

(24) 砂防堰堤点検写真管理への 3次元モデル活用に関する研究

山野 亨¹・荒木 義則¹・桐山 魁²・河村 圭³・白 宇⁴

¹ 正会員 中電技術コンサルタント(株) 先進技術センター (〒734-8510 広島県広島市南区出汐二丁目3番30号)
E-mail: yamano@cecnet.co.jp, araki@cecnet.co.jp

² 非会員 中電技術コンサルタント(株) 情報事業部 (〒734-8510 広島県広島市南区出汐二丁目3番30号)
E-mail: kai.kiriyama@cecnet.co.jp

³ 正会員 山口大学 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16-1)
E-mail: kay@yamaguchi-u.ac.jp

⁴ 学生会員 山口大学 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16-1)
E-mail: b501vgv@yamaguchi-u.ac.jp

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が、現在の施設点検記録は紙ベースの帳票を基本としており、コンピュータで自動処理することを前提としていない。著者らはスマート調査を開発し、施設点検のデータベース化とGIS化を実現した。スマート調査は、2次元の地図上に点検写真の撮影位置を記録できたが、点検写真撮影時には変状部位に接近する必要があるため、施設全体に対する位置・方向・大きさを把握出来ないという課題があった。そこで本稿では、砂防堰堤を対象としてスマート調査に3次元モデルを適用し、UAVで撮影した写真から生成した砂防堰堤3次元モデルを3次元GISに投入し、現地で撮影した写真を砂防堰堤3次元モデルに貼りつけることで、上記課題を解決した。

Key Words: 3D models, SfM/MVS, GIS, RTK, GNSS

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、紙ベースの帳票を基本としており、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。

現状のスマート調査は2次元の地図上にGISデータを表示する仕組みとなっている。点検写真位置は撮影時のスマートフォンの位置であり、変状の位置ではない。また、変状を詳細に確認するためには接近して撮影する必要があるため、撮影範囲を狭い範囲に限定せざるを得ない。その結果、点検写真だけでは、変状の位置・方向・大きさを確認することが困難である。

そこで、点検対象施設と点検写真を3次元空間上で対応づけることができれば、点検結果の位置関係を視覚的

に確認でき、部分的には詳細に確認できる。そこで、本研究では、点検対象施設と点検写真を3次元空間上で対応づけることを目的とした砂防堰堤3次元モデル作成手法と3次元地図へ取り込む手法、さらに砂防堰堤3次元モデルへの点検写真貼り付け手法を提案する。

2. スマート調査の概要

(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

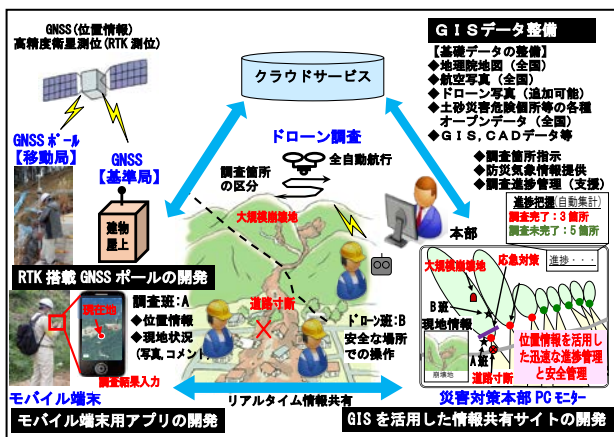


図-1 “スマート調査”の全体フレーム（大規模災害対応の例）

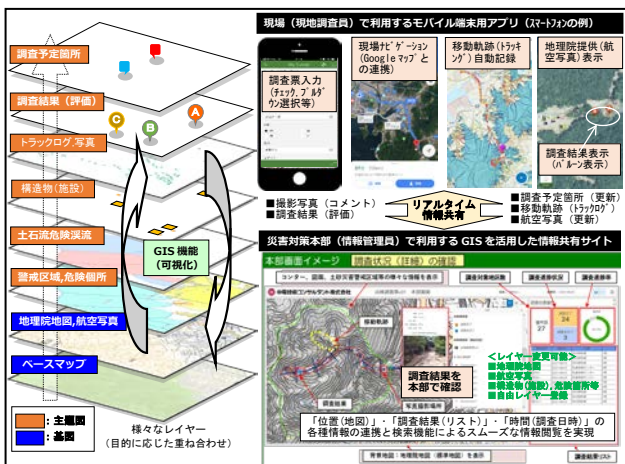


図-2 “スマート調査”のレイヤ構成とシステムの関係

有」を重視して開発した。

平成 30 年 7 月豪雨災害では、開発中であったスマート調査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 SABO¹⁾）として採用されている。スマート調査の枠組みを図-1 に示す。

(2) システム構成

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て、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。

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

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。

(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。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。

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、図-2 に示すとおり様々な主題図や基図等のレイヤを重ね合わせることで、現場と災害対策本部で最新の情報を共有できる。

