

土の物性が締固め砂杭工法による N 値増加に及ぼす影響(株)不動テトラ
同上正会員 原田 健二 ○出野 智之
正会員 秋間 健

1. はじめに

筆者らは、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、密度増加量にも土の物性が関わっていることを指摘した¹⁾。また、現場の事前・事後 N 値を整理し、細粒分含有率 F_c が大きくても非塑性の地盤の改良後の実測 N 値は予測したものよりも大きくなることを示した²⁾。このように締固め砂杭工法による改良効果である増加 N 値は設計書³⁾に示されている通り、土の物性としては細粒分含有率 F_c のみを使って予測できるが、実際のところ、 F_c 以外の土の物性も影響していることは容易に推察できる。事実、初期のサンドコンパクションパイル (SCP) の設計法においては、粒径、粒度と最大・最小間隙比 e_{max} , e_{min} の関係が示されている⁴⁾。本文においては、これらの知見をもとに締固め砂杭工法による事前・事後 N 値 N_{pre} , N_{post} と土の物性のデータを収集・整理し、 N 値の増加に土の物性が及ぼす影響について考察する。

2. 分析データと結果の整理

収集した現場データは、事前・事後のボーリングと粒度試験と液性・塑性試験を実施している全国 13 現場 (改良率 $a_s=6.2\sim19.6\%$) の事前ボーリング数 32 本、事後ボーリング数 39 本の計 71 本のボーリングデータである。事前と事後の N 値の組み合わせでは事前と事後の F_c が $\pm 10\%$ 異なるデータは除外した。

2.1 細粒分含有率と各物性値の関係

図-1 に F_c と均等係数 U_c の関係を示す。 F_c が大きくなるにつれて U_c は平均的には大きくなる傾向があるが、 $F_c=30\%$ あたりから若干低下することがわかる。図-2 に示す曲率係数 U_c' との関係についても U_c と同様の傾向がある。一方、図-3 に示すように、塑性指数 I_p との関係においては、 $F_c=30\%$ 程度まではほとんどの土は非塑性 ($I_p=0$) であるが、それ以上になると I_p は大きくなる傾向がある。各種基準、指針などで液状化検討の対象となる土質の範囲は F_c では 35% 以下であることが多いが、 F_c が 35% 以上でも非塑性のデータも散見される。

2.2 細粒分含有率と事前・事後換算 N 値の関係

拘束圧補正した事前・事後換算 N 値 $(N_1)_{pre}$, $(N_1)_{post}$ と F_c の関係を示したものが図-4 である。 $(N_1)_{pre}$, $(N_1)_{post}$ とも F_c が大きくなるにつれて小さくなり、これは増加 N 値 $(= (N_1)_{post} - (N_1)_{pre})$ についても同様である。

3. 予測 N 値の推定に関する考察3.1 細粒分含有率の予測 N 値に及ぼす影響

現行設計法においては N_{pre} と F_c 及び改良程度を示す改良率 a_s を使って予測 N 値を推定できるが、その際に用いられるのが細粒分による体積変化率のパラメータである有効締固め係数 R_c であり、 F_c とは式(1)の近似曲線で関係付けられている。

$$R_c = 1.05 - 0.46 / \log F_c \quad (1)$$

また、実測の N_{pre} , N_{post} と事前・事後の間隙比 e_0 , e_1 , 事前・事後の相対密度 Dr_0 , Dr_1 及び a_s , F_c を使って式(2)で R_c を逆算できる。

$$R_c = \frac{e_0 - e_1}{a_s(1 + e_0)} \quad (2)$$

$$e_{0,1} = e_{max} - \frac{Dr_{0,1}}{100} (e_{max} - e_{min})$$

$$Dr_{0,1} = 21 \sqrt{\frac{N_{pre,post}}{0.7 + \sigma_v' / 98} + \frac{\Delta N_f}{1.7}}$$

σ_v' : 有効土被り圧, ΔN_f : 補正 N 値増分 (F_c との関数)

