(7) レーザ計測による三次元点群密度と地形判読精度の関係について

菊地　輝行[1]・秦野　輝儀[2]・西山　哲[3]

[1]正会員　株式会社開発設計コンサルタント　地質事業部（〒101-0021 東京都千代田区外神田 2-16-2）
E-mail: kikuchi-t@jpde.co.jp

[2]非会員　電源開発株式会社　土木建築部（〒104-8165 東京都中央区銀座六丁目 15-1）
E-mail: Teruyoshi_Hatano@jpower.co.jp

[3]正会員　岡山大学大学院　環境生命科学研究科.（〒160-0004 岡山県岡山市津島中 3-1-1）
E-mail: nishiyama.satoshi@okayama-u.ac.jp

地すべり・崩壊の調査や予察を高度化させるには，詳細な地形情報の取得が重要である．航空レーザ計測は有人回転翼だけでなく無人機によっても行われ，計測精度の向上が著しい．一方，得られた三次元点群データを用いて地形判読を実施が行われている．地形判読できる微地形と三次元点群データの精度について比較・検討することは計測計画を立てる上で重要である．本研究では，4 時期に実施された岩盤崩落箇所において，計測機材・計測精度と地形判読できた微地形について検討を行った．その結果，点密度 4 点/m^2 程度で緩斜面における小崖 0.3m が検出できることが判明した．また点密度 60 点/m^2 以上の場合には急傾斜中の小崖 0.4m の検出も可能であることが判明した．

Key Words: *landslide, micro-topography, LiDAR, UAV*

1. はじめに

地すべり・崩壊の調査については，災害発生後の事例が報告されているが，発生前の地形は取得されていないため論じることは多くない．しかし近年では国や地方自治体による航空レーザ計測が実施され，数値標高モデル(DEM, Digital Elevation Model)などの三次元点群が取得されている．特に UAV(Unmanned aerial vehicle)によるレーザ計測では，DEM によるメッシュは 10cm 間隔となり，高精度な三次元点群取得が可能となった．

得られた三次元点群は，特定の形状を強調化した特性図が活用されて単なる等高線図ではなく，多様が表現が可能となった[1) 2) など]．一方，地すべり・崩壊を示す地形は，空中写真判読による判読手法[3) など]により実施されている．この手法は，経験に依存し定量的な判断はなされない．これに対して，DEM による画像を用いて AI による地形判読[4)]や，崩壊地の崩壊前地形の学習事例[5)]など，定量的で網羅的な判読手法が採用されている．

一方，取得された三次元点群については，地形の種類やその規模を正しく表現しているかについて検討が必要である．そこで本研究では異なる時期に実施された回転翼有人機による航空レーザ測量，UAV レーザ計測結果を用いて判読可能な微地形の抽出を行い，計測機材や機材の精度の違いとの検証を行った．

2. 対象箇所

対象箇所は，静岡県西部の赤石山地の南端部の天竜川に面する急斜面である中部地方に位置する貯水池に面する斜面を対象にした．既存の調査[6)]によれば，天竜川の右岸側に位置し，幅 250m，比高約 70m，平均傾斜角

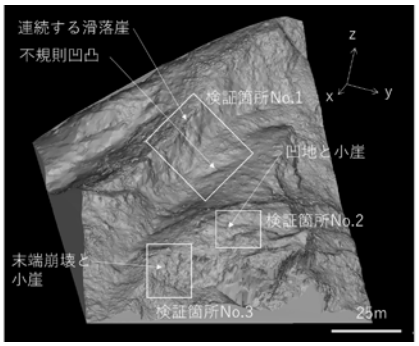

図-1　調査対象エリアの全景（鳥観図）

表-1　航空レーザ計測の諸元

Type	I	II	III
飛行機材	有人回転翼	有人回転翼	UAV
使用機器	Riegl Q560	Riegl Q680	Riegl VUX
測定方式	タイムオブフライト，波形記録		
測定レート	240,000Hz	400,000Hz	500,000Hz
対地高度	約 450m	約 450m	約 80m
スキャン角	±30 度	±30 度	±120 度
計測精度	±20mm	±20mm	±10mm
ビーム広がり角（*）	＜0.5mrad (225mm)	＜0.5mrad (225mm)	＜0.5mrad (40mm)

