

ICT 技術を活用した調査効率化支援ツール（スマート調査）への3次元モデル適用について

中電技術コンサルタント株式会社 正会員 ○山野亨, 荒木義則, 桐山魁
 山口大学 正会員 河村圭, 白宇

1. はじめに

高度経済成長期に集中的に整備された社会資本は今後一斉に老朽化が進むため、今後は施設の維持管理が課題である。現在の施設点検記録は、紙ベースの帳票を Excel 形式で作成しており、コンピュータで自動処理することを前提としていない。著者らは「ICT 技術を活用した調査効率化支援ツール（以下、「スマート調査」と呼ぶ）」を開発し、施設点検のデータベース化と GIS 化を実現した。本稿では「スマート調査」への3次元モデル適用について述べる。

2. スマート調査について

(1) 開発の経緯

スマート調査は、大規模災害時の対応において、ICT 技術を使った調査支援や情報共有を図ることを目的に開発された。災害対応時には、発災直後の現地調査等を中心とした「外業（現場）」と、逐次変化する情報の収集整理等の「内業（災害対策本部）」をバランス良くコントロールし、災害対応者のリソースを最適化する必要がある。その中でも、災害現場に派遣した「調査員の安全確保」、「現場作業の効率化」「現場と本部の情報共有」を重視して開発した。スマート調査の枠組みを図 1 に示す。

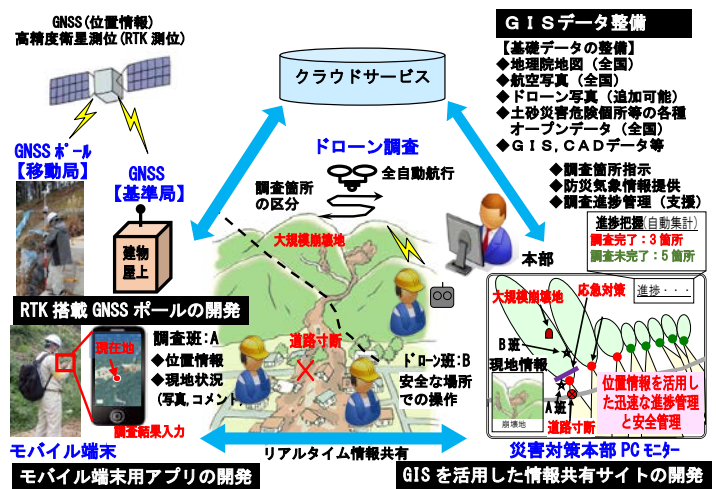


図 1 “スマート調査”の全体フレーム（大規模災害対応の例）

平成 30 年 7 月豪雨災害では、開発中であった「調査効率化支援システム」のプロトタイプを投入し、「現場と本部の情報共有に有効」「調査結果のとりまとめが迅速にできる」等の一定の効果を確認することができ、その後本格的なシステム開発を進め、令和元年 6 月にシステムが完成した。なお、本システムの基本機能は、国土交通省砂防部において、TEC-FORCE（緊急災害対策派遣隊）の現地調査ツール（SMART SABO）として採用されている。

(2) システム構成と開発手法

スマート調査は、複数のツールと関連機器から構成され、現場で使用するモバイル端末（アプリ）と災害対策本部で情報を一元管理する PC（Web サイト）を一体的に用いることで効率的な調査を可能とした。現場で使用するモバイル端末上のアプリは、クラウド連携された GIS 機能と GNSS により得られた自己位置を組み合わせることで、現場で必要な情報を素早く確認可能である。また、現場から発信する様々な情報（点検結果、現場の写真、点検者の自己位置等）はクラウドを経由して災害対策本部と共有可能とした。

開発システムは、モバイル端末（スマートフォン、タブレット等）や PC の OS バージョンアップに逐次対応する必要があるため、全てを独自に開発するのではなく、既存のプラットフォームをカスタマイズし、組み合わせ利用する開発手法とした。

スマート調査は、災害時の緊急的な調査を短期間で効率的に実施することを目的に開発したが、平常時の巡視・点検・調査等の様々な場面にも利用できる。次にスマート調査の主な機能を示す。

