Evaluation of Pull-out Performance of Geogrid Taking Account of the Material Stiffness

by Toshiyuki MITACHI, Youichi YAMAMOTO and Shunsuke MURAKI

The method of evaluation of the in-soil deformation behavior of geogrid is discussed based on the simplified assumptions concerning frictional properties between geogrid and soil and pull-out force vs. strain relationship of geogrid. By solving differential equation on the elongation of geogrid in the soil derived from the assumptions, displacement of geogrid in the soil, the distribution of shear stresses and tensile forces acting any part of reinforced soil can be obtained, and the pull-out force vs. pull-out displacement can also be calculated. The comparison of the calculated and measured pull-out force vs. displacement relationship shows fairly well coincidence.

Proposed method has a special feature that we can estimate the displacement of geogrid in any part of the reinforced soil as well as the pull-out force vs. pull-out displacement relationship by using the result of direct shear test only.

ジオグリッドと土との摩擦特性およびジオグリッド自体の伸び特性に関する単純化した仮定に基づいた、土中のジオグリッドの変形挙動の評価方法について論じている。仮定に基づいて誘導されたジオグリッドの土中での伸び変形に関する微分方程式を解くことによって、土中の任意点でのジオグリッドの変位、摩擦抵抗力、張力を求めることが出来、引抜き力と変位の関係も算出できる。引抜き力と変位関係の実験結果と計算値とは、かなりよい一致を示している。

本論文で提案する方法によれば、ジオグリッドと対象土を用いた一面せん断試験の結果のみを用いて、引抜き力と変位の関係はもちろんのこと、土中の任意点でのジオグリッドの変位を求めることが可能である。

伸び剛性を考慮したジオグリッドの引抜き特性の評価について

北大工学部 三田地 利之
 北大大学院 ○山本 陽一
 同上 村木 俊介

1. はじめに

ジオグリッドを利用した補強土工法において、その補強効果を算定するためにはジオグリッドと土との摩擦特性を知ることが大変重要である。その目的のために一面せん断試験や引抜き試験などが行われている。

しかし、ジオグリッドが土中の各点において非一様な変形を起こしているにもかかわらず、在来の研究では引抜き試験で得られた引張り力をジオグリッドの敷設面積で割った値により評価している例が多い。これはジオグリッドの土中での変形を全く無視したことになり、不適当と考えられる。

そこで、引抜き力に大きく抵抗している部分の有効面積により割るという方法も提案されたが、これも大きく変形している部分としていない部分を2つに分けているだけで、大きく変形している部分での非一様な変形を無視している。またどこまでを大きく変形しているとするのかの判断基準も定かではない。

これらの研究では、ジオグリッドの土中での変形を無視あるいはそれに近い形で扱っているので変形に関する値、つまり引抜き力と引抜き量の関係やジオグリッドの各点での変位分布などがわからず、現場の要求に答えているとは言い難い。

本研究では、一面せん断試験で得られた伸び変形の影響の少ない摩擦特性をモデル化し、土中に敷設されたジオグリッドの伸びに関する微分方程式を解くという手法で、ジオグリッドの相対変位分布、摩擦抵抗分布、張力分布を求めて、そこから引抜き力と引抜き量の関係を算定しようと試みた。

2. 無限長ジオグリッドにおける相対変位、せん断応力、張力分布の計算

土中にある無限長のジオグリッドにおける諸量は、以下の仮定により計算される。

- (1) ジョグリッドの引張り力～伸びひずみ関係は線形であるとし、その引張り剛性をスティフネス S (kgf/cm) とする (図-1)。

$$S = \frac{t}{\epsilon} \quad (\text{kgf/cm})$$

ϵ : 任意の伸びひずみ

t : 任意の伸びひずみにおける単位幅当りの引張り力 (kgf/cm)

