

## 78 鉄筋挿入による斜面補強効果について（その2）

建設省土木研究所 ○吉岡 元司  
吉松 弘行  
西川 純一  
大浦 二郎

### 1. はじめに

鉄筋挿入工法は設計上、地山の变形時に鉄筋に発生する引張り力を考えることが必要であり、このため地盤の变形と補強材の引張り力の関係を明らかにするため実験的研究が進められている。今回は均一な斜面に鉄筋を挿入した場合を想定し、中型一面せん断試験機を用いて補強材の軸力について検討したので報告する。

表-1 実験の内容

### 2. 実験方法

#### 2. 1 実験内容

実験は表-1に示すようにの地盤の物性値を調べるための無補強実験、補強実験は垂直応力を変えた実験、補強材の径、弾性係数、表面の摩擦条件、挿入角度、挿入本数を変えた実験と地盤材料を変えた実験、前年度までの二層構造斜面と比較するため下箱をモルタルで固定した実験からなる。

#### 2. 2 実験装置および方法

実験に用いた試験機は下箱可動型の一面せん断試験機である。上箱の大きさは長さ30cm、幅30cm、深さ18.5cmであり、下箱は各々30cm、30cm、14cmであり、その中に補強材を配置している（図-1）。補強材の材質、形状、挿入角度等については表-1に示してある。補強材の表面には、摩擦条件を変えた実験以外、地盤との摩擦をもたせるため接着剤で砂

実験ケース	垂直応力 ( $\sigma$ ) ( $\text{kgf/cm}^2$ )	補強材の 材質	径 ( $\phi$ ) (mm)	挿入角度 ( $\theta$ )	本数 ( $n$ )	地盤材料	
無補強実験	0.5, 0.75, 1.0 (各3ケース)	-	-	-	-	標準砂	
垂直（載荷）応力を変えた実験	0.5, 0.75, 1.0	りん青銅	4.5	30	1	標準砂	
補強材の弾性係数を変えた実験	補強材の径	0.75	りん青銅	3.0, 4.5, 6.0	30	1	標準砂
	補強材の材質	0.75	アルミ	3.0, 4.5, 6.0	30	1	標準砂
補強材表面の摩擦条件を変えた実験	0.5, 0.75, 1.0	りん青銅	4.5	30	1	標準砂	
補強材の挿入角度を変えた実験	0.75	りん青銅	4.5	0, 20, 30, 40, 60	1	標準砂	
補強材の本数を変えた実験	0.75	りん青銅	4.5	30	1, 3, 5, 10, 15	標準砂	
補強材の長さを変えた実験	0.75	りん青銅	4.5	30	1	標準砂	
			I=18(5), 23(10) (cm)				
地盤材料を変えた実験 ・無補強実験 ・補強実験	0.75	りん青銅	4.5	30	1	粗砂、シルト砂、シルト	
補強材の定着部を剛にした実験	0.75	りん青銅	4.5	30	1	標準砂	

※補強材の長さは、長さを変えた実験以外は全長（上箱部の長さ）I=28cm(15cm)である。

を付着させ、補強材の軸力、曲げモーメントを計測するため補強材の縦方向3箇所を表裏にひずみゲージを張り付けている。地盤材料は気乾状態の豊浦標準砂と粗砂と2種類のシルト質砂を用いた（表-2）。この2種類のシルト質砂をこの実験ではシルト砂とシルトと呼ぶ。供試体の作成は、豊浦標準砂については空中落下法で、他の材料については一層5cm程度で転圧しながら行なった。せん断箱の内側には地盤材料との摩擦を軽減するためラテックスゴムを張り付けてある。実験は供試体に所定の垂直応力

を載荷し、圧密終了後1mm/分の変位速度制御方式で行った。この時、せん断変位、せん断応力、垂直変位、垂直応力、補強材の軸力、曲げモーメントを計測した。

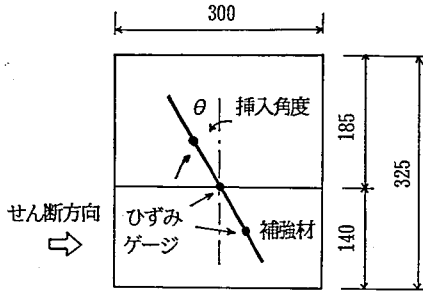


図-1 供試体の側面図 (単位:mm)

