

自然斜面崩壊に及ぼす樹木根系の抑止効果と降雨時の危険度評価に関する研究

京都大学大学院工学研究科 社会基盤工学専攻 特定教授 杉山 友康

1. はじめに

鉄道や道路などの交通インフラ設備の土工施設は、これまでの防災対策工事の進捗で降雨に対する耐性が向上しつつある一方で、近年の短時間豪雨の頻度の増加などもあり、路線近傍の自然斜面崩壊やこれを原因とする土砂流入などによる被害割合が増加傾向にある。

こうした被害を少しでも減少させるためには危険個所の抽出と箇所ごとの特性に合った対策が求められる。具体的な対策のためには、過去の被災事例と同様な箇所を危険個所とする相対的な危険度評価結果ではなく、どの程度の外力で被害発生が高まるかを知るための絶対的評価が必要となる。そこで、本研究では、降雨時の自然斜面時系列安定性評価手法を提案する。この評価手法の特徴は、数値地形データから安定性に寄与する表層土厚さや斜面植生の根系による、地盤強度パラメータのうち粘着力増加分を予測し、これらを計算パラメータとした斜面の降雨時系列計算手法を可能とするところにある。

2. 路線近傍における自然斜面の時系列計算手法

2.1 計算手法の概要とねらい

空中写真や航空測量データに基づき、植生情報、表層土厚さなどの地盤情報の推定を行い、これらの情報を布川ら¹⁾が提案する時系列計算手法の入力データとした計算モデルの修正を行う。これにより、時系列計算手法の精度向上を図り、計算結果が周辺斜面の植生管理や将来の環境評価にも利用可能なものとする。以下に修正計算モデルの特徴を示す。

- ・激甚化する降雨外力に応じた評価が可能
- ・過去の被災相当の箇所に加え新たな危険箇所も抽出
- ・現行植生と各種植生による耐災性シミュレーション
- ・防災面と生態面（環境）の評価を可能とし、森林管理への適用

ここでは、入手したデータから斜面表層土厚さの推定方法と植生の根系による抑止効果を地盤強度に反映させる方法とそれらを使用した試算結果について示す。

2.2 試験サイトによるデータ収集

平成 26 年 8 月の京都府北部の豪雨によって流域内で 5 か所の表層崩壊が発生していた J R 福知山線の奥行 300m 程度の流域斜面を選定した（図 1）。当該箇所において空中写真撮影、航空レーザ計測を行ない、空中写真、航空レーザ計測からは写真判読による流域内植生区分、50cm のデジタル 3 次元地

