

小規模建築物に対する液状化対策工法についての比較例 (その2: 数値解析)

正会員 ○榎田 将也*¹ 正会員 渡邊 泰介*²
 正会員 松下 克也*³ 正会員 佐藤 隆 *⁴
 正会員 小川 正宏*⁵ 正会員 若井 明彦*⁶
 正会員 平出 務 *⁷

小規模建築物 液状化 有効応力解析

1. 概要

小規模建築物に対する液状化対策として、工法別の減災効果についての相対的な評価が望まれる。別報その 1 では、液状化層が比較的深い場合の小規模建築物に対する液状化対策工法について、4 つの例を示した。本報では、これらの対策工法について、2 次元有効応力解析コード FLIP により数値解析を行い、工法別の液状化抑制効果について一考察とする。なお、数値解析は、非排水条件下で地震時解析を実施し、地震終了時の状態から、消散解析コード FLIPDIS を用い、FEM による Biot の圧密方程式を適用した消散解析を実施し、沈下量を算定する。

2. 比較例に用いた地盤条件など

比較に用いた有限要素メッシュを図 2.1 に示す。砂地盤は、文献¹⁾で実施された遠心模型振動実験の $Dr \approx 50(\%)$ 相当の珪砂 7 号の条件を参考に、表 2.1 で示す多重せん断ばねモデルなどのパラメータを設定した。また、液状化層における過剰間隙水圧上昇モデルのパラメータを設定するため、建築基礎構造設計指針による方法で液状化強度の目標値を決め、要素シミュレーションを実施 (図 2.2) し、過剰間隙水圧上昇モデルのパラメータ (表 2.2) を設定した。これらのパラメータの妥当性を確認するために、再現解析を試みた。なお、本検討で想定する建物は、一般的な建物を想定し、設定した (別報その 1 に詳しい)。

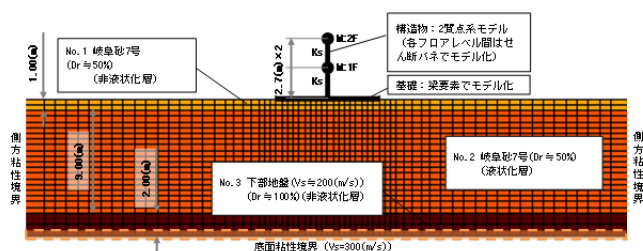


図 2.1 検討に用いた地盤モデルと建物

表 2.1 多重せん断ばねモデルなどのパラメータ

	砂層 (地下以浅)	砂層 (地下以深)	下部地盤 (非液状化)
密度 ρ (t/m ³)	1.40	1.87	2.00
間隙率 n	0.47	0.47	0.38
初期せん断剛性 G_{ms} (kPa)	30899	30899	65046
体積弾性係数 K_{ms} (kPa)	82212	82212	173067
基準化拘束圧 σ_{ms}' (kPa)	98	98	98
ポアソン比 ν	0.333	0.333	0.333
拘束圧依存係数 ($m_0=m_0$)	0.485	0.485	0.500
内部摩擦角 ϕ (°)	36.8	36.8	36.8
粘着力 c (kPa)	0.00	0.00	0.00
履歴減衰上限値 η_{max}	0.23	0.23	0.23

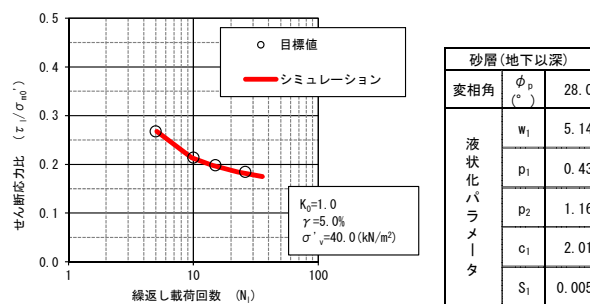


図 2.2 液状化強度曲線

表 2.2 液状化パラメータ

図 2.3 に設定条件において得られた建物直下の過剰間隙水圧比の一例を、図 2.4 には地表面沈下量を示す。紙面の関係上、詳細な比較は割愛するが過剰間隙水圧の上昇傾向や沈下量が概ね一致する結果が得られた。

