

Ⅲ-758

地盤の締固め効果を有する碎石ドレーン工法の 施工後N値推定法に関する一考察

柳鴻池組 正員 ○ 田村 和広
同 上 正員 吉田 幸司
同 上 正員 田中 幸芳

1. はじめに

地震時に発生する液状化の予測は、液状化抵抗率(F_l)によって示されることが一般的であり、この液状化抵抗率の推定にはN値が重要な指標として取り扱われている。同様に液状化対策工法の設計においてもN値は重要な指標となっている。

地盤の締固め効果を有する碎石ドレーン工法(以下、締固め碎石ドレーン工法という)の施工にともなう増加N値は、図-1に示すような下限線がすでに確認されており¹⁾、設計の際にはこの下限線(設計基準線)を用いて施工後N値を推定しドレーン間隔を算出している。しかしながら、この設計基準線は施工後N値の発現性に大きく影響をおよぼすと思われる地盤性状やドレーン間隔などが考慮されていないのが現状であり、これらを考慮した施工後N値の推定法が確立されれば合理的な設計が可能となる。このような観点から、条件の異なるいくつかの施工現場で測定した施工前後のN値を詳細に解析することによって、施工後N値の推定方法を検討した。その結果、比較的良好な適合性が認められた。

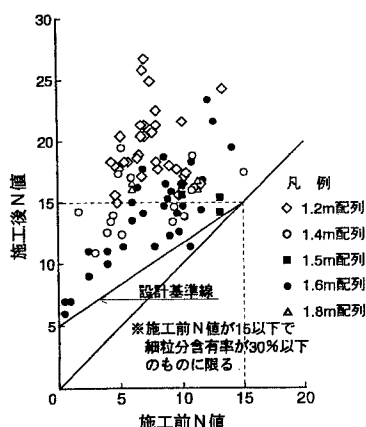


図-1 現行の設計に用いられる増加N値の基準線

2. 基本原理

締固め碎石ドレーン施工による地盤の締固めのメカニズムは、図-2によって簡略に説明することができる。今、原地盤の間隙比を e_0 とすると、 $(1+e_0)$ の体積に対して削孔時の排土による Δe_L 相当の土粒子の体積減少が生じる。その後、締固め碎石ドレーンの打設にともない $(\Delta e_L + \Delta e)$ に相当する碎石の置換によって、結果的には Δe に相当する地盤の締固め効果が得られるのである。

すなわち、置換率(a_s)は下式によって表現できる。

$$a_s = \frac{\Delta e}{1+e_0} = \frac{e_0 - e_1}{1+e_0} \quad (1)$$

ここに、 a_s : 置換率、 e_0 : 原地盤の間隙比、 e_1 : 施工後の地盤の間隙比

他方、締固め碎石ドレーン工法の施工条件として、ドレーン間隔、ドレーン径、ドレーン長、排土量を決定すれば、置換率は次式のようにも表現できる。

$$a_s = \frac{A_d}{x^2} \left(1 - \frac{V_g}{V_d} \right) \quad (\text{ただし、正方形配列の場合}) \quad (2)$$

ここに、 a_s : 置換率、 A_d : ドレーンの断面積(m^2)、 x : ドレーン間隔(m)

V_g : ドレーン1本施工するとき発生する排土量(m^3)、 V_d : ドレーン1本の設計碎石量(m^3)

以上の2式を用いれば、原地盤の間隙比 e_0 、置換率 a_s から施工後の間隙比 e_1 を推定することが可能で

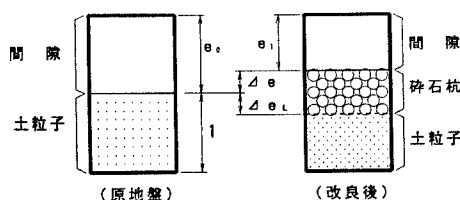


図-2 締固め碎石ドレーンの改良原理

ある。一方、地盤の間隙比とN値は密接な関係があることは周知の通りであり、すなわち、上述の原理と下式を用いることにより、図-3に示すフローで施工後N値(N_1')を容易に算定することができる。

$$D_r = 21 \sqrt{\frac{N}{0.7 + \sigma_v'}} \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 D_r ：相対密度(%)、 N ：N値、 σ_v' ：有効上載圧(kgf/cm²)

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100 \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 $e_{\max}$ ：最大間隙比 ($e_{\max} = 0.02 F_c + 1.0$)²⁾
 $e_{\min}$ ：最小間隙比 ($e_{\min} = 0.008 F_c + 0.6$)²⁾
 F_c ：細粒分含有率(%)

