

13. 航空レーザーデータから作成した微地形強調図を用いた効率的で高

精度な落石発生源の机上抽出

Efficient and accurate desk-top extraction of rockfall sources using microtopography enhancement maps generated from aerial laser data

○秋田庄亮, 西山哲〈岡山大学〉・中村公一〈鳥取大学〉・今西将文〈(株) ウェスコ〉
坂本奈温子〈岡山大学〉

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴う気候変動やゲリラ豪雨の増加の影響を受け斜面災害が多発しており、中には交通インフラを遮断する事例や人命に関わる事例も発生している。以上のような斜面災害に対するリスクの増加が叫ばれる中、道路防災点検においては点検業務の質や効率が非常に重要となっている。また既存の道路防災点検のスクリーニング作業に使用される空中写真や森林基本図、防災カルテは植生の影響を受けることや調査員の手書きといった理由から地表の起伏を正確に表現することができない。また判読には専門的な技術を要し、定性的な判読であることが課題となっている。そこで、これらの課題を解決するため航空レーザから得た点群データを用い傾斜量図やウェーブレット解析図といった微地形解析図を利用した落石発生源のスクリーニング手法について検証した。傾斜量図やウェーブレット解析図はそれぞれ単体では航空レーザから得た情報を完全に表現することができない。したがって本研究では二つの図面を重ね合わせることで落石発生源となり得る急崖が強調された微地形強調図を作成し落石発生源の机上抽出を行った。なお、本スクリーニング手法の有用性の検証を行うため、机上調査で選定した箇所の現地調査、データ整理を行い、落石発生源の有無や机上抽出に必要な条件を確認する。

2. 研究手法

本研究で用いた航空レーザ測量は飛行機に搭載したセンサーで行う移動型 3 次元測量手法で、レーザ測距儀から地上に向けてレーザを照射し、地上からの反射波との時間差より座標を得る測量である。この測量から得た点群データを用い、以下のような傾斜量図（図 2-1）やウェーブレット解析図（図 2-2）を作成し、微地形強調図の作成に利用する。

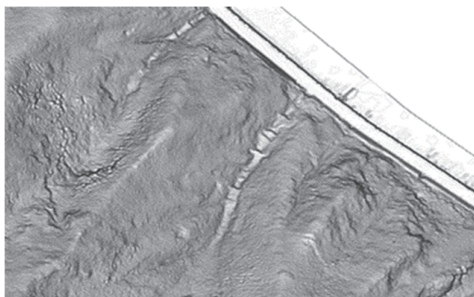


図 2-1 傾斜量図

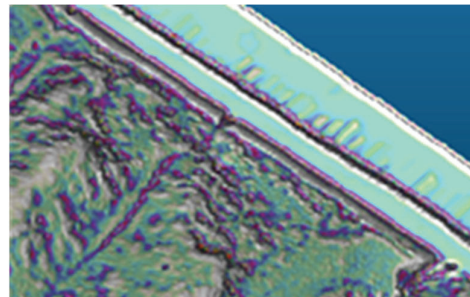


図 2-2 ウェーブレット解析図

3. 微地形解析手法

スクリーニングに使用される図面を制作する際に用いられる微地形解析手法は様々なものがすでに提案されているが、本研究では先述した傾斜量図（図 2-1）とウェーブレット解析図（図 2-2）を重ね合わせた微地形強調図を作成し検証を行った。また図面制作には航空レーザ測量から得たオリジナルデータをフィルタリングし地表面のみのデータにしたグラウンドデータを等間隔 50 cm メッシュの各項点に高さの値を与えたグリッドデータに変換したものを使用した。

4. 微地形強調図の作成

4.1 傾斜量図

グリッドデータの近傍 9 点から中央の点を最もよく説明する平面を最小自乗法で当てはめた場合の最大傾斜方向の傾斜量を算出し、この値に応じて色の濃淡を変えることで斜面の勾配を表現した図（図 2-2）である。急傾斜は濃く、緩傾斜は薄く表現されるため、急崖の抽出は可能であるが、高低差の情報がなく尾根谷の区別が付きにくい。

4.2.1 ウェーブレット解析図

図にあるメキシカンハット関数（図 4-1、式 4-2）と計測データの地表面を以下の式 2-1 から畳み込み積分を行い、値により色付けした図である。この値は地表面とメキシカンハット関数との相関性を表しており、値が大きくなるにつれて凸地形、小さくなるにつれて凹地形を表す。また値が大きくなるにつれ白色、小さくなるにつれ赤色になるように色付けを行った。

