

高密度航空レーザデータを使用した 微地形強調図による落石発生源抽出の検証

宮下 征士¹

¹株式会社ウエスコ 岡山支社設計部 (〒700-0033 岡山市北区島田本町 2-5-35)

近年、落石事故が頻発しており、落石対策事業へ取り組む機運が高まっている。落石対策事業においては、精度の低い図面が使用されており、落石発生源の位置精度不良や調査漏れが発生し、安全性が問題視されている。問題点を解消するには、高精度な図面を使用して落石発生源を抽出する必要がある。高密度航空レーザデータを使用して、傾斜量図+ウェーブレット解析図+等高線図を透過合成した微地形強調図を作成し、落石発生源を抽出する手法を提案する。夏季・冬季の航空レーザデータを検証した結果、冬季の道路縦断方向計測データを使用することにより、落石発生源（急崖）を抽出でき、本提案手法が有用であることを明らかにした。

キーワード: 高密度航空レーザ, 微地形強調図, 落石発生源抽出, 落石対策事業

1. はじめに

近年、ゲリラ豪雨、大型台風等の異常気象や大規模地震などにより、道路への落石事故が頻発している。2016年5月4日には、主要地方道浜田作木線（島根県邑南町戸河内地内）において落石が発生し、通行する自動車を直撃し、助手席に乗っていた一人の命が失われた。このような状況より、落石対策事業（道路防災点検、災害防除設計、落石対策工事）へ取り組む機運が高まっている。

落石対策事業においては、図-1に示すような森林基本図（5000分の1、空中写真測量）や道路台帳等の落石発生源（急崖、転石）が表現されていない精度の低い図面が使用されている。図-2のような樹木が繁茂した斜面中において、実測による現況平面図作成は困難であるため、精度の低い図面が使用されてきた経緯がある。現地調査においても、落石発生源の位置把握が困難であり、落石発生源の位置精度不良や調査漏れが発生し、安全性が問題視されている。問題点を解決するためには、高精度な図面を作成使用し、落石発生源の抽出精度を向上させ、正確な位置を把握する必要がある。

本検証では、落石発生源の急崖（露岩）を高さ2.0m程度の岩盤で標高下方が急勾配のものと定義する。転石とは、急崖等から落下したり、土砂の表層崩落による落石などにより、斜面中で止まっているものと定義する。落石対策事業の課題を解決するためには、高精度な図面

が必要である。樹木の繁茂した斜面中において地表面を捉えることができる航空レーザ測量を活用することを提案する。近年の航空レーザ測量機器の性能向上により高密度航空レーザデータの活用が期待されている。

本検証では、航空レーザ測量より得られる高密度航空

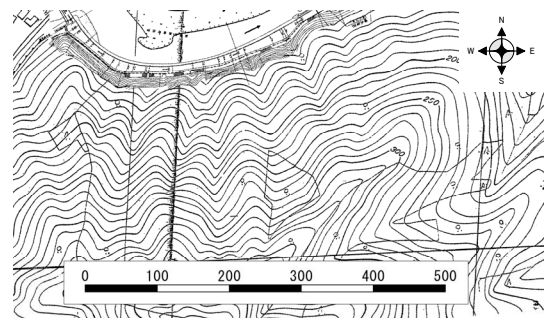


図-1 森林基本図



図-2 植生繁茂状況写真（10月撮影）

レーザデータから、微地形表現手法の組み合わせにより高精度な図面である微地形強調図（傾斜量図＋ウェーブレット解析図＋等高線図）を作成し、落石発生源の机上抽出、現地調査による抽出精度を検証する²⁾。微地形強調図は、異なる2時期（夏季・冬季）や計測方向（道路縦横断）において作成し、抽出精度を比較し、落石発生源抽出における微地形強調図の有用性を示す。



図-3 航空レーザ測量イメージ図

2. 高密度航空レーザデータの概要

(1) 航空レーザ測量とは

航空レーザ測量は、航空機（固定翼、回転翼）に搭載したノンプリズム型レーザ測距儀から地上に向けてレーザパルスを照射し、地表面や地物から反射するリターンパルスにより、3次元航空レーザデータを取得する移動体計測である。

航空レーザ測量は、樹木のある山地であっても、レーザが地表面に到達することで直接計測することができる（図-3）。精度は、地表面へのレーザ到達密度に依存する。一方、空中写真測量は、樹木の上面を計測し、樹高を差し引くことで間接的に地表面を計測しているため、低精度である。この違いから、航空レーザ測量では空中写真測量では難しかった山地部における地形の変化点を精細にとらえることができる。

