

ドレーン改良された砂質地盤の地震中～地震後挙動の解析

五洋建設 正会員 ○椎名 貴彦 林 健太郎  
 名古屋大学 正会員 浅岡 顕 野田 利弘

1. はじめに

人工ドレーン材を砂質地盤に設置するドレーン工法は、地震中地盤内に発生する過剰間隙水圧を抑制する液状化防止工法の一つである。本報告では、ドレーン材で改良された砂質地盤について、土の構成式にSYSカムクレイモデル<sup>1)</sup>を搭載した動的/静的水～土連成有限変形計算<sup>2)</sup>を実施し、地震中および地震後の変形挙動を調べ、その改良効果について考察した。

2. 解析条件

以下の条件下で、ドレーンの有無について地震中および地震後の砂質地盤の挙動を比較し、ドレーン改良効果を調べた。

図-1 に示す層厚 10m の砂質地盤を解析対象として、表-1 に示す材料定数および初期値を用いた。構造と過圧密比は地盤中一様と仮定し、間隙比を深度方向に土被りに応じて分布させた。これらのパラメータは文献<sup>3)</sup>を参照して決定した典型的な砂で、初期値として密度の異なる 2 種類の地盤を想定した。計算は平面ひずみ条件で行い、地盤上端面は排水境界、側面および下端面は非排水境界とした。また、地盤両側面の同じ高さにある全有限要素節点の各成分には等変位条件を課した(周期境界)。地震動は地盤底面全節点の水平方向に図-2 に示す加速度の 1/2 を入力した。なお、地盤下端節点は工学的基礎面(粘性境界Vs=300m/sec)とした。また、ドレーン設置の場合は排水境界(Δu=0)として表現し、地盤中に 0.5m 間隔で地表面から深さ 10m まで設置した。

3. 計算結果

3.1 ドレーンの有無による改良効果の比較

比較的ゆるい砂地盤(Type-A)における解析結果として、初期深度 5m における要素の過剰間隙水圧の経時変化を図-3 に、地表面の時間沈下曲線を図-4 に示す。未改良地盤の場合、地震中はほとんど沈下が生じず、地震後に水圧の消散に伴って沈下が生じている。それに対しドレーンによって改良した場合は、地震発生直後にある程度の水圧が発生するもののすぐに消散に向かい、地震終了時点(約 10 秒)では水圧、沈下ともにほぼ収束している。地表面の沈下量は、未改良の場合に比べ約 70% に低減している。図-5 に地震発生から 3.4 秒経過した時点での過剰間隙水圧の深度分布を示す。未改良の場合、図中に実線で示す初期有効土被り圧に達する水圧が全層で発生しているが、改良地盤では水圧の発生が抑制されていることがわかる。

表-1 地盤の材料定数と初期値

	Type-A	Type-B
＜弾塑性パラメータ＞		
圧縮指数 $\tilde{\lambda}$		0.05
膨潤指数 $\tilde{\kappa}$		0.012
限界状態定数 M		1.0
正規圧密線の切片 N		1.98
( $p' = 98 \text{kPa}$ での練り返し土の正規圧密線上の比体積 )		
ポアソン比 $\nu$		0.3
＜発展則パラメータ＞		
構造低位化指数 $a, b, c$	2.2, 1.0, 1.0	
正規圧密土化指数 $m$		0.06
回転硬化指数 $b_r$		3.5
回転硬化限界定数 $m_b$		0.7
＜初期値＞		
構造の程度 $1/R^*_0$	10.0	3.0
過圧密比 $1/R_0$	2.5	8.0
異方性の程度 $\zeta_0 = \sqrt{3/2} \ \beta_0\ $	0.2	0.2
透水係数 $k$ (cm/sec)	$1.0 \times 10^{-3}$	
土の密度 $\rho_s$ (t/m <sup>3</sup> )	2.65	

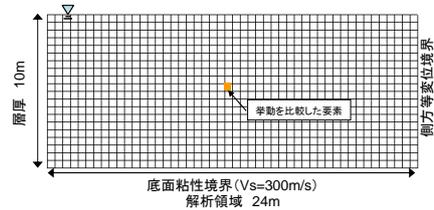


図-1 計算に用いた有限要素メッシュ図

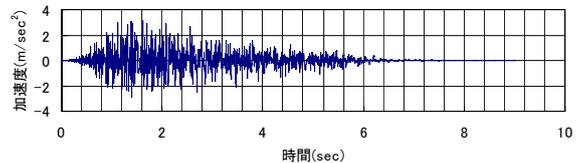


図-2 基礎面での入力加速度

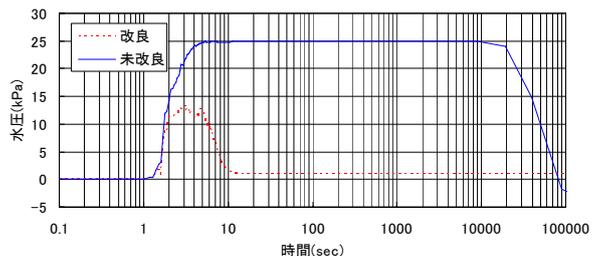


図-3 過剰間隙水圧の経時変化

液状化対策, 有限要素法, 水～土連成解析

〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1 五洋建設(株) 技術研究所 TEL 0287-36-6880

図-6, 図-7 に, それぞれ未改良, 改良の場合の初期深度 5m 地点の要素の挙動を示す. 図中の  $R^*$ ,  $R$  はそれぞれ構造の程度, 過圧密の程度を表し,  $R^*$ ,  $R$  が 1 に近づくほど, 構造が劣化し, 過圧密が解消した状態を表す. 未改良の場合は地震中に有効応力が原点に近づき, 地震後に水圧の消散に伴い強度が回復している. また地震中に構造を喪失しつつ過圧密比が大きく蓄積し, 地震後に過圧密が解消して大沈下を生じており, 液状化と液状化後の圧密沈下をよく表現している. 一方, 改良した場合は平均有効応力がそれほど低減することなく間隙比が地震中に減少しており, 排水的な繰返しによる圧縮 (締固め) が生じている. 改良した場合も地震中に構造を喪失するが, 過圧密比の蓄積は未改良の場合に比べ小さい.

