

1. はじめに

高含水比粘性土の盛土工に対して、ジオテキスタイルを用いた補強盛土工法の有効性が報告されているが¹⁾、その安定性を評価する手法は十分に確立されていない。粘性土を用いた排水補強盛土の安定性は、短期安定問題として議論することが实际的であると考え。本研究は、非排水条件を仮定し、速度場法を用いて排水補強盛土の安定解を誘導した。その際、設計への適用性を意識して、盛土の安定性を無次元量で評価できるよう努め、問題を簡単にするために、対象を十分に強固な地盤上の盛土に限定した。ここに示す安定解析法の設計への適用方法については、文献2)を参照していただきたい。

2. 無補強粘性土盛土の安定解析

図-1に示すメカニズムを仮定して、無補強粘性土盛土の安定解を誘導する。なお、上界定理において、外力仕事率 W と内部消散仕事率 E の関係は、 $W \geq E$ で表わされるべきであるが、本文では煩雑な記述を避け、両者の関係を等式で関係付けて一連の誘導を行う。図-1より、土塊の単位体積重量 γ 、粘性土の非排水強度 c_{u0} とすると、 W と E は次式で表わされる。

$$W = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot \frac{v_0 \cdot \sin \delta}{\sin \beta_0 \cdot \sin(\beta_0 - \delta)} \quad (1) \quad E = \frac{c_{u0} \cdot H \cdot v_0}{\sin^2(\beta_0 - \delta)} \quad (2)$$

安定係数 N_γ を式(4)で定義し、 $W=E$ より誘導される N_γ (式(4)) を δ について最小化すると、安定解は式(4)で表わされる。

$$N_\gamma = \frac{\gamma \cdot H}{c_{u0}} \quad (3) \quad N_\gamma = \frac{4 \cdot \sin \beta_0}{1 - \cos \beta_0} \quad (4)$$

上式に従うと、次式が排水補強の必要条件を表し、図-2に示す簡単なチャートで補強の必要性を検討できる。

$$N_\gamma \leq \frac{4 \cdot \sin \beta_0}{1 - \cos \beta_0} \quad (5)$$

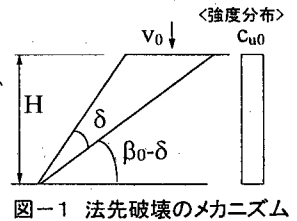


図-1 法先破壊のメカニズム

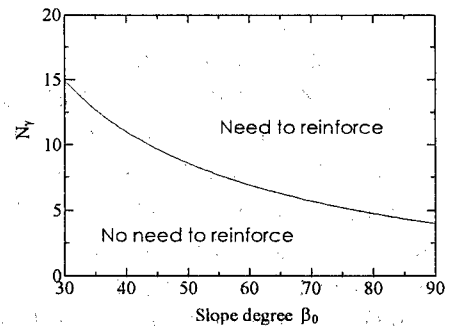


図-2 排水補強の必要性の判断チャート

3. 排水補強盛土の安定解析

(1)排水補強材敷設領域内の安定性を考える場合

(1-1)排水効果と補強効果を考慮した安定解

この工法は、排水効果による強度増加 Δc_1 と補強効果による Δc_2 によって粘性土盛土を安定化するものである。 Δc_1 は、粘性土の非排水強度が圧密荷重に比例することから、盛土天端からの深さを z とすると、 $\Delta c_1 = k \cdot z$ と表現できる。 Δc_2 は、補強効果が引抜き強度 T_{pr} に依存する場合、 T_{pr} が上載圧と敷設長さ L_d に比例することから、 $\Delta c_2 = k' \cdot z \cdot L_d$ と表され、補強効果が補強材の破断強度 T_b に依存する場合は、 $\Delta c_2 = k'' \cdot T_b$ と表すことができよう (以上、 k 、 k' 、 K は比例係数)。ここでは、補強効果が T_{pr} に依存するのみを対象にして、 Δc を、次式で評価する。

$$\Delta c = \Delta c_1 + \Delta c_2 = K \cdot z \quad (K = k + k') \quad (6)$$

以上の仮定に基づき、図-3に示すメカニズムを仮定して、安定解を誘導する。まず、 W と E は次式となる。

$$W = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot \frac{v_0 \cdot \sin \delta}{\sin \beta_0 \cdot \sin(\beta_0 - \delta)} \quad (7) \quad E = \frac{c_{u0} \cdot v_0}{\sin^2(\beta_0 - \delta)} + \frac{K \cdot H^2 \cdot v_0}{2 \cdot \sin^2(\beta_0 - \delta)} \quad (8)$$

そして、 $W=E$ より誘導される N_γ を δ について最小化すると、安定解は式(9)で表わされる。

$$N_\gamma = \frac{4 \cdot \sin \beta_0}{1 - \cos \beta_0 - 4 \cdot \sin \beta_0 \cdot (K/\gamma)} \quad (9)$$

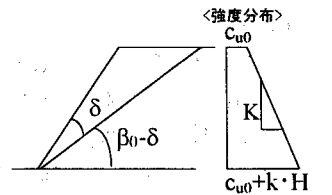


図-3 補強領域内のメカニズム

また上式より、盛土が安定するために必要な強度増加係数 K/γ として、次式が算定される。代表的な N_γ に対する K/γ を図-4に示す。

$$\frac{K}{\gamma} = \frac{1 - \cos \beta_0}{4 \cdot \sin \beta_0} - \frac{1}{N_\gamma} \quad (10)$$

