

実物大試験土層における N 値と相対密度についての一考察

株式会社 不動テトラ 正会員○ 伊藤 竹史 正会員 原田 健二
正会員 矢部 浩史 非会員 渡辺 英次 非会員 村島 早紀

1. はじめに

我国においては、地盤強度の評価を標準貫入試験 (SPT) による N 値で実施することが多く、各種設計に用いられている。その他のサウンディングには、コーン貫入試験 (CPT) やスウェーデン式サウンディング (SWS) があり、SPT に比べて比較的簡易に調査が可能で、 N 値への換算式も提案されている。

本稿では、地盤改良工法の実物大試験を目的とした人工砂地盤に対して、上述した各種サウンディングを行い、 N 値と相対密度 Dr についての相関性を調べている。

図-1 に既往の研究(表-2 中の文献 6),7))における自然地盤及び室内土層試験での、砂の物性値と換算 N 値と Dr の関係を示す。同図より、土の物性値による相関性が示されており、今回の実物大土層における密度管理された砂地盤に対する各サウンディング結果より既往の研究結果との整合性について検討を行った。

2. 実物大土層の概要

実物大試験土槽を写真-1 に示す。平面 $12.2\text{m} \times 23.4\text{m}$ 、深さ 7m の人工土層であり、止水を施してあるので飽和地盤を再現できる。土層内の埋戻し材は、行方産の山砂を使用している。山砂の物性を表-1、図-2 に示す。表-1 には豊浦標準砂の物性を併せて示している。土層内では 0.3m 毎に転圧し、 $Dr=60\%$ を目標に埋戻しを行った。密度管理は RI 法により行っている。図-3 に埋戻し後の乾燥密度、相対密度の結果を示す。乾燥密度は概ね $\rho_d=1.45 \sim 1.50\text{g/cm}^3$ 、 $Dr=40 \sim 60\%$ の範囲にあり、GL- $2.5\text{m} \sim 4\text{m}$ の深度はやや緩く造成されている。埋戻し後土層内に注水し飽和した。

表-1 埋戻し土の物理特性

試料名	F_c (%)	D_{50}	ρ_s (g/cm^3)	$e_{\max}$	$e_{\min}$	U_c	U_c'
山砂	4.6	0.214	2.716	1.121	0.682	2.06	0.936
豊浦砂	0.0	0.214	2.646	0.981	0.606	1.58	0.81

表-2 各サウンディングでの貫入抵抗値と N 値, Dr の相関式

		標準貫入試験 SPT	コーン貫入試験 CPT	スウェーデン式サウンディング試験 SWS
貫入抵抗値 (拘束圧補正值)		N 値, N $(N_1 = \frac{170N}{\sigma_v' + 70})$ 1)	先端抵抗, q_c ($q_c > 0.2\text{MPa}$) $(q_{c1} = q_c \sqrt{\frac{98}{\sigma_v'}})$ 2)	換算 N 値, N $N = 2W_{SW} + 0.067N_{SW}$ 3) W_{SW} : 載荷荷重 (kN) N_{SW} : 半回転数 (回/m)
相関式	N 値, N	—————	$N_{60} = \begin{cases} 0.341U_c^{1.94}(q_c - 0.2)^{1.34 - 0.0927U_c} & (q_c > 0.2\text{MPa}) \\ 0 & (q_c \leq 0.2\text{MPa}) \end{cases}$ 4)	$N_1 = \frac{\sqrt{e_{\max} - e_{\min}}}{10} \cdot N_{SW1}$ 5) $(N_{SW1} = (N_{SW} + 40) \sqrt{\frac{98}{\sigma_v'}})$
	相対密度 Dr (%)	$(N_1)_{90} = \frac{9}{(e_{\max} - e_{\min})^{1.7}} \cdot Dr^2$ 6)	$q_{c1} = \frac{12}{(e_{\max} - e_{\min})^{0.8}} \cdot Dr^2$ 7)	$N_{SW1} = \frac{90}{(e_{\max} - e_{\min})^{2.2}} \cdot Dr^2$ 5)