*対地高度から算出した直径（フットプリント）

表-2　航空レーザ計測の諸元（解析範囲のみ）

計測	Type	実施日	Points (個数)	面積 (m^2)	点密度 (点/m^2)
第 1 回	I	2013/12/6	28,606	6,300	4.5
第 2 回	II	2015/12/29	58,434	6,559	8.9
第 3 回	III	2016/6/1	518,519	8,813	58.8
第 4 回	III	2016/12/7	855,792	8,820	97.0

40°である．図-1 に示す調査範囲の斜面上部は，西南日本外帯の三波川帯の結晶片岩の急崖があり，その下部には岩屑からなる崖錐堆積物が分布している．豪雨や地震により岩盤ブロックは，不安定化が進行し崩壊が発生する．これら崩壊ブロックは崖錐堆積物の上部に堆積し崖錐堆積物の傾斜角度が大きくなり不安定化する．

3.　解析手法

航空レーザ計測は表-1 に示すように有人回転翼が 2 種類と UAV の 3 タイプである．計測時期は，表-2 に示す 2013～2016 年に撮影された 4 時期である．解析は，ノイズおよび植生除去を行い，グラウンドデータを作成した．グラウンドデータは，グリッド化して DEM を作成して傾斜量解析[7] を行う．解析結果は，グラウンドデータを構成する各点群に傾斜量を示す色調を反映した．この三次元点群は，点群解析ソフト“クラウドコンペア”により三次元表示して地形判読を行った．

4.　解析結果

(1)　航空レーザ計測データの精度

航空レーザ計測の精度は，表-1 に示すように，有人回転翼と UAV ではレーザ機材はほぼ同様であるが，対地高度が異なるためフットプリントに差が出る．表-2 では第 1 回目と第 2 回目の点密度は 4.5，8.9(点／m^2）であった．一方，第 3 回，第 4 回の無人機では約 6～20 倍の密度 58.8，97.0（点／m^2）である．この増加は，対地高度が低いこと，スキャン角が広くなっていることが原因である．一方で無人機にはバッテリーの問題や高度が低いことによる GNSS(Global Navigation Satellite System)機材の精度確保の課題もある．

(2)　地形判読結果

地形判読は，最も高密度に計測を行った第 4 回計測結果を基本に実施した．その後，第 1 回～第 3 回のデータでそれぞれ検証を行った．判読で着目すべき微地形は，地すべり・崩壊発生で生じる滑落崖，側方崖，小崖の他，重力変形で認められる不規則凹凸，地下水の噴出による痕跡であるガリーに着目した．以下に 3 つの箇所に分けて詳細を示す．

箇所 No.1 では，図-2 に示すように明瞭な滑落崖と不規則凹凸が分布している．地表踏査結果からはトップリングにより卓越した高角度亀裂が発達しており，緩斜面において不規則凹凸が出現していることがわかっている．滑落崖は明瞭であり，第 4 回計測では図-3 に示すように 14.11m の段差が確認できている．一方，第 1～3 回の計測結果でも類似した段差量を検出しており，計測機材の

