大間隔格子状改良および排水材併用 工法による液状化対策効果の数値解析的検討

蔡 飛1・狩野 圭喬2・佐藤 靖彦3・今村 眞一郎4・土屋

| 小宮 隆之6・平野 孝行7・齋藤 禎二郎8 | | | | |
|---|------|--|--|--|
| ¹ 正会員 群馬大学大学院准教授 理工学府環境創生部門(〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5 E-mail: feicai@gunma-u.ac.jp | -1) | | | |
| ² 学生会員 群馬大学大学院 理工学府博士前期課程(〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1) E-mail: t171c013@gunma-u.ac.jp | | | | |
| ³ 正会員 西松建設株式会社 技術研究所(〒105-0004 港区新橋6-17-21 住友不動産御成門駅前上 E-mail: yasuhiko_sato@nishimatsu.co.jp | ゴル) | | | |
| ⁴ 正会員 西松建設株式会社 技術研究所 (〒105-0004 港区新橋6-17-21 住友不動産御成門駅前上 E-mail: shinichiro_imamura@nishimatsu.co.jp | ゴル) | | | |
| ⁵ 正会員 西松建設株式会社 土木設計部(〒105-6310 港区虎ノ門1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー1 E-mail: mituhiro_tutiya@nishimatsu.co.jp | 10階) | | | |
| ⁵ 正会員 西松建設株式会社 土木設計部(〒105-6310 港区虎ノ門1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー1 E-mail: takayuki_komiya@nishimatsu.co.jp | 10階) | | | |
| ⁷ 正会員 西松建設株式会社 土木設計部(〒105-6310 港区虎ノ門1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー1 E-mail: takayuki_hirano@nishimatsu.co.jp | 10階) | | | |
| ³ 正会員 西松建設株式会社 土木設計部(〒105-6310 港区虎ノ門1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー1 E-mail: teijiro_saito@nishimatsu.co.jp | 10階) | | | |
| | | | | |

東北地方太平洋沖地震により関東地方でも広範囲で液状化現象が発生し、戸建て住宅や公共施設に被害 が生じ、生活に支障をきたす状況に陥った.本研究では、市街地や既設構造物にも適用可能な大間隔格子 状改良および排水材併用工法による液状化対策効果について、液状化しやすい地層の深さが異なる2種類 の地盤を対象とした数値解析的検討結果を報告する.特に、大間隔格子状改良において、加振方向の格子 壁内に生じたせん断応力は加振直角方向の格子壁内に生じたせん断応力より約2倍大きいことがわかった.

Key Words : liquefaction mitigation, latticed walls, drains, three dimensional numerical analysis

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震により関東 地方でも広い範囲で液状化現象が生じ,東京湾岸および 利根川下流沿岸を中心に戸建て住宅や公共施設などに被 害を多く被った.そのため,今後発生が危惧される南海 トラフ地震や首都直下地震のような強い地震に対して, 液状化被害の低減化を図るために,宅地と公共施設の一 体的な液状化対策を事前に検討することが望まれる.

これまでに多くの液状化対策工法が開発され,各工法 ともに施工性やコストなどに一長一短があることは否め ない¹⁾⁻³⁾.既設構造物に適用可能な格子状改良工法にお いては、寸法比(格子間隔/改良深さ)は L1 および L2 地震動に対しそれぞれ概ね 0.8 および 0.5 以下が適当と され、格子間隔が広くなると、格子内原地盤の過剰間隙 水圧比が急激に上昇し、液状化対策効果が低下する 4-9. 以降、前述の限界寸法比を超えた格子状改良工法を大間 隔格子状改良工法と呼ぶ.

光弘5•

また,排水工法においては,地震動が大きければドレ ーン間隔を小さくしても地盤内の過剰間隙水圧が急激に 上昇し,ドレーンによる排水が間に合わず,地盤が液状 化してしまうことが懸念される.

