

原位置せん断試験による根系抵抗力の評価

(株)北海道技術コンサルタント 神原孝義・大谷健一
北海道立林業試験場 佐藤創・鳥田宏行

1 はじめに

従来、斜面の樹木保全是、「斜面緑化による景観保全」を基本的な考えとする景観対策の一環として位置付けられていた。これに加え近年は、都市部を中心に斜面の樹木を保全することによる自然環境面に対する役割が期待されるようになった。このような背景から、景観・生態系を意識し、斜面樹木を保全したまま斜面安定化を図る工法が採用されるようになってきている。

しかし、従来から定性的に認識されている樹木根系による斜面安定効果を、実際に定量化し、施設計画に反映した事例は無い。今後、更に斜面での樹木保全が求められる傾向にあることから、樹木を景観や生態の面だけで評価するのではなく、物理的に樹木根系の効果を解明し、斜面安定解析へ導入する価値は高い。そこで、本稿では、樹木根系の崩壊抵抗力評価のために行った原位置せん断試験について報告する。

2 根系抵抗の概念と原位置せん断試験の目的

樹木根系の崩壊抵抗力(以後、根系抵抗力)は、地質境による弱線部等に沿ってすべり面(崩壊面)が形成され、すべり面に沿って土塊が滑動を始めた時に、すべり面を貫く根が抵抗するものである。従来、根は弾性体であるため、根系抵抗力は摩擦抵抗に代表できると考えられ、筆者らを含め多くの研究者が引き抜き抵抗力(摩擦抵抗)の調査を行ってきた(図-1左)。

しかし、実際の根の崩壊抵抗は、引き抜き抵抗のみならず、曲げ抵抗・せん断抵抗・破断抵抗の複合応力であると考えられる(図-1右)。そこで、実際の崩壊時に近い形で応力を加えることが可能な原位置せん断試験を行い、根系抵抗力の測定を試みた。

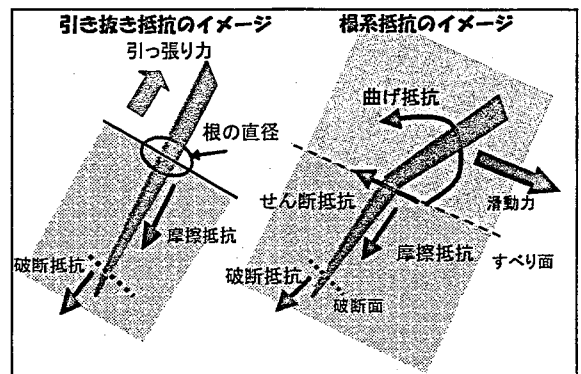


図-1 根系抵抗の模式図

3 試験の概要

3.1 試験地の概要

試験は、北海道美唄市の北海道立林業試験場内の実験林(コバヤマノハンノキ、42年生、胸高直径 25~45cm 程度)にて行った。試験地の土質は、表層より「森林腐植土、砂質土、礫混じり砂、砂混じり粘土」と分布していたが、土質による差異を除去するため、せん断面は礫混じり砂の層となるように、せん断箱の高さを調節して試験を行った。

3.2 原位置せん断試験の試験方法

せん断試験は、根を含む箇所(8箇所:以後、根有り試験)と含まない箇所(7箇所:以後、根無し試験)を以下の手順で行った。

○根有り試験の手順

- (1)対象木を地表面付近で切り、上部を除去する。
- (2)対象木の周囲を掘り、直方体状の試験体を作成する(写真-1上)
- (3)試験体にせん断箱(1.0m×1.0m、深さは0.8m・1.3mの2段階で調節可能)を被せる
- (4)チェーンブロックとロードセルをせん断箱に連結し、一方をバックホーのバケットで固定する
- (5)チェーンブロックでせん断箱をゆっくりと引っ張り、変位量 2mm ごとに荷重を計測する(写真-1下)
- (6)変位が 100~200mm 程度で試験を終了する
- (7)せん断箱内の土塊の重量を計測する
- (8)せん断面を横断する根の直径を全て調べる

