

CPTによる塑性指数を考慮した液状化判定 (その2)

CPT 液状化判定 塑性指数
 地盤試験所 正会員 ○北條 豊 中央大学 国際会員 齋藤 邦夫
 日揮 国際会員 深沢 健 川崎地質 正会員 黛 廣志
 中央開発 正会員 西原 聡 カラエンジニアリング 正会員 大塚 潤
 日さく 正会員 石川 恵司 千葉エンジニアリング 正会員 若月 洋朗
 ソイル&ロックエンジニアリング 国際会員 後藤 政昭

1. はじめに

現在、CPT を用いた液状化判定方法が広く普及している。「道路橋示方書・同解説」(平成24年)(以降、道示)¹⁾は、標準貫入試験と室内土質試験結果を用いて液状化判定をするが、最近の研究成果により、CPT から求めた換算 N 値を用いた液状化判定が有効であることが分かっている²⁾。各種サウンディングに関する一斉試験³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾が実施され、前稿⁷⁾ではこの一斉試験のデータを用い、CPT による液状化判定の過程において、塑性指数(I_p)と細粒分含有率(FC)を判定条件に加える方法について提案した。

本論は、筆者らが提案する CPT を活用した新しい手法による液状化判定(以降、改良 CPT 法)と従来法(以降、SPT 法)による判定結果を示し、提案する手法の有用性について報告する。

2. 改良 CPT 法による液状化判定

道示では、FC ≤ 35% または I_p ≤ 15 の範囲に属する土層を液状化判定の必要な土層(液状化判定層)と規定している。改良 CPT 法は、室内土質試験を実施しないで CPT の測定結果のみから容易に液状化判定層を判別する。

図-1、図-2 は、Robertson の土質性状分類チャート(基準化先端抵抗(Q_t)-基準化間隙水圧(B_q))⁸⁾に一斉試験のデータを I_p = 15、FC = 35 を境に色分けしてプロットした結果である。同図から、I_p ≤ 15 と FC ≤ 35 の土層は Q_t ≥ 7 か B_q ≤ 0.1 に分布している。この結果から、改良 CPT 法では Q_t ≥ 7 および B_q ≤ 0.1 に分布する土層を液状化判定層と判別する。

$$Q_t = (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo} \quad (\text{式 1}) \quad B_q = (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_{vo}) \quad (\text{式 2})$$

Q_t: 基準化先端抵抗, q_t: 先端抵抗(MPa), σ_{vo}: 総土被り圧(MPa), σ'_{vo}: 有効土被り圧(MPa)
 B_q: 基準化間隙水圧比, u₂: 間隙水圧(MPa), u₀: 静水圧(MPa)

N 値と FC は、鈴木ら⁹⁾の提案式を採用する。

$$\begin{cases} N_c = 0.341 \cdot I_c^{1.94} (q_t - 0.2)^{(1.34 - 0.0927 \cdot I_c)} \\ N_c = 0 (q_t \leq 0.2 \text{ MPa}) \end{cases} \quad (\text{式 3}) \quad FC = I_c^{4.2} \quad (\text{式 4})$$

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2 \right]^{0.5} \quad (\text{式 5})$$

N_c: 換算 N 値, FC: 細粒分含有率(%), I_c: 土質性状指数
 Q_t: 基準化先端抵抗 [= (q_t - σ_{vo}) / σ'_{vo}], F_r: 基準化周面摩擦比 [= fs / (q_t - σ_{vo})]

3. 液状化判定結果の対比

SPT 法から求めた液状化判定結果と、改良 CPT 法から求めた液状化判定結果を対比する。判定方法は道示に準じて行う。SPT 法は粒度試験から求めた土の分類名、N 値、細粒分含有率 FC、塑性指数 I_p を使用し、改良 CPT 法は Q_t ≥ 7 および B_q ≤ 0.1 に分布する土層を対象とし、式 1~5 から求めた N 値と FC を使用する。

表-1 に液状化判定の結果を示す。この結果から、液状化判定層の層厚は、SPT と比べて CPT は最大で 4.59m (浦安1)、最少で 1.09m (守山1) 大きくなった。また、レベル 2 地震動タイプ II の液状化指数(PL)は、SPT と比べて CPT は最大で 18.5 (守山2)、最少で 5.2 (守山1) 大きくなった。

改良 CPT 法から求めた液状化判定は SPT 法から求めた液状化判定と比べて液状化しやすい地盤と判定される結果となった。地盤の特性値(T_G)は N 値から求めているが、改良 CPT 法と SPT 法でほとんど差はなく同じ地盤種別となっている。