(2) 航空レーザデータの種類

航空レーザデータの種類を示す。航空レーザデータから得られるものは、計測した点全部（ノイズは除く）を格納したオリジナルデータである。オリジナルデータをフィルタリングにより地表面のみに分類したものをグラウンドデータという。グラウンドデータから不整三角網を作り、等間隔のメッシュをかぶせ、メッシュ点の高さを線形近似によって補間処理させたものをグリッドデータという（図-4）。

(3) 高密度と低密度の違い

航空レーザ測量は古くから実施され、さまざまなデータが蓄積されており、航空レーザ測量データポータルサイト²⁾で地域、管理者、計測密度、計測会社を検索できるようになっている。今までの航空レーザ測量は、公共測量作業規程の準則³⁾に基づく地図情報レベル2500（格子間隔2m以内）のデータが主流となっているため、山地部では低密度となり、地形が正しく表現されず、落石発生源抽出に適していない（図-5）。このため、本検証においては、高密度データが取得できる航空ヘリレーザ（回転翼）を使用する。

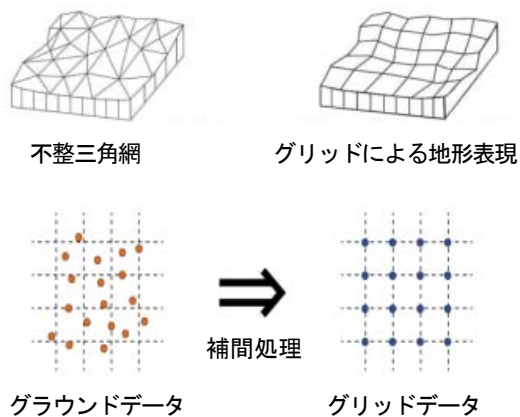


図-4 グリッドデータ作成イメージ図

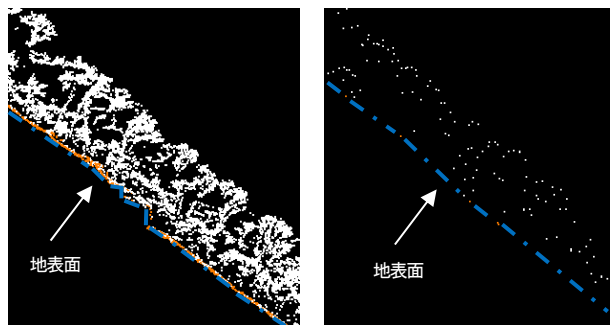


図-5 航空ヘリレーザにより取得した高密度点群（左）と地図情報レベル2500の低密度点群（右）

3. 微地形強調図の提案

(1) 微地形表現手法

高密度航空レーザデータの数値解析から、さまざまな微地形表現が可能となる。微地形表現手法として、等高線図、高度段彩図、傾斜量図、ウェーブレット解析図等がある。しかしながら、微地形表現手法単体では、落石発生源の抽出は難しい。

