

平成21年6月11日現在

研究種目：若手研究（B）
研究期間： 2007 ～ 2008
課題番号： 19760325
研究課題名（和文） 補強材のクリープ変形に伴う補強土のせん断強度の増加特性の評価に関する研究
研究課題名（英文） Research on increment of shear strength of reinforced soil due to creep of reinforcement
研究代表者
河村 隆（KAWAMURA TAKASHI）
信州大学・工学部・助教
研究者番号：50324231

研究成果の概要：補強盛土などに用いられるジオグリッドなどの補強材は、施工後のクリープによって土との間に相対変位を生じる。本研究では、引抜き試験によって、補強材と土との相対変位を模擬し、クリープ変形が生じた場合の補強材周辺の応力状態の変化を明らかにした。さらに、そのときのせん断強度について検討するために、補強材を引き抜きながら二軸圧縮試験を実施し、土と補強材の間に相対変位が生じればせん断強度が増加することを示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	0	2,100,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	180,000	2,880,000

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：土木工学、地盤工学

キーワード：補強土，ジオグリッド，クリープ変形，引抜き試験，圧縮試験，鉛直応力，画像解析，相対変位

## 1. 研究開始当初の背景

ジオグリッドや不織布・織布などの土以外の材料を土中に挿入して盛土などの土構造物を補強する補強土技術は、急速に施工実績を伸ばしている。近年では鉄道や高速道路の盛土などの重要構造物にも積極的に適用されており、広く普及している盛土・擁壁工法の一つである。中でも格子構造を持つジオグリッドは高い引張り強度・剛性を有することから引張り補強材として、特に多く使用されている。

近年、補強土構造物の供用期間中に生じる

土中に敷設されたジオグリッドのクリープやリラクゼーションの挙動やそれに伴う構造物の変形挙動・安定性が注目されており、多くの研究が実施されている。代表的な研究内容として、ジオグリッドの気中引張り試験に基づくジオグリッド単体のクリープ時の変形強度特性、地盤内における補強材のクリープを想定した補強材の土中クリープ変形特性、補強材にクリープ変形が生じた場合の補強材と土の変形挙動、などが挙げられる。しかし、本研究で検討する補強材のクリープに伴って変化する周辺地盤の応力状態やせん断強度の評価はあまり行われていない。

## 2. 研究の目的

- (1) ジオグリッドの土中クリープ変形に起因する土と補強材の間の相対変位を模擬するために、ジオグリッドの引抜き試験を実施し、クリープ変形に伴う周辺地盤の変位分布を測定。
- (2) 測定した変位分布に基づいて、土中クリープ変形に伴って変化した応力分布を予測。
- (3) 土中クリープ変形が生じた場合のせん断強度を一面せん断試験により測定。
- (4) 上記の結果を踏まえて、土中クリープ変形が生じた場合のせん断強度の評価法の確立。

## 3. 研究の方法

- (1) クリープ変形に起因する補強材と土との相対変位を模擬するために、補強材の引抜き試験を実施した。供試体には、内部の変形状態を定量的に評価するために、アルミ棒積層体を用いた。(図-1 参照) 補強材には、図-2 に示すリブ無し補強材およびリブ有り補強材を用いた。

供試体(初期高さ 30cm, 初期幅 15cm)を所定の初期鉛直応力 $\sigma_v$ に達するまで段階荷重により、 $K_0$  圧密した後、1 時間放置した。そして、①鉛直応力 $\sigma_v$ 用および側方応力 $\sigma_h$ 用の2つのペロフラムシリンダーに作用する空気圧を引抜き開始時の値に保持した定載荷重条件(1)、② $\sigma_v$ 用のペロフラムシリンダーに作用する空気圧を引抜き開始時の値に保持し、側方ひずみ $\varepsilon_h$ が $\pm 0.05\%$ 以内となるように $\sigma_h$ のみを手動で制御した定載荷重条件(2)、の2ケースの引抜き試験を実施した。引抜き変位速度は1.0mm/minとした。標点(図-1 参照)を挿入した供試体を用いた引抜き試験において、引抜き中に所定の間隔で撮影した写真に基づいて、画像解析による変位分布の算定も実施した。

