

(43) 三次元点群データを用いた斜面災害リスクの抽出方法に関する基礎的事項の整理

今西 将文¹・西山 哲²・中村 公一³

¹学生会員 株式会社ウエスコ (〒700-0033 岡山市北区島田本町 2-5-35)

E-mail: m-imanishi@wesco.co.jp

²正会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1)

³正会員 鳥取大学大学院 工学研究科 (〒680-8550 鳥取市湖山町南 4 丁目 101)

近年、著しい普及の兆しを見せる LP データを元に、空間フィルタリングの手法によって微地形を可視化した図面を地形判読や現地踏査に活用しようとする試みが盛んになっている。実務の用に供されるグリッドデータの仕様は 0.5m あるいは 1.0m であることが多いが、実際にどのくらいの大きさの地物まで判読できるのかについて、各種の微地形表現図が作成される仕組みの整理からグリッドデータの品質評価方法と実測データに基づく現地調査結果との比較を通じて検討を試みる。

Key Words: airborne LiDAR, microtopographic map, point cloud data, Voronoi division

1. はじめに

航測 LP データを用いて作成した微地形表現図を用いて地形判読を行なうことは一般的になってきた。従来、道路防災点検では、点検要領（平成 18 年度事務連絡）の中で斜面上の災害要因を抽出するための基準が示されており、主に斜面勾配や高さ、特徴的な地物や微地形について記載されている（表-1）。そして、令和 3 年度に示された道路防災点検要領（案）では、三次元点群データを積極的に活用することが明記され、災害要因の抽出精度の向上に効果を発揮することが期待されている。これらの用に供される点群データとは、地表面を捉えた三次元座標データを任意の間隔で内挿補間したグリッドデータである。近年、実務的に利用される機会の多いグリッドサイズは 0.5m または 1m であり、これは国土院が従来から Web で一般公開している 5mDEM よりも細かいことから、より小さな地物まで判読可能である。しかし、どのくらいの大きさの地物まで判読できるのかについて検討された事例は見当たらない。

このことを検討するためには、次に列挙する①～⑦の事項に関する整理が必要となる。①数値データを可視化表現する空間フィルタの種類と組合せ、②可視化画像の色相表現方法、③グラウンドデータのグリッドサイズ、④抽出対象とする地物のサイズ、⑤後背地形の傾斜度合、⑥後背地形の平滑度合、⑦グラウンドデータの取得度合。筆者らはこれまでの報告¹⁾の中で、①～⑥に関する

表-1 斜面上の災害要因の抽出基準（点検要領より引用・要約）

災害要因	抽出基準
落石・崩壊 (A)	高さ15m以上ののり面・自然斜面、または勾配45°以上の自然斜面。ロックシェッド等の施設上部ののり面・自然斜面、あるいはトンネル坑口上部の斜面を含む。 表層に浮石・転石が存在する箇所。
岩盤崩壊 (B)	岩盤が露出した高さ15m以上、かつ傾斜60°以上ののり面・斜面が存在する箇所。
地すべり (C)	地すべり危険箇所または地すべり防止区域。災害要因の判読で、道路の上部または下部に地すべり地形が認められ、かつ地すべりが発生した場合道路に被害が生じると想定される場合。
土石流 (E)	道路を横断して流下する流域面積1ha以上かつ上流の最急戻床勾配10°以上の渓流で、下記の①②を除く箇所。 ①トンネルで渓流を横断している箇所 ②桁下10m以上、かつ流路幅20m以上の橋梁で横断している箇所

事項を整理してきた。そして現在進めている⑦の事項に関する検討として、グリッドごとのグラウンドデータの存否がグリッドデータが実地形を十分に表現しているかに影響を与えることから、グラウンドデータの存否を考慮したグリッドデータの評価方法について言及した²⁾。本報告では、グラウンドデータの存否を考慮したグリッドデータの評価方法と、実データへの適用、既出報告における現地踏査結果との比較について報告する。

