

## 論文

森林の経年変化に伴う危険地区の変化予測<sup>\*1</sup>黒川 潮<sup>\*2</sup>・岡田康彦<sup>\*3</sup>・野口正二<sup>\*3</sup>

黒川 潮・岡田康彦・野口正二：森林の経年変化に伴う危険地区の変化予測 九州森林研究 73：79－82, 2020 近年の気候変動に対応して国民の安全・安心確保に寄与するためには、山地災害のリスクを低減することが必要となる。そのためには森林の土砂崩壊・流出防止機能の特性を可視化／数値化し、防災機能の経年変化を予測した上での確実な対応を行うことが不可欠である。本研究は、既往の研究成果に基づいて森林が有する力学的および水文学的防災特性値を入力パラメータとして解析手法に導入し、5年間隔で森林の防災機能について経年変化予測を試みた。また、既往の研究においては森林の成長による防災機能のみが検討されてきたが、伐採後の樹木根系の効果および樹木重量の影響についても検討を行った。その結果、森林を伐採した直後は残存した根株によるせん断力補強強度があるが、年数を経過するにつれて腐朽により強度が低下することで危険地区が増加する。一方で、森林の成長に伴うせん断力補強強度は植林後10年以降に発揮されてくるため、15年以降は危険地区数が減少していることが確認できた。また危険地区の変化に寄与する影響度は、根系によるせん断力補強効果のほうが大きく、樹木重量の影響は小さいことが確認できた。

キーワード：危険地区、経年変化、森林伐採、樹木根系、樹木重量

## I. はじめに

近年の気候変動に対応して国民の安全・安心確保に寄与するためには、山地災害のリスクを低減することが必要となる。そのためには森林の土砂崩壊・流出防止機能の特性を可視化／数値化し、防災機能の経年変化を予測した上での確実な対応を行うことが不可欠である。そのためには森林による防災機能のパラメータ化が必要となるが、これまでに木住（2010 a；2010 b）による根系そのものの評価および北村・難波（1981）、阿部（1997）、北原（2010）による森林の崩壊防止機能の評価により定量化が行われてきた。また経年変化に対する検討もこれらの研究では行われてきているのに加え、森林の経年変化に伴う危険地区予測については黒川ほか（2007）によって行われてきた。しかしこれまでの研究は主として森林の成長に伴う機能評価に基づいて行われてきており、森林伐採の影響等を考慮していないなど必ずしも森林施業の実態に沿ったものとはいえないものであった。

本研究は、これら既往の研究成果に基づいて森林が有する力学的および水文学的防災特性値を入力パラメータとして解析手法に導入し、5年間隔で森林の防災機能について経年変化予測を試みた。また、既往の研究においては森林の成長による防災機能のみが検討されてきたが、森林施業の実態に合わせ伐採後の樹木根系の効果および樹木重量の影響についても検討を行ったので報告する。

## II. 予測手法と検討方法

森林の防災機能の経年変化予測に当たっては、黒川ほか（2007）の手法に基づき、メッシュ単位で無限長斜面の安全率を

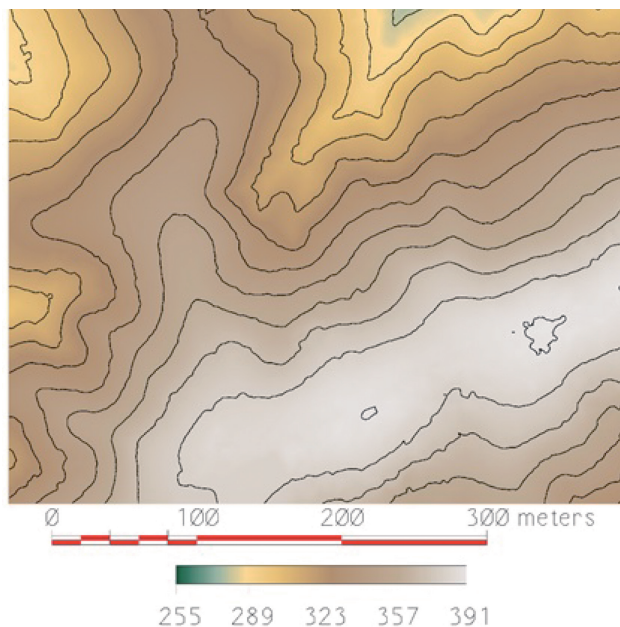
計算した。この手法においてはRichards式による地下水位の変動解析と無限長斜面の安定計算式を用いて危険地区の検討を行うが、本研究においては地下水位の変動解析は行わず、無限長斜面の安定計算式による検討のみを行った。無限長斜面の安定計算式は以下の通りである。

