

簡易な液状化判定による東日本大震災での SCP 工法の改良効果の検証

東京電機大学 正会員 石川 敬祐、名誉会員 安田 進
株式会社不動産テトラ 正会員 原田 健二、正会員 出野 智之
東京電機大学大学院 学生会員 ○町田 亘

1.目的

2011 年東日本大震災では、東北地方から関東地方にかけて広範囲で液状化による地盤災害が発生した。特に東京湾沿岸部の埋立て造成地盤では液状化による甚大な被害が生じた。ただし、その地域内で代表的な液状化対策工法であるサンドコンパクションパイル(以下 SCP)工法などの地盤改良が施された地域である浦安市入船地区や江東区辰巳地区では液状化被害がないことが確認されている¹⁾。本研究では浦安市入船 5 丁目の既存のボーリングデータを用いて東日本大震災を外力とした際の簡易な液状化判定を行い、埋立地盤の液状化強度の推定方法や SCP 工法による密度増加効果や静止土圧係数 K_0 の効果などの複合効果の影響を検討した。

2.液状化判定概要²⁾

液状化判定には、液状化抵抗率(F_L)による簡易予測法($F_L=R/L$)を用いた。次に、 F_L 法で得られた F_L 値の深度分布より、その検討箇所での液状化の激しさの程度を表す指標である液状化指数 P_L を算定する。なお、地下水位・ N 値・土質は、建物建設時に実施された既存のボーリングデータを参考とした。細粒分含有率 (F_c) は浦安市で整理された N_1 値- F_c の関係より、盛土層(B 層)、埋土層(F 層)、沖積砂質土層(A_s 層)の各土層区分に対するそれぞれの推定式を用いた³⁾。液状化強度比 R_L は①道路橋示方書 (H24) の推定式⁴⁾、②東京低地を対象に整理した亀井らの推定式⁵⁾、③道路橋示方書(H29)の推定式⁶⁾ でそれぞれ推定した。各手法の特徴として①は東日本大震災以前までの液状化強度比の推定式であり一般的に普及している方法、②は東京低地の沖積砂層 ($F_c=20\sim30\%$ 、 N 値が小さい) に対して液状化試験を実施して実験的に求めた推定式であり東京低地の地域性が考慮されている方法、③は東日本大震災を受けて①の推定式に対して N 値の小さい範囲や F_c の影響を考慮した方法となっている。なお文献 3 において液状化試験結果と②の推定式から得られる液状化強度比の比較がされ、F 層に対しては比較的一致するが A_s 層は液状化強度比を 1.2 倍することで試験結果に概ね一致することが示されている³⁾。本検討内容を表 1 に示す。これらの式の比較をするため、細粒分含有率を 10%、30%、50%としたときの $\sigma'_v=100$ (kN/m²) に対する液状化抵抗比 R_L と N_1 の関係図を図 1 に示す。これより① (H24)と③ (H29)の違いは N_1 や F_c によらず③のほうが①に比べ、液状化強度比が大きくなっており

