

鉄道沿線斜面における森林情報を加味した斜面安定解析

アジア航測株式会社 中田慎, 岡野和行, 山下修平, 野中彰太, 臼杵伸浩
京都大学大学院工学研究科 杉山友康

1. はじめに

鉄道に関わる斜面や盛土等についてはハード対策が重点的に進められ、線路設備の耐災性は確実に向上している。線路に隣接する斜面については定期点検などで管理されているが、さらに離れた箇所での斜面崩壊に起因する災害が増加している。降雨が局所化、巨大化しているなかで、線路に流れ込む沢などの流域における自然斜面の崩壊、小規模土石流の発生など豪雨における危険性の判定が必要である。

近年、航空レーザ測定の技術が発達し、樹林下の地盤標高を正確かつ高精度に取得することができるようになった。また、このような数値標高モデルを基礎データとして、表層の植生の影響を含めた斜面崩壊の発生危険性を力学的に計算するモデルが開発されている。

航空レーザ計測で取得したデータから、地盤や樹林に関するデータの作成方法を提案するとともに、鉄道に隣接する流域において、植生の効果を考慮した表層崩壊発生危険性の評価を行った事例を示す。

2. 調査対象

試験サイトは西日本旅客鉄道株式会社管内の福知山線、丹波竹田・福知山間の左側斜面とした。また、計算に用いる雨量データは、国土交通省所管の音無瀬雨量観測所のデータとした。



図-1 試験サイトと使用した雨量観測所位置図

3. 地形データからの表層土層厚推定

数量化Ⅰ類を用いて、航空レーザ計測データから表層土層厚を推定するモデルを作成した。説明変数は航空レーザ計測データから算出した地形量とし、現地で

実施した簡易貫入試験結果を教師データとして、モデルの最適化を行った。

斜面勾配が小さい斜面では、土砂移動が少なく、風化の進行に伴い土層厚が形成されるのに対し、斜面勾配が大きい斜面では、それに加えて勾配と地下水位の関係に規定される崩壊現象による土層厚の減少が想定される。解析の結果、斜面勾配 30° を境に地形量と土層厚との関係性が異なったことから、 30° を境界に2つの推定モデルを作成した。これらのカテゴリースコア（CS）を表-1に示した。その結果、相関係数0.9および0.7以上となる推定モデルを作成することができた。

これらの式により得られた表層土層厚推定値と簡易貫入試験結果の平面分布を図-2に示す。

■数量化Ⅰ類による算出式

(土層厚推定値) = (斜面勾配によるCS) + (集水面積によるCS) + (地上開度によるCS) + (地質条件(受け盤, 流れ盤)によるCS) + (定数)

表-1 作成したモデルのカテゴリースコア

斜面勾配 30° 未満の場合			斜面勾配 30° 以上の場合		
斜面勾配	20° 未満	-0.07710	斜面勾配	30° ~35°	0.12626
	20° ~25°	0.21506		35° 以上	-0.19510
	25° ~30°	-0.04240	集水面積	10m ² 未満	0.04806
集水面積	10m ² 未満	-0.29150		10m ² ~20m ²	-0.14690
	10m ² ~20m ²	-0.18260		20m ² ~30m ²	0.08046
	20m ² ~30m ²	0.06952		30m ² ~40m ²	0.08388
	30m ² ~40m ²	0.18164		40m ² ~50m ²	-0.16290
	40m ² ~50m ²	0.06068		50m ² 以上	-0.04740
地上開度	50m ² 以上	0.23939	地上開度	85° 未満	0.03754
	85° 未満	0.47919		85° ~86°	-0.27130
	85° ~86°	0.24751		86° ~87°	0.30878
	86° ~87°	0.69349		87° ~88°	0.52812
	87° ~88°	-0.46920		88° ~89°	-0.21900
右岸左岸	88° ~89°	0.21882	右岸左岸	89° 以上	0.07608
	89° 以上	-0.49880		右岸	-0.01020
右岸左岸	右岸	-0.08060	右岸左岸	左岸	0.00663
	左岸	0.06046		定数項	1.12888
定数項		1.44608	定数項		1.12888

