

3次元計測技術とStarlinkを組み合わせた現地 状況調査高度化の取り組み

三輪 憲太

元 中部地方整備局 中部インフラDX推進室（460-0001 愛知県名古屋市中区三の丸2丁目5-1）

現 同局 木曽川上流河川事務所 揖斐川第二出張所（〒503-0813 岐阜県大垣市三本木2丁目650-1）

本取り組みでは、3次元計測技術と衛星通信 Starlink を併用し、職員による災害調査を意識した現地調査の効率化・高度化を検証した。

今回の演習では、RTK測位小型GNSS測量機、UAV、LiDAR SLAM技術を用いたハンドヘルド型レーザースカナを調査範囲に応じて使い分け、多角的に点群データを取得した。取得データはStarlinkを用いて即時にクラウドへ送信し、内業班が併行して処理・分析を担う体制の構築が可能か検証した。

キーワード インフラDX, Starlink, UAV, 点群データ, 現地状況調査高度化

1. はじめに

日常業務における、職員による所内での工事進捗などの情報共有では、デジタルカメラによる視覚的な記録にとどまり、手軽に3次元データが取得できる安価な機器が普及しつつあるにもかかわらず、依然として2次元的な情報共有が中心となっていることが多い。災害現地調査においても、測量ロッドやレーザー距離計による記録では取得できる情報量や範囲に限界があり、被災状況の把握や後工程の検討に必要なデータが不足しがちであった。また、災害現場に派遣された職員が計測から記録整理までを一貫して担うため負担が大きく、また通信環境が不安定な地域では情報共有の遅延も懸念される。

こうした背景を踏まえ、本取り組みでは、3次元計測技術と衛星通信 Starlink を組み合わせ、災害調査を意識した現地調査の効率化および高度化を図る新たな手法について検証を行った。

2. 取組概要

本取り組みでは、通信不感地帯で、砂防堰堤上流で発生した土砂堆積や小規模崩壊を災害現場に見立て、現地調査および効率化・高度化の効果検証を行った。現場は当

局越美山系砂防事務所の提供を受けて設定した。

（1）現地演習

本演習では、3次元計測技術として普及が進む①RTK測位小型GNSS測量機（以降、「モバイルGNSS測量機」という）、②LiDAR SLAM技術を用いたハンドヘルド型LiDARスカナ（以降、「LiDARスカナ」という）、③UAV（UAV空中写真測量）の3手法を組み合わせ、災害調査を意識した現地調査の効率化・高度化を検証した（図-1参照）。

実際の災害調査において、UAV空中写真測量は広範囲の点群取得に適する一方、鉛直面や細部把握は困難な場合がある。そのため、中規模の詳細確認にはLiDARスカナを、局所的な測量にはモバイルGNSS測量機を用いるなど、調査対象・規模に応じた機器選定を行うこととした。

現地ではStarlinkを活用した通信環境下で、各機器により点群データを取得し、その場でクラウド環境へアップロードを行った。加えて、越美山系砂防事務所を災害対策本部に見立て、Microsoft Teams（第3期基盤システム）を用いた現地状況のリアルタイム現場状況共有も実施した。



図-1 取組の概念図

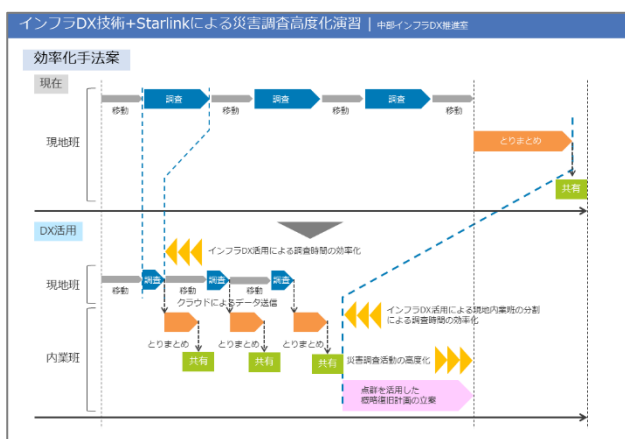


図-2 効率化・高度化の概念図

(2) 情報分析

現地で取得したデータは Starlink により即時にクラウドへ送信し、バーチャル空間上に災害現場を再現したうえで、内業班が現地班と併行して処理・分析できる体制が構築可能かを確認した（図-2 参照）。これにより、現地班は「計測・送信」に特化し、内業班が「整理・解析」を担う分業体制の有効性を検証した。