図-1

(2) 伸び変形の影響を含まないジオグリッドと土の摩擦抵抗 τ (kgf/cm²) は、ジオグリッドと土との相対変位 u (cm) により定まるとする。また最大摩擦抵抗 τ_p が発生するときの相対変位を u_p とすると $u \leq u_p$ で τ は u に比例し、 $u > u_p$ では τ は一定の値 τ_r をとるものとする (図-2)。

$$\tau = \frac{\tau_p}{u_p} u \quad (u \leq u_p)$$

$$\tau = \tau_r \quad (u > u_p)$$

図-2

(3) 土中に敷設されたジオグリッドの単位幅当りの張力を T (kgf/cm) とすると、次の関係が成り立つものとする。

$$\frac{dT}{dx} = 2\tau \quad (\text{図-3より})$$

$$\frac{du}{dx} = \frac{T}{S}$$

図-3 微小部分での力の釣り合い

なお τ が2倍となっているのは、ジオグリッドの上面と下面の2つの面に τ が働くとしているためである。

これらの仮定をもとに計算を進める。

$-\infty < x < +\infty$ で

土中に敷設されているジオグリッドを $+\infty$ の側から無限大の力で引張ると、土との相対変位 $u = u_p$ となる点 x がどこかに存在する (図-4)。その点を便宜上 $x = 0$ とおく。

図-4 土中に敷設されたジオグリッド

i) の領域 ($-\infty < x \leq 0$) では

$$\tau = k u \quad (k = \tau_p / u_p)$$

であるから

$$\frac{d^2 u}{d x^2} = \frac{2 k u}{S}$$

$a = \sqrt{2 k / S}$ において、この微分方程式を解くと

$$u = C_1 e^{ax} + C_2 e^{-ax}$$

初期条件 ($x = -\infty$ で $u = 0$, $x = 0$ で $u = u_p$) より C_1 , C_2 が求まり

$$u_x = u_p e^{ax} \quad \dots \dots \dots \quad \textcircled{1}$$

$$\tau_x = k u_p e^{ax}$$

となる

また x ($-\infty < x \leq 0$) における張力 T_x は

$$T_x = \int_{-\infty}^x 2 \tau_x dx = 2 k \frac{u_p}{a} e^{ax} \quad \dots \dots \dots \quad \textcircled{2}$$

である

ii) の領域 ($0 < x < +\infty$) では

$$\tau = \tau_r$$

であるから

$$\frac{d^2 u}{d x^2} = \frac{2 \tau_r}{S}$$

この微分方程式を解くと

$$u = \frac{\tau_r}{S} x^2 + C_1 x + C_2$$

初期条件 { $x = 0$ で $u = u_p$, $x = 0$ で $\varepsilon (= d u / d x) = a u_p$ ($\because \textcircled{1}$) }

$$u_x = \frac{\tau_r}{S} x + a u_p x + u_p \quad \dots \dots \dots \quad \textcircled{3}$$

$$\tau_x = \tau_r$$

となる

また x ($0 < x < +\infty$) における張力 T_x は

$$T_x = \int_{-\infty}^0 2 \tau_x dx + \int_0^x 2 \tau_r dx = 2 k \frac{u_p}{a} + 2 \tau_r x \quad \dots \dots \dots \quad \textcircled{4}$$

である

i), ii) より無限長ジオグリッドにおける相対変位分布、摩擦抵抗分布、張力分布の概形は図-5 のようになる。

図-5.1 相対変位分布

図-5.2 摩擦抵抗力分布

3. 長さLのジオグリッドの引抜き力算定

2.の無限長ジオグリッドの計算をもとにして、長さLのジオグリッドの引抜き力を算定する。

長さLのジオグリッドに働くτは図-6の X_1 から X_2 ($X_1 < X_2$) までである。このτによって発揮されている引抜き抵抗力F (単位幅当りの力(kgf/cm)) は、図-6の斜線部分の面積である。

図-5.3 張力分布

$$F = \int_{X_1}^{X_2} 2\tau_x dx = \int_{-\infty}^{X_2} 2\tau_x dx - \int_{-\infty}^{X_2-L(=X_1)} 2\tau_x dx = T_{X_2} - T_{X_2-L}$$