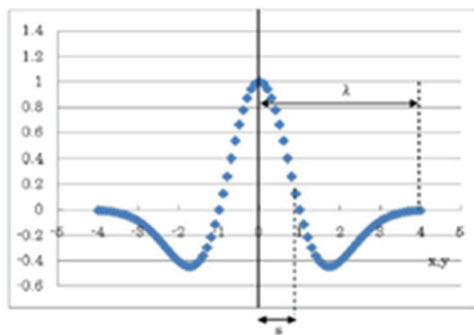


図 4-1 メキシカンハット関数

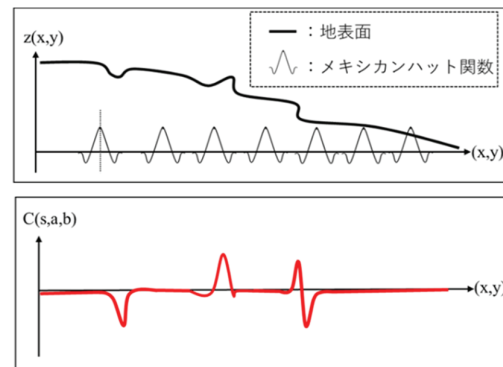


図 4-2 解析模式図

$$C(a,b,c) = \frac{1}{s} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} z(x,y) \Psi\left(\frac{x-a}{s}, \frac{y-a}{s}\right) dx dy \quad \cdots \text{式 4-1}$$

$$\Psi(x,y) = (2 - x^2 - y^2) \exp\left\{-\frac{1}{2}(x^2 + y^2)\right\} \quad \cdots \text{式 4-2}$$

4.2.2 最適なウェーブレット解析図の考察

先述した式 4-1 畳み込み積分であるが、ここにある s は解析のパラメータを表しておりメキシカンハット関数の波長に影響を与えている。またこの波長 λ は $\lambda \doteq 4s$ という関係があり s の値を変化させることで DEM の解析窓が変動する。下の図はパラメータを $s=0.5$, $s=1.0$, $s=2.0$ と値

をそれぞれ与えた際のウェーブレット解析図であるが、 $s=0.5$ の時には抽出量が過多に、また $s=2.0$ の時には抽出量が少なくなり判読には不適であることが判る。したがって本研究では抽出量が適度になるようパラメータを $s=1$ に設定しウェーブレット解析図の作成を行う。

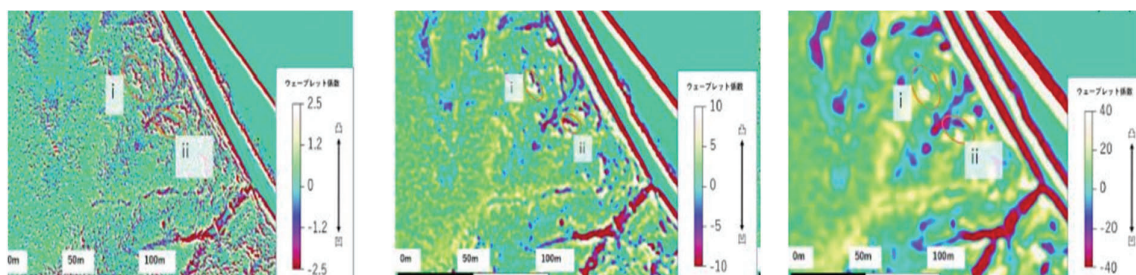


図 4-3 パラメータを変化させた際のウェーブレット解析図（左から $s=0.5$, $s=1.0$, $s=2.0$ ）

4.3 微地形強調図の完成

以上で述べた傾斜量図とウェーブレット解析図を重ね合わせそれぞれの図の特徴の合成により情報を補完し、落石発生源となり得る急崖を強調した微地形強調図（図 4-3）が完成する。この図を基に白色から赤色、つまり凸地形から凹地形となっており急崖である可能性の高い地点に着目して机上抽出を行う。



図 4-3 微地形強調図

5. 微地形強調図の机上抽出での利用

5.1 調査地紹介

本研究では防災カルテが作成されている岡山県一般国道 53 番線岡山市北区御津草生を調査地とし、尾根谷の起伏から調査地をエリア 1, エリア 2, エリア 3 と分割し、机上抽出を行った。また抽出結果と防災カルテを比較し微地形強調図の有用性を検証し、その後データ整理を行い正確性について調べた。



図 5-1 調査地

5.2 机上抽出の結果

上記の赤色から白色に変化している地点という条件を基に落石発生源の机上抽出を行い同箇所の防災カルテと比較した結果を図 5-2 に示す。図の左側が微地形強調図、右側が防災カルテとなっている。黄色い丸で囲まれた箇所が机上抽出を行った箇所、また青い丸で囲まれた箇所は浮石などが存在する落石発生源を表している。この比較から防災カルテにある落石発生源についてはおおよそ全てを机上抽出することができた。この結果から道路防災点検のスクリーニングにおいて本手法は有効であると言える。しかし、この手法により全ての落石発生源を網羅できているかは明らかではないため、現地での調査を行い、机上抽出の精度についての検証を行う。また本研

