

透水性を考慮した FLIP による模型振動実験の再現解析

(株)ニュージェック 正会員 ○坪井英夫, 平井俊之, 村上巧一

国土交通省四国地方整備局 正会員 小泉勝彦

京都大学防災研究所 国際会員 井合 進

(独)港湾空港技術研究所 国際会員 菅野高弘, 森川 嘉之, 二宮 裕介

広島大学大学院 国際会員 一井康二

1. 目的

動的有効応力解析プログラム FLIP は, 現在, 非排水条件に適用されるマルチスプリングモデル要素から, 排水条件についても適用可能なカクテルグラスモデル要素への移行が進められている. 第四期 FLIP 研究会(平成 21~22 年度)「SteadyState 作業部会」¹⁾において, カクテルグラスモデル要素の液状化特性に関する設定方法について検討が行われ, 推奨される設定法が報告された. 本研究は, 上記研究会における研究成果を踏まえ, 海岸護岸を対象とした遠心模型振動実験²⁾に対する再現解析を, 透水性を考慮した FLIP(以降, 透水 FLIP と称す.)によって行い, 実験結果との比較により透水 FLIP で設定する透水係数の設定方法について検討を行ったものである.

2. 遠心模型振動実験

模型地盤は相馬硅砂 5 号を使用した. 土層の作成方法は空中落下法を用い, 液状化対象層は相対密度 50%, 支持層は 90% となるように作成した. 遠心模型実験では 50G の遠心力を与えた場合, 相似則により実物スケールに換算した透水係数は模型スケールの 50 倍となる. そのため, 模型スケールと同じ透水性を確保するために水の 50 倍の粘性を持つセルロース溶液を間隙溶液として用いた. 実験の計測項目は, 地盤の応答加速度時刻歴・間隙水圧時刻歴・護岸背後の沈下量及び護岸の水平変位量である.

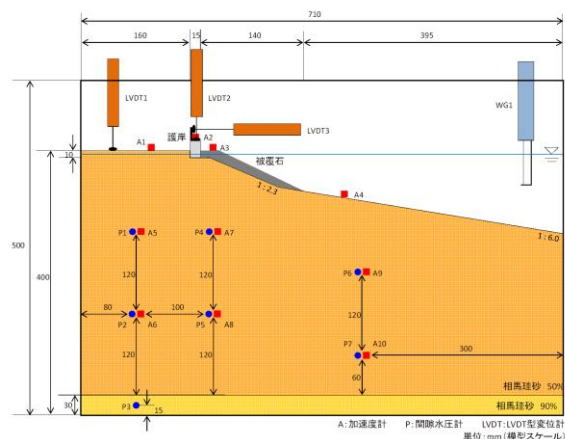


図-1 実験土層モデル

3. 解析条件

透水 FLIP の液状化特性に関するパラメータは, 模型地盤と同じ相馬硅砂 5 号を相対密度 50%に調整した供試体を用いて実施した繰り返し三軸試験結果を, 要素シミュレーションで模擬することにより設定した. 図-2 に要素シミュレーション結果を, 図-3 にせん断ひずみ増大曲線を示す. 図-4 に設定したカクテルグラスモデルのパラメータを示す. 力学的境界条件は, 遠心実験における条件を模擬するため, 底面は水平方向・鉛直方向とも固定とし, 側方は鉛直ローラーを用いて水平方向の変位のみを固定した. 水理境界条件は, 海底面・地下水位面及び被覆石下の節点に対して水圧固定条件を与えた. 再現解析に用いた入力波形は, 土層下端で観測された加速度時刻歴波形を用いた.

液状化抵抗曲線(せん断ひずみ片振幅3.75%)

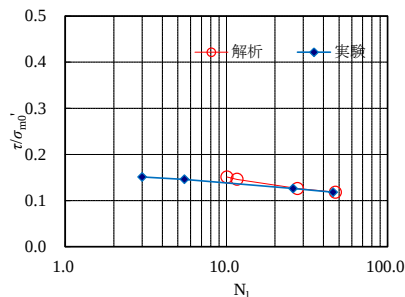


図-2 要素シミュレーション結果

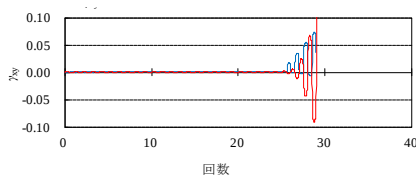


図-3 せん断ひずみ増大曲線

図-4 カクテルグラスモデルのパラメータ (Dr=50%)

Pa=98kPa, Gma= 73700kPa, mG=0.5, KLa=192300kPa, Kua=192300kPa, nK=0.5, L=2, LR=1, Hmax=0.24, Φf=36.1°, Φp=28.0, εdcm=0.2, rεd=3, rεd=0.2, q1=10, q2=1.0, rkpp=1.0, rk=1.0, lk=2.0, s1=0.005, c1=1.62, qus=0, q4=1.0, rgamma=0.10, rrmtmp=0.5, 1865SW=0

