

格子状改良・排水工法の液状化対策効果に関する試計算 (その 4)

—排水材配置を考慮した 2 次元有効応力解析—

西松建設(株)土木設計部 (正) ○小宮隆之 (正) 平野孝行 (正) 齋藤禎二郎 (正) 土屋光弘

西松建設(株)技術研究所 (正) 佐藤靖彦 (正) 今村眞一郎 群馬大学大学院理工学府 (正) 蔡飛

1. はじめに

東日本大震災などを契機に、戸建て住宅、公共施設、工場設備等の既設建物に適用可能な液状化対策の研究開発が進められた。筆者らは、既設建物に求められる耐震レベルに応じた対策工のメニューを提供できるようにするために、格子状改良工法と排水工法を併用した液状化対策の検討を実施している。これまでに遠心模型実験や 2 次元動的有効応力解析プログラム UWLC2D を用いた再現解析を通して、その適用可能性を確認するとともに、実地盤モデルへの適用性についても確認している¹⁾²⁾。本報では、実施工時の制約条件を考慮した排水材設置範囲のモデルを用いて解析を実施した結果について報告する。

2. 解析条件

(1) 検討ケース：解析は、表 1 に示す無対策 (C1) と格子状改良工法と排水工法を併用した場合 (C2, C3、以後、併用工法) について実施した。排水材の設置範囲は、C2 では建物直下全域、C3 では既設構造物供用中における対策工の施工を考慮し、排水材の斜め打設を想定して建物直下に排水材非打設部を残した (図 1)。排水材については、ドレーン慣用設計法により水平震度 $k_h=0.17$ の地震時に先端部で過剰間隙水圧比が 0.5 以下となるように、排水材換算直径が 100 mm、排水材先端における間隔が 1.0m の正方形配置仕様とした。また、格子壁は深層混合処理工法を想定し、厚さ 0.8m、設計基準強度 $q_{uck}=1,000\text{kN/m}^2$ とした。

(2) 解析モデル：本検討は、地盤、格子壁を平面ひずみ要素、建物を線形梁要素によりモデル化し、2 次元動的有効応力解析で実施した (図 1)。奥行方向の平行格子壁は左右の直交格子壁を水平梁要素で連結することにより表現した²⁾。排水材は 3 次元解析と同様に、排水効果を等価な地盤鉛直透水係数 k_{ve} ³⁾ により評価し、斜め打設を想定した排水材はその打設角度を考慮して、鉛直、水平方向透水係数で評価した。建物荷重は、節点集中質量要素として梁要素の交点に設けた。

(3) 対象地盤、構造物：対象地盤は、水平成層地盤 (図 1, 表 2) を想定した。各土層の物性値および液状化パラメータは既往の地質調査結果を参考にして設定し、地下水位は $GL-0.4\text{m}$ とした。構成則については、液状化層、排水材は PZ-sand モデル (有効応力モデル)、非液状化層、地下水位以浅の土層は RO モデル (全応力モデル) とした。なお、As-u 層と Asc-s 層を入替え、地表面付近がより液状化しやすい地盤 (地盤 2) についても同様の解析を実施した。対象構造物は、平面寸法は $21.5\text{m}\times 50\text{m}$ の 3 階建ての鉄骨造とし、基礎形式はスラブ厚 450mm の直接基礎とした。

(5) 入力地震動：解析モデル底面 (Ds-2 層下面) における入力地震動 (図 2) は、首都直下地震を想定したもの (最大加速度 311gal) であり、過剰間隙水圧が完全に消散するまで解析を行った。

キーワード 液状化対策, 格子状改良工法, 排水工法, 2 次元動的有効応力解析, 対策範囲

連絡先 〒105-6310 東京都港区虎ノ門 1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー10 階 西松建設(株)土木設計部 TEL03-3502-7638

表 1 解析ケース

解析ケース	対策内容
C1	無対策
C2	格子壁 + 排水対策 1 格子壁：内寸 $25\text{m}\times 53.4\text{m}$ 、厚さ 800mm 排水材：建物直下全域@1.0m
C3	格子壁 + 排水対策 2 格子壁：内寸 $25\text{m}\times 53.4\text{m}$ 、厚さ 800mm 排水材：斜めドレーン@1.0m、建物直下に非打設部あり