$$SF = (c_s + c_r + A \cos^2 \beta \tan \phi) / (B \sin \beta \cos \beta) \quad (1)$$

$$A = q_0 + (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)(h - z) + \gamma_t(H - h) \quad (2)$$

$$B = q_0 + \gamma_{\text{sat}}(h - z) + \gamma_t(H - h) \quad (3)$$

ここで、SF：斜面安全率、 $c_s$ ：土の粘着力、 $c_r$ ：樹木根系による



図－1. 計算対象流域のDEM

<sup>\*1</sup> Kurokawa, U., Okada, Y. and Noguchi, S.: Prediction method of hazardous area by secular change of forest.

<sup>\*2</sup> 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862, Japan

<sup>\*3</sup> 森林総合研究所 For. & Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687, Japan

せん断抵抗力補強強度,  $\beta$ : 斜面傾斜度,  $\phi$ : 土の内部摩擦角,  $q_0$ : 樹木重量,  $\gamma_{\text{sat}}$ : 飽和単位体積重量,  $\gamma_w$ : 水の単位体積重量,  $\gamma_t$ : 湿潤単位体積重量,  $H$ : 土層深,  $h$ : 地下水位,  $z$ : 基岩面からすべり面までの高さ, である。

この計算式においては  $c_r$ ,  $q_0$  という樹木根系に関するパラメータが組み込まれており, この値を変動させることで森林の経年変化に伴う危険地区の変化過程を検討する。式 (1) において値が 1 未満となった場合危険地区と判定する。解析を行わない地下水位  $h$  に関しては飽和状態として最も危険側の条件とした。計算対象は茨城県内の森林流域とし, 対象地区の 1 m メッシュ DEM を図-1 に示す。図-1 より斜面傾斜度  $\beta$  を計算によって求める。土層深  $H$  については阿部ほか (2004) の手法に基づきメッシュごとに計算によって求めたものを使用する。その他計算に必要なパラメータに関しては黒川ら (2007) で用いた  $c_s = 0.5 \text{ kN/m}^2$ ,  $\phi = 32^\circ$ ,  $\gamma_{\text{sat}} = 17.64 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_w = 9.80 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_t = 17.64 \text{ kN/m}^3$ ,  $z = 0$  とした。

