

CPT による液状化強度評価手法の妥当性検証（その2）液状化強度比の評価

鹿島建設(株) 正会員 ○山下伸幸 古谷 強 笹岡里衣 米花 萌 新原雄二

1. 背景と目的

国内の土木構造物の設計における液状化判定は標準貫入試験（SPT）に基づく方法が主流であるが、洋上風力基礎の海底地盤調査では、調査の利便性からコーン貫入試験（CPT）が採用される。既往の研究¹⁾では、海底地盤において、CPT から海外の既往式により直接的に液状化強度比（CRR）を求めた判定結果は、SPT から求めた結果に比べて保守的になることが示唆されており、既存の方法を海底地盤へ適用するには検証が必要である。本報では、海底地盤での検証に先立ち、利用可能な国内の陸上地盤データを使用して、海外および国内の既存 CPT 換算式が、液状化強度を妥当に評価できるかについて、CPT および SPT から CRR を推定し、FL 値を比較することで検証した。

2. 評価式

繰返しせん断応力比（CSR）と CRR の比である FL 値によって液状化の有無を判定する。本報では、表-1 に示す 4 つの方法^{2),3)}で FL 値を算定し、比較した。なお、建築基礎構造設計指針における④換算値による方法では、鈴木らの式を用いて換算 N 値および細粒分含有率 Fc を求めた。検討データは、別報⁴⁾と同様に、（国研）土木研究所が公開するデータ⁵⁾を用いた。また、CSR は各地点の観測地震動に基づく地表面加速度を設定して算出した。

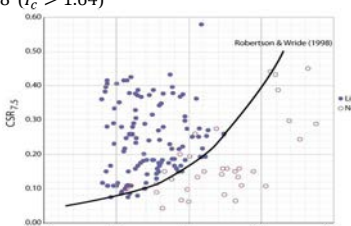
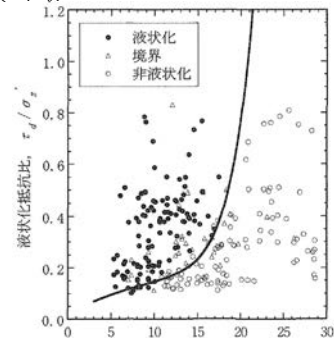
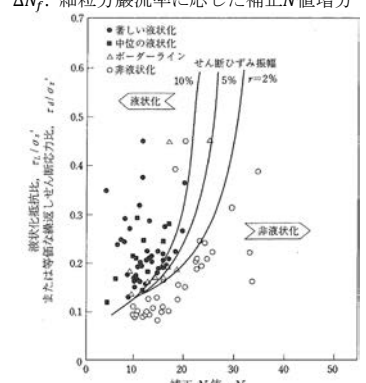
3. 検討結果

代表地点として、横瀬および下大野の CRR および FL 値の深度分布を図-1 および図-2 に示す。横瀬の GL-3.4m 付近および下大野の GL-9m 付近の砂質土層において、実測 N 値では FL 値が 1 以上であるが、方法①や②では FL 値が 1 未満であり、液状化判定に相違がみられた。全体的に SPT から CRR を算定する方法（方法③）に比べて、CPT から直接 CRR を算定する方法（方法①と②）による FL 値の方が小さくなる傾向があり、CPT の計測値を直接用いる液状化判定は保守的な評価となる傾向が確認できた。他の 10 地点の多くでも、同様の傾向が確認された。また、N 値に基づく方法④については、別報でも述べた通り、CPT の計測値から換算された N 値および Fc にばらつきがあるため CRR および FL 値の評価にもばらつきがみられる。したがって、CPT 計測値からの換算値を液状化判定に適用する場合は、その妥当性を慎重に吟味する必要がある。

