

杭・壁併用型地盤改良工法（コラムリンク工法）の試験盛土を対象とした二次元 FEM による再現解析

大成建設 正会員 ○松井 秀岳 大成建設 正会員 石井 裕泰
 土木研究所 正会員 堤 祥一 清水建設 正会員 川崎 廣貴
 竹中土木 正会員 津國 正一 不動産テラ 正会員 新川 直利

1. はじめに

近年、盛土荷重を受ける軟弱粘性土地盤の沈下・変形対策として、深層混合処理工法が盛んに用いられ、改良土量を低減した種々の形式が提案されている(例えば¹⁾。一方、都市部近傍等で盛土周辺に家屋などが隣接する場合は、盛土荷重による周辺地盤の変形に制限が設けられる場合もある。こうした課題にも配慮した工法として、筆者らは新たに杭・壁併用型地盤改良工法（以下、コラムリンク工法）を提案し、遠心実験や解析による検討を行ってきた。

本報では、コラムリンク工法の試験盛土を対象とした二次元 FEM による再現解析を実施し、地盤および改良体挙動の評価手法としての適用性を検証する。

2. 試験盛土の概要²⁾

対象地盤の構成と改良仕様を図 1 に示す。事前検討では、二次元・三次元 FEM 解析により改良仕様と変位抑制効果の関係を検証し、盛土法尻から 10m 地点の鉛直・水平変位 2cm 以内という変位制限値を満たすのに必要最小限の改良体積を選定した。施工では、盛立開始前に沈下板・変位杭・ひずみゲージ・地中変位計等を各所に設置し、盛立開始からその後の放置期間にかけて動態観測を実施した。

3. 解析条件

表 1 に物性値の一覧を、図 2 に解析メッシュを示す。解析には、汎用解析コード Plaxis 2D Ver9.02 を用いた。対称性を考慮して盛土の半断面をモデル化し、盛土中心から側方境界までを 100m とした。変位の境界条件は底面を固定、側面を鉛直ローラーとし、地表面および下端は排水境界とした。砂層・改良体は線形弾性体、粘土層は関口・太田モデル³⁾（二次圧密係数を 0 としたため弾塑性体）、盛土は Mohr-Coulomb モデルを用い、現地調査をもとに物性を設定した。盛土の荷重過程は要素の積み上げでモデル化した。改良体部分には三次元的な配置を二次元断面にモデル化するにあたり、改良体が