2. これまでの検討

微地形表現図と総称されるものは、様々なものが既に実用化されている。主要なものについて整理（表-2）すると、基本的には、「傾斜の変化に感度が高い特性を持つ図」と「尾根谷の区別が付き易い図」を生成し両者を透過合成するなどして作成されている。例えばこの中で、「(a)傾斜量図」は 3×3 グリッドデータに対して画像処

理分野ではエッジ抽出に使われる Prewitt フィルタと呼ばれる一次微分フィルタの一種を作用させている。「(e) 曲率図」は地表面を曲面とした場合の2階微分として求まる。「(f) ウェーブレット解析図」は、マザーウェーブレットとして与えたメキシカンハット関数の形状に近い地形の凹凸具合の相関を表す。地表の様相や微地形の判別に際しては、フィルターの差異そのものよりも、図面を着色する際の色相の影響が大きい。具体的には、モノクロ画像よりもカラー画像が分かりやすく、青系統よりも赤系統で着色された図面の方が立体感や奥行きを感じやすい傾向にある。また、多色表現にして疑似的に地物との対応付け(情報量)を増やすことでも視認性が上がる。筆者らは主として、土木研究所(2009)³⁾の方法をアレンジし、傾斜量図や最大傾斜量図にウェーブレット解析図を合成し、多色表現のカラーパレットを割当て「微地形強調図」と称して活用している。「微地形強調図」を構成する空間フィルタの性質について確認する目的で、単純な模擬データ(図-1)を作成して試したところ、0.5m メッシュの起伏の無い単斜面上では大きさ0.5~2.5mの地物は、傾斜量図上で斜面勾配が60°程度より大きくなると、周辺一帯が急崖となり斜面そのものと区別し難いことが分かった。一方、ウェーブレット解析図では、周辺の斜面勾配に関係なく、凹凸を抽出できる特徴を有することが分かる。両者を透過合成して作成した「微地形強調図」上で縦横に+2m(4ピクセル分)の範囲が見掛け上強調され、大きさ1m・比高差0.3m程度より大きいと比較的判別しやすいことが確認できた。さらに、地表面に起伏のある場所の実測グリッドデータに模擬地物の比高差を加えて同様に微地形表現図を作成したところ、対象物の抽出・判別の可否は周辺の地形形状の擾乱の具合によることが分かっている。

3. グラウンドデータの評価方法

グリッドデータは、グラウンドデータからTINを作成した後、内挿補間により作成される。このため、グラウンドデータの品質によっては、補間により作成されたグリッドが多くなるため、作成するグリッドサイズを小さくしてもより小さな地物が判読できるようにはならない。ASPRS⁴⁾は、グラウンドデータがない地点のグリッドを周辺のグラウンドデータから補間することはできるが精度はグラウンドデータ間の距離の依存すること、山間部のような複雑な形状の地表面ではグラウンドデータ数は重要であり補間では地表面を正確にモデル化することはできないことを指摘している。しかし、点群密度(点/m²)は、グラウンドデータ間の距離をよく表した情報とは言えない。図-3は、単位面積にグラウンドデータ

が配置されている模式図である。図-3a)は1点/m²、図-3b)と図-3c)はどちらも4点/m²となる。しかし、これらの図から0.5mのグリッドデータを作成した場合、図-3c)

表-2 微地形表現に利用する空間フィルタの事例

	尾根・谷の区別が付きやすい図						標高変化が 分かりやすい図
	(c) 尾根谷度図 (地上開度+反 転地下開度)	(d) 曲率図	(e) ラプシアン 解析図	(f) ウェーブレット 解析図	(g) 陰陽元図 (平均地形- 元地形)	(h) 起伏量 (接線面-接 谷面)	
傾斜量図 (a)	赤色立体地 図 [アジア航測 機・特許]	CS立体地 図 [長野県林業 総合センター の方法]		[土木研究所 の方法]			ELSAMAP [国際航業 機・特許]
傾斜量 の変化に 敏感が高い 図 (b)				微地形 強調図			
傾斜量 図 (c)					陰陽図 [朝日航洋 機・特許]		
傾斜量 図 (d)						多重光源陰 影段彩図 [株式会社地 研・特許]	