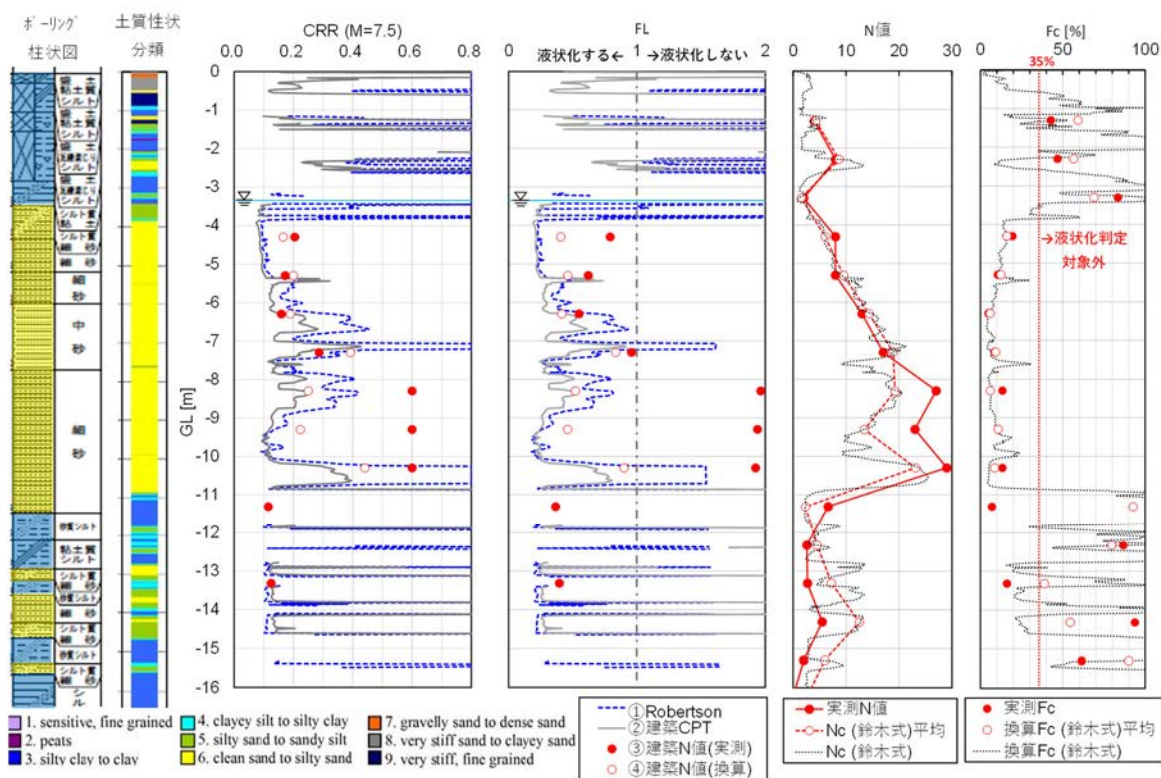
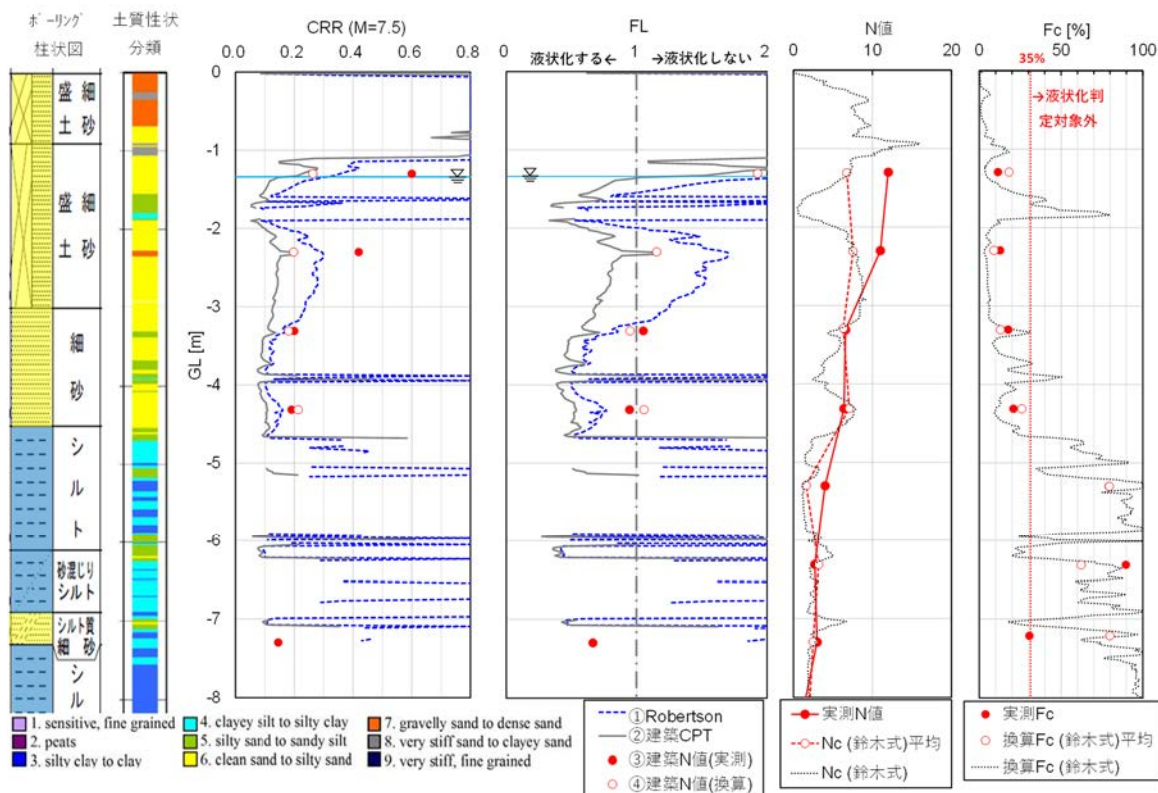
4. まとめ