3. 結果

現地調査の結果、モバイルGNSS測量機、LiDARスキャナ、UAV空中写真測量を組み合わせることで、職員2名体制で約2万m²の調査範囲を約1時間程度で高密度かつ細部まで把握可能な点群データとして取得できた。また、Starlink を用いることで、通信不感地帯においても安定したデータ伝送が可能であり、取得した各種点群データを即時にクラウドへ送信できることを確認した。上り（アップロード）速度は、15Mbps程度確保できており、1GBのデータを10分程度でアップロード可能であった。また、下り（ダウンロード）速度は、40Mbps程度あった。

さらに、越美山系砂防事務所を災害対策本部に見立て、Microsoft Teamsを用いた現地状況のリアルタイム共有を実施した結果、演習内容や現地状況を迅速かつ詳細に事務所の職員へ伝達することができた。また、UAVの飛行中のカメラ動画データをHDMI出力し、キャプチャボード経由でTeamsのカメラとして認識させることが可能であり、空撮動画をStarLink経由でリアルタイムに配信することも可能であった。

内業班では、送信された点群データを点群処理ソフトにより解析し、過年度の航空レーザ測量成果との比較を行った。その結果、崩壊範囲や土砂体積を定量的に把握でき、概略的な復旧計画の検討も可能であった。従来のカメラ撮影や測量ロッドでは取得困難であった三次元情報を活用することで、被災状況の位置・規模の把握精度が大きく向上した（図-3,4,5 参照）。

これらの結果から、現地班は計測とデータ送信に専念し、内業班が解析を担う分業体制が有効に機能することが確認され、本手法が災害調査を意識した現地調査の迅速化・高度化に寄与する有効な手段であることが示された。



図-3 従来の現地状況調査

【様式-15】調査表①				中部地方整備局 砂防調査記録	
調査番号	調査日時	10月18日	災害種別	道路	連絡
調査箇所	河川・道路名称	路線番号 4207	路線名	新橋山田線	
起点座標	緯度(N)	37° 55'28.8"	経度(E)	140° 44'46.4"	
終点座標	緯度(N)	37° 55'28.8"	経度(E)	140° 44'46.4"	
被災施設 (代表施設)	道路山側斜面の崩壊 L=13.7m				被災原因
被害状況	一部被害	交通規制	応急対応	その他	令和元年度 台風19号
	無し	無し	必要		
被災範囲 (スケッチ)					
※断面スケッチ ※平面位置スケッチ					
調査員署名				1 調査方向	

図-4 従来の現地状況調査報告例

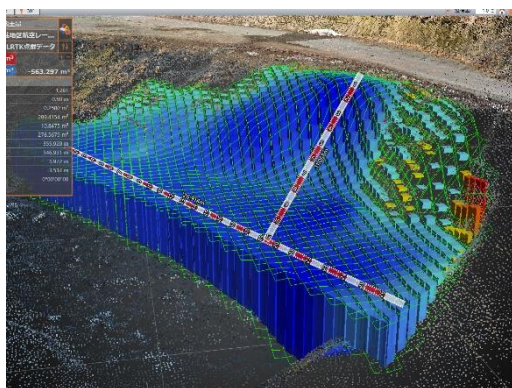


図-5 今回手法による解析結果例

(1) モバイルGNSS測量機による計測

モバイルGNSS測量機は、GNSS信号をRTK補正により高精度に取得できる小型測位機器であり、モバイル端末（iPhone Proシリーズ）と組み合わせることで、高精度な絶対座標に基づく位置情報付き写真や三次元測量を容易に行える点が特徴である。従来の高価・大型な地上型レーザスキャナと比較して、機動性と精度を両立できる計測手法として普及が進んでいる（図-6参照）。

また、標定点や検証点を設置することで、国土交通省「3次元計測技術を用いた出来形管理要領（R7.3）」における地上写真測量に準拠した出来形管理も実施可能であるが、本演習では概略的な把握を主目的としたため、それらの設置は行わずに計測を実施した。

従来のモバイル端末単体による点群取得ではGNSS単独測位となるため、絶対座標における誤差が大きく、過年度の航空レーザ測量成果との比較を行う際には位置合わせ作業が課題となっていた。一方、RTK補正測位では、絶対座標系に基づく点群データを直接取得できるため、位置合わせ作業を必要とせず、取得データの円滑な利活用が可能であることを確認した。



図-6 モバイル GNSS 測量機による点群取得例

現地では、「詳細点群スキャン」モードを用い、RTK測位により位置が確定した状態で地形をスキャンした。当該モードはSfM（Structure from Motion）技術を用いて、複数方向から取得した写真や動画データを解析し、三次元点群を生成するものである。これにより、地形の絶対座標（平面直角座標系）付き点群を迅速に取得でき、斜面や足場の悪い箇所を含む局所的な変状範囲の把握に有効であることを確認した。