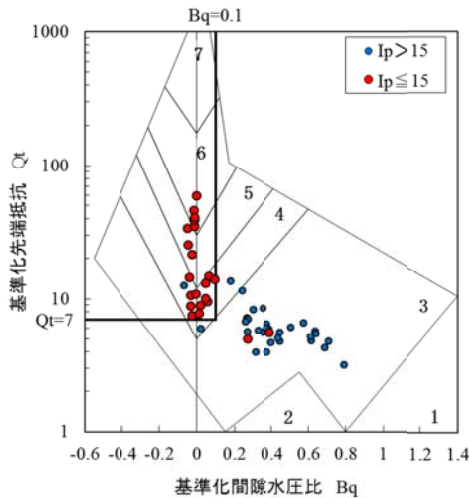


図-1 I_p の分布(Q_t ~ B_q)

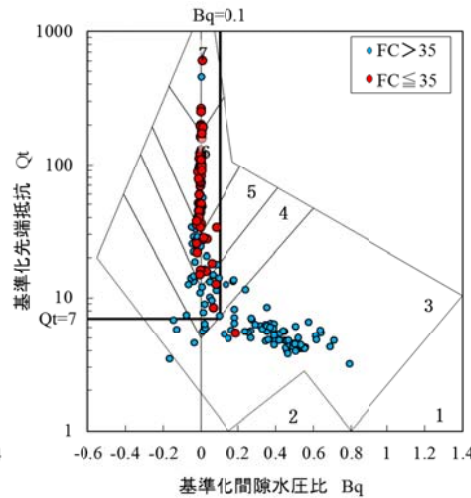


図-2 FC の分布(Q_t ~ B_q)

このことから、改良 CPT 法の PL が大きくなったのは、N 値の差ではなく液状化判定層の層厚が大きくなったことが原因と予測される。

液状化判定層の層厚差が最も大きくなった浦安1の液状化判定図を図-3に示す。主な相違点は GL-4.0m ~ 5.0m, GL-9.0m ~ 9.5m, GL-11.0m ~ 12.0m, GL-14.5m ~ 16.0m の 4 区間で SPT では非液状化層、CPT では液状化判定層となった。

Liquefaction judgment by CPT in consideration of plasticity index. (Part 2)

Yutaka Hojo (Jibanshikenjo Co., Ltd.) Kunio Saito (Chuo University) Takeshi Fukasawa (JGC Corporation)
 Hiroshi Mayuzumi (Kawasaki Geological Eng. Co., Ltd.) Satoshi Nishihara (Chuo Kaihatsu Co., Ltd.)
 Jyun Ootsuka (Takara Eng. Co., Ltd.) Keiji Ishikawa (Nissaku Co., Ltd.) Hiroaki Wakatsuki (Chiba Eng. Co., Ltd.)
 Masaaki Goto (Soil and Rock Eng. Co., Ltd.)

表-1 液状化判定結果一覧表

調査場所	地域区分	判定方法	地盤の特性値 T _g	地盤種別	液状化判定層厚 (m)			レベル1地震動								
								レベル2地震動			タイプI			タイプII		
					FC	I _p	差	水平震度	液状化指数	差	水平震度	液状化指数	差	水平震度	液状化指数	差
					k _{hc}	PL	差	k _{hc}	PL	差	k _{hc}	PL	差	k _{hc}	PL	差
鶴見1	A1	SPT	0.67	Ⅲ種	4.65	1.00		0.18	7.2		0.48	22.5		0.6	18.8	
		CPT	0.66	Ⅲ種	6.95			+1.30	0.18	8.1	+0.9	0.48	31.4	+8.9	0.6	28.6
浦安1	A2	SPT	0.63	Ⅲ種	3.20	3.10		0.18	5.1		0.4	17.8		0.6	17.6	
		CPT	0.67	Ⅲ種	10.89			+4.59	0.18	10.3	+5.2	0.4	33.1	+15.3	0.6	33.8
浦安3	A2	SPT	0.61	Ⅲ種	5.68	2.30		0.18	10.7		0.4	29.0		0.6	29.7	
		CPT	0.62	Ⅲ種	11.61			+3.63	0.18	18.8	+8.1	0.4	44.3	+15.3	0.6	46.0
守山1	A2	SPT	0.70	Ⅲ種	1.15	2.00		0.18	3.6		0.4	10.5		0.6	11.2	
		CPT	0.64	Ⅲ種	4.24			+1.09	0.18	2.3	-1.3	0.4	15.5	+5.0	0.6	16.4
守山2	A2	SPT	0.48	Ⅱ種	6.55	4.25		0.15	2.0		0.45	29.4		0.7	29.4	
		CPT	0.51	Ⅱ種	13.41			+2.61	0.15	2.7	+0.7	0.45	47.0	+17.6	0.7	47.9
香取2	A2	SPT	0.49	Ⅱ種	16.75	0.00		0.15	5.6		0.45	46.1		0.7	46.0	
		CPT	0.47	Ⅱ種	18.61			+1.86	0.15	9.3	+3.7	0.45	60.5	+14.4	0.7	62.8