3. 施工後N値の推定値と実測値の適合性

以上の方法によって算定した施工後N値(N_1')と実測値(N_1^*)の対比を図-4に示す。この結果から比較的良好な適合性が確認できる。また、締め固め砕石ドレーン工法は以下に示すような施工上の特質がある。

- ①地盤の細粒分が少ないほど、砕石パイルの出来形が大きくなる傾向があり、すなわち、細粒分が少ない場合置換率を過大評価することになる。
- ②深度が浅いほど（有効上載圧が小さいほど）、突棒で砕石を側方に押し抜ける力に対して、地山の抵抗が小さいことから砕石パイルの出来形が大きくなる傾向があり、すなわち、深度が浅いほど置換率を過大評価することになる。

以上のような施工上の特質に加え、Meyerhofの式((3)式)は細粒分

が多い場合相対密度を過小評価する傾向があることも報告されている²⁾。図-3 施工後N値の算定フロー

そこで、これらを解析に反映させ、より一層適合性の向上を図ることを目的に、算定値(N_1')と実測値(N_1^*)の差を細粒分含有率(F_c)、有効上載圧(σ_v')ならびに施工前N値(N_0)を変数とした多変量解析結果で表現し、施工後N値の算定値(N_1')に対して補正することを試みた(図-3 STEP5)。そして、以下のような補正式を導き、その結果、図-4に示すように補正前に比べ、さらに適合性が向上した。

$$\alpha(N_1' - N_1^*) = 0.072 F_c + 0.554 N_0 + 1.166 \sigma_v' - 7.095 \quad (5)$$

ここに、 α ：補正量、 N_0 ：施工前N値

4. まとめ

以上の検討の結果、地盤性状や施工条件を考慮することによって、施工後N値が容易に推定できることがわかった。この方法を用いれば締め固め砕石ドレーン工法の合理的な設計が可能であると判断する。今後はこの方法を設計に導入するにあたり安全率を検討する必要があると考える。

参考文献

- 1)山元ら：「突棒を用いた砕石ドレーン工法の周辺地盤の締め固め効果」，第48回土木学会年次学術講演会
- 2)水野ら：「細粒分を含む砂質地盤におけるサンドコンパクションパイル工法の設計法」，土と基礎，1987. 4.

STEP 1

細粒分含有率 F_c (%)より、 $e_{\min}$ 、 $e_{\max}$ を下式より求める。
 (平間の式)
 $e_{\max} = 0.02 F_c + 1.0$
 $e_{\min} = 0.008 F_c + 0.6$

STEP 2

原地盤N値 N_0 および拘束圧 σ_v' (kgf/cm²)から相対密度 $D_{r,0}$ および e_0 を求める。
 $D_{r,0} = 21 \sqrt{N_0 / (0.7 + \sigma_v')}$
 $e_0 = e_{\max} - \frac{D_{r,0}}{100} (e_{\max} - e_{\min})$

STEP 3

打設間隔 x 、ドレーン断面 A_d 、排土量(V_d)を決定し、改良後地盤の間隙比 e_1 を求める。
 $a_s = \frac{A_d}{x^2} \left(1 - \frac{V_d}{V_s} \right)$
 $e_1 = e_0 - a_s \cdot (1 + e_0)$

STEP 4

間隙比 e_1 から改良後地盤の相対密度 $D_{r,1}$ および施工後N値 N_1' を求める。
 $D_{r,1} = \frac{e_{\max} - e_1}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100$
 $N_1' = (0.7 + \sigma_v') \left(\frac{D_{r,1}}{21} \right)^2$

STEP 5

N_1' に対して補正を行い、施工後N値 N_1 を決定する。
 $\alpha = 0.072 F_c + 0.554 N_0 + 1.166 \sigma_v' - 7.095$
 $N_1 = N_1' - \alpha$

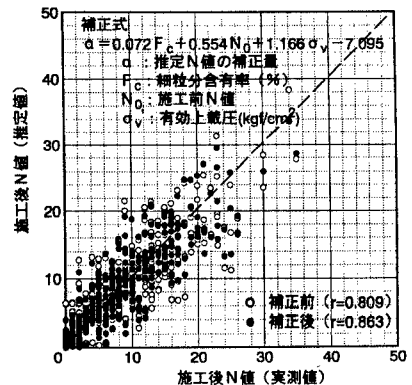


図-4 施工後N値推定法の適合性