

締固め砂杭工法による N 値増加に関する一考察

(株)不動テトラ
同上正会員 ○ 原田 健二 大林 淳
正会員 矢部 浩史

1. はじめに

前報^{1),2)}においては、締固め砂杭工法の改良効果と密度増大のメカニズムについて既往の室内実験結果を基に分析し、密度増加のメカニズムにはケーシングの貫入・砂杭の造成過程(図-1 参照)で発生する過剰間隙水圧が深く関わっており、そのサイクルが多いほど密度増加は大きいことを示した。また、図-2 に示しているように締固めによる最終的な密度増加において、貫入過程における密度増加より造成過程における密度増加が卓越していることなどを考察した。

本文においては、これらの実験結果と現地で得られた調査結果について、改良効果としての N 値増加と相対密度 Dr 増加の関係から考察する。

2. N 値と相対密度 Dr の関係

細粒分を含む土の換算 N 値 N_1 (換算方法^{3),4)}については(1)式による)と相対密度 Dr を関係付けた研究としては以下の①～③の3つの方法があげられる。これらの関係式のいずれも N_1 と Fc の地盤情報により Dr を推定することができる。

$$N_1 = C_N \cdot N \quad C_N = (98/\sigma_v')^{1/2} \quad C_N = 1.7/(0.7 + \sigma_v'/98) \quad (1)$$

 C_N : 拘束圧についての補正係数 σ_v' : 有効土被り圧 (kN/m²)① Tokimatsu and Yoshimi (1983), 時松 (1997) による方法^{5), 6)}

$$Dr = 16\sqrt{N_1 + \Delta N_f} \quad (2)$$

Fc(%)	ΔN_f	Fc(%)	ΔN_f
0-5	0	10-20	0.4Fc+4
5-10	1.2Fc-6	20-	0.1Fc+6

 ΔN_f : 細粒分含有率 Fc についての N 値増分② Cubrinovski and Ishihara (1994, 2002) による方法^{7), 8)}

$$\frac{N_1}{Dr^2} = C_D \quad C_D = \frac{9}{(e_{\max} - e_{\min})^{1.7}} \quad (e_{\max} - e_{\min}) \div \begin{cases} 0.43+0.00867Fc & (Fc=0-5\%) \\ 0.57+0.0047Fc & (5 < Fc \leq 70\%) \end{cases} \quad (3)$$

 $e_{\max}, e_{\min}$: 最大・最小間隙比 C_D : N_1 と Dr^2 の関係の勾配 $e_{\max} - e_{\min}$: 間隙比範囲③ Ishihara et al. による方法⁹⁾

$$\frac{N_1}{Dr^{*2}} = C_D^* \quad C_D^* = \frac{9}{(e_{\max} - e_{\min}^*)^{1.7}} \quad (e_{\max} - e_{\min}^*) \div \begin{cases} 0.43+0.00867Fc & (0 \leq Fc \leq 5\%) \\ 0.394+0.015Fc+0.000096Fc^2 & (5 < Fc \leq 30\%) \\ 0.75 & (30 < Fc\%) \end{cases} \quad (4)$$

 $e_{\min}^*$: 突固め試験による最小間隙比 C_D^* : N_1 と Dr^{*2} ($e_{\min}^*$ で定義された相対密度) の関係の勾配

これらの関係を使って、Fc=0%のきれいな砂と図-2 に示す Fc=14.8%を含む佐原砂における N_1 と Dr の関係を示したものが図-3 である。きれいな砂の場合には3つの方法とほぼ同じ曲線となり、Dr や Dr^* が 100%の N_1 値は 40 程度であるが、細粒分含むと補正式による勾配が異なるため Dr=60~70%の間は同程度の N_1 となるものの、それ以外ではかなり相違があることがわかる。例えば、Dr や Dr^* が 100%の時の N_1 値は、方法②, ③では 20 前後であるが、方法①では 30 程度となる。

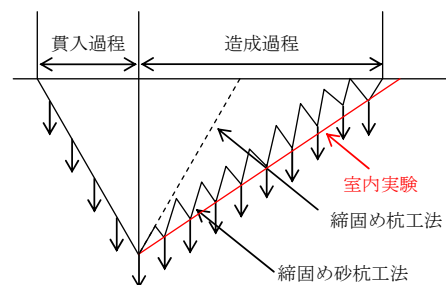


図-1 移動荷重の軌跡

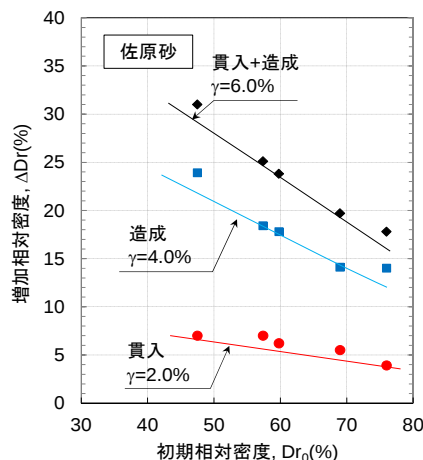


図-2 初期相対密度と増加相対密度 (佐原砂, Fc=14.8%)