なお、本モードによる点群生成では、モバイル端末のLiDARを併用する場合、おおむね5m程度の範囲で高密度な点群取得が可能である一方、「詳細点群スキャン」モードでは約50m程度までであれば、地形の概略把握が可能な点群生成を行うことができた。

RTK測位にはインターネット経由での衛星補正情報取得が必要となるが、Starlinkを利用した通信環境により、常時測位状態を維持したまま計測が可能であった。また、インターネット接続が困難な状況においても、不感地帯用アンテナを用いることで、準天頂衛星「みちびき（CLAS）」による高精度測位が可能であることを確認した。

(2) LiDARスキャナによる計測

LiDARスキャナは、手持ちで走査しながら自己位置推定（SLAM）と点群生成を同時に行う技術であり、狭隘部や樹林下などUAVが飛行しにくい環境での詳細な三次元形状取得に適している。今回使用したLiDARスキャナに搭載されるLiDARセンサー（Mid360）は、スキャンレート約20万点/秒、スキャン精度±2cm、最大照射範囲70m（両側合計140m）の性能を有しており、現地職員が調査目的で点群を取得するには十分な精度を備えている。



図-7 LiDAR スキャナによる点群取得例

また、GNSS（VRS）による補正データを利用し、自己位置が把握された状態で使用するとともに、事前の精度確認および計測時に検証点（既知点）を用いた精度確認を行うことで、国土交通省「3次元計測技術を用いた出来形管理要領（R7.3）」が定める地上移動体搭載型レーザースキャナに準拠した出来形管理への適用も可能である。

当該機器にはRTKレシーバも搭載されており、別途RTK契約を行うことで絶対座標付き点群の生成が可能となる。しかし、本演習では補正情報提供契約を行っていなかったため、調査範囲内に標定点（GCP）を設置し、モバイルGNSS測量機により絶対座標を計測、取得した点群に三次元ヘルマート変換を適用し、平面直角座標系への変換を行った（図-7参照）。



図-7 標定点（GCP）計測状況

計測の結果、鉛直に近い法面の細部形状や路肩部の変状など、中規模範囲における詳細把握に極めて有効であることを確認した。LiDARスキャナによる点群は密度が高く、UAV点群では捉えきれない局所的な凹凸や変状を補完するデータとして有効に機能した。

（3）UAV空中写真測量による取得

UAV（無人航空機）により空撮画像を取得し、SfM（Structure from Motion）解析によって広域の三次元点群を生成する手法である。面的把握に優れ、災害規模や変状の分布を俯瞰的に把握する際に有効である。

調査範囲全域の広域点群を効率的に取得でき、調査対象全体の地形変状を把握するうえで高い有用性を確認した。また、自動航行機能により再現性の高い計測が可能であり、LiDARスキャナやモバイルGNSS測量機と併用することで、広域から局所までを統合した三次元モデル

化が実現できた。

飛行計画については、過年度の航空レーザ測量成果の樹木などを含むオリジナル点群から、DSM（Digital Surface Model）を作成したうえで、当該地形の上空約50mを飛行するルートを設定した。これにより、当該箇所がV字谷地形を呈し、離陸地点からの等高度飛行では谷底部の地上解像度（GSD）が低下しやすい状況下においても、DSMを利用した地形フォロー飛行により調査範囲全面での高精度な空中写真測量が可能であることを確認した。

実運用では、UAVの操縦を手動で行う必要はなく、DSMデータの読み込み、飛行範囲の設定、飛行開始操作をプロポ上で行うだけで、離陸から自動航行、着陸まで完全自動で実施できることを確認した。これにより、飛行経験の浅い職員であっても、安全かつ安定した測量が可能であることが示された（図-8参照）。

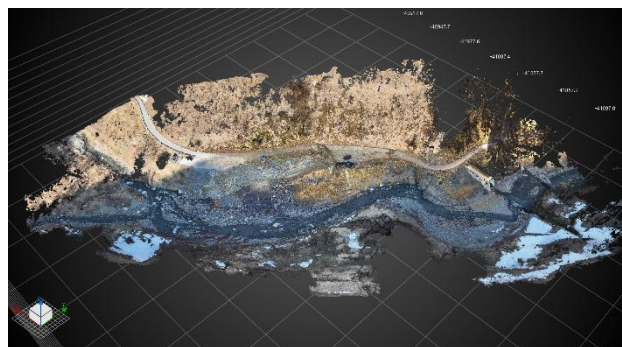


図-8 3手法による点群を全て合成した結果

（4）内業班によるデータ処理

内業班では、現地から送信されたモバイルGNSS測量機、UAV、LiDARスキャナによって取得された点群データを、点群処理ソフト TrendPointを用いて解析した。解析にあたっては、不要点の除去等のフィルタリング処理や、各計測手法による点群データの合成処理を行い、統合した三次元点群データを作成した。