表-2 地盤材料の物性

	粗砂	シルト砂	シルト	豊浦標準砂
比重G	2.70	2.72	2.66	2.64
均等係数 $U_c$	5.91	6.73	18.10	-
曲率係数 $U_c'$	0.96	2.59	8.17	-
含水比 $\omega$ (%)	0	1.50	4.50	0
初期空隙率 $e$	0.50	0.80	1.20	0.70
内部摩擦角 $\phi$ (°)	43.2	39.4	35.8	40.7
粘着力 $C$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	0.27	0.11	0.07	0.07

### 3. 実験結果

垂直応力を変えた実験のせん断変位に対するせん断応力とせん断面における軸力の関係を図-2に示す。軸力はせん断応力の増加傾向とほぼ同様の傾向を示し、無補強の降伏時のせん断変位(6mm)以後その増加傾向は鈍る。また、同一のせん断変位(6mm)での補強材軸力は、垂直応力に比例して増加している(図-3)。補強材の軸力はせん断面の位置で最大となっており、その両端では小さくせん断変位10mmまではせん断面を中心にして上下対称の形となっている(図-4)。せん断面での補強材の曲げモーメントは、せん断変位10mmまではほとんど発生しておらず(図-5)、その両端での補強材の曲げモーメントから求められる変形量も非常に小さい値となる。このことは、本実験での補強材が引張り補強材として機能していることを示している。

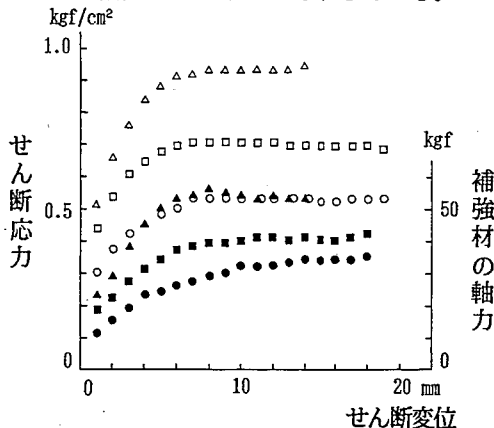


図-2 垂直応力を変えた実験でのせん断変位と、せん断応力と補強材の軸力の関係

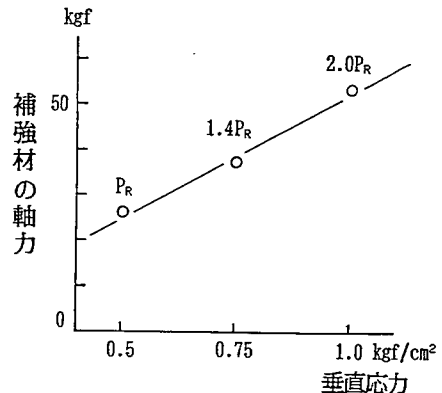


図-3 垂直応力と補強材軸力の関係

補強材の条件を変えた実験からは、以下のことが明らかになった。①径を変えた実験では、軸力はその表面積に比例する、②表面の摩擦条件を変えた実験では、軸力は補強材の表面の状態によって変化する、③長さを変えた実験では、軸力はせん断面に対して短い方の長さに比例する、④挿入角度を変えた実験では、軸力はせん断面の垂直方向に対して引張り方向に角度を持たせて挿入した場合に大きくなり、垂直方向に挿入した場合には角度を持たせた場合に比べ曲げモーメントが大きくなること明らかになった。地盤材料を変えた実験においても軸力はせん断応力の増加傾向と同様の傾向を示

し、無補強の降伏時のせん断変位を基準として補強時の軸力は無補強地盤の降伏せん断応力に比例し、標準砂とシルト砂のように内部摩擦角がほぼ同様であっても材料の特性の異なる場合その軸力は異なることが明らかになった。

