

ジオグリッド補強基礎地盤の支持力評価に関する一考察

九州大学工学部 学○楊 俊傑 同 正 落合英俊

" 正 林 重徳

1. まえがき 砂地盤内にジオグリッドを一層敷設することによって基礎地盤の支持力が増加されることが模型載荷試験で確認されている¹⁾。しかし、その支持力を評価する方法がまだ確立されていない。本文は、速度場法によってジオグリッド補強基礎地盤の支持力を評価することを試みるものである。

2. 速度場法によるジオグリッド補強基礎地盤の支持力評価 砂地盤(ϕ)内にジオグリッドを一層浅く敷設した場合($Z/B \leq 0.8$)には、模型載荷試験終了後の地盤縦断面の変形状況により、補強基礎地盤はジオグリッドを横切って無補強の場合に比べてより大きいすべり面が発生する形で破壊することを明らかにした²⁾。また、解析で無補強地盤に比べてジオグリッドを敷設することによる塑性流れの方向が下方に向くようになっていることも認められている³⁾。このような破壊メカニズムを考慮する支持力問題を理論的に解析するには、極限約合法やすべり線法などより極限解析法の一つである速度場法が有利である。速度場法から得られる解は上界値定理によって正解値を下まわらず上界値を与える。しかし、実験によって比較的合理的な破壊メカニズムが設定できれば精度のよい上界値が得られる⁴⁾。以下、速度場法を用い、破壊域拡大の効果とせん断抵抗の効果を検討した支持力評価式を考える。

上述のように、ジオグリッドを一層浅く敷設した場合($Z/B \leq 0.8$)、模型実験の結果から図-1のような破壊メカニズムを設定することが考えられる。ジオグリッド敷設による破壊域拡大の効果を、土くさび角度 ω が敷設方法によって変化するものとして評価する。すなわち、基礎直下に無補強の場合より大きい土くさび角度 ω が形成されると考えるので、破壊域は大きくなるとともに、塑性流れの方向(V_1)も下方に向くようになる。cdを対数らせん線に、deを直線に仮定する。cdとdeを滑らかに接させるために角度 $\angle edd'$ を $(\pi/2 - \phi)$ とする。deと水平線の交わる角度を α とし、この α は得られる支持力の上界値を最小とするように決められる。ジオグリッドの引張り効果を図-2に示すように土くさびの側面で生じる引張り力に置き換えて考える。この引張り力によって土くさび側面に平行に付加されるせん断抵抗の効果が発生すると考えられる。この付加のせん断強度 τ_r は次式で表される⁵⁾。

$$\tau_r = \sigma_r \tan \phi + c_r \quad (1)$$

ここに、 σ_r は補強材力によるせん断面上の鉛直応力の増加を、 c_r は補強材力自身によるくさび面に平行な分力を表してい、次式によって与えられる。

$$\sigma_r = (F_{Tmax}/ac \cdot 1) \sin \omega \quad (2)$$

$$c_r = (F_{Tmax}/ac \cdot 1) \cos \omega \quad (3)$$

土くさび側面acで、ジオグリッド敷設によって消費されるエネルギーは無補強の場合と同じく考えられる。すなわち、すべり面に平行、垂直な速度成分を v_x 、 v_y とすると応力 τ_r 、 σ_r のなす仕事率は $(\tau_r v_x - \sigma_r v_y)$ である。また、 v_x 、 v_y の合速度を V と書くと、 V はすべり面と ϕ の傾きをなす。したがって、

$$\tau_r v_x - \sigma_r v_y = V (\tau_r \cos \phi - \sigma_r \sin \phi) \quad (4)$$

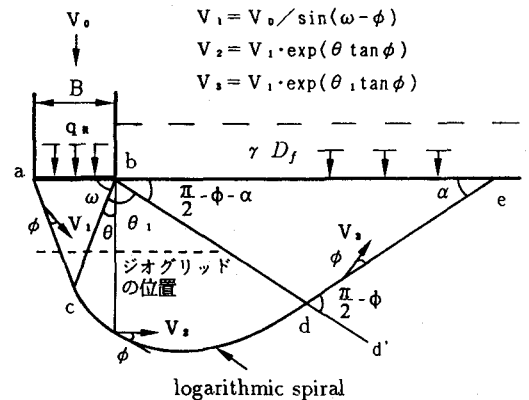


図-1 破壊のメカニズムの設定

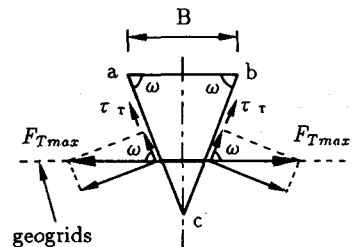


図-2 せん断抵抗の効果

式(1)を式(5)に代入して,

$$\tau_r V_x - \sigma_r V_y = c_r V \cos \phi \quad (5)$$

となり, 無補強の場合と同様の表示が得られ, 式(3)を式(5)に代入すればジオグリッド敷設による内部消散が得られる. 図-1 に示すようなメカニズムを用い, 従来の手順⁴⁾に従い支持力を土くさび角度 ω と角度 θ_1 ($\omega + \theta_1 = \pi/2 + \phi + \alpha$) をパラメータとして計算して, 次式で示す.

$$q_r = c N_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + \frac{F_{Tmax} \cos \phi \cos \omega}{B \sin(\omega - \phi)} \quad (6)$$

