

地盤の微小ひずみレベルの剛性を考慮した液状化強度の評価に関する考察

液状化試験、PS 検層、微小ひずみ

東日本旅客鉄道(株) 正会員 中村 宏
 (株)複合技術研究所 正会員 三平伸吾
 シェアード東日本コンサルタンツ(株) 羽矢 洋
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 山内真也

1. はじめに

6路線が並走し、幅が50mを越える広い盛土で、支持地盤に緩い砂質土層があり、かつ民家等が近接している箇所がある。当箇所では施工可能な鋼矢板締切り工法を設計するため、PS 検層および動的な三軸圧縮試験、液状化試験を実施し、FEM 有効応力解析により設計することとした。本稿では、有効応力解析を実施するに当たり、サンプリング時の乱れを補正するために、予め試料に繰り返し微小せん断ひずみを与え、その後液状化試験を実施したところ、液状化強度が上がったこと、および、液状化による被災事象に対して、PS 検層を実施して有効応力解析により挙動の再現解析を実施したところ、概ね挙動を表現することができたことについて、報告する。

2. 今回の取り組みの背景

既往の研究から、砂地盤に対する三重管チューブサンプリングは採取時に試料を乱し、地盤の強度を過小評価する傾向にある。但し、現実的な方法であり、当箇所においても、チューブサンプリングを用いて試料を採取した。そこで、試料採取時の乱れの影響を出来るだけ排除した液状化強度の評価が必要と考えた。

3. 地盤調査、土質試験概要

図1に当箇所の盛土と支持地盤の断面を示す。No.6孔は盛土の中央部で、No.1孔とNo.2孔は、法尻部で調査を実施している。No.6とNo.2は同一断面で、No.1はNo.2より120m 終点方で実施している。No.6孔ではPS 検層を実施し、No.6とNo.1のYus層では、微小せん断履歴を与えた後、液状化試験を実施した。

表1にYus層の室内土質試験結果を示す。中央部のNo.6孔では、のり尻のNo.1およびNo.2孔と比べて、細粒含有率(Fc)が多い。図2にYus層における、PS 検層によるせん断弾性係数 G_{0e} 、および室内試験結果とする微小せん断履歴後のせん断弾性係数 G_{0s} について併記する。室内試験では、Yus層より採取した試料に対して、軸ひずみ0.1%の微小せん断履歴を10000回与えた。図2の G_{0s} におよび履歴減衰は、所定回数の軸ひずみ0.1%の微小せん断履歴を与えた後で、供試体に 10^{-3} 程度の繰返し載荷を行い、10サイクル目の割線剛性として G_{0s} を算出し、併せて履歴減衰を算出している。

図2より、 G_{0s} とPS 検層から得られる G_{0e} は同程度になった。 G_{0s} は、繰返し回数が100回では、微小せん断履歴を与えない場合(図2では1回と表示)よりも剛性が若干低下するが、繰返し回数100回~10,000回にかけては剛性が増加傾向となった。但し、繰返し回数

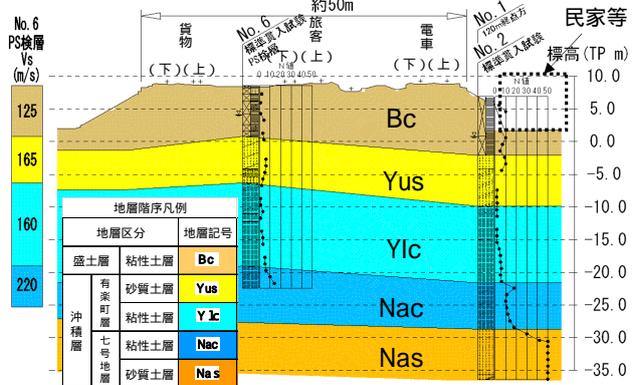


図1 液状化対策検討断面図

表1 Yus 層の室内土質試験結果

不攪乱試料の採取情報		室内試験結果 (液状化試験以外)	
調査位置: 中央部 ボーリング No.6 採取標高: -3.3 ~ -4.1m 採取方法: チューブサンプリング	N値: 4 ~ 6 間隙比e: 1.071 塑性指数 I_p : 26.4 単位体積重量: 17.0kN/m ³	相対密度 D_r : 75.8% 細粒含有率 F_c : 55.4%	
調査位置: 法尻部 ボーリング No.1 採取標高: 0.2 ~ -0.8m 採取方法: チューブサンプリング	N値: 8 ~ 9 間隙比e: 1.032 塑性指数 I_p : 19.87 単位体積重量: 17.3kN/m ³	相対密度 D_r : 75.3% 細粒含有率 F_c : 37.6%	
調査位置: 法尻部 ボーリング No.2 採取標高: -2.3 ~ -4.3m 採取方法: チューブサンプリング	N値: 2 ~ 6 間隙比e: 1.088 塑性指数 I_p : 21.48 単位体積重量: 17.1kN/m ³	相対密度 D_r : 33.6% 粘着力 C : 6.9kN/m ² 内部摩擦角 ϕ : 34.6°	

