

東海大学 正会員 ○杉山 太宏・赤石 勝

東海大学大学院 学生会員 大塚 泰洋

東海大学 学生会員 福田 耕司

1. まえがき

平地の少ない日本の建設工事は、多かれ少なかれ法面が形成される。斜面安定工、特に表層崩壊に対する対策は、滑動力を法枠工や鉄筋等のアンカーに負担させている。雨水による表面侵食には、発芽率が高く、早期に緑化が可能な外来種草本（芝草）による植生工がその対策として行われてきた。これまでの植生工は、侵食防止と景観への配慮が目的で、地盤の補強効果は考慮されていない。根系がその緊縛力によって斜面を補強することは一般的に認められているが、生物であるが故の不確定要素や力学的・工学的立場からの定量的な評価が不十分なために、根系の補強効果を安定解析に取り入れる段階ではないことが、その理由と考えられる。

本報告は、法面の緑化（樹林化）の現状と解明すべき問題点を概観し、根系の補強効果（せん断強さ）と安定解析への適用について考察したものである。

2. 法面緑化（樹林化）と根系による法面補強効果

2.1 近年の法面緑化（樹林化）とその課題

環境問題がクローズアップされるようになって、法面緑化の目的や方法が次第に変わりつつある。近年の植生工では、生態系に配慮して外来種の代わりに在来種（郷土種）による播種やポット苗が推奨されるようになり、木本による法面の樹林化も行われている¹⁾。日本道路公団では、CO₂吸収のための緑地として、盛土法面のみならず切土法面をも積極的に樹林化するとしている²⁾。また、実務の設計指針として広く活用されている道路土工一り面工・斜面安定工指針（社団法人日本道路協会）が平成11年3月、約13年ぶりに改訂され、新たに環境・景観に関する調査から維持管理までが追記された³⁾。植生工の緑化目標の設定や工法の選定方法など、より細かく記述されるとともに、法面緑化の目的は、侵食防止効果に加え根系の緊縛力による土壌の補強効果であることが明記されている。しかしながら、根系の補強効果をどのように考え、設計に反映させるのかについては記述されていない。

農林業の分野では、自然斜面を対象にした根系の補強効果に関する膨大な研究成果がある。この成果と更なるデータ収集により、人工（盛土・切土）斜面における樹木根系の補強効果の解明が、今後に残された大きな課題である⁴⁾。

ところで、上記した補強効果をプラス要因とすれば、法面緑化、特に樹林化にはマイナス要因も考えられる（図-1）。風による樹木の振動によりクラックが生じ、水みちとなって地盤のせん断強さを低下させる。道路法面上の樹木では強風時の倒木など、防災的観点からの懸念である。根系の補強効果（プラス要因）の研究と比較して、風による影響、特に樹木の振動と地盤の関係を定量的に調べたマイナス要因に関する研究は皆無に等しい。両者の力学的・工学的な裏付けと解明がなされて初めて、体系化された法面緑化（樹林化）手法が構築されると思われる。

2.2 根系の補強効果

図-2は、すべりに抵抗する根系の模式図を示している。根系の緊縛力 t_r は、土との摩擦抵抗による引抜抵抗、引張抵抗、せん断抵抗（曲げ抵抗）の3つが考えられる。これらがアンカー工のように、外力や変位に対

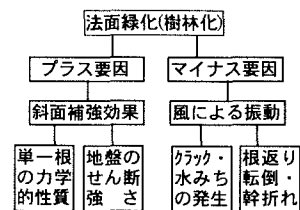


図-1 解明すべき法面緑化(樹林化)の力学的・工学的課題

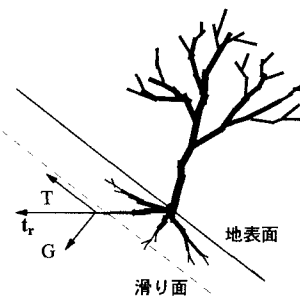


図-2 樹木根系による法面の補強効果模式図

キーワード：樹木根系、緊縛力、樹林化、斜面安定、せん断強さ

連絡先 〒259-1207 平塚市北金目 1117 TEL 0463(58)1211 FAX 0463(50)2045

して同時にあるいは個別に抵抗して地盤を補強する。しかし、無数に存在する樹木類や草本類に対して各抵抗力を調べるには、多大な労力と時間が必要で、単一根の緊縛力を地盤のせん断強さとどう結びつけるのかという問題もある。そこで、土の補強効果を直接調べるために、根系量をパラメータとした現位置あるいは室内せん断試験も行われている。根系によって土の粘着力 c が増加するという報告が主流であるが、せん断抵抗角 ϕ が増加するという報告もある。せん断試験は主に一面せん断試験が採用され、土試料は粘性土よりも砂質土が多い。全応力に基づく強度定数 c 、 ϕ は排水条件によって大きく変わるが、排水条件を考慮した検討は少ない。