■作成した推定モデル

斜面勾配 $0 \sim 30^{\circ}$

$$y = 0.8114x + 0.2727 \quad (R=0.90)$$

斜面勾配 30° 以上

$$y = 0.499x + 0.5655 \quad (R=0.71)$$

ここで、 y : 土層厚推定値, x : 実測値

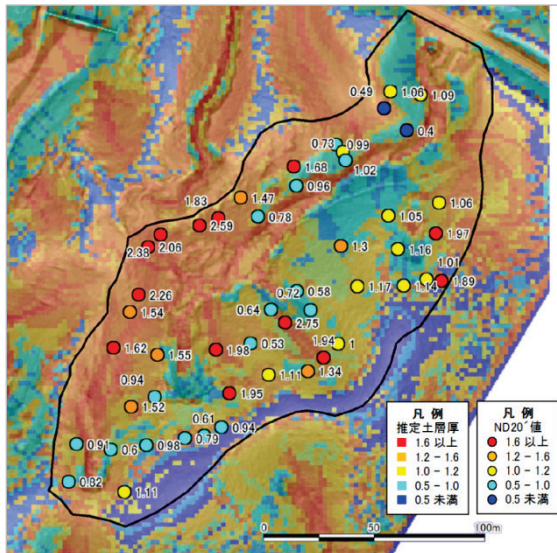


図-2 表層土層厚推定値と簡易貫入試験結果の平面分布

4. 流域内の植生（樹種、直径、密度）と地盤強度

航空レーザ計測データおよび航空写真を用いて、試験サイトの樹木根系による粘着力増強分（ ΔC ）の平面分布を推定し、斜面安定解析モデルに適用した。 ΔC が以下の3項目の関連性が大きいといわれているため、本研究では、樹木根系の引き抜き抵抗に関する既往の研究成果に着目して検討を実施した。

- ① 樹種（針葉樹、広葉樹）
- ② 樹木の太さ（胸高直径: D）
- ③ 樹木間の密度（立木間中央からの距離: X）

阿辻ら（2013）および阿辻ら（2014）によれば、 ΔC は、樹種別に以下の式で表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{針葉樹（ヒノキ）} &: \Delta C = (0.0033D^{2.77}) X^{-2.8} \\ \text{広葉樹（全般）} &: \Delta C = 0.00198 (D/X)^{2.8} \end{aligned}$$

試験サイトに分布する植生の諸元について、現地調査結果と航空レーザ計測データから推定した。解析は図-3に示す手順で行った。

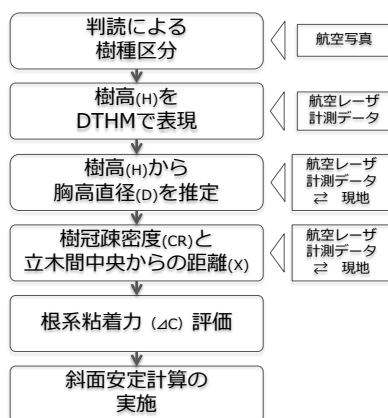


図-3 斜面安定計算の数値設定フロー

4.1 胸高直径（D）

試験サイトに分布する植生について、崩壊発生前の

航空写真を判読することにより樹種区分を行った。樹種は広葉樹とヒノキに区分した。一方、樹高については崩壊発生後の航空レーザ計測データを活用して算出し、崩壊発生箇所については周囲の林縁部の樹高から内挿補間して設定した。現地の30地点で調査した樹高と胸高直径計測データをもとに、下記推定式を作成し、各メッシュに適用することにより胸高直径を推定した。

$$D = 7.5641e^{0.0784H} \quad (R=0.80)$$

4.2 樹木密度（X, CR）

試験サイトに分布する樹木のうち、現地の30地点で調査した立木間中央からの距離（X）と航空レーザ計測データによって得られた樹冠疎密度（CR）の結果との関係式を作成した。樹冠疎密度は、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各メッシュの立木間中央からの距離（X）を推定した。

$$X = CR / 23.594 \quad (R=0.50)$$

4.3 根系による粘着力（ ΔC ）

上記の関係式から求めたDおよびXを樹種（広葉樹、針葉樹）に応じたそれぞれの式に適用し、試験サイトの ΔC の分布を推定した。

5. 斜面安定計算の結果

樹木根系を考慮し、各メッシュの ΔC を変動させて計算を実施した。災害が発生した2014年8月豪雨時の降雨条件（17日6:00）を $t=0h$ としたときの $t=100h$ の安全率の分布を図-4に示した。この結果、降雨後に発生した崩壊の源頭部付近に相対安全率が低い部分が出現した。

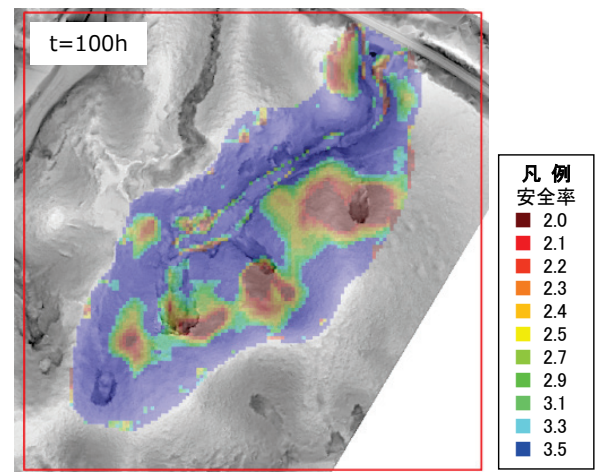


図-4 試験サイトにおける安全率の状況（ $t=100h$ ）

6. おわりに

本研究では、現地で取得したデータを航空レーザ計測で取得したデータに関連づけて、試験サイトにおける植生の効果を考慮した表層崩壊発生危険性の評価を行った。今後は他地域で適用可能かどうか、地域性が生じるか等の解析を行い、モデルの検証を進める。