- (2) 補強材のクリープ変形が生じた場合の強度増加について検討するために、図-1 に示した試験装置を用いて二軸圧縮・引抜き試験を実施した。引抜き試験と同様に作製した供試体を、所定の $\sigma_v$ まで段階荷重により $K_0$  圧密した後、1時間放置した。そして、段階荷重により軸圧縮を実施した。このとき $\sigma_h$ が一定になるように手動で制御した。補強材には図-1 に示した2種類を用いた。試験条件を図-3(a)~(c)に示す。図-3(a)は、補強材を敷設していないアルミ棒積層体みの無補強供試体に対して実施した試験である。図-3(b),

(c)は、補強材を水平に敷設した試験である。アルミ棒積層体の内部摩擦角は $\phi'_0 = 22.3^\circ$ であり、すべり面の角度 $\alpha$ は $\alpha = 45^\circ + \phi'_0 / 2 = 56.2^\circ$ と求まる。すべり面に及ぼす補強材の影響を小さくするために、補強材は下端から5cmの位置に敷設した。また、リブ有り補強材を用いる場合には、試験中に補強材の横リブが供試体の側端面と干渉しないようにした。図-3(b)では、 $K_0$  圧密終了後、補強材を敷設したままの状態に補強材に引張り力などの荷重を負荷することなく、二軸圧縮を行った。図-3(c)では $K_0$  圧密終了後、補強材を引抜きながら二軸圧縮を行った。

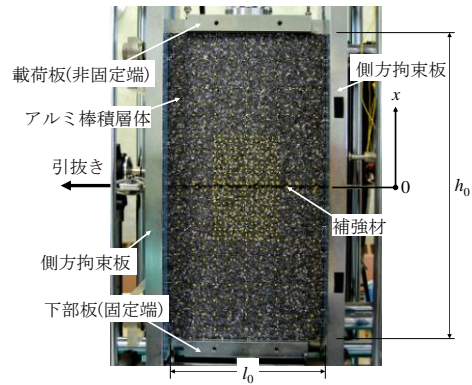


図-1 引抜き試験の概要

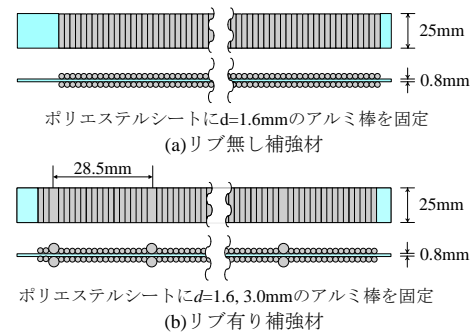


図-2 補強材の概要

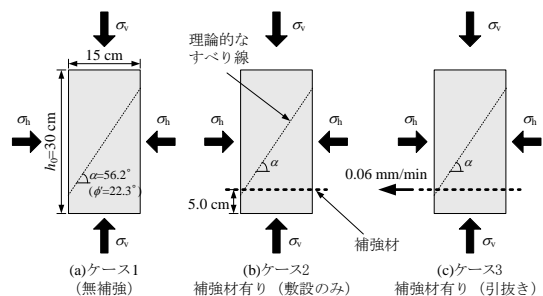


図-3 二軸圧縮・引抜き試験の試験ケース

#### 4. 研究成果

- (1) 図-4は、リブ有り補強材を用いた引抜き試験の画像解析から求めた鉛直応力増分 $\Delta\sigma_v$ と補強材からの距離 $x$ の関係である。この図は、まず、引抜き試験の画像解析から得られた鉛直変位の分布を指数関数で近似し、次に、供試体の変形が弾性であると仮定してこの指数関数を $x$ で微分して求めた鉛直ひずみの分布に、別途求めたアルミ棒積層体の弾性係数を乗じることにより算定したものである。いずれも補強材近傍で $\Delta\sigma_v$ が最大となり補強材から離れるほど小さくなる分布となる。これらの分布は、次式に示す指数関数で近似することができる。

$$\Delta\sigma_v = \Delta\sigma_{vmax} \exp(bx) \quad (1)$$

ここで、 $\Delta\sigma_{vmax}$ は鉛直応力増分の最大値であり、補強材の表面( $x=0$ )における鉛直応力増分、 $b$ は係数であり、定載荷圧条件(1)において $b=-0.071$ 、 $\Delta\sigma_{vmax}=17.9\text{kN/m}^2$ 、定載荷圧条件(2)において $b=-0.124$ 、 $\Delta\sigma_{vmax}=19.1\text{kN/m}^2$ である。図中の太線で示した部分は変位分布から求めた部分であり、細線で示した部分は得られた指数関数を外挿したものである。図-4における $x=15\text{cm}$ および $x=1\sim 2\text{cm}$ における $\Delta\sigma_v$ の計算値(○部分)は、引抜き試験における供試体上端面および下端面の荷重計から得られた実測値とそれぞれほぼ一致しており、画像解析から算定した鉛直応力分布の妥当性を示している。

