

斜面内の根の引張・引抜き強度と試験法の検討

山口大学大学院 学生会員 ○五藤久美子

山口大学工学部 正 会 員 鈴木 素之

山口大学工学部 正 会 員 山本 哲朗

1. はじめに 法面緑化は表面侵食の防止だけではなく、経済性、周辺環境との調和性、環境負荷の低減などの観点から斜面保護工として多く施工されてきた。風化土斜面では植生とその根系が斜面の安定性の向上に大きく寄与していることが広く論じられている。また、著者らの研究では岩盤節理への樹木根系の進入が岩盤を不安定にさせている可能性をこれまで指摘してきた^{1)~3)}。しかし、これらの影響を定量的に評価した研究は少なく、設計においても植生は付随的なものとして捉えられているのが現状である。

以上より、植生が斜面安定に及ぼす影響とそのメカニズムを明らかにすることは、斜面防災工学の立場から重要であると考えられる。本論文では根系が斜面安定に与える影響について述べ、その効果を具体的に評価した斜面安定計算法について検討する。

2. 斜面安定に及ぼす根系の影響

2.1 根系の引張・引抜きによる斜面の安定化 斜面安定化に与える根系の作用として、水平根による地盤の緊縛効果と垂下根による短杭効果といった地盤の直接的な補強が挙げられる。図-1に簡単な模式図を示す。水平根の引張強度・引抜き強度により、斜面表層の地盤は繊維補強された地盤と同様の強度増加が得られ、垂下根のせん断強度は表土と基礎地盤の連続性を高める効果として地盤の崩壊に対する抵抗力を向上させていると考えられる。また、風化土斜面において発生する斜面崩壊は、崩壊厚さ 0.0 ~ 0.9 m の表層崩壊が最も発生頻度が高い^{4), 5)}。これはちょうど根系が存在する程度の深さであり、表層崩壊の防止に対して根系が大きく寄与できることを示唆している。これらを受けて、本研究では根の引張・引抜き強度試験を実施し、試験結果を安定計算に適用する方法について検討中である。

2.2 根系成長時の圧力(根圧)による斜面の不安定化 岩盤斜面では根系が斜面を不安定化させる懸念のほうが大きい。岩盤節理などの不連続面に樹木根系が進入することで、雨水・地下水の浸透促進による岩盤の風化の助長や根系成長時の圧力による節理の開口が起り、岩盤を不安定にさせると考えられる。図-2

に根系の進入が及ぼす物理的作用の模式図を示す。著者らはこの根の圧縮強度が成長時に岩盤に与える圧力の最大値であると仮定して、斜面安定計算への根の圧縮試験結果の適用を試みた。以下にその結果について示す。

3. 根圧の影響を考慮した斜面安定解析

3.1 平面破壊モデルの作成 図-3は山口県阿武郡むつみ村における現地調査結果より岩盤崩落発生地点をモデル化したものである。この地点では、過去に斜面下方に落下したとみられる幅 0.6 m、高さ 1.0 m、奥行 0.4 m の岩塊が確認された。また、長径 4.0 cm、短径 3.0 cm の扁平になった根が斜面に沿って 85 cm ほど鉛直下方に発達している様子が見られた。これらのことから、この岩塊の落下に根の進入が影響を与えていた可能性が示唆される。そこで、調査地点より得られた斜面の走向・傾斜、斜面寸法、岩盤等級、根の幅と進入長などから、奥行き 1.0 m と仮定した単純な平面破壊モデルに置き換え、根の進入の有無による安全率の変化量を試算した。試算