そのため,既設公共施設や民間工場などの周辺に格子 状改良工法配置のみでは液状化対策効果の低下が懸念さ れる場合を想定し、大間隔格子状改良工法と排水工法を 併用した液状化対策工法のメカニズム、対策効果、建物 の沈下抑制効果などを検討するため、これまで、①既往 に行われた動的遠心模型実験ⁿを3次元動的有効応力解 析 UWLC3D を用いて再現解析、②再現解析により得ら れた知見・解析条件を基に、動的遠心模型実験を行って いないケースについてケーススタディを行ってきた⁸.

本研究では、東北地方太平洋沖地震において液状化現 象が確認された地盤1を対象とし、大間隔格子状改良工 法および排水工法を併用した液状化対策工法のメカニズ ム,対策効果,建物の沈下抑制効果などを3次元動的有 効応力解析により検討する. 大規模な構造物において, 無対策,大間隔格子状改良工法単独,排水工法単独,大 間隔格子状改良工法および排水工法の併用工法を比較し、 大間隔格子状改良工法および排水工法の併用工法におけ る建物の沈下抑制効果等の液状化対策効果を検討する. また、液状化しやすい地層の深さの違いが液状化対策工 の効果に与える影響を定量的に検証するため、地盤1に 深い位置に存在する液状化しやすい地層と浅い位置に存 在する液状化しにくい地層と入れ替えた地盤2において も地盤1と同様な検討を実施する. さらに、大間隔格子 状改良工法において,加振方向と加振直交方向の格子壁 内に生じる水平せん断応力に関する考察を行う.

2. 解析の概要

(1) 地盤条件

地盤1は湾岸区域の地盤を想定した.対象地盤のボー リング柱状図を図-1 に示す.対象地盤のボーリングな どの地質調査結果に基づき水平成層地盤を想定した. ま た,地下水位は地表面下0.4m, B-u層にある. 地盤調査 の結果より、B-I層、As-u層、As-I層の細粒分含有率は8% ~20%と低く, Asc-s層の細粒分含有率は40%程度であり, 何れの地層の塑性指数はNP(Non-Plastic)であるから, この4つの地層は液状化する恐れがあると推察された. 各地層をサンプリングし,繰返し非排水三軸試験より求 めた液状化強度を図-2に示す.図-2より、Asc-s層(深 さ:-10.6~-14.7m)の液状化強度は最も低いことがわか る. また, 各層の透水係数は, 既往調査の現場透水試験 が行われた地層はその結果を使用し、他の地層に関して は、粒度試験結果よりCreagerの方法を用いて、粒径加積 曲線からDaより決定した.表-1に各地層の透水係数を 示す.

地盤2はAsc-s層(深さ:-10.6~-14.7m, 液状化強度: 0.245)とAs-u層(深さ:4.0~-7.8m, 液状化強度:0.56) における液状化強度を含む地盤材料特性を入れ替えて設 定した. 原地層の厚さは変えなかったため,地盤2の液 状化しやすい地層の厚さは地盤1より約10%薄くなった.

地盤1と地盤2において、後述の解析ケースをそれぞれ 実施し、液状化しやすい地層の深さの違いが大間隔格子 状改良工法および排水工法を併用した液状化対策工の効 果に及ぼす影響を検討した。



図-1 既往調査で行われた貫入試験結果



図-2 液状化強度曲線(両振幅軸ひずみ5%,点は実験結果, 実線は同定結果)

表-1 Creager による D20 と透水係数

| 地層名 | $D_{20}[mm]$ | 透水係数[m/s] |
|------------------------|--------------|-----------------------|
| B-u (地下水位以下) | 0.026 | 8.50×10 ⁻⁷ |
| B-l | 0.096 | 1.75×10 ⁻⁵ |
| As-u | 0.12 | 2.64×10 ⁻⁵ |
| As-l | 0.077 | 9.55×10 ⁻⁵ |
| Asc-s | 0.029 | 1.08×10 ⁻⁵ |

