

修正 GHE+おわんモデルによる地盤の有効応力解析

中部電力(株)
(株) シーテック

伊藤忠テクノソリューションズ(株)
清水建設(株)

正会員 ○福永 俊樹, 和仁 雅明
非会員 齋藤 政治
非会員 馬淵 倉一, 浜田 隆司
正会員 福武 毅芳, 桐山 貴俊

1. はじめに

地盤の地震応答解析コードの1つに1相系解析コード SoilPlus¹⁾がある. 同コードは地盤の非線形性を表現できる構成則として修正 GHE モデル²⁾を搭載している. 一方, 緩い砂地盤では地震による液状化が発生し, 地盤の挙動や構造物への影響等を詳細に評価するためには2相系³⁾の有効応力解析による設計が必要となる. そこで本研究では, 繰返し載荷に伴う有効応力の変化を考慮できるおわんモデル⁴⁾を修正 GHE モデルと併用して SoilPlus に実装し, 遠心実験と地震観測記録の再現解析を実施して構成式(以下, 修正 GHE+おわんモデルという.)の再現性を検証した. 修正 GHE モデルとおわんモデルを併用するメリットは, 動的変形特性や液状化強度曲線へのフィッティングがさせやすいことである.

2. 遠心実験の再現解析

再現対象とする遠心実験は, 桐山ら⁵⁾が実施した 30g 場の遠心模型実験である. 図-1 に土槽の模式図を示す. 液状化を想定した地盤として珪砂 7 号, 基盤として珪砂 3 号が用いられ, 目標最大加速度 200Gal の臨海波を入力して, 加振中および加振後の加速度(A0~A4)と間隙水圧(P1~P11)を計測している. この実験に対する再現解析として, 修正 GHE+おわんモデルによる1次元地震応答解析を実施した. 土槽中央地盤を再現した解析モデルを図-2 に示す. 境界条件として両側面には等変位条件, 底面には変位境界条件(水平鉛直ともに固定条件)を設定した. 修正 GHE モデルおよびおわんモデルのパラメータはそれぞれ動的変形試験結果および液状化試験結果より同定した(図-3). 解析は1相系モデル(非排水条件)と2相系モデル(排水条件)の2条件を実施した. 両者の違いは隣接要素間の間隙水移動考慮の有無である.

最大せん断ひずみ, 最大過剰間隙水圧比および最大応答加速度の深度分布を図-4, 図-5 および図-6 に示す. 実験では, 珪砂 7 号地盤中で過剰間隙水圧比が 1.2 程度に達しており, 地盤は液状化状態に至っていると考えられる. また, 応答加速度は GL-2.4m で 350Gal 程度の大きな値を示しているものの, 層全体としては上方に向かうにつれて減衰している. 1相系の再現解析では, 過剰間隙水圧比が 1.0 まで上昇する箇所と 0.5 以下に留まる箇所を生

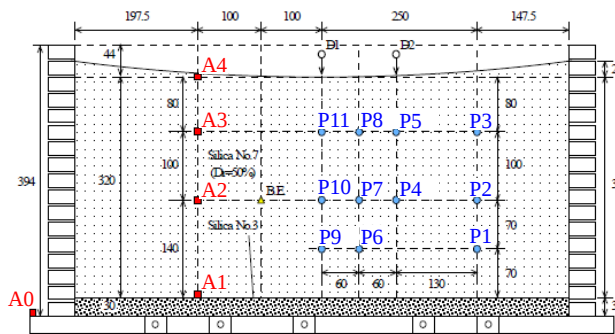
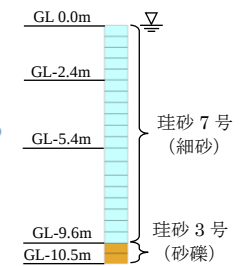
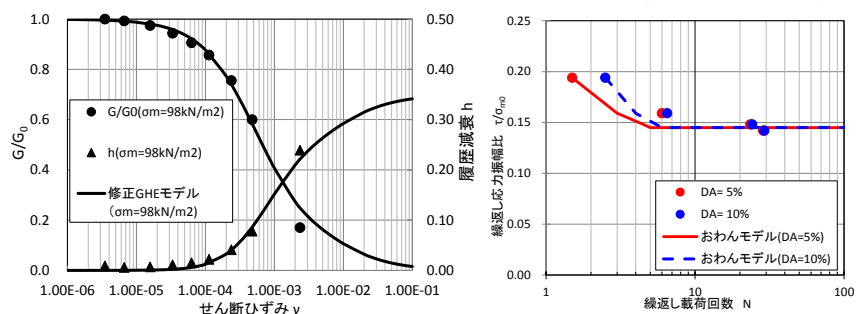
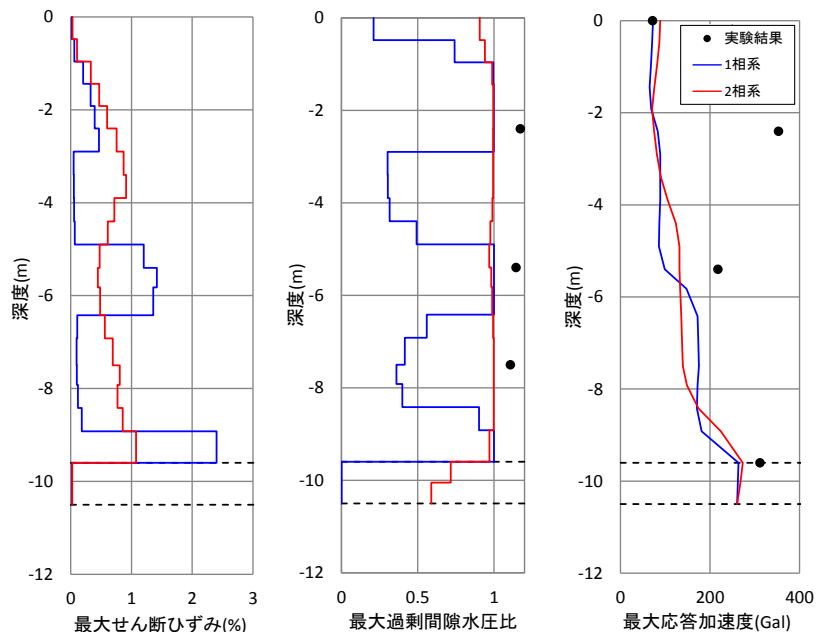