国内の陸上地盤で行われた CPT と SPT による FL 値を比較した結果、SPT よりも CPT を直接用いる評価方法の方が液状化に対して保守的な判定となりやすいことがわかり、海底地盤について報告されたものと同様の傾向であった。今後は、陸上地盤の結果をベンチマークとして、国内の海底地盤に対する既存の式の適用性についてさらに検討し、洋上風力基礎の設計への展開を目指す予定である。

表-1 FL 法の比較

	①Robertson (2009) ²⁾	建築基礎構造設計指針 (2019) ³⁾		
		②コーン貫入抵抗	③SPT (実測値)	④SPT (換算値)
C S R	$CSR = \tau_d / \sigma'_v = 0.65 \frac{\alpha_{max} \sigma'_v}{g} \frac{\sigma'_v}{\sigma'_v} \gamma_d$ α_{max} : 地表面設計加速度 g : 重力加速度 σ'_v : 全応力 σ'_v : 有効応力 γ_d : 深度に応じた補正係数 (Seed & Idriss, 1971)	$CSR = \tau_d / \sigma'_v = \gamma_n \frac{\alpha_{max} \sigma'_v}{g} \frac{\sigma'_v}{\sigma'_v} \gamma_d$ $\gamma_n = 0.1(M - 1)$ ※M=7.5 を代入すると Robertson の係数と同じとなる。 $\gamma_d = 1 - 0.015z$		
C R R	$(Q_{tn})_{CS} = K_c Q_{tn}$ $Q_{tn} = ((q_t - \sigma'_v) / P_a) (P_a / \sigma'_v)^n$ q_t : 水圧で補正された先端抵抗 $n = 0.381I_c + 0.05(\sigma'_v / P_a) - 0.15$ I_c : 土質性状指数 K_c : 粒度特性に関する補正係数 $K_c = 1.0$ ($I_c \leq 1.64$) $K_c = -0.403I_c^4 + 5.581I_c^3 - 21.63I_c^2 + 33.75I_c - 17.88$ ($I_c > 1.64$)  $CRR_{7.5} = 93 \left[\frac{(Q_{tn})_{CS}}{1000} \right]^3 + 0.08$ ($50 \leq (Q_{tn})_{CS} \leq 160$) $CRR_{7.5} = 0.883 \left[\frac{(Q_{tn})_{CS}}{1000} \right] + 0.05$ ($(Q_{tn})_{CS} < 50$) ※ $I_c \geq 2.7$ の土層は検討対象から除外	$q_{ta} = F(I_c) \frac{q_t}{C_N}$ $F(I_c)$: 粒度特性に関する補正係数 $F(I_c) = 1 + (I_c - 1.55) / (2.60 - I_c)$ ($1.55 < I_c \leq 2.50$) $F(I_c) = 1$ ($I_c \leq 1.55$) $C_N = (98 / \sigma'_v)^{0.5}$  ※ $I_c > 2.5$ の土層は検討対象から除外	$N_a = N_1 + \Delta N_f$ $N_1 = C_N \cdot N$ $C_N = (98 / \sigma'_v)^{0.5}$ N : とんび法または自動落下法の実測 N 値 ΔN_f : 細粒分炭流率に応じた補正 N 値増分  ※ $F_c > 35\%$ は検討対象から除外	

キーワード 液状化強度、コーン貫入試験、標準貫入試験、繰返し三軸試験、FL 法、洋上風力
連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設(株)土木設計本部 TEL 03-6735-1289



- 1) Kuo et al. : A Hybrid Method to Evaluate Soil Liquefaction Potential of Seabed at Offshore Wind Farm in Taiwan, Energies, 14(7) 1853, 2021.
- 2) Robertson, P.K. : Performance based earthquake design using the CPT. Keynote lecture, IS-Tokyo, 2009.
- 3) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2019.
- 4) 古谷ら：CPT による液状化強度評価手法の妥当性検証（その 1）N 値および細粒分含有率の評価，第 78 回土質学会年次学術講演会，2023.
- 5) 佐々木ら：細粒分を含む砂の液状化強度の評価法に関する再検討，土木研究所資料 第 4352 号，2016.