表-2 解析ケース一覧

| Case | | 排水ドレーンの配置 | | |
|-----------|----------------|-----------------|--|--|
| C1 | 無対策 | - | | |
| C2 | 格子状改良単独 | - | | |
| 0 | C3 排水工法単独1 | 建物直下及び周辺 | | |
| CS | | 配置間隔 1.0m ピッチ | | |
| CA | C4 排水工法単独 2 | 建物直下及び周辺 | | |
| 04 | | 配置間隔 0.6m ピッチ | | |
| C5 | C5 併用工法 1 | 建物直下及び周辺 | | |
| | | 配置間隔 1.0m ピッチ | | |
| 0 | C6 併用工法 2 | 建物直下及び周辺 | | |
| 60 | | 配置間隔 0.6m ピッチ | | |
| 07 | | 格子壁内周辺地盤のみ | | |
| C/ 饼用上法 3 | 饼用上 云 3 | 配置間隔 1.0m ピッチ | | |
| C8 | 併用工法4 | 格子壁内周辺地盤のみ | | |
| | | 配置間隔 0.6m ピッチ | | |
| C9 | 併用工法5 | 斜めに打設 | | |
| | | 先端配置間隔 1.0m ピッチ | | |

注:格子壁内寸は25.04m×53.44m, 深さ14.7mである.

(2) 解析ケース

地盤1および地盤2における大間隔格子状改良工法・ 排水工法の併用工法の液状化対策効果検討では,**表-2** に示す9ケースについて解析を行った.格子状改良工法 の内寸と深さはいずれのケースも同じである.その内寸

(25.04m×53.44m) は既設構造物の平面サイズにより決 められ,深さ(14.7m)は地盤1のAsc-s層の底面までと した. 格子壁の寸法比(格子間隔心良深さ)は1.7もあ り、格子状改良のみでは、格子内原地盤の過剰間隙水圧 比が急激に上昇し、液状化対策効果が低下すると予想さ れる. そのため、排水工法との併用工法も検討した. ま た、既設構造物の直下に排水ドレーンを施工することが 困難となるケースを考えられるため、既設構造物と格子 壁との間の空間で斜めに打設できる範囲内に排水ドレー ンを配置したケース C9 (図-3) の解析も行った. C9 に おける排水ドレーンの打設仕様としては、①建物外周の 加振方向にのみ排水ドレーンを打設, ②建物直下の打設 範囲は地表面から 30°~90°の範囲, ③排水ドレーンの打 設本数はドレーン先端で 1m ピッチとなるように格子壁 奥行方向 lm あたり 18本とした. 排水材の打設角度を1 本ずつ増加させることによって建物直下全体に排水材の 排水効果を十分に得られるように打設している.

また,液状化しやすい地層が深い地盤1と液状化しや すい地層が浅い地盤2について,それぞれCl~C9を解 析した.以降,地盤1はCl-1~C9-1とし,地盤2はCl-2~C9-2とする.



図-3 斜めに打設された排水ドレーン(左側のみを表示,左 上は地表面での排水ドレーンの配置図)



図-4 GL-18.8m での入力地震波

(3) 入力地震動

本検討では首都直下型地震を想定し,2005年に公表 された中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」⁹ で検討された東京湾北部地震の基盤地震動を用いた.そ の基盤地震動の加速度時刻歴は、*V*=400m/sの地層上面 (図-1 に GL-59.4m)で最大加速度が384gal と想定され たものである.

地盤1および地盤2を対象とした液状化解析では,現 地調査の標準貫入試験結果より,Ds2層のN値が50を 上回る結果から,解析対象範囲はGL-18.8mを解析対象 底面部とした.解析対象底面GL-18.8mにおける入力加 速度波形(図-4)は,地表面からGL-59.4mまでの1次 元動的有効応力解析により求めた.

(4) 解析の概要

本解析で用いた解析プログラムは UWLC3D¹⁰である. 表-2に示される9ケースについて3次元モデルを作成し 解析を実施した.解析対象領域は,要素数の制約および 解析時間の短縮のために,対称性を利用し地盤および構 造物の半分のみを対象領域とした.更に,排水工法を導 入したケースにおいて,排水ドレーンの効果を等価透水 係数法を用いて考慮した.

