

84 鉄筋挿入による斜面補強効果について（その3）

建設省土木研究所 ○川村 公平

中村 良光

西川 純一

大浦 二朗

1. はじめに

鉄筋挿入工法は、補強材と地山の相互作用によって補強材に生じる引張り力で地山を補強・安定化させる工法である。今回は昨年度実施した一面せん断試験の補強材軸力と比較するために引抜き試験を行い、その引抜き力と補強材軸力の関係を明らかにすることによって、設計の便宜を図ることを目的に一連の実験を行い、鉄筋挿入工法の設計手法を検討したのでここに報告する。

2. 実験方法

2. 1 実験内容

昨年度のせん断試験をふまえて今回の実験は表-1に示すように、垂直応力を変えた実験、補強材の径、補強材の材質、補強材表面の摩擦条件、補強材の長さ、地盤材料を変えた実験からなる。

2. 2 実験装置および方法

引抜き試験機は図-1に示すように土層寸法が幅600×高さ600×奥行き1200mmであるが、本実験では昨年度の実験と比較するために、引抜き側を300×300×300mmの土層になるように鋼材を設置した。補強材については表-1に示している。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を付着させ、引抜き中補強材に発生する軸力を計測するため補強材にひずみゲージを貼付けている。地盤材料は豊浦標準砂・粗砂・シルト砂・シルト・粘性土を用いた（表-2）。供試体の作製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った。実験は供試体に所定の垂

表-1 実験の内容

実験ケース	垂直応力(g/kgf/cm ²)	補強材の材質	長さ(l)	径(d)	地盤材料	補強材表面の摩擦条件
垂直(載荷)応力をえた実験	0.5, 0.75 1.0	りん青銅	28	4.5	標準砂	砂付着有
補強材の径を変えた実験	0.75	りん青銅	28	3.0, 4.5 6.0	標準砂	砂付着有
補強材の材質を変えた実験	0.75	りん青銅 アルミ	28	3.0, 4.5 6.0	標準砂	砂付着有
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	28	4.5	標準砂	砂付着無
補強材の長さを変えた実験	0.75	りん青銅	18 23 28	4.5	標準砂	砂付着有
地盤材料を変えた実験	0.75	りん青銅	28	4.5	粗砂・細砂 沙利・粘性土	砂付着有

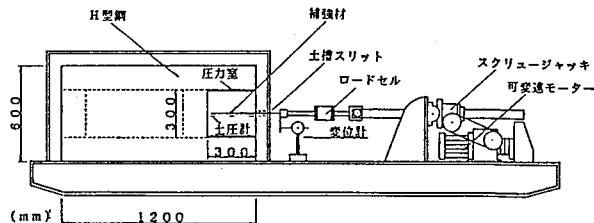


図-1 引抜き試験機

表-2 地盤材料の物性

条件	粗砂	シルト砂	シルト	標準砂	粘性土1	粘性土2
条件	CD	CD	CD	CD	CD	CD
$\rho_{dc}(\text{g/cm}^3)$	1.817	1.528	1.238	1.500	1.528	1.238
$\rho_t(\text{g/cm}^3)$	—	—	—	—	1.966	1.755
$\omega(\%)$	0.3	1.6	4.6	0.0	28.98	44.74
$C'(\text{kgf/cm}^2)$	0.000	0.113	0.418	0.000	0.000	0.000
$\phi'(^{\circ})$	42.3	43.7	36.3	36.0	38.6	35.5

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、引抜き力、引抜き変位、垂直応力、補強材のひずみを計測した。

3. 実験結果

垂直応力を変えた実験の引抜き変位に対する引抜き力の関係を図-2に示す。引抜き力は垂直応力が大きくなるにつれて増加しているが降伏時の引抜き変位(2mm)を過ぎると緩やかに減少し補強材の残留強度により一定の値に近づく傾向にある。また、降伏時の引抜き変位(2mm)での引抜き力は、垂直応力に比例して増加している(図-3)。また、昨年実施した一面せん断試験における同じ条件の実験の補強材軸力と比較すると、引抜き力はその1.3倍になる(図-3)。

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、引抜き力はその表面積に比例する、
 ②補強材の引抜き力は材質の影響を受けない、
 ③表面の摩擦条件を変えた実験では、引抜き力は補強材の表面の状態によって変化する、
 ④補強材の引抜き力はその長さに比例する。また、補強材に貼付けたひずみゲージより計測された、各実験における降伏引抜き変位時に発生している軸力は、引抜き力とほぼ等しいという結果を得た。さらに、引抜き力と補強材軸力を比較すると各実験とも1.3倍となり、垂直応力をえた実験と同様な結果となった。

