

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

鹿島建設(株) 正会員 ○古谷 強 山下伸幸 笹岡里衣 米花 萌 新原雄二

1. 背景および目的

洋上風力基礎の設計では、N 値や細粒分含有率 Fc を用いて、日本国内で広く用いられる指針¹⁾に基づき液状化判定を行うことが基本である。海底地盤の調査では、試験の利便性からコーン貫入試験（CPT）が採用されることが多く、設計でも CPT の測定値を用いた液状化評価が求められる。しかし、既往の検討²⁾では、海底地盤において、CPT から海外の換算式により評価した液状化判定結果が、SPT から評価した判定結果より保守的となることが示唆されており、既存の方法を海底地盤に適用するには検証が必要である。利用可能な海底地盤データは限られていることから、別報³⁾と合わせて、利用可能な国内の陸上地盤データを使用し、海外および国内の既存の CPT 換算式が、液状化強度を妥当に評価できるか確認した。本報は、液状化強度の検証に先立ち、N 値と Fc に対する海外および国内の CPT 換算式の適用性を検証した。

2. 対象データ概要と既往の換算式

土木研究所資料第 4352 号⁴⁾では、東北地方太平洋沖地震の際に液状化が観測された地点を中心として、関東地方の河川堤防および埋立地の 14 地点において原位置サウンディング試験(SPT, CPT)、乱れの少ない試料の採取および室内土質試験が実施されている。本報では、データが不足する 2 地点を除いた 12 地点の CPT データを対象とし、鈴木ら⁵⁾の式を用いて換算 N 値 N_c および換算 Fc を算出した。 N_c および Fc の換算式を式 (1)、式 (2) に示す。

$$N_c = \begin{cases} 0.341I_c^{1.94}(q_t - 0.2)^{1.34-0.0927I_c} & (q_t > 0.2 \text{ MPa}) \\ 0 & (q_t \leq 0.2 \text{ MPa}) \end{cases} \quad \text{式 (1)}$$

$$Fc = I_c^{4.2} (\%) \quad (Fc > 100 \text{ となる場合は } Fc = 100\% \text{ とする}) \quad \text{式 (2)}$$

I_c : 土質性状指数, q_t : 補正先端抵抗(kN/m²)

3. 検討結果

横瀬および下大野を代表地点として N 値と Fc の換算値と実測値の比較結果を図-1 および図-2 に示す。なお、土質性状分類は CPT データより、Robertson の方法に基づき作成した。N 値については、横瀬の GL-1.3~2.3m や下大野の GL-8~10m 付近で CPT の換算値が一部実測値より小さかったが、これ以外の深度では概ね一致していた。Fc については、互層ではばらつきがみられるものの、細粒分の少ない砂質土層においては換算値と実測値は概ね一致した。他の 10 地点においても同様の比較を行い、両者が概ね一致することを確認した。ただし、下大野の GL-11.5m 付近の砂質土層とシルト層の層境では、換算 Fc が実測に比べて約 90%大きく、CPT による土質区分と柱状図の土質区分が乖離しているため、設計用物性値を設定する場合は注意が必要である。

図-3 に、12 地点に対し、海外および国内の既存式による CPT 換算値と実測値を比較した結果を示す。Jefferies & Davis の式を用いた換算 N 値である N_{60} は実測値に比べて平均値で比べると大きく評価される傾向にあり、危険側の評価となる懸念がある。一方、鈴木らの式を用いた換算 N 値は、自然地盤粘性土では実測値に比べて大きく評価される傾向が見られたが、自然地盤の砂質土および人工地盤では実測値よりもわずかに小さくなる傾向を示した。Fc は、Robertson & Wride の式を用いた換算値は過小評価傾向が見られた。一方、鈴木らの式を用いた換算値は、多少のばらつきはあるものの、平均すると、換算値と実測値は概ね同等であった。

キーワード コーン貫入試験, 標準貫入試験, N 値, 細粒分含有率, 液状化, 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 03-5544-1111