(1-2) 排水効果による Δc_1 の算定法

排水効果による盛土材の非排水強度の増加が間隙水圧の消散度と圧密荷重に比例すると考え、間隙水圧の消散度を著者による提案式を用いて表現する。

$$\Delta c_1 = \left(1 - \frac{32}{\pi^3} \cdot \exp(-A_{11} \cdot T_{hd}') \right) \cdot c_u / p' \cdot \Delta p \quad (11)$$

$$\text{ここで、} A_{11} = \frac{\pi^2}{4} \left(4 + \frac{1}{\beta_d^2} \right), \quad T_{hd}' = c_v \frac{t_c}{2 \cdot h_d^2}$$

β_d : 敷設長 L_d と敷設間隔 h_d の比、 c_v : 圧密係数、 t_c : 施工期間

(1-3) 補強効果による Δc_2 の算定法

補強効果を巨視的な強度定数 c_R 、 ϕ_R で評価する方法³⁾を応用することが実際的と考える。 Δc_2 の算定法については、実験的な検討を含め今後の課題としたい。

(2) 補強領域全体の安定性を考える場合

補強領域が一体となって挙動すると考え、図-5に示すメカニズムを仮定すれば、 W と E は次式で表わされる。

$$W = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot \frac{v_0 \cdot \sin \delta}{\sin \beta_0 \cdot \sin(\beta_0 - \delta)} \quad (12)$$

$$E = \frac{c_{u0} \cdot v_0}{\sin^2(\beta_0 - \delta)} + \frac{c_u \cdot L_d \cdot v_0 \cdot \sin \delta}{\sin \beta_0 \cdot \sin(\beta_0 - \delta)} \quad (13)$$

$W=E$ より誘導される N_γ を δ について最小化すると、安定解は式(14)で表現される。そして、その安定解より、図-5に示すメカニズムの発生を防ぐために必要な敷設長 L_s が式(15)で評価できる。

$$N_\gamma = \frac{4 \cdot \sin \beta_0}{1 - \cos \beta_0} + 2 \cdot \frac{L_s}{H} \quad (14)$$

$$L_s = \left(\frac{N_\gamma}{2} - \frac{2 \cdot \sin \beta_0}{1 - \cos \beta_0} \right) \cdot H \quad (15)$$

敷設長 L_d を算定する場合、補強材の引抜きによっても極限状態が支配されると考える。ジオグリッド研究会⁴⁾の検討に基づけば、以上のモードを仮定した場合、常に安全側の敷設長 L_p は次式で表される。

$$L_p = H / \sin \beta_0 \quad (16)$$

式(15)、(16)より算定される敷設長の比較を図-6に示す。所定の勾配 β_0 で盛土する場合、築造しようとする盛土の N_γ が高い時ほど、補強領域全体の安定性を考慮することが重要なことが分かる。

4. まとめ

本文においては、排水補強盛土について複数のメカニズムを仮定し、速度場法によって安定解を誘導した。現在、本文に示した解析法、補強効果による強度増加の評価法について、有限要素法による連成極限解析、遠心力载荷実験などによって検証を行っていることを付記する。

参考文献

1) Kamon, et al: Earth Reinforcement (edited by H.Ochiai et al), pp.215-220, Baikema, 1996, 2) 宮田ら: 関東支部技術研究発表会 (投稿中), 土木学会, 3) 龍岡文夫: 補強土工法—土質基礎工学ライブラリー—29, pp.53-71, 地盤工学会, 4) ジオグリッド研究会: 「ジオグリッド工法」ガイドライン、1990

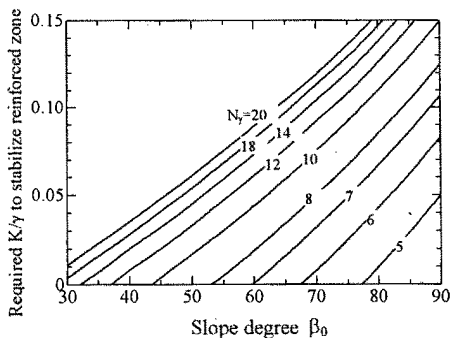


図-4 必要強度増加係数 K/γ の算定チャート

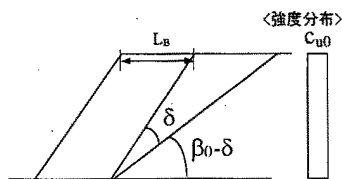


図-5 補強領域の一体化を仮定したメカニズム

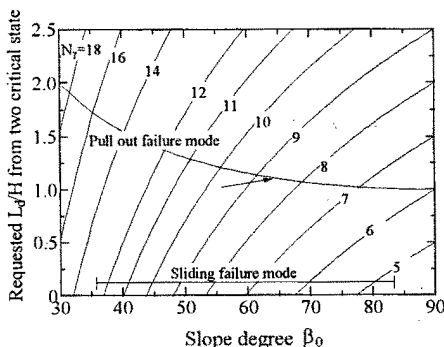


図-6 2つのメカニズムより算定される敷設長