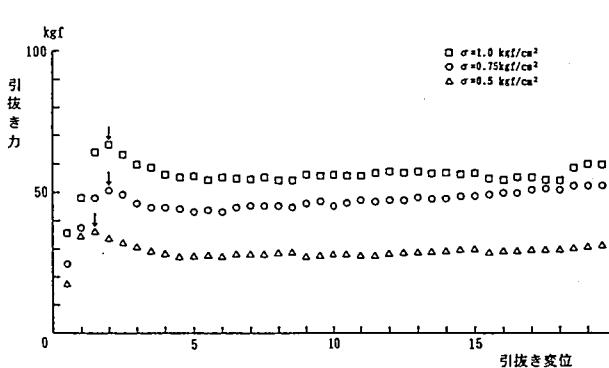


図-2 垂直応力をえた実験での引抜き変位と引抜き力の関係

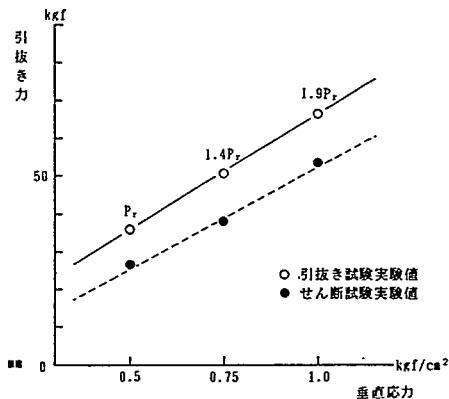


図-3 垂直応力と引抜き力の関係

地盤材料を変えた実験における引抜き変位に対する引抜き力の関係を図-4に示す。シルト砂・シルトの含水比を変えた。粘性土1・2の引抜き力は乾燥状態のものと比較すると約1/2程度という値を示した。これは表-2に示すように内部摩擦角の減少によるものなのかいまのところ説明できないので今後の課題とする。昨年のせん断試験の補強材軸力と引抜き力を

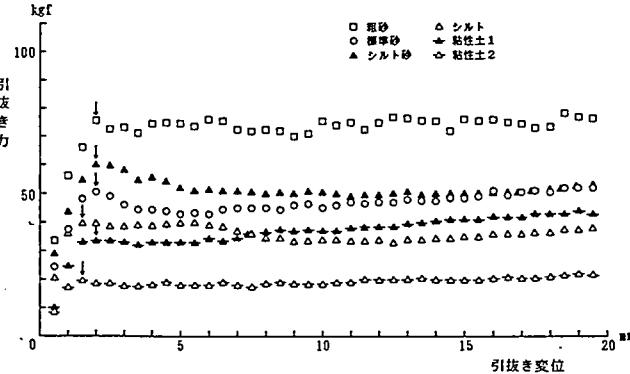


図-4 地盤材料を変えた実験での引抜き変位と引抜き力の関係

各材料について比較すると、引抜き力はその約1.3倍になっており補強材の条件を変えた実験と同様な関係にある（図-5）。以上の実験結果より、今回の引抜き試験全般にわたり、昨年度のせん断試験実験値と比較するとほぼ1.3倍になるという結果を得たが精度的・実験的誤差を考慮すると引抜き試験実験値とせん断試験実験値とはほぼ等しいと考えられる。このことは鉄筋挿入工法の設計手法において、引抜き試験による引抜き力を設計の確認に用いることが有用であると考えられる。

4. 設計手法の検討

4. 1 設計の流れ

鉄筋挿入工法の設計の流れを図-6に示す。この流れは補強材に発生する最大軸力を算定することが基本となるが、予備設計段階における算定方法は①Jewellの式¹⁾を用いて補強材1本当にに発生する最大軸力を算定する②今回の実験結果より補強材に発生する最大軸力と引抜き力はほぼ等しいので、算定される引抜き耐力を下回る力を最大軸力とするという2つの方法である。Jewellの式は、

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

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

P_R ：補強材軸力(kgf) A_r ：補強材の有効表面積(cm^2)

$\sigma \theta$ ：補強材に作用する直応力(kN/cm^2) ϕ_{ps} ：内部摩擦角

$\tan \delta$ ：補強材と地盤の摩擦係数 σ_{yy} ：垂直応力(kN/cm^2)

θ ：補強材とせん断面の垂直方向のなす角度

4. 2 上載圧

設計段階において最大軸力を見積もるために、設定困難な(2)式の σ_{yy} を一つの斜面を設定して上載圧と鉛直土被り厚の関係をFEM解析にて検討し（図-7）、上載圧を想定しJewellの式を用いた。各斜面角度における上載圧は、点線で示される値より大きくなっていることがわかる。これは斜面の角度が変化しても、鉛直土被り厚に単位体積重量を乗じた値を上載圧と設定すればより安全側になることを示している。

4. 3 設計計算例

図-8に示す斜面について設計計算を行う。土質条件として $\gamma_t = 1.8 \text{tf}/\text{m}^3$ 、 $\phi = 30^\circ$ 、 $c = 1.0 \text{tf}/\text{m}^2$ 、鉄筋径25mm、削孔径66mm、斜面勾配1:0.5、斜面鉛直高さ12 mとする。長さ5.0mの鉄筋を水平ピッチ

