

Vs を用いた液状化強度比推定法の適用性の検討
— 東北地方太平洋沖地震時の江戸川河川敷を対象として —

ケミカルグラウト(株) 正会員 ○川村 淳 正会員 北山 真
東京大学 学生会員 志賀正崇 正会員 清田 隆
鹿島建設(株) 正会員 山田岳峰

1. はじめに

凍結サンプリングなどの一部のサンプリング手法を除き、実務で一般的に行われるサンプリング手法の場合には、試料採取時の乱れの影響が避けられず、原位置の液状化強度比が適切に評価されていない事例が多々あることが知られている。清田ら^{1,2)}は、原地盤のせん断波速度計測、および原位置採取試料を現場密度に調整した再構成試料の室内試験を行うことで原位置液状化強度比を推定する手法を提案しており、実務への展開が期待されている。原位置液状化強度比を用いた精度の高い液状化予測を行うことは、より合理的な液状化対策に繋がる。そこで、本研究では、東北地方太平洋沖地震で液状化の発生が確認されなかった江戸川河川敷の地点を対象に、清田らの手法と従来手法で評価した液状化強度比を用いた一次元有効応力解析を行い、その適用性について検討する。

2. 検討箇所および入力地震動の推定

検討箇所は、既往研究³⁾で液状化被害が発生していないことが報告されている江戸川右岸 20.0km 地点である。密度検層を併用したボーリング調査で採取された攪乱試料を用い、原位置と同一の密度となるように作成した再構成試料を対象に、液状化試験を実施した。また同時に、PS 検層を行い、原位置のせん断波速度を計測した。室内試験の結果は $R_L^*=0.16$ で、この試験結果を参考に Kiyota et al.²⁾の提案する下式を用いて原位置の液状化強度比を設定すると $R_L=0.42$ となる。ここで、 V_s^* は室内で計測されたせん断波速度を、 V_s は原位置で計測されたせん断波速度を示す。本検討では、 $R_L^*=0.16$ と $R_L=0.42$ の2ケースを使用した。

$$R_L = R_L^*(V_s/V_s^*)^{5.02} = 0.16 \times (155/128)^{5.02} = 0.42$$

地盤条件は、国土交通省の地盤調査報告書⁴⁾を参考に表-1のように設定した。近傍に二つの柱状図が存在し、土層構成が異なるため、それぞれの地盤条件を対象に検討を行うこととした。

調査地点の近傍では、防災科学技術研究所が運営する K-NET⁵⁾ (観測点: CHB002) で、東北地方太平洋沖地震の観測波が得られている。有効応力解析の入力地震動を得るため、当該観測波を N 値が 50 以上の基盤に引き戻し、2E 波を作成した。使用したプログラムは一次元の等価線形解析プログラム SHAKE である。計算に必要な $G/G_0-\gamma$ 等は既往研究⁶⁾を参考に設定した。作成した入力地震動を図-1に示す。

表-1 地盤条件

Bor. No. 1						Bor. No. 2					
土層区分	土質	下端深度 h (m)	N値	CSR		土層区分	土質	下端深度 h (m)	N値	CSR	
				RL*	RL					RL*	RL
Bs	砂質土	-0.2	5			Bs	砂質土	-0.6	5		
Ac1	粘性土	-1.3	1			Ac1	粘性土	-1.7	5	0.16	0.42
As1	砂質土	-7.1	14	0.16	0.42	As1	砂質土	-7.1	14	0.16	0.42
Ac2	粘性土	-8.3	1			Ac2	粘性土	-24.8	1		
Ac2-s	粘性土	-14.0	7			As2	砂質土	-32.1	9		
Ac2-cs	粘性土	-18.1	2			Ac3	粘性土	-34.0	3		
Dc1	粘性土	-18.8	9			As3	砂質土	-36.0	24		
Ds1	砂質土	-25.8	28			Dc2	基盤	-	14		
Dc2	基盤	-	14								

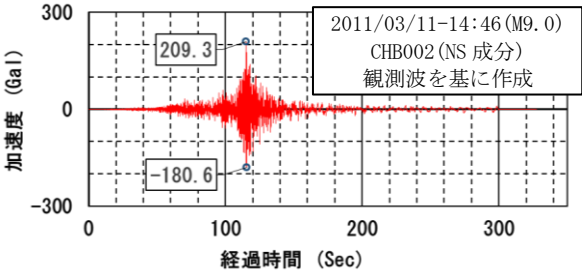


図-1 入力地震動 (2E 波)

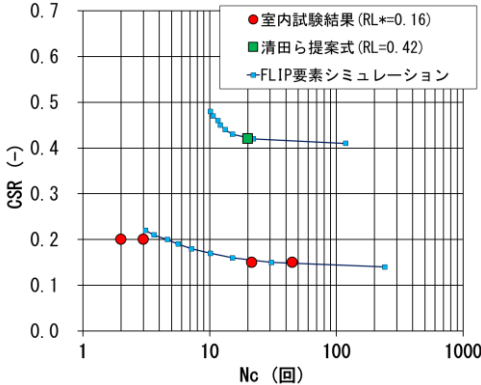


図-2 液状化強度曲線

キーワード：液状化強度比，せん断波速度，有効応力解析

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門2丁目2-5 ケミカルグラウト(株) TEL 03-5575-0479

