周辺影響を抑えた深層混合処理地盤改良工法の適用性に関する検証解析

大成建設　正会員　○松井　秀岳　　堀越　研一　　宇野　浩樹
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

１．はじめに

軟弱粘度地盤上に盛土などの構造物を構築する際，沈下対策や安定を目的として深層混合処理による地盤改良が用いられることがあり，最近は，低改良率工法も提案されている．しかし，家屋近傍など，周辺への影響に厳しい制限が設けられた場所においては，地盤の側方流動，引き込み沈下が問題となることがある．筆者らは，経済的かつ周辺地盤への影響を抑制可能な地盤改良工法を提案し，その効果を遠心載荷模型実験[1)]によって確認した．本報告では同遠心載荷模型実験を，２次元FEM解析にて検証した結果について報告する．

２．解析モデルと物性値

図１に解析モデル図（実換算スケールで記載）を，表１に各構成要素に適用したモデル，解析定数を示す．解析定数は，使用した材料（カオリンクレイなど）の要素試験結果や，物性値から決定している．なお，解析には汎用解析コードPlaxis.Ver8[2)]を使用した．

３．載荷過程のモデル化

遠心載荷実験では，含水比を 85%に調整したカオリンクレイを模型容器に投入し，遠心加速度場(60G)において盛土高さ 2.2m 相当(41.8kPa)の応力で予備圧密をして地盤を作成する．

載荷は，載荷マウンド，載荷袋，改良体設置後，剛板を介して盛土高さ 4.8m(91.2kPa)相当の荷重を作用させている．解析では，載荷マウンド，載荷袋を併せて盛土体とし，これらを Mohr-Coulomb 則でモデル化した．剛板は，左端を回転拘束した剛な板要素でモデル化し，板要素を介して実験と同じ荷重相当の等分布荷重を与えることで実験の載荷過程を再現した．

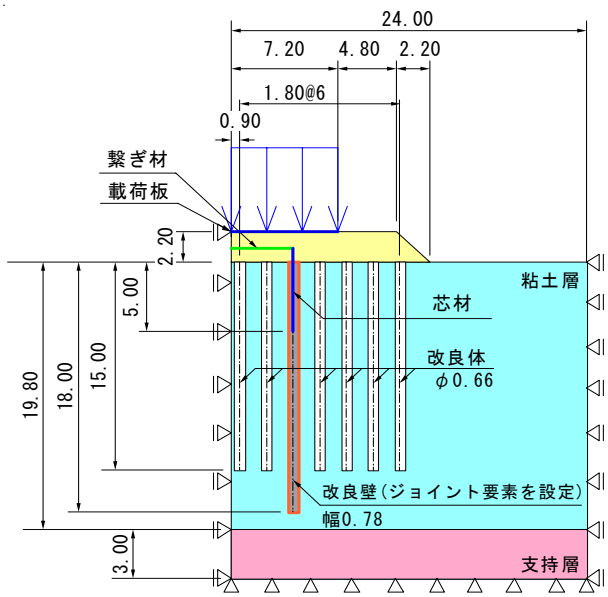

図１　解析モデル(単位：m)

また遠心実験における予備圧密後の除荷（改良体設置過程）を考慮し，先行圧密，先行圧密応力の除荷，改良体の設置，盛土盛り立て，剛板を介しての載荷というステップで解析を進めた．遠心実験同様，各ステップにおいて過剰間隙水圧の消散を確認している．

また，載荷速度は 1.9kPa/day(10cm/day)に設定した．

表１　解析定数一覧

	適用モデル	単位体積重量 γ kN/m³	透水係数 k_x, k_y m/day	ヤング係数 $E^{注1)}$ kN/m²	圧縮指数 λ —	膨潤指数 κ —	粘着力 c' kN/m²	内部摩擦角 φ' deg.	ポアソン比 ν —
粘土	修正 Cam Clay	14.09	3.175×10^{-4}	-	0.275	0.055	10.0	23.8	0.35
盛土	Mohr-Coulomb	19.00	8.640×10^{-1}	28,000	-	-	10.0	30.0	0.25
支持層	Mohr-Coulomb	19.00	8.640×10^{-1}	56,000	-	-	10.0	30.0	0.25
改良壁	弾性要素	17.47	3.175×10^{-4}	320,000	-	-	500.0	0.0	0.20
改良杭	弾性要素	26.46	3.175×10^{-4}	$7.03\times10^{7}\times\alpha$	-	-	-	-	0.35

注１）　α：奥行き方向の改良率（改良率に応じて，改良杭のヤング係数を低減.）

キーワード　深層混合処理，地盤改良，２次元 FEM，遠心載荷試験
連絡先　　大成建設・技術センター（〒245-0051　神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1　TEL 045-814-7217）

４．解析結果

解析ケースは無対策(Case 1)，低改良率着底型（杭式改良）(Case 2)，周辺影響抑制工法(Case 3)の３ケースである．改良を施した２ケースの改良体体積はほぼ同等である．また，平面的にみた改良率は，それぞれ，Case 2 で 10%，Case 3 で 14%となっている．

