

SLAM・UAV計測を活用した差分解析による河川構造物の点検手法の検討

服部 泰成・福井 清義・新田 寛野・中村 有汰・嘉手苺 清・園川 祐輔（アジア航測株式会社）

1. 背景と目的

対象河川である六角川¹⁾は、その源を佐賀県武雄市山内町神六山に発し、白石平野を緩やかに蛇行しながら流下し、有明海に注ぐ。流域は佐賀県の西部に位置し、流域市町村は3市3町にまたがり、佐賀県西部地方の社会・経済・文化の基盤をなし、地域にとって重要な役割を果たしている。一方、河口部は、干拓でつくられた土地であり、有明海の約6mにも及ぶ干満差のため、満潮時には海面よりも低くなる。低平地では水はけが悪く、地下水の汲み上げ等により地盤沈下が発生しており、地盤は水分を多く含み軟弱である。この特性により、外水氾濫と内水氾濫が複合的に起こる水害常襲地帯であり、河川構造物の重要度が高い一方、同時に維持管理に多くの労力を要すことから、より簡易で効果的な点検手法の確立が望まれる。このような背景により実施した効率的な河川構造物の点検手法検討事例を紹介する。

2. 点検手法検討の実施概要

点検手法の検討は、六角川にある3基の河川構造物（樋門・樋管）を対象に実施した（図1、



図1 対象位置図

表1 対象構造物

構造種	常時帯水
剛構造①	有り
剛構造②	無し
柔構造	無し

※剛構造：沈下の影響を無視、柔構造：沈下を許容

表1)。構造物は、構造の種類や常時帯水の有無を考慮して選定した。本手法に用いるデータは、許可工作物台帳より作成した三次元モデルと選定構造物を対象に実施したUAV計測及びSLAM計測により得られる三次元点群データとし、これらを用いて三次元差分解析を実施した。三次元差分解析結果による各構造物の変状把握を実施し、本手法の有効性や変状把握に用いたデータの精度等を取りまとめることにより、より効率的で効果的な河川構造物点検手法の検討を行った。

3. 三次元モデルの作成

対象構造物について、許可工作物台帳の二次元図面より三次元モデル（以下、構造物モデル）を作成した（図2）。提供図面は、紙媒体であったため、二次元CAD図面に整理した後に、三次元化を実施した。提供図面には上屋

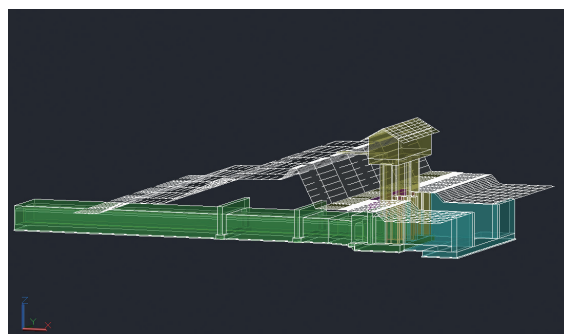


図2 構造物モデル（剛構造①）

の詳細図が無かったため、図面読み取りで寸法を設定した。このため、上屋部についてはモデル精度が低いことに留意されたい。また、紙媒体図面からの三次元化のため、図面からのモデルの座標付与は不可能であった。このため、VRS計測により取得した構造物端点の三次元座標を用いて構造物モデルへの座標付与を行った。以上より、今回作成したモデル位置と計画位置が整合しないことに留意されたい。

4. 点群データの取得と精度検証

地上及び地下構造物を有する樋管の特性を踏まえ、UAV (RTK機) による空中写真撮影結果を用いたSfM解析、SLAM (非GNSS機) による函体内も含めた構造物全体の計測を実施し、点群データを取得した。

4.1 UAV計測

UAVによるオルソフォト撮影で取得した連続写真を用いた、Pix4D Mapper (Pix4D株式会社) によるSfM解析を実施し、三次元点群データを作成した。三次元点群データへの座標付与や精度検証に必要となる標定点及び検証点の三次元座標は、VRS計測の実施により取得した。

精度検証の結果、標定点におけるRMS誤差は最大3.8cm以内、検証点におけるRMS誤差は水平方向で最大2.1cm以内、鉛直方向で最大1.2cm以内であった(表2)。

4.2 SLAM計測

SLAM (Simultaneous Localization And

Mapping) とは、自己位置推定 (localization) と地図作成 (mapping) を同時に (simultaneous) 行う技術である。歩行しながら簡易的に地物や森林等の三次元データを取得することが可能であり、1秒前後の取得データ間で自動マッチングされるため、点群のズレが生じにくく、短時間でデータ取得が可能である。

