

## 電気式コーン貫入試験(CPTU)による液状化判定について

CPTU 液状化 塑性指数

ソイルアンドロックエンジニアリング(株)

正会員 ○重富正幸

同上

正会員 石井正紀

同上

正会員 松浦良信

同上

国際会員 後藤政昭

大阪公立大学大学院

国際会員 大島昭彦

## 1. はじめに

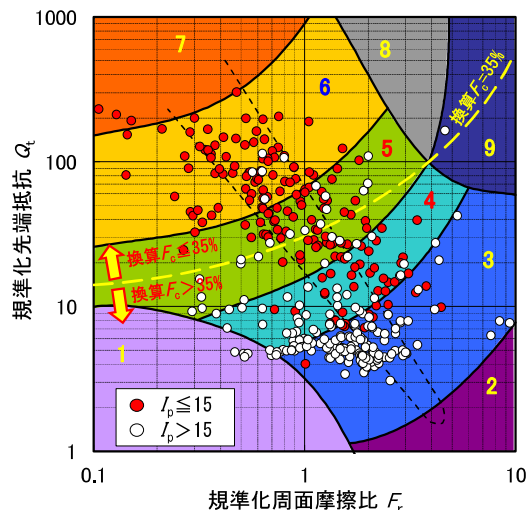
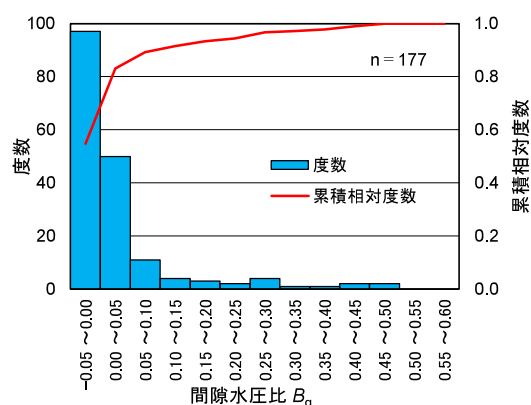
標準貫入試験（以降、SPT と記す）と採取試料による室内土質試験の結果（細粒分含有率  $F_c$  と塑性指数  $I_p$ ）から得られる液状化指数（以降、 $P_L$  値と記す）は、電気式コーン貫入試験（以降、CPTU と記す）の結果から得られる  $P_L$  値に差異が生じるケースがある。この差異は、CPTU で推定した換算  $F_c$ （以降、 $F_c'$  と記す）と  $F_c$  の差異や、CPTU の結果から  $I_p$  を直接求めることができないことによる液状化判定対象土層の層厚の差が影響していると考えられる。筆者らは第 54 回地盤工学研究発表会にて、 $I_p$  を考慮した液状化判定対象土層として、 $F_c' \leq 35\%$  並びに  $F_c' > 35\%$  かつ Robertson の  $Q_t - F_r$  による土質分類チャート<sup>1)</sup> において分類番号 4 以上の土層（以降、SBT4 以上の土層と記す）とすることで、CPTU による液状化判定対象土層の層厚が SPT 等の結果を用いた層厚とおおよそ一致すると報告した<sup>2)</sup>。しかしながら、この報告後、国内 12 地点で実施した SPT とその近傍で実施した CPTU の結果を用いて SBT4 以上の土層を含めた液状化判定を行ったところ、一部の地点について SPT 等による  $P_L$  値より CPTU の  $P_L$  値が明らかに過大となる場合があることを確認した。

本報告では、CPTU の結果から  $F_c > 35\%$  かつ  $I_p \leq 15$  となる液状化判定対象土層の新たな推定方法を提案するとともに、SPT 等の結果による  $P_L$  値と CPTU の SBT4 以上の土層を含めた  $P_L$  値、今回新たに提案する方法による  $P_L$  値の比較を行った。

2.  $F_c > 35\%$  かつ  $I_p \leq 15$  の土層推定

建築基礎構造設計指針 2019 における液状化判定対象土層は、地表面から 20m までの飽和土層（条件①）で、 $F_c \leq 35\%$  の土（条件②）、 $F_c > 35\%$  であっても  $I_p \leq 15$  の土または粘土分 10% 以下の土（条件③）としている<sup>3)</sup>。条件①は試験地点の地下水位から、条件②は CPTU の結果から鈴木らの提案式<sup>4)</sup> を用いることである程度判別することができる。条件③は第 54 回の報告で、 $F_c' > 35\%$  かつ SBT4 以上の土層を液状化判定対象土層に含めていた。しかし、第 54 回の報告以降国内 12 地点の調査結果について液状化判定対象土層の確認を行ったところ、図-1 に示すように SBT4 以上の土層に  $I_p > 15$  となる土層が含まれるケースがあることが判明した。

