

3次元静的残留変形解析における液状化層のせん断剛性の補正に関する一検討

大成建設 正会員 ○小林 真貴子 正会員 忠野 祐介
正会員 宇野 浩樹 正会員 立石 章

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次元有限差分解析プログラムFLAC3D ver5.0に組み込んだプログラムを開発した。3次元的な配置の構造物の液状化に伴う残留変形解析を評価することで、より効果的な液状化対策の検討を可能にした。ALIDは、河川堤防の耐震性能照査において多くの実績があり、脇中らは河川堤防の液状化による被害事例の再現解析を通じて、液状化層のせん断剛性に補正をかける方法を提案している²⁾。本稿では、有効拘束圧の大きい液状化土のせん断剛性の影響を評価するために、脇中らが提案する液状化層のせん断剛性補正方法を取り入れた解析を行い、これまでの解析結果との比較検討を行った。

2. 3次元静的残留変形解析プログラム

ALIDは、液状化による地盤の残留変形を、①地震中に地盤の剛性が低下することに起因する流動変形、②地震後に過剰間隙水圧が消散することに伴う圧密沈下、に分けて計算している。筆者らが開発した3次元静的残留変形解析プログラムは上記のALIDの解析手法のうち、流動変形は安田・稲垣³⁾の式によるチャート、圧密沈下は石原・吉嶺⁴⁾にチャートを用いた手法をFLAC3Dに組み込んだものである。詳細については、文献⁵⁾を参照されたい。

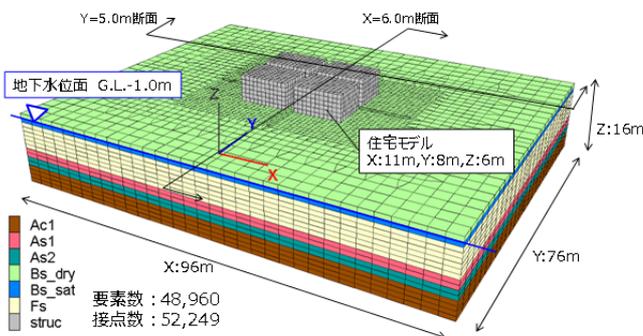


図-1 解析モデル

3. シミュレーション解析

3.1 解析モデル

図-1に解析モデルを、表-1に地盤の構成および物性値を示す。浦安市の「液状化対策実現可能性技術検討委員会」⁶⁾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)、

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

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。モデルの変位境界条件はモデル側面を鉛直ローラーとし、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⁶⁾で検討されたモデルを用いた。4棟の住宅が近接して配置された街区を想定しており、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、せん断剛性およびポアソン比は、べた基礎部の値に相当する $F_c=21\text{N/mm}^2$ の無筋コンクリートとして設定した。接地圧は 10kN/m^2 である。液状化判定は、地表面における水平震度を $k_{hg}=0.175^5)$ として、道路橋示方書による方法で行った。

3.2 液状化層の剛性補正²⁾

脇中らによれば、基礎地盤の比較的深い位置に液状化判定上の液状化層が存在すると、解析では当該部分の沈下が実被害に比べて過大に算定されるとしている。さらに、実被害において当該部分があまり沈下に寄与しない理由

キーワード 液状化, 静的残留変形解析, 3次元解析, せん断剛性, 沈下量
連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬 344-1 TEL 045-814-7236

として、年代効果によって液状化強度が増加する可能性、地震時せん断応力が液状化判定と実際との間で異なる可能性、過剰間隙水圧消散速度が異なる可能性、比較的厚い粘土層を挟んでいる場合には粘土層の影響などが考えられるとしている。文献 2)では従来の液状化判定法をそのまま使い、ALIDにおけるせん断剛性算出に関する改善方法を提案している。その方法は、基準となる鉛直有効応力 σ'_{v0} より深い範囲において、鉛直有効応力 σ'_v に応じて液状化層のせん断剛性を高めるもので、以下の式による補正係数を液状化時のせん断剛性に乗じるものである。

$$(\text{補正係数}) = (\sigma'_v / \sigma'_{v0})^n \quad \dots \text{式(1)}$$

但し、 $\sigma'_v < \sigma'_{v0}$ では、(補正係数) = 1 とする。

今回、基準となる鉛直有効応力 σ'_{v0} は文献 2)に
なっていて 50kN/m^2 、 $n=2$ とした。図-2 に一例と

して、住宅直下近傍のFs層の補正前および補正後のせん断剛性 G_1 分布図を示す。補正により、Fs層のせん断剛性は1.1~2.3倍程度大きくなる結果となった。

4. 解析結果

以下では、流動変形解析および圧密沈下解析による沈下量を合算した結果をまとめている。図-3に、住宅中央断面($y=5.0\text{m}$ 断面および $x=6.0\text{m}$ 断面)におけるせん断剛性補正前後の地表面鉛直変位分布を示す。補正により、構造物直下の鉛直変位および構造物周辺の地盤隆起が抑制されていることがわかる。図-4に住宅端部直下地盤

