

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

斜面災害の要注意箇所を 空から見つける

斜面崩壊や落石などの斜面災害から鉄道を守るためには、災害が発生する可能性のある箇所を的確に抽出し、対策を行うことが重要です。しかし山間部を走る路線では、鉄道沿線に隣接する斜面が多く、範囲も広いことから、これらの斜面を管理するのが非常に大変です。ここでは最新の技術を用いて斜面災害の要注意箇所を抽出する手法について紹介します。



長谷川 淳
Atsushi Hasegawa
防災技術研究部
地質研究室
副主任研究員
[専門分野] 応用地質学,
リモートセンシング



太田 岳洋
Takehiro Ohta
防災技術研究部
地質研究室
室長
[専門分野] 応用地質学,
応用地球化学, トンネル・斜面の地質評価

斜面災害とは

斜面災害とは、降雨や地震などによって斜面で発生する地盤災害の総称で、斜面崩壊や地すべり、落石、土石流などがあります。鉄道事業者では、斜面災害から鉄道を守るために、斜面の安定性を調査し、必要に応じて対策を行っているほか、万が一の事故を未然に防ぐことができるよう、雨の量や地震の規模によって列車を止めるなどの運転規制を行っています。しかし、山間を縫うように走る路線では、線路沿線に多数の斜面があり、その範囲も大きいことから、調査や対策を実施するのが難しい場所もあります。

調査と対策

たくさんの斜面を概略的に調査する手法としては、空中写真判読と現地踏査がよく行われます。空中写真判読とは、上空から地上を撮影した写真を立体的に見て地形を観察する手法で、これにより斜面災害の要因となる地形条件をある程度抽出することができます。この判読結果をもとに、実際に斜面を調査することで、斜面の安定性を評価しますが、この評価結果は定性的であ

り、判読や調査を行う技術者によって少しずつ異なることがあります。また、鉄道沿線にあるすべての斜面においてこのような調査を行う場合、膨大な時間と費用がかかってしまうという課題もあります。このため、低コストかつ短時間で客観的に斜面を評価する手法の開発が望まれています。

斜面災害は降雨や地震などの外力によって引き起こされますが、同じような外力を受けた地域にあるすべての斜面で同時に災害が発生するわけではありません。例えば斜面の傾斜が急な場所や樹木が生えていない場所、地盤が脆い場所など、特定の要因が存在する場所で斜面災害が発生すると考えられます。このような地形、地質、植生などの斜面災害の要因を数値化することができれば、斜面災害が発生する可能性のある箇所を客観的に抽出することが可能になると考えられます。これを実現する可能性がある技術として、航空レーザー測量があります。

