

有効応力解析による液状化対策設計後の変形量に着目した解析的検討

東日本旅客鉄道(株) フェロー会員 ○中村 宏 正会員 油谷 彬博
ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 正会員 田中 祐二
(株)複合技術研究所 正会員 三平 伸吾

1. はじめに

盛土下が液状化地盤または軟弱地盤の場合、支持地盤対策を実施している。設計は、施工コスト削減を考慮し、L2地震動によるFEM有効応力解析(動的解析)で実施しており、液状化の発生を許容するが、盛土が大崩壊しない程度の変形を許容する考え方としている。本稿では、対策工設計後の変形量(沈下量)に着目して、本設計法の妥当性を検証する。

2. 被災事象の再現シミュレーション

FEM有効応力解析導入にあたり、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震(以下、3.11地震)で、液状化で被災した、安食~小林間の挙動再現解析を実施した。解析ソフトはFLIP ROSEを用いた。図-1に変状概要を、図-2に基盤波形を示す。基盤波形は、近傍3箇所(下総、銚子中、成田)の地表面地震動⁶⁾の中で、最も加速度応答が大きく、震源から最も遠い位置の下総の地震動を、1次元地震応答解析(SHAKE)で安食・小林間の基盤に引き戻して作成した。この基盤波形と液状化強度(図-3)を用いて、再現解析を実施した。

図-4に解析後の変位コンターを示す。2017年度に追加調査を実施して、実変状は500mm程度の沈下と判明した。一方、解析結果は圧密後で652mm沈下であった。実変状量より若干大きい変位量が計算されたが、概ね挙動を再現できた(安全側)と考え、有効応力解析による設計は妥当と判断した。

鋼矢板締切対策後は、3.11地震の地震波による解析では195mm、設計用地震波⁵⁾では320mm程度の沈下量となった。

なお、文献1)2)の当箇所の記事は、追加調査実施前の内容である。

3. 耐震設計の考え方等

表-1に対策箇所ごとの所要の耐震性能を示す。これは、斜面内崩壊対策とする場合の指標で、円弧すべりNewmark法で設計する場合、耐震性能Ⅱは許容変形量200mm、耐震性能Ⅲは同じく500mmであり、路線ごとに決めている。但し、液状化対策設計では、変形量の制限値を設けていない。

表-1に各設計箇所における調査・設計の諸項目を、図-6~図-10に解析結果(沈下量)を示す。鋼矢板締切箇所では、鋼矢板とタイ材の部材が降伏しないように設計し、脈状注入箇所では注入後に向上した液状化強度⁷⁾を用いて設計した。

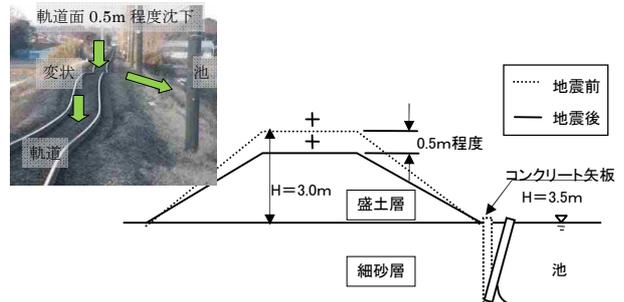


図-1 液状化被害の状況

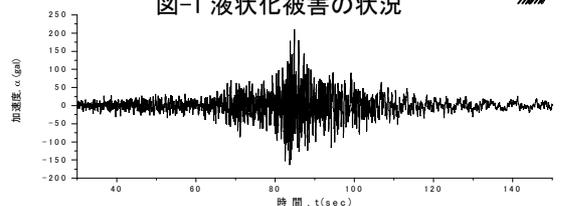


図-2 入力地震動(作成した基盤波形)