解析で用いた各 Case の有限要素分割は同じであるが, 格子壁また排水ドレーンの有無は要素の材料番号の変更 より設定した. C7 の解析に用いたメッシュを図-5 に示 す.各有限要素分割図において,格子壁を導入したケー スでは,格子壁付近では材料が異なるため,大きなひず みが発生することが予想される.そのため,格子壁内側 の地盤に薄層を設けることで,ひずみを精度良く捉える ことを可能にした.なお,本解析は二次要素(20節点 アイソパラメトリック要素)を用いた.上部の突起は, 重心のずれによる重量の違いを3層で表現した建物であ る.図-5 に灰色の要素は格子壁,オレンジ色の部分は 格子壁内に既設構造物周辺に等価鉛直透水係数を用いた

初期応力解析では、格子壁は原地盤の後に施工される ことを考慮し、格子壁の要素は地盤の物性値を与えて初 期応力解析を実施した.初期応力解析における境界条件 は、解析モデル底面部を固定境界、各側面の境界条件は 側面法線方向のみ固定境界とした.

排水ドレーンが配置された液状化層をそれぞれ表現した.

動的解析における境界条件は、解析モデル底面部を固 定境界とした.解析モデル側面部の境界条件において、 加振方向の側方境界には、成層地盤であるため MPC 等 変位境界条件を設定し、加振直交方向には側面法線方向 のみ固定境界とした.なお、解析には、図-4 に示され る波形を地盤底面の入力加速度とした.

解析には液状化層は PZ-sand モデル¹¹,地下水位以上 に位置する厚さ 0.4m の不飽和 B-u 層と Ds2 層は Ramberg-Osgood モデル (RO モデル)を用いた.格子壁 および建物はソリッド要素を用いて線形弾性モデルとし た.PZ-sand モデルを用いた非液状化層及び液状化層の 地盤の構成則のパラメータは、繰返し非排水三軸試験結 果に基づいて、UWLC 同梱の要素試験シミュレーショ ンを用いて同定した.図-2 に液状化層および非液状化 層の液状化強度曲線(点は実験結果、実線は同定結果) をそれぞれ示す.また、RO モデルを用いた不飽和層 Bu 層および Ds2 層の物性値および材料定数は各々の地層 の V₅から算定した G₀および室内試験で測定した G/G₀~γ 曲線および h~γ 曲線より同定した.



3. 多層地盤の排水ドレーンのモデル化手法

排水ドレーンを導入したケースの3次元動的有効応力 解析を行う際,排水ドレーンを詳細にモデル化したほう がより高い解析精度が期待できるが,要素数の制約およ び解析時間の短縮化のために,単一地層地盤の等価鉛直 透水係数法という排水ドレーンのモデル化手法を提案し た⁹. 今回の解析には,多層地盤のため,排水ドレーン が打設される深さ範囲内の地層の平均水平透水係数と平 均鉛直透水係数を用いて,多層地盤の排水ドレーン打設 範囲内の等価鉛直透水係数を求めた.解析には,多層地 盤の排水ドレーン打設範囲内の地層の鉛直透水係数は地 層の元の鉛直透水係数によらずに,等価鉛直透水係数と し,水平透水係数は元の地層の水平透水係数を用いた.

排水ドレーンを斜めに打設する場合,斜め排水ドレーンは加振方向に平行な面(図-5にxz面)内に打設するため,奥行き水平方向(図-5にy方向)の透水係数は 原地盤の透水係数を用いた.排水ドレーン打設範囲内の 地層における xz 面内の透水係数は次のように設定した.

$$\begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xz} \\ k_{zx} & k_{zz} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_s & 0 \\ 0 & k_{ve} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$
(1)
$$= \begin{bmatrix} k_s \sin^2\theta + k_{ve} \cos^2\theta & (k_s - k_{ve})\sin\theta\cos\theta \\ (k_s - k_{ve})\sin\theta\cos\theta & k_s \cos^2\theta + k_{ve}\sin^2\theta \end{bmatrix}$$

ここに、*k*_wおよび *k*_eは解析に用いた各地層の水平方向 (図-5にx方向)および鉛直方向(図-5にz方向)の等 価透水係数,*k*_eは原地盤の透水係数,*k*_eは排水ドレーン 軸方向の等価透水係数,*θ*は排水ドレーンの平均傾斜角 である.排水ドレーン軸方向の等価透水係数の求め方は 文献 [®]を参照されたい.ただし,解析プログラムの制約 により,解析には k_a=k_e=0 とした.また,排水ドレーン が斜めに打設された場合,各地層における排水ドレーン の間隔は浅いほど小さくなることを考慮して設定した.