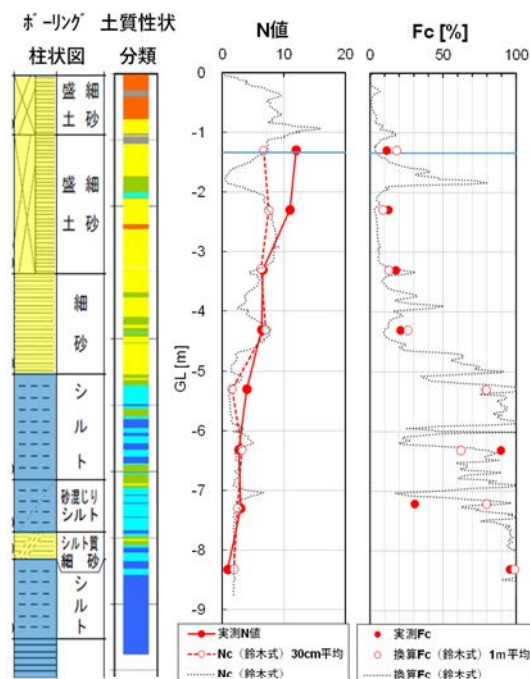


図-1 CPT 換算値と実測値の比較(横瀬)

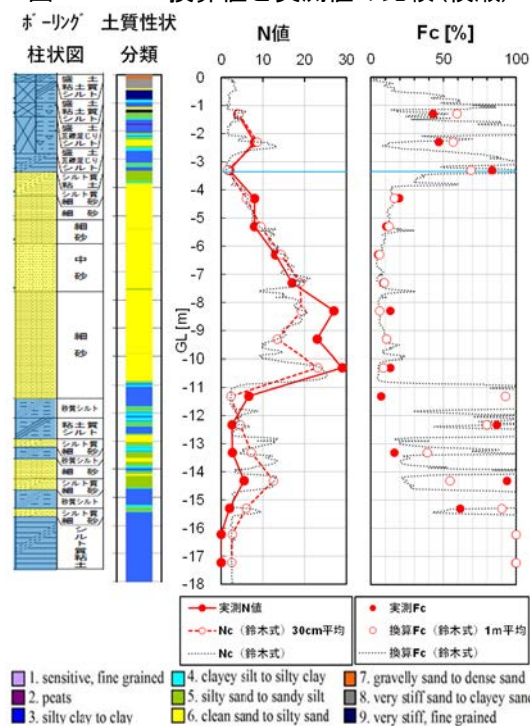
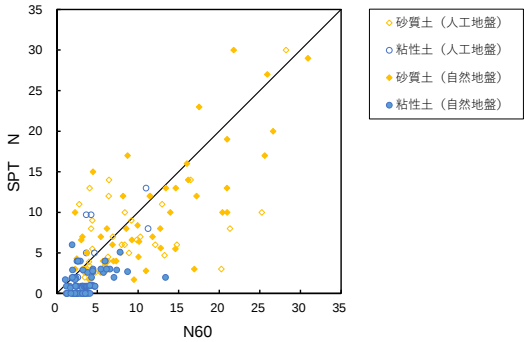
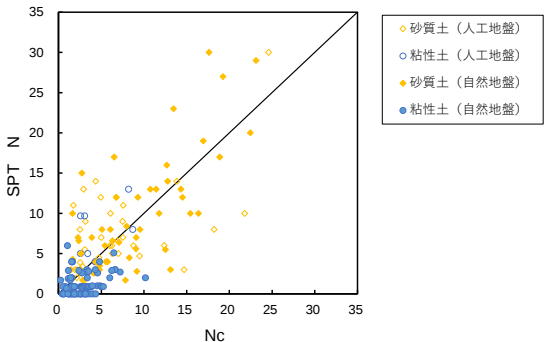


図-2 CPT 換算値と実測値の比較(下大野)



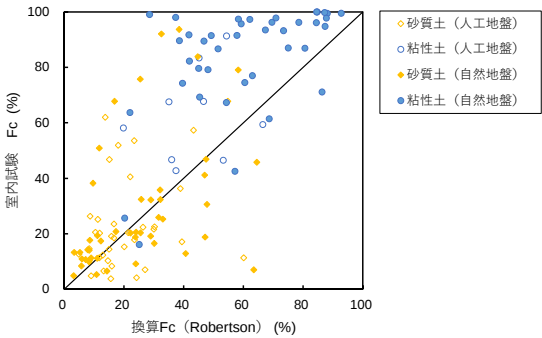
	砂質土 (人工)	粘性土 (人工)	砂質土 (自然)	粘性土 (自然)	合計
データ数	37	9	54	76	176
SPT N / N60 最小値	0.15	0.67	0.18	0.00	0.00
SPT N / N60 最大値	3.99	2.68	4.45	3.19	4.45
SPT N / N60 平均値	1.02	1.36	0.96	0.41	0.76