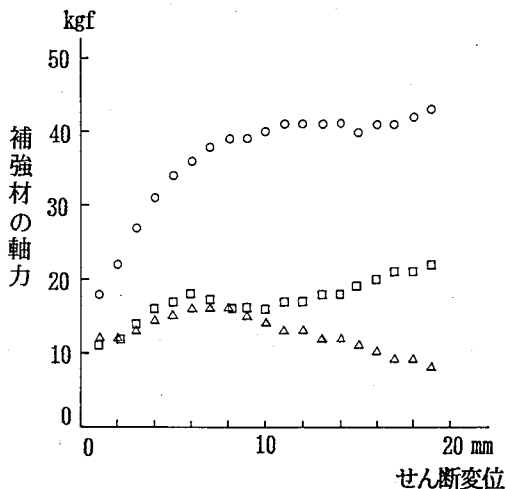


図-4 垂直応力を変えた実験( $\sigma=0.75\text{kgf/cm}^2$ )のせん断変位と補強材軸力の関係

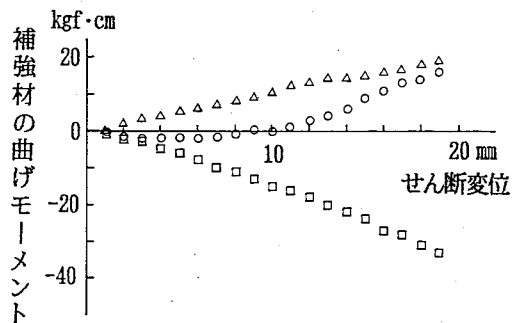


図-5 垂直応力を変えた実験( $\sigma=0.75\text{kgf/cm}^2$ )のせん断変位と補強材の曲げモーメントの関係

#### 4. 補強材の軸力の算定方法の検討

実験によって求められた補強材軸力を基に、その算出方法の一般化を検討した。

砂地盤での補強材の軸力の算定式としては、補強材に作用する直応力( $\sigma\theta$ )をモール円により求め、それを用いて補強材の軸力を算定するJewellの式<sup>1)</sup>を用いた。

$$P_R = \sigma\theta \cdot A_r \cdot \tan\delta \quad (1)$$

$$\sigma\theta = \sigma_{yy} \cdot \frac{0.87 + 0.5 \cdot \sin\phi_{ps} \cdot \sin(\phi_{ps} + 2\theta)}{\cos^2\phi_{ps}} \quad (2)$$

$P_R$ : 補強材の軸力(kgf),  $\sigma\theta$ : 補強材に作用する直応力(kgf/cm<sup>2</sup>),  $A_r$ : 補強材の有効表面積(cm<sup>2</sup>),  $\tan\delta$ : 補強材と地盤の摩擦係数,  $\sigma_{yy}$ : 垂直応力(kgf/cm<sup>2</sup>),

$\phi_{ps}$ : 平面ひずみ試験での内部摩擦角(°),  $\theta$ : 補強材とせん断面の垂直方向のなす角度(°)

Jewell は(1)式で $\delta = \phi$  (地盤の内部摩擦角)、(2)式で $\phi_{ps} = 1.2\phi$ となることを実験的に得ている。今回の各々の条件での補強材の軸力とJewellの式による軸力の関係について以下に示す。今回の実験での補強材と地盤の摩擦係数( $\tan\delta$ )を求めるため、(2)式を(1)式に代入し $\tan\delta$ について変形すると(3)式となる。

$$\tan\delta = \frac{P_R}{\sigma_{yy} \cdot A_r} \cdot \frac{0.87 + 0.5 \cdot \sin\phi_{ps} \cdot \sin(\phi_{ps} + 2\theta)}{\cos^2\phi_{ps}} \quad (3)$$

ここで $\phi_{ps}$ は三軸圧縮試験による内部摩擦角( $\phi'$ )により推定する。平面ひずみ試験での内部摩擦角は三軸圧縮試験のそれにより $\phi_{ps} = 1.1\phi'$ と表わされる<sup>2)</sup>。一般に豊浦標準砂の場合 $\phi' = 34 \sim$