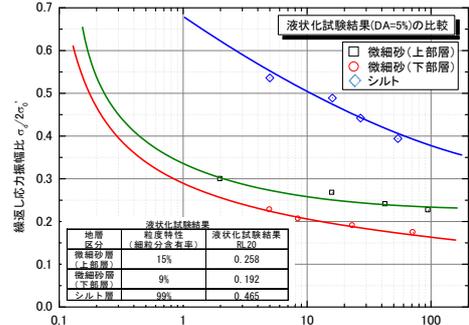


図-3 液状化試験結果

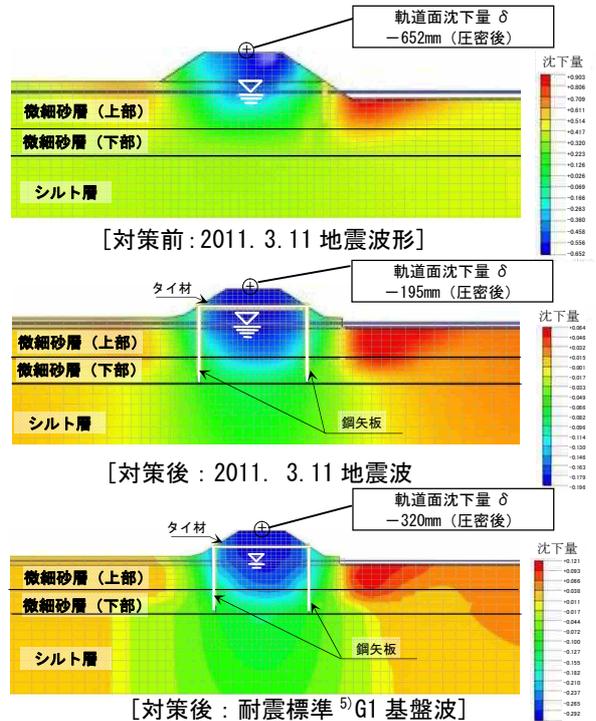


図-4 軌道面沈下量の比較(No.1 安食・小林間)

キーワード 盛土, 耐震補強, 液状化対策, 有効応力解析

連絡先: 〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目2番6号 JR新宿ビル4階 TEL03-6276-1251

東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター 耐震土構造PT

4. 各設計箇所での体側後の沈下量に対する所見

- ① No.2 脈状注入対策箇所では、注入による液状化強度向上⁷⁾、および高品質サンプリングを含めた詳細な地盤調査⁷⁾による地盤物性値により、対策後の沈下量が対策前の2/3程度に評価された。
- ② 鋼矢板締切による対策実施個所のうち、No.3の赤羽～川口間では、液状化試験の供試体に微小ひずみを与えて、サンプリング時の乱れを補正している¹⁾²⁾⁴⁾。沈下量は181mmと、全体の中で小さい。
- ③ 鋼矢板締切による対策実施個所のうち、No.4とNo.6では、PS検層と動的三軸試験(変形)を実施していない。No.4の東神奈川～大口間では、締切りが線路1線分と狭いにもかかわらず、No.4より液状化層厚が厚いNo.5金町～松戸間(283mm)と比べても、対策後の沈下量が442mmと締切対策実施個所の中で最も大きい。なお、No.6の大宮操車場は、液状化層が洪積層であることから、液状化後の圧密沈下の評価を省略した。
- ④ No.1～6の対策実施個所の沈下量は、設計用地震波⁵⁾による解析で181mm～442mmとなり、全箇所とも500mm未満である。

表-1 対策実施箇所の液状化判定結果と最大沈下量

No.	箇所	PI値(L2地震動)対策前				実施した地盤調査	対策	地震後圧密沈下(対策後)	路線の耐震性能	液状化層厚(最大)(m)	対策後最大沈下量(mm)
		N値・粒度		液状化試験							
		SPC I	SPC II	SPC I	SPC II						
1	安食～小林間	14.0	9.8	23.7	27.1	PS検層、液状化試験、動的三軸試験(変形)	鋼矢板(Ⅲ型)+タイ材	考慮	—	5.8	3200
2	小岩～市川間	5.3	3.1	14.4	13.2	PS検層、液状化試験、動的三軸試験(変形)	脈状注入	考慮	Ⅲ	3.6	412.6
3	赤羽～川口間	9.7	7.9	8.4	11.6	PS検層、液状化試験、動的三軸試験(変形)	鋼矢板(V型)+タイ材	考慮	Ⅲ	7.8	181.0
4	東神奈川～大口間	12.0	7.6	18.2	18.0	液状化試験	鋼矢板(V型)+タイ材	考慮	Ⅲ	9.9	442.0
5	金町～松戸間(13k150m付近)	19.2	18.5	15.2	11.2	PS検層、液状化試験、動的三軸試験(変形)	鋼矢板(V型)+タイ材	考慮	Ⅱ	11.3	283.0
6	大宮操車場	5.4	8.5	5.1	11.0	液状化試験	鋼矢板(V型)+タイ材	考慮しない(洪積層)	Ⅲ	5.0	151.0

参考文献

- 1) 山内真也 他：盛土耐震補強における斜面崩壊対策および液状化対策の設計施工事例, SED, No.45, 東日本旅客鉄道(株), 2015.5
- 2) 山内真也 他：盛土耐震補強における液状化対策の設計施工事例(その2), SED, No.47, 東日本旅客鉄道(株), 2016.5
- 3) 東日本旅客鉄道株式会社：土構造物耐震補強設計マニュアル, 2013.5
- 4) 中村宏他：首都直下地震対策における土構造物の耐震補強の設計, 基礎工, vol.45, No.12, pp.19-24, 2017.12
- 5) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計, 丸善, 2012.9
- 6) 防災科学技術研究所：Kik-net観測地表面地震動(下総, 銚子沖, 成田)
- 7) 田谷彬博他：中～高品質サンプリングが地盤物性値と設計に与える影響(その2), 第53回地盤工学研究発表会, 2018.7

