

UAV搭載型レーザスキャナを活用した 砂防堰堤の設計について

西島 権¹・野村 雅俊²

¹和歌山県 県土整備部 砂防課 (〒640-8585和歌山県和歌山市小松原通一丁目1番地)

²株式会社 日進コンサルタント 設計課 (〒644-1122和歌山県日高郡日高川町高津尾1077) .

現在、建設現場の抜本的な生産性向上を目指して、i-Constructionの導入が全国的に進められている。特に、国土交通省では調査・設計の段階からBIM/CIMモデルの導入が図られており、直轄砂防事務所で実施されたCIMモデルによる砂防堰堤の設計事例が、砂防学会誌等で報告されている。和歌山県砂防課においてもこの技術に注目し、地すべり対策の調査解析にCIMモデルを導入するとともに、砂防事業への活用も検討している。今回は、砂防堰堤の調査設計において、UAV搭載型のレーザスキャナにより取得した地形データと従来の地形測量について、省力化等の比較を行ったので報告する。

キーワード UAV搭載型レーザスキャナ，地形測量，作業効率

1. はじめに

和歌山県には土石流による土砂災害のおそれのある土砂災害警戒区域が5,504箇所存在し、現在、砂防事業により土石流対策を実施している。事業の進め方としては、既存の砂防基盤図や森林基本図等を用いて現場調査を行い、流域概要図を作成した上で基本量を決定し砂防全体計画を策定した後、地形測量、地質調査そして詳細設計を実施している。

現在、国土交通省では、i-Constructionの一つとして、調査・設計段階からBIM/CIMモデルの導入が図られており、本県砂防課としてもこの技術に注目し、地すべりの調査解析や対策施設配置計画検討のための地すべりCIMを開発し、今後、例えば時間軸を持った地下水面の変化等を把握したうえで対策工の配置計画を策定したいと考えるとともに、砂防全体計画の策定や砂防堰堤の詳細設計へのCIMモデルの導入を検討している。

今回、その第一段階として、本県の土石流のおそれのある溪流の流域面積が平均約0.10km²と小さい点に着目し、砂防堰堤の設計業務にUAV搭載型レーザスキャナにより取得した地形データを試行的に活用したので、測量調査設計業務の効率化等の影響や今後の課題等について報告する。

対象流域として、UAV搭載型レーザスキャナを所有する株式会社日進コンサルタント (<https://nisshincon.com/>) が砂防堰堤詳細設計業務を受注した和歌山県日高郡日高川町山野地内の岡の谷川 (流域面積0.04km²) を選定した。流域および溪流の状況を写真-1に示す。

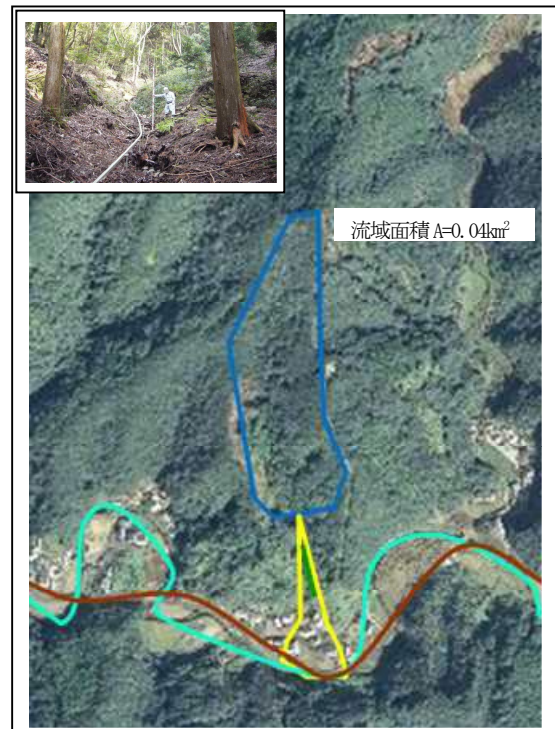


写真-1 流域と溪流の状況

2. 対象流域の概要

3. 使用した機器の性能

地形データ取得のために使用した機器の性能を下記に示す。

- UAV : YELLOWSCAN 社製 VX-15+
- レーザセンサ : RIEGL社製 Mini VUX-2 UAV
- IMU : Applanix社製 APX-15 測位精度 (m) 0.02~0.05
- 計測精度 : 5cm
- 計測点数 : 200,000点/秒
- 取得パルス : 5エコー/1sec
- システム重量 : 2.6kg
- 連続航行可能時間 : 20分