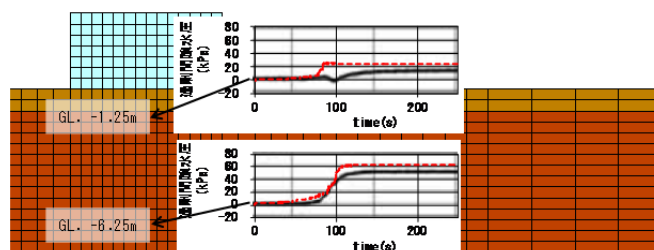


図 2.3 解析結果と実験結果の過剰間隙水圧比の一例

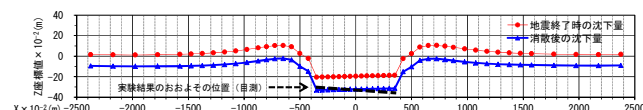


図 2.4 無対策における地表面の沈下量

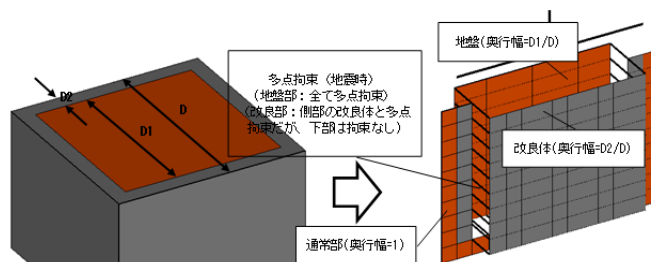


図 2.5 2 重要要素のイメージ

また、本検討においては、簡易な 2 次元モデルで対策工法のモデル化を行うため、図 2.5 に示すような 2 重要要素を用い、各種対策工法に応じた単位奥行き幅に対する比率を各対応要素に設定した。

なお、本検討で用いる地震波は、図 2.6 に示す L2 告示

波（神戸位相）を最大加速度 1.92(m/s²)となるように調整したものとし、20(s)～60(s)を下端から 2E 入力する。

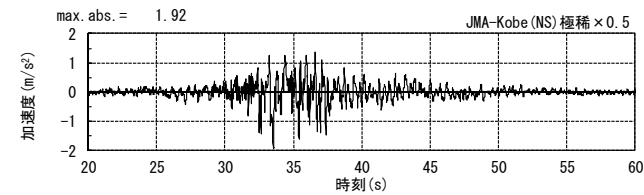


図 2.6 検討に用いた地震動

3.数値解析結果と考察

図 3.1 に、最大過剰間隙水圧比（地震終了時までの最大）の分布図を示す。

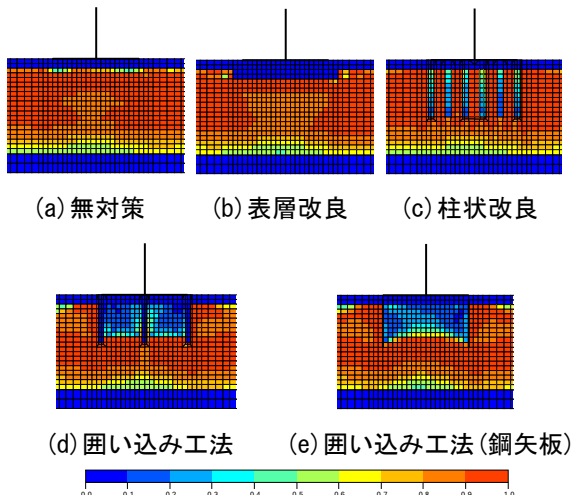


図 3.1 最大過剰間隙水圧比 $(1-\sigma'_{m}/\sigma'_{m0})$

同図(a)無対策の結果より、本検討条件の飽和砂地盤で全般的に液状化が起こる結果となった。各対策工法のうち、(c)柱状改良の結果をみると、2 重要素以外の柱状改良間では液状化している一方、2 重要素部分の柱状改良間では、上層で水圧比は上昇しているものの、液状化が特に抑制される結果となった。(d)改良壁の田字型の囲い込み工法の結果をみると、改良壁下端から中央の改良壁周辺にかけて水圧比が上昇しているものの、基本的に改良壁間で液状化が大きく抑制される結果となった。(e)薄鋼矢板を用いた囲い込み工法をみると、鋼矢板下端から中央部にかけて山状に水圧比が上昇し、表層部でわずかに上昇している結果となった。

