

3次元静的残留変形解析の各種液状化対策工法への応用

大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○小林 真貴子 正会員 立石 章
 大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 宇野 浩樹 正会員 忠野 祐介

1. はじめに

筆者らは、安田ら¹⁾による2次元静的解析プログラムALIDの解析手法を、汎用の3次元有限差分解プログラムFLAC3D ver5.0に組み込んだプログラムを開発した。それにより、3次元的な配置の構造物の液状化に伴う残留変形を評価できるようになり、より経済的な液状化対策の検討を可能にした²⁾。本稿では、既設構造物の液状化対策工法を対象に、液状化による残留変形に対する各工法の抑制効果を調べ、工法の特徴を把握することを目的として3次元静的残留変形解析を行った。

2. 解析モデルおよび設定条件

図-1に解析モデルの鳥瞰図を、表-1に地盤の構成および物性値を示す。解析モデルは8棟の住宅が近接するモデルで、モデル右側面を対称面とした1/2対称モデルとした。浦安市委員会³⁾で示された液状化被害地域の平均的な地盤条件を用い、G.L.0.0m~-1.0mは非液状化層(Bs_dry)、G.L.-1.0m~-13.0mは液状化層(Bs_sat, Fs, As1, As2)、その下部4mは非液状化層のAc1と設定した。地下水位面はG.L.-1.0mである。境界条件は、モデル側面は対称面を含み鉛直ローラー、底面は完全固定とした。住宅モデルについても浦安市委員会³⁾で検討されたモデルを用い、それぞれの住宅の離隔距離は2mである。住宅は木造2階建てのべた基礎構造とし、接地圧は10kN/m²とした。液状化判定は、地表面における水平震度を浦安市委員会³⁾の検討をもとに忠野ら²⁾と同様に $k_{hg}=0.175$ として、道路橋示方書による方法で行った。

表-2に各種液状化対策工法の設定条件を示す。今回、住宅地を対象に広く用いられている液状化対策工法として、(1)地下水位低下工法、(2)格子状地盤改良工法の2工法を選定した。①住宅直下のFs層を液状化しないように対策することで、液状化による残留変形を極力抑えるケース(以下、残留変形抑制ケース)と、②経済的な対策の検討を目指してFs層の液状化層を一部残し、ある程度残留変形を許容するケース(以下、残留変形許容ケース)の2通りについて以下のように条件を設定する。地下水位低下工法は、浦安市委員会³⁾による本報と同じ地震外力を用いた結果では、地下水位を4.0m低下させた場合は液状化を防止でき、3.0m低下させた場合は液状化する結果となっている。そこで、①残留変形抑制ケースとして地下水位を5.0m低下させたケース、②残留変形許容ケースとして地下水位を3.0m低下させたケースを設定した。格子状地盤改良工法においても浦安市委員会³⁾より、1棟を1格子で囲う場合は改良壁の間隔が狭いため液状化を防止でき、4棟を1格子で囲う場合は間隔が広いいため液状化する結果となっている。そこで、①残留変形抑制ケースとして1棟を1格子で囲うケース、②残留変形許容ケースとして4棟を1

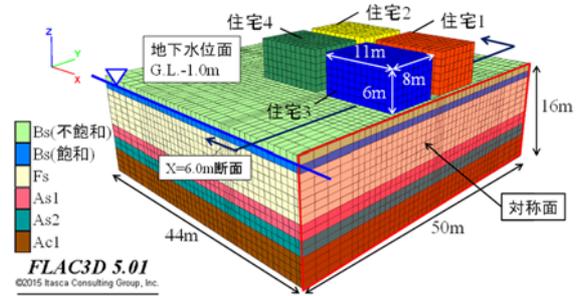


図-1 解析モデルの鳥瞰図

表-1 地盤の構成および物性値

土質名	層厚 (m)	構成モデル	Fc (%)	ρ_{sat} (g/cm ³)	Dr (%)	c (kN/m ²)	ϕ (度)	ν	G ₀ (kN/m ²)	G _i (kN/m ²)	R _{L20}	F _L
Bs_dry	1	M.C.	18.0	1.8	55.0	0	31	0.33	38,000	6,100	0.266	-
Bs_sat	1	M.C.	18.0	1.8	55.0	0	31	0.33	38,000	7,500	0.247	1.1~1.2
Fs	6	M.C.	22.0	1.8	76.3	0	30	0.33	29,000	6,800	0.188	0.6~0.8
As1	2	M.C.	21.9	1.8	62.1	0	35	0.33	70,000	18,400	0.330	1.1~1.2
As2	2	M.C.	31.0	1.7	72.9	0	30	0.33	40,000	10,900	0.228	0.7~0.8
Ac1	4	Elas.	93.6	1.5	-	13	0	0.33	27,000	15,700	0.218	-

M.C. : Mohr-Coulombモデル, Elas. : 線形弾性モデル

表-2 各種液状化対策工法の設定条件

Case	工法	設定*	条件
1	無対策	—	—
2-1	地下水位低下工法	①	地下水位を5m低下
2-2		②	地下水位を3m低下
3-1	格子状地盤改良工法	①	1棟を1格子で囲う
3-2		②	4棟を1格子で囲う

*①残留変形抑制ケース、②残留変形許容ケース

キーワード 液状化, 静的残留変形解析, 3次元解析, 液状化対策

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬 344-1 TEL 045-814-7217

格子で囲うケースを設定した. 改良深さは液状化対象層 11.0m に非液状化層への根入れ 1.0m を加えた G.L.-1.0m~-13.0m とした⁴⁾. 壁厚は 1.0m, 改良壁は線形弾性モデル, 密度 2.0g/cm³, $F_c=1500\text{kN/m}^2$, せん断剛性は 650MN/m² とした⁴⁾. 格子内地盤についてはせん断変形抑制効果が見込まれるので, 格子状地盤改良に関する簡易設計法⁵⁾を用いて F_L 値を計算した.