3. 提案手法の流れ

これまでのスマート調査は 2 次元地図上で様々なデータを管理していたが、これを 3 次元地図に拡張する。本拡張のためには、次の手順が必要である。

<流れ>

- Step1. 3次元モデル作成
 - Step2. 3次元モデルの3次元地図への投入
 - Step3. 現地点検写真の3次元モデルへの貼り付け
- スマート調査に適用する 3 次元モデルは、施設点検結果の場所を記録するために利用することを目的とする。

従来は2次元地図に点検結果（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。

スマート調査への3次元モデル適用にあたり，BIM/CIM²⁾・点群・SfM/MVSを用いて3次元復元した3次元モデル（以下，SfMモデル）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。

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。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。

SfMモデルは，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。

既存施設を対象にして，3次元構造をテクスチャ付きで再現できることから，スマート調査に適用する3次元モデルはSfMモデルとした。

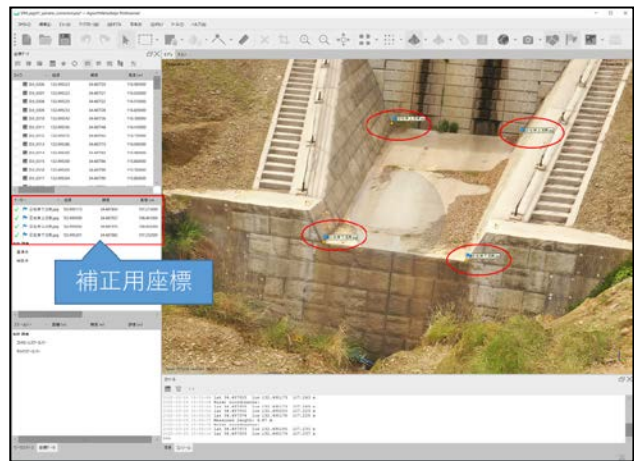


図-3 堰堤3次元モデルと位置補正点



図-4 3次元モデルとGISデータの重ね合わせ

4. スマート調査への3次元モデル適用

(1) 3次元モデル作成手法

本研究で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，砂防堰堤を様々な方向から撮影する必要がある。本研究では，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。そこで，砂防堰堤水叩きの四隅をRTK高精度測位システム³⁾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）

(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。

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。撮影位置（緯度経度，標高，方位）をExif

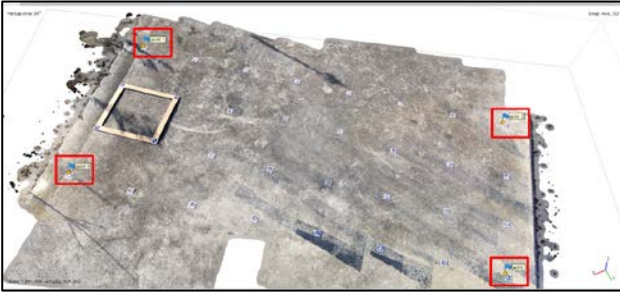


図-5 点検写真3次元モデル



図-6 堰堤に貼り付けた点検写真

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つの手法を検討した。

- 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次元モデルを作成する
- ②点検写真のみを SfM 解析して3次元モデルを作成する
- ③3次元 GIS 上で点検写真の範囲の図形を作成し、作成した図形のテキスト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、点検写真を幾何学変換する処理が必要となる。よって、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。また、点検範囲の四隅に設置した4個のマーカークの位置を 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ク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。

(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。図-6に示すとおり、概ね堰堤の正確な位置へ点検写真を貼り付けることができた。この結果は、本提案手法により、変状の位置・方向・大きさを3次元空間モデル上で確認することが可能となったことを示す。

6. まとめ

本研究では、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 データとして取り込む手法を提案した。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手法を提案した。これにより、スマート調査に3次元機能を付加することを実現できた。

図-6に示す結果において、砂防堰堤3次元モデルと点検写真の3次元モデルの重なり領域を比較したところ、数 cm の差はあったが、実用的には問題ないと判断した。

また、UAV と地上の目視点検写真といった異なる点検方法の結果を、3次元空間情報として一体的に表現できるため点検結果の可視化を高度化することが可能となった。

本稿の3次元空間モデルへの点検写真貼り付け手法は、点検写真を3次元モデルに貼りつけるため、点検写真に写りこんだマーカーク位置を測位し、SfM 解析を実施したが、実用化に向けて、より簡易な点検写真の取得・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に心から感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 河口幸広, 和田紘希, 國時正博, 倉本洋平, 荒木義則, 山野亨: 砂防調査・管理効率化ツール(SMART SABO)の開発について, 砂防学会論文集, pp.41-42, 2020.
- 2) JACIC: BIM/CIM とは (BIM/CIM の概要), <<https://www.cals.jacic.or.jp/CIM/cim/summary.html>>, (入手 2022.06.01) .
- 3) 桐山魁, 大泉拓也, 前田裕太, 神田絢子, 岡本修, 猿渡雄二, 山野亨, 河井恵美, 荒木義則, 森安貞夫, 高田知典: 災害調査支援システムに用いる RTK 受信機の性能評価, 土木情報学シポジウム講演集, vol.44, pp.17-20, 2019.