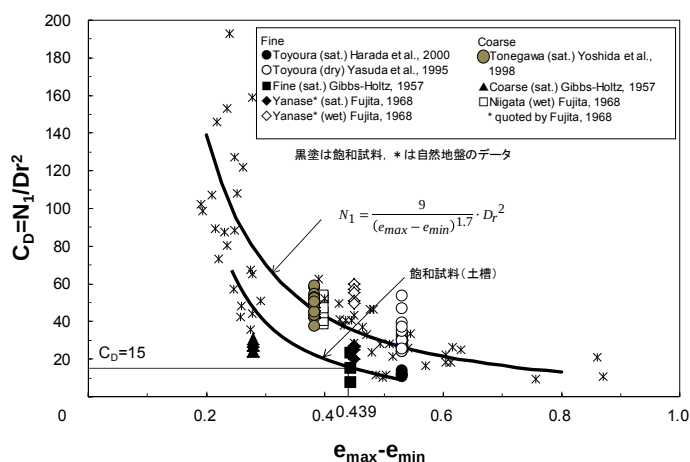


図-1 $e_{\max} - e_{\min}$ と C_D の関係



写真-1 実物大試験土槽

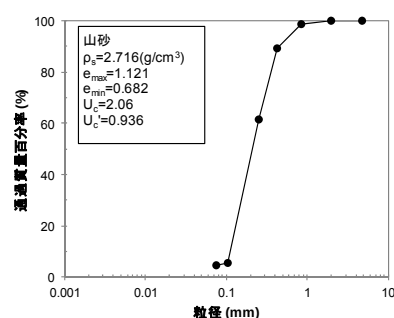


図-2 埋戻し土の粒径加積曲線

【参考文献】

- 1) Liao, S. C. and Whitman, R. V. (1986). "Overburden correction factors for SPT in sand," ASCE J. of Geotech. Engrg., Vol. 112, No. 3, pp. 373-377.
- 2) Meyerhof, G. G. (1957). "Discussion on research on determining the density of sands by spoon penetration testing", Proc. 4th Ont. Conf. on SMFE, Vol.3, p. 110.
- 3) 地盤工学会: 地盤調査の方法と解説, 第4章 スウェーデン式サウンディング試験, p.331, 2013.
- 4) 鈴木康嗣, 時松孝次, 實松俊明: コーン貫入試験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, 2003, pp.73-80.
- 5) Tsukamoto, Y., Ishihara, K. and Sawada, S. (1999). "Correlation between penetration resistance of Swedish weight sounding tests and SPT blow counts in sandy soils," Soils and Found., 44 (3), 13-24.
- 6) Cubrinovski, M. and Ishihara, K. (1999). "Empirical correlation between SPT N-value and relative density for sandy soils," Soils and Found., 39 (5), 61-71.
- 7) Harada, K., Ishihara, K., Orense, R.P. and Mukai, J. "Relations between penetration resistance and cyclic strength to liquefaction as affected by K_c-conditions," Proc. Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics IV, Sacramento CA, Paper 111, 12pp, 2008.

キーワード 砂地盤 標準貫入試験 スウェーデン式サウンディング コーン貫入試験

3. SPT, CPT, SWS による計測結果

各種サウンディングの貫入抵抗値の実測値を図-4に示す。密度管理の結果と同様に、SPTの N 値も2.5~4.5mあたりで小さい値となっている。

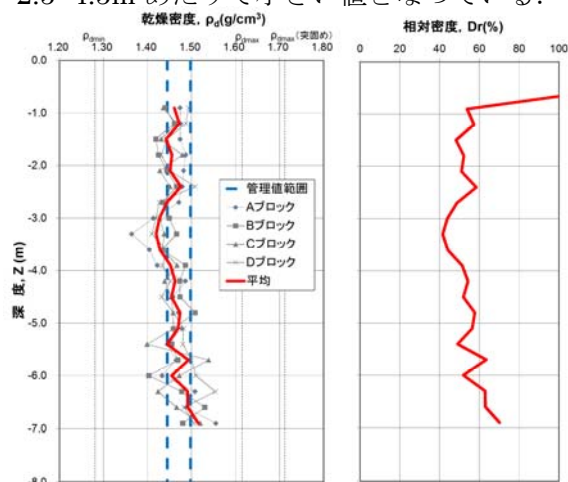


図-3 実物大土層の乾燥密度(RI)と相対密度

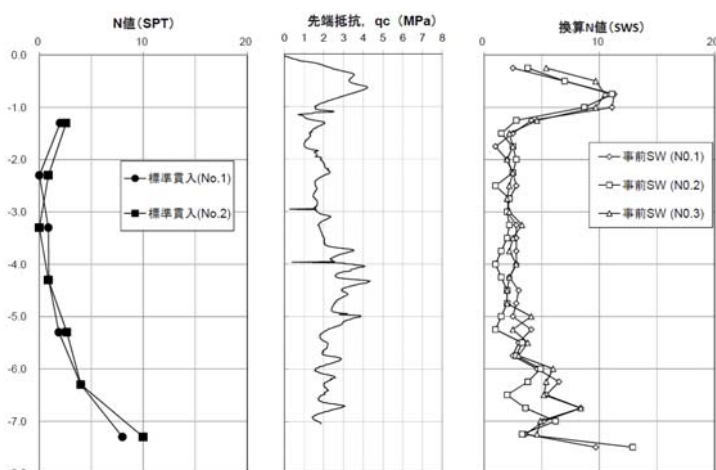


図-4 各種サウンディングの計測値

4. N 値と相対密度の関係

既往の研究における、SPT, CPT, SWSによる各貫入抵抗値と N 値, Dr の相関式を表-2に示す。SPTによる N 値とCPT, SWSの換算 N 値の比較を図-5(左)に示す。比較的緩いGL-2~4mの深度ではCPT, SWSともあまり整合性は高くない。

