

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2 3次元静的残留変形解析)

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

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、既存の設備や建物による施工上の制約を受けにくく、経済的に広域対策が可能な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。本報では、立石ら¹⁾によって行われた遠心模型実験を、安田らの提案している2次元静的残留変形解析ALID²⁾の考え方を有限差分解析プログラムFLAC3Dに用いた3次元解析によりシミュレーションしたので報告する。

2. 解析条件

解析モデルは、図1に示したように、遠心模型実験の地盤および構造物を実物換算してモデル化し、基礎地盤は長さ36.0m×奥行5.25m×厚さ9.0m、構造物は長さ4.0m×奥行2.0m×厚さ2.0mと、実験のハーフモデルとした。表1に検討ケースを、表2に解析に用いた地盤および構造物の物性値一覧を示す。実験の概要については立石ら¹⁾、広重ら³⁾を参照されたい。

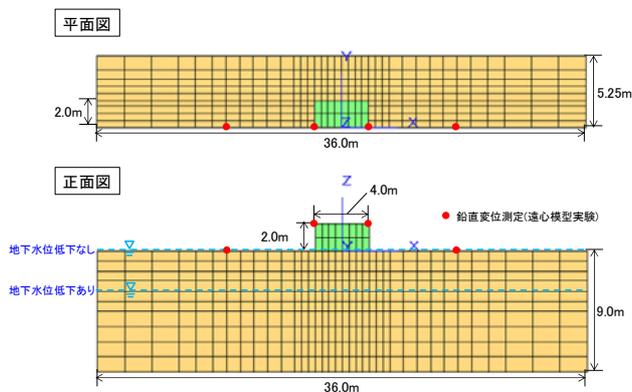


図1 3次元解析モデル

表1 検討ケース

	Case2-1	Caes2-2	Case2-3	Case2-4
構造物	なし	あり	なし	あり
液位	G.L. 0m	G.L.-3m	G.L. 0m	G.L.-3m

表2 地盤の解析用物性値一覧

	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	ν	0.33	0.33
液状化強度	R_{L20}	0.202	-
相対密度	D_r	63.6(%)	-

本研究では、静的残留変形解析ALIDの考え方を、有限差分解析プログラムFLAC3Dによる3次元モデルでの解析を以下の3ステップで行った。まず第1ステップとして、初期自重解析を行った。この時のせん断剛性は、豊浦砂に対する全国一斉試験結果⁴⁾による推定式から求めたせん断剛性 G_0 に対し、せん断ひずみ0.1%相当の剛性低下率を乗じて与えた。次に、第2ステップとして流動変形解析を行った。このステップでは、予め液状化層の各要素の液状化安全率を求め、安田・稲垣らが提案した方法²⁾により液状化時の低下せん断剛性を算出した。本研究における液状化安全率の算出方法は、広重ら³⁾と同じとし、奥行方向には2次元モデルの液状化安全率と同じ値を与えた。第1ステップの初期応力および安田・稲垣らによる液状化時のせん断応力とせん断ひずみをもとに、応力解放法により流動後の変形を求めた。ここに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、Mohr-Coulombの降伏条件による弾塑性モデルとし、さらに引張応力には抵抗しないモデルとした。第3ステップとして、過剰間隙水圧の消散に伴う地盤の沈下量を、石原・吉嶺⁵⁾による方法を用いて求めた。

3. 解析結果

表3に、各ケースについての遠心模型実験、ALIDによる2次元解析、FLAC3Dによる3次元解析、のそれぞれ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。解析結果の()内は、遠心模型実験の沈下量を1とした場合の比率を示している。ここで、遠心模型実験およびシミュレーション解析における流動沈下