形データを得た。また、現地調査では、簡易動的貫入試験により表層土の強度や厚さを確認し、土試料サンプルによって強度、透水性などの地盤物性値を得た。

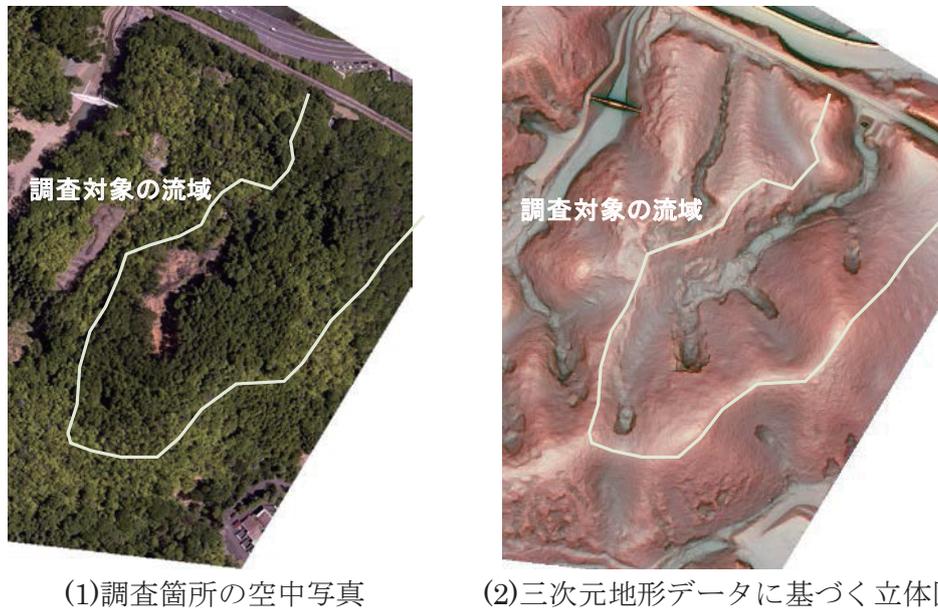
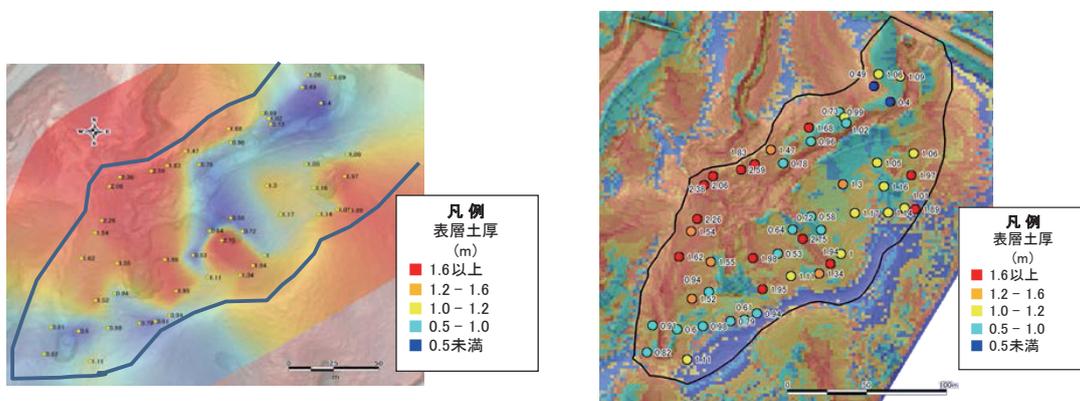


図1 調査対象流域の空中写真と地形

2.3 数値地形データからの表層土厚さの推定

簡易貫入試験結果による実際の表層土厚さを目的変数、レーザ計測から得た各種地形情報を説明変数とする統計分析（数量化I類）を実行し、ある地点（ここでは2mメッシュ）ごとの表層土厚さをその地点の斜面勾配、集水面積、地上開度、地質構造（流れ盤又は受け盤）から求められる予測式を見出した。予測式から評価対象流域の表層土厚さを推定したものと簡易貫入試験で得た流域のそれとを図2に示す。

図2から、得られた推定式は概ね貫入試験で得た分布と一致しているといえる。



(1)現地貫入試験で得た表層土厚さの分布 (2)予測式より推定した分布

図2 対象流域の表層土厚さの分布

2.4 斜面植生の根系による地盤抑止効果の地盤パラメータへの変換

一般に植生の根系は、次式に示すように、土のせん断強度を増す効果があるとされている。

$$\tau = \sigma \tan \phi + (c + \Delta c) \dots (1)$$

τ : 土のせん断強度 ϕ : 土の内部摩擦角

c : 土の粘着力 Δc : 植生による土の粘着力増分

ここで、植生の根系（当該流域では主として樹木）による土の粘着力増分 Δc については、これまでに提案されている以下の式^{2), 3)}により求める。

$$\text{針葉樹 (ヒノキ)} : \Delta c = (0.0033D^{2.77}) X^{-2.8} \dots (2)$$

$$\text{広葉樹 (全般)} : \Delta c = 0.00198 (D/X)^{2.8} \dots (3)$$

Δc : 樹木の根系による粘着力増分

D : 樹木の胸高直径 (cm)

X : 樹木間の距離 (m)

