

ホウライチクの補強効果に関する斜面崩壊実験

名古屋工業大学大学院 学生会員 久米啓介
豊田工業高等専門学校 正会員 伊東 孝 小林 睦
琉球大学 正会員 赤木 知之
株式会社産木 水留 稔文
有限会社オアシス 奥田芳雄
ニーズ新環境技術サービス 正会員 玉山 豊

1. はじめに

一般に、森林と斜面崩壊は密接に関連していると言われており、樹木の根による土のせん断抵抗力の補強効果に関する研究事例は少なくない¹⁾。しかしながら、樹木の生長度合いは生育条件に左右され、期待する補強効果を発揮できているかどうかの判断が非常に困難であるため、盛土斜面を樹木により補強する事例は少ないといえよう。そこで本研究では、生命力が強く直根型のホウライチク(イネ科ホウライチク属：学名 *Bambusa multiplex*)が斜面補強効果に与える影響を調べるために、根系を含む土塊の補強特性を明らかにした上で、一連の斜面崩壊実験を実施したので以下に報告する。

2. ホウライチクについて

ホウライチクはインドシナが原産地であり、最大の特長は、広く知られているような竹(マダケ、モウソウダケ)と異なり、根が垂直に生長するという点である。一般の竹は水平方向に広範囲に繁殖するため、斜面崩壊の誘因のひとつである斜面表層の重量増加に繋がることに対して、ホウライチクの根系は鉛直下方に生長するため、土構造物を補強する上で必要な引張り抵抗力が期待できる。図-1に自然繁茂したホウライチクの根部を示す。これらより、水平方向への繁殖は認められず、また、根は稜部の2倍以上の長さに生長していることが窺える。

愛知県豊田市内における生育状況を確認するために、日照および灌水の有無を条件として、ホウライチクの生育状況を調べたところ、室内(日照無し)においては生長が見られなかったが、室外においては、ある程度灌水しなくても樹根の生長は確認できた。図-2に示す植栽後2年経過したホウライチクは、温暖な地方におけるもの(図-1：鹿児島県内)と比較して稜部が短いものの自然降雨条件下においても枯死することはないことが分っている。

3. 試料について

本研究においては、愛知県藤岡町で採取したまさ土を試料として用いた。まさ土の比重は2.46であり、粒径加積曲線を図-3に示す。統一分類法によると礫質砂：SGに分類される。



図-1 ホウライチクの根部²⁾



図-2 ホウライチク(植栽後2年)

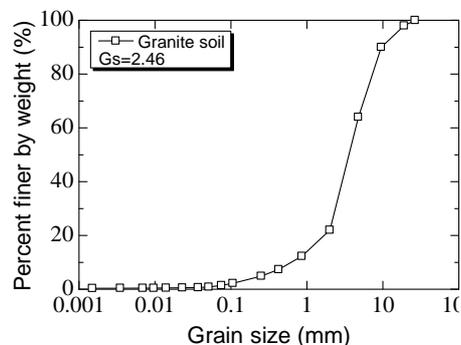


図-3 粒径加積曲線



図-4 供試体サンプリング状況

4. 根系を含む土塊の力学特性

まさ土の強度特性および根系を含む土塊試料の力学特性を調べるために、JGS-0561 に準拠して一面せん断試験を行った。供試体の密度は、 $\rho_d = 1.0, 1.4 \text{ g/cm}^3$ とし、根系を含む供試体は、図-4 に示すように、カッターリングを用いてハウライチクの鉢植え供試体からサンプリングした。ここで、ハウライチクの根は、せん断面に対して必ずしも直行する方向ではないことを付記しておく。また、根系を含む供試体の密度は $\rho_d = 1.3 \text{ g/cm}^3$ のものを試験結果として採用した。

一面せん断試験により得られせん断応力～垂直応力の関係を図-5 に示す。これより、まさ土は密度が増加すると粘着成分が発揮され、内部摩擦角もやや増大傾向にある。一方、根系を含む供試体においては、密な供試体 ($\rho_d = 1.4 \text{ g/cm}^3$) よりも若干密度が小さいもののほぼ同様のせん断強度を有していることが窺える。