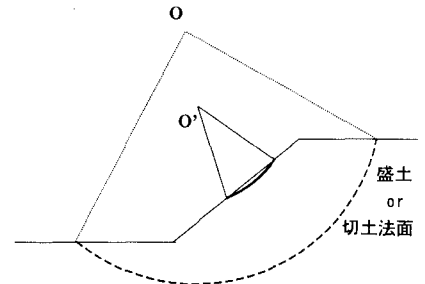
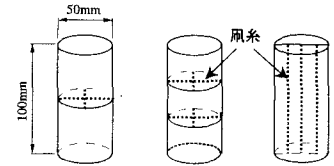


図-3 斜面安定解析の円弧すべり面



(a)横2分割 (b)横3分割 (c)縦2分割

図-4 根系の設置方法⁶⁾

3. 樹林化と斜面安定解析

一般に、盛土法面は時間の経過とともに安定化に向かい、切土法面では不安定化に向かうとされている。また、樹林化によって根系の補強効果が期待できるのは、施工後数年以上経ってからであろうことは想像に易しい。したがって、根系の補強効果を取り入れた斜面安定解析では、長期安定問題が対象と考えられるため、適切な排水条件の強度定数 c 、 ϕ を用いる必要があり、特に粘性土では重要である。

ところで、極限つり合い法による斜面の安定計算において粘着力 c をゼロとすると、図-3 のような表層付近 (O' を中心とする円弧) で極端に小さな安全率を示すことがある。これは、 τ が上載荷重 σ に比例するために生じるもので、 σ の小さい表層部では、僅かな粘着力を与えることで最小安全率の発生を阻止できる。前述したように既往の研究では、根系が土の粘着力を増加させるとするものが多く、表層崩壊の抑止効果として安定計算上は非常に有効であると言える。

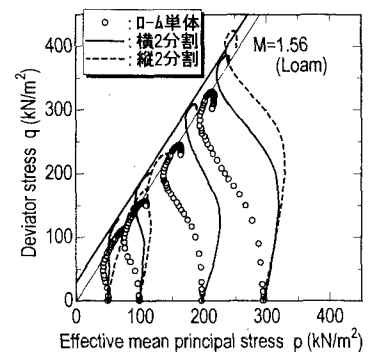


図-5 有効応力経路の比較

4. 再構成した関東ロームの三軸 CU 試験による強度定数⁵⁾

著者らが根系の補強効果を調べる目的で行った、繰り返した関東ロームの CU 試験結果について述べる。詳細は文献 5) を参照されたい。図-4 は再構成したローム供試体への根系の設置方法で、実根の変わりに根系を使用し本数を変えて行った。図-5 は、根系の有無による有効応力経路を比較したものである。圧密圧力によらず根系を設置することによって最大軸差応力 q が増加し、その割合は縦に設置した方が大きい。また、限界状態線は根系の設置によって上方に平行移動している。有効応力に関するローム単体の強度定数は $c'=0$ 、 $\phi'=37.2^\circ$ で、横2分割では c' が 10kN/m^2 に増加した。根系の結果ではあるが、根系が粘性土の有効応力に関する粘着力 c' を増加させる可能性を示唆している。

5. あとがき

法面緑化 (樹林化) の課題と根系の補強効果について考察した。法面樹林化の歴史は浅く、生物が対象であることから不確定要素も多い。農林学分野の研究成果をもとに力学的・工学的立場から更なる調査・研究が必要と考えている。

参考文献

- 1) 笛木 坦, 松下 潤: 丘陵地の宅地造成と自然生態系の保全, エコ・シ・レンジ・コリン' 読本, 土木学会誌 [別冊増刊], Vol.77-9, pp.62-65, 1992.
- 2) 上村恵也: グリーンハイウェイ宣言, 日本緑化学会誌, 特集「行政における緑化の取り組み」, Vol.26, No.2, pp.29-33, 2000.
- 3) (社) 日本道路協会: 道路土工のり面工・斜面安定工指針, 平成 11 年 3 月.
- 4) 塚本良則: 森林は斜面崩壊の抑止にどれだけ役立っているか, 森林科学, No.3, pp.45-51, 1991.
- 5) 前田, 杉山他: 人工樹木根系を含む関東ロームの非排水せん断強度特性, 東海大学紀要工学部, Vol.37, No.1, pp.155-160, 1997.