*改良率 as=10%を想定

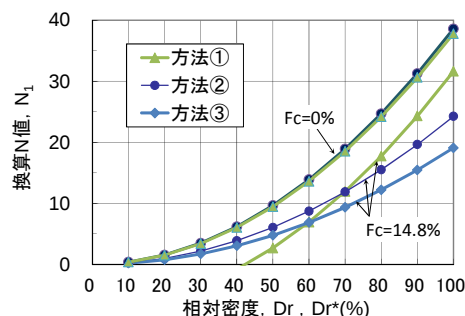


図-3 換算 N 値と相対密度の関係

キーワード 締固め砂杭工法, 換算 N 値, 相対密度, 静止土圧係数

連絡先 〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町7番2号 (株) 不動テトラ TEL 03-5644-8534

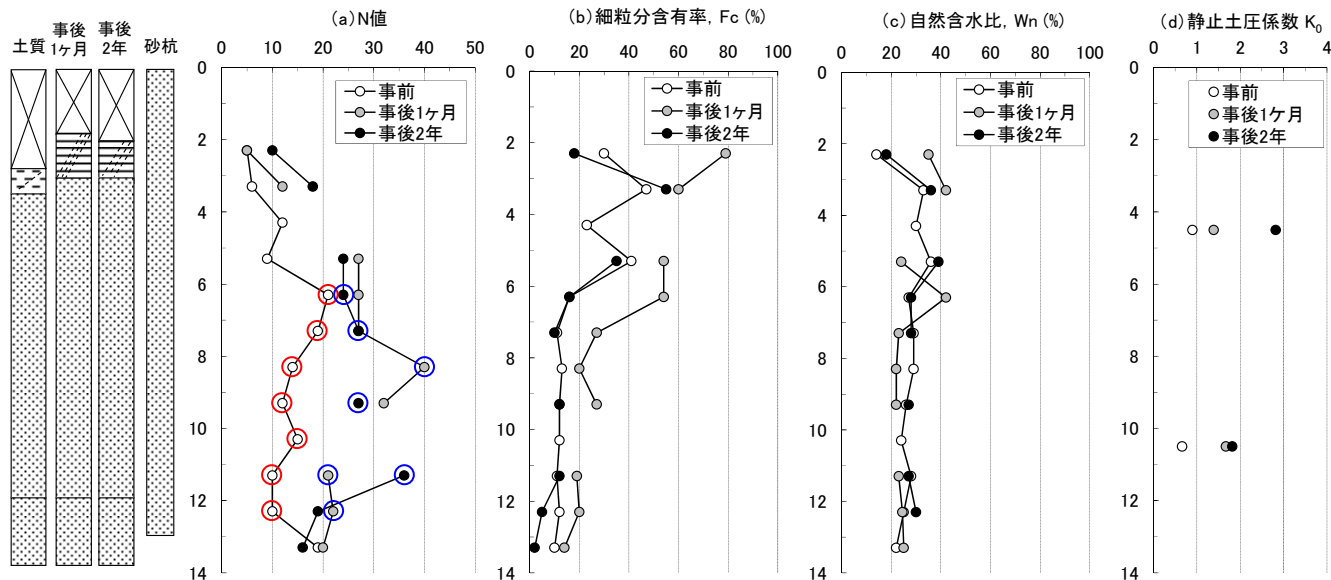


図4 地盤調査結果 (佐原試験工事)

3. 現場と室内の N 値増加の比較

佐原試験工事では静的締固め砂杭工法による改良効果の確認のための事前・事後の調査が実施され、図-4(a)~(d)に示す事前・事後 (1ヶ月, 2年) の N 値, Fc, 自然含水比 w_n , 静止土圧係数 K_0 の結果が得られている¹⁰⁾。事後の調査箇所は、室内試験で想定した場合と同じ改良率 $as=10\%$ 、すなわち正方形配置 1.5m 間隔の杭間でのものである。同図より事後は w_n が多少減少し、Fc は変化しない一方で、N 値と K_0 は大きく増加している。事前・事後 N 値のデータのうちで $Fc=10\sim20\%$ の範囲のデータを抽出して $as=10\%$ の設計チャートに併せてプロットしたものが図-5(a)である。この設計チャートは $Fc=20\%$ 以下のデータに適用できるものであり、プロット値は、設計ラインのやや大きめの所でばらついている。