図-6 に、せん断応力～水平変位および垂直変位～水平変位の関係を示し、せん断過程における供試体の強度・変形特性に着目すると、根が混入したケースにおいては、せん断初期に発揮されるせん断抵抗力が小さなことが指摘できる。しかしながら、破壊に至る時点でのせん断応力は3ケースの中で最も大きく粘り強い挙動が確認できる。また、供試体の密度の違いによりダイレイタンシー特性が異なっていることも指摘できる。すなわち、密度が小さな場合は、せん断に伴って供試体体積が減少していることに対して、密度が大きな場合は、せん断に伴う正のダイレイタンシーが確認できる。しかしながら、根系を含む供試体においては、密度が比較的大きいにも関わらず、負のダイレイタンシー特性を示していることが指摘できる。一般に、粘着力のない砂は、土中に根の繊維が存在するとピーク応力を増大させることが知られているが、本研究で用いたまさ土においても同様の結果が得られた。

5. ハウライチクの引抜き特性

ハウライチク根の引抜き強度特性を調べるために、図-7 に示すようなハウライチクの鉢植え供試体を用いて、引抜き試験を実施した。土塊部分の重量比を根含有率 (Roots content) と定義し、ハウライチクの根の引抜き強度特性を調べたところ、図-8 に示すような引抜き抵抗力～根含有率の関係を得た。これより、両者には相関があることが分る。ここで、根含有率 0.3% の供試体においては、茎と根の境界部において破断が確認された。したがって、ハウライチク根が補強効果