(2) 微地形強調図の提案

パソコンの性能向上により、複数の微地形表現手法を透過合成できるようになった。落石発生源を抽出するための図面として、「微地形強調図」を提案する。

傾斜の変化に感度が高い図である傾斜量図と尾根・谷の区別が付きやすい図であるウェーブレット解析図を透

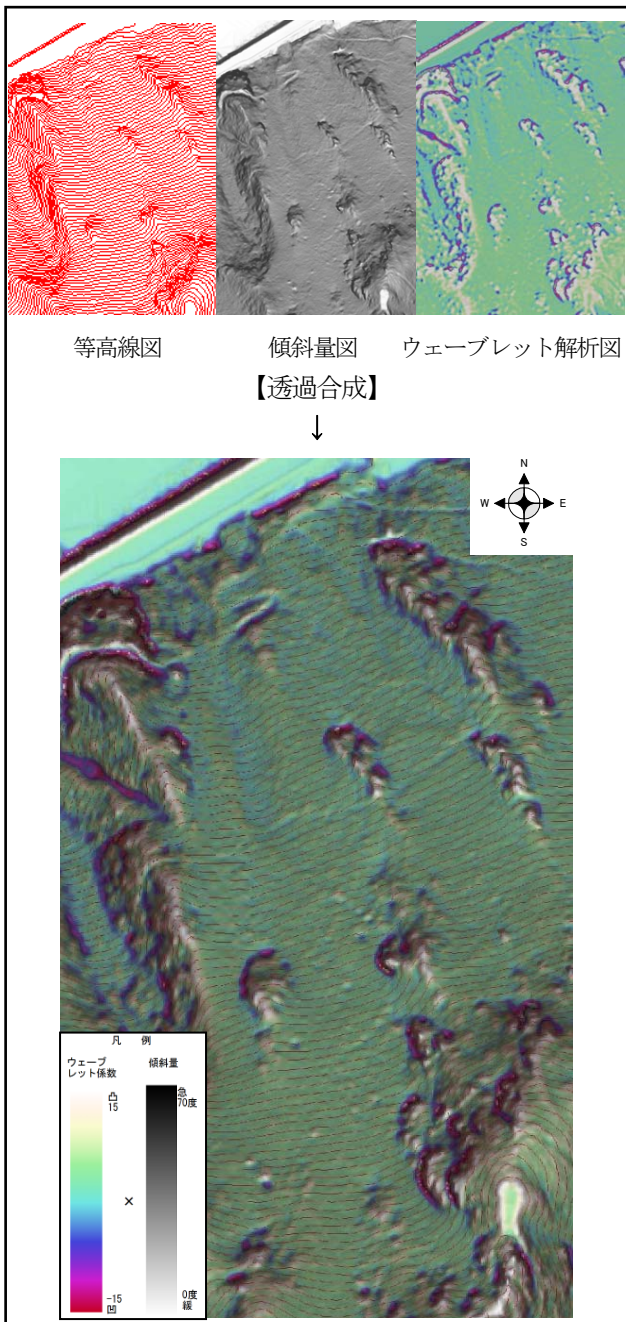


図-6 微地形強調図（傾斜量図+ウェーブレット解析図+等高線図）

過合成して⁴⁾弱点を補い、等高線を重ねることによって斜面の起伏の状態も追加表現する。

落石発生源は、山の斜面に存在する。ウェーブレット解析図を使用することにより、多色のカラーパレットで表現することで、尾根谷の凹凸具合を明確にし、山地のイメージに適した緑色系の着色となり、視覚に訴えることができる。

傾斜量図+ウェーブレット解析図（多色のカラーパレットで表現）+等高線図を微地形強調図と呼び、落石発生源抽出のための高精度図面として本検証に使用する（図-6）。

4. 抽出精度の検証

(1) 検証フィールド

微地形強調図による落石発生源抽出の検証フィールドAとして、岡山県一般国道180号高梁市高倉町田井付近を選定する（図-7）。当現場は、夏季は植生が繁茂し、過去に落石が発生して道路に到達した場所である。検証フィールドAにおいて、2013年に森林基本図を使用して落石発生源抽出調査を実施している。

(2) 計測諸元

道路縦断方向のみの航空レーザ測量では、植生繁茂状況により地表面点群が粗となる懸念があったため、横断方向も計測し、格子状とした（図-8）。

計測密度は、1コース3.5（点/m²）に対し、50%ラップで計測することにより7.0（点/m²）となり、格子状に計測することにより14.0（点/m²）となる。



図-7 検証フィールドA

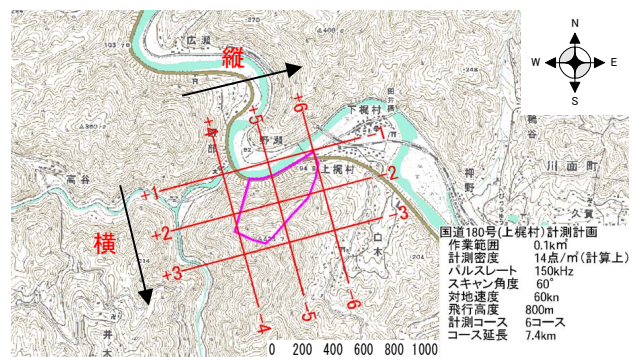


図-8 計測ルート説明図

表-1 航空レーザーデーター一覧表

比較対象面積：168284.194(m²)

ヘリレーザ計測日	時期	計画密度(点/m ²)	オリジナルデータ点密度(点/m ²)	グラウンドデータ点密度(点/m ²)	グラウンドデータ点密度比(夏季冬季)	オリジナルデータ点数	照射数	照射数:オリジナルデータ数	グラウンドデータ点数
2014/10/7	夏季	14	51.496	1.840	1	8,666,033	4,454,825	1:1.94	309,668
2015/12/30	冬季	14	82.755	6.859	3.728	13,926,429	3,912,460	1:3.55	1,154,295