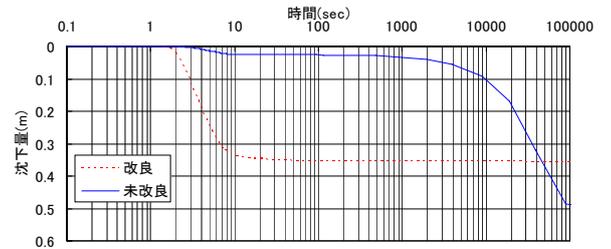


図-4 時間～沈下量関係

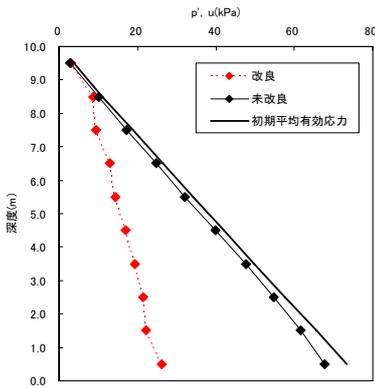


図-5 過剰間隙水圧の深度分布

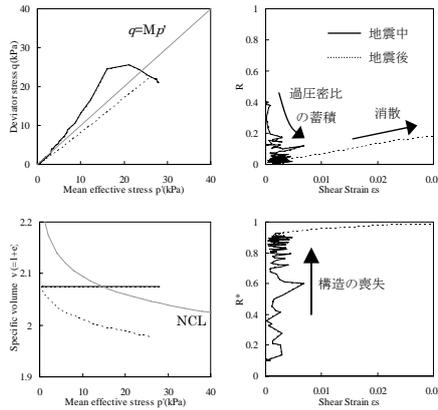


図-6 要素の応力挙動 (未改良)

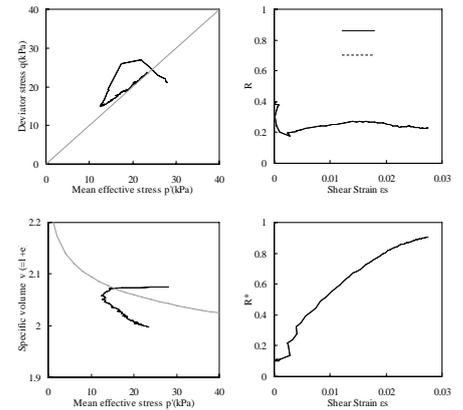


図-7 要素の応力挙動 (改良)

### 3. 2 地盤の密度の違いによる改良効果の比較

比較的密な砂地盤 (Type-B) における結果を図-8, 図-9 に示す. この想定地盤は, 未改良の場合でも地盤下部の発生過剰水圧は初期有効土被り圧まで到達せず, 同じ地震動に対して液状化しにくい地盤であり, ゆるい砂地盤の結果に比べて発生する水圧, 沈下量ともに小さい.

### 4. まとめ

各種解析条件をさらに検討する必要があるが, 本解析手法から, ドレーン改良によって, 地震中, 砂質地盤に締固めが生じるため, 本工法は液状化時の地盤の剛性低下を防ぐ手段として有効であることが確認できた.

参考文献 1)Asaoka et al.(2002):An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanics of soils, S&F, 42(5), pp.47-57. 2 Asaoka) and Noda (2007): All soils all states all round geo-analysis integration, International Workshop on Constitutive Modeling-Development,Implementation,Evaluation,and Application, Hong Kong, China pp.11-27.3)中井健太郎他(2005):異なる密度・有効拘束圧における砂のせん断挙動に関する初期骨格構造の程度に基づく解釈,第40回地盤工学研究発表会,pp.489-490.

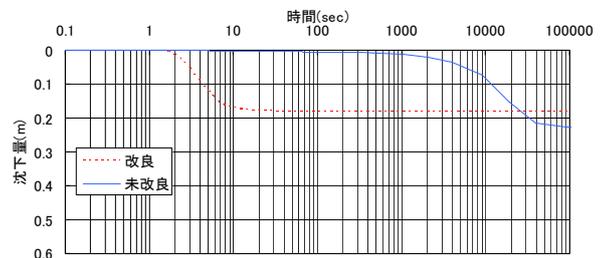


図-8 時間～沈下量関係

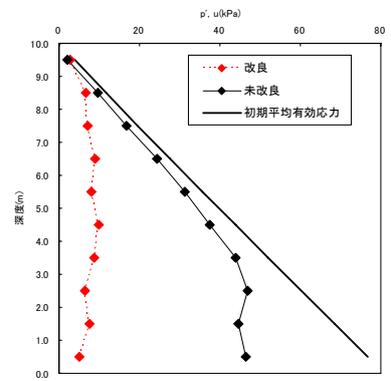


図-9 過剰間隙水圧の深度分布