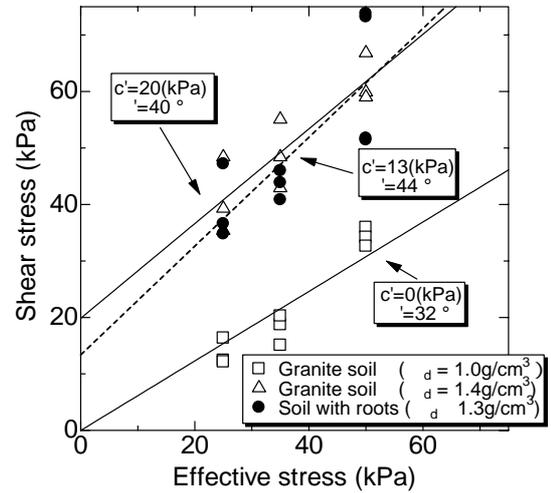


図-5 せん断応力～垂直応力の関係

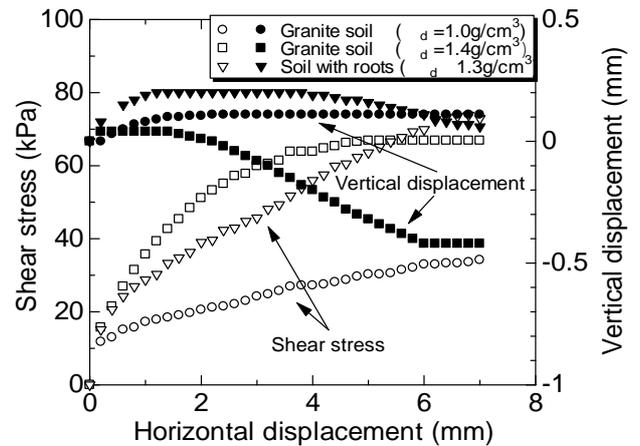


図-6 せん断応力～水平変位、
垂直変位～水平変位の関係



図-7 引抜き試験用供試体

として発揮する引抜き抵抗力は 400N 以下であるといえよう。ただし、図-9 に示すように、供試体の根の長さは 200mm である。

6. 斜面崩壊実験

6-1 実験システム

図-10 に実験システム図(断面図)を示し、図-11 に正面から撮影した写真を示す。土槽寸法は、幅 1800mm × 高さ 1500mm × 奥行き 1800mm であり、予め土槽内に乾燥密度 $\rho_d=1.4\text{g}/\text{cm}^3$ になるように、幅 1800mm × 高さ 1000mm、法面勾配 45 度の基盤斜面を作製する。基盤部を作製後、中央部を幅 800mm × 深さ 300mm で掘削し、この部分に乾燥密度 $\rho_d=1.0\text{g}/\text{cm}^3$ になるように含水比 10% に調整した試料を所定量投入し、締め固めてすべり土塊部を作製する。ホウライチクを植栽する場合は、法肩から下方に 300mm 間隔で 3 本配置する。養生期間は、ホウライチクの成長期を考慮して 6 月から 12 月までの 6 ヶ月間とした。

崩壊実験は、模型地盤の天端に荷重を付与して行う。土槽上部に設置したペロフラムシリンダにより応力制御条件下(0.238kN/min : 0.1MPa/min で空気圧を制御)において崩壊実験を実施する。シリンダのロッド先端にはロードセルを設置し、盛土天端沈下量を測定するために変位計を設置している。また、载荷中のすべり土塊の変位状況を把握するために、基盤部とすべり土塊部に観測杭を打ち込み、载荷実験中には 1 分毎にカメラ撮影を行う。

6-2 結果及び考察

崩壊実験の結果、ホウライチク植栽斜面においては、本システムが付与できる最大荷重(10kN)を载荷しても崩壊に至らなかったため、その段階に至るまでの変形過程について考察を行っていく。図-12 に無補強盛土の崩壊直前(1.9kN 载荷時)の変形状況を示す。写真より読み取った斜面上部の観測杭の変位を観察したところ、斜面中央部~下部にかけて全く変位を起こしていなかった。そこで、斜面上部の変位を図-13 に示す。同様に、ホウライチク植栽斜面において、同程度の载荷重を付与している時点の変形状況を図-14 に示す。これらより、すべり土塊部の変位が上部の体積圧縮に起因するものであると推察される。この直後、無補強斜面は図-15 に示すような最終的な崩壊に至った。これより、すべり土塊全体が剛塑性的に崩壊していることが窺える。ここで、各実験ケースにおける盛土天端の沈下量の径時変化を図-16 に示す。これより、無補強斜面においては、天端の沈下量が 20mm を越えた時点より崩壊に伴って急激に沈下量が増大していることに対して、ホウライチク植栽斜面は一定の沈下速度を示していることが分る。このことより、ホウライチクが十分な補強効果を発揮していることが推察される。

ホウライチクの補強効果を定量的に把握するために、簡易 Bishop 法による安定解析を行った。本計算においては、すべり土塊は基盤部

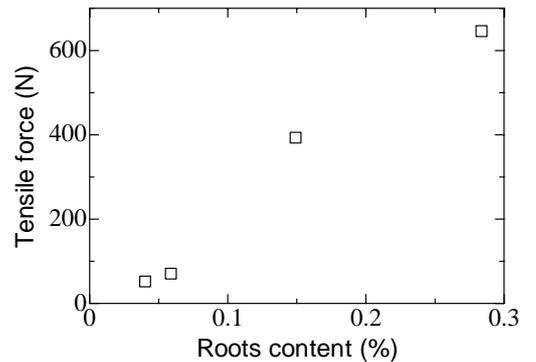


図-8 引抜き抵抗力～根含有率の関係



図-9 引抜き試験後のホウライチク

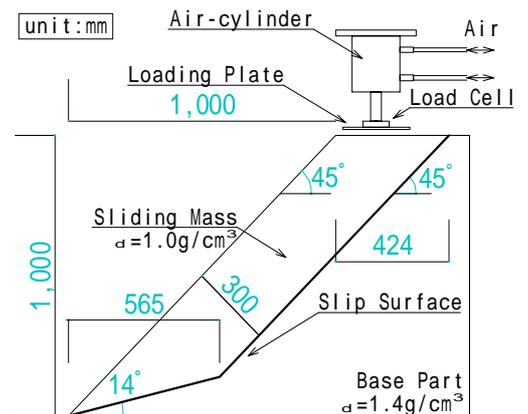


図-10 実験システム図(断面図)



