

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3 2次元動的有効応力解析)

大成建設(株) 正会員 ○原 祐介 正会員 広重 敬嗣
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、広域に適用でき、かつ安価な液状化対策が求められている。地下水位低下工法は、既存の設備や建物による施工上の制約を受けにくく、広域を対象とした経済的な工法であるため、注目を集めている。本報では、立石ら¹⁾によって実施された遠心模型実験を、2次元動的有効応力解析法 LIQCA2D²⁾によりシミュレーションしたので報告する。

2. 解析条件

検討モデルとしては、図1に示す平面ひずみ要素による2次元モデルとし、遠心模型実験によって想定されている地盤および構造物を実物換算してモデル化した。検討ケースを表1に示す。遠心模型実験については立石ら¹⁾を参照されたい。実験の対象地震動は、図2に示すように、今後の耐震設計の対象となる機会が多いと考えられる南海トラフ地震による名古屋港の基盤波を選定し、解析においては、各ケースの遠心模型実験の剛土槽底面において計測された水平加速度を入力地震動とした。

地盤の構成モデルは、地下水位以深の液状化層、以浅の非液状化層ともに、繰返し弾塑性モデルである。解析に用いる地盤物性値と弾塑性パラメータの値を表2に示す。地盤のせん断剛性は、広重ら³⁾と同様に、豊浦砂に対する全国一斉試験結果による推定式から算出した初期せん断剛性を用いた。弾塑性パラメータは、豊浦砂に対して中空ねじりせん断試験を実施している Tatsuka et al.⁴⁾に基づいて目標とする液状化強度曲線を設定し、要素シミュレーションを行うことによって決定した。

3. 解析結果

各ケースの沈下量を比較するために、遠心模型実験、LIQCAによる解析、ALIDによる静的残留変形解析³⁾のそれぞれにおける地盤中央での地表面沈下量の一覧を表3に示す。ここに、LIQCAによる解析結果のうち、流動沈下量は加振中120秒間に発生した沈下量、消散沈下量は加振終了から圧密完了までの沈下量とした。

LIQCAにおける地盤中央の沈下量は、すべてのケースで遠心模型実験に比べて大きく算出されている。そのうち、

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

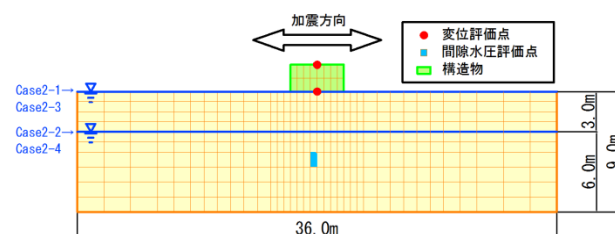


図1 解析モデル

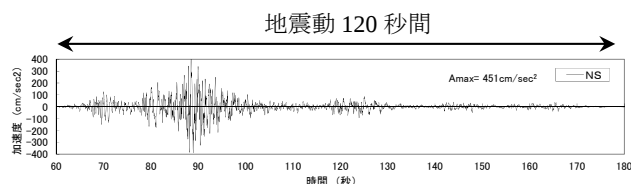


図2 南海トラフ地震による名古屋港の基盤波

表2 地盤物性値・弾塑性パラメータ

		液状化層	非液状化層
密度	ρ (g/cm ³)	1.88	1.58
透水係数	k (m/sec)	2.50E-05	
圧縮指数	λ	0.0034	
膨潤指数	κ	0.00034	
疑似過圧密比	OCR^*	1.0	
無次元化初期せん断係数	G_0/σ'_{m0}	1964	
変相応力比	M_m^*	0.91	
破壊応力比	M_f^*	1.34	
硬化関数中のパラメータ	B^*_{θ}	8000	
	B^*_{ι}	73.0	
	C_f	0.0	
異方性消失パラメータ	C_d	2000	
ダイレイタンス係数	D^*_{θ}	1.0	
	n	4.6	
塑性基準ひずみ	γ^{p*}_r	0.001	9999
弾性規準ひずみ	γ^{E*}_r	0.005	9999

キーワード 液状化，地下水位低下工法，有効応力解析

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

流動沈下量は、Case2-3 では 190cm, Case2-4 では 40cm となった。つまり、地下水位を下げることで流動沈下量は 5 分の 1 程度に抑えられており、遠心模型実験より沈下抑止効果が大きく表れている。また、Case2-4 の LIQCA と遠心模型実験による地表面の流動による鉛直変位分布図を図 3 に示す。地盤中央での実験結果と解析結果に 3.3 倍の差があるものの、変形のモードとしては概ね再現できている。