航空レーザー測量

航空レーザー測量とは、飛行機やヘリコプターなどに搭載したレーザー

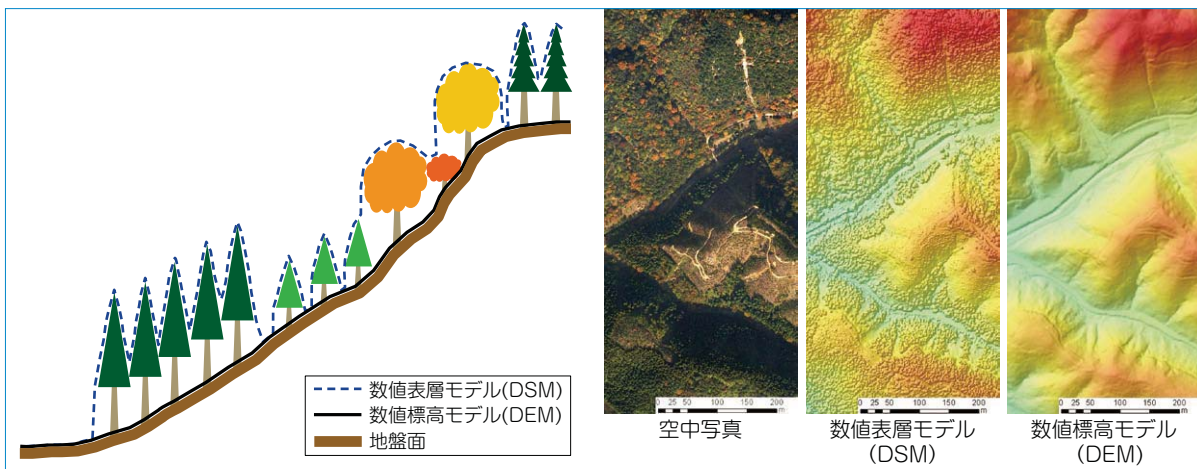


図1 数値表層モデル(DSM)と数値標高モデル(DEM)の違い

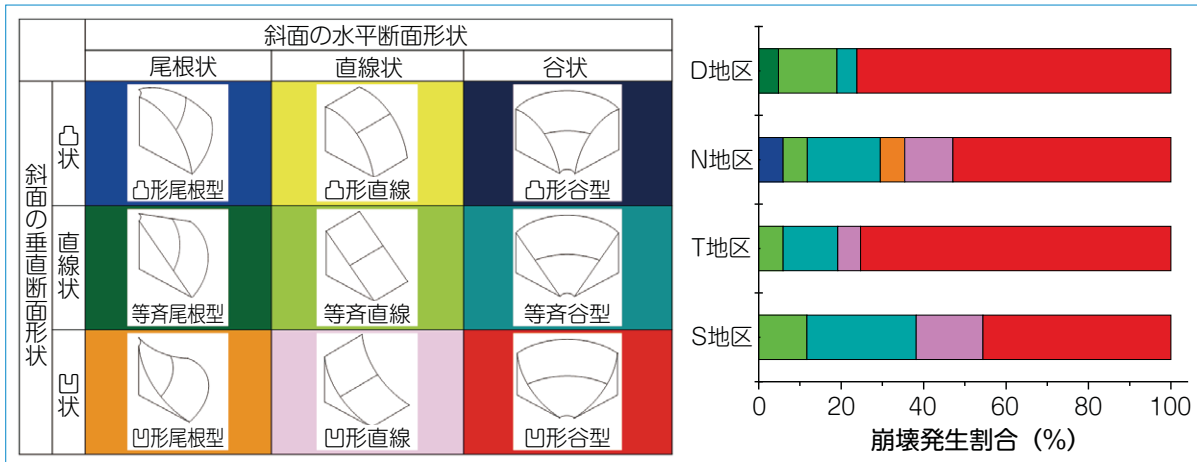


図2 斜面形状の区分¹⁾(左図)と各地区の斜面崩壊箇所全数に対する斜面形状ごとの崩壊の発生割合(右図)

スキャナーから地表に向けてレーザーを照射し、地表からのレーザーの反射を観測することで、地表面の詳細な形状を調べる技術です。計測結果から得られるデータには、数値標高モデル(Digital Elevation Model: DEM)や、数値表層モデル(Digital Surface Model: DSM)があります

(図1)。DEMは地面の高さ(標高値)をメッシュデータ化したもので、地面の形状を見るのに適しています。またDSMは、地面の高さに植物等の地面を覆っているものの表面の高さを加えた値をメッシュデータ化したもので、植物や建物の形状を見るのに適しています。つまり、斜面災害の要因のうち、

DEMで地形を、DSMで植生を評価できる可能性があります。

斜面災害の要因

斜面災害が発生する可能性のある箇所を抽出するためには、まず斜面災害の要因は何かを明らかにしなければなりません。そこで、斜面災害のうち降雨にともなう斜面崩壊と落石を対象とし、複数の地域で各種調査を行い、斜面崩壊の要因となる地形と植生の条件および、落石の発生源の地形的な特徴について検討しました。

その結果、斜面崩壊の要因としては、斜面の傾斜と形状、樹木の生育状況が挙げられることが分かりました。どの地区でも、傾斜が30度以上の斜面、水を集めやすい形状の斜面で多くの斜面崩壊が発生する傾向があります(図2)。また、樹木が十分成長してい

植生の区分について

本研究では、植生を以下のように区分して検討を行いました。

- ・ 広葉樹：樹高が概ね10mを超える落葉広葉樹・常緑広葉樹
- ・ 針混交林：針葉樹と広葉樹が適度に混交している林
- ・ 針葉樹(成熟林)：樹高が概ね10mを超える針葉樹林で、スギ・ヒノキなどの植林が主体
- ・ 針葉樹(幼齢林)：樹高が概ね10m未満の針葉樹林で、スギ・ヒノキなどの植林が主体
- ・ 伐採地(伐採直後)：樹木を伐採して間もない箇所、裸地または草が生えている箇所
- ・ 伐採地(若齢二次林)：樹木を伐採して数年経過した箇所、樹高が数m程度の低木が生えている箇所
- ・ 竹林：主に竹が生えている箇所