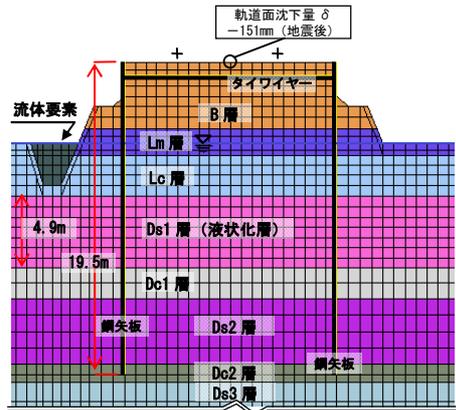


図-10 解析モデルと対策後の最大沈下量 (No.6 大宮操車場)

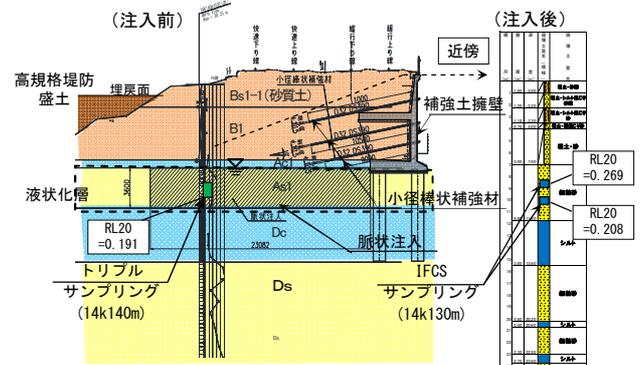


図-5 サンプリング位置図・柱状図 (No.2 小岩・市川間)

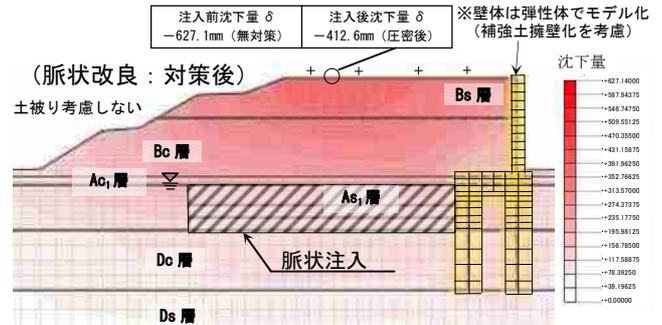


図-6 解析モデルと対策後の最大沈下量 (No.2 小岩・市川間)

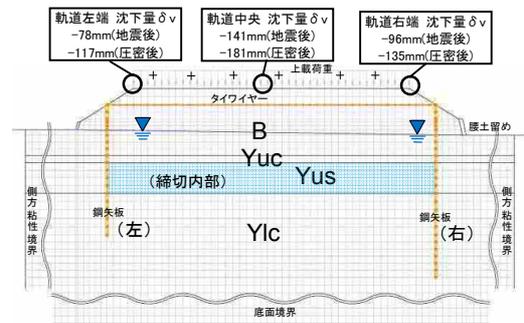


図-7 解析モデルと対策後の最大沈下量 (No.3 赤羽・川口間)

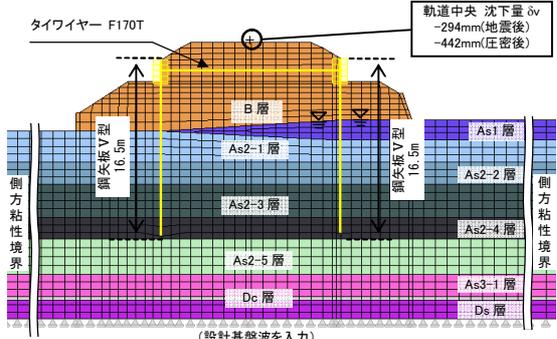


図-8 解析モデルと対策後の最大沈下量 (No.4 東神奈川・大口間)

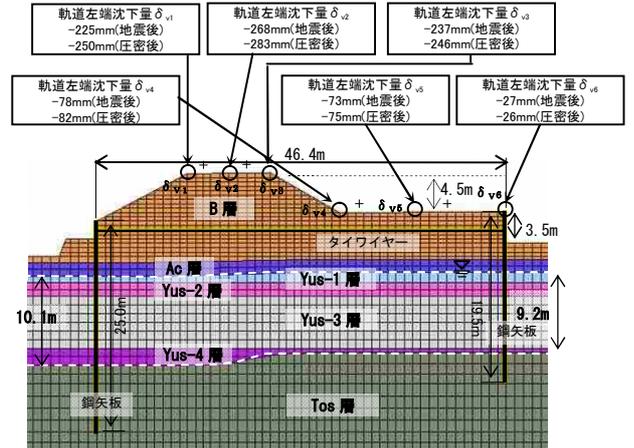


図-9 解析モデルと対策後の最大沈下量 (No.5 金町・松戸間)