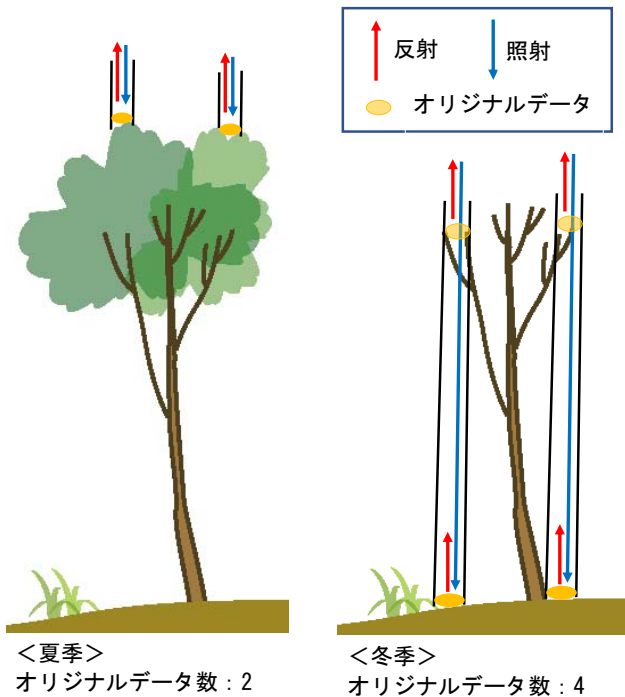


図-9 異なる2時期の植生繁茂状況によるオリジナルデータの差異(左：夏季, 右：冬季)

(3) 異なる2時期の計測データの差異

異なる2時期(植生繁茂状況より時期を設定_夏季:2014年10月7日計測, 冬季:2015年12月30日計測)において, 格子状に計測したオリジナルデータとグラウンドデータに差異があるか検証した。

照射数に対するオリジナルデータ数を調べた。冬季は夏季に比べて, 樹冠より下にレーザー光が到達しやすく, 中間の枝葉や地表面からの反射が増えるためオリジナルデータ数が多くなることがわかった(図-9)。

グラウンドデータについて, 点密度(点/m²)を調べた。夏季は1.84(点/m²)に対し, 冬季は6.86(点/m²)で, 3倍以上となった。冬季の方がより地表面を捉えているといえる(表-1)。