図-11 斜面崩壊実験システム(正面図)



図-12 無補強斜面の変形状況 (1.90kN 載荷時)

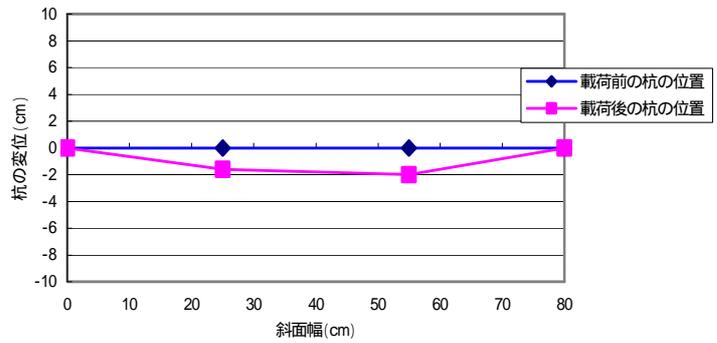


図-13 無補強斜面上部の変位

に沿って滑動すると仮定し、一面せん断試験により求めた強度定数を用いて、ホウライチクの根が発揮する引抜き抵抗力を算出した。その結果、樹根による補強効果は、1本あたり350Nであることが試算された。ここで、図-8より根含有率を算出すると0.1%程度になるものの、崩壊実験における根の含有率はこれよりも小さいことが観察された。ただし、模型地盤内で生長したホウライチク根は、800mm程度に生長しており、引抜き試験で用いた供試体(200mm)と比較してかなり大きなことから、このことを考慮するとある程度適切に補強効果を評価しているといえよう。

ホウライチクの成長期として適当な期間を養生期間としたものの、九州南部地方の生育状況²⁾と比較してかなり劣勢であることが観察された。しかしながら、生育状況を十分確認することにより、新たな斜面補強材料としての可能性はあるといえよう。

7. まとめ

本研究では、樹木による斜面安定効果を調べるために、補強樹種にホウライチクを選定し、根系による補強効果を明らかにした上で、一連の斜面崩壊実験を実施した。その結果、以下の結論を得た。

1. 土中に含まれるホウライチクの根系により、土のせん断抵抗力は増大した。
2. ホウライチクの引抜き抵抗力は、土塊に対する根の含有率と正の相関が見られた。
3. ホウライチク植栽斜面は、根の引抜き抵抗力が補強効果として発揮された。
4. 樹木による補強土工法は、樹根の生長状況を正確に把握し、その引抜き抵抗力を明らかにすることで、十分発展の可能性はあるといえよう。

《参考文献》

- 1) 樹木根系の表層崩壊防止機能：阿部和時，技術者交流特別セッション，第40回地盤工学研究発表会
- 2) 技術資料：株式会社産木



図-14 ホウライチク植栽斜面の変形状況 (2.0kN 載荷時)



図-15 無補強斜面の崩壊状況

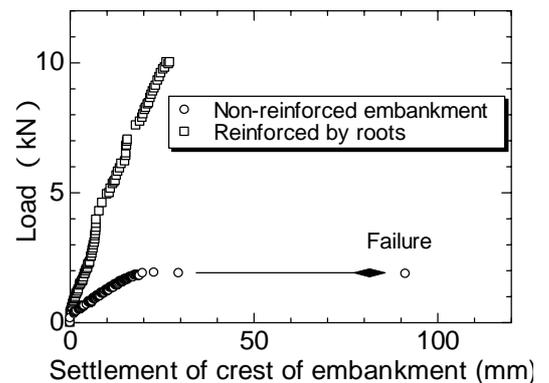


図-16 載荷重～盛土天端の沈下量の関係