すなわち、対象とした流域における樹木の種類（以下樹種）、ある範囲における樹木の直径、樹木間の距離が求められれば、その地点での樹木による粘着力増分が求められることになる。そこで、図3に示すフローに従い粘着力増分を求める。以下ではフローに従いそれらの推定方法を順次示す。

(1) 樹種区分

空中写真を用いた判読に基づき、流域内の樹種別の区分が可能である。図3はこれにより得た樹種別の区分図である。この区分図は現地踏査によって、おおむね実際の樹種区分と合致していることが分かった。当該流域は、ヒノキ主体の針葉樹が49%、広葉樹が34%、崩壊による裸地が17%であった。なお、後述する崩壊時の検証計算では、崩壊前の空中写真による判読によって得た樹種区分を用いる。

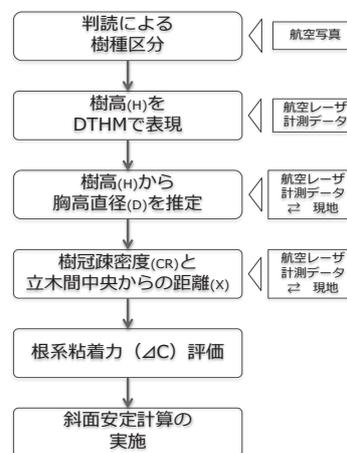


図3 Δcの推定フロー

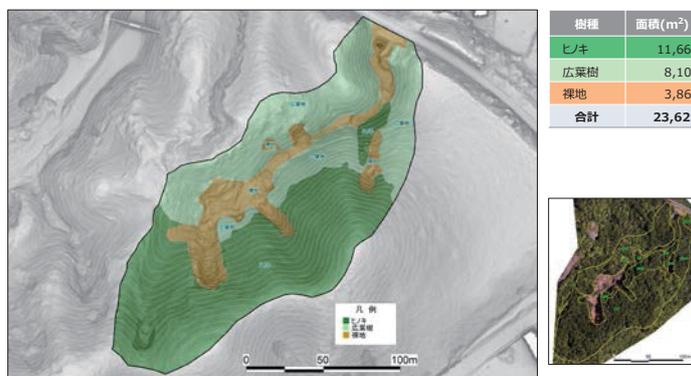


図4 調査対象流域内の植生区分

(2) 胸高直径 D 、

図 3 に沿って 10m メッシュごとにそのメッシュ内における平均的な胸高直径をレーザ計測データから以下によって推定する。まず、DSM（表面 Model（樹木の表面の高さ））と DEM（地形 Model（地表面の高さ））の差から DTHM（樹高 Model）として樹木の高さをメッシュごとに求める。さらに、そのデータから現地調査で得た以下の式を用いて樹高（ H ）から胸高直径（ D ）を推定した。

$$D = 7.5641e^{0.0784H} \quad (R=0.8) \quad \dots (4)$$

(3) 樹木間の距離 X

流域内に分布する樹木のうち、現地の 30 地点で調査した樹木間の距離（ X ）と航空レーザ計測データによって得られた樹冠密度の結果（ CR ）との関係式を作成した。樹冠密度については、地上 15m 高の樹冠の密度について、航空レーザ計測データを活用して算出したものである。

得られた下記式を用いて対象流域内の各メッシュの樹木間の距離（ X ）を推定した。

$$X = CR / 23.594 \quad (R=0.5) \quad \dots (5)$$

(4) 樹木の根系による粘着力増分

(2)、(3) で得られた胸高直径 D と樹木間の距離 X から式 (1)、式 (2) によって樹木の根系による粘着力増分 Δc を樹種別に 10m メッシュごとに求める。得られた粘着力増分の流域における分布を図 5 に示す。