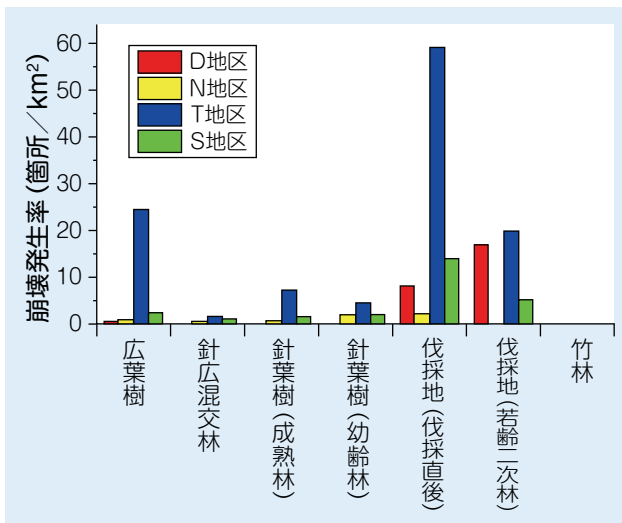


図3 植生区分ごとの崩壊発生率



図4 露岩の分布例

表1 平面曲率・縦断曲率の値と斜面形状

		平面曲率の値		
		正	0	負
縦断曲率の値	負	凸形尾根型	凸形直線	凸形谷型
	0	等斉尾根型	等斉直線	等斉谷型
	正	凹形尾根型	凹形直線	凹形谷型

る針葉樹(成熟林)、広葉樹、針広混交林に比べ、樹木がほとんど生育していない伐採地(伐採直後)や、伐採地(若齢二次林)、針葉樹(幼齢林)の方が、より斜面崩壊が発生しやすい傾向があります(図3)。

また、落石発生源となる露岩は、斜面から突出するように分布し、しばしば急傾斜やオーバーハング状を呈します(図4)。そこで実際に露岩が分布している箇所の傾斜と斜面の凹凸を調べたところ、露岩が分布している箇所は傾斜が50度以上で凸状の地形であるという傾向があることがわかりました。

以上のことから、斜面の傾斜、形状、樹木の有無、斜面の凹凸をDEMとDSMを用いて数値化することができれば、斜面崩壊や落石の要注意箇所を抽出できる可能性があります。

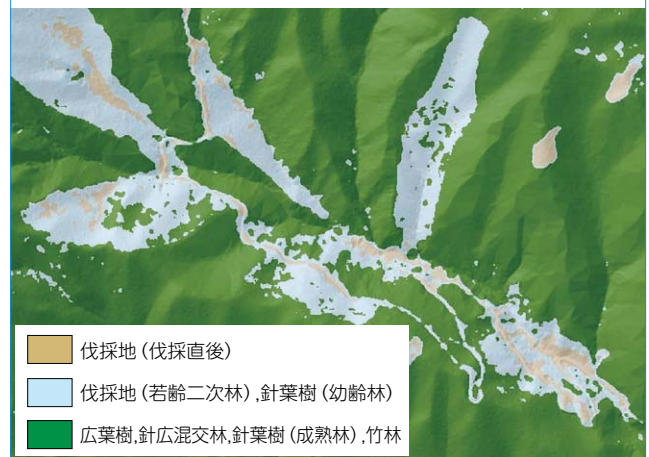
地形条件の数値化

DEMやDSMは、点が規則正しく格子状に並んだメッシュデータですので、例えばある範囲に含まれる点の値の平均値を計算することや、任意の点とその周囲の8点の値の差からその面がどの程度の凹凸があるかなどを計算する

ことが可能です。DEMから計算されるこれらの指標を、地形量と称します。この地形量のうち、斜面の傾斜を表すものとして傾斜量が、斜面の水平断面の凹凸と垂直断面の凹凸を表すものとして平面曲率と縦断曲率があります。傾斜量は、着目した点とその周囲の