究での落石発生源は浮石を対象としたものであり転石は考慮していない。

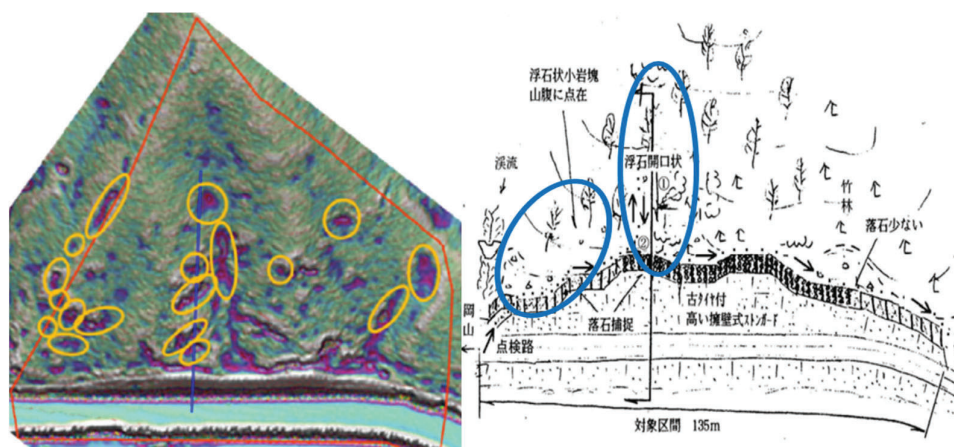


図 5-2 エリア 1 での机上抽出箇所と防災カルテとの比較

5.3 現地調査結果

左図(図 5-3)は番号にある順番で現地調査を行い、机上抽出箇所と現地での落石発生源の整合性を検証したのとなっており、抽出できた箇所、別地形を抽出した箇所、見逃してしまった箇所をそれぞれ橙色、青色、黄色で表している。抽出した主な別地形はくぼみ地形や谷地形などであった。また、写真と写真は落石発生源であったが抽出されず見逃してしまった。

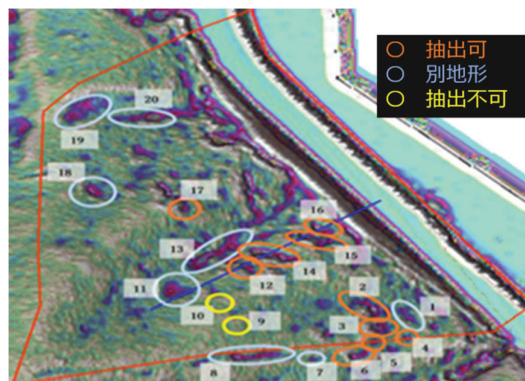


図 5-3 エリア 1 机上抽出結果



写真 5-1 エリア 1, 7 番 くぼみ地形



写真 5-2 エリア 1, 8 番 谷地形



写真 5-3 エリア 1, 9 番 落石発生源



写真 5-4 エリア 1, 10 番 落石発生源

5.4 調査結果の整理

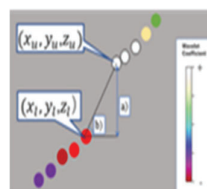
エリア 1 からエリア 3 でのすべての現地調査箇所における結果を表 5-1 に示す。この表をまとめると、抽出できた落石発生源は全落石発生源 35 箇所中 31 箇所、抽出できなかった落石発生源は全落石発生源 35 箇所中 4 箇所、抽出したが実際は異なる地形だった箇所は全現地調査箇所 48 箇所中 13 箇所となる。以上の結果から微地形強調図を用いた机上抽出は落石発生源を高精度に抽出することができた。抽出できなかった落石発生源について着目すると 1m 前後の落石発生源に関しては正確に抽出できないことが判った。また過剰抽出した別地形は多いように見えるが本手法はスクリーニングに用いるものであるため優先度の高い問題ではないと考える。