(4) 机上抽出

異なる2時期において, 50cm間隔のグリッドデータから微地形強調図を作成した。

微地形強調図における落石発生源は, 天端部は, 凸地形となっているため, 斜面の傾斜量によって白～茶色傾向で表現される。崖部は, 急傾斜となっているため,

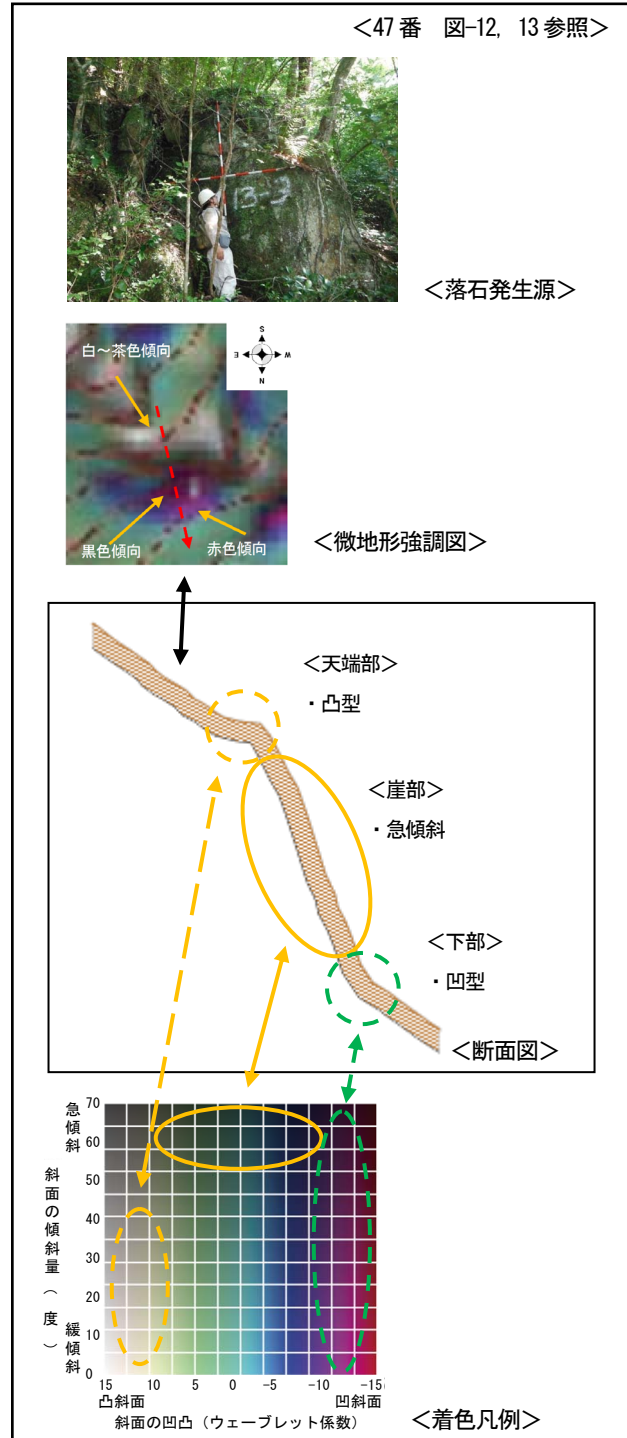


図10 微地形強調図による落石発生源の表示例

黒色傾向で表現される。下部は凹型となっているため, 赤色傾向で表現される(図-10)。これらを考慮し, 机上にて抽出を行う。

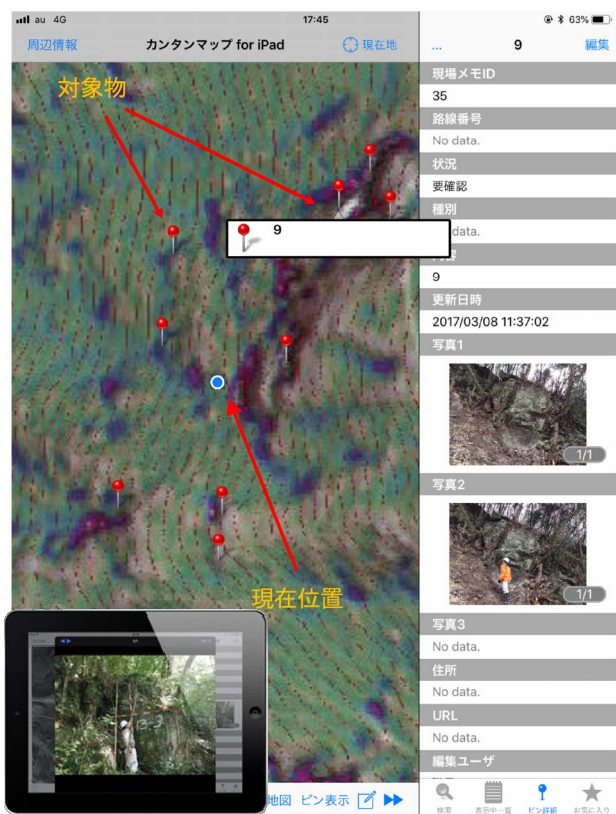


図11 自己位置取得可能端末(左下)とGISイメージ

(5) タブレット (GNSS 機能) を使用した現地踏査

山中では図面のみでの自己位置の把握が困難であり、微地形強調図と実際の落石発生源との相関を確認するには時間を要する。そこで自己位置を取得可能な端末⁵⁾と端末上で微地形強調図(机上抽出済)と自己位置を重ねることができるGIS⁶⁾を用いて現地調査を行った。端末には位置情報に関する機能としてA-GPS (Assisted GPS) およびGNSS (Global Navigation Satellite System) 受信の機能が搭載されている。端末の位置情報で使用するA-GPSは、通常のGPS測位に比べ、比較的受信しやすいGPS時刻のみを利用するため、樹木などで上空視界が開けていない山中においても測位が可能である。

使用したGISのイメージを図-11に示す。落石調査では、図面に加え、カメラや防災カルテ等の既存資料を持ちながらの調査を実施し、現場から戻った後、写真やメモと調査箇所を突合整理することが一般である。現地にて調査箇所にポイント情報を作成し、端末の機能を用いて作成・撮影したメモや写真をポイント情報の属性として自動的に結びつけることが可能となる。⁷⁾