4. 解析結果

(1) 沈下量

解析では加振 30s (図-4),加振終了後過剰間隙水圧 消散過程(2.4×10^s)の計算を行った. 図-6 に各ケース の加振終了時の建物平均沈下量、加振終了後の過剰間隙 水圧消散による建物平均沈下量、および建物平均最終沈 下量を示す. ただし, 解析結果より, 排水ドレーンのピ ッチ (C4, C6, C8 は 0.6m, C3, C5, C7 は 1.0m) が加 振終了時および加振終了後の建物平均沈下量に及ぼす影 響が小さいため, 図-6 に C4, C6, C8 の結果を省略した. 図-6より、加振終了時までの沈下量は、排水対策を導 入した C3~C6 と導入していない C1, C2 を比較すると C3~C6 が大きくなった. これは、加振中でも、排水材 の過剰間隙水圧の消散効果により, 沈下が生じたと考え られる. また, 格子壁内側の建物外周のみに排水材を導 入した C7 と C8 は、C3~C6 より沈下量は大きくならな い. C9 に関しては、建物直下内にも排水材効果が及ん でいるが、C3~C6と比較して排水材効果が及んでいな い範囲が広いため、C3~C6より沈下量はやや小さい.

加振終了後過剰間隙水圧消散による沈下量を比較する と、C3~C6、C9 は少なかった.これは、排水材の効果 によって、他のケースと比較して、加振終了時の過剰間 隙水圧が小さいため、加振終了後の沈下量が抑制された と考えられる.

加振終了時までは格子壁対策を導入し建物外周のみに 排水材を施工する併用工法(C7)を採用することで, 地盤の側方変形の抑制効果および,格子壁付近の過剰間 隙水圧の消散効果を取り入れつつ,沈下量を抑えること が可能である.しかし,加振終了時以降から完全に過剰 間隙水圧が消散するまでの沈下量は,他の排水材を打設 するケースと比較して大きくなっており,最終沈下量は 建物直下まで排水材を打設する併用工法と比べると大き くなる.

図-7 に各ケースの加振方向中央断面における建物最 終沈下量の分布を示す.図-7 より,液状化層が深い地 盤1の傾斜は,液状化層が浅い地盤2の傾斜より,全ケ ースにおいては小さいことがわかる.

図-8 に各ケースにおける奥行き方向中央断面における 建物最終沈下量の分布を示す.図-8 より,液状化層が 深い地盤1の傾斜は,液状化層が浅い地盤2の傾斜より, 全ケースにおいてはやや小さい.





(2) 過剰間隙水圧

図-9~図-14 に加振方向中央断面(建物近傍)の最大 過剰間隙水圧分布をそれぞれ示す. C5 の液状化層(10.6 ~14.7m)と C9 の液状化層(4.0~7.8m)を比較すると、 それぞれ同様に液状化層が 10.6~14.7mの方が過剰間隙 水圧が上昇している. これは、液状化層 10.6~14.7m以 深の方が、液状化層にかかる上載圧が大きくなるからで ある. C5 と C9 を比較すると、C9 は建物直下の過剰間 隙水圧が上昇している. この過剰間隙水圧の上昇が、加 振終了後の沈下量の増加に影響を与えている. 最終沈下 量は建物直下まで排水材を打設する併用工法と比べると 大きくなる. 斜めに排水材を打設する工法(C9)は, 建物直下全域に排水材の効果が得られないので加振終了 時までの沈下量は、過剰間隙水圧が消散されにくくなり 抑制することが出来るが、加振終了後の消散に時間がか かってしまうので沈下量は大きくなる.しかし、最終沈 下量に着目すると、建物直下に排水材を打設して格子壁 と併用するケースと比較すると、差は見られない.



