

地下水位低下工法を適用した遠心模型実験のシミュレーション解析 (その1 2次元静的残留変形解析)

大成建設(株) 正会員 ○広重 敬嗣 正会員 原 祐介
正会員 小林 真貴子 正会員 立石 章

1. 研究の背景と目的

東北地方太平洋沖地震をきっかけに、臨海部の港湾施設および工業施設、住宅地のように広域の既存の設備や建物を対象とした場合、施工上の制約を受けにくく、かつ経済的に広域の対策を行うことができる液状化対策工法として、地下水位低下工法が注目されている。しかし、地下水位低下工法を適用することによる沈下量の抑制効果や、沈下量の推定方法については十分に明らかになっていない。本報では、立石ら¹⁾による遠心模型実験を、安田らの提案している2次元静的残留変形解析ALID²⁾によりシミュレーションしたので報告する。

2. 遠心模型実験の概要

遠心模型実験は遠心加速度 50G 場で実施し、1/50 スケールの模型を用いた。地盤は、豊浦砂を用いて作製し、相対密度 63.6% (測定値)、実物換算で長さ 36.0m×奥行き 10.5m×厚さ 9.0m (以下同様に実物換算にて表記) である。実験ケースは、図 1 に示すように、地下水位低下の有無、接地圧 53.0kN/m² の構造物模型の有無を組み合わせた 4 ケースを実施し、加振は南海トラフによる名古屋港の基盤入力地震動 (最大加速度 365cm/s²) を用いた。実験の詳細は立石ら¹⁾を参照されたい。

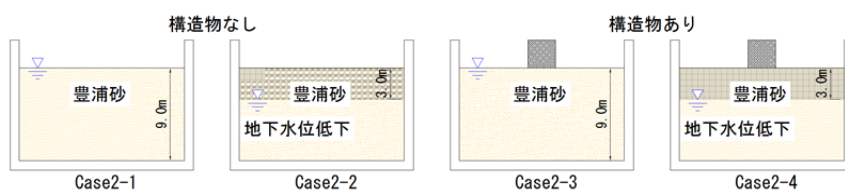


図 1 遠心模型実験ケース

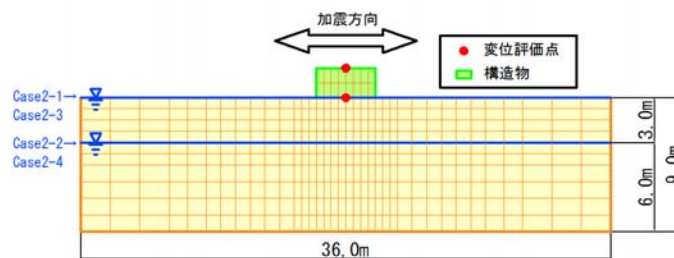


図 2 解析モデル

3. 解析方法 および解析条件

シミュレーション解析は、安田らの提案している静的自重変形解析法²⁾により実施した。

解析モデルは、図 2 に示す平面ひずみ要素による 2 次元モデルとした。

地盤の解析用物性値の一覧を表 1 に示す。ここで、地盤の液状化強度 R_{L20} は、Tatsuoka et al.³⁾に基づき、相対密度 $Dr=63.6\%$ の豊浦砂を対象として設定した。

地下水位以深における液状化時の低下せん断剛性は、液状化安全率 F_L 値 ($=R_{L20}/L$) をもとに、安田・稲垣の設定方法²⁾により与えた。なお、 F_L 値を求める際の地震時せん断応力比 L は、同じ 2 次元モデルによる等価線形解析を Case2-1~Case2-4 の各ケースで実施し、地盤各部の水平せん断応力 τ_{xy} の時刻歴最大値を用いて、 $L=\tau_{xy}/\sigma'_v$ より算出した。

Case2-2 および Case2-4 における地下水位以浅の非液状化層については、MC/DP 型の弾完全塑性モデルを用い、弾性域におけるせん断剛性は、豊浦砂の全国一斉試験結果⁴⁾による推定式により求めたせん断剛性 G_0 に対し、安田らの提案を参考に、せん断ひずみ 0.1% 相当の剛性低下率を乗じて与えた。

また、過剰間隙水圧の消散に伴う地盤の沈下量は、石原・吉嶺⁵⁾による方法を用いて求めた。

表 1 地盤の解析用物性値

	記号	液状化層	非液状化層 (Case2-2・2-4 のみ)
単位体積重量	γ	18.4 kN/m ³	15.5 kN/m ³
ポアソン比 (土骨格)	ν	0.33	0.33
液状化強度	R_{L20}	0.202	—
相対密度	Dr	63.6%	—

キーワード 液状化, 地下水位低下工法, 静的残留変形解析

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株)土木設計部 TEL 03-5381-5418

4. 解析結果

表 2 に、各ケースについての、実験および解析における地盤中央での地表面の流動沈下量および消散沈下量の結果を示す。なお、構造物が無い Case2-1 および Case2-2 は、地盤の流動による沈下は生じないため、消散沈下量のみを示している。ここで、流動沈下量および消散沈下量の設定方法を表 3 に示す。

流動沈下量については、Case2-3 において、実験では 33cm の流動沈下量であるのに対し、解析では 5m を超える大きな流動沈下量が生じている。ここで、Case2-3 における F_L 値分布を図 3 に示す。杉野ら⁶⁾も指摘しているように、液状化強度が小さく F_L 値が 0.60 未満となる場合は、液状化による剛性低下率が過大に評価され、その結果として流動沈下量も過大に求められているものと考えられる。