写真2 業務で使用した機器 (UAV)

4. UAVレーザ測量

岡の谷川の砂防全体計画の策定と砂防堰堤の設計に当たり、流域の地形状況を把握するため、UAV搭載型レーザスキャナを用いて流域全体の3次元点群データを取得した。データの取得に際しては、国土地理院のUAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）を準拠し、2点の調整点と2点の検証点の計4点を谷出口部に設置したうえで測量を実施した。

UAVレーザ測量の手順をフローチャートにまとめたものを図-1に示す。

UAVレーザ計測に際しては測定する点密度等の仕様を策定するために、3次元点群データの使用目的を決定することが必要であるが、今回は、この測量手法と従来の地形測量を比べた場合の有効性等の確認を行うことを主な目的としたため、砂防全体計画において堰堤に求められる機能（計画捕捉量や計画発生抑制量等）を決定できるレベルを目標とした。

このため、取得する地図情報レベルとしては、公共測量マニュアル（案）の地図情報レベル1,000（取得するオリジナルデータの点密度が100点/㎡）を目標とし、岡の谷川流域全体において点群データの取得を行った。結果としては、796点/㎡のオリジナルデータと3.8点/㎡の

グラウンドデータを取得した。点密度としては、作業計画で策定した仕様を満足するとともに、主曲線間隔1mの等高線データを作成する場合に標準的な値である概ね4点/㎡に近いデータを取得した。また、このUAVレーザ計測（外業）に要した時間は3人日であった。

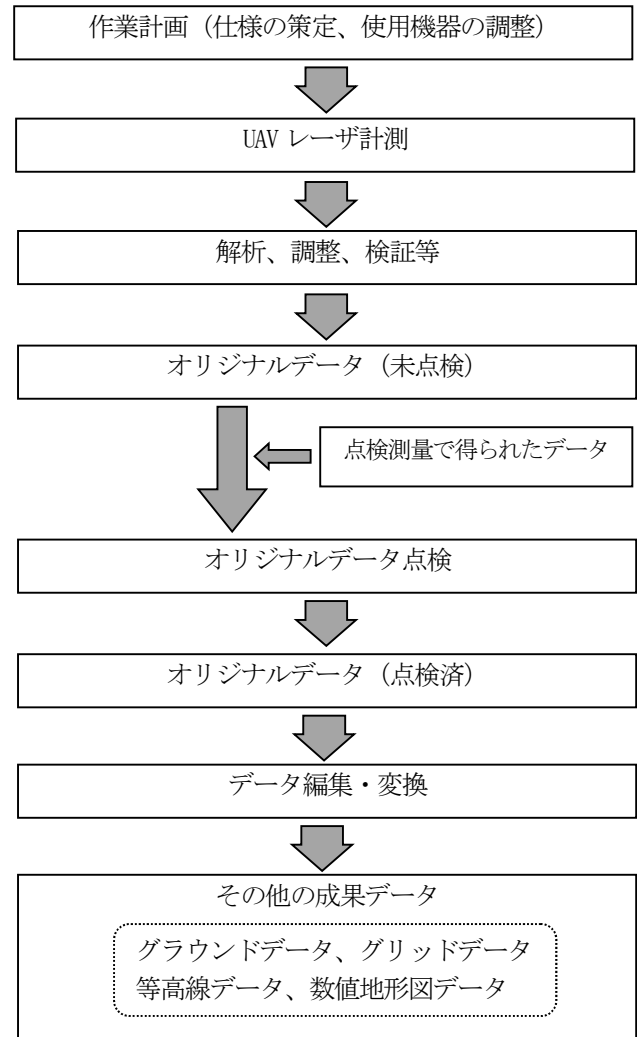


図-1 UAV測量の手順

UAVレーザ計測後、内業に移行し、上記手順に従い、解析、調整、検証等および点検を実施し、点検済みのオリジナルデータを作成した。レーザ計測後、点検済みのオリジナルデータ作成までに要した日数は1.5人日である。

その後、4人日をかけてオリジナルデータの編集・変換を行うとともに、UAV航空写真データと合わせて、グラウンドデータ、グリッドデータ、等高線データを作成した。

3次元に作成したグラウンドデータと等高線データの成果を図-2および図-3に示す。今までの砂防基盤図等と比べて、両データの成果の重ね合わせによって流域を囲む山地斜面の微地形がより明確に把握できることから、地すべり地形を有するような流域の場合、UAVレーザ測