レーザ計測器は非GNSS機であるHovermap (Emesent社製) を使用した。SLAM計測は、構造物の配置状況や泥、ゴミ等の堆積状況に応じて、20分/回程度で計測可能な範囲とし、複数回に分けて実施した。また、函体内の計測は、常時帯水の無い柔構造及び剛構造②の樋門・樋管を対象に実施した。地下部の函体内は日中においても照度が不足し、SLAM計測データの質や計測時の安全性の面で不利であるため、計測時には高輝度投光器を複数設置することにより、光源を確保した。取得データの座標付与や精度検証に必要となる検証点の三次元座標は、VRS計測の実施により取得した。

精度検証の結果、標定点におけるRMS誤差は最大2.6cm以内であり、検証点におけるRMS誤差は水平方向で最大1.7cm以内、鉛直方向で最大1.3cm以内であった(表2)。

4.3 UAVとSLAMデータの重ね合わせ

UAV計測データとSLAM計測データの合成により、上空からの死角部や地下部も表現可能な統合点群データ (以下、UAV・SLAM点群) を作成した。

データの統合にあたり、単純に重ねる処理の

表2 UAV計測データ及びSLAM計測データにおける精度検証結果

種別	標定点におけるRMS誤差	検証点におけるRMS誤差	
		水平	鉛直
UAV	最大3.8cm	最大2.1cm	最大1.2cm
SLAM	最大2.6cm	最大1.7cm	最大1.3cm

※標定点は UAV・SLAM で同一点を含む

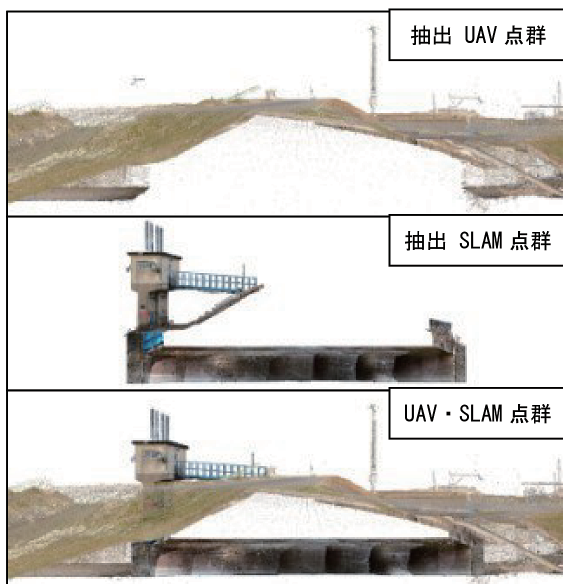


図3 UAV・SLAM点群 (剛構造②)

みを実施した場合、UAVとSLAMの重複範囲で各点群の質感が異なることに起因するデータの不和が生じた。このため、各データの必要部分の抽出を実施し、抽出後のデータを合成することにより、均一な見た目のデータを作成した(図3)。

5. 三次元差分解析と変状把握

5.1 三次元差分解析の概要

UAV・SLAM点群と構造物モデルを用いた三次元差分解析をTrendPoint(福井コンピュータ株式会社)により実施した。本業務における差分格子は0.50m(検索範囲0.50m)を基本とした(図4)。

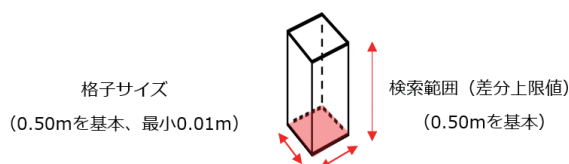


図4 差分格子単位

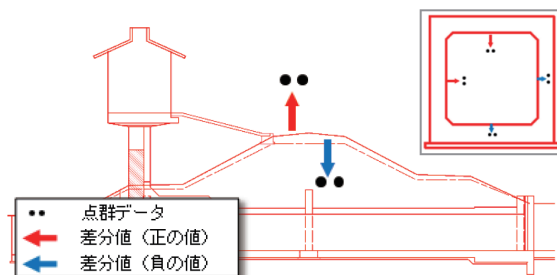


図5 差分解析結果イメージ

三次元差分解析結果は、構造物モデルを構成する各サーフェスを基準とし、UAV・SLAM点群がサーフェスの表側に位置する場合は正の値(暖色)、裏側に位置する場合は負の値(寒色)として出力される(図5)。また、作成モデルの位置が計画位置と完全に整合しないため、単一箇所の差分解析結果による評価は適当でないと判断し、同構造物の異なる箇所の差分値比較による相対的な評価とした。

