

III-77

ジオグリッドを使用した補強盛土の変形解析（第2報）

— ジョグリッドの引抜き抵抗試験 —

（株）錢高組 技術研究所

同 上

同 上

三井石化産資（株）

鶴岡胤英

岩崎則夫

正会員 鳥海寿美男

高岡恭三

1. はじめに

ジオグリッドを使用した急勾配補強盛土工法が開発かつ導入されてからわずか数年であり、今だジオグリッドの補強効果に関して明快に説明がなされていない。第1報¹⁾ではジオグリッドと土との間に介在する不連続面（仮想のすべり面）を無視した解析を行ったところ観測値と良好に一致したことを報告した。今回の報告は、補強盛土築造の際に使用した現場の土を用いてジオグリッドの引抜き試験を行い、得られた実験定数を使用して再度、解析を試みたものである。この引抜き試験によって、1) ジョグリッドと土との間に働くせん断抵抗力、また2) せん断に伴う静止摩擦係数の大きさがどの程度の量であるのかを把握した。以下に、その概要について述べる。

2. 試料・試験機・試験条件

試料は、北陸自動車道城が峰トンネル工事で発生した掘削ズリを用い、標準網フルイ19.1mmを通過した土を試料とした。表-1を参照して、試料はレキ分、砂分、シルト分の土粒子を広く含んでいることが分かる。湿润密度は、補強盛土の締固め密度と一致させるべく2.5kgランマーにて数回の突固め試験を行って求めた。実験で使用した試験機は、粗骨材を含む試料にも十分適合する直径30cm、厚さ20cmの大型円形供試体を使用でき、直接せん断が行える試験機である。なお、せん断力Pを引抜き力Tに変換すべくロード・セル先端の鋼棒に変換棒（鋼製棒）を取付け、また上箱と下箱との間に鋼製プレートを取付けて25mmのクリアランスを設けるとともにジオグリッドの引抜き試験中に発生する試料のこぼれ落ち防止に使用した。ここでは、上・下部せん断箱は完全固定となっている（図-1参照）。引抜き速度は毎分1mmとし、UU条件で試験を実施した。直応力としては、 $\sigma_n = 0.2, 1.5, 2.0 \text{ kg/cm}^2$ を負荷した。

表-1 試料の粒度特性・物性値

レキ分（2000 μ 以上）（%）	35.8
砂分（74～2000 μ ）（%）	48.3
シルト分（5～74 μ ）（%）	15.9
最大粒径（mm）	19.1
湿润密度 γ_t （g/ cm^3 ）	1.9
乾燥密度 γ_d （g/ cm^3 ）	1.7
含水比 w （%）	12～13

3. ジョグリッドの引抜き抵抗

引抜き抵抗は、縦方向部材（バー）に発生する摩擦抵抗と横方向部材（リブ）に発生する支圧抵抗からなると考えられる²⁾。摩擦抵抗には、当然のことながら付着抵抗も含まれている。これを模式図で示すと図-2のように表すことができる。図-2を参照して、微小断面あたりに働く引抜き抵抗力は、

$$\Delta \tau = \Delta \tau_f + \Delta \tau_b \quad (3-1)$$

ここに、 $\Delta \tau_f$:縦方向部材（バー）に働く摩擦成分、 $\Delta \tau_b$:横方向部材（リブ）に働く支圧力成分、 $\Delta \tau$:微小断面 ΔA あたりに働く引抜き抵抗力、で表される。ここで、引抜き力と引抜き抵抗力の釣合い関係が、

$$\Delta p = 2 \cdot \Delta A \cdot \Delta \tau \quad (3-2)$$

ここに、 Δp :ジオグリッド端面に作用する引抜き力成分、 $2 \cdot \Delta A$:ジオグリッド上下面における微小断面、のように仮定できるならば、供試体中の応力は

$$\tau_f = P / 2A \quad (3-3)$$

ここに、 τ_f :引抜きせん断応力（kg/cm²）、P:引抜き力（kg）、2A:供試体中のジオグリッド敷設面積（A=505.6cm²）、のように表すことができる。また、式（3-3）を単位幅当たりの引抜き力として表すと、

$$T = P / B \quad (3-4)$$

ここに、T:単位幅当たりの引抜き力（kg/cm）、B:ジオグリッドの幅（18cm）、を得る。図-3に、引抜きせん断応力 τ_f とせん断変位 $\delta \tau$ の関係を示す。図-3を参照して、 $\sigma_n = 0.2, 1.5, 2.0 \text{ kg/cm}^2$ のいずれの場合も明瞭な応力のピーク点が観察できなかったことから、ここでは供試体直径（ $d=30 \text{ cm}$ ）の15%時におけるせん断変位点（ $\delta \tau = 45 \text{ mm}$ ）を最大引抜きせん断応力 $\tau_{f \max}$ と仮定した。最大引抜きせん断応力と垂直応力との関係から引抜きせん断応力の1次式を求めると、

$$\begin{aligned} \tau_f &= c + \sigma_n \cdot \tan \phi \\ &= 0.26 + \sigma_n \cdot \tan 10.2^\circ \end{aligned} \quad (3-5)$$