量は砂防全体計画の策定や砂防堰堤の配置計画の検討に有効な手段であると考えられる。

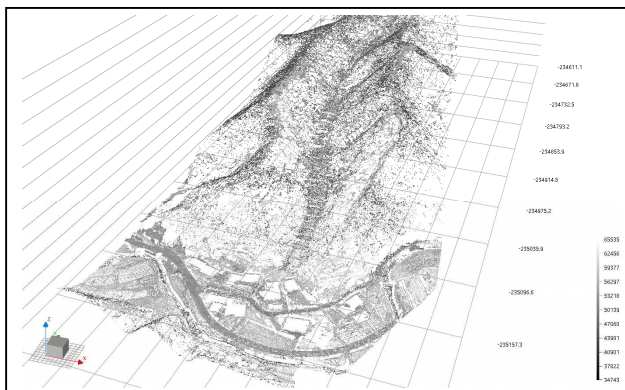


図2 グラウンドデータ

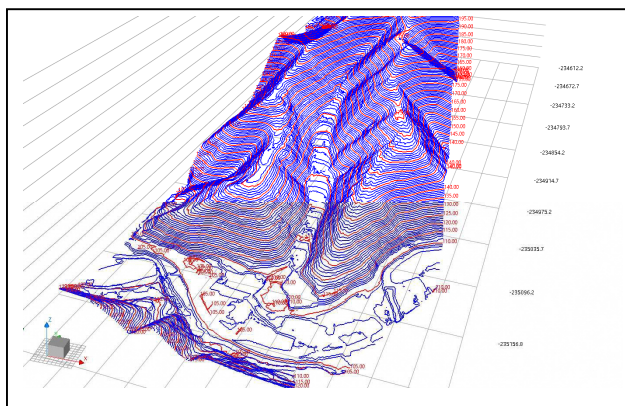


図3 等高線データ

5. 従来の地形測量との比較と考察

岡の谷川の詳細設計に当たっては、従来どおりに別途測量業務を発注し、その成果品をベースとして設計することとしていた。UAVレーザ測量は面的に地形を計測するものであることから、従来から平面図の作成に用いられている現地測量と比較を行った。

現地測量については、測量法第34条で定められる作業規程の準則第122条では、「地形は、地性線及び標高値を測定し、図形編集装置によって等高線描画を行うものとする」また「標高点の密度は、地図情報レベルに4cmを乗じた値を辺長とする格子に1点を標準とし」と規定されており、平面座標値の数については規定されていない。また標高点密度については、地図情報レベル500の場合、1点/400㎡となる。

測量業務の受注者への聞き取りの結果、岡の谷川の現地測量では、4級基準点を10点設置した後、砂防設備の設置に必要な面積0.021km²の範囲において、地図情報レベル500の地形図（平面図）を作成するためにトータルステーション（TS）を用いて実施され、4,000点の平面座標値と標高値が計測された。また、これらのデータの計測に要した外業日数は80人日、地形図の作成に要

した内業日数は40人日であった。

UAVレーザ測量による等高線データと現地測量による地形図の作成との比較を表-1に示す。

表-1 UAVレーザ測量と現地測量の比較

比較項目	UAVレーザ	現地測量
基準となる点の数 (基準点・調整点・検証点)	調整点2点 検証点2点	基準点10点 (4級)
点密度 (平面座標値)	796点/㎡ (オリジナル) 3.8点/㎡ (グラウンド)	0.19点/㎡
点密度 (標高値)	796点/㎡ (オリジナル) 3.8点/㎡ (グラウンド)	0.19点/㎡
外業に要した人日数	3.0人日	80.0人日
内業に要した人日数	5.5人日	40.0人日

UAVを用いることで外業に係る人日数の縮減が図れることは、作業員が実施していたTSのターゲットを不要とするものであるため予想できたことではあったが、大幅に人日数を縮減できることが明らかになった。また、UAVレーザ測量では数値地形図データを作成していないため一概に比較できないが、内業の人日数についても縮減が予想できる。このことは、測量作業の迅速化・省力化が図れることを意味しており、災害等の緊急対応が必要な場合において、UAVレーザ測量は従来の手法に比べ著しい利点を有している。

また、建設現場の生産性向上を図るうえでは作業の省力化が大切な要素であることから、今後のUAVレーザ測量の導入・展開が期待されるものであるといえる。さらに、砂防分野の場合、急斜面における測量が必須であることから、作業の安全性を考えた場合、斜面上での測量作業を少なくできることは労務災害防止の観点からも非常に大きい利点であると考えられる。