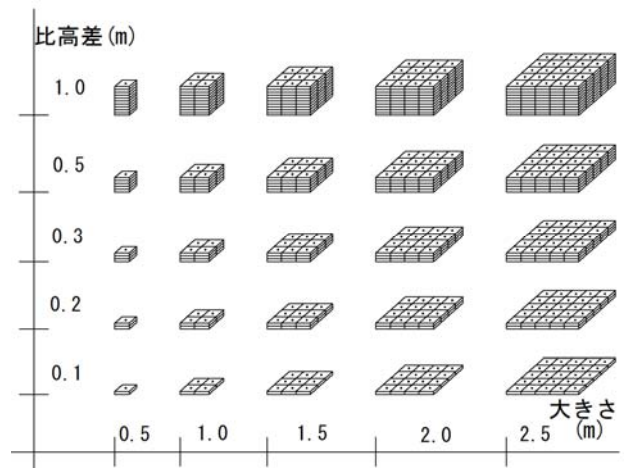


図-1 模擬地物(特定のグリッドに比高差を付与)

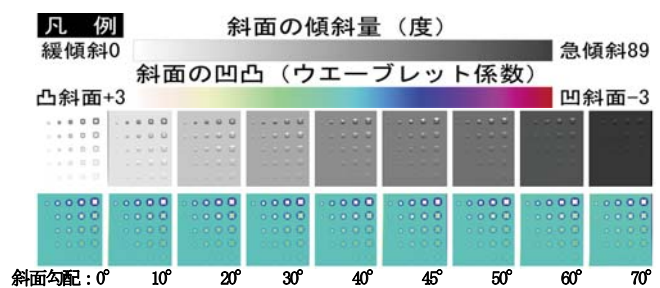


図-2 傾斜量図(上)とウェーブレット解析図(下)