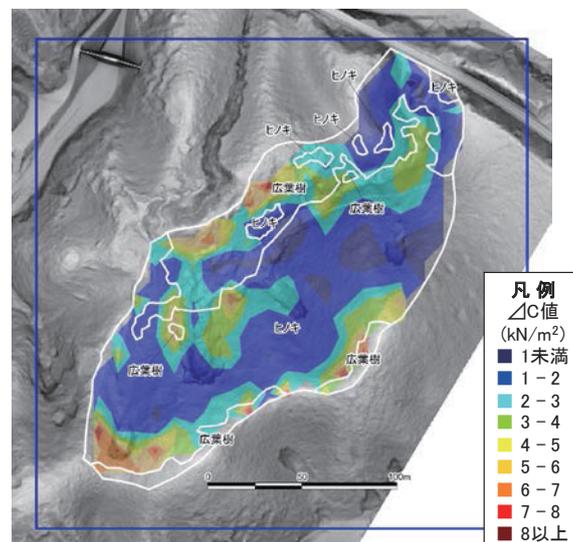


図 5 流域における粘着力増分の分布

2.5 流域内における降雨による危険度評価計算

(1) 崩壊時の検証

対象流域では平成26年8月16日、17日の降雨によって数か所崩壊しているが、このときの降雨を外力として入力し、検証を試みる。計算の前提条件は以下の通りである。

- ・崩壊部の地形は接峰面処理法⁴⁾によって崩壊前の地形に戻す
- ・計算メッシュは2m×2mとする
- ・表層土厚さは、図2(2)で示した提案する予測手法に基づく値とする
- ・地盤強度は、図5に示した粘着力増分を考慮した値とする
- ・降雨は、図6に示す付近で観測された1時間雨量を用いる

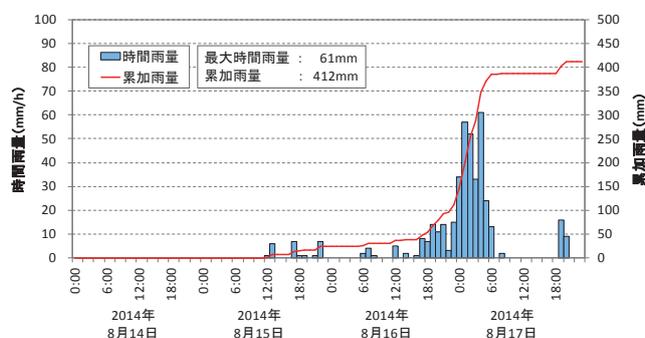


図6 当該流域において崩壊が確認された際の降雨)

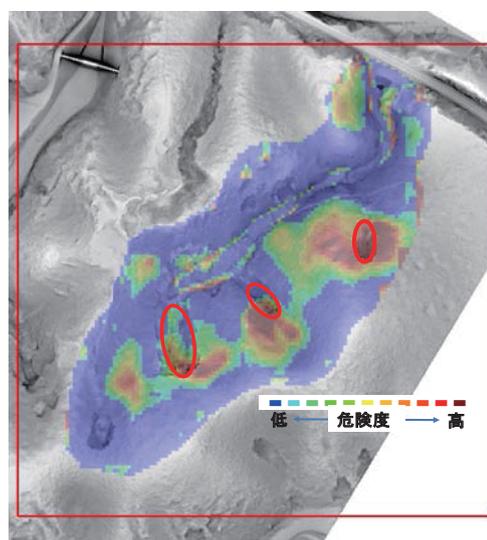


図7 計算結果

図7に累積雨量380mm時点での計算結果を示す。実際の崩壊時刻は不明であるが、計算によると崩壊部周辺において危険度が高まっていることが示されており、本稿で提案した手法で概ね、降雨時の危険性が判断できることがわかる。

(2) 斜面植生の崩壊抑止効果に関する試算

崩壊時の検証計算で概ね降雨時の崩壊危険性が判断できることが分かったため、ここでは、流域内の植生の違いによる崩壊抑止効果について検証計算を行う。計算は、流域内における針葉樹（ヒノキ）がよく管理されている場合として3,000本/haを理想林として想定し、この際の粘着力増分を入力して実行した場合と、流域内の樹種がすべて広葉樹であると想定した場合について行う。なお、広葉樹については理想林といった概念がないため、粘着力増分については当該流域で得られた広葉樹の中間値を採用して行う。なお、比較のため、流域内全てが裸地である場合についても試算を行った。

