

東京農工大学 中村浩之
 同上 Nghiem Minh Quang
 (財) 林業土木施設研究所 井上孝人
 日鐵建材工業(株) ○岩佐直人
 同上 加藤貴章

1. はじめに

筆者らは、樹木を残したままで斜面の安定化を図ることができる工法として、主に切土のり面に使用されている鉄筋挿入工法に着目し、自然斜面に適用した場合の安定メカニズムを把握することを目的として研究を行ってきた。

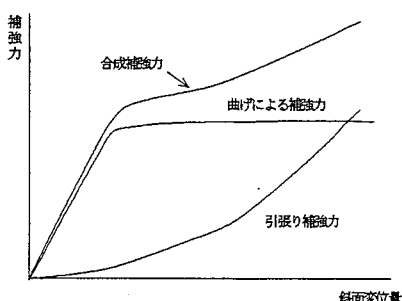
その結果、自然斜面では補強力として補強材自身の抵抗力を考慮することができること、補強力には支圧板による支圧効果が影響していること等を明らかにするとともに、これら効果を考慮した設計法について検討を行っている。

本報告は、補強材自身の抵抗力に着目してその定量的評価を行うために、地盤と補強材との相似則を考慮して行った斜面模型実験の結果と、模型実験で用いた補強材を支圧板によって頭部が拘束された杭として数値解析を行った結果について整理したものである。

2. 鉄筋挿入工法を自然斜面に適用する場合の問題点

既往の研究では、移動層と不動層のように地盤強度が異なる層を横切るように配置された補強材に働く補強力は、斜面の変位量により、曲げ補強力と摩擦に起因する引張り補強力の分担度が異なっていることが確認されている。(図2-1にその概念を示す)⁽¹⁾

しかし「曲げ補強力」の評価については、現在のところ研究段階であるため、設計法を提案するには至っておらず、設計上考慮されていないのが現状である。



一方鉄筋挿入 図2-1 補強力と斜面変位の関係概念図 工法における崩壊パターンには、図2-2に示すように「補強材の引き抜けによる崩壊」と「移動土塊の抜けだしによる崩壊」があり、これら二つのパターンについて斜面安定性の照査をする必要がある。

自然斜面では通常移動土塊内の補強材と土砂との周面摩擦は小さく、移動土塊が抜け出す可能性が大きくなると考えられる。

このような周面摩擦が確保しにくい地盤において、従来の「摩擦に依存した設計方法」によって必要な抑止力を得るためには、補強材密度を大きくするか、のり面工に剛性の大きな構造物を使用することが必要であり、これでは樹木を残して斜面の安定化を図ることができない他、経済性の面でも高価な工法になる。この点が「鉄筋挿入工法を自然斜面に適用させる場合の課題」であるといえる。

そのため、これまでほとんど評価されていなかった

曲げ補強力に着目して室内模型実験等を行ってきた結果、この曲げ補強力を適切に評価することができれば、鉄筋挿入工法を自然斜面に適用できることが明らかになり、現在その設計法として(1)式による方法を提案している。⁽²⁾

$$\text{合成補強力} = \text{引張り補強力} + \text{曲げ補強力} \dots (1)$$

しかし(1)式は、図2-1に示すような斜面移動に伴って発生する補強力について適切に説明することができないという課題がある



(a) 引き抜けによる崩壊 (b) 土塊の抜け出しによる崩壊
 図2-3 鉄筋挿入補強土工法の崩壊パターン

3. 実験概要

自然斜面上において、表土が基盤上を滑落する崩壊形態を想定し、図3-1に示す実験装置を用いて自重崩壊による模型斜面実験を行った。

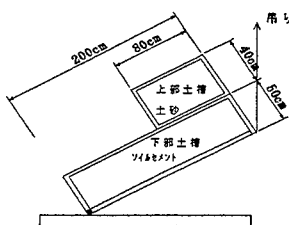


図3-1 実験装置概要
 なお実験は、補強材自身の抵抗力の効果を把握するため、補強材、地盤物性は地すべり抑止杭の考え方をもとに可能な限り相似則(本実験ではスケール1/5とした)に沿って行った。実験方法及び結果の詳細は平成13年度砂防学会研究発表会概要集⁽³⁾を参照されたい。