引抜きに伴う応力増分が等方応力である場合には、すべり面上の垂直応力は次式のように表わされる。

$$\Delta\sigma_n = \Delta\sigma_{vmax} \exp(bx) \quad (2)$$

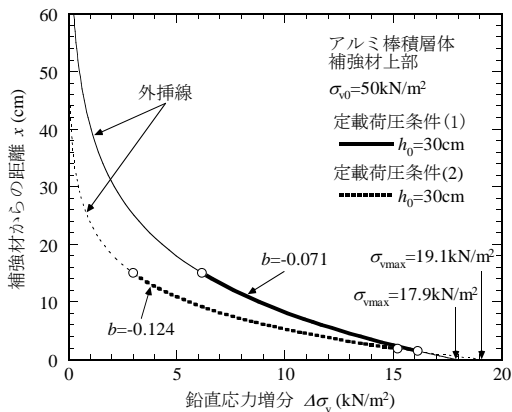


図-4 補強材からの距離と鉛直応力増分の関係(リブ有り補強材,  $h_0=30\text{cm}$ ,  $e_0=0.229\sim 0.236$ )

このときの引抜きに伴う応力増加に起因するせん断強度の増分 $\Delta\tau$ は次式で評価される。

$$\Delta\tau = \Delta\sigma_n \tan\phi'_0 \quad (3)$$

ここで、 $\phi'_0$ は無補強の場合の内部摩擦角である。

- (2) 図-5に二軸圧縮・引抜き試験から得られた応力径路を示す。ここで、 $q(=\sigma_v-\sigma_h)$ :軸差応力、 $p(=(\sigma_v+\sigma_h)/2)$ :平均応力である。いずれの応力径路も $K_0$ 線( $K_0=0.60$ )を辿った後、排水径路を辿って破壊に至っている。ケース3の破壊線から決定した破壊線は原点を通る直線となる。破壊線の傾きから算定した内部摩擦角 $\phi'_R$ は、リブ有り補強材では $\phi'_R=26.2^\circ$ であり、理論的に求められるすべり面の傾きはそれぞれ $\alpha=57.7^\circ$ 、 $58.1^\circ$ である。この値は、図-3において想定した無補強供試体の $\alpha$ と近い値であり、すべり面に及ぼす補強材の影響は小さかったと考えられる。すべり面を横切って敷設した補強材に発生する引張り力により、補強土における見かけの粘着力が増加する。一方、本試験においては、補強材の引張り力が供試体のすべり面に直接影響しないように敷設したため、破壊線は原点を通る直線として得られたものと考えられる。

$\bar{D}_h(=(D_{hl}+D_{hr})/2, D_{hl}, D_{hr}$ :それぞれ供試体の左右端面における側方変位、膨張を正とする):供試体の左右端面における側方変位の平均値、 $\bar{D}_{R1}$ および $\bar{D}_{R2}$ :供試体内におけるアルミ棒積層体と補強材との平均相対変位である。ただし、 $\bar{D}_{R1}$ および $\bar{D}_{R2}$ は、ケース2および3の供試体左右端面における補強材とア

