

三重大学生物資源学部 ○近藤觀慈, 白川喜隆
林 拙郎, 沼本晋也

1. はじめに

樹木根系は土層を緊縛し表層崩壊(以下、崩壊といふ)を抑制すると考えられる。森林斜面は斜面長が長大な場合が多く、このような斜面での崩壊は無限長斜面における直線すべりによって生ずると考えて安定性が評価されることが多いが、実際には非円弧すべりの崩壊も多く見られる。すべり面の発生位置は土層下の基盤との境界面に仮定されることが多いが、土層厚の深い場合など、明瞭な地質的な相違が見られない面をすべり面として崩壊が生ずることもある。

本研究では、非円弧すべり面を解析対象とする二次元斜面安定解析法(Spencer 法)を用いて、樹木根系の作用のある斜面の安定性評価を試みる。斜面安定解析法に根系のせん断抵抗力の増加効果を導入するため、根系を関数式によってモデル化する。安定性は、最適化法を用いて安全率の最小化を行って評価する。

2. 根系の効果と関数式によるモデル化

2.1 根系の効果

根系によるせん断抵抗応力の増加量 cr は、根の引張強度に支配され、すべり面における面積 A の範囲内に、根系がすべり面となす角 θ_r で m 本存在する場合、図-1に示す力のつり合いと土の内部摩擦角 ϕ の作用から式(1)で表される。ここに、 t_i : 単根の引張強度、 $\Sigma : i=1 \sim m$ までの総計を示す。

$$cr = k \cdot st \quad (1)$$

$$st = \sum [t_i] / A$$

$$k = \sin \theta_r + \cos \theta_r \cdot \tan \phi$$

$$t_i = ka \cdot d_i^b \quad (2)$$

$$t_i = ari \cdot \frac{4 \cdot ka}{\pi} \quad (3)$$

$$cr = k \cdot Ar \cdot \frac{4 \cdot ka}{\pi} \quad (4)$$

$$= 1.273 \cdot \epsilon \cdot k \cdot ka \quad (4')$$

$$\tau_r = cr + c + \sigma \cdot \tan \phi \quad (5)$$

皮付き直径 d_i の単根の引張強度 t_i は一般に式(2)で表される。ここに、 ka は樹種固有の定数である。単根の断面積を ari とし、式中の b に 2.0 を採用(野々田ら、1998)すると、式(2)は式(3)に変形される。面積 A に存する根系総断面積 $Ar (= \sum ari)$ を用いて式(1)を変形すると式(4)を得る。この関係式が導出されるのは、 $b=2.0$ としたことによる。式(4)を整理した式(4')において ka は定数であるため、 k と単位面積当たりの根系断面積 $\epsilon (= Ar/A)$ がわかれば、 cr を求めることができる。したがって、すべり面におけるせん断抵抗応力 τ_r は式(5)より求められる。ここに、 c はすべり面における粘着力、 σ はすべり面における垂直応力である。

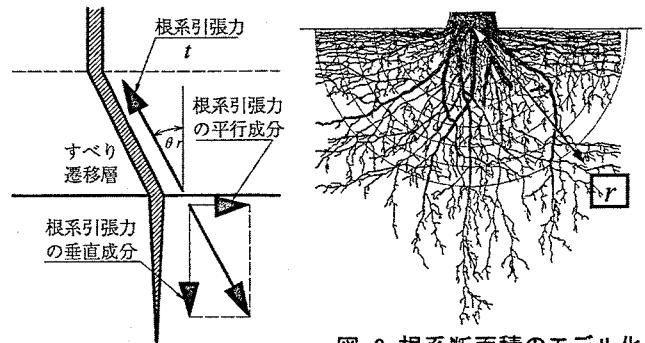


図-1 根系引張力のつり合い (スギ)(丸住, 1987 に加筆)

2.2 根系断面積の関数式によるモデル化

樹木根系の分布は、樹種毎に特徴をもつとともに、土壤状態や水分状態、基盤層の存在、斜面傾斜角などの外的条件の影響も受けける。このため、分布状況のモデル化を厳密に行なうことは困難であるが、本研究では、実測された根系断面積の分布データを用いて、図-2に示すように、根系断面積が根株元を中心とする同心半球状に変化すると仮定する。

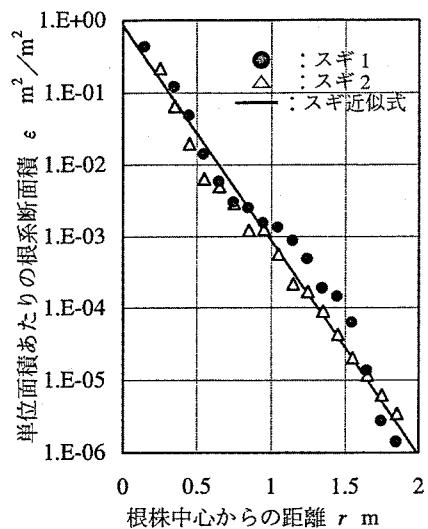


図-3 スギの根系断面積変化

図-3は、三重大学平倉演習林における35年生スギ(2本)の根系分布調査に基づき、単位面積当たりの根系断面積 ϵ を、根株中心からの距離 r によって整理したものである。縦軸の根系断面積には対数をとっている。根系断面積は、この関係を最小二乗法を用いて式(6)に示す指型の関数によりモデル化する。近似によって得られたm単位の係数は以下のとおりである。

$$a=0.843, b=6.88$$

$$\epsilon = a \cdot e^{-b \cdot r} \quad (6)$$

図-3には、上記係数を用いたモデル化の直線(近似式)が示されている。式(6)の ϵ を式(4')に代入して得られる cr から、式(5)より根系抵抗力を考慮したすべり面におけるせん断抵抗応力が求められる。

