

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） ー実地盤モデルのケーススタディと2次元有効応力解析ー

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 群馬大学大学院理工学府（正）蔡飛

1. はじめに

2011年に発生した東日本大震災をきっかけに、戸建て住宅、公共施設、民間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ている。筆者らは、既設建物に対する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として、遠心模型実験、およびその再現解析を実施し、2次元動的有効応力解析プログラム UWLC2D により模型実験を概ね再現できることを確認している¹⁾。

本報告では、実地盤モデルをケーススタディとして実施した格子状改良と排水工法の液状化対策効果に関する試算結果について考察する。

2. 解析条件

(1) 検討ケース：解析は、表1に示す無対策（C1）、格子状改良工法と排水工法をそれぞれ単独で対策した場合（C2, C3, C4）と両工法を併用した場合（C5, C6）について実施した。排水材は直径100mmの人工材料とし、許容過剰間隙水圧比0.5を満足するように、ピッチは1.0m ($k_h=0.17$), 0.6m ($k_h=0.26$)と設定した。また、格子壁は深層混合処理工法を想定し設計基準強度 $q_{uck}=1,000\text{kN/m}^2$ 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て2次元動的有効応力解析により行った（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。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} ²⁾により評価した。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：対象地盤は沿岸の埋立地とし、図1、表2に示すように水平成層地盤を想定した。地下水位は $GL-0.4\text{m}$ とした。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設定した。解析に用いた構成則は、液状化層、排水材を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をROモデル（全応力モデル）とした。

(4) 対象構造物：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。平面寸法は $21.5\text{m} \times 50.0\text{m}$ 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。なお、図2は、 $V_s=700\text{m/sec}$ の基盤面から引き戻し計算を行い設定したものである（最大加速度 311gal ，加振時間30秒）。

表1 解析ケース

解析ケース	対策内容
C1 無対策	対策なし
C2 格子壁単独	格子壁：内寸 $25\text{m} \times 53.4\text{m}$ 、厚さ 800mm
C3 排水対策1	排水材：建物直下および周辺 1.0m ピッチ
C4 排水対策2	排水材：建物直下および周辺 0.6m ピッチ
C5 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：建物直下および周辺 1.0m ピッチ
C6 格子壁＋排水対策2	格子壁：内寸 $25\text{m} \times 53.4\text{m}$ 、厚さ 800m 排水材：建物直下および周辺 0.6m ピッチ

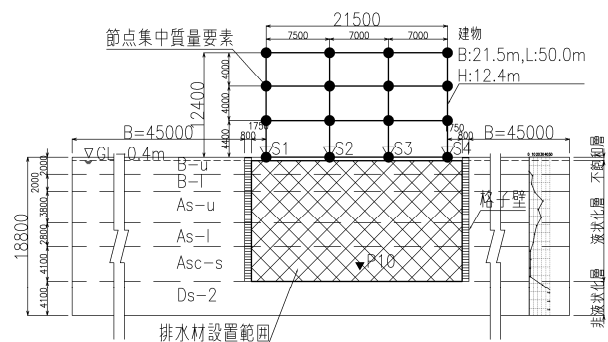


図1 解析モデル

表2 土層構成

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}

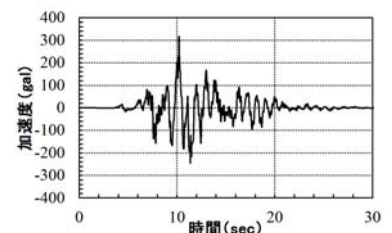


図2 入力地震動

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、実地盤

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

3. 解析結果

(1) **過剰間隙水圧**：過剰間隙水圧は建物直下のシルト質細砂 (Asc-s) 層 (図 1 中の 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 (無対策), C2 (格子壁単独) では、加振終了時において過剰間隙水圧が残留している。一方、排水対策のみの C3, C4, 併用工法の C5, C6 では、加振途中から過剰間隙水圧の消散が確認され、排水材間隔 0.6m の場合 (C4, C6) では、加振終了時に過剰間隙水圧はほぼゼロとなっている。