3. 解析結果

図-2 に各ケースの F_L 分布図, 図-3 に $x=6.0\text{m}$ 断面で切り出した残留変形図(変形倍率 3 倍), 表-3 に各解析ケースにおける住宅の平均沈下量および傾斜角を示す. まず, ①残留変形抑制ケースでは, 表-3 よりいずれの対策工法も無体策と比較して地盤の変形を大きく抑制することが出来た. 次に, ②残留変形許容ケースでは, 地下水位低下工法 Case2-2 において地盤の変形が大きく抑制されたのに対し, 格子状地盤改良工法 Case3-2 では地盤の変形が比較的大きい結果となった. Case2-2 では, 図-2 に示すように地下水位 G.L.-4.0m 以深において $F_L=0.8\sim 1.0$ の液状化領域が残り変形は生じるものの, 地表面から G.L.-4.0m まで全て非液状化層になったため, 地表面への変形の影響が抑えられた. さらに, 地下水位低下に伴う下方の液状化層の有効応力の増大による F_L 値の増加も, 残留変形抑制に寄与した. Case3-2 では, 格子内地盤の F_L 値は格子外地盤(無対策ケースと同様の F_L 分布)より増大したものの, G.L.-2.0m 以深で $F_L=0.6\sim 1.0$ の液状化領域が広く残ったため, この領域で地盤が大きく変形し, 地表面もその影響を受けて大きく変形する結果となった. また, 図-3 より Case3-2 では住宅が互いにおじぎするように傾斜した. 3次元解析によって住宅の自重による地中の応力分布を精度よく表現出来たため, このように2次元解析では再現できない住宅の変形挙動を再現できたといえる.

4. まとめ

本報の解析条件では, 地下水位低下工法において地盤の残留変形を大きく抑制できたが, この工法は個別の液状化対策への適用が難しい. 一方, 格子状地盤改良工法は, 個別の液状化対策に有用であり, 地盤の残留変形が対象構造物の許容変位量以下であれば経済的な設計が可能である. このように対象とする3次元的な配置の構造物に対して, 本解析手法を用いてより費用対効果の高い液状化対策工の選定が可能になると考えられる. 今後は, プラント施設やタンク等の構造物に対しても, 経済的な液状化対策工の検討を行いたい.

参考文献 1) 安田ら: 液状化に伴う流動の簡易評価法, 土木学会論文集, No.638/III-49, pp.71-89, 1999. 2) 忠野ら: 液状化に伴う残留変形を求める静的解析手法の3次元化への拡張, 大成建設技術センター報第48号, 2015. 3) 液状化対策実現可能性技術検討委員会 HP: <http://www.city.urayasu.lg.jp/shisei/johokoukai/shingikai/toshiseibi/1002853/index.html> (2017/03/29 アクセス). 4) 浦安市市街地液状化対策検討委員会 HP: http://www.city.urayasu.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/013/135/siryou3.pdf, (2017/03/29 アクセス). 5) 一般社団法人ベターリビング: 大成式液状化対策構法評定報告書, 2013.

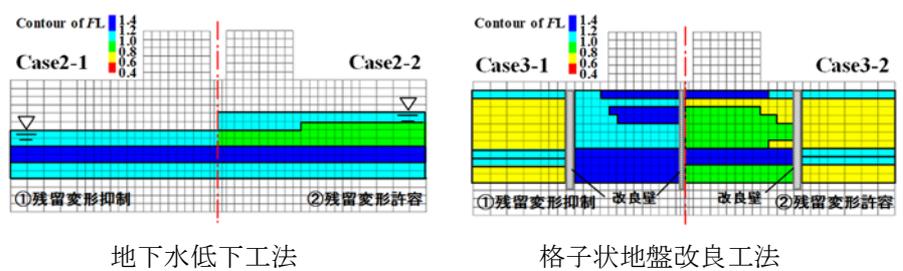
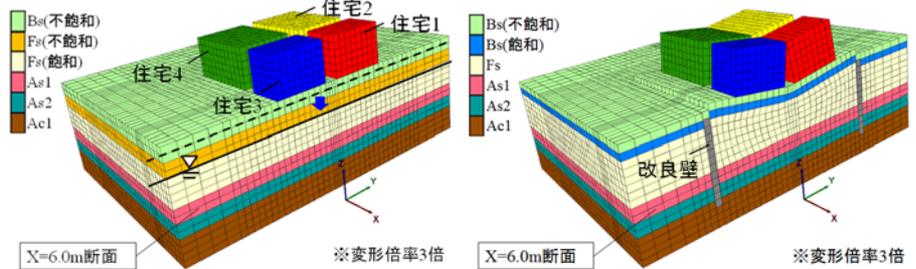


図-2 F_L 分布図 (左: ①残留変形抑制ケース, 右: ②残留変形許容ケース)



Case2-2:地下水低下工法 Case3-2:格子状地盤改良工法
図-3 残留変形図の一例 (いずれも②残留変形許容ケース)

表-3 住宅の平均沈下量および傾斜角

Case	工法	設定*	条件	平均沈下量(cm)	傾斜角
1	無対策	—	—	78.4	64.4/1000
2-1	地下水位低下工法	①	地下水位を5m低下	1.7	0.05/1000
2-2		②	地下水位を3m低下	4.9	0.5/1000
3-1	格子状地盤改良工法	①	1棟を1格子で囲う	1.9	0.5/1000
3-2		②	4棟を1格子で囲う	18.5	29.6/1000

*①残留変形抑制ケース, ②残留変形許容ケース