キーワード 液状化, 地下水位低下工法, 静的残留変形解析, 3次元解析

連絡先 〒223-0053 神奈川県横浜市戸塚区名瀬 344-1 TEL 045-814-7236

表 3 地盤中央における地表面沈下量一覧

単位:cm	遠心模型実験		2次元シミュレーション解析 (ALID)		3次元シミュレーション解析 (FLAC3D)	
	流動沈下量	消散沈下量	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)	—	24 (2.0)
Case2-2	—	11	—	16 (1.5)	—	17 (1.5)
Case2-3	33	6	535 (16)	22 (3.7)	※	※
Case2-4	12	8	7 (0.6)	17 (2.1)	8 (0.7)	18 (2.3)

※：流動変形解析において平衡状態に到達しなかったため、流動沈下量、消散沈下量とも記載していない。

量および消散沈下量の設定方法は、広重ら³⁾と同じである。なお、Case2-3 では、流動変形解析において平衡状態に到達しなかったため、値は示していない。

流動沈下量については、Case2-3 では、遠心模型実験の流動沈下量が33cmであるのに対し、3次元解析では計算が収束しない結果となった。これは、広重ら³⁾が示したように、Case2-3 では基礎地盤の F_L 値が0.6未滿の領域が大半を占めるため、液状化による剛性低下率が過大に評価され、計算が収束しなかったものと考えられる。消散沈下量については、全ケースで遠心模型実験よりも3次元解析の方が大きく、1.5~2.3倍となった。2次元解析と3次元解析で比較すると、消散沈下量はほぼ同程度の結果が得られた。

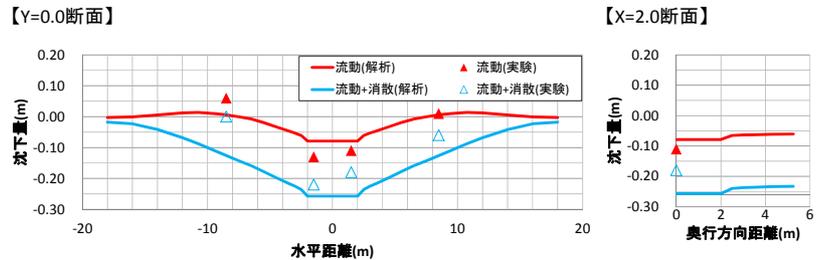


図 2 Case2-4 地表面の沈下量分布

地下水位を低下させた Case2-4 における地表面の沈下量分布を図 2 に示す。Case2-4 では、構造物直下の基礎地盤の F_L 値が0.6を上回るため、計算は収束し、遠心模型実験と同程度の沈下量が得られた。また、Y=0.0断面の流動沈下量分布より、3次元解析においても2次元解析同様、液状化による地盤の流動に伴う構造物の沈下と側方地盤の隆起が再現出来た。さらに、鉛直変位を測定した X=2.0断面(奥行方向)の流動沈下量分布においても、構造物の沈下と側方地盤の隆起が確認出来た。

地下水位を低下させた Case2-2 および Case2-4 において、3次元解析においても沈下量は低減されており、地下水位低下による沈下量の抑制効果を確認出来る結果が得られた。

4. まとめ

地下水位低下工法の適用を模擬して実施された遠心模型実験を、2次元静的残留変形解析 ALID の考え方を有限差分解析プログラム FLAC3D に用いた3次元解析によりシミュレーション解析を行った結果、以下のような点が確認された。

- ・ 2次元解析と3次元解析を比較すると、基礎地盤の F_L 値が0.6未滿の領域が大半を占めるケースを除いては、それぞれの流動および消散による沈下量はほぼ同程度の結果が得られる。
- ・ 地下水位を低下させた場合、3次元解析においても2次元解析同様、地盤の流動変形が抑制され構造物の沈下量が低減される結果となった。

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次元液状化流動変形解析プログラム ALID/Win 第四版，2007。 3)広重他：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)，第69回年次学術講演会，2014。(投稿中) 4)土の動的変形定数試験方法基準化委員会：室内繰返し載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。 5) Ishihara, K. and Yoshimine, M.: Evaluation of settlement in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soil and Foundations, Vol.32, No.1, pp.173-188, 1992.