作成した点群データを用いることで、崩壊範囲の長さや広さなどの基本的な計測を容易に実施できた。三次元空間上で任意の位置を指定して計測が可能であるため、職員が危険な斜面や不安定な箇所に近づく必要がなく、安全性の向上に寄与した。また、測点の取り忘れが生じにくく、再計測も容易であることから、調査精度の向上にも効果が認められた（図-9参照）。

さらに、過年度に取得されていた航空レーザ測量成果

と今回取得した点群データとの比較解析を行った結果、崩壊範囲や土砂体積を定量的に把握することが可能であり、概略的な復旧計画の検討に必要な基礎資料を作成できることを確認した。従来のカメラ撮影や測量ロッドによる調査では把握が難しかった三次元的な地形変状を定量的に評価でき、被災位置や規模の把握精度が大きく向上した（図-10,11,12参照）。



図-9 近接することが危険な調査箇所例

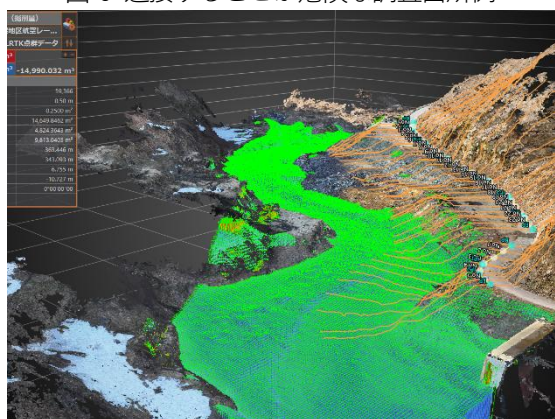


図-10 土砂体積の定量的な解析

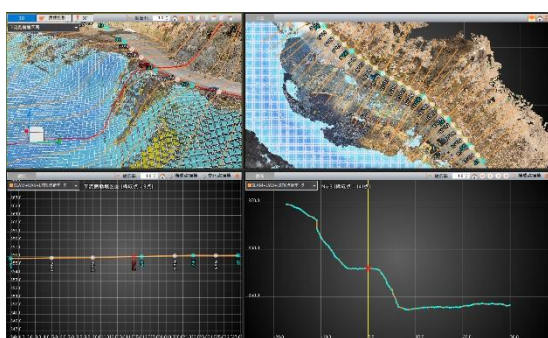


図-11 断面解析状況



図-12 3次元での復旧計画の立案

なお、点群データのダウンロード完了後から、フィルタリング処理、合成処理、解析までに要した時間はおおむね2時間程度であり、現地調査と並行して内業作業を進めることが可能であることも確認された。

4. まとめ

本取り組みでは、3次元計測技術と衛星通信 Starlink を組み合わせ、災害調査を意識した現地調査における新たな計測・情報共有手法の有効性を検証した。LiDAR スキャナ、モバイルGNSS測量機、UAV空中写真測量の三つの技術を調査対象や規模に応じて適切に使い分けることで、広域から局所までの三次元情報を短時間で取得でき、従来手法では得られなかった詳細かつ定量的な地形把握が可能となった。

また、Starlink を活用することで、通信不感地帯においても安定したデータ伝送が可能となり、現地で取得したデータを即時にクラウドへ共有し、内業班が並行して処理・分析できる体制が構築可能であることが確認できた。この分業体制により、現地班は計測とデータ送信に専念でき、従来のように現場で記録整理までを抱える必要がなくなり、業務負担の軽減にも寄与することが示された。

さらに、取得した三次元データを既存の航空レーザ測量成果と照合することで、崩壊範囲の把握や体積土量の推定が可能であり、概略的な復旧計画の検討にも活用できることを確認した。また、取得した点群データは、詳細な復旧計画の設計時にも後利用することが可能であり、利用用途は広い。このように、3次元計測技術とStarlink を併用した手法は、現地調査の迅速化・高度化に資する有効なアプローチであり、災害対応業務におけるデジタル技術活用のさらなる推進に寄与するものと期待される。

なお、本取り組みで実証した各種機器については、中部技術事務所の中部インフラDXセンターにおいて体験可能な環境を整備している。今後は職員等による実務での活用を見据え、研修の実施を予定している。

この手法は災害調査に限らず、平時の維持管理や点検業務への応用も期待され、今後のインフラ分野におけるデジタル技術活用の一層の展開が期待される。