次にRI法による実測の Dr とSPT, CPT, SWSの換算 Dr の比較を図-5(中)(右)に示す。CPT, SWSの換算 Dr は実測値と概ね良く合っているが、SPTの換算 Dr はRIによる実測 Dr との乖離が大きい。図-5(中)は図-1に示す相関式を使用してSPTによる N 値から換算 Dr を算出している。この時、 $C_d=35$ となる。図-5(右)は図-1の飽和試料(土槽)におけるプロットに注目し、 $C_d=15$ として換算 Dr を算出した場合、実測 Dr に近づく事が確認できた。

図-6,7は N 値と Dr の実測値と換算値の相関性を示している。

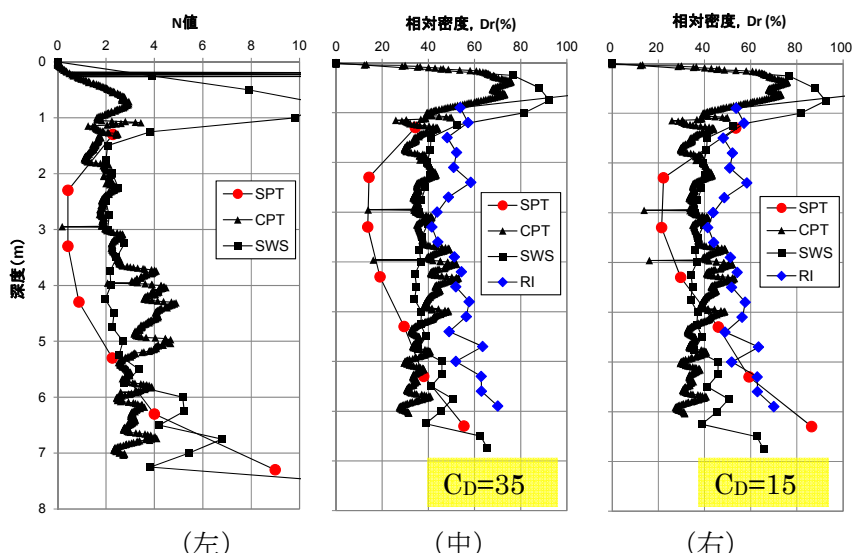


図-5 各サウンディングからの N 値と相対密度 Dr の関係

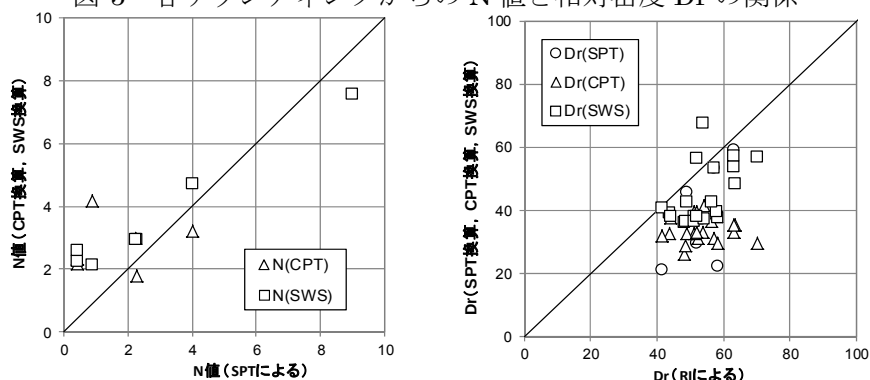


図-6 換算 N 値と実測 N 値の相関

図-7 換算 Dr と実測 Dr

SPTによる N 値はCPT, SWSの換算 N 値と全体的に相関が良い。 Dr はSWS, CPT, SPTの順に換算式との相関が良い事が確認できた。全般的に密度の低い層での相関性が低い結果となった。

5. まとめ

今回、密度管理された実物大試験土層において各種サウンディングにより N 値と Dr の相関性を確認し、概ね既往の相関式の適用性が確認できた。ただし密度管理は飽和前の地盤であり、今後は飽和による影響等を検討し、更なる相関式の精度について検証していきたい。