測量成果の精度については、単純に点密度の比較だけで両手法の優劣を判断することは出来ないと考えるが、地形図（平面図）に等高線を明示するうえでデータ数が多いほど詳細な地形が表現できると仮定すると、両手法の間には点密度に明らかな違いがみられ、これもUAVレーザ測量の利点の一つであると考えられる。

以上、UAVレーザ測量の利点について考察を行ったが、欠点も有していると考えている。例えば、建物等が斜面に隣接している場合などでは、レーザが届かないケースがあり、その場合、平面図作成に必要な点群データが取得できない。また、建物等の構造物については、実際に現地において測量する従来の手法の方が精度が良いと考える。その他にも、対象とする測量面積によっては、従来の手法の方が効率的に作業ができる場合があると想定できる。

“標準化”は生産性向上の非常に大切な要素であり、建設産業においても標準化のプロセスが進められているが、現場毎により作業条件等が異なるという建設産業の特徴を考慮した場合、様々な手法を最適に組み合わせて作業を行うこと、そしてその作業をとおして得られた課題等を記録に残して手法の改善等を図り続けることが大切であると考えている。

6. 今後に向けての取り組み

本県の砂防分野における航空レーザ測量技術の活用は、2003年に地すべり対策のための平面図作成に点群データを取得したものであり、その当時は航空機に搭載された機器を使用したと聞いている。

それ以降の技術革新により、現在では航空レーザ測量技術が大変身近な技術となってきた。本県では、今後もこの技術は日進月歩の進化を遂げ、利便性等の向上や様々な分野での活用が予想されることから、この技術の活用に取り組んでいる。

取り組みの事例を紹介する。まずは、「1.はじめに」でも述べているが、地すべりCIM開発の基盤データとして航空機によるレーザ測量の成果を活用している。開発途上の地すべりCIMを図-4に示す。

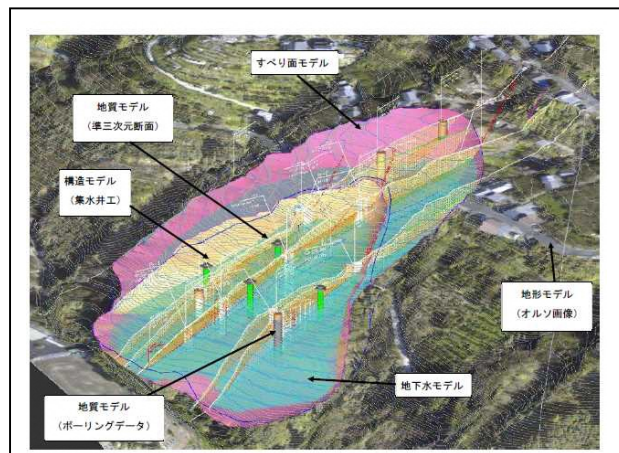


図4 地すべりCIMモデル

次に、「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」を受けて、事業進捗の迅速化を図るため、砂防分野の新規事業箇所の測量業務にUAVレーザ測量を活用

するとともに、今後のUAVレーザ測量技術の活用のため、作業の効率等のデータ取得を実施している。

さらに、砂防堰堤詳細設計のために砂防CIMの活用も検討中であり、UAVレーザ測量による3次元点群データを取得する予定である。

7. あとがき

今回の研究発表は、企業が自主研究としてUAVレーザ測量を実施したことに始まる。行政としては、この技術に注目していたところであり、企業の取り組みの情報を入手した時点で、今回の発表のための資料の収集分析および技術活用の検討を始めた。その結果、現在ではUAV搭載型レーザスキャナを活用した測量業務に係る積算基準の作成まで進んでいる。今後は、データを蓄積し積算基準の精度向上を図るとともに、UAVレーザ測量の普及に努めてゆきたい。

また、この事例のように企業と行政が情報を交換しながら技術開発に取り組む姿勢が、今後より一層大切になってくると考える。

今回の取り組みが本県における先駆け事例となることを期待したい。

謝辞：本論文の作成および本県で実施しているUAVレーザ測量の積算基準の作成等にご協力いただいた関係者にこの場を借りて感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院：UAV 搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル (案) 令和2年3月改正
- 2) 菊池瞳ら：富士川砂防における CIM 活用への取り組み状況について 砂防学会誌, Vol. 73, No. 4, P. 51-54, 2020
- 3) 国土交通省：BIM/CIM 活用ガイドライン (案) 共通編 令和2年3月
- 4) 国土交通省国土地理院：作業規程の準則 令和2年3月31日 国土交通省告示第461号