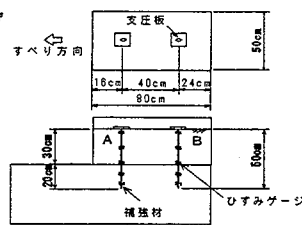


図3-2 補強材配置概要
 表1 実験条件

条件	
CASE-1	無補強
CASE-2	支圧板なし
CASE-3	支圧板6cm×6cm
CASE-4	支圧板10cm×10cm
CASE-5	支圧板14cm×14cm

表2 地盤及び補強材諸元

項目	諸元
成田砂	$\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$, $\phi = 34.7^\circ$, $c = 0 \text{ kN/m}^2$
ソイルセメント	含水比=16%, 配合比=23%, $q_u = 2800 \text{ kN/m}^2$
補強材	材質: アルミ ($E = 0.703 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$) 寸法: 幅5mm × 板厚2mm (矩形断面)

4. 実験結果

実験の結果をそれぞれ土槽移動量と土槽角度の関係、補強材応力と移動量の関係、支圧板と移動量の関係、補強材の深さ方向の曲げ応力及び軸応力分布の変化に整理、比較したところ以下のことが明らかになった。

①斜面変位が小さい段階（斜面ひずみ1%程度以下）
補強材自身の抵抗が支配的な領域であり、補強材を曲げ杭として評価でき、補強材の剛性、不動層の横方向地盤反力と移動層の横方向地盤反力によって支配される。

②斜面ひずみ1%～7%
支圧板の効果による補強材自身の抵抗が支配的ではあるが軸力による効果が徐々に発揮している領域であり、補強材の曲げ抵抗力と引張り抵抗力の両方で評価でき、補強材頭部の支圧板による効果に支配される。

③斜面ひずみ7%以上

補強材の軸力が支配的な領域であり、補強材に生じる引張り抵抗で評価でき、支圧板の効果及び不動層の周面摩擦抵抗に支配される。特に斜面ひずみ10%以上では、不動土塊内の周面摩擦による補強材と土塊との相互作用に支配される。

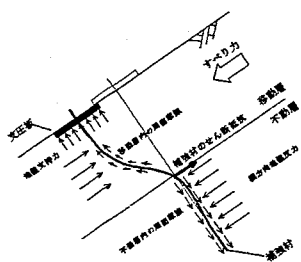


図4-1 補強力発生概念図

5. 解析

5.1 解析方法の概要

弾性地盤内における頭部自由な杭の弾性方程式は次式で示される。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + Es (y - g) = 0 \dots (1)$$

EI : 杭の剛性 Es : 地盤反力係数
 g : 地盤の変位
 y : 杭の水平方向変位量
 x : 杭の鉛直方向変位量

図5-1に杭頭部に支圧板を取り付けた杭の解析モデルを示す。

杭頭部に支圧板を取り付けた杭の弾性方程式は、補強材頭部の回転が拘束され、補強材頭部はx方向とy方向のみの変形を認めるという境界条件となること、図5-1に示すように支圧板の沈下の影響が軸力に関係することから、次式で示すことができる。

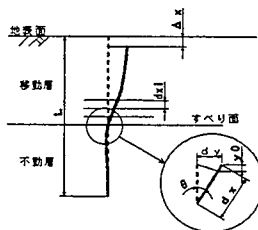


図5-1 解析モデル概要図

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + Es (y - g) = P \frac{d^2 y}{dx^2} \dots (2)$$