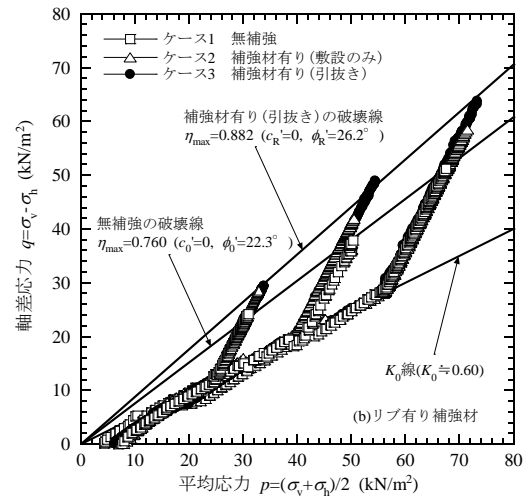


図-5 二軸圧縮・引抜き試験の応力径路

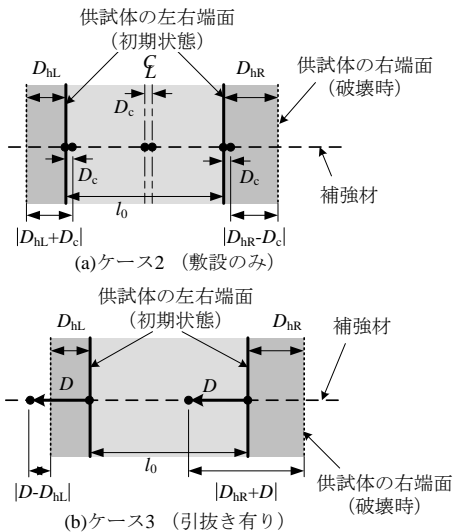


図-6 アルミ棒積層体と補強材の相対変位

ルミ棒積層体との相対変位を図-6 に示すように定義し、次式で算定した。

$$\bar{D}_{R1} = \frac{|D_c + D_{hL}|/2 \times l/2 + |D_{hR} - D_c|/2 \times l/2}{l} \quad (4)$$

$$= |D_{hL} + D_{hR}|/4$$

$$\bar{D}_{R2} = \frac{\{|D - D_{hL}| + |D + D_{hR}|\}/2 \times l}{l} = D + \frac{|D_{hR} - D_{hL}|}{2} \quad (5)$$

図-7にケース2および3の破壊線の傾き  $\eta_{max}$  と  $\bar{D}_{R1}$  および  $\bar{D}_{R2}$  の関係を示す。引抜き試験において  $\Delta\sigma_v/\sigma_{v0}$  および  $\Delta\sigma_h/\sigma_{h0}$  は、 $D=2\sim 4\text{mm}$  程度まで増加し、それ以降はほぼ一定であることから、せん断強度の増加がこの応力増加に起因するものとする。図-8に示すように、 $\eta_{max}$  は  $2\sim 4\text{mm}$  程度まで増加し、それ以上の場合にはほぼ一定になると考えられる。したがって、図-7の考察から、補強材を敷設しただけの場合のせん断強度の増加も定性的に評価することができる。しかし、敷設しただけの場合の破壊時の  $\bar{D}_{R1}$  が小さいにもかかわらず、試験結果から得られたせん断強度の増分は意外に大きい。このことは、相対変位に伴うすべり面上の垂直応力の増加に起因するせん断強度の増加の他に、補強材を敷設しただけによるその他の効果の存在も示唆される。

補強材を引抜いた場合のせん断強度の増分  $\Delta\tau$  を以下のようにして定量評価する。破壊時の応力状態に基づいて、図-9に示すようにモール円を作図し、供試体内のすべり面上の垂直応力  $\sigma_n$  および