キーワード 3次元モデル, SfM/MVS, GIS, RTK, GNSS

連絡先 〒734-8510 広島市南区出汐二丁目 3 番 30 号 中電技術コンサルタント株式会社 TEL082-256-3370

(3) スマート調査の主な機能

現場で使用するモバイル端末用アプリの機能を図 2、表 1 に示す。本アプリを利用することで、現場ナビゲーション、移動軌跡の自動記録（共有）、撮影写真や調査記録等のクラウド登録等により現場作業を効率化できる。

災害対策本部で利用する情報共有サイトの機能を図 2、表 2 に示す。本サイトを利用することで、現地調査員の所在地や調査の進捗状況等をリアルタイムに確認できる。

また、スマート調査は、モバイル端末用アプリおよび情報共有サイトの GIS 機能により、様々な主題図や基図等のレイヤを重ね合わせて表示することで、現場と災害対策本部で最新の情報を共有できる。



図 2 “スマート調査” のレイヤ構成とシステムの関係

表 1 [現場] モバイル端末用アプリの機能

実現した機能	要件
調査結果登録 (記録)	モバイル端末操作(写真, 動画, 音声, スケッチ), 圏外対応
現在地確認	現場 (他班含む), 本部での位置確認
現場ナビゲーション	ルート検索, Google マップ 対応
地図情報表示	地理院地図, GIS (レイヤ) 等の表示
調査票作成	写真位置図(方向付き), 帳票自動出力
本部との相互情報伝達・確認	本部と同じ Web 地図の閲覧, 本部への現場情報の連絡, 調査結果の報告
基礎データのダウンロード	調査位置図, 行政区界, 流域図, 土砂災害危険箇所等の各種防災情報

表 2 [災害対策本部] 情報共有サイトの機能

実現した機能	要件
静的情報の閲覧	Web サイト: GIS データ, PDF ファイルの閲覧・登録
調査箇所リストの作成	調査範囲の設定⇒調査箇所自動抽出, リスト作成
調査に必要な情報の提供	必要な防災情報: レイヤ登録, 共有設定
現場との相互情報伝達・確認	同じ Web 地図の閲覧, 現場への防災情報の伝達

3. 3次元モデルについて

スマート調査への 3次元モデル適用にあたり、BIM/CIM・点群・SfM モデル等の 3次元モデル形式について述べる。

BIM/CIM は、調査設計・施工・維持管理の各段階で発生する情報を、データモデルを介して連携することで、建設生産システム全体の効率化を図るもので、データモデル (BIM/CIM モデル) には 3次元形状・属性情報が付加されている。そのため、単なる 3次元の線や面の集合体ではなく、部位や内部構造等を把握できる。基本的には設計図面であるため、必ずしも施工後の情報が記録されているわけではない点に注意する必要がある。

点群は、レーザスキャナ等を用いて得られた 3次元上の点の集合体である。地上型レーザ装置等を活用することで、既設構造物の形状を比較的容易に得ることが可能である。

ただし、あくまでも点の集合体であるため、面的な情報 (構造物表面のテクスチャ (模様) 等) を得ることはできない。

SfM モデルは、写真測量の原理を用い、複数の写真の被写体の特徴点と撮影位置から施設の点群データを生成し、点群から面を生成し、テクスチャを貼り付けたものである。近年普及が進んだ UAV を用いることで短時間に撮影可能となり、コンピュータの処理能力も高くなったことから、モデル作成が容易になった。3次元構造をテクスチャ付きで再現でき、施設の維持管理データを保管するための 3次元地図として有効であることから、スマート調査への 3次元モデル適用には SfM モデルを基本とする。

4. スマート調査への 3次元モデル適用

(1) 概要

スマート調査に適用する 3次元モデルは、施設点検結果を記録するための 3次元地図として活用することを目的とする。従来は 2次元の地図に点検結果 (帳票, 写真) 位置を紐づけることで、点検場所を把握していたが、3次元モデルを適用することで、点検場所を 3次元的な位置として把握できる。

今回は対象施設を砂防堰堤とし、UAV を用いて撮影した写真から SfM 解析ソフトウェア (MetaShape1.7.0)

を用いて SfM モデルを作成した。作成した SfM モデルを汎用的な 3 次元ファイル形式である COLLADA 形式に出力し、3 次元 GIS ソフトウェアに取り込むことで、3 次元の地図上で砂防堰堤の 3 次元モデルと GIS データ（点検場所、点検写真撮影場所等）を重ね合わせて表示できた。