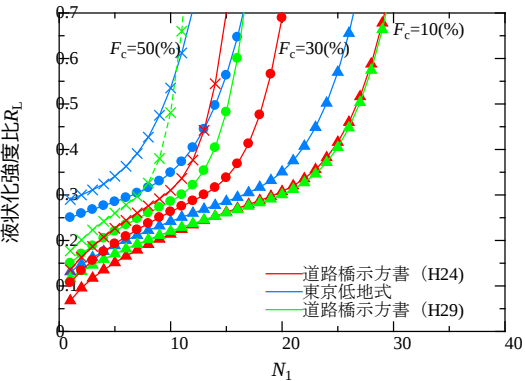


図 1 3つの推定法の細粒分含有率の違い

表 1 液状化判定の検討内容

Case	液状化強度比 R_L の推定式		地震動特性の補正係数 C_W	外力条件	地盤生成の年代効果		
	B,F層	As層			B,F層	As層	
Case1-1	道路橋示方書(H24)		$C_W=1.0$	浦安市埋立域内の 最大加速度の平均値 200gal ²⁾	$C_h=1$	$C_h=1$	
Case1-2			$C_W=0.59 \times R_L^{(-0.25)}$			$C_h=1.4$	
Case1-3			$C_W=0.59 \times R_L^{(-0.25)}$				
Case2-1	東京低地式	東京低地式 × 1.2倍	$C_W=1.0$			$C_h=1$	
Case2-2			$C_W=0.59 \times R_L^{(-0.25)}$			$C_h=1.4$	
Case2-3			$C_W=0.59 \times R_L^{(-0.25)}$				
Case3-1	道路橋示方書(H29)		$C_W=1.0$			$C_h=1$	
Case3-2			$C_W=0.59 \times R_L^{(-0.25)}$			$C_h=1.4$	
Case3-3			$C_W=0.59 \times R_L^{(-0.25)}$				

キーワード 液状化判定, 改良効果, SCP 工法

連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学大学院 理工学研究科 TEL 049-296-5819

F_c が小さくとも N_1 の小さい範囲で液状化強度比の見直しが行われている。なお、②東京低地は、 F_c を含む時 N_1 の小さい範囲では液状化強度比の推定値が最も大きいという特徴がある。

液状化抵抗比 R は、 $R = C_w R_L$ で定義されるが当初の道路橋示方書では $C_w = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5$ で構成されていた。このうち C_2 は地震波荷重の不規則性に関する補正係数であり、東日本大震災は長時間継続地震動であったことから観測地震波を用いて実験的に求めた⁶⁾ $C_2 = 0.98 \times R_L^{(-0.25)}$ の関係でも検討を行うこととした。すなわち、地震動特性による補正係数は海溝型地震で用いられる $C_w = 1.0$ と観測地震動を元に実験的に求めた補正係数 ($C_w = 0.59 \times R_L^{(-0.25)}$)²⁾ とした。

入船 5 丁目での SCP 工法による改良仕様は、改良率 $as=12.5\%$ 、改良長 10m である¹⁾。改良地盤の杭間の N 値は、SCP 工法の方法 D にて改良使用に応じた改良後の N 値の深度分布を推定した。加えて、SCP 工法の締固めによる改良地盤全体で評価した場合の複合地盤効果などの要因として、 C_1 は地盤の密度増大効果、 C_2 は水平有効応力の効果、 C_3 は地盤全体の剛性効果(複合地盤効果)、 C_4 は繰返しせん断履歴による微視構造の変化、 C_5 は砂杭の排水効果、 C_6 は飽和度の低下効果が考えられている。従って、締固めによる改良地盤全体で $C_2 \sim C_6$ の複合効果を考慮した割増係数(C)の検討も実施した。せん断応力比 L は岩崎らの式⁷⁾ を用い、地震外力は既往の研究から埋立域内の最大加速度の平均値である 200gal²⁾ とする。

3.液状化判定結果

各検討条件での地盤改良前の液状化判定結果を図 2 に示す。各検討条件において $P_L \geq 15$ 以上となり液状化による被害の危険性が高いことが分かる。図 3 は、SCP 工法の方法 D 法による

密度増大効果を考慮した各検討条件による液状化判定である。SCP 工法による密度増大効果により P_L は改良前に比べ低くなったが、当該地での実現象と各液状化判定結果は異なる結果となった。これは SCP 工法による改良効果を過小評価していることを示している。図 4 は SCP 工法によって改良地盤全体で考えた際の改良効果による割増係数 C と P_L の関係である。各検討条件による P_L は割増係数が増すに従い段々と低くなる。これは SCP 工法による締固め砂杭間の地盤の密度増大効果に加えて、水平有効応力の効果や改良域の地盤全体での複合地盤効果などを考慮する必要があることを意味し、液状化強度比を東京低地の推定式で求めた場合に割増係数 C は 1.2~1.3 程度とすることで P_L は 5 以下となり、実現象に近い判定結果となる。なお、この割増係数は直下型地震で評価した既往の研究⁸⁾と同程度であり、長時間継続地震に対しても評価できることが示唆される。