3. 根系抵抗力の斜面安定解析法への導入と最適化

3.1 根系抵抗力の導入

斜面上の樹木の位置が定まれば、樹木の根株中心からすべり面までの距離 r が決定される。 r を式(6)に与えれば、すべり面の各点における単位面積当たりの根系断面積 ϵ が決定され、斜面の安定性が評価できる。

3.2 安全率の最適化

崩壊を発生させるすべり面は、地形、土質強度などの条件のもとで、最も安全率の低くなる位置に発生する。樹木の存する斜面では、上記条件の他に、根系の抵抗力も作用してすべり面の発生位置が定まる。このため、式(4)の根系抵抗力は、すべり面探索時に仮定されたすべり面位置に応じて算定する。安全率の最適化法には準Newton法を用いる(近藤ら, 1998)。

4. 根の効果のモデル斜面による試算

4.1 解析条件

根の効果の試算では、スギを用いて、図-4に示すような、前面が平坦な傾斜角 35° の斜面を対象に、解析①：斜面上单木の位置変化に対する斜面安定性の変化(図-4(a))と、解析②：一群の樹木が斜面に存する場合の斜面崩壊頭部の発生位置(図-4(b))、について検討する。

解析①では、すべり面の上端位置を固定して最適化を実施する。

根系の存するすべり面のせん断抵抗力算定に必要な式(4)の k には、 θ_r の変化を $48^\circ \sim 72^\circ$ としたときの平均値($k=1.12$)を用い、根系引張力を決定する k_a に 2.90 を用いる(野々田ら, 1998)。土質強度等は図に示されている。

4.2 解析結果

図-5は、解析①の結果を示している。この図より、单木が斜面末端部側に存する場合に、斜面の安定性が急増することがわかる。樹木がない場合の安全率 $F_s=1.45$ に対して、单木が末端にある場合 $F_s=1.68$ である。末端に单木が存する場合のすべり面形状を図-6に示す。樹木の根系断面積は、図-3に示し

たように根株中心に向かつて急増するため、根株中心付近を通過するすべり面の安全率は増大し、安全率の最適化過程において、根株中心付近を避けた最小安全率となる深いすべり面が発生する。また、斜面末端部では、水平な前面地盤の受働土圧が大きいことも関係して、さらに最小安全率が増大する。

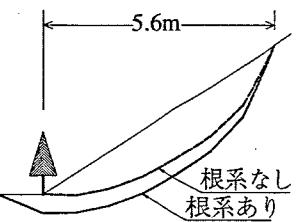


図-6 解析①のすべり面($x_1=0$)

図-7は解析②の結果を示している。安全率が x_2 に対して凹の変化を示し、最小安全率 $F_s=1.56$ が、 $x_2=6.7\text{m}$ で発生している。解析①ではすべり面上端固定の条件で

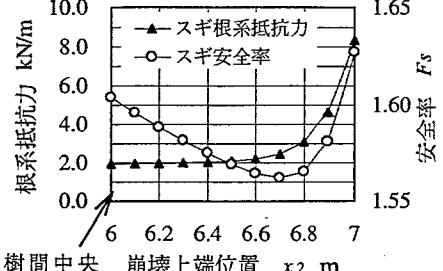


図-7 解析②の結果

$F_s=1.68$ であったが、樹木が 4 本存する斜面においても、上端位置の変化によって、最小安全率は 1.56 まで低下することがわかる。最小安全率は、図より全体の根系抵抗力が上側の樹木根系の影響により増大傾向を示す位置で発生している。この位置は図-4(b)に示すように、樹間の中央付近より若干斜面上部側である。

5. おわりに

表層崩壊に対する根の効果を試算し、斜面に樹木が存すると、斜面の安定性は高まるが、崩壊発生時の規模は大きくなることがわかった。

土層内に半球面状に広がると仮定した根系の断面積を二次元断面に換算することは難しく、今回の解析法では、根系が奥行き方向(紙面に垂直方向)に連続して存在すると仮定している。二次元斜面安定解析法は、一般に斜面側部におけるせん断抵抗力を過小に評価する。一方、根系に関する上記仮定は、根系を過大に評価するため、解析結果の解釈には留意を要するが、根の効果の発揮傾向は示していると考えられる。

引用文献

- 野々田稔郎, 林 拙郎, 川邊 洋(1994)：根系の引張強度と曲げ強度から推定した樹木根系の斜面安定効果, 日林誌, 76(5), p.456-461.
- 野々田稔郎, 林 拙郎, 川邊 洋(1998)：樹木单根の引張強度による樹種比較, H7-9 科研報告書「耐風特性を考慮した斜面上緑化樹木の安定性に関する研究」, p.9-21.
- 近藤觀慈, 林 拙郎, 川邊 洋(1998)：斜面安定に用いるアンカー工の配置に関する解析的研究, 砂防学会誌(新砂防), Vol.50, No.5, p.12-20.