調査地	番号	抽出可否	現地調査結果	調査地	番号	抽出可否	現地調査結果
エリア 1	1	△	急斜面	エリア 2	5	○	3.0mの落石発生源
	2	○	3.0mの落石発生源		6	×	0.6mの落石発生源
	3	○	1.6mの落石発生源		7	○	2.4mの落石発生源
	4	○	1.2mの落石発生源		8	△	谷地形
	5	○	1.6mの落石発生源		9	○	1.2mの落石発生源
	6	○	2.0mの落石発生源		10	○	2.4mの落石発生源
	7	△	くぼみ地形		11	△	くぼみ地形
	8	△	谷地形		12	△	谷地形
	9	×	1.2mの落石発生源		13	○	2.0mの落石発生源
	10	×	1.3mの落石発生源		14	○	1.4mの落石発生源
	11	△	常緑樹		15	○	1.9mの落石発生源
	12	○	2.4mの落石発生源		16	○	4.2mの落石発生源
	13	△	谷地形	エリア 3	1	○	2.0mの落石発生源
	14	○	3.0mの落石発生源		2	○	2.0mの落石発生源
	15	○	2.6mの落石発生源		3	○	4.0mの落石発生源
	16	○	1.8mの落石発生源		4	○	3.0mの落石発生源
	17	○	2.4mの落石発生源		5	○	2.0mの落石発生源
	18	△	くぼみ地形		6	○	6.0mの落石発生源
	19	△	くぼみ地形		7	○	2.0mの落石発生源
	20	△	谷地形		8	○	2.6mの落石発生源
エリア 2	1	○	2.2mの落石発生源		9	○	7.0mの落石発生源
	2	○	5.0mの落石発生源		10	○	2.4mの落石発生源
	3	×	2.2mの落石発生源		11	○	2.0mの落石発生源
	4	△	谷地形		12	△	くぼみ地形

表 5-1 現地調査結果

5.4 落石発生源の解析

図 5-4 は図内にある式を用いエリア 1 からエリア 3 の全調査箇所 35 箇所の比高と傾斜角を計算しグラフ化したものである。このグラフから傾斜角 60° 以上かつ比高が 1.4m 以上であれば正確に落石発生源を机上抽出できていることが判る。



a) 比高(m): $z = |z_u - z_l|$
b) 傾斜角度(°): $\theta = \text{atan} \frac{z}{\sqrt{(x_u - x_l)^2 + (y_u - y_l)^2}}$

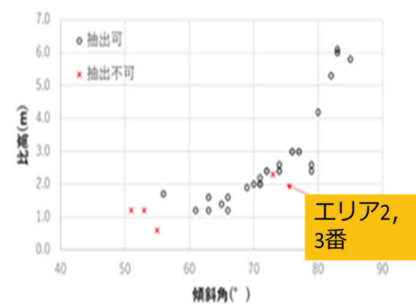


図 5-4 全調査箇所の比高と傾斜角のグラフ

本研究での検証区間の斜面平均勾配

は 40° であったが、すべての落石発生源の傾斜角はこれを超える角度となっていた。また傾斜角が大きくなり、より急な落石発生源になれば比高も大きくなる相関性についても確認できた。以上から机上抽出は落石発生源の比高だけでなく傾斜角にも強く影響を受けていることが判った。

しかし、エリア 2 の 3 番においては上記の条件を満たしているにも関わらず微地形強調図において特徴が

現れず机上抽出することができなかった (図 5-5)。これはエリア 2 の 3 番と 2 番の落石発生源の距離が短いことに起因していると考えられる。図 5-6 を見ると 2 番から 3 番までに点が 4 点しか取れていない、つまり 50 cm メッシュであるので距離にすると二つの落石発生源は 2 m ほどし



図 5-5 エリア 2 の 3 番におけるウェーブレット解析図

か離れていない。したがって、正確な地表データが取れておらず畳み込み積分の際に二つの落石発生源が合成されてしまったことが原因であると判断される。



図 5-6 エリア 2 の 3 番から 2 番にかけてのウェーブレット解析図の断面

6. まとめ

本研究では航空レーザ測量から得たデータを用い傾斜量図，ウェーブレット解析図を作成し，これらの図を重ね合わせ落石発生源となり得る急崖を強調した微地形強調図をもとに落石発生源の机上抽出を試みた。またその後，現地調査やデータの整理を行うことで本手法の精度や机上抽出することができる条件について検証した。その結果以下の結論を得ることができた。一つ目に本手法を用いることで高精度に机上抽出を行うことができること。二つ目に比高 1.4m 以上かつ傾斜角 60° 以上であれば正確に机上抽出が可能であること。三つ目は課題であるが，狭い範囲で連続する落石発生源においては微地形強調図に落石発生源の特徴が表れない場合があることが判った。また今回においては発生しなかったが，この他にも現地調査でのマッピングの際に起こる位置情報の誤差についても落石発生源の位置特定に影響を及ぼす可能性があるので改善の余地があると考えられる。また落石発生源をより高精度に机上抽出ができる条件をより明らかにすることで，この手法のより現実的な運用につながると考える。

参考文献

- 1) 藤浩・関口辰夫・織茂郁・中島保：現地測量の成果を用いた航空レーザ測量 DTM の高さ方向の精度検証，写真測量とリモートセンシング，第 43 巻第 4 号，p13-21，2004
- 2) 宮下征士・今西将文・宮田真孝・西山哲：異なる 2 時期の航空ヘリレーザデータを使用した落石発生源抽出の基礎的検証，平成 29 年度(第 69 回)土木学会中国支部研究発表会発表概要集，p.373-374，2017