(a) Jefferies & Davis⁶⁾ による換算 N 値 N60 と
実測 N 値の比較



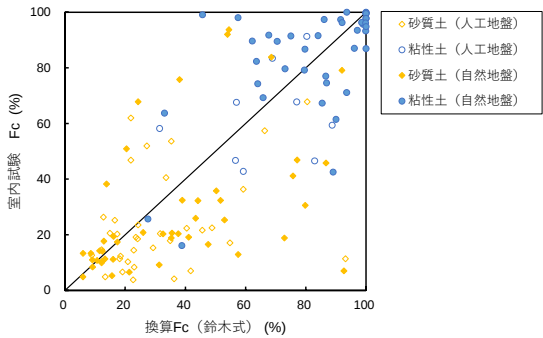
	砂質土 (人工)	粘性土 (人工)	砂質土 (自然)	粘性土 (自然)	合計
データ数	37	9	54	76	176
SPT N / Nc 最小値	0.20	0.92	0.22	0.00	0.00
SPT N / Nc 最大値	6.45	3.78	6.16	7.72	7.72
SPT N / Nc 平均値	1.47	1.96	1.30	0.69	1.10

(b) 鈴木ら⁵⁾による換算 N 値 Nc と実測 N 値の比較



	砂質土 (人工)	粘性土 (人工)	砂質土 (自然)	粘性土 (自然)	合計
データ数	35	9	46	40	130
室内試験 Fc / 換算 Fc (Robertson) 最小値	0.17	0.87	0.11	0.64	0.11
室内試験 Fc / 換算 Fc (Robertson) 最大値	4.51	2.94	4.34	3.47	4.51
室内試験 Fc / 換算 Fc (Robertson) 平均値	1.32	1.56	1.46	1.50	1.45

(c) Robertson & Wride⁷⁾による換算 Fc と実測 Fc の比較



	砂質土 (人工)	粘性土 (人工)	砂質土 (自然)	粘性土 (自然)	合計
データ数	35	9	46	40	130
室内試験 Fc / 換算 Fc (鈴木式) 最小値	0.12	0.56	0.08	0.42	0.08
室内試験 Fc / 換算 Fc (鈴木式) 最大値	2.83	1.85	2.79	2.17	2.83
室内試験 Fc / 換算 Fc (鈴木式) 平均値	0.88	1.00	0.95	1.06	0.97

(d) 鈴木ら⁵⁾による換算 Fc と実測 Fc の比較

図-3 12 地点の CPT 換算値と実測値の比較

以上より、国内の陸上地盤に対しては、ばらつきはあるものの、鈴木らの式を用いて N 値および Fc を比較的良好に評価できる一方、海外地盤データをもとに確立された既往換算式に対しては、日本の地盤では N 値および Fc をそれぞれ過大および過小に評価する傾向が確認された。

4. まとめ

国内の陸上地盤を対象に、N 値および Fc について、CPT 測定値から海外および国内における既往の換算式を用いて換算した値と、SPT および室内試験から得られた実測値を比較した。N 値および Fc とともに、国内の鈴木らの式を用いて算出した換算値の方が、海外の Jefferies & Davis および Robertson & Wride の式を用いて算出した値よりも実測値に近い結果となった。

参考文献

1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2019。
2) Kuo et al. : A Hybrid Method to Evaluate Soil Liquefaction Potential of Seabed at Offshore Wind Farm in Taiwan, Energies, 14(7) 1853, 2021。
3) 山下ら：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，第 78 回土木学会年次学術講演会，2023。
4) 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。
5) 鈴木ら：コーン貫入試験結果と標準貫入試験から得られた地盤物性との関係，日本建築学会構造系論文集 Vol.68, No.566, 2003。
6) Jefferies & Davis : Use of CPTU to estimate equivalent SPT N60, Geotechnical Testing Journal, ASTM, 16(4) 458-468, 1993。
7) Robertson & Wride : Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test, Canadian Geotechnical Journal, Vol.35, pp.442-459, 1998。