(6) 異なる2時期の微地形強調図による落石発生源抽出の差異

落石発生源(急崖、転石)について、机上抽出結果と現地調査結果の整合性の確認を行った(図-12, 13)。

落石発生源抽出率を表-2に示す。微地形強調図によ

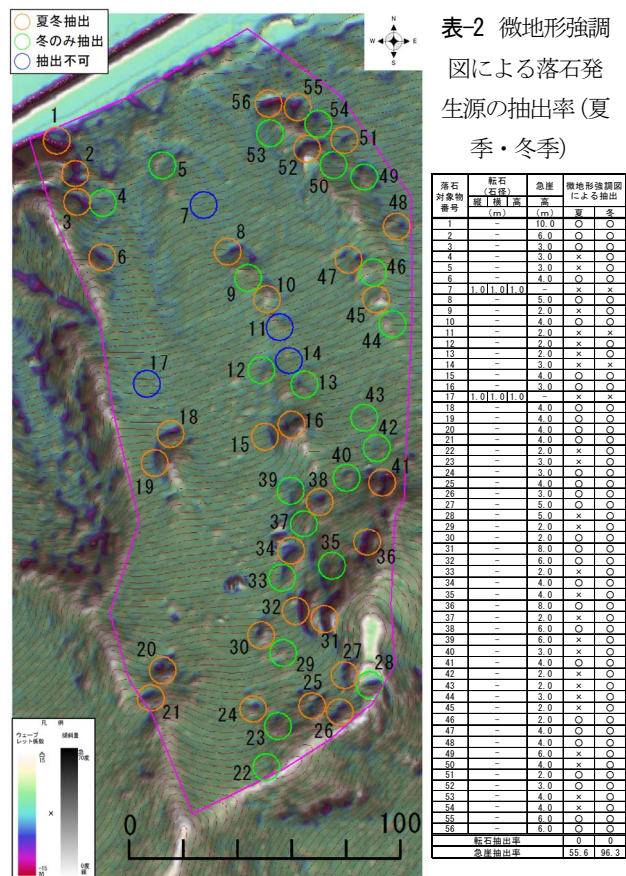


図12 微地形強調図による落石発生源抽出結果(夏季)

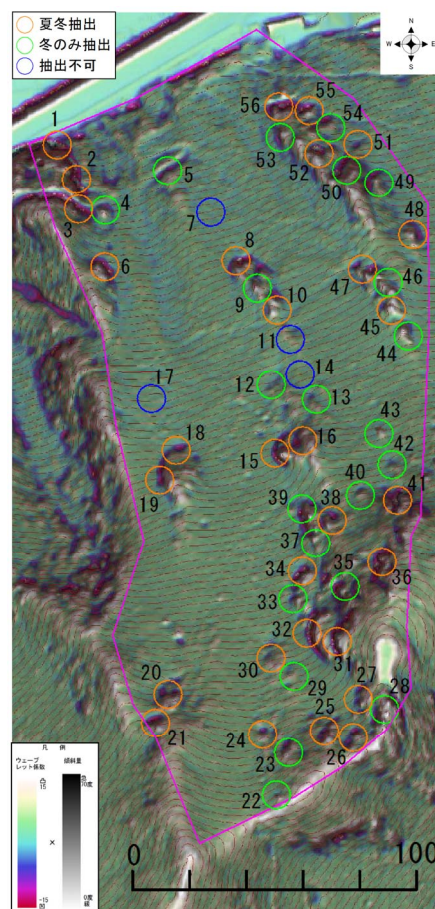


図13 微地形強調図による落石発生源抽出結果(冬季)