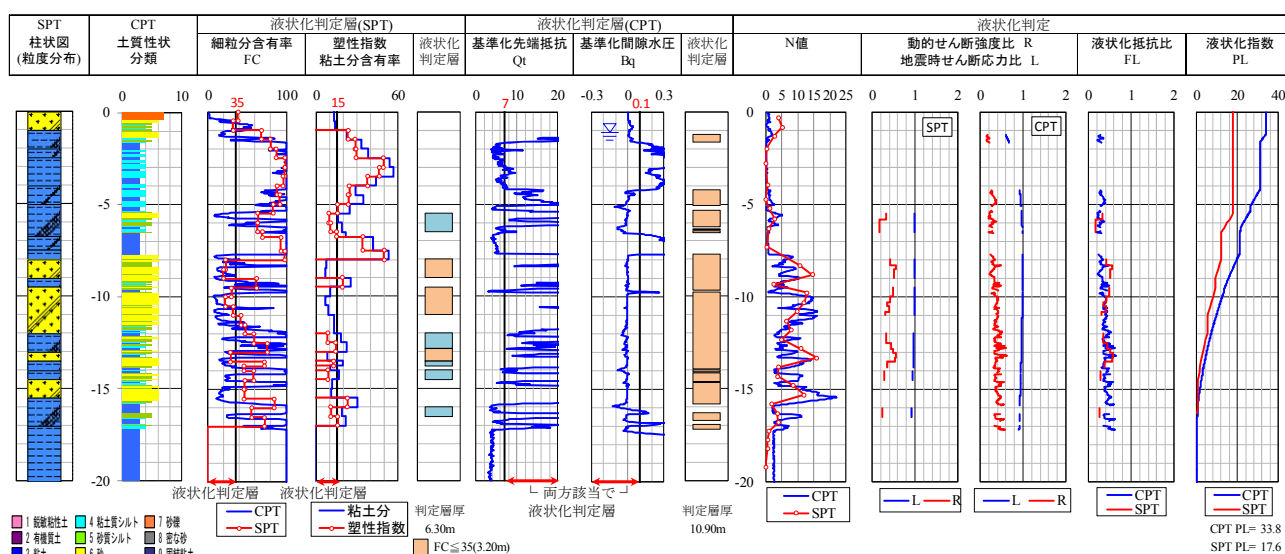


図-3 液状化判定図 (浦安1, レベル2地震動タイプII)

GL-4.0m~-5.0m, GL-9.0m~-9.5mの2区間は、SPTではFC=60%~65%、I_p=20~25にあり非液状化層としている。

GL-11.0m~-12.0m, GL-14.5m~-16.0mの2区間は、SPTではFC=20%~40%に分布し、FC>35%であっても液塑性試験が未実施であるため非液状化層と判定している。また、I_pと相関が見られる粘土分含有率(P_c)はP_c≤15でありI_p≤15であることが予測される。このことから、この区間はFCのみで液状化を判定してしまう可能性があることになる。

液状化抵抗比(FL)に着目すると、若干の上下はあるもののSPTとCPTはほぼ同じ分布を示している。このことから、SPTとCPTの液状化指数(PL)の差は、液状化判定層の層厚によるものと判断できる。なお、浦安1以外の液状化判定結果も同様な結果が得られている。

4.まとめ

CPTの結果からQ_t≥7かつB_q≤0.1に分布する層を液状化判定層として液状化判定を行った結果、FC≤35%またはI_p≤15の土層を液状化判定層と判定することができた。また、液塑性試験の欠損区間においても液状化判定層と判別することができた。

SPT法ではFCとI_pの粒度組成のみに着目して液状化判定層を判別するが、改良CPT法では土の強度および粒径(Q_t)と透水性(B_q)により多角面から液状化判定層を判別することができる。また、CPTの測定結果のみから容易に液状化判定層を判別できるQ_t-B_qチャートは実務上有益である。

今後、データの蓄積により、本液状化判定方法の適用性について検証を行っていく所存である。

<参考文献>

- 1)道路橋示方書・同解説V 耐震設計編, pp. 132~149, 2012.
- 2)岡 信太郎,他, SPTとCPTによる液状化予測の比較, GeoKanto2013, 防災4-1, 2013.
- 3)末政直晃,他, コーン貫入一斉試験2007, 地盤工学会誌, Vol.57, No.8, 2009.
- 4)大島昭彦,他, 浦安市における各種動的サウンディング試験の比較(その1調査概要), 第47回地盤工学会研究発表会, pp.131~132, 2012.
- 5)峰 翔太郎,他, 滋賀県守山市におけるサンプリング・サウンディング試験と沖積粘土層の性状, 第48回地盤工学会研究発表会, pp.343~345, 2013.
- 6)規矩大義,他, 千葉県香取市佐原河川敷におけるサウンディング現地実験, 第49回地盤工学会研究発表会, pp.225~226, 2014.
- 7)北條 豊,他, CPTによる塑性指数を考慮した液状化判定(その1), GeoKanto2014, 防災7-3, 2014.
- 8)地盤工学会, 地盤調査の方法と解説, pp.392, 2013.
- 9)鈴木康嗣・他, コーン貫入試験結果と標準貫入試験から得られた地盤特性との関係, 日本建築学会構造系論文集, 第566号, 73-80, 2003.