図２に地表面の鉛直変位分布を示す．同図に示す変位は，高さ 2.2m の盛り立て直前を 0 としている．無対策のケースでは，最終的に盛土直下で約 2m の沈下が発生しているのに対して，改良を施した他の２ケースでは沈下が大きく抑制されていることがわかる．改良ケース(Case 2, 3)では，盛土周辺の自由地盤部分においても，地盤の隆起が抑えられている．また，周辺影響抑制工法(Case 3)は盛土中心直下で着底形式の５倍近い沈下が出ているにも関わらず，周辺自由地盤の変形が抑えられている状況がわかる．

着底のケースにおいて，遠心実験の結果に比べて，解析結果が小さくなった．解析は２次元であるため，改良杭の剛性を低減して粘土のすり抜けを評価するよう試みたが，基本となる改良杭の剛性が高く，変形が生じにくいために，着底ケースの変位が小さくなったと考えられる．

図３に地表面の水平変位分布を示す．鉛直変位同様提案形式で見られる変位は，無対策ケース(Case 1)と比較して小さく，かつ，着底ケースと同等になっており，水平変位に対しても周辺地盤への影響が小さくなっていることがわかる．

図４に周辺影響抑制工法(Case 3)の水平変位コンターを示す．改良杭が支持層に到達していないため，改良部直下の粘土が側方にはらみだす傾向が見られるが，改良壁内側の水平変位は小さく抑えられていることがわかる．また法尻直下の改良体下部付近に発生している地盤変位も，地表面の変位性状にはさほど影響していない．

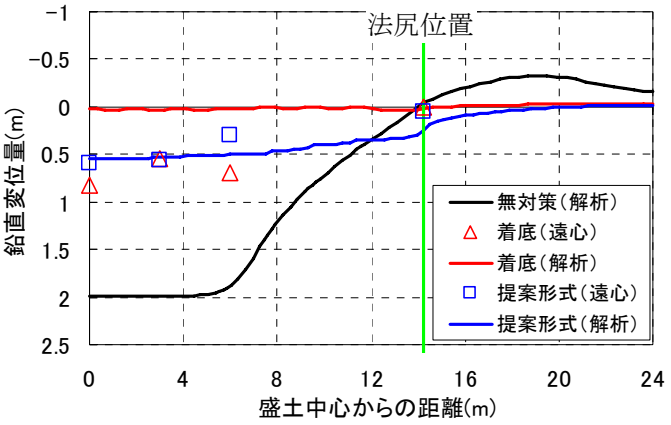

図２　地表面鉛直変位（正：沈下）

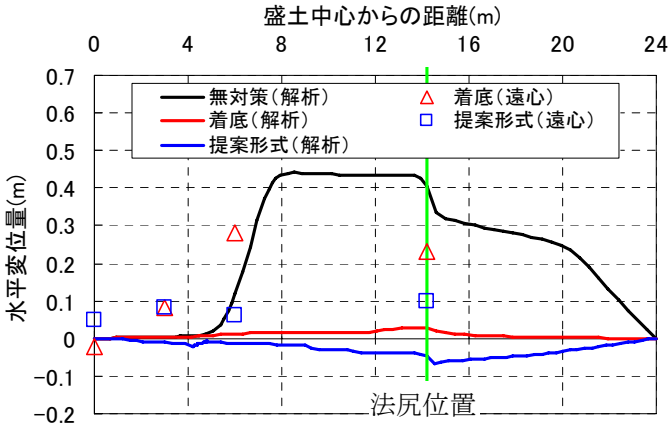

図３　地表面水平変位（正：押し出し）

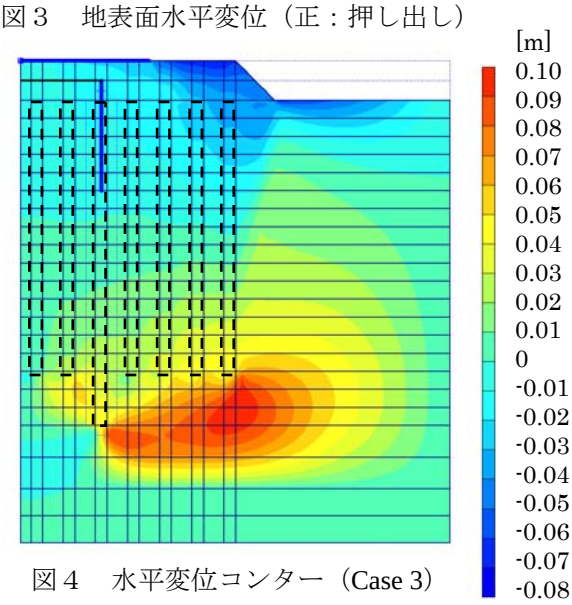

図４　水平変位コンター（Case 3）

５．まとめ

軟弱粘土地盤上の盛土に関して，周辺地盤への影響を抑制可能な深層混合処理工法について，その効果を２次元 FEM 解析を用いて検証した．提案形式は盛土直下の沈下を許容するものの，周辺への影響を抑制することが明らかになり，家屋近接部など，周辺への影響に制限が設けられた場所への適用性が示された．

謝辞　本報告は土木研究所と民間 13 社で実施している「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)堤祥一，小橋秀俊，澤松俊寿：周辺地盤への影響を抑制できる地盤改良工法の遠心模型実験による検討，第 60 回土木学会年次講演会，投稿中，2009

2) Plaxis ホームページ：http://www.plaxis.nl/