一方、LIQCA における消散沈下量は、Case2-1 と Case2-2, Case2-3 と Case2-4 の比較から、地下水位を下げた Case2-2 と Case2-4 の方が、実験結果の再現精度が高くなっている。

遠心模型実験と LIQCA における地盤中央の過剰間隙水圧比の時刻歴を図 4, 図 5 に示す。実験は図 2 中の 70 秒時から急速に上昇しているが、LIQCA では、振動開始直後から緩やかに過剰間隙水圧の上昇が生じている。また、LIQCA において、過剰間隙水圧の消散に要する時間が実験に比べて 5~8 倍程度となっており、解析においては、液状化によって低下した地盤の剛性が過剰間隙水圧消散過程で回復しないことが、消散時間が長くなる原因と考えられる。

4. 静的残留変形解析(ALID)との比較

流動沈下量について、広重ら³⁾による ALID の結果との比較を行う(表 3 参照)。Case2-3 では、杉野ら⁵⁾による指摘のとおり、液状化層の F_L 値が 0.6 より小さいため、ALID による流動沈下量が過大に求められ、LIQCA よりも大きくなったものと考えられる。これに対し、地下水位を低下させた Case2-4 では、ALID に比べて LIQCA の方が大きくなっている。これは、杉野ら⁵⁾の指摘のように、 F_L 値が 0.6 を上回ると ALID の計算精度が上がる一方、対象地震動の継続時間の長さが考慮される LIQCA の方が結果的に大きくなったものと推察される。

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 次元動的有効応力解析 LIQCA 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。

- ・ LIQCA では、実験に比べて、流動沈下量、消散沈下量ともに大きめに求められていることから、液状化した土の剛性の評価が課題と考えられる。
- ・ LIQCA による解析においても、遠心模型実験と同様に、地下水位低下による対策効果を確認できた。
- ・ LIQCA と ALID の流動沈下量の違いは、杉野ら⁵⁾による既往の研究と同様な結果となった。

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)一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所：LIQCA2D13・LIQCA3D13（2013 年公開版）資料，平成 25 年 11 月 13 日。
- 3)広重他：地下水位低下工法の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) 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.
- 5) 杉野・河合：東海・東南海連動地震を対象とした木曾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 3 地盤中央における地表面沈下量

単位: cm	遠心模型実験		LIQCA		ALID	
	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	-	23 (1.9)	-	24 (2.0)
Case2-2	-	11	-	18 (1.6)	-	16 (1.5)
Case2-3	33	6	190 (5.8)	23 (3.8)	535 (16.2)	22 (3.7)
Case2-4	12	8	40 (3.3)	18 (2.3)	7 (0.58)	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。

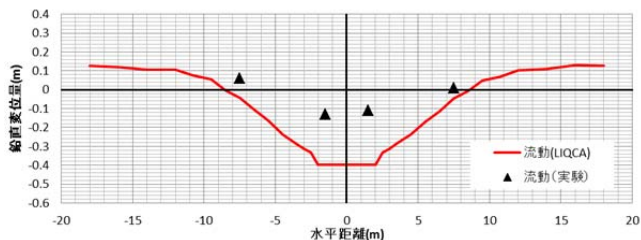


図 3 Case2-4 地表面流動沈下量分布

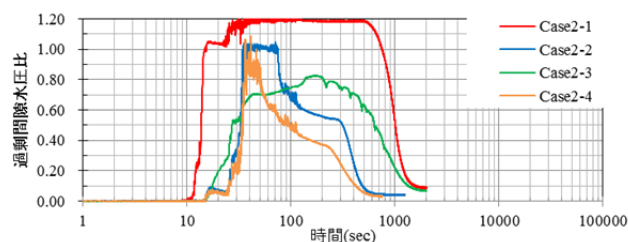


図 4 過剰間隙水圧比時刻歴（実験値）

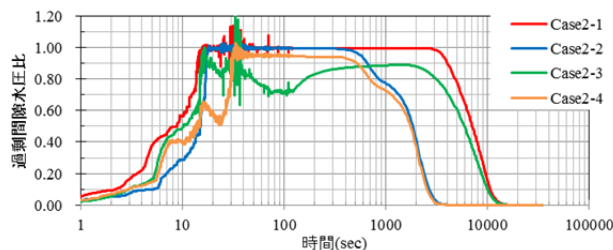


図 5 過剰間隙水圧比時刻歴（LIQCA）