図-1 土槽模式図(単位:mm)

図-2 解析モデル
(プロトタイプ)図-3 珪砂 7 号の $G/G_0 \sim \gamma \cdot h \sim \gamma$ 関係および液状化強度図-4, 5, 6 最大せん断ひずみ, 最大過剰間隙
水圧比, 最大応答加速度

キーワード 液状化, 有効応力解析法, 過剰間隙水圧

連絡先 〒461-8680 愛知県名古屋市中区東新町1番地 中部電力(株) TEL 052-973-2253

じており、せん断ひずみは過剰間隙水圧比 1.0 の箇所で局所的に発生している。応答加速度は上方に向かうにつれて減衰するが、上述の局所的なせん断ひずみ発生に起因して階段状に減衰していることがわかる。2 相系の再現解析では、過剰間隙水圧比が層全体にわたって 1.0 まで上昇している。これに伴いせん断ひずみも層全体でなだらかに発生している。これは 2 相系では上下要素間の間隙水の移動を考慮できることにより、同一層内で局所的に液状化状態に至る要素を生じないためである。応答加速度は 1 相系よりもなだらかに減衰しており、局所的な液状化要素の有無による違いが現れている。図-7 に GL-5.4m における過剰間隙水圧比時刻歴を示す。2 相系では過剰間隙水圧の上昇過程・消散過程も実験結果とよい整合が取れており、2 相系のほうが遠心実験の再現性が高いことを確認した。また、紙面の都合上結果の掲載は省略するが、加速度時刻歴波形、フーリエスペクトルについても実験結果と概ね良い整合が取れている。

3. 地震観測記録の再現解析

対象とするのは、1995 年兵庫県南部地震の際にポートアイランドで観測された鉛直アレー地震記録である。図-8 に水平成層地盤を想定した 1 次元の解析モデルを示す。液状化対象層として浅部に Bu 層 15m、深部に Ag 層 9m を想定し、地下水位は GL-3m に設定した。境界条件として両側面には等変位条件、底面には変位境界条件（水平鉛直ともに固定条件）を設定した。入力地震動は当該地点の GL-83m での観測波強軸成分⁶⁾を用いた。各層に対して動的変形試験結果により修正 GHE モデルパラメータを同定し、液状化対象層に対しては加えておわんモデルパラメータを液状化試験結果より同定した。解析は 2 相系で実施した。