4.まとめ

東日本大震災時の SCP 工法について地盤改良された埋立地に対する液状化判定により、原位置での液状化強度特性を適切に求められる際には改良地盤全体での複合効果の割増係数は 1.2 倍程度であることがわかった。

【参考文献】(1) Yasuda, et al.: "Characteristics of liquefaction in Tokyo Bay area by the 2011 Great East Japan Earthquake", *Soils and Foundations*; Vol.52, No.5, p.793-810, 2012. (2) 石川ら: 電子地盤モデルを用いた浦安市域の東日本大震災時の液状化判定, 日本地震工学会論文集 第 16 巻, 第一号(特集号), pp.70-80, 2016. (3) 浦安市の液状化対策技術検討調査報告書 (4) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, pp.134-141, 2012 (5) 岩崎ら: 砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例, 第 5 回日本地震工学シンポジウム講演集, pp.641-648, 1978. (6) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, pp.161-164, 2017. (7) 石川ら: 海溝型巨大地震時の合理的な簡易液状化判定手法に関する研究, 地盤工学ジャーナル vol.9, No.2, pp.169-183, 2013. (8) 山本ら: 締固めによる改良地盤の液状化強度の評価指標について, 土木学会 第 58 回年次学術講演会, pp.1245-1246, 2003.

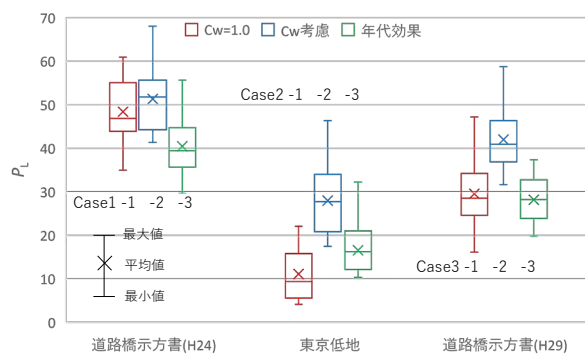


図 2 改良前 P_L 値の散布

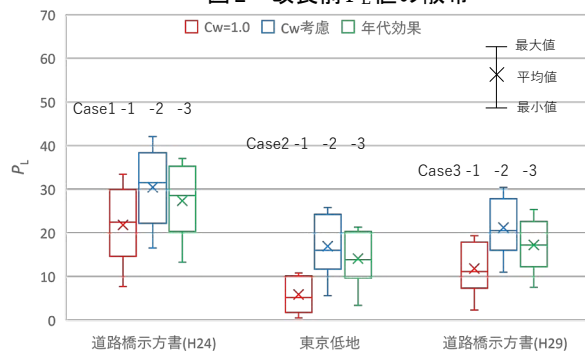


図 3 改良後 P_L 値の散布

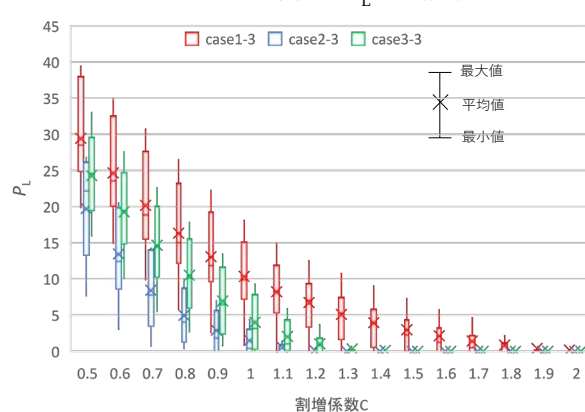


図 4 P_L 値と割増係数の関係