

## スギの経年変化を考慮した斜面の安定解析

岡田康彦<sup>1</sup>・黒川潮<sup>2</sup>

1 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所

2 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所九州支所

**要旨**：樹木の根系は斜面内部に張り巡ることにより表層の崩壊を防止していると考えられている。樹木は植え付けからの生長に伴って地上部の重量や根系量が大きく変化するほか、伐採がなされると根は腐朽してその強度を低下させる。国内で最も多く生育しているスギを対象に、皆伐から 50 年後まで 5 年～10 年毎の地上部重量および根の補強強度の経年変化を考慮し、豪雨時を想定した斜面の安定解析 (1 m メッシュ) を実施した。その結果、斜面が危険と判定されるメッシュ数は 10 年後に最大値をとること、伐採から 5 年までに急激に危険メッシュ数が増大することがわかった。

**キーワード**：流木、水路実験、転倒抵抗モーメント

## Changes in slope stability under forest growth and roots deterioration

Yasuhiko OKADA<sup>1</sup>, Ushio KUROKAWA<sup>2</sup>

1 Forestry and Forest Products Research Institute

2 Forestry and Forest Products Research Institute Kyushu Branch

## I はじめに

近年その影響が甚大化しているとも推定される気候変動に関して、山地土砂災害に対する国民の安全・安心確保に資するためには、国土の約 2/3 を占める森林が果たす山地災害防止・軽減機能を明らかにすると共に、防災機能の高度発揮に向けた適切な対応の検討が不可欠である。集中豪雨などにより多発する表層付近の斜面崩壊を対象にした場合、森林の生長に伴う重量の変化や、施業における伐採による根系の腐朽など、立木が経験する経年変化を見積もることが重要となる。森林の経年変化に伴う危険箇所予測については、(5) によって検討されているが、そこでは、森林の生長に伴う機能評価に留まっていた。

ここでは、(1) が示したスギの根系分布モデルを紐解き、異なる深度の潜在的な崩壊面に位置するスギ根の太さと本数を求める。また、生木ならびに伐採からの経過年数が異なる根株の周囲にトレンチを切り、表出した根を対象にした引抜抵抗力試験の結果を用いて、崩壊面で発揮される根の補強強度の算出を試みる。皆伐から 50 年後までを対象に、5 年～10 年毎の樹木の生長に伴う地上部重量の変化、根系の発達に伴う補強強度の変化、また、伐採後の根系の腐朽に伴う補強強度の低下を考慮して実施した無限傾斜面の安定解析結果を報告する。

## II 解析方法

森林の防災機能の経年変化を評価するにあたり、(5) の手法に基づいて、茨城県のある森林流域 (図-1) を対象に 1 m メッシュ単位で無限長斜面の安全率を算出した。今回は土壌全層が飽和している状態を仮定して Richards 式による地下水位の変動解析は行わず、森林の生長に伴う変化と伐採後の根系の腐朽の効果を検討材料とした。無限長斜面の安定計算式は以下の通り。

$$Fs = (c_s + c_r + A \cos^2 \theta \tan \phi') / (B \sin \theta \cos \theta)$$

$$A = q_0 + (\gamma_{sat} - \gamma_w)D + \gamma_t(D - Z)$$

$$B = q_0 + \gamma_{sat}D + \gamma_t(D - Z)$$

ここで、 $Fs$ ：斜面安全率、 $C_s$ ：土の粘着力、 $C_r$ ：立木根系が発揮する補強強度、 $\theta$ ：斜面の傾斜角、 $\phi'$ ：土の有効内部摩擦角、 $q_0$ ：単位面積当たりの立木の地上部重量(最大となる 50 年生時で 0.31 kN/m<sup>2</sup>)、 $\gamma_{sat}$ ：土の飽和単位体積重量、 $\gamma_w$ ：水の単位体積重量、 $\gamma_t$ ：土の湿潤単位体積重量、 $D$ ：土壌層深、 $Z$ ：地下水位(=D)である。表層崩壊が多発する風化花崗岩土壌での計測値 (6) を基に、 $C_s = 0$  kN/m<sup>2</sup>、 $\phi' = 36.0$  度、 $\gamma_{sat} = 16.2$  kN/m<sup>2</sup>、 $\gamma_w = 9.81$  kN/m<sup>2</sup>、 $\gamma_t = 10.27$  kN/m<sup>2</sup> とした。

表層の潜在的な崩壊面に位置する根の太さと本数については、(1) を基に算出した。また、生木、伐採から 1 年後、2 年後、4 年後、7 年後、8 年後の根株の周囲を

掘り出し、表出した根の引抜抵抗力を測定して根の直径の冪乗関数として求め、(3)に従い単位面積当たりの引抜抵抗力値の合計を根系が発揮する補強強度とした。皆伐から50年後までの森林に関しては、茨城地方すぎ森林分収穫表の地位2等の結果を用いて、立木の本数密度や地上重量の変化を算出して解析に用いた。

