

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－

西松建設(株)土木設計部（正）○土屋 光弘 小宮 隆之
西松建設(株)技術研究所（正）佐藤 靖彦（正）佐藤 透
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、戸建て住宅や公共施設、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を、遠心模型実験および数値解析により検討してきた¹⁾。本報告では実施した遠心模型実験¹⁾を2次元有効応力解析UWLC2Dによりシミュレーションした結果について報告する。

2. 解析条件

遠心模型実験は、表1に示す無対策（C1）、格子状改良工法と排水工法を単独で対策した場合（C2、C3）と両工法を併用した場合（C4、C5）について実施している。本検討におけるモデルは2次元モデルとし、遠心模型実験の地盤および構造物を実物換算し、対策および建物（幅12m）を図1に示す平面ひずみ要素、梁要素、節点集中質量要素によりモデル化して2次元有効応力解析を行った。

地盤の構成モデルは、液状化層（ $Dr=60\%$ ）・非液状化層（ $Dr=90\%$ ）はPZ-sandモデル（有効応力モデル）、地下水以浅の不飽和層はHDモデル（全応力モデル）である。また、PZ-sandモデルの材料パラメータはUWLC要素試験シミュレーションにより、繰り返し非排水三軸試験の結果^{2), 3)}を表現できるように設定した（図2）。HDモデルは変形特性を求めるための繰り返し三軸試験の結果を表現できるように設定した。

排水材はPZ-sandモデルとし、その透水係数は模型（外径6mm）の透水係数3cm/sを用いて設定した。

実験の格子壁はアクリル板（模型 $t=15\text{mm}$ ）と鉄板（模型 $t=1\text{mm}$ ）を接着した模型としていることから、解析の直交格子壁は、アクリル板と鉄板を梁要素および平面ひずみ要素でモデル化し、弾性モデルとした。

Fujiwara et al⁴⁾は、鋼矢板を対策工とする格子壁に対し、平行格子壁（仕切壁）によって左右の直交格子壁が連結していることを、左右の直交格子壁の節点を水平梁要素で連結することによりモデル化している。本研究においても、平行格子壁を弾性水平梁要素でモデル化し、実験結果の再現を試みた。建物・基礎は弾性梁要素でモデル化し、模型の重心位置に節点集中質量を設定した。

実験の入力地震動は最大加速度311Galの臨海波（ST3:RINKAI 92h）であり（図3）、遠心模型実験の各実験ケースで土槽底面において計測された水平加速度を解析の入力地震波とした。

キーワード 液状化対策、格子状改良工法、排水工法、2次元有効応力解析

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 TEL 03-3502-7640

表1 解析ケース

Case		対策内容
C1	無対策	対策なし 模型寸法: L650mm×W400mm×D250mm
C2	格子壁対策	格子壁 内寸: 15.5m×15.5m L/H=1.55 (L: 格子幅 H: 格子壁深さ)
C3	排水対策	排水材: 建物直下および周辺 1.4mピッチ
C4	格子壁+排水対策 1	格子壁 内寸: 15.5m×15.5m L/H=1.55 排水材: 建物直下および周辺 1.4mピッチ
C5	格子壁+排水対策 2	格子壁 内寸: 15.5m×15.5m L/H=1.55 排水材: 建物直下および周辺 2.8mピッチ

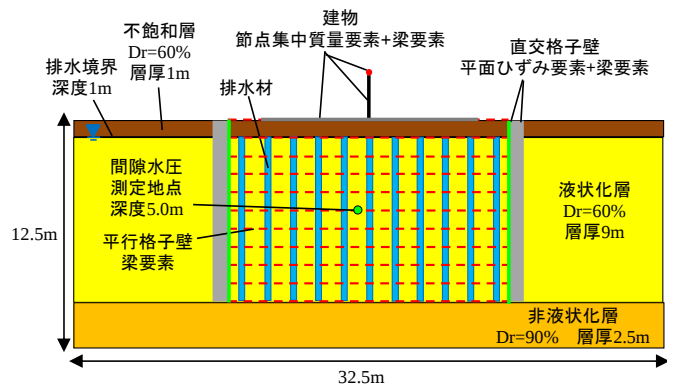


図1 解析モデル (C4)

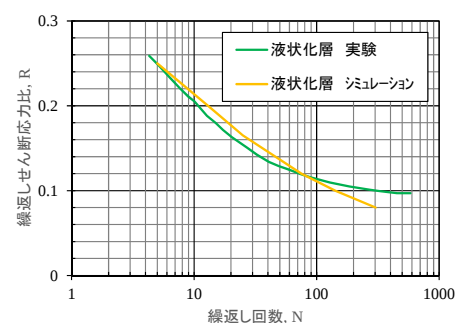


図2 液状化強度曲線

3. 解析結果

(1) 過剰間隙水圧の挙動

図4に建物直下(図1, 深度5m)における過剰間隙水圧の時刻歴を示す. 入力加速度最大値を示す21秒以降に着目すると, 無対策C1と格子壁単独対策C2の過剰間隙水圧は, C3~C5よりも高い状態で推移し, 過剰間隙水圧が蓄積しているが, 排水対策を行ったC3~C5は過剰間隙水圧の最大値が抑制されるとともに, 消散する解析結果となった.

図5に入力加速度最大時(21~23秒)における建物直下(図1, 深度5m)の平均過剰間隙水圧を示す. 解析の平均過剰間隙水圧は, 実験と同程度あるいは小さい傾向であり, 実験を概ね再現できている. また, 格子壁単独対策のC2では無対策C1と比べ, 過剰間隙水圧が大きい解析結果となった. 排水材の間隔をC4よりも2倍としたC5の過剰間隙水圧は, C4よりも実験で約3倍, 解析で約1.5倍大きい結果となった.