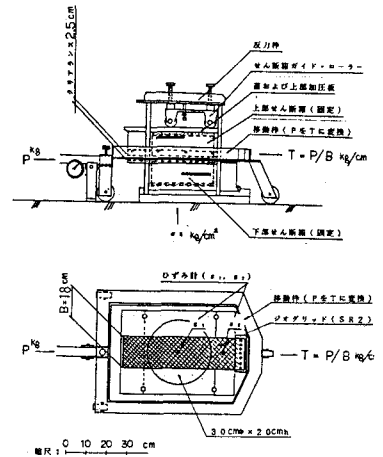


図-1 ジョグリッドの引抜き試験装置

ここに、 τ :引抜きせん断応力の1次式(kg/cm^2)、 σ_n :垂直応力(kg/cm^2)、 ϕ :せん断抵抗角(deg)を得る。

4. 静止摩擦係数

一方、任意応力下のジオグリッドと土との間には引抜き力に対するせん断応力が働いていることからこの間にはなんらかの摩擦抵抗が発生していることになる。ここでは、図-4を参照して基本的な摩擦抵抗の概念を考えてみる。応力 σ を受ける質量 m の物体を面に沿う力 F で引張ったとき、その物体が全く動かないときには F と静止摩擦力 R が釣り合っている状態にあると言える。つまり、 $R=F$ の状態である。次に、順次、 F を大きくしていくと、 R はその力に応じて大きくなるが、ある大きさ F' に達すると物体は動き出す。この動き出す瞬間の摩擦力が最大静止摩擦力 R' で、 $R'=F'$ なる釣り合い関係となる。そして、物体が面上を滑っているときに発生している摩擦力が動摩擦力 R_d で、 $R_d < R'$ なる関係となる。ここで、最大静止摩擦力の大きさは応力に比例し、面が滑らかなほど小さくなることからこの比例関係を利用して、引抜き試験時のジオグリッドと土との間に発生する静止摩擦係数を求めた。従って、逆数として表した静止摩擦係数は

$$1/\mu = \sigma_n / \tau_{fmax} \quad (3-6)$$

ここに、 μ :静止摩擦係数、 τ_{fmax} :最大引抜きせん断応力(kg/cm^2)、 σ_n :垂直応力(kg/cm^2)、のように示される。静止摩擦係数の1次式は、式(3-6)と垂直応力との関係を利用して、

$$1/\mu = A + B \cdot \sigma_n \\ = 0.56 + 1.407 \sigma_n \quad (\text{Non-dimens.}) \quad (3-7)$$

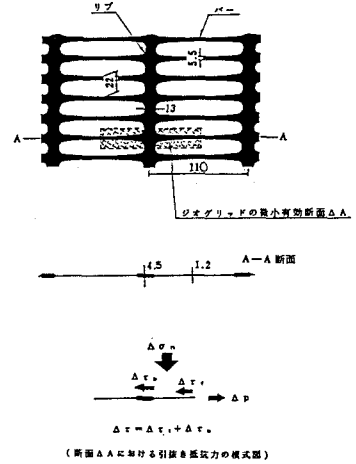


図-2 ジョグリッドに発生する引抜き抵抗分布

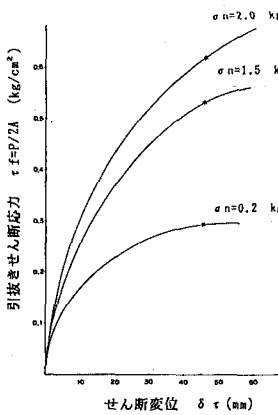


図-3 引抜きせん断応力とせん断変位との関係

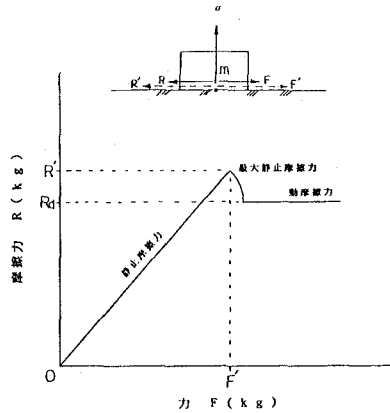


図-4 物理的摩擦力の概念

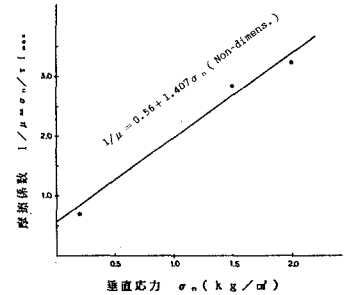


図-5 摩擦係数と垂直応力の関係

ここに、 A, B :静止摩擦係数の初期量とその変化率、を得る(図-5参照)。ここで注目すべき点として、式(3-7)ならびに図-5から理解できるように、垂直応力がゼロ($\sigma_n=0.0\text{kg}/\text{cm}^2$)の場合でも、ジオグリッドと土との間には初期静止摩擦係数が存在していることである。また、垂直応力の増加とともに静止摩擦係数は逐次減少する傾向にあることが示された。

5. あとがき

現場の土を使用してジオグリッドの引抜き試験を行ったところ、引抜きせん断応力の1次式として、 $\tau_f = 0.26 + \sigma_n \cdot \tan 10.2$ を得た。ただし、供試体中の応力状態を $\tau_f = P/2A$ と仮定した。同様に、任意応力下のジオグリッドと土との間に働く静止摩擦係数の1次式として、 $1/\mu = 0.56 + 1.407 \sigma_n$ を得た。この式から、静止摩擦係数は垂直応力の増加とともに徐々に減少するという興味ある結果を得た。第3報で、ジョイント要素を導入した解析事例について述べる。

【参考文献】1)羽根田, 森山, 鶴岡, 鳥海:ジオグリッドを使用した補強盛土の変形解析(第1報), 土木学会第43回年次学術講演会, 昭和63年10月, 2)D. T. Bergado, A. Bukkanasuta and A. S. Balasubramaniam: Laboratory Pull-out Tests Using Bamboo and Polymer Geogrids Including a Case Study, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 5, No. 3, pp. 176 ~177, 1987