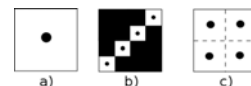


図-3 グラウンドデータ分布と点群密度⁴⁾

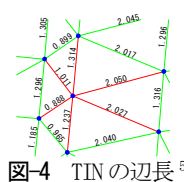


図-4 TINの辺長⁵⁾

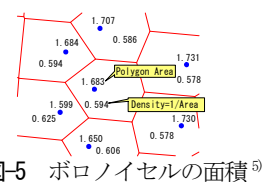


図-5 ボロノイセルの面積⁵⁾

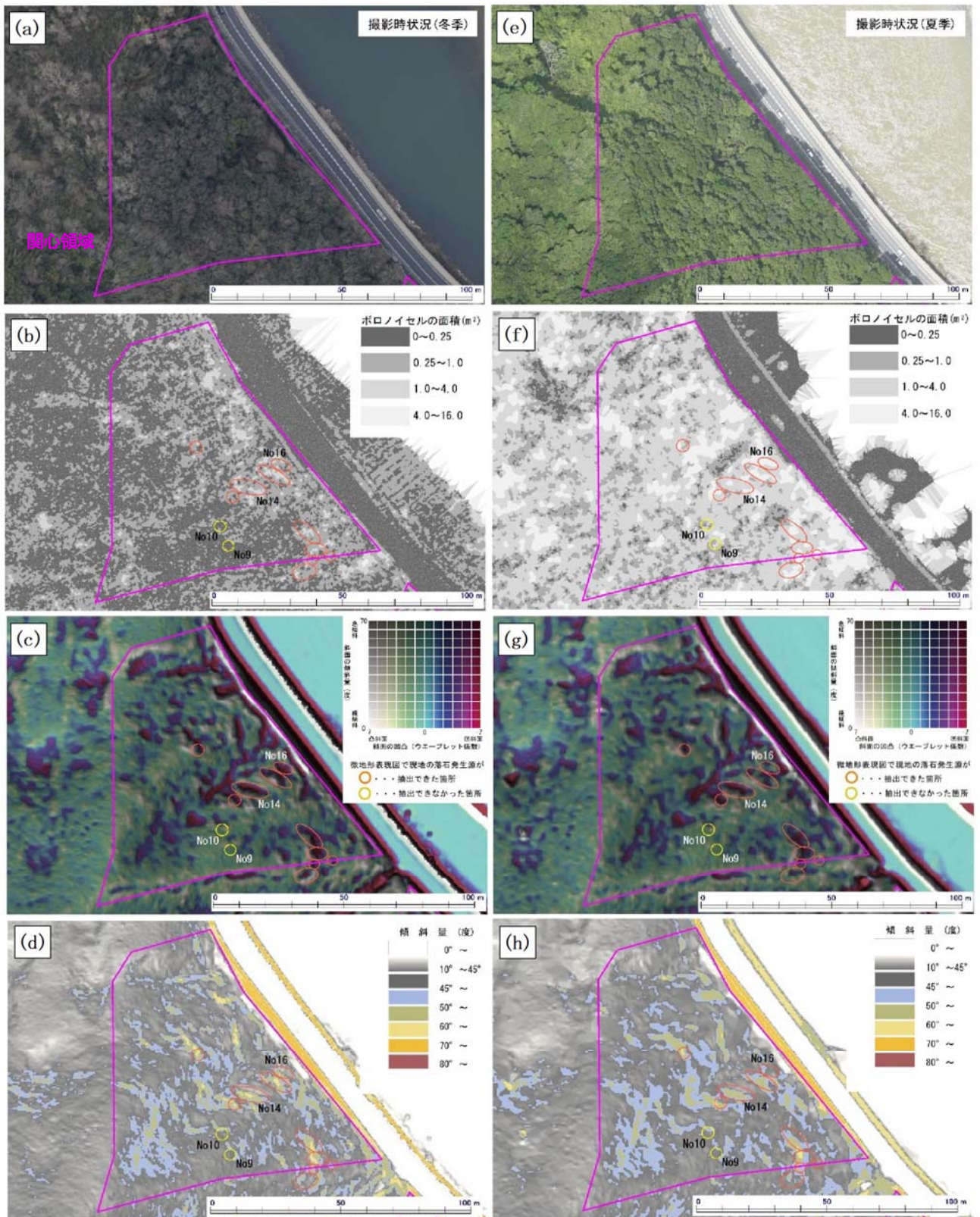


図-6 対象現場の異なる二時期のオルソ写真(a・e), グラウンドデータのボロノイ図(b・f), 微地形強度図(c・g), 傾斜分布図(d・h)



図-7 落石発生源の現況写真⁹⁾ (一部抜粋・加筆)

は全てのグリッドにグラウンドデータが含まれるが、**図-3b**はグラウンドデータがないグリッドが存在し、そのグリッドは周辺のグラウンドデータから補間されて作成される。このように点群密度が同じでも補間により作成されたグリッド数は異なる。一方、点群密度以外のグラウンドデータの評価方法として、ひとつは、グラウンドデータから作成した TIN を用いて、着目するグラウンドデータが含まれる TIN 全ての辺長から最大辺長を求め、これを着目点に付与して評価する方法がある (**図-4**)。グリッドサイズが 0.5m でありグラウンドデータが理想的であれば、辺長は 0.5m または約 0.71m となる。これと異なれば歪な TIN が多いことが考えられる。もうひとつは、TIN をボロノイ分割し、着目するグラウンドデータにボロノイセルの面積、または面積の逆数を情報として与え評価する方法がある (**図-5**)。グリッドサイズが 0.5m でありグラウンドデータが理想的であれば、ボロノイセルの面積は 0.25m² となる。これと異なれば、グラウンドデータの分布に偏りがあると考えられる。本報告では、ボロノイ分割を用いた方法による検討を行った。