(2) 建物中央の沈下量

図6に加振後150秒での建物中央沈下量の比較を示す. 建物中央の沈下量は格子壁単独対策のC2を除き, 実験よりも解析の方が大きいものの, 沈下量の傾向は再現できた. また, 実験・解析ともに, 併用対策のC4よりも格子壁単独対策のC2が加振後150秒での沈下量は小さい. これは, 排水対策により過剰間隙水圧を消散させており, 格子壁単独対策のC2よりもC3~C5で沈下量が大きくなったものと考えられる. なお, 無対策のC1および格子壁単独対策のC2は, 加振後150秒で過剰間隙水圧が依然蓄積した状態であり(図4), 過剰間隙水圧の消散に伴う建物沈下・不等沈下が想定されることに注意が必要である.

(3) 建物の傾斜角

既設建物の継続使用・事業継続の観点からは, 地震後の建物傾斜角(不等沈下)の抑制が重要である. 図7に加振後150秒での建物傾斜角の比較を示す. 無対策のC1では実験と解析で同程度であるが, 対策を行ったC2, C3, C5では解析の方が小さい傾斜角となった. また, 実験・解析ともに, 格子壁と排水対策を併用したC4の建物傾斜角が最も小さくなり, 精密機械建物等の特殊条件では, C4のように液状化対策を併用することで建物傾斜角の抑制が可能と考えられる.

4. まとめ

- 1) 入力加速度最大時の平均過剰間隙水圧は, 2次元有効応力解析UWLC2Dにより実験結果を概ね再現できた.
- 2) 加振後150秒での建物沈下量は, 実験よりも解析が大きい結果となった. 各ケースの沈下の傾向は概ね再現できた.
- 3) 格子壁と排水対策を併用することで, 実験と解析により建物傾斜角(不等沈下)の抑制効果を確認できた.
- 4) 平行格子壁を水平梁要素でモデル化することで, 過剰間隙水圧, 沈下量は実験結果を概ね再現できた.

参考文献 1) 佐藤ら: 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)―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, 2014. 2) 高田ら: 礫分を含む幅広い粒度を有する宅地地盤の液状化予測に関する検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.2, pp.377-390, 2010. 3) 東ら: 砂質土の相対密度を考慮した液状化強度曲線の定式化, 土木学会第49回年次学術講演会, 1994. 4) Fujiwara et al: Analytical study on levees reinforced by double sheet-piles with partition walls, 14th IACMAG International Conference, pp.711-717, 2014.

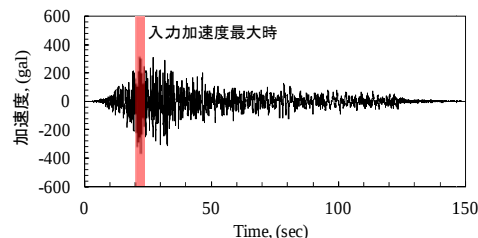


図3 入力地震波

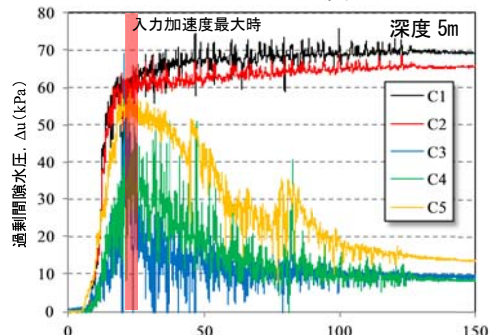


図4 過剰間隙水圧の時刻歴

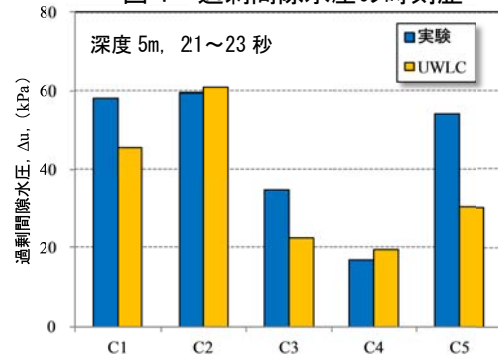


図5 平均過剰間隙水圧の比較

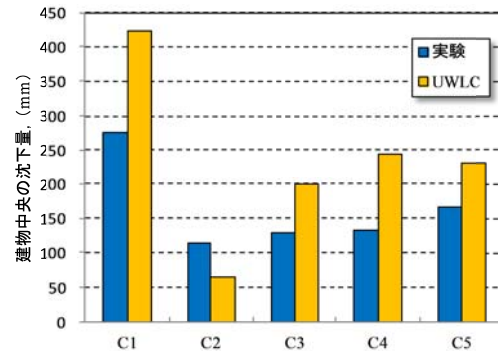


図6 150秒での建物中央沈下量の比較

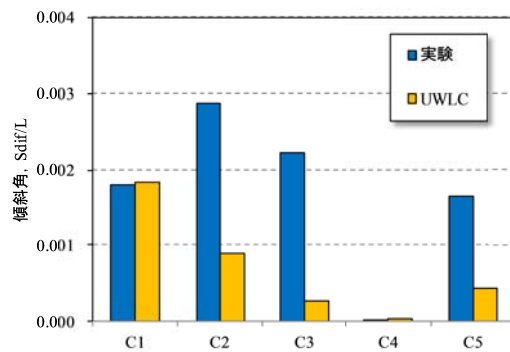


図7 150秒での建物傾斜角の比較