(2) 砂防堰堤 SfM モデル作成

SfM モデル作成のためには、砂防堰堤を様々な位置から撮影する必要がある。今回は、UAV を手動で操縦しながら、80%程度のラップ率となるよう静止画を撮影した。撮影に要したフライト時間は約 10 分間であり、撮影枚数は 206 枚であった。

撮影したデータ（206 枚）全てを、MetaShape の入力データとし、①点群生成、②メッシュ（3 次元ポリゴン）作成、③テクスチャ作成の順に処理し、3 次元モデルを作成した。

今回撮影に用いた UAV の位置情報は、単独測位の GNSS により測位して得られたものであるため、十分な位置精度が得られない。今回は砂防堰堤水叩きの四隅を RTK 高精度測位システムで測位したデータを用いて、SfM モデルの位置を補正した（図 3）。

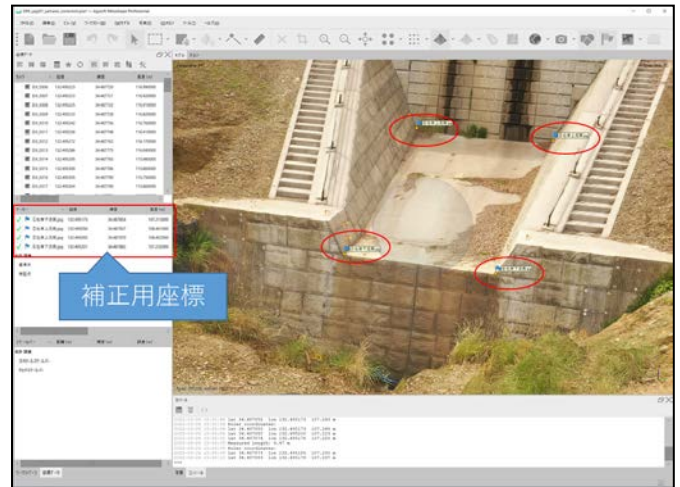


図 3 堰堤 3 次元モデルと位置補正点

(3) 3 次元 GIS への適用

MetaShape で作成した 3 次元モデルを COLLADA 形式に出力し、ArcGIS Pro の「3D ファイルのインポート機能」を用いて砂防堰堤 3 次元モデルを 3 次元 GIS 上に投入した。投入時に 3 次元モデルの重心位置（X, Y, Z）を参照点として指定することで 3 次元 GIS 上の所定の位置に配置される仕様だが、3 次元モデルの元データである 3 次元点群を用いて算出した重心を利用してデータ投入したところ、位置補正に用いた点とモデル上の水叩き四隅の位置が一致しない現象を確認した。そこで、投入時に指定した参照点の座標を調整することで正しい位置にモデルを取り込むことができた。



図 4 3 次元モデルと GIS データの重ね合わせ

ArcGIS Pro に取り込んだ 3 次元モデルを、クラウド（ArcGIS Online）にアップロードすることで、Web ブラウザ上で 3 次元モデルの表示が可能となった。さらに、過去にスマート調査で登録した点検結果や点検写真のレイヤを追加することで、3 次元モデル上の位置と関連付けて閲覧可能となった（図 4）。

5. 点検写真と 3 次元モデルの対応付け

(1) 点検写真と 3 次元モデル対応付けの必要性

点検者による点検写真は、コンクリートのひび割れ等の変状を記録する目的で撮影する場合、対象物に接近して撮影する機会が多い。撮影位置（緯度経度、標高、方位）を Exif 形式で JPEG ファイル上に記録することができるが、対象物とカメラの位置関係を正確に記録することはできない。そのため、個々の写真に記録された変状の構造物上での位置や向きを、点検者以外が把握することは困難である。

そこで、砂防堰堤の 3 次元モデル上に点検写真を貼り付けることができれば、点検者でなくても現地の状況を把握できると考え、3 次元モデル上に点検写真を貼り付けるための手法を検討した。