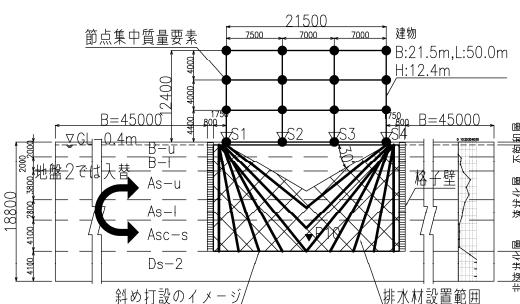


図 1 解析モデル (C3 の場合)

表 2 土層構成 (地盤 1)

土層	下端深度 (GL-m)	層厚 (m)	平均 N 値	透水係数 (cm/sec)
埋土 B-u	-2.0	2.0	0	8.50×10^{-5}
埋土 B-l	-4.0	2.0	7	1.75×10^{-3}
細砂 As-u	-7.8	3.8	25	2.64×10^{-3}
シルト混じり細砂 As-l	-10.6	2.8	14	9.55×10^{-3}
シルト質細砂 Asc-s	-14.7	4.1	3	1.08×10^{-4}
シルト混じり細砂 Ds-2	-18.8	4.1	≥ 50	2.69×10^{-3}

地盤 2 では太枠内を入替

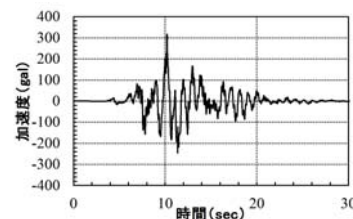


図 2 入力地震動

3. 解析結果

(1) **過剰間隙水圧**：過剰間隙水圧は建物直下の Asc-s 層（地盤 2 では As-u 層，図 1 の P10）で抽出した．各検討ケースの過剰間隙水圧時刻歴を図 3 に示す．C1-地盤 1，C1-地盤 2（無対策）では，加振中には，過剰間隙水圧の消散がみられなかった．一方，C2-地盤 1，C3-地盤 1，C2-地盤 2，C3-地盤 2（併用工法）では加振中の過剰間隙水圧の蓄積が抑制され，かつ加振中から過剰間隙水圧の消散が確認された．

(2) **建物沈下量**：建物沈下量は柱位置の 4 箇所（図 1 の S1～S4）で抽出した．最も沈下量が多い S1 における沈下量時刻歴を図 4 に示す．入力加速度が最大となる 10 秒以降から 20 秒にかけて大きな沈下が発生している．各検討ケースの過剰間隙水圧消散後における沈下状況を図 5 に示す．C1-地盤 1（無対策）と比べ，C2-地盤 1，C3-地盤 1（併用工法）の沈下量は小さく，また，C2-地盤 1 と C3-地盤 1 の沈下差は小さいことが判明した．今回のケースでは，建物直下に排水材非打設部を残しても，全域に打設した場合と同様の変位抑制効果があることを示している．土層を入れ替えた地盤（地盤 2）でも同様の傾向が見られた．

(3) **建物傾斜**：建物の使用の観点からは，地震後の建物傾斜（ $\Delta S/L$ ， ΔS ：不等沈下量， L ：2 点間距離）が，ひとつの評価指標となる．表 3 に過剰間隙水圧消散後における建物傾斜の比較を示す．最も大きい建物傾斜は C1-地盤 2（無対策）で生じ，8/1,000 程度であった．また，併用工法の場合，建物傾斜が小さくなる傾向が確認できた．

(4) **過剰間隙水圧の消散に伴う沈下**：図 4 に示すように，加振終了時においては，C1-地盤 1（無対策）の沈下量は小さいものの，その後過剰間隙水圧の消散に伴い沈下が生じる．図 6 は加振終了時と過剰間隙水圧の消散過程の沈下量を示している．C1-地盤 1，C1-地盤 2（無対策）の沈下量は加振終了時では併用工法より小さいか同程度であるが，消散に伴う沈下量が大きいため最終沈下量は，併用工法よりも大きくなっている．その傾向は，地表面付近が液状化しやすい地盤（C1-地盤 2）において，顕著に表れている．建物直下に排水材非打設部を残した場合（C3-地盤 1，C3-地盤 2）の消散過程の沈下量は，建物直下全域に排水材を打設した場合（C2-地盤 1，C2-地盤 2）と比べわずかに大きいものの最終沈下量は同程度であり，部分的に排水材非打設部を残した場合についても，変位抑制効果がある結果となった．