そこで  $I_p$  と透水係数には相関があることに着目し、CPTU で測定される値のうち、透水係数と相関のある間隙水圧と  $I_p$  の関係について整理した（透水係数の低い粘性土ではコーン貫入に伴い生じる間隙水圧の消散速度が遅いため過剰間隙水圧として計測され、透水係数の高い砂質土ではコーン貫入に伴い生じる間隙水圧の消散速度が速いためほぼ静水圧または負の間隙水圧として計測される）。図-2 はこれまでに SPT と CPTU の比較を実施した国内 12 地点で採取した試料の室内土質試験結果のうち、 $I_p \leq 15$  となる土層で測定された  $u$  を基準化した間隙水圧比  $B_q (= (u - u_0) / (q_t - \sigma_{v0}))$ 、 $u_0$ ：静水圧、 $\sigma_{v0}$ ：全応力、 $q_t$ ：補正コーン貫入抵抗）に変換し、その分布を累積相対度数で表したものである。なお、液性限界もしくは塑性限界が NP の場合は、便宜的に  $I_p = 0$  とした。図-2 から  $I_p \leq 15$  となる土層のうち 8 割以上が  $B_q \leq 0.05$  であることがわかる。このことから、 $I_p \leq 15$  の土層は  $B_q \leq 0.05$  となると判断し（ $F_c > 35\%$  も考慮して液状化判定対象土層の条件③を満たすと判断）、次章以降に液状化判定対象土層の比較結果を示す。

図-1  $I_p \leq 15$  となる土層 (SBT) の分布図-2  $I_p \leq 15$  となる土層の相対度数

Liquefaction Determination by Electric Cone Penetration Test (CPTU).

Masayuki Shigetomi, Masanori Ishii, Yoshinobu Matsuura, Masaaki Goto, Soil and Rock Engineering Co.,Ltd. Akihiko Oshima, Osaka Metropolitan University

3. 液状化判定対象土層等の比較

図-3 は、国内 12 地点のうち特徴的な 4 地点で実施した SPT、室内土質試験および CPTU の結果を用いた液状化判定対象土層の比較図である。CPTU の液状化判定対象土層は、 $F_c' \leq 35\%$  (ケース①)、 $F_c' \leq 35\%$  および  $F_c' > 35\%$  かつ SBT4 以上 (ケース②)、 $F_c' \leq 35\%$  および  $F_c' > 35\%$  かつ  $B_q \leq 0.05$  (ケース③) の 3 ケースについて分類した。

地点 A, B の SPT 等と CPTU の液状化判定対象土層の層厚とその分布は、ケース①では SPT 等と比べ薄くなるが、ケース②, ③では SPT 等と比べ大差なく、両ケースについても大差はない。しかしながら、地点 C, D についてはケース①では地点 A, B 同様、SPT 等と比べ薄くなるが、ケース②では層厚が過大で、地点 C については分布も異なる。これに対し、ケース③の対象土層は、両地点ともケース②に比べ層厚、分布とも SPT 等による対象土層とよく一致することがわかる。図-4 は図-3 に示した 4 地点を含めた国内 12 地点の SPT 等の結果による液状化判定対象土層の層厚と CPTU の結果 (3 ケース) を用いた液状化判定対象土層の層厚に関する比較図である。ケース①では、大半が液状化判定対象土層を SPT 等によるそれよりも過小評価し、ケース②では、SPT 等によるそれと同等の地点もあるが、5m 以上厚く過大評価する地点が散見される。これに対しケース③では、両者はよく一致している。

図-5 は、上記に示す SPT 等と CPTU (3 ケース) から求めた液状化判定対象土層に対して建築基礎構造設計指針 2019 により求めた  $P_L$  値の比較図である。なお、CPTU の  $P_L$  値を算出するにあたり、換算  $N$  値は鈴木らの提案式<sup>4)</sup>による式を用いるとともに、パラメータとしてマグニチュード 7.5、水平最大加速度  $\alpha = 3.50\text{m/s}^2$  を適用した。

CPTU の  $P_L$  値はケース①では、 $F_c' > 35\%$  かつ  $I_p \leq 15$  以下の土層が液状化判定対象土層に含まれていないこともあり CPTU の  $P_L$  値が SPT 等のそれより小さくなっている地点があるのに対し、ケース②では CPTU の  $P_L$  値が SPT 等と同等となる地点もあるが、SPT 等と比べ  $P_L \geq 20$  となる地点が散見される。ケース③ではケース②より SPT 等との差は小さくなっているものの、 $P_L \geq 10$  となる地点が存在する。