(2) 手法の検討

点検写真を 3 次元モデルに貼りつける手法として、次の 3 つの手法を構想した。

①点検写真（近接撮影）と堰堤モデル用写真（遠方写真）をまとめて SfM 解析して 3 次元モデル作成

②点検写真のみを SfM 解析して 3 次元モデル作成

③3 次元 GIS 上で点検写真の範囲の図形を作成し、作成した図形のテクスチャとして点検写真を貼り付ける
上記①は、撮影対象までの距離が異なる写真を結合するため、写真同士の特徴点マッチングが困難であることが想定される。また、③については、3 次元 GIS 上で作成した図形に合わせて、点検写真の射影変換等の処理が必要となる。よって今回は、②の手法を採用した。

(3) 点検写真の 3 次元モデル作成

点検写真は、スマートフォン（AQUOS sense4 SH-41A）を用いて撮影した動画から、必要な箇所を静止画として切り出したもの（20 枚）を使用した。本写真は別の実験用に撮影したため、32 個のマーカーが写りこんでいる。これらのマーカー群の四隅にある 4 個のマーカーの位置を RTK 高精度測位システムで測位した。

これらの写真とマーカーの位置情報を用いて、MetaShape により SfM 解析を実施し、**図 5**に示すような点検写真 3 次元モデルを構築した。

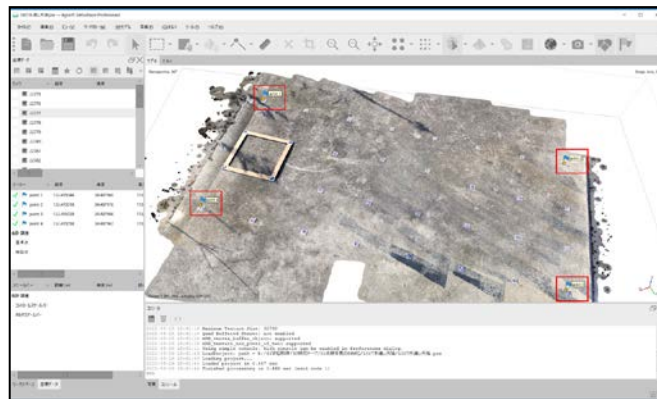


図 5 点検写真 3 次元モデル

(4) 3 次元 GIS への適用

構築した点検写真 3 次元モデルを、砂防堰堤 3 次元モデルと同様の手法で、ArcGIS Pro を経由して ArcGIS Online に登録した。砂防堰堤下流左岸側のマーカー位置に合わせて、若干の位置補正を行った。

点検写真 3 次元モデルの一部が砂防堰堤 3 次元モデルの水通し天端よりも低いいため、点検写真が砂防堰堤に内部に入りこむ形となっているが、**図 6**に示すとおり、概ね当初想定どおりに点検写真を堰堤に貼り付けることができた。



図 6 堰堤に貼り付けた点検写真

6. まとめ

スマート調査に 3 次元機能を付加するため、砂防堰堤の 3 次元モデルを SfM 解析により作成し、ArcGIS Online の 3 次元 GIS データとしての取り込みを実現した。さらに、点検写真の空間的な配置を把握しやすくするために、3 次元の砂防堰堤モデル上への貼り付けを実現した。

ただし、砂防堰堤と点検写真の 3 次元モデルを比較すると、大きさに差異があることが分かっており、精度についての検証が必要である。また、本実験では 1 箇所の砂防堰堤のみを対象としたが、システムとして利用するためには、様々な種類の砂防堰堤で 3 次元モデルを作成し、汎用性があることを確認する必要がある。

さらに、点検写真を 3 次元モデルに貼りつけるために、点検写真内部のマーカー位置を測位し、SfM 解析を実施したが、実用化に向けて、より簡素な点検写真の取得・加工方法が求められる。

謝辞：本研究を実施するにあたり、実験フィールドをご提供頂きました国土交通省 中国地方整備局 広島西部山系砂防事務所の皆様へ心から感謝の意を示します。

参考文献

- ・桐山魁他 (2019)災害調査支援システムに用いる RTK 受信機の性能評価,土木情報学シンポジウム講演集 vol.44 2019,p.17-20.
- ・河口幸広他 (2020)砂防調査・管理効率化ツール(SMART SABO)の開発について,2020 年度砂防学会論文集,p.41-42.
- ・JACIC ホームページ(BIM/CIM とは) : <https://www.cals.jacic.or.jp/CIM/cim/summary.html>