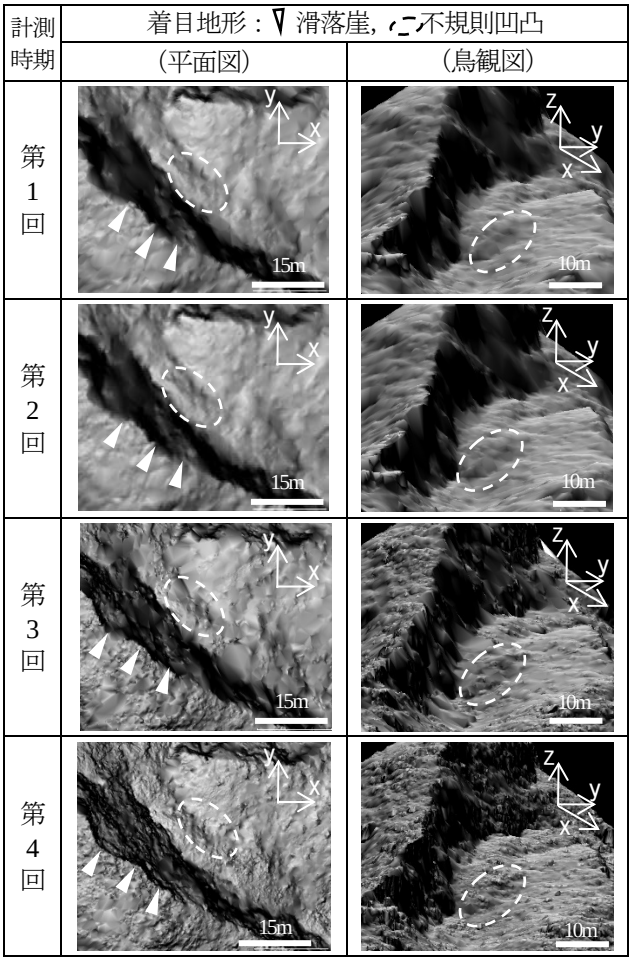

図-2　箇所 No.1 における微地形分布

違いによる差異はない．一方，不規則凹凸の起伏は，第4回で標高差0.99m(不規則凹凸a)，0.38m(不規則凹凸b)の段差が確認でき，第3回でもほぼ同等であった．一方，