(a) 空中写真判読と現地踏査により作成した植生区分図



(b) DCMによる植生区分図

図5 実際の植生区分とDCMを用いた植生区分の対比

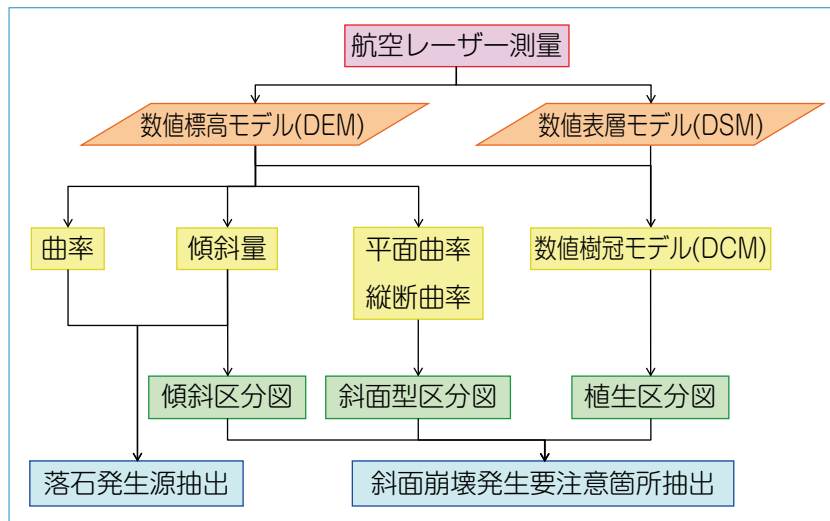


図6 斜面災害要注意箇所の抽出フロー

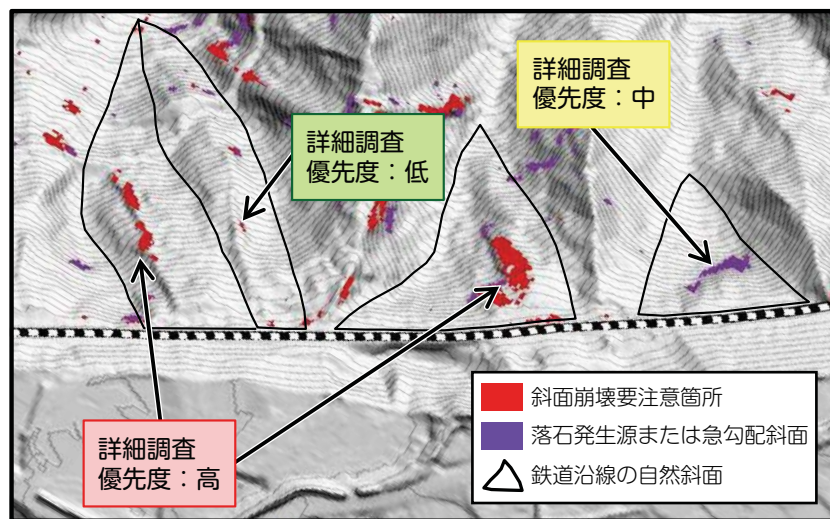


図7 斜面災害要注意箇所の抽出結果

4点との標高の差から求めます。これを用いることで、任意の点においてその周辺がどの程度傾斜しているかを知ることができます。また平面曲率と縦断曲率は、着目した点とその周囲の8点との標高値の関係から、着目した点における水平断面の凹凸と垂直断面の凹凸を求めます。このうち傾斜量を用いて斜面の傾斜を表すことができ、また平面曲率と縦断曲率を組み合わせることで斜面の形状を表すことができます(表1)。また落石発生源の地形条件のうち斜面の凹凸については、着目した点が周囲の8点に対して凹状か凸状かを表す地形量である曲率により表すことができます。

植生条件の数値化

樹木の生育状況によって斜面崩壊の発生しやすさが異なることから、樹木の高さを求めることができれば、斜面崩壊が発生しやすい植生条件を抽出することができますと考えられます。そこで、DSMに着目しました。DSMは地面の標高値に樹木の高さが加わったデータであるため、DSMからDEMを減算することで樹木の高さだけを求めることが可能です。これを数値樹冠モデル(Digital Canopy Model: DCM)と称します。このDCMに、ノイズの除去やある範囲の傾向を把握する際に用いられる手法である空間フィルタリングを適用し、適切な閾値を設定する

ことで、斜面崩壊の発生率が高い伐採地(伐採直後)や、伐採地(若齢二次林)、針葉樹(幼齢林)を抽出することができます(図5)。

斜面崩壊要注意箇所と落石発生源の抽出

以上のように数値化した斜面崩壊の要因である斜面の傾斜と形状、植生について、統計的な解析を行い、各要因に重みづけをして重ね合わせることで、斜面崩壊の要注意箇所を抽出しました(図6, 7)。また落石発生源については、傾斜が50度以上で地形が凸状(曲率が負の値)であるという条件の論理積をとることで抽出しました(図6, 7)。これらの抽出結果については、現地踏査により検証を行い、実際に斜面崩壊の発生が懸念される箇所や、落石発生源となる露岩が分布している箇所をある程度抽出できていることを確認しました。

おわりに

本手法は、地形と植生の条件のみから斜面災害の要注意箇所を概略的に抽出する手法であり、数値標高モデル(DEM)と数値表層モデル(DSM)があれば、簡易な手順で客観的に斜面を評価できます。得られた評価結果は、防災対策を行う際に、詳細な現地踏査を優先的に行う場所を絞り込む場合や、沿線の斜面にどの程度注意を要する箇所が分布しているのかを把握する場合に有効であると考えています。

なお本研究は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

RRR

文献

- 1) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第1巻 読図の基礎，古今書院，1997