5.2 三次元差分解析の結果と変状把握

(1) 地上部

UAV・SLAM点群による差分解析より、剛構造施設において函体上部の堤防で正の差分値を示すのに対し、構造物の上下流の堤防では負の差分値を示している。このことから、高さ方向の差分比較により、基礎の有無により発生し得る抜け上がり傾向を確認できた。一方、柔構造施設では、このような差は確認できなかった(図6)。

以上より、UAV・SLAM点群と構造物モデルによる三次元差分解析によって、地上部で確認できる剛構造の変状特性を視覚的に把握可能と考えられる。

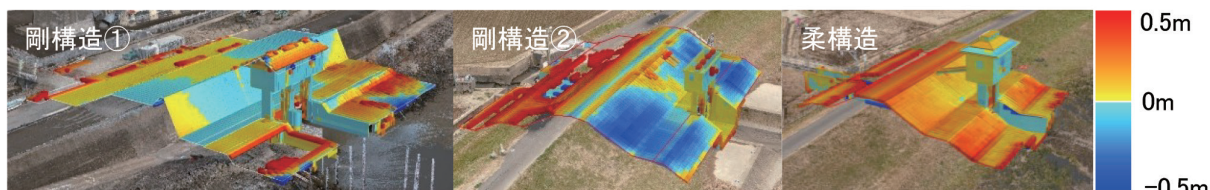


図6 地上部の差分解析結果

(2) 地下部

函体部の変状を確認するために、0.10m格子による差分解析を実施した。差分格子の代表を複数抽出し、高さ方向の差分比較による変状確認を試みた。

a) 柔構造の変状確認

現地踏査の際に見られた函体部の可とう継手部の変状を把握するため、SLAM点群との差分解析格子の代表を、川表^{*1}側函体と中央部函体で5格子ずつ抽出し差分値の傾向を確認した(図7)。

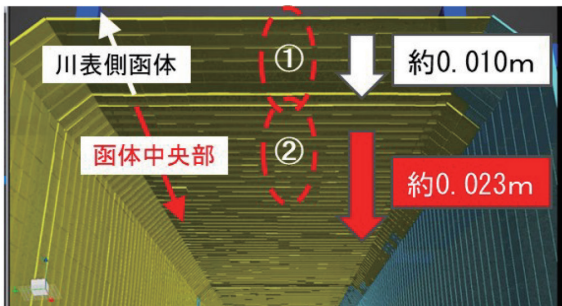


図7 函体部の差分解析結果(柔構造)

結果として、各函体の平均差分値は、川表側函体で約0.010m、中央部函体で約0.023mとなり、設計時の許容値10cm以内となるため早急な対応は不要と評価できる。

差分値が大きい函体中央部にはより大きな土圧がかかると考えられ、この土圧により可とう継手部を境界として差分値に差が出た可能性が考えられる(図8)。

以上より、本手法により柔構造施設の函体における特性を表現可能であると考えられる。

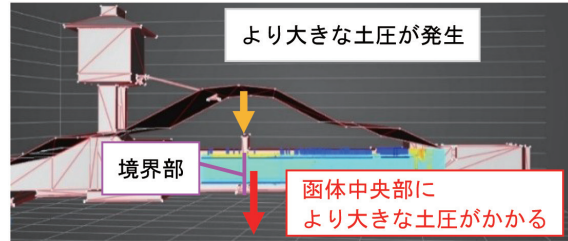


図8 想定変状イメージ(柔構造)

b) 剛構造②の変状確認

函体内におけるSLAM点群との差分解析格子の代表を、下流側と上流側の函体に対し、川表側と川裏側でそれぞれ5格子ずつ抽出し差分値の傾向を確認した(図9、図10)。

結果として、両函体共に川表側と川裏側では異なる差分値が示され、上下流の両函体共に川表側に傾いている可能性が確認できた(表3、

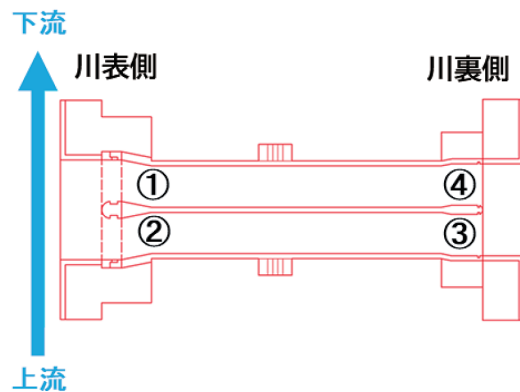


図10 函体平面図(剛構造②)