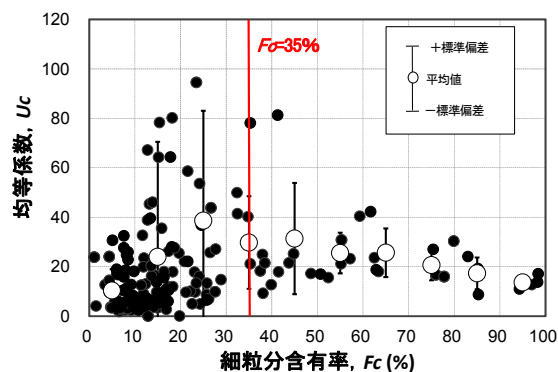


図-1 細粒分含有率と均等係数の関係

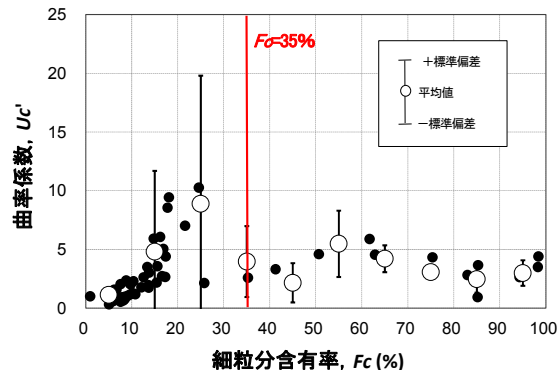


図-2 細粒分含有率と曲率係数の関係

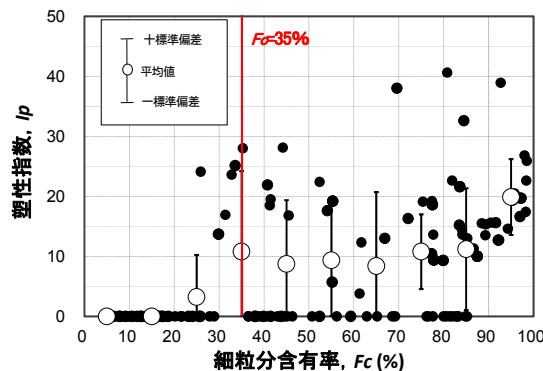


図-3 細粒分含有率と塑性指数の関係

キーワード 締固め砂杭工法, 増加 N 値, 均等係数, 塑性指数

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-5には式(1)と併せて式(2)から求められた今回のデータ(●)と全データのうちの $Ip=0$ のデータ(○)を示している。図より、 $Ip=0$ のデータの R_c は既往のデータの近似式によるものよりも明らかに大きい。石炭灰地盤は F_c が大きいかかわらず非塑性であることが知られているが、石炭灰地盤に対する静的締固め砂杭工法の適用性を検討した報文⁵⁾におけるデータ(●)も同図にプロットしており、式(1)の上方にある。

このように、現行設計法においても F_c 以外の土の物性によって N 値が予測値に比べてばらつく要因となっていることが考えられる。

3.2 土の物性が増加 N 値に及ぼす影響

図-1～3より、 U_c や U_c' 、 F_c が30%程度以下で変化が大きく、 Ip については F_c が30%以下ではほとんどが非塑性であることを示した。そこで、データを $F_c=35\%$ の大小に分けて、土の物性の増加 N 値に及ぼす影響について検討した。その予測精度の指標として、現行設計法での予測 N 値 N_{est} と実測の N 値 N_{mea} の比 N_{est}/N_{mea} を用いることとした。また、現行設計法においても N 値から求めた Dr の上限を100%とした場合の予測精度が上がる⁹⁾ことがわかっているためここでも上限値を100%とした。

$F_c<35\%$ のデータで U_c と N_{est}/N_{mea} の関係を示したものが図-6である。同図には近似曲線を併せて示しており、 U_c が小さく粒度分布が悪いものについて N_{est}/N_{mea} の値は1.0より小さくなり実測 N 値は予測 N 値に比べて小さくなっているが、 U_c が大きくなるにつれて N_{est}/N_{mea} の値は1.0を上回って大きくなる傾向にある。これは、 U_c が大きくなり粒度分布が良い土は締め易く N 値が大きくなりやすいことを示していると考えられる。また、図-7に示しているように、 U_c' についても N_{est}/N_{mea} との関係は同様であり、粒度分布が良いとされる $1<U_c'<3$ の範囲でその傾向が強い。このことは U_c や U_c' が締め固めの密度増大のメカニズムにおいて同様の傾向を示している⁹⁾ことと関連しているものと考えられる。一方、 $F_c\geq 35\%$ のデータについては、 Ip を使って図-8に整理しているが、 Ip が大きくなるにつれて N_{est}/N_{mea} の値は小さくなる傾向にある。平均でみると Ip が15以上で N_{est}/N_{mea} の値が1.0を大きく下回っており、 Ip の増加 N 値に及ぼす影響が大きいことを示している。