図-7 加振方向中央断面における建物最終沈下量の分布 (上:地盤1,下:地盤2)



図-8 奥行き方向中央断面における建物最終沈下量の分布 (上:地盤1,下:地盤2)











(a) 地盤1



図-10 C2 における加振終了時加振方向中央断面最大過剰間 隙水圧(単位:kN/m²)











隙水圧(単位: kN/m²)

(a) 地盤1

130.0

65.0

0.0

130.0

65.0

0.0

図-13 C7における加振終了時加振方向中央断面最大過剰間 隙水圧(単位:kN/m²)



(a) 地盤 1



(b) 地盤 2

図-12 C5における加振終了時加振方向中央断面最大過剰間 隙水圧(単位:kN/m²)



(a) 地盤1







図-15 格子壁内のせん断応力 tar の最大値(単位: kN/m²)

(3) 格子壁内の水平せん断応力

加振直交方向の格子壁および加振方向の格子壁(以降, それぞれを直交格子壁および平行格子壁と呼ぶ)に生じ たせん断応力 t_{x} 時刻歴の最大値の分布を図-15 に示す. せん断応力 t_{x} は,直交格子壁に対し面外方向のせん断 応力,平行格子壁に対し面内方向のせん断応力である. 図-15 より,平行格子壁に生じたせん断応力 t_{x} の最大値 は,直交格子壁に生じたせん断応力 t_{x} の最大値 は,並整1と地盤2の全ケースにおいて液状化 層の深さ付近に生じた.なお,排水ドレーンを打設して も格子壁内のせん断応力の最大値はほぼ変わっていない ことが確認された.

格子壁のせん断力の照査方法は、平行格子壁部分のみ のせん断抵抗による水平抵抗力を期待する場合と、直交 格子壁部分のせん断抵抗も併せて期待する場合がある³⁾. 格子壁間隔が小さい場合、文献⁴⁾に示される照査方法は、 直交格子壁部分のせん断抵抗も併せて期待し、平行格子 壁と直交格子壁に同じせん断応力が生じるとした上で照 査している.このような照査方法をそのまま、大間隔格 子壁を適用すれば、図-15 に示される結果より、平行格 子壁が危険側となる恐れがあることが推察できる.

また、C2 および C5 における Asc-s 層の深さで平行格 子壁中央位置(図-15 を参照されたい)でのせん断応力 t_aの時刻歴を図-16,格子壁内部中央および格子壁外の Asc-s 層に生じた過剰間隙水圧比の時刻歴を図-17 に示す. 図-16 より、せん断応力の最大値の発生時刻は約 12s で あり、図-4 に示される入力加速度の最大値の時刻と一 致していることがわかる.すなわち、格子壁内の最大せ ん断応力は慣性力に支配されることが言える.また、図 -17 に示される過剰間隙水圧比の時刻歴より、格子壁内 のせん断応力が最大となる時刻では、過剰間隙水圧比は 約 0.4 しかない.

従来の格子壁せん断力の照査に必要な過剰間隙水圧は, 道路橋示方書等に示される液状化判定方法により液状化 に対する安全率を算出したうえで求めている.すなわち, 格子壁せん断安定照査に加振終了時の過剰間隙水圧を用 いていることを意味している.しかし,本研究の大間隔 格子状改良工法の解析結果より,格子壁内のせん断応力 が最大となる時刻に生じた過剰間隙水圧比を用いたほう がより合理的になる可能性もあると考えられる.

6. まとめ

本研究では,大間隔格子状改良工法および排水工法の 併用工法の液状化対策工法のメカニズム,対策効果,建



図-16 平行格子壁に生じたせん断応力 ta の時刻歴



図-17 Asc-s層に生じた過剰間隙水圧比の時刻歴(青線:格 子内中央,赤線:格子壁外)

物の沈下抑制効果などを検討するため、3次元動的有効 応力解析を用い、数値解析的検討を実施した.本研究よ り以下のような知見が得られた.

