

I - B 302 地盤流動に関する遠心振動実験のシミュレーション解析 (残留変形解析)

首都高速道路公団 正会員 小笠原政文
 (株)建設技術研究所 正会員 谷 和弘
 清水建設(株) 正会員 出羽克之 木全宏之 沖原光信 ○宮本健太郎

1. はじめに 筆者らは、護岸近傍の高架橋基礎に及ぼす地盤流動の影響検討を行っており、地盤流動化現象の解明や対策工の効果確認のため、遠心場における液状化模型振動実験を実施している。ところで、地盤流動に対する解析的な挙動評価手法に関しては、未解明な問題も多く、確立されていないのが現状である。本報は、一つの試みとして、2次元有限要素法による静的自重解析(残留変形解析)により、遠心振動実験に対するシミュレーション解析を実施した。そして、本解析手法の適用性について検討し、地盤流動挙動に対する評価手法確立のための基礎資料の提供を図った。

2. 遠心振動実験¹⁾ 遠心振動実験は、せん断土槽を用い、実物との縮尺比を1/30として実施している(後述の図1参照)。土層は、上層より非液状化層(珪砂8号、Dr=50%)、液状化層(珪砂8号、Dr=50%)、非液状化層(豊浦砂、Dr=90%)および支持層(珪砂3号)の構成である。護岸形式としては、自立式の鋼矢板護岸を想定し、護岸背面には杭基礎(2列×4列)を設置した。計測は、図1に示すように、加速度計、変位計、ひずみゲージ、圧力計ならびに間隙水圧計配置により実施している。加振外力(加速度)には、周波数60Hz(実物換算2Hz)、最大値4.5g(実物換算150gal)の正弦波を用いた。

3. シミュレーション解析

(1) 解析手法 残留変形解析により、遠心振動実験に対するシミュレーション解析を実施した。本解析手法は、Seed(1975)によって提案された解析手法であり、安田ら²⁾によって手法の適用性検証が行われている。平面ひずみ状態を仮定した静的な2次元線形の有限要素法解析により、液状化前と液状化後の地盤物性を用い、それぞれの自重解析より得られる変形量の差が近似的に流動化地盤の残留変形量であるとする考え方を基本としている。

(2) 解析条件 図1に解析モデルを示すが、解析は実物換算でのモデルにて実施した。地盤およびフーチングはソリッド要素、護岸矢板ならびに基礎杭は梁要素でモデル化した。境界条件について、下方境界は固定とした。側方境界は、水平固定、鉛直ローラーとした。矢板と地盤との間には、水平方向には荷重が伝達し、鉛直方向には荷重が伝達しない境界条件を設定した。また、基礎杭と地盤、フーチング側面と地盤との間にも同様の境界条件を設定した。フーチング下面には、水平鉛直の両方向とも地盤に荷重が伝達しない境界条件を設定した。表1に構造物の解析定数を示すが、遠心振動実験から得られたひずみレベルより、構造物は線形弾性体と仮定した。表2には地盤の解析定数を示すが、三軸圧縮試験等の土質試験結果を基本として定数を設定した。液状化後の地盤剛性に関しては、液状化前の地盤剛性に表2に示す剛性低減率を乗じて設定した。液状化層の剛性低減率は、中空ねじりせん断試験より1/700とした。上部非液状化層については、遠心振動実験において、水位上昇に伴い液状化層と同程度の過剰間隙水圧の発生が認められたため、剛性低減率は液状化層と同じ1/700とした。下部非液状化層についても同様に過剰間隙水圧の発生が生じており、剛性低減率は液状化層より低めの1/100と設定した。

(3) 解析結果 図2に基礎杭の曲げひずみ分布を示すが、解析結果は遠心振動実験結果と概ね良好な対応状況にあることがわかる。同図に示した実験結果は、すべての記録がほぼ一定値に収束し、計測を終了した1200秒後の値である。なお、加振終了時刻は10秒後である。図3に全体変形を示すが、地表面の水平変位について、実験結果との対比を行った。図4より、解析結果は実験結果よりかなり小さめの値となっている。実験結果では、護岸からの距離7~8mで大きな水平変位が生じており、杭基礎背面直近では、水平変位が抑制されている。これは、護岸法線方向の杭基礎のない地盤部の側方流動によって、基礎背面地盤が引き込まれて大きく流動したものの、基礎の剛性により、直近では水平変位が抑制されたことによるものと推察される。本解析は、2次元解析であり、厳密な挙動評価のためには3次元解析の実施の必要性が示唆される。

キーワード：地盤流動、高架橋基礎、シミュレーション解析、遠心振動実験、残留変形解析

〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3 シーバンスS館 TEL (03)5441-0598 FAX (03)5441-0511