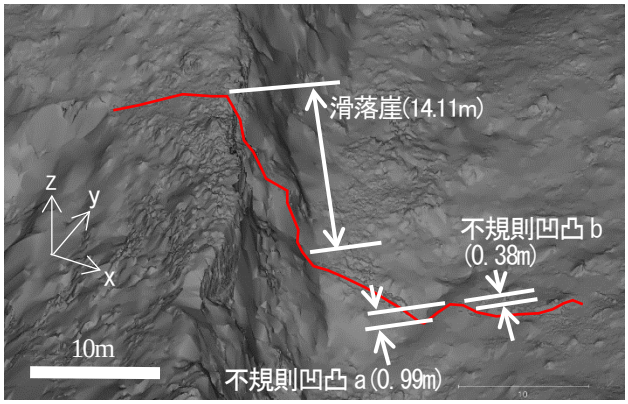

図-3　箇所No.1，第4回計測における拡大鳥観図
（赤点は計測に用いた断面位置）

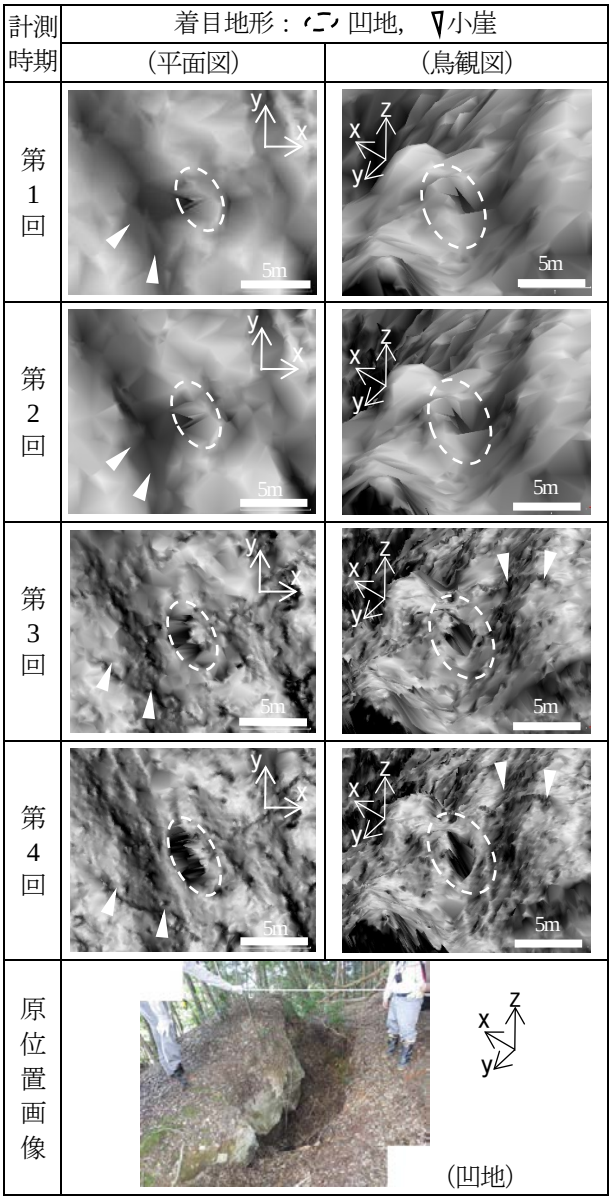

図-4　箇所No.2における微地形分布

第1回，第2回でも数値にばらつきはあるものの標高差は確認できており，判読にも影響はない．

箇所 No.2 では，図-4 に示すようにトップリングの岩盤ブロック間に分布する凹地である．地表踏査の結果では，深さ1.5m，長さ2m，幅1.5mの段差が確認できた．また周辺には延長 4mほどの小崖が認められる．凹地については第1，2，4回の計測でほぼ同等の1.72～1.81mの深さが検出できている．第3回の計測では凹地の底に点群が到達しておらず，標高差が小さい．小崖の標高差については，第3回と第4回では0.41mおよび0.35mと類似した値となった．第1回と第2回は小崖が分布することは，視覚的には認識できるものの，遷急線・遷緩線が明瞭でないため，標高差を算出していない．

箇所 No.3 では，図-5 に示す岩盤崩壊を示唆する急斜面の上位に認められる小崖を対象とした．このような小崖は，将来的な崩壊進行を示唆する．この小崖の段差の規模（標高差）と伸展を確認することは，今後の不安定化を把握でき重要である．標高差は，図-6 に示すように，第4回の計測結果で，0.42mであった．第3回は0.33mでありほぼ同等であった．第2回では極めて不明瞭であるが，平面図において遷急線の存在が確認できている．第1回は，遷急線の存在自体が確認できなかった．