表 3.1 地震終了時と消散収束時における無対策に対する各ケースの基礎部の平均沈下量の割合

	地震終了時	消散収束時
無対策	0.41	1.00
表層改良	0.34	0.88
柱状改良	0.10	0.42
囲い込み	0.14	0.51
囲い込み（鋼矢板）	0.13	0.47

表 3.1 には、無対策の消散収束時における基礎下平均沈下量を 1.0 とした場合の、地震終了時、消散収束時それぞれの各ケースの基礎部の平均沈下量の割合を示す。これらより、表層改良を除く柱状改良、各囲い込み工法では、若干の差異はあるものの、地震終了時で 0.1 程度の沈下割合を示し、消散収束時で 0.5 程度まで沈下割合が上昇する結果となった。これは、本検討条件では、使用した地震時による繰返しせん断が表層改良を除く各対策工法により抑制される一方、下部の液状化層の消散沈下が反映された可能性などが考えられる。なお、柱状改良のケースをみると他のケースに比べてやや沈下量が小さくなっているが、前述した柱状改良ケースの過剰間隙水圧比の結果からもわかるように、奥行き方向の柱状間の過剰間隙水圧比は、面内方向の柱状間に比べ、急激に小さくなっており、現実には連続している点を踏まえれば、一概には言えないが、奥行き方向の柱状間の沈下量について、危険側の結果になっている可能性も考えられる。この点は、今後の課題であり、例えば、このような地盤状態の変化が大きく、 $\phi=600(\text{mm})$ 幅の狭い区間に対し、1～2 メッシュ程度の比較的粗い 2 重メッシュを適用した点などの妥当性確認が必要であろう。

4.まとめと課題

柱状改良や囲い込み工法では、非液状化層まで対策することが原則であるが、本検討では、液状化層が比較的深く、小規模建築物では対策が困難な場合を想定した対策工法を数値解析により検討した。その結果、柱状改良、囲い込み工法などは、使用した地震動による地震時の繰返しせん断が主因と考えられる沈下は抑制される一方で、消散過程での沈下は地震時の沈下に比べて比較的大きくなった。特に柱状改良のケースなどについては、そのモデル化などの妥当性の確認は必要であるが、上記ケースでは、最終的に無対策に比べ半分程度に抑制される結果が得られた。今後の課題として、例えば、柱状改良における改良体先端部の地盤支持力が失われる点²⁾や、偏心荷重、周辺荷重の影響によると考えられる沈下傾斜などを考慮した各対策工法の比較評価が挙げられる。

なお、本梗概は、一般社団法人建築研究振興協会での「小規模建築物の液状化対策工法の効果に関する研究」委員会において検討した成果をまとめたものである。

- 1)浅層盤状改良による宅地の液状化対策の合理的な設計方法の研究(2012):地盤工学会,pp. 212-255.
- 2)金他:東北地方太平洋沖地震の液状化地域における戸建住宅の基礎の被害:地盤工学ジャーナル,Vol.7,No1,pp. 195-205.

* ¹ 三井ホーム	* ² 地震工学研究所	* ¹ Mitsui Home	* ² Jishin Kougaku Kenkyusho
* ³ ミサワホーム総合研究所		* ³ Misawa Homes Institute of Research and Development	
* ⁴ 住友林業	* ⁵ 報国エンジニアリング	* ⁴ Sumitomo Forestry	* ⁵ Hokoku Engineering
* ⁶ 群馬大学	* ⁷ 建築研究所	* ⁶ Gunma University	* ⁷ Building Research Institute