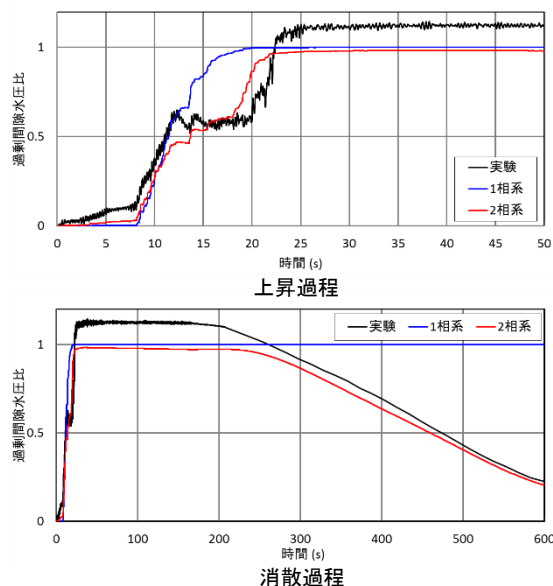
図-9 に GL0.0m（地表面）、GL-16m および GL-32m の応答加速度時刻歴を示す。地表面では加速度波形のピークおよびその後の地盤の液状化の影響を受けた応答を精度よく再現できている。一方、深部では加速度波形を概ね再現できているものの時刻 15 秒前後に現れる加速度のピークに対しては解析結果が観測記録を過小評価している。この原因としては、観測地点近傍には地盤改良が施されておりその影響を考慮できていないことが考えられる。⁶⁾観測記録をより精度よく再現するためには、周辺の地盤状況を考慮した 2 次元あるいは 3 次元モデルによる地震応答解析が必要であろう。

4. 最後に

修正 GHE+おわんモデルによる遠心実験と地震観測記録の再現解析を実施し、液状化時の地盤挙動を再現できることを確認した。また、特に間隙水の移動を考慮できる 2 相系のほうがより再現性が高いことがわかった。今回は水圧と加速度に着目して再現解析を実施したが、今後は地盤変位や構造物に作用する土圧等にも着目した解析を実施していく予定である。

参考文献

- 1) 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 (CTC) ホームページ <http://www.engineering-eye.com/SOILPLUS/>
- 2) Tatsuoka, F. and Shibuya, S. : Deformation characteristics of soils and rocks from field and laboratory tests, Theme Lecture1, Proc. of the Ninth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, pp.101-170,1992
- 3) 塩見忠彦・広瀬忠孝・田中芳行：2 相系地盤の近似応答解析法の適用範囲に関する研究，地盤工学における数値解析法に関するシンポジウム，1986
- 4) 福武毅芳：おわんモデルと履歴関数モデルを併用した構成式，地盤材料の構成式ワークショップ(第1回)，地盤工学会，2012
- 5) 桐山貴俊・福武毅芳：二相系動的シミュレーションに適用する Material Point Method ーグラベルドレーンを設置した液状化地盤を対象としてー，清水建設研究報告，Vol. 94, pp.105-126,2017
- 6) 藤川智・福武毅芳：近傍改良地盤の影響を考慮した神戸ポートアイランド鉛直アレー記録のシミュレーション，土木学会論文集，No.687/III-56,pp.169-180,2001



P10, GL-5.4m (プロトタイプ)
図-7 過剰間隙水圧比時刻歴

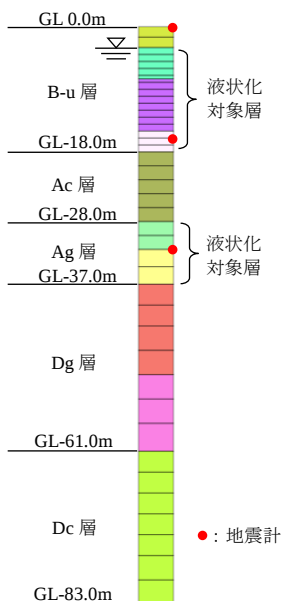


図-8 解析モデル

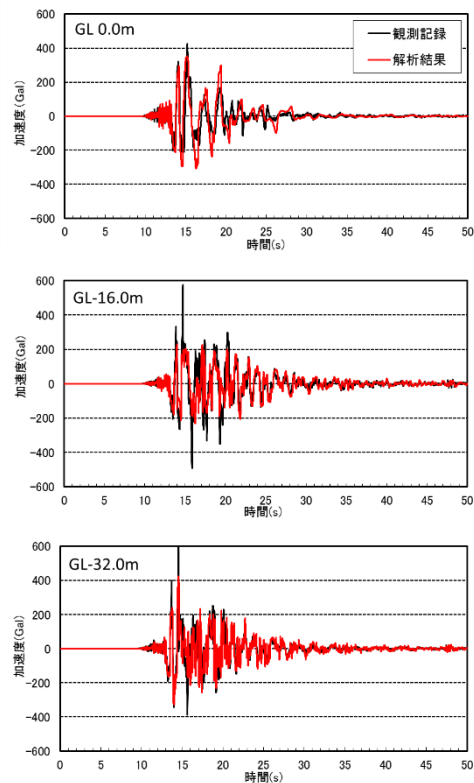


図-9 応答加速度時刻歴