キーワード 有効応力解析, 護岸, 遠心模型実験, 地震

連絡先 〒450-0002 名古屋市中村区名駅 5-27-13 名駅錦橋ビル 4F (株)ニュージェック 中部支店 Tel.052-541-8561

次に、透水係数について、実験で使用した相馬珪砂 5 号の D_{20} は 0.26mm であり、クレーガーの方法³⁾により透水係数を $1.4 \times 10^{-4}(\text{m/s})$ と推定できる。しかし、クレーガーの方法によって求めた透水係数の値はダルシー則が適用できる層流状態(レイノルズ数 1~2 以下)において使用可能であり、噴砂が発生するような液状化時には間隙水圧の急激な変化により層流状態が保たれていないと考えられ、液状化地盤への適用は困難と考えられた。そのため、再現解析に用いる透水係数は、実験の過剰間隙水圧時刻歴を再現できる透水係数をパラメータスタディによって決定した方が良くと考えられる。本研究では、クレーガーの方法(case1)と仮に透水係数を 10 倍した場合(case2)の 2 ケースについて検討を行った。

4. 解析結果および考察

図-5 に土層各地点において計測された過剰間隙水圧比の実験値(赤線)と case1, case2 の過剰間隙水圧比時刻歴結果を示す。実験結果は、過剰間隙水圧比の上昇後、加振中に下降している。しかし、case1 の過剰間隙水圧比は上昇後、加振中に下降していない結果となっており、実験結果の傾向をうまく表現できていない。一方、case2 の過剰間隙水圧比は上昇後、加振中に下降する結果となっており、実験結果を概ね再現できる結果となった。

図-6 に護岸背後地盤における鉛直変位時刻歴、護岸天端における水平変位時刻歴を示す。背後地盤における鉛直変位は、case1 に比べ、case2 の方が、実験結果に近い結果となった。護岸天端の水平変位時刻歴は、実験では 80sec 後に急激に変位量が上昇する結果となっているが、case1, 2 とも加振後直ぐに水平変位が発生し始め、図-6 より残留変形量が 2 倍以上大きくなっていることが分かる。この原因は、実験では護岸の水平変位を計測するため、海側から接触型の変位計(図-1 中の LVDT3 参照)によって護岸の変形を抑制したことが考えられる。

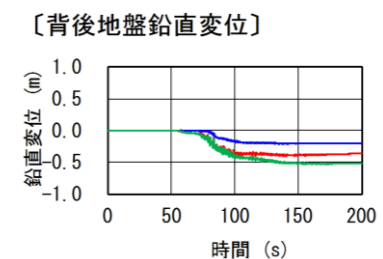
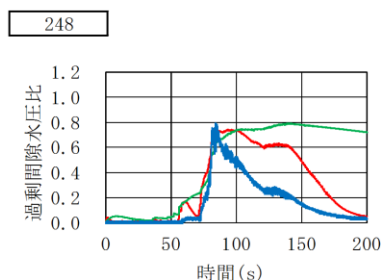
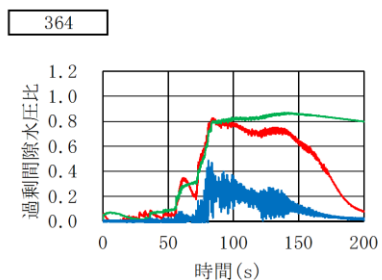
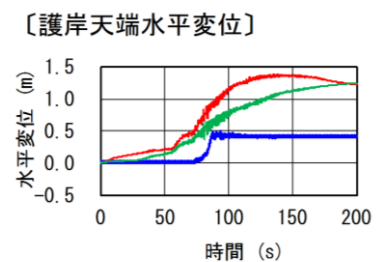
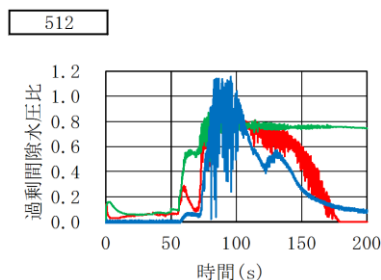
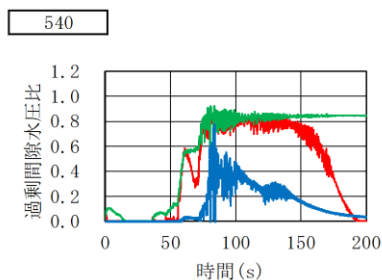


図-5 過剰間隙水圧比時刻歴

図-6 変位時刻歴

5. まとめと今後の課題

海岸護岸を対象とした遠心模型振動実験に対する再現解析を透水 FLIP によって行った。過剰間隙水圧比時刻歴の実験と解析結果の比較より、FLIP 研究会で推奨された方法によって設定したカクテルグラスモデルのパラメータと、一般的に求まる透水係数の値を 10 倍程度大きくした値を用いると、加振中の過剰間隙水圧比時刻歴や地盤の変位時刻歴を比較的よく再現できることが分かった。今回、透水係数をクレーガーの方法により求まる値より大きめに設定すれば、実験で得られた過剰間隙水圧時刻歴の消散過程をうまく表現することが可能と分かった。今後はさらに多くの透水係数のパラメータスタディを行い、解析精度の向上を図る必要があると考えられる。

参考文献 1)第 4 期 FLIP 研究会 透水解析 WG II 平成 21 年度 成果報告書 2)二宮祐介他:東南海・南海地震対策を想定した護岸の遠心模型実験(平成 22 年度地盤工学会研究発表会) 3)土質工学会:土質工学ハンドブック, p70, 1982