4. まとめ

2 種類の実地盤で建物直下に排水材の非打設部を残したモデルについて解析を行ったところ，全域に排水材を打設した場合と同程度の変位抑制効果がある結果を得ることができた．この結果より，耐震レベルに応じた対策工のメニューを提供するための手法として，本解析手法の有用性が得られたと考える．

参考文献 1)土屋ら：格子状改良・排水工法による液状化対策効果についての解析的検討（その 1）－2 次元有効応力解析による遠心模型実験の再現解析－，土木学会第 70 回年次学術講演会，2015． 2)小宮ら：格子状改良・排水工法の液状化対策効果に関する試算（その 1）－実地盤モデルのケーススタディと 2 次元有効応力解析，土木学会第 71 回年次学術講演会，2016． 3)蔡ら：格子状改良・排水工法による液状化対策効果についての解析的検討（その 2）－3 次元有効応力解析による遠心模型実験の再現解析－，土木学会第 70 回年次学術講演会，2015．

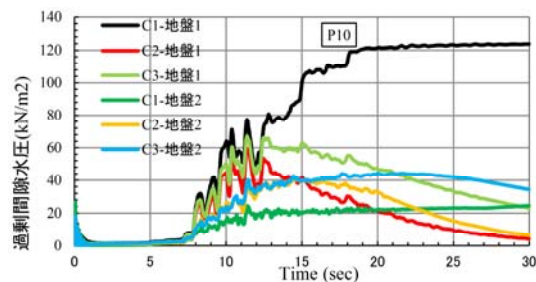


図 3 過剰間隙水圧時刻歴

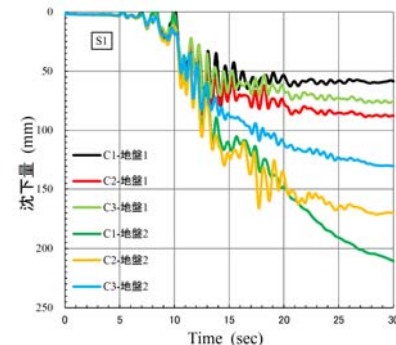


図 4 沈下量時刻歴

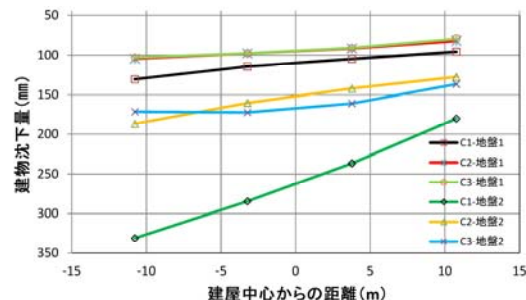


図 5 沈下状況(過剰間隙水圧消散後)

表 3 建物傾斜(過剰間隙水圧消散後)

	$\Delta S=S1-S2$ $L=7.5m$	$\Delta S=S2-S3$ $L=7.0m$	$\Delta S=S3-S4$ $L=7.0m$
C1-地盤1	2.1E-03	1.4E-03	1.3E-03
C2-地盤1	8.9E-04	9.0E-04	1.4E-03
C3-地盤1	7.1E-04	9.9E-04	1.7E-03
C1-地盤2	6.2E-03	6.9E-03	8.1E-03
C2-地盤2	3.5E-03	2.6E-03	2.1E-03
C3-地盤2	-1.1E-04	1.6E-03	3.5E-03

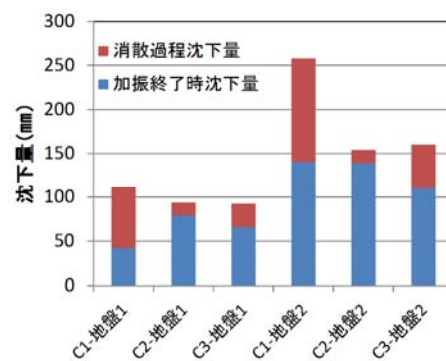


図 6 最終沈下量の比較(S1～S4 の平均)