【風化土斜面】

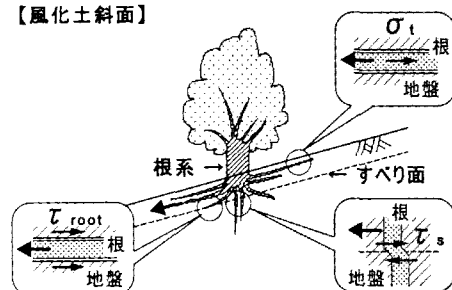


図-1 斜面の安定化

【岩盤斜面】

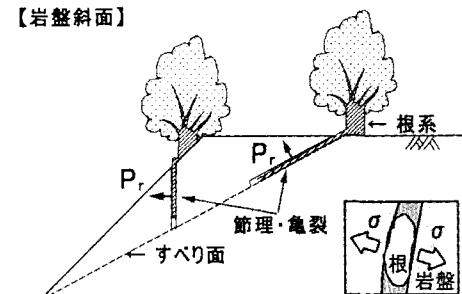


図-2 斜面の安定化と不安定化

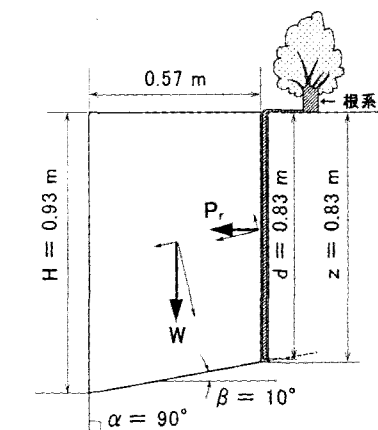


図-3 平面破壊モデル

は極限平衡解析により、後述の安定計算式⁹⁾を用いて行った。

3.2 解析条件 解析条件は以下のである。1) すべり面、亀裂ともに斜面上に対して平行である。2) 亀裂内には水は存在せず、水圧の影響を考えない。3) 重量 W 、根の圧力 P_r による回転モーメントはない。4) すべり面の強度はクーロン則(粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ)に従う。5) 根の力は進入した亀裂に垂直に作用する。

次にこれらの計算に用いた式を示し、各定数を表-1 に示す。

$$F_r = \frac{cA + (W \cdot \cos \beta - P_r \cdot \sin \beta) \cdot \tan \phi}{W \cdot \sin \beta + P_r \cdot \cos \beta} \quad (1)$$

$$R_F = (F_r - F_0) / F_0 \times 100 \quad (2)$$

$$P_r = k \cdot \sigma_r \cdot b \cdot d \quad (3)$$

ここに、式(1)の F_r は根の進入を考慮した安全率、式(2)中の R_F は根の有無による安全率変化量、 F_0 は式(1)において根の圧力 $P_r = 0$ とした場合で根の進入を考慮しない安全率である。また、式(3)中の k は応力低減係数であり、 $k = 0 \sim 1.0$ である。これは、根が岩盤に与える力は根固有の圧縮強度を超えるほどの力を与えることはないと考え、根の圧力をゼロから最大値(根の圧縮試験より得られた圧縮強度 σ_r)までと仮定したものである。 $k = 0$ のとき $P_r = 0$ であり、このときの安全率 F_r は根の進入を考慮しない安全率 F_0 となる。試算ケースは、地点の状況から CM 級岩盤であり、周辺の節理の発達が良く見られたことからすべり面の固結力が非常に低下していたと仮定して、すべり面の内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ 、粘着力 $c = 0, 0.1, 0.2 \text{ MPa}$ として試算した⁸⁾。

3.3 試算結果および考察 図-4(a),(b)に試算結果を示す。図-4(a)には岩盤が標準的な CH~D 級岩盤であると仮定して試算した、強度定数を $c = 0, 0.5, 1.5, 3.0 \text{ MPa}$ の4ケース、 $\phi = 10, 15, 30, 45^\circ$ の4ケースの計16パターンの結果も合わせて示す。 $(R_F)_{\max}$ は $P_r = 66.4 \text{ kPa}$ ($k = 1.0$) のときの安全率変化量 R_F である。 $(R_F)_{\max}$ は c の減少、 ϕ の増加にしたがって大きく増加していることがわかる。また、図-4(b)より、根が進入していない場合の安全率 F_0 は $c = 0.1 \text{ MPa}$ のとき 29.7 となるが、根の進入を考慮すると、 $P_r = 57.1 \text{ kPa}$ ($k = 0.86$) としたときの安全率 F_r は 1.0 以下になる。 $c = 0 \text{ MPa}$ のときはさらに低く、 $P_r = 4.6 \text{ kPa}$ ($k = 0.07$) のときに安全率 F_r が 1.0 以下となる。しかし、 $c = 0.2 \text{ MPa}$ と仮定すると F_r は最小でも 1.0 以下とならない。