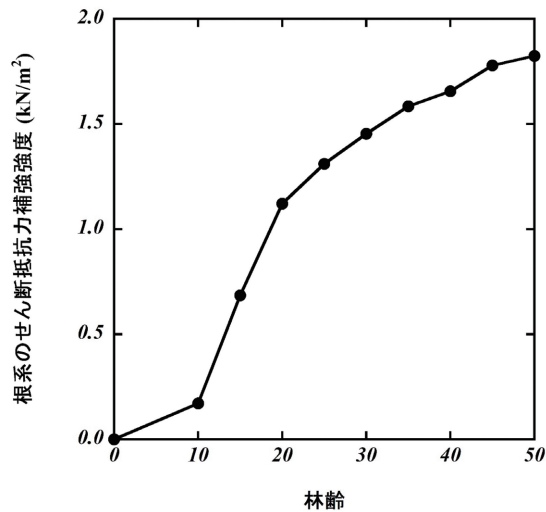


図-2. スギの林齢とせん断抵抗力補強強度の関係

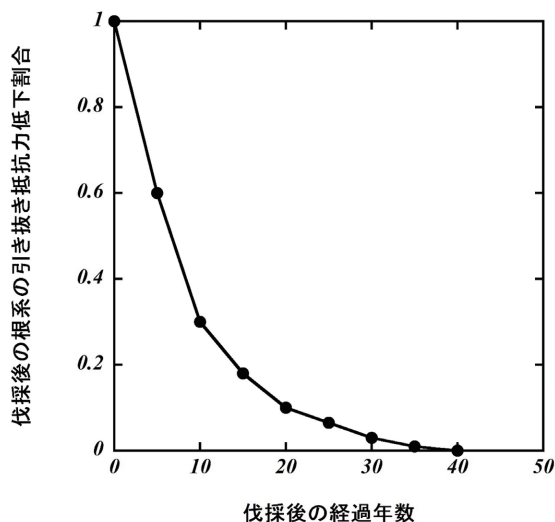


図-3. スギ伐採後の経過年数と引き抜き抵抗力低下割合の関係

### Ⅲ. 結果および考察

樹木根系による崩壊防止機能に関するパラメータ  $c_r$  について, 森林の成長に伴うせん断抵抗力補強強度の増加分は阿部 (1997) のスギを対象とした結果を用いた (図-2)。また, 伐採後の経過年数とせん断抵抗力補強強度の低下割合については, 北村・難波 (1981) のスギ抜根抵抗力の結果を参考に低下割合を算出し (図-3), 図-2 の結果を掛け合わせることで伐採後の効果を検討した。 $q_0$  の算出に当たっては林野庁・林業試験場 (1959) における地位 2 の結果をもとに, 以下の手順で算出した。

①主林木, 副林木の幹材積 (図-4) にスギの気乾比重  $0.38 \text{ g/cm}^3$  (農林省林業試験場木材部 (1975)) を掛けて地表部の樹木重量を算出。