P : 補強材に生じる軸力

5.2 解析結果

図5-2、5-3は14cm×14cm支圧板を取り付けた補強材に生じる曲げモーメント及び軸力、図5-4は各土槽角度における釣り合い状態より求めた、抑止力（補強力）と移動量の関係を実験値と解析値とで比較したものである。この実験結果より、すべり面における軸力は、支圧板反力の影響を受ける補強材頭部の軸力とほぼ等しいことから、合成補強力を軸力と補強材のせん断抵抗力の和として示すと、(3)式で示すことができる。

$$R = H + Cf \cdot P \dots (3)$$

R : 合成補強力 P : 軸力 (= 支圧板反力)

Cf : すべり面における摩擦係数 (= $\tan 12^\circ \approx 0.2$)

H : すべり面における補強材のせん断抵抗力

図より移動量が6mm（斜面ひずみ2%）より小さい

段階では、実験値と解析値がほぼ等しいが、6mmより大きくなると、解析値が実験値より大きくなる。

これは解析において地盤反力係数を変位に関係なく一定とおいたためであり、実際は移動量の増加とともに地盤反力が低下する。

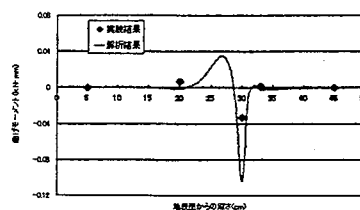


図5-2 補強材曲げモーメント分布図

今後は、斜面の移動に伴う地盤反力変化を考慮した手法を検討することが課題である。

また支圧板の大きさによる補強力への影響は、実験値及び計算値においても、移動量が15mm（斜面ひずみ5%）以下の段階では小さい。

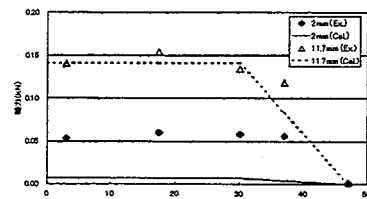


図5-3 補強材軸力分布図

これは移動量が小さい段階では、軸力の影響が小さく、補強材のせん断抵抗力の影響が支配的であるためと考えられ、支圧板は補強材頭部の回転を拘束するのに必要な支圧面積を

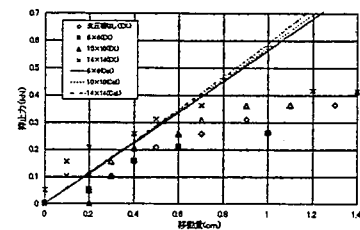


図5-4 抑止力と移動量の関係

有していればよいと考えられる。しかし補強力を軸力による効果だけで考える場合は、移動量が大きい段階での効果を考えるため、比較的支圧面積の大きい支圧板を用いるべきと思われる。

6. まとめ

相似則を考慮した斜面模型実験と模型実験で用いた補強材を支圧板で頭部が拘束された杭として数値解析を行った結果、以下のことが明確になった。

- (1) 支圧板を設けることで、補強材頭部の回転が拘束される。その結果 補強材の曲げせん断抵抗力を効率よく発揮させることができる。
- (2) 補強材に生じる軸力は、土塊の移動がある程度進行した段階で発生する。なお本実験の場合、移動層厚の7%程度から、補強材に生じる軸力による補強力が支配的となる。
- (3) 地すべり抑止杭の考えを適用した解析モデルによる抑止力は、土塊の移動量が小さい段階で実験結果とほぼ一致する。
- (4) 地すべり抑止杭の考えを適用した解析モデルは、斜面移動に伴って発生する補強力について適切に説明することができる。

<参考文献>

- (1) 例えば吉松等(1988)「鉄筋による斜面補強効果に関する研究」土木研究所資料
- (2) 中村等(2001)「自然斜面に適用した鉄筋挿入工法の設計法に関する検討」平成13年度砂防学会研究発表会概要集
- (3) 中村等(2001)「鉄筋挿入工法の自然斜面への適用法に関する実験的研究」平成13年度砂防学会研究発表会概要集