一方、Case2-4 については、実験では 12cm であった流動沈下量が解析では 7cm となり、Case2-3 より大幅に低減され、地下水位低下による沈下抑制効果が表れている。また、図 4 に示すように、Case2-4 における F_L 値は大部分において 0.6 を上回っており、 F_L 値が大きくなると、沈下量の再現精度が高くなるものと考えられる。さらに、Case2-4 における地表面の沈下量分布を図 5 に示すが、実験、解析ともに、地盤の液状化に伴い構造物が流動沈下し、側方の地盤が隆起する変形モードが表われている。

消散沈下量は、表 2 の結果より、全ケースで共通して実験よりも解析の方が大きく、1.5～3.7 倍となった。

5. まとめ

地下水位低下工法を模擬した遠心模型実験を、2 次元静的残留変形解析 ALID を用いてシミュレーション解析を行った結果、以下の点が確認された。

- ・ 液状化強度が小さく、 F_L 値が 0.60 未満となるような液状化層に構造物が直接载荷された場合、解析による流動沈下量が遠心模型実験結果よりも過大に求められる。
- ・ 地下水位を低下させた場合、地盤の流動変形が抑えられ、構造物の沈下量が低減できる現象が、解析により定性的かつ定量的に再現できる。

参考文献

- 1) 立石・小林：地下水位低下工法の沈下量抑制効果に関する遠心模型振動実験（その 2）、第 49 回地盤工学研究発表会、2014。（投稿中）
- 2) ALID 研究会：2 次元液状化流動解析プログラム ALID/Win 第四版、平成 19 年 12 月。
- 3) Tatsuoaka, F., Ochi, K., Fujii, S., and Okamoto, M.: Cyclic undrained triaxial and torsional shear strength of sands for different sample preparation methods. *Soils and Foundations*, 26.No.3. pp.23-41. 1986.
- 4) 土の動的変形定数試験方法基準化委員会：室内繰返し载荷試験による豊浦砂の変形特性に関する全国一斉試験の実施と試験結果の解析、土と基礎、Vol.42, No.11, pp.85-88, 1994.
- 5) Ishihara, K. and Yoshimine, M.: Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, *Soil and Foundations*, Vol.32, No.1, pp.173-188, 1992.
- 6) 杉野・河合：東海・東南海連動地震を対象とした木曽三川下流部の耐震性能評価について、全地連「技術フォーラム 2010」那覇、2010.

表 2 地盤中央における地表面沈下量

単位：cm	遠心模型実験		シミュレーション解析	
	流動沈下量	消散沈下量	流動沈下量	消散沈下量
Case2-1	—	12	—	24 (2.0)
Case2-2	—	11	—	16 (1.5)
Case2-3	33	6	535 (16.2)	22 (3.7)
Case2-4	12	8	7 (0.6)	17 (2.1)

※遠心模型実験の沈下量は、地盤中央または構造物上における計測値の平均である
※() 内は、遠心模型実験の沈下量を 1 とした場合の比率である

表 3 流動沈下量と消散沈下量の設定方法

	遠心模型実験	シミュレーション解析
流動沈下量	地盤の液状化に伴って生じる急激な変形が収束した時点における、初期からの沈下量	安田・稲垣 ²⁾ による液状化剛性を用いた応力解放法により算定された沈下量
消散沈下量	上記の流動沈下が収束した時点から、過剰間隙水圧の消散完了までに生じた沈下量	石原・吉嶺 ³⁾ により算定された沈下量

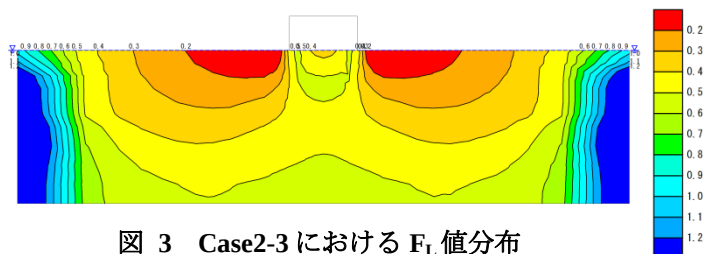


図 3 Case2-3 における F_L 値分布

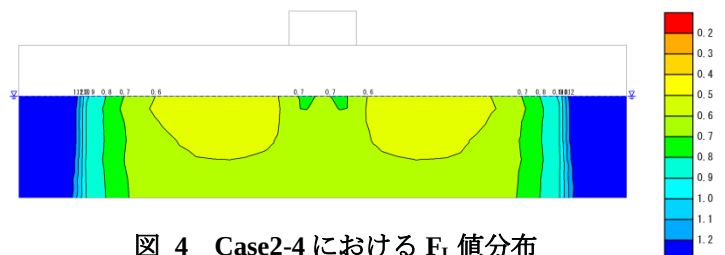


図 4 Case2-4 における F_L 値分布

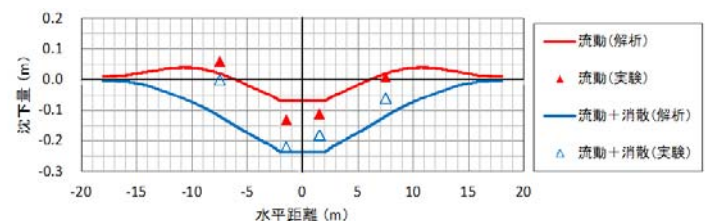


図 5 Case2-4 における地表面の沈下量分布