※根無し試験では(2)~(7)を樹木の無い場所で行った。

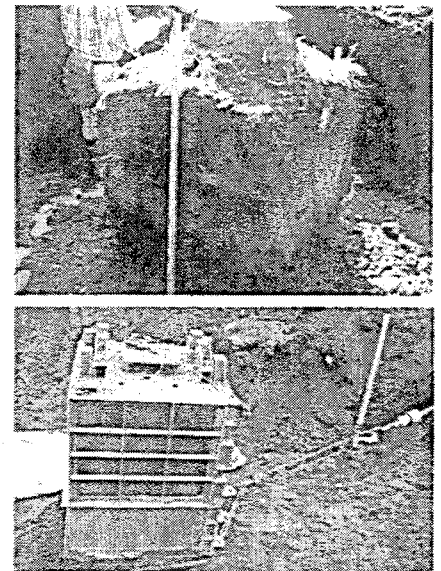


写真-1 原位置せん断試験の様子

3.3 引き抜き試験の試験方法

同じ試験地内で、同樹種の樹木 1本をせん断面(礫混じり砂層)まで掘り返し、露出した根を 1本ずつ引き抜き、最大抵抗力と根の直径の関係を調べた。

4. 試験結果

4.1 原位置せん断試験結果

図-2 に原位置せん断試験による垂直荷重と最大抵抗力の関係を示す。

根無し試験では、せん断面の深度の調整や、せん断箱にコンクリート塊(約 700kg)を載荷し、垂直荷重(kN/m²)を変化させて行った。図中の根無し試験のデータより作成した回帰式は、傾きが内部摩擦角、切片が粘着力を表す。この回帰式より「内部摩擦角 $\tan \phi = 0.8957$ ($\phi = 41.85^\circ$)」「粘着力 $c = 3.41$ (kN/m²)」を得た。

各根有り試験のプロットは、根の抵抗力が無ければ、根無し試験の回帰式上に乗っていたはずである。このことから、根無し試験の回帰直線と、根有り試験の各プロットとの鉛直軸方向の差が根系抵抗力を表すと考えられる。この考えに基づき根系抵抗力を算出すると、1.2~37.5(kN/m²)と試験体によって差異が見られた。この原因は、試験体によりせん断面を貫く根の量が異なったためと考えられる。

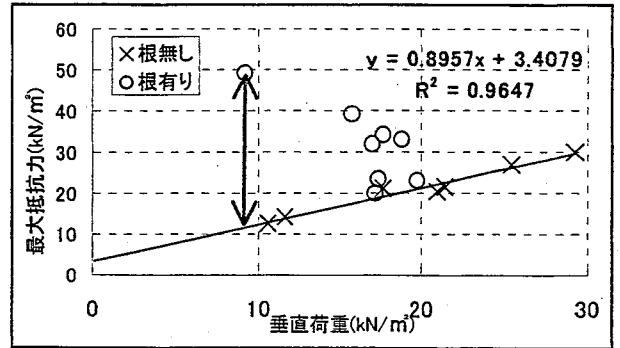


図-2 垂直荷重と最大抵抗力の関係

4.2 引き抜き抵抗力と根系抵抗力の関係

引き抜き試験結果を、根の直径 d (cm) と引き抜き抵抗力 T (kN) の関係に整理し、回帰式 $T = 48.15 \times d^{1.1335}$ ($R^2 = 0.61$) を得た。この回帰式を、根有り試験のせん断面を貫いていた根に適用し、試験体毎の引き抜き抵抗力の合計を算出した。次に、全引き抜き抵抗力をせん断面積で除し、単位面積当りの引き抜き抵抗力(kN/m²)を求めた。

図-3 に単位面積当り引き抜き抵抗力 T (kN/m²) と原位置試験結果から求めた根系抵抗力 F (kN/m²) の関係を示す。回帰式より、原位置試験による抵抗力は、引き抜き試験による抵抗力の 41%程度であることが判明した。