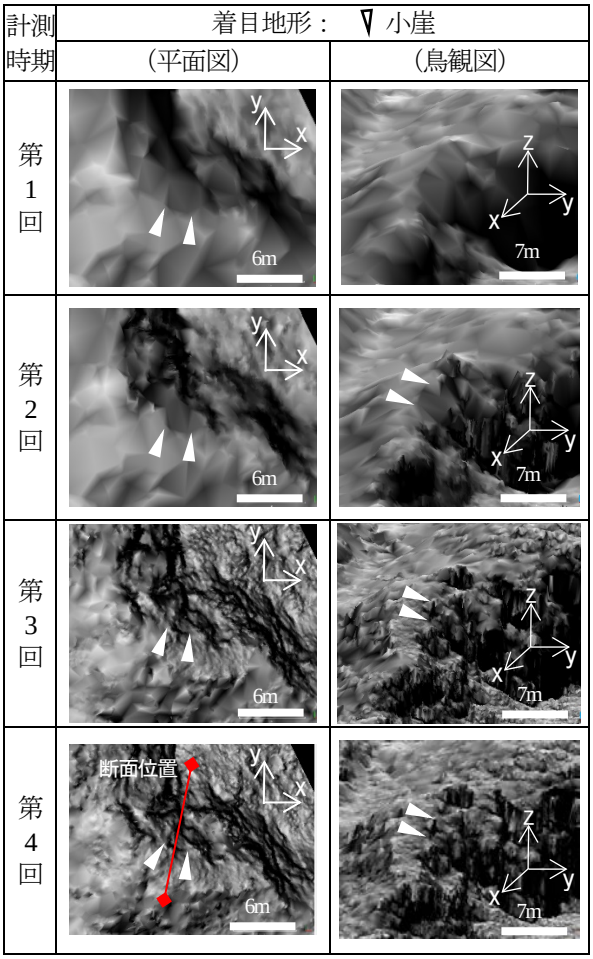

図-5　箇所No.3における微地形分布

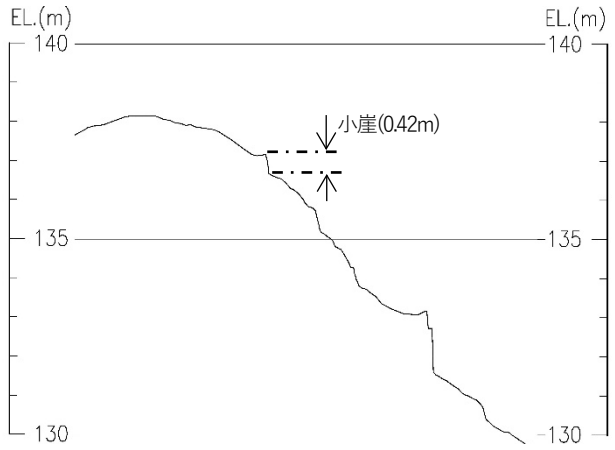

図-6　箇所 No.3 の小崖の断面形状

表-3　判読結果のまとめ

No	第1回	第2回	第3回	第4回
Type	I	II	III	III
点密度 (点/m²)	4.5	8.9	58.8	97.0
No.1 滑落崖	○ (13.86m)	○ (12.56m)	○ (13.89m)	○ (14.11m)
No.1 不規則凹凸 a	○ (0.86m)	○ (0.88m)	○ (0.86m)	○ (0.99m)
No.1 不規則凹凸 b	○ (0.19m)	○ (0.35m)	○ (0.34m)	○ (0.38m)
No.2 凹地	○ (1.80m)	○ (1.81m)	○ (0.85m)	○ (1.72m)
No.2 小崖	△	△	○ (0.41m)	○ (0.35m)
No.3 小崖	×	△	○ (0.33m)	○ (0.42m)

5.　議論とまとめ

地すべり・崩壊の予察に重要な微地形について，異なる計測機材で判読が可能かの検討を行った結果を**表-3**に示す．評価は3段階に分けた．○は微地形として認識でき，規模が把握できたものである．規模は，三次元点群の代表的な点間（標高差）を算出した．△は地形として認識できるもので，主に遷急線として認定できる．ただし規模の算出はできない．×は地形として認識できないものである．

この結果，点密度は4点／m²あれば概ね0.3m程度の標高差を有する微地形を把握できることを確認した．今回認められた不規則凹凸は急傾斜地ではない箇所で分布していたことも形状を把握する一助となった．一方，箇所 No.3 の高さ 0.4m 程度の小崖は急傾斜地に分布している．このため有人回転翼は，UAV は高度が高くフットプリントが多くなり，さらにスキャン角度が狭いことが，点群データ取得の妨げとなったと考えられる．

結論は，有人回転翼を用いて点密度4点／m²程度であれば，標高差 0.3m 以上の標高差を有する滑落崖や小崖を確認できる．ただし，急傾斜地や植生の濃い箇所では，見落とす可能性も含んでいる．また，岩盤の正確な形状をとらえる必要がある場合には，UAV を用いて計測することで，点密度 60 点/m² と高精度化でき，急傾斜中の小崖 0.4m の検出も可能であることが確認できた．

参考文献

1) 千葉達朗，鈴木雄介: 赤色立体地図－新しい地形表現手法－，応用測量論文集，Vol.15，pp.81-89，2004.
2) 佐々木寿,向山栄：地形判読を支援する新しい地形表現方法の開発とその利用,応用地質，No.49-6，pp.318-330，2009.
3) 大八木規夫：地すべり地形の判読法－空中写真をどう読み解くか－，pp.7-20，近未来社，2007.
4) 高山陶子，濱田耕平，花井健太，織田和夫，角田里美：ディープラーニングと赤色立体地図を用いた微地形自動判読手法の検討，第 67 回平成 30 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.698-699，2018.
5) 菊地輝行，崎田晃基，秦野輝儀，吉川慶，西山哲，大西有三：深層学習による崩壊・非崩壊地の自動判読手法の開発, 地すべり学会誌，vol.57，No.5，2019（in press）.
6) 菊地輝行，秦野輝儀，千田良道，西山哲：三次元点群データを用いた急斜面の維持管理における概要調査，地すべり学会誌，vol.55，No.2，pp.65-71，2017.
7) 岩橋純子：ディジタルフィルタを用いた数値標高モデルの地形解析，情報地質，Vol.3，No.1，pp.31-37，1992.