### III 結果と考察

潜在的な崩壊面の深さは、簡易貫入試験で計測される $N_c$ 値が10に相当する土壌層底部と仮定(2)して、その深さに位置する根の本数と太さから、生木の根が発揮する補強強度を算出しロジスティック曲線として関数化した(図-2)。また、伐採後の根の腐朽に伴う強度低下については、1年後、2年後、4年後、7年後、8年後の冪乗関数から算出された5点を対象に指数関数回帰式を求めて伐採から5年毎の強度を算出した(図-3)。

豪雨時を想定し土壌層が完全飽和している条件での斜面安定解析の結果、伐採直後(0年後)から50年後までの5年毎の危険メッシュ数(斜面安全率が1を下回るメッシュ数)の変化は図-4の通りとなった。伐採から10年後に危険メッシュ数が最大となること、伐採直後から5年後までの危険メッシュ数の増加速度が最大であること、伐採から約30年後に危険メッシュ数が初期値とほぼ同程度に低減することがわかった。

森林の生長に伴う地上部重量の変化、崩壊面に位置する根の本数と太さの変化、また伐採後の根の腐朽に基づく強度低下の変化を考慮して、豪雨時における危険斜面の評価を行った。伐採後の根株の伐根試験の結果から、5年~15年程度の低強度が結論されている(4)。今回の検討結果も概ね調和的ではあるものの、15年後には生長に伴う強度を表すロジスティック曲線の変曲点付近に位置しており、従ってその時点で補強強度の増大速度が最大値近傍になっていること(図-2)、伐採根株の根の強度は10年程度でほぼ消失していること(図-3)から、伐採後から15年よりも早い時期において急激に危険性が增大すると考えられる。

### 引用文献

- (1) 阿部和時(1997) 樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能の評価方法に関する研究. 森林総合研究所研究報告 373 : 105-181
- (2) 阿部和時・黒川潮・渡辺悦夫・久保田誉・趙炳薫(2004) 高標高山地斜面の表層土厚さの分布に関する研究(II) . 日本林学会関東支部論文集 55:267-270
- (3) 北原曜(2010) 森林根系の崩壊防止機能. 水利科学

53(6) : 11-37

(4) 北村嘉一・難波宣士(1981) 伐根試験を通して推定した林木根系の崩壊防止機能. 林業試験場研究報告 313 : 175-208

(5) 黒川潮・阿部和時・大丸裕武・松浦純生(2007) 物理則モデルによる表層崩壊危険度評価. 日本地すべり学会誌 43(6):351-355

(6) 岡田康彦・黒川潮(2012) ヒノキ根系のせん断抵抗力補強に関する実験的検討. 関東森林研究 63(2):141-144

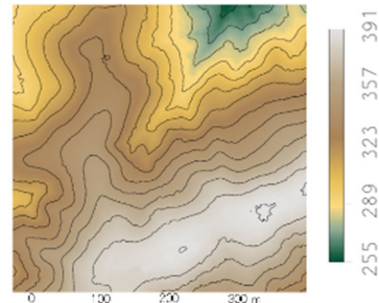


図-1. 解析対象とした森林流域のDEM

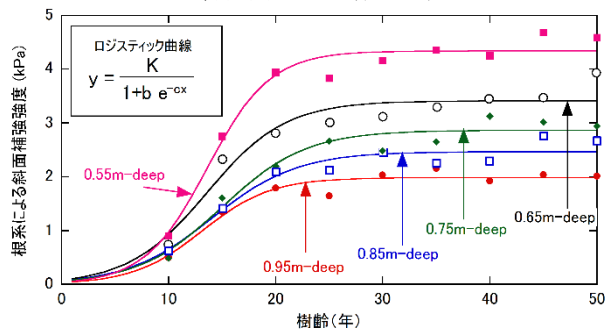


図-2. 根の生長に伴う補強強度の変化

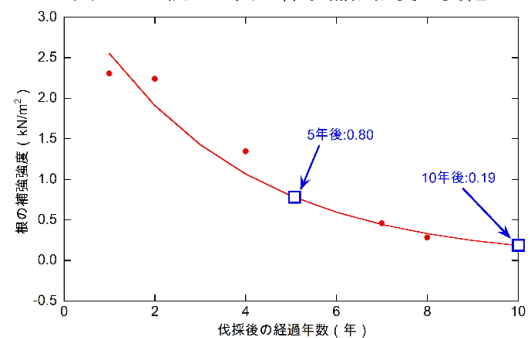


図-3. 伐採から5年後及び10年後の根の補強強度(潜在的崩壊面の深さが0.75mの例)

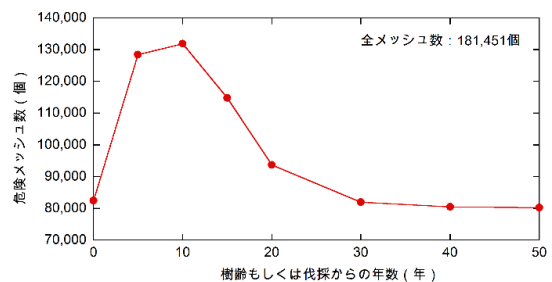


図-4. 5~10年毎の危険メッシュ数の推移