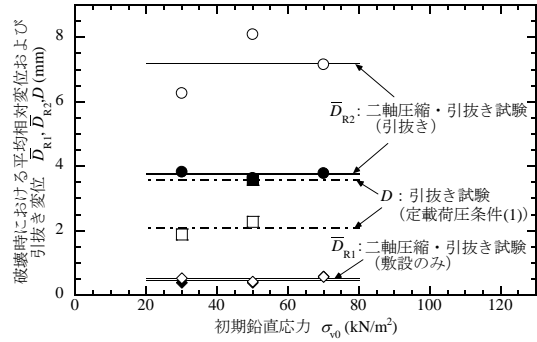


図-7 初期鉛直応力と平均相対変位および引抜き変位の関係

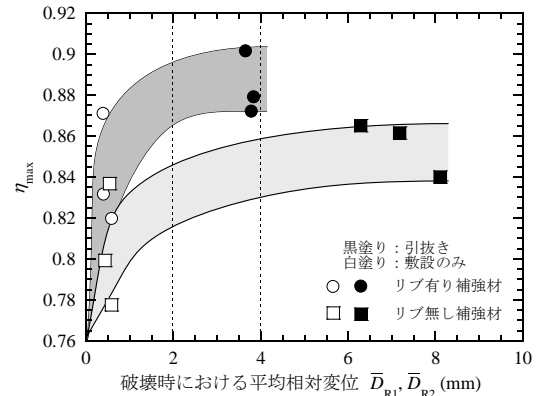


図-8 平均相対変位とすべり面上の応力増分比の関係

せん断応力  $\tau$  を算定した。このとき、供試体端面における  $\sigma_v$  および  $\sigma_h$  をそれぞれ最大主応力  $\sigma_1$  および最小主応力  $\sigma_3$  とした。ただし、補強材を引抜いた場合の補強材周辺のせん断応力は無視した。ケース3の破壊時の  $\sigma_n$  は、 $\sigma_{n0}$  から  $\Delta\sigma_n$  増加する。そのときのせん断強度の増分は、図中の  $\Delta\tau$  である。なお、補強材を引抜いた場合のすべり面の角度は、無補強の場合と大きく変わらない。

図-10に二軸圧縮・引抜き試験のケース3における破壊時のモール円から算定した  $\Delta\tau$  と引抜き試験の結果に基づく式(3)および式(2)により予測した  $\Delta\tau$  の関係を示す。式(3)中の  $\Delta\sigma_n$  は、補強材の引抜きが独立して生じている場合を仮定し、式(2)により  $\sigma_n$  の分布に基づいて二軸圧縮・引抜き試験における補強材位置から供試体上端面までにおける平均的な値として求めた。このとき、リブ有り補強材の場合には、引抜き試験から得られた係数  $b$  には  $b=-0.07$  を用いた。

$\Delta\sigma_{vmax}$  は、 $\Delta\sigma_{vmax}/\sigma_{v0} = 17.9 \text{ kN/m}^2/50 \text{ kN/m}^2 = 0.36$  として算定した。そして、リブ無し補強材においても、 $b=-0.07$  の指数関数を用いて図-4を作成し、 $\Delta\sigma_{vmax}/\sigma_{v0} = 0.24$  として算定した。補強材を引抜いた場合の  $\Delta\tau$  を定量評価すると、リブ有

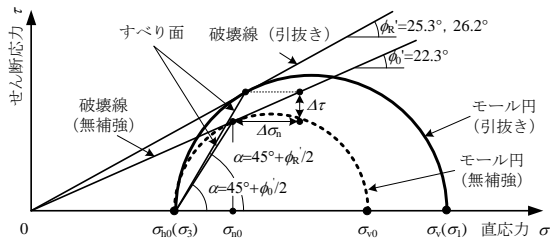


図-9 二軸圧縮・引抜き試験のモール円

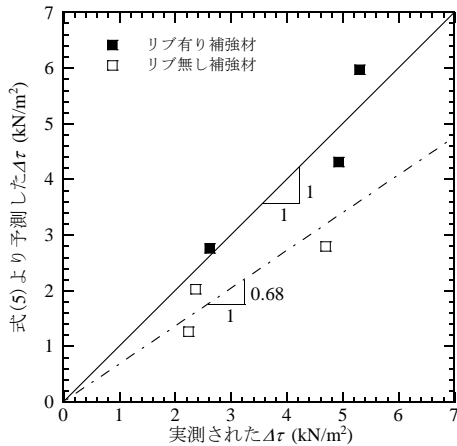


図-10 二軸圧縮引抜き試験におけるすべり面上の垂直応力の増分と引抜き試験結果から予測した増分の比較

り補強材の場合には、予測値と実測値の適合性は比較的高い結果が得られた。一方、リブ無し補強材の場合には、予測した値は実測値の約7割である。すなわち、リブ有り補強材の場合には、提案した補強メカニズムにより $\Delta\tau$ を評価することができる。しかし、リブ無し補強材や補強材を敷設しただけの場合のせん断強度の増加割合から考えると、さらに合理的な補強効果の評価のためには、提案法の修正やその他の補強効果の導入も考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計1件)

- ① 河村 隆, 梅崎健夫, 市川 徹, 補強材の引抜き過程における鉛直応力の増加特性, 第43回地盤工学研究発表会, 2008.7.9, 広島

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

河村 隆 (KAWAMURA TAKASHI)  
信州大学・工学部・助教  
研究者番号: 50324231

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

### (4) 研究協力者

梅崎健夫 (UMEZAKI TAKEO)  
信州大学・工学部・准教授  
研究者番号: 50193933

豊田富晴 (TOYODA TOMIHARU)  
信州大学・工学部・技術職員  
研究者番号: なし