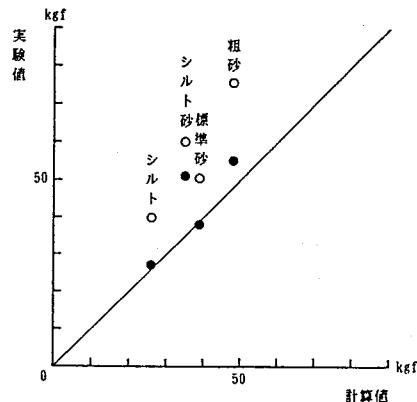


図-5 補強材軸力の実験値、
計算値と引抜き力の関係

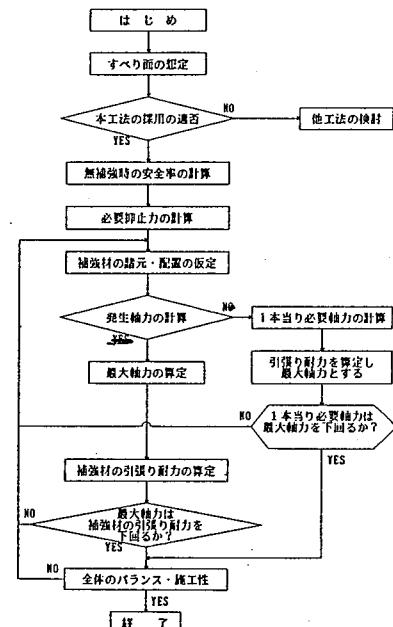


図-6 設計の流れ

1.5m、のり長方向ピッチ1.5mすべり線の垂線と40°になるように打設するものとする²⁾と補強材1本当たりの最大軸力 P_R は以下のようになる。

まず上載圧は各補強材の平均土被り厚が4.3mなので、
 $\sigma_{yy} = 4.3 \times 1.8 = 7.74 \text{ tf/m}^2$

この σ_{yy} と条件等を (2) 式に代入すると、

$$\sigma_\theta = 11.40 \text{ tf/m}^2$$

さらに σ_θ を (1) 式に代入すると、

$$P_R = 11.40 \times 0.601 \times \tan 30^\circ \\ = 3.96 \text{ tf/1本}$$

この3.96tfという値は、補強材の引抜き耐力、グラウト・補強材間の付着耐力、補強材の許容引張り力の補強材力の検討にも許容し得る。

また、計画安全率を1.2、補強材の諸元等は同様にして引抜き耐力から軸力を推定すると $P_r = 3.44 \text{ tf/1本}$ となり、Jewellの算定式と同様な値となる。さらに、この時の補強材の引抜き耐力を求めると、

$$P_{pa} = 5.99 \text{ tf/1本}$$

となり、この値がほぼ補強材に発生する最大軸力と考えられる。最後に、設計計算により算出された補強材の最大軸力（必要引張り力）が実際に発生するかどうか第3章の検討結果より、現場では本工事を実施する前に現場引抜き試験を行う必要がある。

5.まとめ

今回の実験では引抜き試験を行い、前回のせん断試験の補強材軸力と引抜き力と比較検討した結果、実験全般にわたり引抜き力は補強材軸力の1.3倍になるが、精度的・実験的誤差を考慮するとほぼ等しいと考えられる。その実験結果をもとに設計手法を検討し、提案したが、地盤が粘性土の場合の補強材に発生する軸力、頭部処理工としてのプレート効果の設計への取込み方等課題が残っていると思われる。

参考文献

- 1) Jewell, R.A. and Worth, C.P.: Direct shear tests on reinforced sand, Geotechnique, Vol.37, No.1, p64, 1987
- 2) 吉松弘行ほか:鉄筋挿入による斜面補強効果について(その2), 平成2年度砂防学会研究発表会, 1990

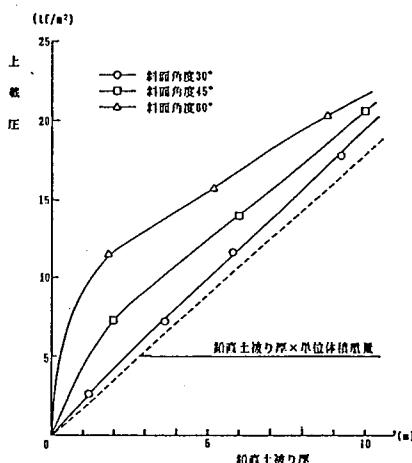


図-7 FEM解析による鉛直土被り厚と上載圧の関係

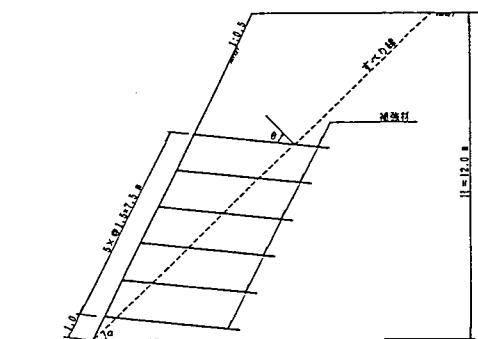


図-8 安定解析モデル