ここに, N_c , N_q , N_γ は支持力係数であり, 土の内部摩擦角 ϕ と土くさび角度 ω 及び角度 θ_1 (あるいは α) の関数であり, 次式で示す.

$$N_c = \frac{\cos \phi}{2 \cos \omega \sin(\omega - \phi)} \left[1 - \frac{\sin(\omega + \theta_1)}{\cos(\phi - (\omega + \theta_1))} \frac{e^{2\theta_1 \tan \phi} + e^{2\theta_1 \tan \phi} - 1}{\sin \phi} \right] \quad (7a)$$

$$N_q = \frac{\cos(\omega + \theta_1)}{2 \cos \omega \sin(\omega - \phi)} \left[\cos(\omega + \theta_1) - \sin(\omega + \theta_1) \tan(\phi - (\omega + \theta_1)) \right] e^{2\theta_1 \tan \phi} \quad (7b)$$

$$N_\gamma = \frac{\sin(\omega + \theta_1) \cos(\omega + \theta_1)}{4 \cos^2 \omega \sin(\omega - \phi)} \left[\cos(\omega + \theta_1) - \sin(\omega + \theta_1) \tan(\phi - (\omega + \theta_1)) \right] e^{3\theta_1 \tan \phi} + \frac{3 \tan \phi \cos \omega + \sin \omega \left[3 \tan \phi \cos(\omega + \theta_1) + \sin(\omega + \theta_1) \right] e^{3\theta_1 \tan \phi}}{4 \cos^2(\omega - \phi) \sin(\omega - \phi) (1 + 9 \tan^2 \phi)} - \frac{1}{2} \tan \omega \quad (7c)$$

支持力式(6)において, q_r を最小させるような角度 α を求めれば, 精度のよい上界値が得られる. 例えば, 根入れのない場合で, c を0としたとき, 角度 α を変化させた支持力係数 N_r と土くさび角 ω の関係を図-3に示す. 図-3 (a) は $\phi = 30^\circ$, 図(b) は $\phi = 35^\circ$, 図(c) は $\phi = 40^\circ$ の場合の $N_r \sim \omega$ 関係を示すものである. α は $N_r \sim \omega$ 関係に与える影響が小さいが, いずれの ϕ においてもほぼ $(45^\circ - \phi/2)$ になると同じ ω に対する N_r は最小となる(図-3 中の実線). そこで, 図-1 にて $\alpha = (45^\circ - \phi/2)$ のときのすべり面を破壊のメカニズムとして考えられる. また, このとき, N_r は ω によって異なり, ω が約 $(45^\circ + \phi/2)$ ($= \omega_0$ と置く) のとき, 最小値を得る. この ω_0 に対する支持力を無補強基礎地盤の支持力とする. 無補強の場合の ω_0 を基準として土くさび角度 ω が大きくなると, N_r は大きくなるので支持力が増加する. 土くさび角度 ω とジオグリッドの敷設方法との関係およびジオグリッドに生じる最大引張力 F_{Tmax} が定められれば, 式(6)を用いて支持力を評価できる.

4. あとがき ジオグリッド補強による基礎地盤の支持力の効果を, 破壊域拡大の効果とせん断抵抗の効果として考慮した速度場法を用いて評価することが可能である. 模型実験によれば, 土くさび角はジオグリッドの敷設深さと敷設幅の増加にともない増加する²⁾ が, その具体的な関数形の決定およびジオグリッドに生じる最大引張力の算定方法については今後の課題である.

参考文献 1) 楊 他: 第25回土質工学研究発表会講演集 pp. 2069~2072, 1990.6. 2) 楊 他: 第27回土質工学研究発表会講演集 pp. 2393~2394, 1992.6. 3) 大谷 他: ジオグリッド敷込み工法における補強効果, 平成4年度土木学会西部支部研究発表会(投稿中) 4) 木村 他: 土の強さと地盤の破壊入門, 土質工学会, pp. 273~312, 1987.7. 5) 楊 他: 第6回ジオテクニカルシンポジウム論文集, pp. 15~23, 1991.12.

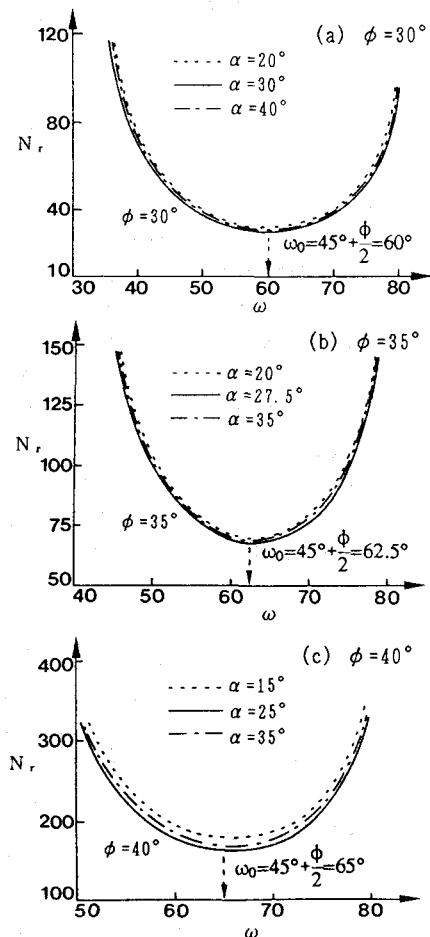


図-3 支持力係数 N_r と土くさび角度 ω の関係