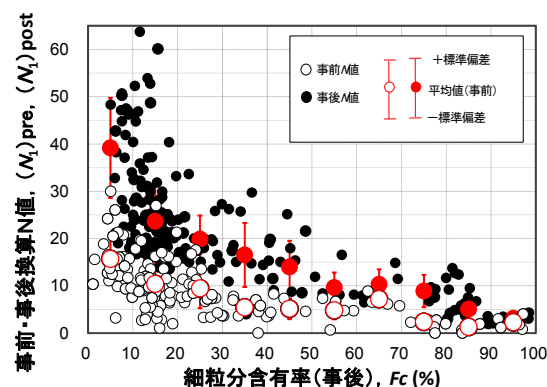


図-4 細粒含有率と事前・事後 N 値の関係

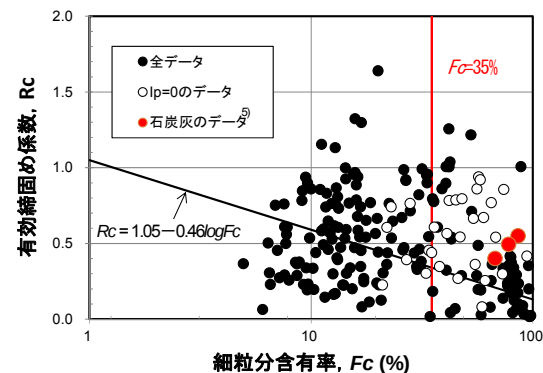


図-5 細粒含有率と有効締固め係数の関係

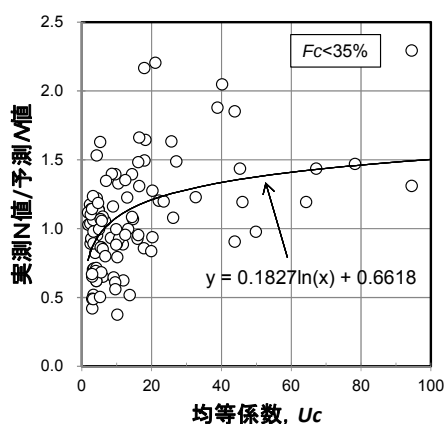


図-6 均等係数と実測 N 値/予測 N 値

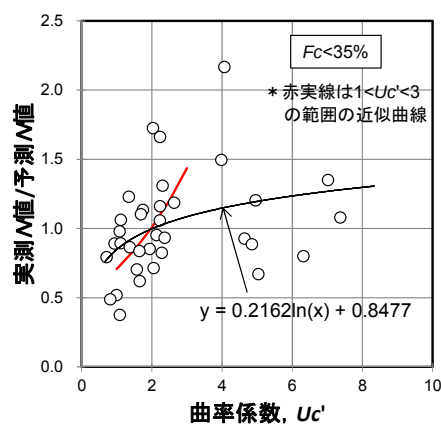


図-7 曲率指数と実測 N 値/予測 N 値

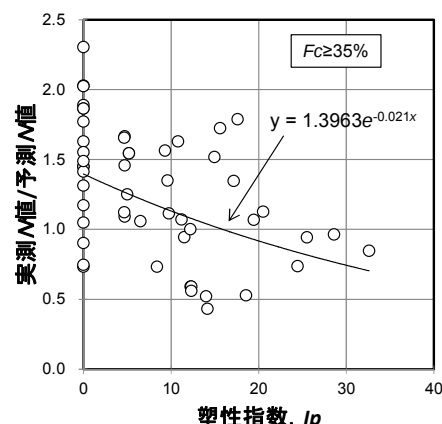


図-8 塑性指数と実測 N 値/予測 N 値

4. まとめ

本文においては、締固め砂杭工法による事前・事後の N 値と土の物性のデータを収集・整理し、 N 値増加に土の物性が及ぼす影響について考察した。その結果、 F_c の小さいところでは均等係数 U_c を、 F_c の大きいところでは Ip を使って予測 N 値を補正することにより、現行設計法に比べて予測 N 値の精度を改善できる可能性を示唆した。今後は現行設計法で用いられている F_c 以外の土の物性を考慮した設計法について検討していきたい。

【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) 出野智之, 朝妻涼: 那賀川右岸における静的締固め工法の改良効果, 地盤工学四国支部平成28年度技術研究発表会, pp. 61-62, 2016. 3) 地盤工学会: 打戻し施工によるサンドコンパクションパイル工法設計・施工マニュアル, pp. 96-101, 2007. 4) Gibbs, H. J. and Holtz, W. G.: Research on determining the density of sand by spoon penetration test, Proc. of 4th ICSMFE, London, Vol. 1, pp.35-39, 1957. 5) 尾形太, 鶴野雅明, 市橋豊隆, 喜多千砂子, 広重敬嗣, 西野日出樹: 石炭灰埋地盤に対する静的締固め工法の適用性(その2), 土木学会第72回年次学術講演会, III-036, pp. 71-72, 2017. 6) 出野智之, 花城有人: 静的締固め砂杭工法の改良効果に与える種々の影響因子の検討, 地盤工学四国支部平成29年度技術研究発表会, pp.41-42, 2017.