以上よりこのモデルに関して、固結力の低下していない岩盤では崩壊の危険性は低いものの、根による安全率の大幅な低下がみられた。また、固結力の非常に低下した岩盤や、石垣のような固結力のない岩盤では根の進入に起因する安全率の低下によって岩塊の落下が考えられ、特に注意が必要であると示唆される。

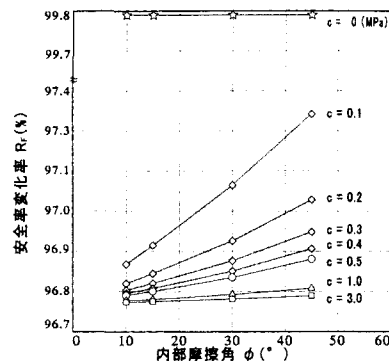
4. まとめ

今回の試算結果より、斜面上に樹木の根が進入したとき、根の力を高く評価した場合では岩盤斜面の安全率は大きく低下することがわかった。さらに、固結力の非常に低下した岩盤では崩壊の危険性が高いことが明らかとなった。今後の課題として、風化土斜面への根の影響を考慮した安定計算についても検討の必要があると考えられる。

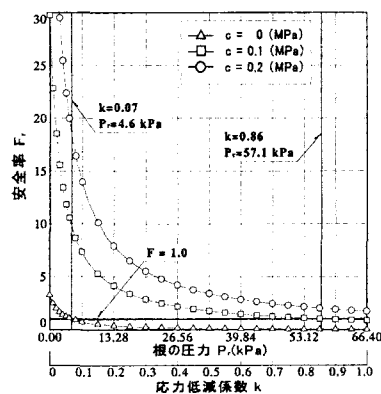
【参考文献】 1) (社)日本道路協会編：道路土工のり面工・斜面安定工指針，1999。2) 山本哲朗，鈴木素之，寺山崇，勝部安昭：平成13年度芸予地震による山口県東部の斜面災害調査，第41回地すべり学会研究発表講演集，pp.381-384，2001。3) 山本哲朗，五藤久美子，笹西孝行，松下英次：樹木の根系が岩盤斜面安定に及ぼす効果および問題点，第54回土木学会中国支部研究発表会発表概要集，pp.347-348，2002。4) 宮内俊彦：1997年～1999年に発生した山口県内の斜面崩壊と土質工学的性質，pp.40-41，2001。5) 勝部安昭：2000年および2001年に発生した山口県内の土砂災害，pp.27-28，2003。6) フック，ブレイ：岩盤斜面工学，1979。7) 山本哲朗，鈴木素之，五藤久美子，笹西孝行：岩盤崩落に起因した樹木の根の圧縮試験結果に関する一考察，第21回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，pp.9-10，2002。8) 菊地宏吉：地質工学概論，1990。

表-1 安全率試算に用いた定数

斜面高さ H	0.93 m
亀裂深さ z	0.83 m
根系進入長 d	0.83 m
斜面傾斜 α	90 °
すべり面傾斜 β	10 °
亀裂傾斜 ω	90 °
すべり面の面積 A	0.576 m ² /m
岩盤単位体積重量 γ	25.1 kN/m ³
岩盤の重量 W	0.013 MPa・m
根の圧縮強度 σ_r ⁷⁾	2.0 MPa
根の平均長径 b	0.04 m/m



(a) $(R_F)_{\max} - \phi$ 関係



(b) $F_r - P_r$ 関係

図-4 試算結果