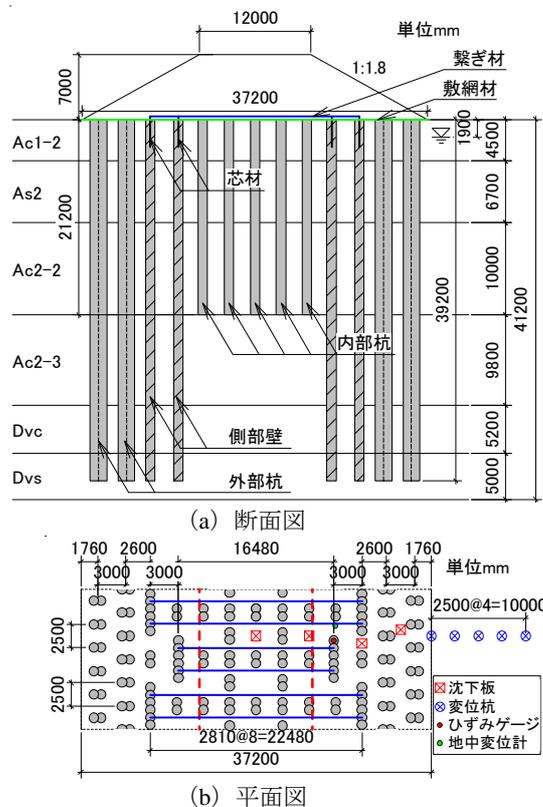


図 1 適用地盤の構成と改良仕様

表 1 解析に用いた物性値一覧

	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	粘着力 c' (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ' (deg.)	変形係数 E (kN/m ²)	間隙比 e_0	圧密降伏応力 p_c (kN/m ²)	圧縮指数 λ	膨張指数 κ	限界状態応力比 M	ポアソン比 ν	透水係数 k (cm/sec)
盛土	19.0	10.0	35.0	28,000	—	—	—	—	—	0.25	1.00×10^{-3}
Ac1-2	14.6	10.0	36.4	1,720	2.13	36.8	0.289	0.029	1.48	0.35	1.30×10^{-6}
As2	18.7	—	—	28,000	—	—	—	—	—	0.25	1.00×10^{-3}
Ac2-2	14.3	10.0	36.2	6,380	2.53	146.1	0.665	0.067	1.47	0.35	3.00×10^{-7}
Ac2-3	15.1	10.0	33.0	7,130	2.00	178.5	0.408	0.041	1.33	0.35	2.30×10^{-7}
Dvc	15.8	10.0	33.0	6,510	1.21	215.7	0.149	0.015	1.33	0.35	1.40×10^{-9}
Dvs	19.0	—	—	70,000	—	—	—	—	—	0.35	1.00×10^{-3}
改良体	19.0	—	—	※	—	—	—	—	—	0.20	各層と同値

※施工した改良体の品質確認結果（粘土層 367~576MPa, 砂層 718MPa）に奥行方向の改良率を乗じて設定。

キーワード 地盤改良, FEM, 有効応力解析, 深層混合処理工法, 試験施工, 再現解析

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設技術センター TEL 045-814-7217

位置する要素で、深度毎に奥行方向の改良率で低減した変形係数を用いるとともに、透水係数は周辺地盤と同値とした。

4. 解析結果

図 3には地表面沈下に関する実測値との比較を示す。(a)の盛土中央部沈下量の経時変化の比較では、実測値は杭間で計測した値を、解析結果は盛土中央部の杭要素上端の値を示している。解析結果は盛立中の傾向を捉えているが、盛立後の圧密挙動は再現できていない。解析上、地盤と側部壁の相互作用を十分モデル化できず、縁切り効果を再現できなかったため、盛土中央部の圧密沈下を過小評価したと思われる。(b)には地表面沈下量分布の比較を示す。ここで、動態観測では盛立作業用の仮設盛土の影響と見られる沈下が観測されたため、盛立完了に合わせた仮設盛土撤去後の約1年について、沈下量増分を比較している。盛土直下では前述の差異が見られるが、盛土周辺の沈下量分布については、解析結果が動態観測結果の傾向を概ね捉えたものとなっている。

図 4には解析断面上の側部壁設置位置(盛土中心から8.24m)において、変位、ひずみの深度方向分布を比較した。(a)の水平変位については、図 1に明示した通り、動態観測では奥行方向で側部壁に挟まれた無改良地盤中で計測している。解析結果は、軟弱粘土層の境界部分で分布の変曲点が生じる点で実測の傾向を捉えているが、全体的な変位量、分布形状には差異がみられる。(b)の鉛直ひずみについては、側部壁中に挿入・設置したひずみゲージの測定値と比較している。ここで、解析結果の深度分布で極端な変化が生じている深度約21mは、奥行き方向の同列上に配置された内部杭の下端に位置する。前述のように、奥行方向の改良率で改良体物性値を補正した今回の手法では、深度21mを境に異なる変形係数を側部壁部に設定することとなり、ひずみ分布に顕著な違いを生じさせる要因になったものと考えられる。

5. まとめ

コラムリンク工法を適用した試験盛土を対象に二次元 FEM による再現解析を行った結果、周辺地盤の変形挙動はある程度再現できる一方で、盛土中央部の圧密沈下傾向や側部壁の応力・ひずみについてはモデルの設定手法に起因すると思われる相違が認められた。コラムリンク工法の予測・評価手法の観点で、適用限界やモデル化手法について、引き続き検討にあたりたい。

