

## (42) 落石対策のための航空レーザデータを用いた落石発生源の研究

秋田 庄亮<sup>1</sup>・西山 哲<sup>2</sup>・崎田 晃基<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 岡山大学 環境理工学部 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1)

E-mail: pnos832z@s.okayama-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 岡山大学教授 環境理工学部 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1)

E-mail: nishiyama.satoshi@okayama-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 清水建設株式会社 技術研究所(〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17)

E-mail:koki.sakita@shimz.co.jp

落石対策事業において用いられる空中写真などは様々な要因から地表を正確に表現することが難しく、点検の際に見逃しや見落とし、多くの時間を要するなどの問題を抱えている。これを踏まえ、本研究では航空レーザデータを用いて微地形表現図を作成し、落石発生源の机上抽出を試みた。その結果、微地形強調図によって比高 1.4m 以上かつ傾斜角 60° 以上の落石発生源は机上抽出することができたが、比高約 1.0m かつ傾斜角 50~55° の落石発生源は机上抽出することができなかった。この結果から、微地形強調図の机上抽出の正確性に関する要因を明確にすることで、効率的な道路防災点検や現地調査に活用することが期待できる。

**Key Words:** Aerial Laser Surveying, Microtopography Emphasis Chart, Wevelet Analysis

### 1. はじめに

落石を対策するにあたり、道路の防災点検や現地における調査は非常に重要となっている。しかし、それらで使用される空中写真や森林基本図、防災カルテなどは植生の影響を受けたり、調査員の書きとといった理由から地表面を正確に表現することができず、落石発生源の見落とし・見逃しや調査に多くの時間を要することが問題となっている。その解決策として、航空レーザ測量を用いて高精度に地表面を表現する手法が挙げられる。そこから得られる等高線図や傾斜量図、ウェーブレット解析図等は斜面上の地形を捉えることができるが、それぞれ単体では航空レーザ測量により得られた情報を最適に表現することができない。したがって、それらを組み合わせることで急崖を強調し、地表面の凹凸に加えて高低差の情報も加わった微地形強調図を作成する。以上から本研究では、微地形強調図による落石発生源の机上抽出を試みた。なお、机上抽出の有用性の検証を行うために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形状、机上抽出に必要な条件を確認する。

### 2. 微地形強調図の提案

本章では、航空レーザ測量から得た情報を図面で最適に表現するために、微地形を表現する手法である等高線図や傾斜量図、ウェーブレット解析図の特徴をまとめ、それぞれの組み合わせから得られる微地形強調図の有用性、利用方法を述べる。

#### (1) 微地形表現手法

航空レーザ測量により得られたデータを地表面のみのデータに変更し、それを等間隔 50cm のメッシュの各頂点に高さデータを与えたグリッドデータに変換することで図面を作成する。

##### a) 等高線図

標高が同一である点を結んだ軌跡を描画した図(図-1)である。等高線の粗密から斜面勾配や、凹凸による尾根谷の判別することが可能であり、高低差を表現できる。しかし、等高線間の地形変化や急勾配な箇所の地形を明確に表現できない。

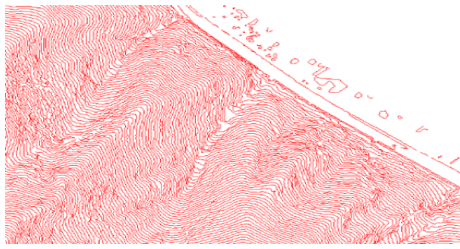


図-1 等高線図

### b) 傾斜量図

グリッドデータの隣接する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、その値に応じて明度で斜面の傾斜を表現した図(図-2)である。また急傾斜は暗く、緩傾斜は明るく表現されるため、急崖の抽出が可能であるが、高低差の指標がないことから尾根谷の区別がつきにくい。

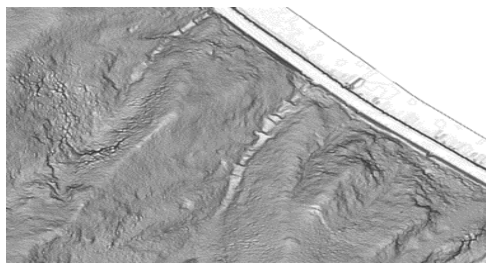


図-2 傾斜量図

### c) ウェーブレット解析図

波の関数を連続的に地表の起伏に当てはめることでその波との相関関係の程度を表す図である。マザーウェーブレットと呼ばれる関数と斜面の座標値を畳み込み積分することによってウェーブレット係数(以下、係数Cとする)を求め、その値により色で地形の起伏を表現する。本研究では、マザーウェーブレット関数としてメキシカンハット型の関数を利用した(図-3左)。