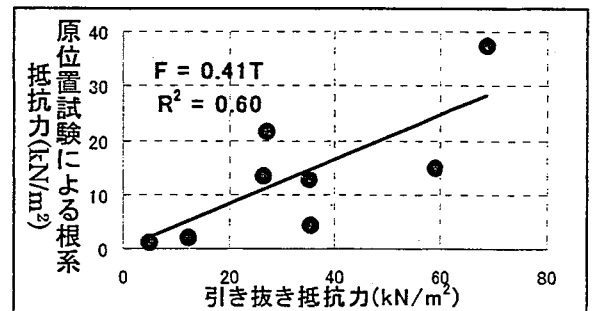


図-3 引き抜き抵抗力と崩壊抵抗力の関係

5. 考察

これまで、引き抜き抵抗力と根系抵抗力の関係は、冒頭に記したように、等しいものと捕らえるか、図-4 に示すように、根を直根と想定し、根系補強力 Δs (kN) として下式で表されてきた。

$$\Delta s = T' \times \cos \theta \tan \phi + T' \times \sin \theta$$

上式に、 $\phi = 30^\circ \sim 35^\circ$ 、 $\theta = 20^\circ \sim 70^\circ$ として平均値を求めると、 $\Delta s = 1.1 \sim 1.2 \times T'$ との関係が得られ、根系抵抗力は引き抜き抵抗力より強いものと導かれる。しかし、今回、原位置せん断試験を行った結果、根系抵抗力は引き抜き抵抗力の 41%程度であることが示された。

この差の原因は、引き抜き試験や根系補強力のモデルは根一本の最大抵抗力を評価しているのに対し、原位置試験は複数の根の総体的な抵抗力を評価しているためと考えられる。実際、せん断面を貫く根は均質ではなく、直径・せん断面下部の長さ等にばらつきが見られる。そのため、弱い根は変位の少ない段階で降伏し、補強力(抵抗力)を失っている可能性が高く、全ての根が同じ変位(タイミング)で最大抵抗力を発揮するとは考えられない。

図-5 に原位置せん断試験による変位と抵抗力の関係を示す。根有り試験は、根無し試験に比べて、抵抗力がピークとなるタイミングが遅く、緩やかなカーブを形成している。このことから、各根がそれぞれの特性を持って変位に応じた抵抗力を発揮していることが確認された。

このような特性により、最大根系抵抗力は引き抜き抵抗力合計の 41%という結果になったと考えられる。

6. 今後の課題

今回、原位置せん断試験を行う事により、引き抜き抵抗力と崩壊抵抗力の関係に新たな知見を得た。今後は、土質条件・樹種等が異なる条件で原位置せん断試験を行い、データの蓄積に努めるとともに、根の水平変位量と抵抗力の関係を調査する予定である。

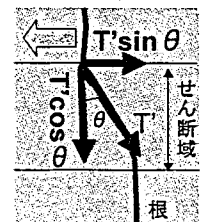


図-4 根の応力分布

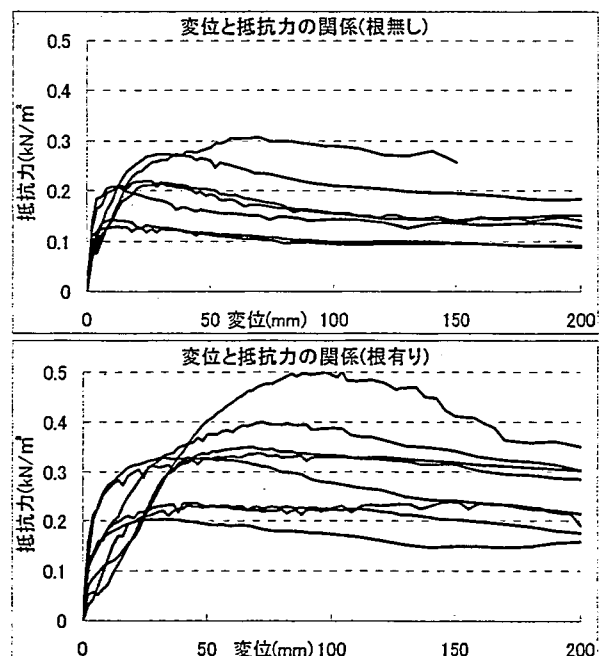


図-5 変位量 (mm) と抵抗力 (kN/m²) の関係