45° となることが経験的に得られている。これより平面ひずみ試験での $\phi_{ps}$ は40~50° と推定される。(3)式に垂直応力を変えた実験のせん断変位6mmでの $P_R, A_r$ および $\phi_{ps}=40, 50^\circ$  を代入したときの $\delta$ を表-3に示す。

表-3 垂直応力を変えた実験での $\phi_{ps}$ と $\delta$ の関係

$\phi_{ps} \backslash \sigma_{yy}$	40	50
0.5	51	39
0.75	49	38
1.0	51	40

補強材と地盤の摩擦角 ( $\delta$ ) を地盤の内部摩擦角 (今回の実験では $\phi=40^\circ$ ) と比較すると $\delta \leq \phi$  となることが考えられる。 $\phi_{ps}=40^\circ$  の場合 $\delta(50^\circ) > \phi$ 、 $\phi_{ps}=50^\circ$  の場合 $\delta(40^\circ) = \phi$  となる。このことはJewellが述べているように $\delta = \phi$ 、 $\phi_{ps}=1.2\phi$  を用いて(1),(2)式により算出される軸力が実験値と一致し、この $\delta$ が補強材と地盤の摩擦角であると推定される。この垂直応力を変えた実験から得られた $\delta$ 、 $\phi$ を用いて補強材の径、長さ、挿入角度を変えた実験のJewellの式による計算値を求めた。補強材の径、長さを変えた実験は計算値と実験値がほぼ一致している(図-6,7)。補強材の角度を変えた実験では、軸力が最大となる角度に見られるように異なった傾向を示しており(図-8)、この点に若干課題は残るが一面せん断試験での軸力はJewellの式により計算できる可能性がある。

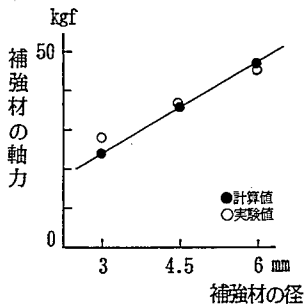


図-6 補強材の径を変えた実験での軸力の実験値と計算値の比較

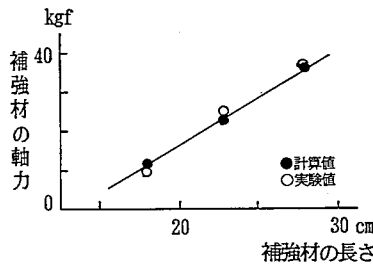


図-7 補強材の長さを変えた実験での軸力の実験値と計算値の比較

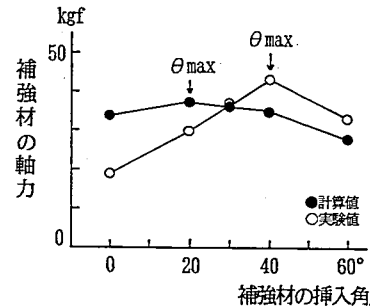


図-8 補強材の挿入角度を変えた実験での軸力の実験値と計算値の比較

## 5. まとめ及び今後の課題

今回の実験で地盤が均一層である場合、補強材の軸力はせん断面の位置で最大となり地盤に引張り方向に挿入することにより曲げの影響はほとんど受けないこと、軸力と垂直応力、径、長さ、挿入角度、挿入本数、地盤材料の関係が明らかになったこと、また、一面せん断試験で地盤材料が砂である場合、軸力はJewellの式によって推定できることが明らかになった。

鉄筋挿入工法の設計に関して、①粘着力が大きい地盤での軸力の算定方法、②補強材軸力算出の代替方法として現地引抜き試験の用い方、③頭部プレートの効果の考え方等、いくつかの検討課題が残っている。

## 参考文献

- 1) Jewell.R.A.andWorth.C.P.:Direct Shear Tests on Reinforced Sand,Geotechnique,Vol.37,No.1, p64,1987
- 2) 山口柏樹著:土質力学, p156, 技報堂出版, 1987年