②T-R 率 = 4.0 として, 主林木, 副林木それぞれの根系重量を算出。

③主林木の重量と副林木の根系重量の合計により,  $1 \text{ m}^2$  当た

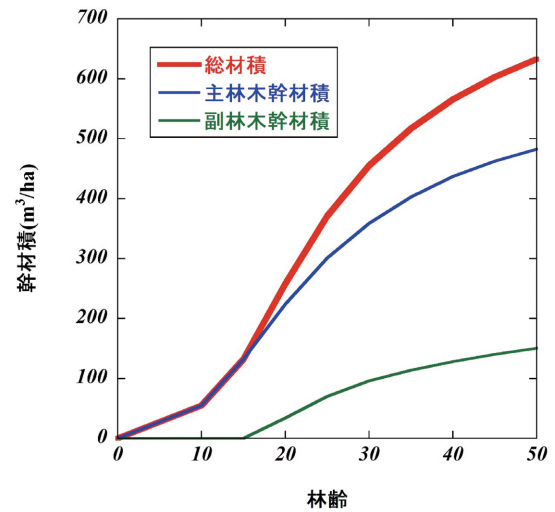


図-4. スギの林齢と幹材積の関係

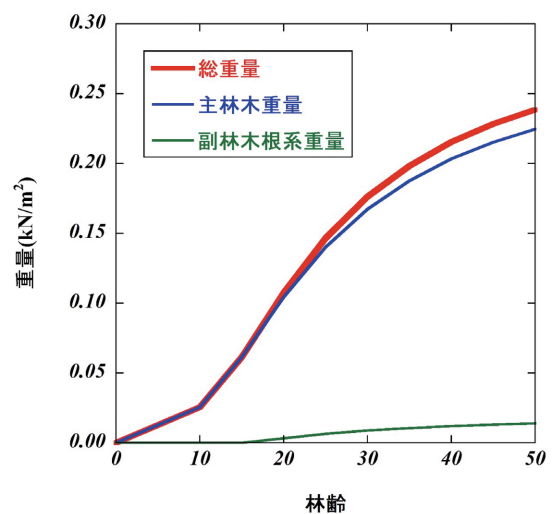


図-5. スギの林齢と重量の関係

りの  $q_0$  を算出 (図-5)。

地上部の植生はすべてスギとし、以下の4つのケースを設定して検討を行った。

ケース1：初期条件は無植生（裸地）とし、スギを植林して森林の成長に伴って発揮されるせん断力補強強度のみを考慮した場合。

ケース2：50年生の森林を伐採した直後を初期条件とし、スギを植林して残存した根株のせん断抵抗力補強強度も考慮した場合。

ケース3：初期植生は無植生（裸地）とし、スギを植林して森林の成長に伴う樹木重量の増加のみを考慮した場合。

ケース4：50年生の森林を伐採した直後を初期条件とし、スギを植林せず残存した根株のせん断抵抗力補強強度のみを考慮した場合。

設定したパターンに基づき、5年間隔で森林の防災機能の経年変化について計算を行い、危険地区数との関係をまとめた結果が図-6である。森林の成長によるせん断抵抗力補強強度のみを考

慮した場合（ケース1）、初期状態の危険地区数が最大でその後徐々に減少していく。残存した根株を考慮した場合（ケース2）、5年後および10年後は危険地区数が増加するが、15年以降は危険地区数が減少していく。森林を伐採した直後は残存した根株によるせん断抵抗力補強強度があるが、経過年数を経るにつれて腐朽により強度が低下する一方で、森林の成長に伴うせん断抵抗力補強強度は植林後10年以降に発揮されてくるため、結果として15年以降は危険地区数が減少しているものと考えられる。樹木根系による森林の防災機能は伐採後10~20年で最も低下するとされており（北村・難波, 1981）、本計算結果はそれを裏付けるものとなった。また、樹木重量との関係（ケース3）においては、森林の成長によって樹木重量が増加するが、危険地区数の変化に対する影響はほとんど見られないことがわかった。さらに伐採後に植林を行わず残存する根株のせん断力補強強度のみを考慮した場合（ケース4）では、せん断力補強強度が根株の腐朽により徐々に失われるとともに危険地区数が増加することが確認できた。