また、図-2 の室内試験に使われた試料は当試験工事で採取されたものであり、この結果を前述の 3 方法により N_1 値に換算して事前・事後 N_1 値の関係に併せてプロットしたものが図-5(b)である。図-3 で示したように方法①では改良後の Dr が大きい場合の細粒分補正が大きいため、一番上のラインに位置しているが、概ねいずれのプロット値も 3 つのラインよりも上方にある。この理由としては以下の 3 つの要因が考えられる。

- ① 室内実験では実際の現場における砂杭打設による K_0 増加の応力状態の変化が再現されていない。
- ② 図-1 に示すように室内実験では砂杭打設時の造成過程における引抜き・打戻しの繰返しせん断ひずみの付与のサイクルが忠実に再現されていない。
- ③ 当試験工事では 16 本の砂杭を打設しており、杭間の 4 本以外の杭からの繰返しせん断応力の影響も受けている。

4. まとめ

本文においては、締固め砂杭工法による N 値増加について室内と現場データを比較することにより締固めのメカニズムについて若干の考察をした。これらの結果より、締固め砂杭工法の貫入と打戻し方式による造成過程による改良効果の観点だけでなく、施工性の観点からも効率的かつ効果的な締固めを実現しているといえる。

【参考文献】 1) 原田健二, 大林淳, 矢部浩史: 締固め工法の密度増加のメカニズムと改良効果に関する

考察, 第 14 回日本地震工学シンポジウム, pp.2403-2412, 2014. 2) 原田健二, 大林淳, 矢部浩史: 締固め砂杭工法の貫入/造成過程における密度増加に関する考察, 第 70 回地盤工学研究発表会 (投稿中) 3) 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. 4) 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. 5) Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y. (1983). "Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content", Soils & Foun., 23 (4), 56-74. 6) 時松孝次: 液状化側方流動に関する基礎構造物設計の可能性, 建築技術, No. 564, pp.126-131, 1997. 7) Cubrinovski, M. and Ishihara, K. (1999). "Empirical correlation between SPT N-value and relative density for sandy soils", Soils & Foun., 39 (5), 61-71. 8) Cubrinovski, M. and Ishihara, K. (2002). "Maximum and minimum void ratio characteristics of sands", Soils & Foun., 42 (6), 65-78. 9) Ishihara, K., Harada, K., Lee, W. F., Chan, C. C. and A. M. M. Safiullah. "Post-Liquefaction Settlement Analyses Based on the Volume Change Characteristics of Undisturbed and Reconstituted Samples", Soils & Foun. (to be submitted) 10) 原田健二, 山本実, 大林淳: 静的締固め砂杭打設地盤の K_0 増加に関する一考察, 第 53 回土木学会年次学術講演会, 第 III 部(B), pp.540-541, 1998.

(a) 事前 N 値と事後 N 値

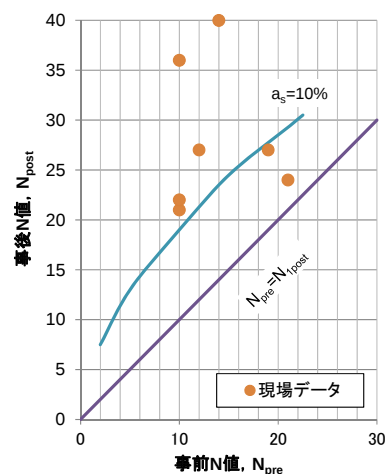
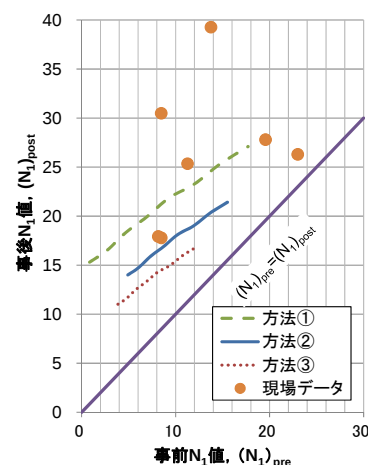
(b) 事前 N_1 値と事後 N_1 値

図-5 現場データとの比較