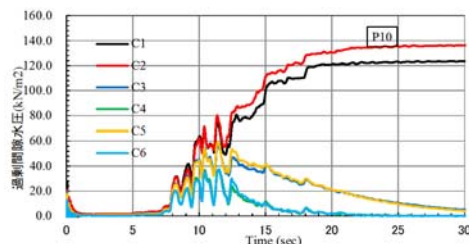


図 3 過剰間隙水圧時刻歴

(2) **建物沈下量**：建物沈下量は柱位置の 4 箇所 (図 1 中の S1~S4) で抽出した。各検討ケースの加振終了時における沈下状況を図 4 に示す。C2 (格子壁単独) の沈下量が最も小さく、C1 (無対策), C5, C6 (格子壁+排水対策), C3, C4 (排水対策) の順で沈下量が大きくなる傾向となった。これは、格子壁による変位抑制効果が再現できたことを示している。また、建物左側の沈下量が大きい傾向がすべてのケースで認められたが、これは建物左側の柱間隔が他と比べ大きいためと考えられる。最も沈下量が大きい S1 における沈下量時刻歴を図 5 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。20 秒以降では沈下の急増傾向は生じていないものの、過剰間隙水圧が残留している C1, C2 では、過剰間隙水圧の消散に伴う沈下を評価する必要がある。

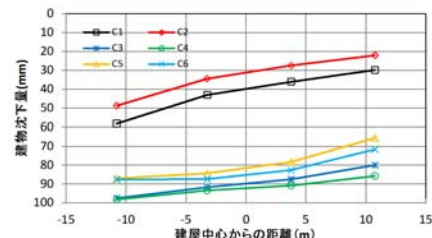


図 4 沈下状況

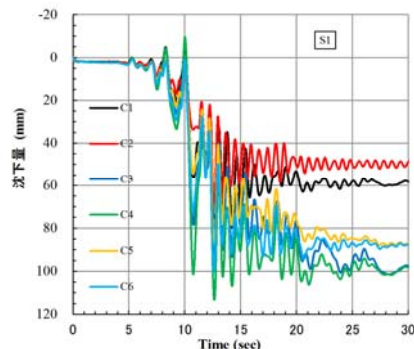


図 5 沈下量時刻歴

(3) **建物傾斜**：建物の継続使用・事業継続・機能の早期回復の観点からは、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 に加振後 30 秒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 (無対策) で生じ、2/1000 程度であった。また、排水材を 0.6m ピッチ (C4, C6) とした場合には 1.0m ピッチ (C3, C5) の場合と比較して建物傾斜が小さくなる傾向が確認できた。

表 3 建物傾斜

	$\Delta S=S1-S2$ $L=7.5m$	$\Delta S=S2-S3$ $L=7.0m$	$\Delta S=S3-S4$ $L=7.0m$
C1	2.0E-03	9.9E-04	9.0E-04
C2	1.9E-03	1.0E-03	7.6E-04
C3	7.7E-04	6.0E-04	1.1E-03
C4	6.5E-04	3.6E-04	7.3E-04
C5	3.5E-04	8.7E-04	1.8E-03
C6	2.1E-05	6.9E-04	1.6E-03

(4) **過剰間隙水圧の消散に伴う沈下**：図 4, 5 に示すように、加振終了時においては、C1 (無対策), C2 (格子壁単独) の沈下量は小さいものの、図 3 に示すように、過剰間隙水圧が残留しているため、その消散に伴う沈下が生じるものと考えられる。

C1, C2 の解析終了時に Asc-s 層では過剰間隙水圧比がほぼ 1 となっていることから、Asc-s 層に対して Ishihara et al.³⁾の方法に準じて体積ひずみ $\varepsilon_v=3.5\%$ を加算し、過剰間隙水圧消散による沈下量を求めた (図 6)。なお、図 6 では柱位置 4 箇所の平均の沈下量で比較している。図 6 から、C1, C2 で想定される沈下量は、C3~C6 で想定される沈下量より大きくなり、格子壁と排水対策を併用することにより、沈下量は 5 割程度に低減できる結果となった。

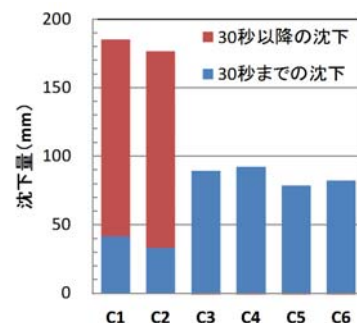


図 6 最終沈下量の比較

4. まとめ

実地盤モデル上に位置する建物に対して、格子状改良や排水工法を解析的に評価する手法の適用の可能性が示された。今後は土層構成の違いによる対策効果の確認や実際の施工を考慮した排水材設置範囲の検討を進める予定である。

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)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。 3)Ishihara et al. : Evaluation of Settlement in Sand Deposits Following Liquefaction During Earthquake, Soils and Foundations, Vol.32, No.1, 173-188, Mar.1992.