×10 ⁻⁴	3.75×10 ⁻⁷	3.75×10 ⁻⁷
初期間隙比 e	0.859	0.859	0.859
圧縮指数 λ	0.0049	0.0074	0.15
膨潤指数 κ	0.0025	0.0037	0.075
擬似過圧密比 OCR	1	1	1
無次元化初期せん断係数 G ₀ /σ _m	372	372	372
破壊応力比 M _f	1.15	1.15	1.15
変相応力比 M _m	0.945	0.945	0.945
硬化関数中のパラメータ B ₀	800	800	800
硬化関数中のパラメータ B ₁	310	310	310
硬化関数中のパラメータ C _f	0	0	0
塑性規準ひずみ γ_r^P	0.1	0	0
弾性規準ひずみ γ_r^E	0.05	0	0
ダイレイタンス係数 D ₀	0.7	0.7	0.7
ダイレイタンス係数 n	5.1	5.1	5.1
異方性消失のパラメータ C _d	2000	2000	2000

3.2 結果・考察

全ケースの加振後の過剰間隙水圧比と変形図、未改良および改良ケースの盛土天端の沈下量時刻歴を図-3、図-4、図-5に示す。ここでの過剰間隙水圧比は過剰間隙水圧を初期有効上載圧 σ'_{v0} で正規化したもので

ある。「Simulation1」は「改良砂1」を、「Simulation2」は「改良砂2」を表している。図-3の過剰間隙水圧比を見ると、未改良ケースでは盛土直下部，改良ケースでは改良部分は液状化に至っていないことがわかる。さらに，未改良砂と改良砂共に盛土直下部から水平地盤に近づくにつれ過剰間隙水圧比が徐々に1となっているという傾向を示している。図-4から，未改良砂の盛土天端沈下量は実験結果と解析結果はほぼ一致していることがわかる。一方，図-5より，改良砂では，「改良砂2」では実験結果と解析結果はほぼ一致しているが，「改良砂1」では沈下量を実験値よりも過大に再現しているということがわかる。これは，「改良砂1」で室内試験の変形特性にほぼ等しくなるようにパラメータを設定したところ，液状化強度が実験結果よりも弱くなってしまい，図-3でも示すように，「改良砂1」では「改良砂2」に比べて広範囲に亘り地盤部分で液状化が発生しており，それが沈下量に影響を与えていると考えられる。

次に改良砂における盛土直下部(図-1中のAH3)の水平加速度応答と過剰間隙水圧の時刻歴を図-6，図-7に示す。盛土直下部の水平加速度応答は，応答の最大値，減衰について正確に再現されていない。これは，前者は浸透固化改良した部分の応答を過小に評価している事，後者は液状化に伴う減衰を過小に再現した事が原因であると考えられる。「改良砂1」と「改良砂2」に加速度応答に大きな差は見られなかった。過剰間隙水圧については，図-7に示すように，実験値と解析値の間に大きな誤差が生じている。模型振動実験の際に不透水層が水を吸って単位体積重量が上昇した事や実験中に計測器が沈下してしまった事が実験値と解析値に誤差が生じた原因の1つではあると考えられるが，更なる原因の究明が必要である。また，「改良砂1」と「改良砂2」を比較すると，水圧に多少の差があるが，これは改良部分の液状化強度の違いによるものであると考えられる。

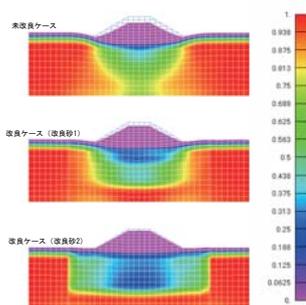


図-3 加振後の盛土変形状と過剰間隙水圧比

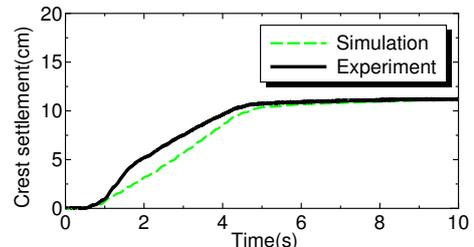


図-4 盛土天端沈下量の時刻歴(未改良ケース)

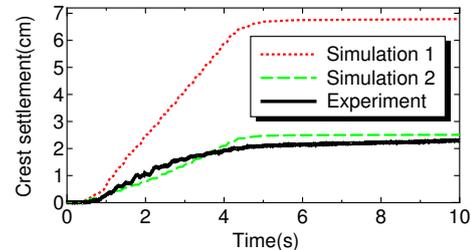


図-5 盛土天端沈下量の時刻歴(改良ケース)

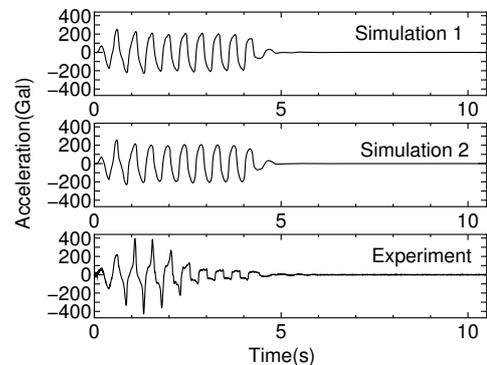


図-6 水平応答加速度時刻歴(AH3改良ケース)

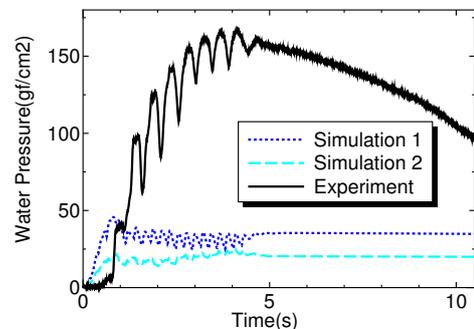


図-7 過剰間隙水圧時刻歴(W2改良ケース)

4. 結論

今回の研究では以下のような結論が得られた。
1) LIQCAによって盛土構造物の変形の傾向を再現できる。
2) 盛土天端の沈下量は液状化強度や液状化範囲に影響を受ける。
3) 改良砂盛土直下部の水平応答加速度，水圧の解析については検討の必要がある。

参考文献

- 1) 財団法人沿岸開発技術センター：沿岸開発技術ライブラリー NO.18 浸透固化処理工法技術マニュアル，2003.
- 2) 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ：LIQCA2D07 (2007年公開版)資料，2007.
- 3) 鈴木崇：薬液注入工法による改良砂の液状化特性と残留ひずみ量予測，東北大学修士論文，2006.