- (1) 大間隔格子状改良工法は、格子壁の拘束効果により液状化地盤の側方変形を防ぐことで、建物の沈下量を抑制する効果がある。液状化しやすい地層が浅いほどその効果が大きい。
- (2) 大間隔格子状改良工法と排水工法を併用することで、格子内原地盤の過剰間隙水圧の上昇を抑制するのみではなく、格子壁外部からの浸透流を防ぎ、より一層過剰間隙水圧の蓄積の抑制と消散の促進が機能する.よって、大間隔格子状改良工法および排水工法の併用工法は、やむを得ず大きな格子間隔を用いる場合の有効な液状化対策であるといえる.
- (4) 平行格子壁内に生じるせん断応力は、直交格子壁 内のせん断応力に比べ、約2倍大きいので、従来の 直交格子壁部分のせん断抵抗も併せて期待するせ ん断照査方法を大間隔格子改良にそのまま適用す ると、格子壁は危険側となる場合がある。
- (5) 格子壁内のせん断応力の最大値が生じる時刻と過 剰間隙水圧比の最大値が生じる時刻の間に、大き な差があり、格子壁のせん断力の照査にこれを考 慮する必要性が示唆された。
- (6) 建物直下に排水材の非打設部が残った場合でも、 液状化しやすいの深さによらず、建物直下全域に 排水材を打設した場合と同程度の沈下抑制効果が 得られることが数値解析結果より推察できる.

参考文献

- 土木学会 建設技術研究委員会 建設技術体系化小委員会: 液状化対策工法の分類と工法概要, 2012.
- 浦安市液状化対策技術検討調査委員会,第5章液状 化対策工法の体系的整理,2016.
- 土質工学会:液状化対策の調査・設計から施工まで、 土質工学会,1993.
- 建設省土木研究所:液状化対策工法設計・施工マニ ュアル(案),共同研究報告書,第186号,1999.
- 5) 日本建築学会:建築基礎のための地盤改良設計指針 案, 2006.
- 小竹望,北出圭介,青木一二三,米澤豊司,畑英一,松 雪光明:L2 地震動に対応する格子状固化改良による液状 化対策工,土木学会第58回年次学術講演会,III-625,2003.
- 7) 佐藤透,今村眞一郎,佐藤靖彦,岩谷隆文,平野孝 行,土屋光弘,金澤伸一:格子状改良・排水工法に よる液状化対策効果について(その1)一遠心模型実 験による効果の確認-,土木学会第 69 回年次学術講 演会,III-015,2014.
- 8) 蔡飛, 芦澤拓八, 佐藤靖彦, 土屋光弘, 小宮隆之, 平野 孝行, 齋藤禎二郎: 3 次元動的有効応力解析を用いた格子 状改良工法・排水工法による液状化対策効果評価, 土木 学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 73, No. 4(地 震工学論文集第 36巻), 2017.
- 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」:首都直 下地震対策専門調査会報告,2005.
- 株式会社フォーラムエイト:地盤の動的有効応力解 析(UWLC),電子マニュアル, http://www.forum8. co.jp, 2011.
- Pastor, M., Zienkiewicz, O. C. and Chan, A. H. C.: Generalized plasticity and the modelling of soil behavior, *Int. J. Numer. Analy. Meth. Geomech.*, Vol. 14, pp. 151-190, 1990.
- 12) 安田進:東日本大震災後における住宅地の液状化対 策工法の開発,地盤工学会誌, Vol. 62, No. 6, pp. 1-5, 2014.

(2017.9.1投稿)

NUMERICAL EVALUATION OF EFFECTS OF LARGE-SPACE LATTICED WALLS AND DRAINS AGAINST LIQUEFACTION OF GROUNDS

Fei CAI, Keisuke KANO, Yasuhiko SATO, Shin-ichiro IMAMURA, Mitsuhiro TSUCHIYA, Takayuki KOMIYA, Takayuki HIRANO and Teijiro SAITO

The 2011 East Japan earthquake induced widespread liquefaction not only in Tokyo bay area but also in inland area of Kanto region, which damaged numerous residential houses and public buildings. This paper uses three-dimensional dynamic effective stress analyses to evaluate the effects of large-space latticed walls and drains and their combination, which can be installed as measures to mitigate liquefaction of grounds of existed residential houses and buildings. Numerical results show that the shear stress in the walls parallel to the direction of ground shaking is significantly larger that that in the walls perpendicular to the direction of ground shaking.