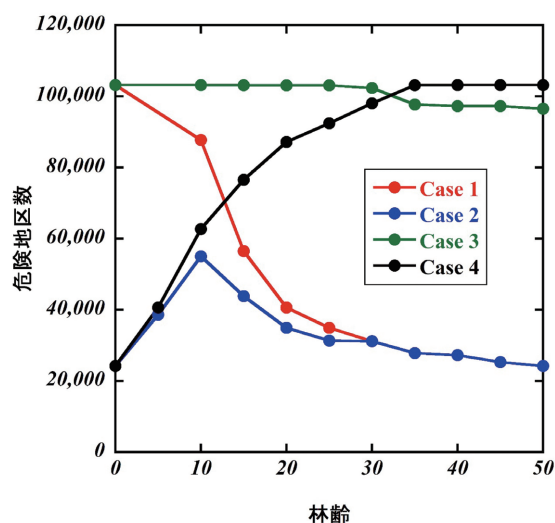


図-6. 危険地区数の経年変化

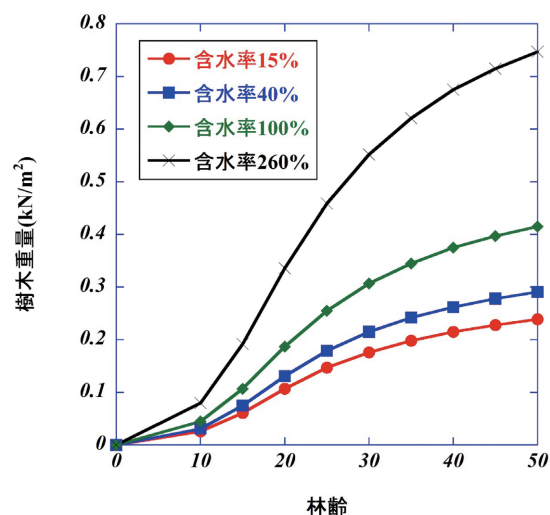


図-8. 含水率の違いを考慮した林齢と樹木重量の関係

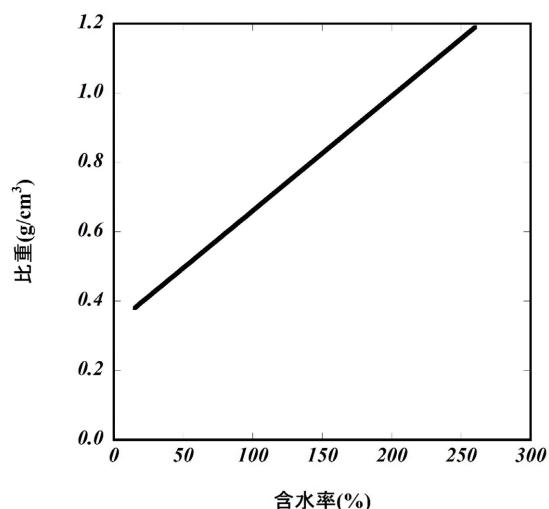


図-7. スギの含水率と比重の関係

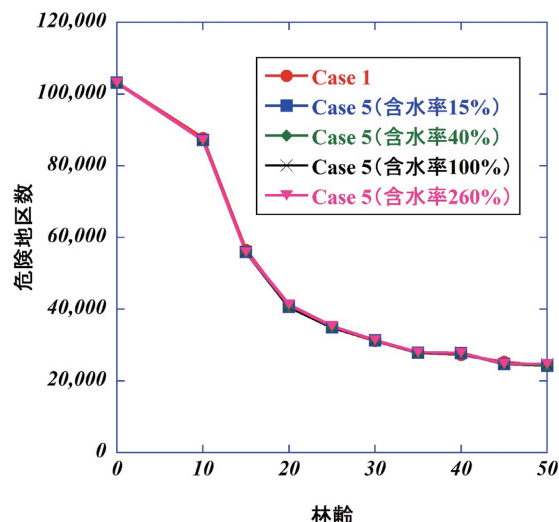


図-9. 含水率の違いを考慮した林齢と危険地区数の関係

ケース3の検討のために行った $q_0$ の算出に当たり、単位体積重量に気乾重量（含水率15%）を与えたが、生木では樹木の成長に水を必要とするため、含水率が様々に変化することがわかっている。森林総合研究所（2006）によるとスギの場合40～260%の範囲で含水率が変化することが報告されている。木材の含水率の定義に基づいて含水率に対する比重の関係を計算すると図-7の通りとなる。さらに図-7において求めた比重によって樹木重量を計算すると図-8となる。図-8で計算された樹木重量をもとに、ケース1の条件に加え樹木重量の影響を加えた場合をケース5とする。スギの含水率を40、100、260%の3パターン設定し、図-8の結果に基づいて危険地区の判定を行った結果が図-9である。この場合も樹木重量の影響がほとんど見られず、含水率による違いも乾重との差が最大で3倍以上あるにもかかわらず違いはごくわずかであった。したがって、森林の持つ防災機能において危険地区の変化に寄与する影響度は、根系によるせん断抵抗力補強効果が非常に大きく、それに対して樹木重量の影響は含水率の変化を考慮しても極めて小さいということがわかった。

### 謝辞

本研究は農林水産技術会議委託プロジェクト研究「農林水産分

野における気候変動対応のための研究開発」において実施した。ここに記して謝意を表する。

### 引用文献

- 阿部和時（1997）森林総合研究所研究報告 373: 105-181  
 阿部和時ほか（2004）日林関東支論 55: 267-270  
 苅住昇（2010 a）最新樹木根系図説 総論, 940 pp, 誠文堂新光社, 東京  
 苅住昇（2010 b）最新樹木根系図説 各論, 1120 pp, 誠文堂新光社, 東京  
 北原曜（2010）水利科学 311: 11-37  
 北村嘉一・難波宣士（1981）林業試験場研究報告 313: 175-208  
 黒川潮ほか（2007）日本地すべり学会誌 43（6）: 351-355  
 農林省林業試験場木材部（1975）世界の有用木材 300 種: 性質とその用途, 126 pp, 日本木材加工技術協会, 東京  
 林野庁・林業試験場（1959）収穫表調製業務研究資料 17, 171 pp, 東京営林局, 東京  
 森林総合研究所（2006）第1期中期計画成果集 18, 20 pp, 森林総合研究所, 茨城  
 （2019年11月8日受付；2019年12月6日受理）