3. 一次元有効応力解析

一次元有効応力解析は、FLIP を用いた。応力ひずみ関係に関わるパラメータに関しては、簡易設定法（再訂版）を使用し、不足しているパラメータを補完した。また、液状化パラメータは、要素シミュレーションを実施することで液状化強度曲線にフィッティング（図-2 参照）し設定した（表-2 参照）。モデルは柱状モデルとし、同一深度の節点に MPC 境界条件を与え変位を同値にすることで一次元状態を模擬した。またモデル下端は粘性境界とし、入力地震動（図-1）を入力した。検討ケースは地盤条件 2 種類、液状化層の液状化強度比 2 ケースの計 4 条件とした。

表-2 液状化パラメータ

液状化強度比	ϕ_p	S_1	W_1	P_1	P_2	C_1
$R_L^*=0.16$	28°	0.005	1.1	0.5	1.1	1.7
$R_L=0.42$	28°	0.005	6.5	0.5	1.1	4.8

図-3 に有効応力解析結果を示す。地盤条件に依存する挙動は、全層にわたって同様であった。一方で設定した液状化強度比の違いにより検討対象層およびその近傍深度で挙動に差が生じている。特に過剰間隙水圧比に関しては、 $R_L^*=0.16$ では過剰間隙水圧比が 0.9 以上となって液状化の発生を示唆するのに対し、 $R_L=0.42$ では 0.1 以下となっている。これにより、せん断ひずみ応答についても、後者の値は前者と比べて大きく抑制される結果が得られた。清田ら^{1,2)}の手法は、 V_s を用いて液状化強度比に及ぼす原地盤の年代効果（所謂かみ合わせ効果）を表現するものであるが、この手法による液状化強度比を用いた解析結果は、東北地方太平洋沖地震時の現地の状況と整合することが確認された。

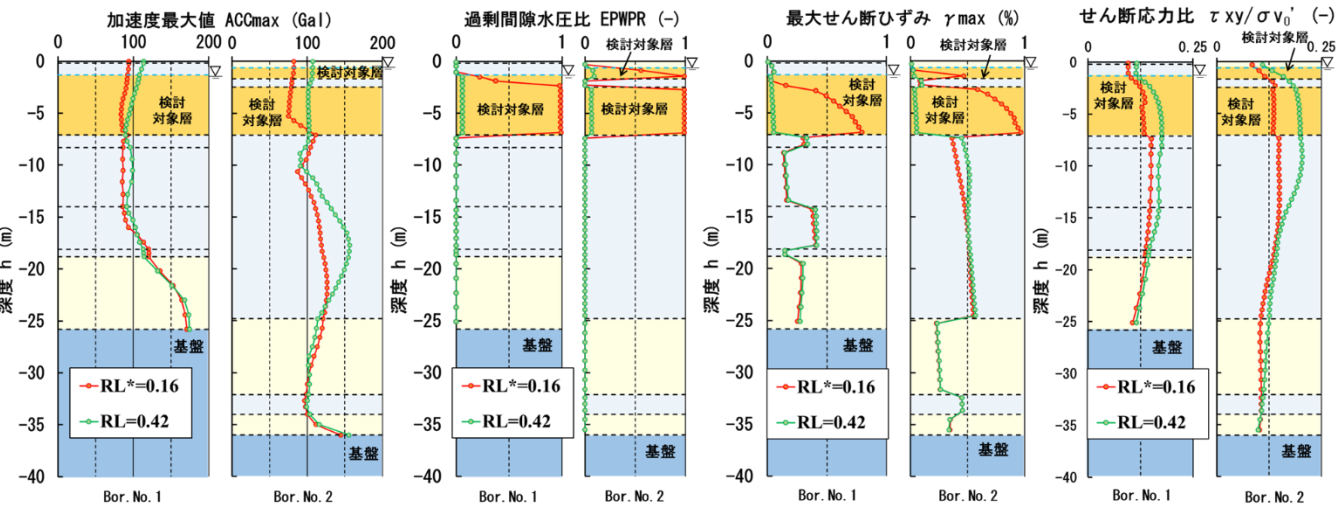


図-3 有効応力解析結果の深度分布

4. まとめ

東北地方太平洋沖地震で液状化の発生が確認されなかった江戸川河川敷の地点を対象に、従来手法と清田らの手法で評価した液状化強度比を用いた一次元有効応力解析を行った。その結果、従来法と比較して、清田らの手法では地震時における現地の状況と整合する結果が得られた。なお、本研究の一部は、一般財団法人大成学術財団の助成を受けて行われた。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

1) 清田隆・呉杰祐, 原位置と室内試験による V_s を用いた液状化強度比の推定法, 地盤工学ジャーナル, Vol. 12, No. 4, pp. 375-383.

2) Kiyota et al., Using in-situ and laboratory-measured shear wave velocities to evaluate the influence of soil fabric on in-situ liquefaction resistance, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2019, 164-173

3) 東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書, 国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学会, 2011

4) 国土交通省発注 平成 16 年度江戸川右岸堤防地質調査 (その 4) 業務, 株式会社マスタ技研, 2005

5) NIED K-NET, KiK-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, doi:10.17598/NIED.0004

6) 古山田等, 多地点での原位置採取試料から評価した表層地盤の非線形特性, 第 38 回地盤工学研究発表会, 2003