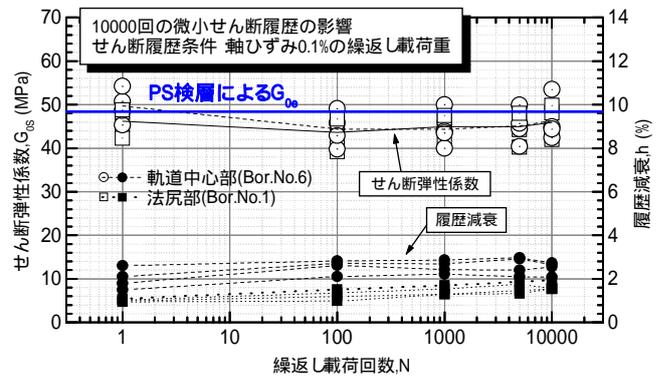


図2 微小せん断履歴の影響 (Yus 層)

表2 せん断弾性係数の比較

地層区分	調査位置: 中央部 (No.6)		調査位置: 法尻部 (No.1)
	PS検層: G_{0e}	室内試験: G_{0s} (繰返し三軸試験)	室内試験: G_{0s} (繰返し三軸試験)
Bc: 盛土粘性土層 N値: 1 ~ 5 層厚: 2m程度	21.2 ~ 34.3MN/m ² 平均値: 28.7MN/m ² (8測点)	29.0MN/m ² (N値: 1)	23.2MN/m ² (N値: 5)
Yus: 有楽町砂質土層 N値: 4 ~ 10 層厚: 2m程度	43.5 ~ 55.1MN/m ² 平均値: 48.4MN/m ² (7測点)	49.7MN/m ² (履歴前) 46.3MN/m ² (履歴後) (N値: 4 ~ 6)	46.2MN/m ² (履歴前) 46.0MN/m ² (履歴後) (N値: 8 ~ 9)
Ylc: 有楽町粘性土層 N値: 0.8 ~ 5 層厚: 7m程度	31.4 ~ 64.0MN/m ² 平均値: 43.5MN/m ² (13測点)	26.8 ~ 32.6MN/m ² (N値: 1 ~ 2)	31.9 ~ 34.2MN/m ² (N値: 1 ~ 2)

Consideration about the evaluation of the liquefaction strength in consideration of the rigidity of the microstrain level of the ground

Hiroshi NAKAMURA (East Japan Railway Company)
 Shingo MIHIRA (Integrated Geotechnolgy Institute Limited)
 Hiroshi HAYA (JR East Consultants Company)
 Shinya YAMAUCHI (East Japan Railway Company)

10,000 回では、微小せん断履歴を与えない場合の数値とほぼ同値である。また、微小せん断の繰り返し回数が増加すると、履歴減衰も少しずつ増加する傾向である。

表 2 に盛土層 (Bc), 沖積砂質土層 (Yus), 沖積粘性土層 (Ylc) のせん断弾性係数を示す。表 1 より、中央部付近 No.6 の Bc 層と Yus 層では、PS 検層と室内三軸試験の結果がほぼ等しくなり、法尻の No.1 孔よりも、No.6 孔の N 値は小さいが、せん断弾性係数は大きい傾向であった。

Yus 層の液状化試験結果について、図 3 に示す。図 3 より、No.6 孔および No.1 孔における、微小なせん断履歴を与えた供試体の繰返し応力振幅比は、0.397 ~ 0.415 となり、履歴を与えない No.2 孔の 0.248 より大きな値となった。

4. 被災事象の再現シミュレーション

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震において、液状化により軌道面が沈下した変状箇所において、有効応力解析による挙動再現シミュレーションを実施した。解析ソフトは FLIP を用いた。図 4 に変状概要を、図 5 に地質断面と解析用の主要なパラメータを、図 6 に解析後の変位コンターを示す。当箇所では、地震後に PS 検層を実施しているが、液状化試験は実施していない。図 6 は、PS 検層から得た G_{0e} より入力パラメータを設定した結果であるが、実変状量に対して若干大きい変位量が計算された。当箇所において、液状化試験を実施する等、原位置における適切な液状化強度を評価出来れば、再現性はさらに向上するものと推察する。一方、N 値より設定されるパラメータを用いて解析したところ、計算が収束しない結果となった。

5. まとめ

今回の試験・解析で分かったことを以下にまとめる。

Yus 層では、微小せん断履歴を与えた法尻部 No.1 と中央部 No.6 の供試体では、液状化強度が大きい。

Yus 層で微小なせん断履歴を与えたケースでは、繰返し回数増加とともに、履歴減衰が増加した。

Yus 層 (No.1 孔, No.6 孔) では、PS 検層の G_{0e} と繰返し三軸試験の G_{0S} ほぼ同レベルの数値になった。被災事例の再現シミュレーションでは、PS 検層から得た G_{0e} からのパラメータを設定した場合には、ある程度液状化時の挙動が再現出来ている。