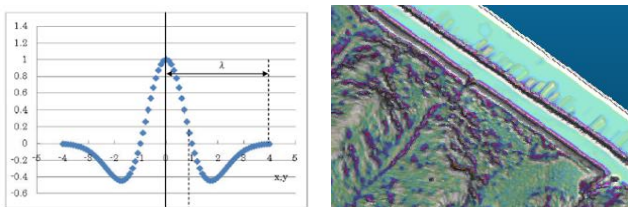


図-3 メキシカンハット関数とウェーブレット解析図

ここで、調査対象外である斜面を抽出し(図-3右)、ウェーブレット解析図による表現例(図-4)を使用し、急傾斜地がどのように表現されるかを検証する。図-4中の緑の点は抽出箇所の点群データを示す。また、図-4の左側に抽出箇所のウェーブレット解析図の着色凡例を示

し、求められた係数Cによって示される着色凡例を図の右側に示す。係数Cは-15から15で求められ、-15が赤色で凹地形、15が白色で凸地形を示す。B点において係数Cは15であり、白色により凸地形を示す。F点において係数Cは-15であり、赤色により凹地形を示す。点群データから、点C、D間は急斜面であることが確認できる。係数CはC点が-2、D点が-15であり、C点が青色、D点が赤色を示す。したがって、赤色で表現された箇所は急斜面の下方を表しているため、落石発生源の机上抽出の際には、赤色で表現された箇所を着目すればよいと考えられる。

以上から、ウェーブレット係数を着色して表現することで、地形の起伏を表現でき、落石発生源となる急崖も表現できる。しかし、高低差や傾斜を表す情報がないことから微地形の判読が難しい。

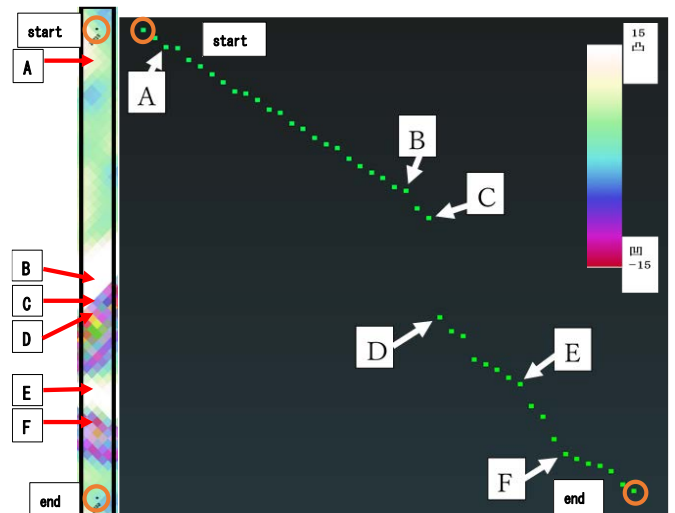


図-4 ウェーブレット解析図の表現例

### (2) 微地形強調図

これまでで述べたように、それぞれの表現手法単体では航空レーザ測量で得られたデータをすべて表現できない。したがって、等高線図、傾斜量図、ウェーブレット解析図を重ね合わせることで急崖を強調した上に高低差の情報を有した微地形強調図を作成する<sup>1)</sup>。

### 3. 微地形強調図の机上抽出での利用

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、尾根谷の地形の起伏を基に調査箇所をエリア1、エリア2、エリア3(図-5)とし、机上抽出、現地調査を行った。ここでは、エリア1に注目し、机上抽出と現地調査の結果を示す。

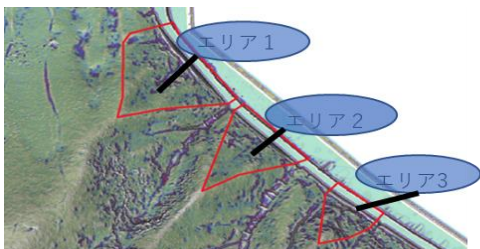


図-5 調査地



図-8 12番, 落石発生源

### (1) 机上抽出結果

傾斜量図, ウェーブレット解析図の重ね合わせで得られた図により落石発生源である急崖が赤色で示される. 図-6 にエリア 1 の机上抽出箇所と防災カルテを示す. 比較すると, 落石発生源とみられる箇所が明瞭に確認できることが分かり, 落石発生源の机上抽出は可能であると言える. この結果から, 見落とし・見逃しのない道路防災点検への活用, 高精度な調査ルート選定による現地調査の効率化が可能になると考えられる. しかし, 落石発生源を机上抽出により全て把握しているかどうかは明らかではないため, 実際に現地調査を行い, 現地との整合性を確かめることで机上抽出に対する評価を行う.

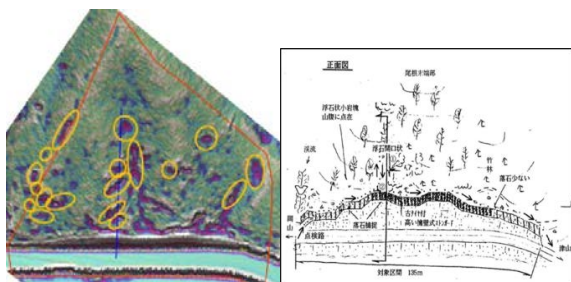


図-6 エリア 1 での机上抽出と防災カルテとの比較



図-9 8番, 谷地形



図-10 9番, 落石発生源



図-11 10番, 落石発生源

### (2) 現地調査結果

図-7 に示した番号順に机上抽出箇所の調査を行った. 橙丸は机上抽出できた落石発生源, 薄青丸は落石発生源ではない机上抽出箇所, 黄丸は机上抽出できなかった落石発生源を示す.