4. まとめ 残留変形解析により、基礎杭の耐震設計にとって重要な曲げひずみ分布に関し、遠心振動実験結果をある程度精度良く模擬することができた。本解析手法は、簡便で実用的であり、地盤流動に対する挙動評価手法として、有効な手段となり得る可能性があると考えられる。現在、地盤剛性ならびに低減率の評価方法について見直しを行っており、今後、より詳細な解析を行い、本解析手法の適用性を検討して行く予定である。

表1 構造物の解析定数

構造物	仕様	単位体積重量 γ (tf/m ³)	ヤング係数 E (tf/m ²)	断面積 A (m ²)	断面2次モーメント I (m ⁴)
護岸矢板	7#スチール, t=102	2.70	7.0×10^8	0.102	8.843×10^{-6}
フーチング	鋼	7.85	2.1×10^7	—	—
基礎杭	7#スチール, 210 × 300 @ 750	2.70	7.0×10^8	0.084	3.087×10^{-4}
対策矢板	7#スチール, t=156	2.70	7.0×10^8	0.156	3.164×10^{-4}

表2 地盤の解析定数

土層	単位体積重量 γ (tf/m ³)	液化化前の地盤剛性 E_s (kgf/cm ²)	剛性低減率 α	液化化後の地盤剛性 E_v (kgf/cm ²)	ポアソン比 ν	
					液化化前	液化化後
非液化化層(珪砂8号)	1.42	752	1/700	1.1	0.33	0.33
液化化層(珪砂8号)	0.80(水中)	2728	1/700	3.9		0.499
非液化化層(豊浦砂)	0.96(水中)	8800	1/100	88.0		0.33
非液化化層(珪砂3号)	0.86(水中)	8800	1/10	880.0		0.33

注1) 奥行き方向解析幅1.0m当たりの解析定数を示す。

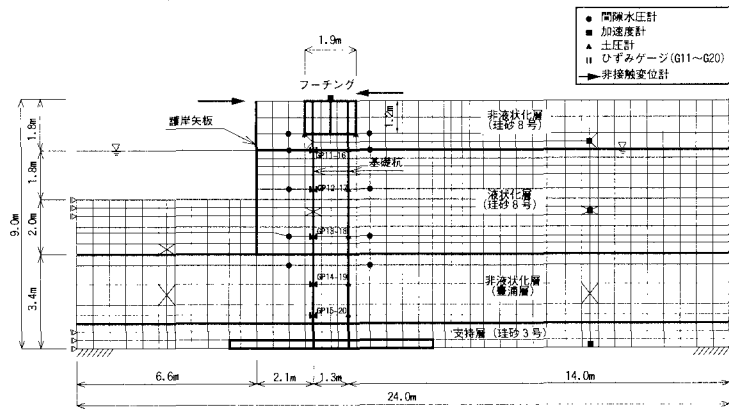
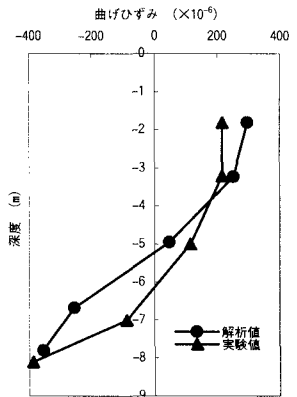


図1 解析モデル



注) 曲げひずみは海側の凸のモードが+である
図2 シミュレーション解析結果
：基礎杭の曲げひずみ分布

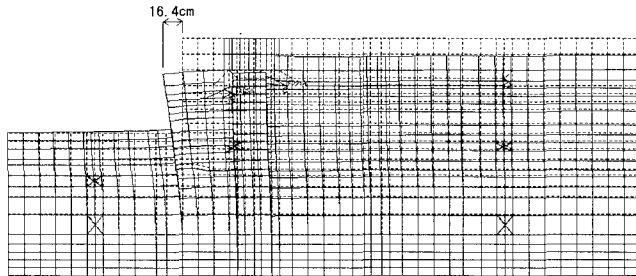


図3 シミュレーション解析結果：全体変形

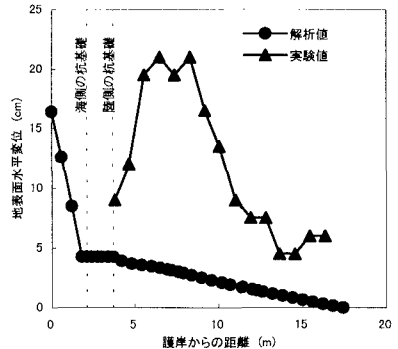


図4 シミュレーション解析結果
：地表面の水平変位

参考文献 1) 小笠原、佐藤他：側方流動により基礎構造物に作用する流動圧の遠心振動実験、地震時の地盤・土構造物の流動性および永久変形に関するシンポジウム、平成10年5月。2) Yasuda, S., H. Kiku and Y. Uchida: The Mechanism and a Simplified Procedure for the Analysis of Permanent Ground Displacement due to Liquefaction, Soils and Foundations, pp.103-109, No.1, 1989.