今回の検討では、微小なせん断履歴が液状化強度に与えた影響を十分に把握することができなかった。今後も追加試験を継続し、合理的な液状化対策における評価体系について整理していきたい。

これまで標準貫入試験に依存する傾向が大きかったが、地震応答や適切な液状化強度を求めることの重要性を再認識し、地質調査を十分に実施することが、耐震対策の合理化に、ひいてはコストダウンに繋がると考える。

本検討にあたり、東京大学の古関潤一教授には初期せん断剛性の把握に関する重要性と試験方法について御指導を頂いた。紙面をもって深くお礼申しあげる。

【参考資料】

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計：財団法人 鉄道総合技術研究所 平成24年9月
- 2) K.Tokimatsuら：Soil Liquefaction evaluation by elastic shear moduli, Soil and Foundation, Vol.26, No.1, pp.25-35, 1986
- 3) レベル2地震動による液状化：土木学会・地震工学委員会, 2003年6月

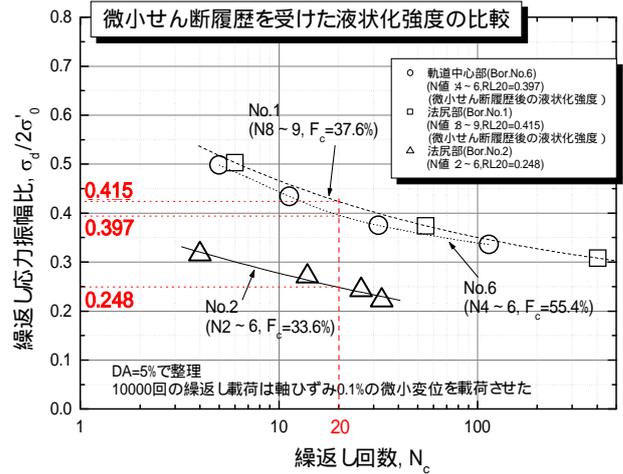


図 3 液状化試験結果の比較

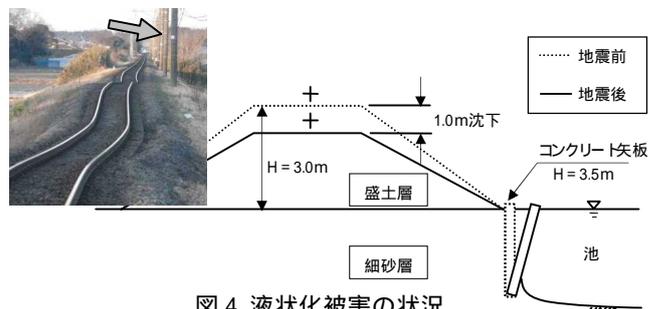


図 4 液状化被害の状況

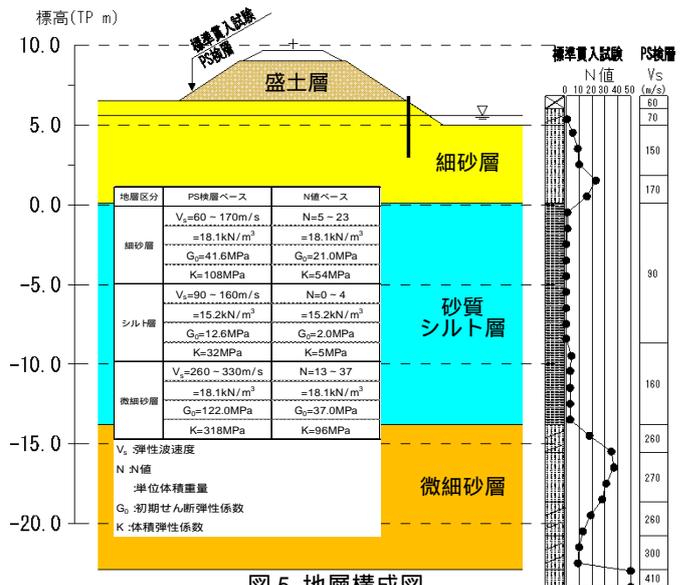


図 5 地層構成図

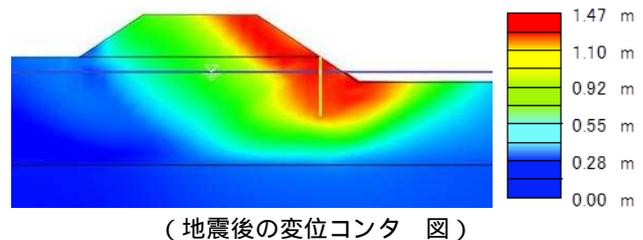


図 6 PS 検層を用いた液状化被害の再現解析事例