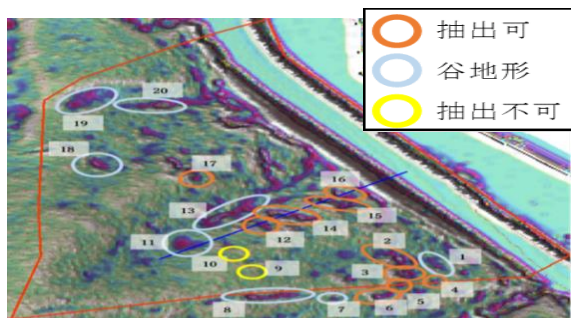


図-7 エリア 1 の現地調査結果

図-8, 図-9は机上抽出した箇所であるが落石発生源のほか谷地形も抽出した. 図-10, 図-11は落石発生源であったが机上抽出できなかった.

### (3) 調査結果の考察

全エリアにおける調査結果を表-1 に示す. 現地調査の結果から, 1.4m以上の落石発生源においては机上抽出できたことが分かった. しかし, 1.2mの落石発生源が机上抽出できた箇所とできなかった箇所があることから, 1m程度の落石発生源における机上抽出の正確性に関しては高精度であるとは言えない結果となった. また, 谷やくぼみ地形においては凹地形であるため, ウェーブレット解析図により赤色で表現され, 机上抽出された.

表-1 現地調査結果

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

(4) 現地調査結果を用いた落石発生源の解析

現地調査結果から図面上での抽出の有無をグラフとして図-12 に示した。このグラフは図-12 左に示す計算方法から各微地形の傾斜角・比高を算出し作成したものである。また、グラフ内における結果はエリア 1~3 までの範囲で調査をおこなった 35 箇所の落石発生源についてを評価したものである。このグラフから、傾斜角 60° 以上かつ比高が 1.4m を超える落石発生源を抽出できていることが確認できる。また、本検証区間において、斜面の平均勾配は 40° であったが、それぞれの落石発生源の角度はこれを上回るものであった。さらに、傾斜角度が大きくなり、より急な落石発生源ほど比高においても高くなる傾向にあることも確認された。また、抽出不可となった落石発生源の多くは比高が 1.0m で傾斜角度も 60° を下回るものであった。以上の結果から、机上抽出は急崖の比高のほか傾斜角にも強く影響を受けていることが分かった。

しかし、エリア2の3番(図-13)においては比高1.4m、傾斜角 60° を超えているにも関わらず机上抽出することができなかった。ここはウェーブレット解析図上においても、下端は緑色、上端は白色であり、落石発生源の特徴を捉えることができなかった。これは2番と3番の落石発生源の距離がおよそ 2m という狭い範囲で連続していたことにより、2つの落石発生源の間で点群データが4点しか取れず、2つの落石発生源が合成されたような形で表現されていることが原因であると考えられる。

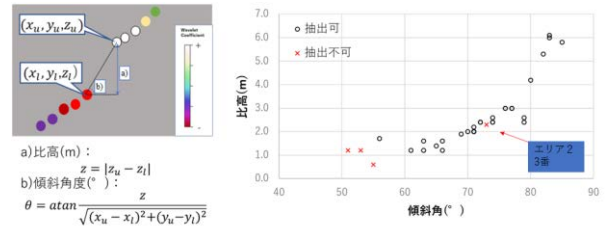


図-12 落石発生源の比高と傾斜角のグラフ



図-13 エリア2, 3番のウェーブレット解析図

4. 結論

本研究では、航空レーザ測量から得られたデータをもとに作成した等高線図、傾斜量図、ウェーブレット解析図を重ね合わせることで得られた微地形強調図を利用し、落石発生源の机上抽出を試みた。また机上抽出の後、現地調査、点群データによる検証から机上抽出に対して評価を行った。これらの検証から次のような結論が得られた。初めに、微地形強調図を用いることによって、落石発生源である可能性のある急斜面箇所を表現できた。次に、現地調査により、比高 1.4m 以上の落石発生源は机上抽出することができた。また、比高 1.0m 程度の落石発生源は机上抽出できる場合とできない場合があった。最後に、点群データによる検証により、傾斜角 60° 以上の落石発生源が机上抽出されていたことが分かった。

以上より、落石発生源の机上抽出において急崖の傾斜角や比高が影響を与えていることが分かり、比高 1.4m 以上、傾斜角 60° 以上の落石発生源は微地形強調図により机上抽出することができた。また、机上抽出ができる条件をより明確にすることで、高精度で、効率的な道路防災点検や現地調査を行うことができると期待される。

参考文献

- 1) 佐藤浩, 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, Vol. 43, No. 4, pp. 13-21, 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, pp. 373-374, 2017.