ただしτ~xの分布が、 X_1 以下の部分のグリッドがないことによって変化しないと仮定。

つまりFは、 X_2 (→x)すなわち引抜き端の関数であり、そのときの引抜け量(すなわち引抜き端の相対変位)は u_{X_2} 、そのときの末端変位は u_{X_1} である。そしてFは図-7より T_x と T_{x-L} の差であるから、Fの最大値 F_{max} は必ず $0 \leq x \leq L$ のとき生じる。よってそのときのFは②、④式より

$$F = 2k \frac{u_p}{a} + 2\tau_r x - 2k \frac{u_p}{a} e^{a(x-L)}$$

$$\frac{dF}{dx} = 2\tau_r - 2k u_p e^{a(x-L)} = 0 \quad \text{より}$$

$$x = \frac{1}{a} \log \frac{\tau_r}{k u_p} + L \quad (\equiv X \text{ とおく})$$

図-6

よって F_{max} は

$$F_{max} = \frac{2}{a} \left\{ \tau_p + \tau_r (aX - 1) \right\}$$

そのときの引抜き量 u_{Fmax} は③式より

$$u_{Fmax} = \frac{\tau_r}{S} X^2 + u_p (aX + 1)$$

$$a = \sqrt{2k/S}$$

$$k = \tau_p / u_p$$

図-7

すなわち、一面せん断試験によって得られたピークの摩擦抵抗力 τ_p ・そのときの変位量 u_p ・残留摩擦抵抗力 τ_r をもとに、ジオグリッドの引張り剛性 S ・長さ L を代入すれば、最大引抜き抵抗力 F_{max} ・そのときの引抜き量 u_{Fmax} を算出できることになる。

4. データ解析および実験結果との比較

本研究室では、勇払砂を用い、 1.0 kgf/cm^2 の垂直応力によって多種類のジオグリッドの一面せん断試験を行った（実験方法は参考文献 4）を参照のこと）。その結果、種類による際立った傾向の違いは見られなかった。そこでそのデータをもとに「標準的な」 1.0 kgf/cm^2 における勇払砂とジオグリッドの $\tau \sim u$ 関係をモデル化した（図-8）。

(上) 図-8 モデル化した一面せん断特性

(右) 図-9 計算された $F \sim u$ 関係

25cm幅の引張り力

$F (\text{kgf})$

引抜き量 $u (\text{cm})$

このモデルによって任意の引張り剛性における $F \sim u$ 関係を計算しそのデータを図-9にプロットした。なお計算上でのジオグリッドの敷設長さは50cm、敷設幅は25cmとした。

また、同条件（勇払砂、敷設長50cm、敷設幅25cm、垂直応力1.0 kgf/cm²）で4種類のジオグリッドを用いて行った引抜き試験では、いずれのグリッドも F_{max} を迎える前にそのグリッド自身の強度に達し破断してしまったので F_{max} はわからない。しかしグリッドの破断した強度における引抜き量 u の計算値と実測値とを比較してみると、計算値は実測値の傾向をよく説明していることがわかる（図-10）。なお図-10は図-9の拡大図である。

図-10 計算値と実測値の比較

5. まとめ

以上のようにして一面せん断試験を行い、その結果をもとに引抜き力と引抜き量の関係が予測できれば、大掛かりな引抜き試験を行わずに済む。また、伸び剛性の影響の少ない一面せん断試験の方がデータを整理しやすいため、大幅な省力化がはかれることが期待される。「標準的な」モデルでもかなりよい予測結果が得られたのであるから、それぞれのジオグリッドについて詳しく一面せん断特性を調べればより良い予測が可能となるはずである。今後、モデルの改良と実験データの蓄積によってこの点を明らかにしてゆきたい。

[参考文献]

- 1) 荻迫英治、落合英俊、林重徳：「土中におけるジオグリッドの引抜き抵抗特性」第24回土質工学研究発表会、pp. 13～16, 1989
- 2) 吉岡淳：「ジオテキスタイルの変形を考慮した安定解析手法に関する一考察 —大型模型実験結果を用いた逆解析—」第4回ジオテキスタイルシンポジウム、pp. 28～34, 1989
- 3) 福島ら：「ジオグリッドの引抜き試験結果の整理方法について」第4回ジオテキスタイルシンポジウム、pp. 114～118, 1989
- 4) 三田地利之、村木俊介、山本陽一：「土中におけるジオグリッドの摩擦特性について」第26回土質工学研究発表会、pp. 2107～2110, 1991