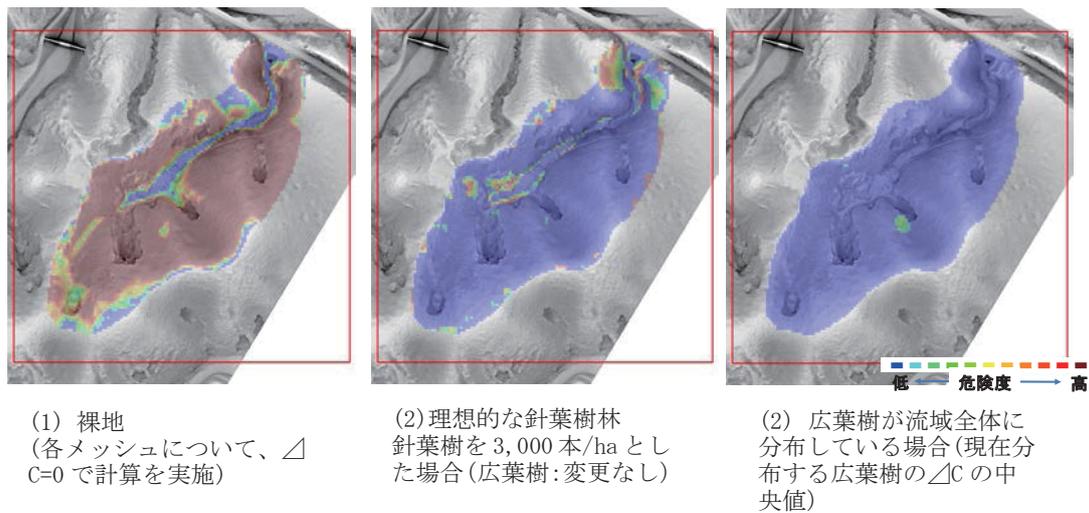


図8 流域内の植生が異なる場合の試算結果

降雨外力については検証計算と同様に与え、累積雨量 380mm 際の計算結果を図 8 に示す。図 7 で示した当該流域の危険度と比較すると理想的な針葉樹とした場合や全体が広葉樹とした場合では、累積雨量 380mm では崩壊に対する危険性が極めて低く計算されることが理解できる。一方、流域内に植生がなく拉致の場合は、流域全体にわたり崩壊危険性が高い状態となることがわかる。

3. おわりに

鉄道や道路などの路線より離れた箇所の降雨による崩壊に起因して生じる災害を対象として、流域を対象範囲とする自然斜面崩壊の危険性評価を時系列に実行する手法を検討してきた。ここでは計算結果を大きく左右する斜面表層土厚さの推定や流域における樹木の粘着力成分の推定方法について提案した。これらの推定結果による検証計算では、ほぼ実際の崩壊を再現できることが分かった。今回提案した手法を用いることで各種樹木の種類や林相の違いによる崩壊シミュレーションが可能となり、路線近傍の過去の崩壊類似箇所評価だけでなく、激甚化する降雨に対する危険性評価に基づく新たな危険箇所抽出評価や森林管理のためのシミュレーションが可能となる。

なお、本研究に計算の実行にありは、JR 西日本の各位にはデータの提供や調査の際に多大な協力をいただいた。ここに深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 布川ほか：地形を考慮した土石流の発生危険性評価，鉄道総研報告，Vol.27,No.11，2013.11.
- 2) 阿辻ほか：林分における崩壊抑止力二次元分布図の構築，中森研 No.61，pp.13-16，2013.
- 3) 阿辻ほか：広葉樹天然林における根系による崩壊防止力分布，中森研 No.62，pp.99-102,2014.
- 4) 藤井：地形判読への接峰面図の活用，応用地質，Vol.43，No.2，pp.101-109，2002.