表3 各代表格子の平均差分値

代表格子	平均差分値
①: 下流川表側函体	0.001m
②: 上流川表側函体	-0.014m
③: 上流川裏側函体	-0.031m
④: 下流川裏側函体	-0.025m

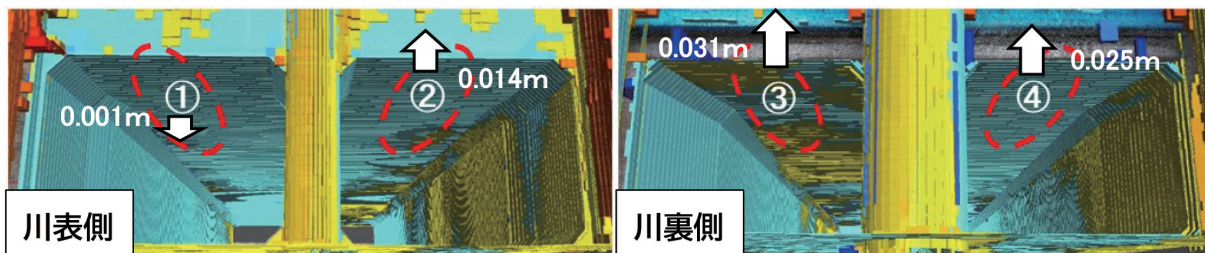


図9 函体部の差分解析結果(剛構造②)

*1 堤防を境にして、川の水が流れている側を川表、住居や農地等がある側を川裏と表現する。

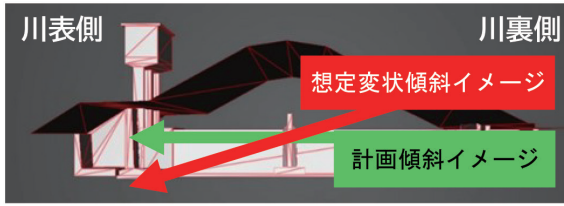


図11 想定変状イメージ(剛構造②)

図11)。

以上より、本手法により剛構造施設の函体における特性を表現可能と考えられる。

6. まとめと課題

本手法により、剛構造及び柔構造の特性により起こり得る変状を視覚的に把握できた。本手法は、河川構造物だけではなく、砂防構造物の変状把握や地すべり等の地形変状把握等、様々な場面で適応可能と考えられる。

以上より、構造物や斜面を対象とした本手法による変状把握を平常時及び発災後に実施し、情報を蓄積することで、変状や対策の必要性等について定量的・効率的な評価が可能となり、維持管理の省力化やライフサイクルコストの低減につながると考えられる(図12)。

一方で、参考図面に起因する構造物モデルの形状及び位置精度の低さが課題として得られた。このため、竣工時CIMモデルや竣工直後の高精度な点群データの取得により、構造物の初期状態を正確に把握することが重要である

と考えられる。

謝辞

本検討にあたって、国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所の関係者の皆様には多大なるご指導、ご協力をいただきました。この場をお借りして御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 九州地方整備局・佐賀県・武雄市・嬉野市：六角川流域水害対策計画(令和7年3月)、佐賀県、2025年

執筆者

服部 泰成 (はっとり たいせい)
 アジア航測株式会社
 九州国土保全コンサルタント
 技術部
 tsi.hattori@ajiko.co.jp



(共著者) 所属は筆頭著者と同じ

福井 清義 (ふくい せいぎ)

新田 寛野 (にした ひろや)

中村 有汰 (なかむら ゆうた)

嘉手苺 清 (かてがる きよし)

園川 祐輔 (そのかわ ゆうすけ)

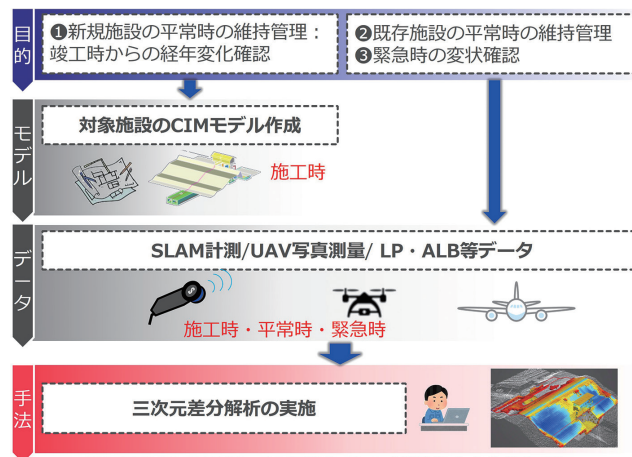


図12 差分解析による許可工作物の変状把握フロー