の水平変位を深度方向に示す。せん断剛性補正後の水平変位量がFs層のG.L.-5.0m~8.0m付近で顕著に小さくなる結果となった。今回の地盤モデルはFs層の液状化安全率 F_L 値が他の液状化層に比べて小さく、地盤の変形に大きく影響していたが、補正によりせん断剛性が増加し、G.L.-5.0m~8.0m付近で変位量が抑えられ、その結果解析モデル全体の変形抑制につながったと考えられる。As1層およびAs2層に関しては、Fs層に比べて層厚が小さく、 F_L 値も比較的大きい事から、せん断剛性の補正による変位量抑制への影響は小さい結果となった。

住宅の平均沈下量に着目するとせん断剛性補正前は76.9cmであるのに対し、補正後は63.7cmと17%程度低減される結果となった。なお、平均沈下量とは住宅四隅の節点における沈下量を平均した値である。浦安市における戸建住宅の液状化被害の調査⁷⁾より、地盤の沈下量は最大で60cm程度であったことから、せん断剛性の補正によって沈下量に関する再現性が高まったと考えられる。

5. まとめ

3次元静的残留変形解析プログラムに液状化層の鉛直有効応力に応じてせん断剛性を補正した結果、被害調査報告の沈下量に近づいた。今後は、様々な液状化対策工法を適用したモデルについても解析を展開したい。

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) 脇中ら：造成年代等を考慮した河川堤防の液状化被害事例再解析，第49回地盤工学研究発表会，pp.1643-1644，2014。
- 3) 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。
- 4) 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。
- 5) 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。
- 6) 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> (2016/04/01アクセス)。
- 7) 時松，勝間田：2011年東北地方太平洋沖地震における浦安市での液状化による戸建住宅被害，第47回地盤工学研究発表会，pp.1489-1490，2012。

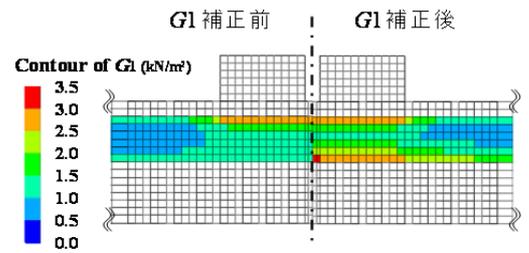


図-2 Fs層の補正前後の G_1 分布図

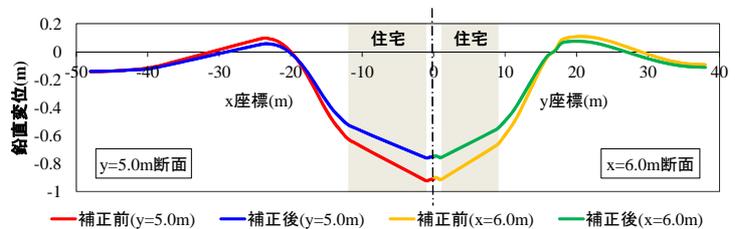


図-3 地表面鉛直変位分布

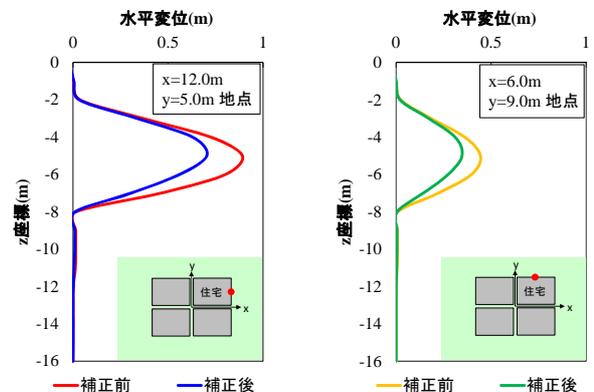


図-4 住宅端部直下地盤の水平変位の深度分布