4. 実測データへの適用

検討対象は、岡山県内の一般国道 180 号のカルテ対策箇所異なる二時期 (冬季と夏季) のグラウンドデータである。計測は、10 点/m² のレーザー照査密度で計画されたが、樹冠の繁茂状況によりグラウンドまで到達したパルスの密度は単純な面積割で、関心領域において、冬季 (**図 6-a**) で 6.5 点/m²、夏季 (**図 6-e**) で 1.1 点/m² である。グラウンドデータを元にボロノイセルを作成して (**図 6-b, 6-f**)、関心領域に占めるその面積 A(m²) の割合を算出すると①A ≤ 0.25, ②0.25 ≤ A < 1.0, ③1.0 ≤ A < 4.0) の順に、冬季 (①30%, ②65%, ③5%), 夏季 (①5%, ②20%, ③65%) となった。この結果はから、冬季のグラウンドデータから作成できるグリッドデータの実質的なスペーシングは 1m 間隔相当、夏季のそれは 2m 相当と言って良いと思われる。一方、**図-6c, 6g** に示すのは、0.5m 間隔で作成したグラウンドデータから作成した微地形強調図である。宮下ら(2017)⁶⁾は、冬季の計測データから作成した微地形強調図を用いて現地踏査を行い、このエリアで 2m 以上の落差がある落石発生源は 100% 抽出でき、2m 未満のものについては 66% だったとしている。対象 No9・10 の場所は比高差 2m 未満の崖が現地に存在し (**図-7**) グラウンドデータの取得密度は高い (**図-6b**) もの、微地形強調図による机上抽出が不可能だったとされている(**図-6c**)。他方で、対象 No16 の場所は比高差 2m 未満でも机上抽出できているがグラウンドデータの取得密度は必ずしも高くない。さらに、対象

No14 の場所を例にすると比高差 3m の崖で、冬季および夏季についてもグラウンドデータの取得密度は高くないが (**図-6b, 6f**) 微地形強調図によれば、崖全面の特徴的な凹地形を表現している。これらは、現地対象物の単純な比高差だけでなく、周辺場を含めた対象物の大きさや広がりや影響していることが考えられる。また、災害要因の抽出基準値を傾斜区分の閾値として表した傾斜分布図によれば、冬季・夏季の二時期において顕著な差は目立たず、実質 2m 程度の解像度でもって同等以上の連続性のある崖地形が当然に表れたものといえる。

5. まとめ

ボロノイ分割を用いたグラウンドデータの存否を考慮したグリッドデータの実質解像度の考察方法を示した。グリッドに 1 点以上のグラウンドデータがあることが理想的であるが、これを保証しようとするとは実際にはコストや現場条件などの問題から困難である。同じ図幅の中でも実質的な解像度には部分的な差があることを前提に、元となるグラウンドデータの存否を、視認性の良いかたちで付加することや、フィルター性能の例示機能を GPS 付モバイル機器等に実装することで、現地踏査や点検の際に意識的なスクリーニングや確認を行えるようにするのが現実的な対応のひとつと考える。また、見逃しの無いリスク抽出を目指し、転石等を念頭に判別可能な地物サイズの定量化に関する検討をさらに進める予定である。

参考文献

- 1) 今西将文, 西山哲, 中村公一: LP 計測データの可視化に利用される各種空間フィルタの特性比較, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.46, pp.241-244, 2021.
- 2) 中村公一, 今西将文, 西山哲: 三次元点群データを用いた斜面災害リスクの抽出方法に関する基礎的事項の整理, 砂防学会研究発表会概要集, Vol.89, pp.89-390, 2022.
- 3) 独立行政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, 地すべり地における航空レーザー測量データ解析マニュアル(案), pp.11-12, 2009.
- 4) Sergejs KODORS: Point Distribution as True Quality of LiDAR Point Cloud, Baltic J. Modern Computing, Vol.5, No.4, pp.362-378, 2017.
- 5) Naus, M.T.: Lidar Density and Spacing Specification Version 1.0. Retrieved July 23, 2017, <http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/Naus.pdf>
- 6) 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), Vol.73, No.2, pp.92-108, 2017.