謝辞：本報は、土木研究所と民間 13 社で実施した「側方流動対策としての地盤改良技術に関する共同研究」の成果の一部であり、御協力いただきました関係各位に深く感謝いたします。

参考文献：1) Miki, H. Okochi, Y. and Makino, M. : Evaluation of constraint effect of DMM with varied shape and arrangement of stabilized bodies using centrifuge model test, *Proceedings of Indian Geotechnical Conference*, pp.501-504, 2011.
 2) 川崎ら：熊本宇土道路に用いたコラムリンク工法の試験施工動態観測挙動，第 66 回土木学会年次学術講演会，III-026，2011。
 3) Sekiguchi, H. and Ohta, H. : Induced anisotropy and time dependency in clays, Constitutive equations of soils, *Proc., 9th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo, pp.229-238, 1977.

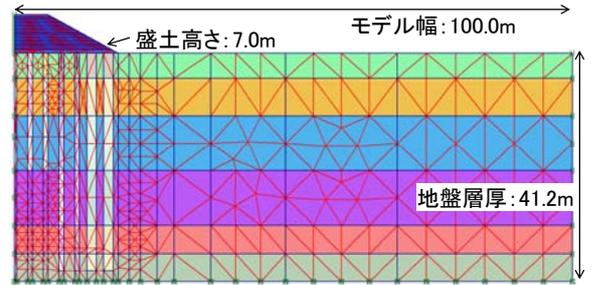
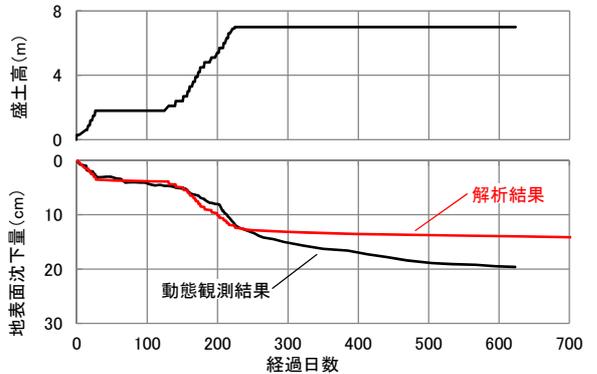
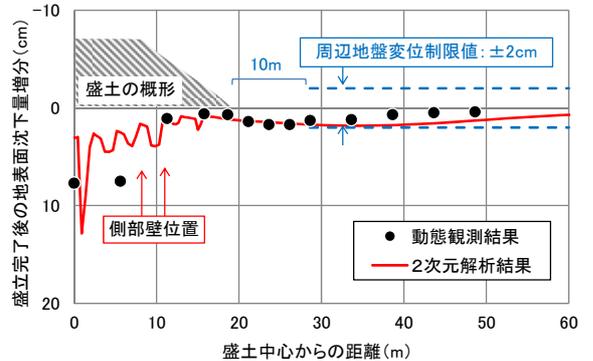


図 2 解析メッシュ

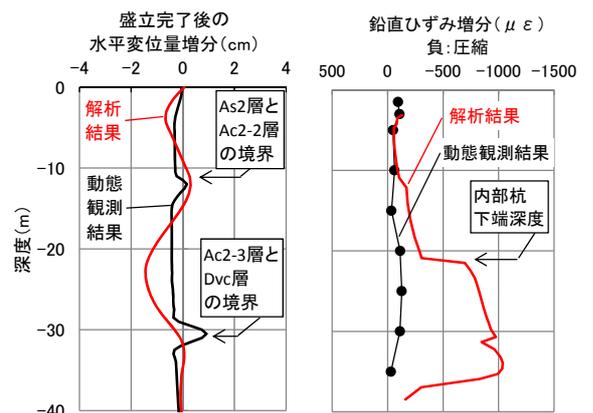


(a) 盛土中央部地表面沈下量の経時変化



(b) 盛立完了後 1 年間の地表面沈下量増分の分布

図 3 地表面における解析と動態観測の比較



(a) 水平変位増分 (b) 鉛直ひずみ増分

図 4 側部壁における解析と動態観測の比較