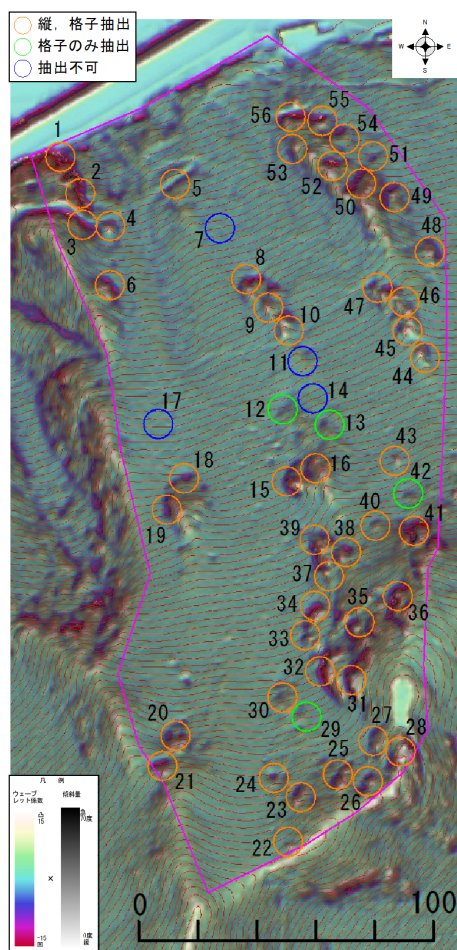


図-14 微地形強調図による落石発生源抽出結果（冬季，道路縦断）

る落石発生源（急崖）の抽出率は，夏季は55.6%に対し，冬季は96.3%となり，冬季においては，ほぼ抽出することができた。落石発生源（転石）は，2.0m角以下であり，夏季・冬季とも抽出できなかった。

(7) 冬季における道路縦断方向計測データと格子状計測データの微地形強調図による差異

異なる2時期（夏季・冬季）の比較では，格子状計測データを使用したのが，通常のレーザー計測業務は，計測延長が長くなれば費用が高くなるため，道路縦断方向のみの計測が一般的である。

そこで，冬季において，道路縦断方向計測データを使用した50cm間隔のグリッドデータから微地形強調図を作成し，落石発生源（急崖，転石）について机上抽出結果と現地照査結果の整合性の確認を行った（図-14）。冬季における道路縦断方向計測データと格子状計測データとの微地形強調図による差異を検証した。

微地形強調図による落石発生源（急崖）の抽出率は，道路縦断方向で88.9%に対し，格子状で96.3%となった。道路縦断方向のグラウンドデータ点密度は，格子状の半分の3.4（点/m²）であるが，抽出率は微減であった。

微地形強調図による落石発生源（転石）は，2.0m角以下であり，両タイプとも抽出できなかった。

冬季に道路縦断方向計測データのみを使用しても，落石発生源（急崖）をほぼ抽出できることがわかった。

5. 結論

異なる2時期（夏季・冬季）の格子状計測データを使用して，微地形強調図により落石発生源の抽出検証を実施し，落石発生源（急崖）については，冬季においてほぼ抽出することができた。落石発生源（転石）については，2.0m角以下が主体であり，夏季・冬季とも抽出できなかった。冬季に計測すれば，落石発生源（急崖）は，ほぼ抽出できることがわかった。また，冬季の道路縦断方向計測データのみを使用することにより，落石発生源（急崖）は，ほぼ抽出できることがわかった。

国道53号等の他現場においても検証を実施し，同様の結果を得ている。

本手法で落石発生源の危険度までは判別できない。危険度を判別する必要がある場合は，必ず現地踏査を実施しなければならない。

今後は，点群データによる落石発生源（急崖）の抽出サイズの数値的検証，グラウンドデータにおける落石発生源抽出漏れの実態検証，道路防災点検のタブレットパッケージ化等に取り組み，落石対策事業に活用したいと考える。

参考文献

- 1) 宮下征士，今西将文，宮田真考，西山哲：高密度航空レーザーデータを使用した微地形強調図による落石発生源抽出の検証，土木学会論文集F3（土木情報学）73巻2号，pp.92-108，2017．
- 2) 公益財団法人日本測量調査技術協会：航空レーザー測量データポータルサイト，<<http://www.sokugikyo.or.jp/laser/>>，(2018.09.16)
- 3) 国土交通省：公共測量 作業規程の準則，2016.
- 4) 国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム：土木研究所資料，航空レーザー測量データを用いた地すべり地形判読用地図の作成と判読に関する手引き(案)，pp.38，2016.
- 5) Apple Inc.：iPad，<<https://www.apple.com/jp/ipad/>>，(2018.09.16)
- 6) あっとクリエーション株式会社：かんたんマップ，<<http://www.at-creation.co.jp/system/map.html>>，(2018.09.16)
- 7) 吉川慶，宮下征士，嶋田幸二，市原学，崎田晃基，鈴木茂之，西山哲：微地形強調図とタブレット端末を用いた落石調査の効率化に向けた基礎的検証，平成30年度（第70回）土木学会中国支部研究発表会発表概要集，pp.318-321，2018.