$N$  値と換算  $N$  値の関係を図-6 に、 $F_c$  と  $F_c'$  の関係を図-7 に示す。 $N$  値と換算  $N$  値については、若干換算  $N$  値が低い傾向が認められるが両社に明確な差異は認められない。これに対し  $F_c$  と  $F_c'$  は  $N$  値と換算  $N$  値の関係と比較して大きなばらつきを有している。これは、試料採取位置と試験位置の差異やそれぞれの試験深度の差異によるばらつき、粒度分布等が寄与していると考えられるが、現時点では明確な理由は不明である。

4. まとめと今後の課題

今回提案した  $F_c' > 35\%$  かつ  $B_q \leq 0.05$  となる土層を  $F_c > 35\%$  かつ  $I_p \leq 15$  の土層とすることで、SPT 等による液状化判定対象土層により近い対象土層を得ることができた。しかしながら、 $F_c$  と  $F_c'$  の差異が  $P_L$  値に反映していることが確認できた。したがって、 $F_c'$  の精度を向上することができれば、SPT 等と同等の液状化判定を CPTU のみで迅速に行うことができる可能性が見出せたことから、今後は  $F_c'$  の精度向上を検討していく所存である。

参考文献

- 1) P. K. Robertson: Soil classification using the cone penetration test, Canadian Geotechnical Journal, Vol.27, No.1, pp.151-158, 1990.
- 2) 米田ほか: 大阪市港区弁天町地区での RI-CPT による液状化判定, 第 54 回地盤工学研究発表会
- 3) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, p.50, 2019
- 4) 鈴木康嗣, 時松考次, 實松俊明: コーン貫入試験結果と標準貫入試験結果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, pp.73-80, 2003.4

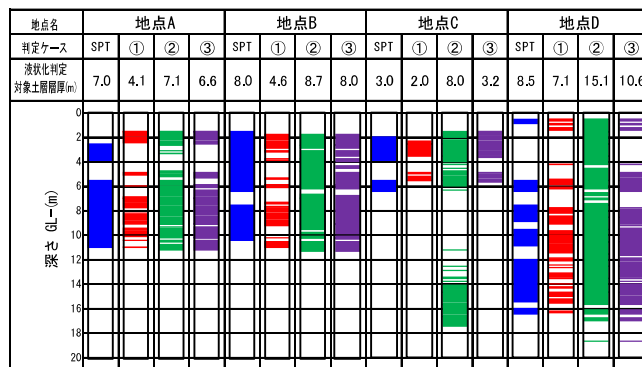


図-3 液状化判定対象土層の比較

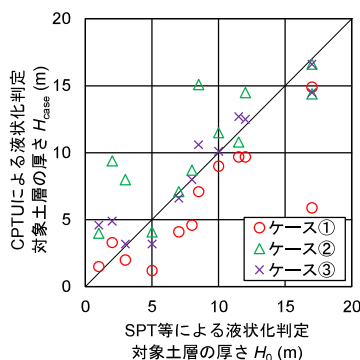


図-4 液状化判定対象土層の層厚比較

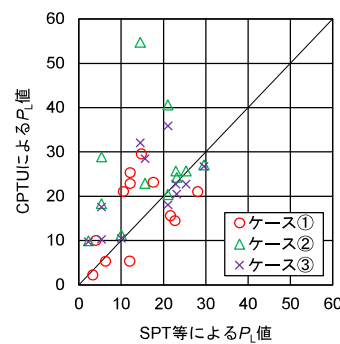


図-5 SPT 等と CPTU による  $P_L$  値の比較

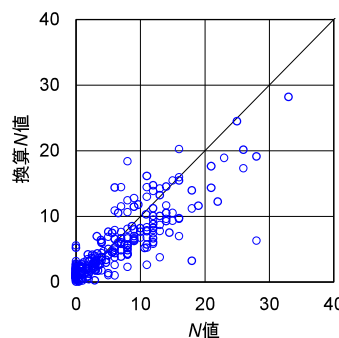


図-6  $N$  値と換算  $N$  値の比較

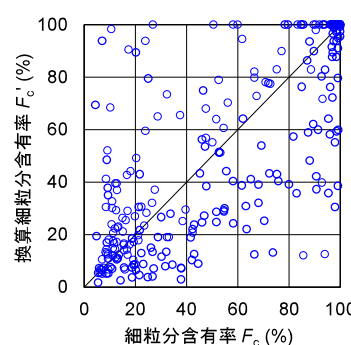


図-7  $F_c$  と  $F_c'$  の比較