

3次元モデルを用いた河川管理施設の維持管理システムの提案

河合悠希^{†1} 窪田 諭^{†1}

堤防や護岸などの河川管理施設は、豪雨、台風時には氾濫を防ぐ大きな役割を担う。河川管理施設は雨や流水によって形状が変わるため、定期的に形状を把握する必要がある。しかし、人員や予算の不足により、維持管理が適切かつ十分に行われているとは言い難い。また、点検結果は紙資料に記録されることが多く、持続的な点検と修繕に課題がある。そこで、本研究では、これらの課題を解決し、河川管理施設の維持管理業務を効率化するために、3次元モデルを用いた維持管理システムを提案する。河川管理施設を3次元モデルで表現することにより、その変状過程を視覚的に把握できる。3次元モデルは、二級河川を対象に、UAVを用いて航空写真測量を行って得た写真から構築する。システムは、3次元モデル上の任意の位置で河川管理に関する情報を記録し、参照する機能を有する。

Proposal of Maintenance Management System for River Using Three-dimensional Model

YUKI KAWAI^{†1} SATOSHI KUBOTA^{†1}

River management facilities such as bank and river wall play a major role to prevent flooding when it is heavy rain. The shape must be grasped regularly because of rain and running water. However, because of a lack of human resources and budget, it is necessary to maintain the river management facilities efficiently. In the maintenance, inspection results are almost recorded on paper documents. Continuous inspection and repair using information system are the challenges. In this paper, a maintenance management system of river facilities was proposed using three-dimensional model for solving these problems and making the operation and maintenance efficiently. In the system, a three-dimensional model is used for visualizing river facilities deformation and its process. It has function that visualize information about river management at any point on three-dimensional model. The three-dimensional model is generated by photogrammetry using a camera on Unmanned Aerial Vehicle. The system is applied to class B river.

1. はじめに

堤防や護岸などの河川管理施設は、豪雨、台風時に河川の氾濫を防ぐ大きな役割を担う。河川はその規模に応じて、一級河川、二級河川、準用河川に分類され、一級河川は主に国土交通省、二級河川は主に都道府県、準用河川は主に市町村がそれぞれ管理する。河川管理施設は日々の雨や流水によって形状が変わるため、その安全性を確保する目的で定期的に点検を行い、その形状を把握する必要がある。近年は、豪雨による水害が増えているため、河川管理施設およびその維持管理の重要性が増している。しかし、維持管理に要する人員や予算の不足により、現状では維持管理が適切かつ十分に行われていない。

一級河川では、点検結果は河川カルテに記入し、管理されているが、その更新および活用は未だ検討途上である。河川カルテは国土交通省により電子化とデータベース化が推奨されているが、十分に実施されていない。一方、二級河川では、河川管理者が独自の点検要領を作成し、これに基づいて点検を行っている。しかし、二級河川においても、点検結果を記した資料の電子化は進んでいない。河川管理施設は河川によってその特徴が異なる構造物であるため、

各河川の特性を十分に踏まえて点検を行う必要がある。しかし、点検結果などの記録の管理が不十分であると、点検履歴などを参照して河川の特性を把握することができない。したがって、点検結果の記録を電子化し、履歴を正確に参照できる環境が必要である。

現状の維持管理業務では、河川管理施設を2次元地図上に表現している。河川維持管理において、重要となるのは河川の形状である。しかし、2次元地図では河川の形状を把握することに適していない。河川形状を3次元モデルによって表現することにより、モデル上の任意断面に河川管理に関する情報を付加することや施設の形状を様々な視点から見るができるため、維持管理業務を高度化できると考えられる。以上のことを踏まえると、河川維持管理において、河川管理施設の3次元モデルおよび点検結果を十分に管理できる環境が必要であると考えられる。

そこで、本研究では、これらの課題を解決し、維持管理業務を効率化するために、河川管理施設の3次元モデルを用いた維持管理システムを提案する。本研究のフィールドは、大阪府土木部岸和田土木事務所が管理する二級河川の樫井川とする。

^{†1} 関西大学大学院 理工学研究科
Graduate School of Kansai University

2. 関連研究

本章では、河川構造物を対象に3次元モデルを構築する関連研究について述べる。文献[1]、[2]では、河川構造物の施工や維持管理に活用するための3次元モデルを既存の平面図や横断図などのデータから構築した。本研究では、3次元モデルの構築にUAV (Unmanned Aerial Vehicle) を用いるため、既存のデータがなくとも3次元モデルを構築することができる。文献[3]、[4]は、点群データを用いて河川の変状を算出して河川維持管理業務の効率化を図った。これらの研究は、点群データを河川の形状や変状を表すことのみを活用した。文献[5]は、河川の点群データを活用した維持管理のための可視化環境を提案し、河川カルテを紐付けて参照できるようにした。本研究は、河川管理施設の3次元モデルを施設の形状や変状を把握する他に、点検結果の記録にも活用する。現状、点検結果は2次元地図上に記入されているため、現地でその点検位置を見つけ出すことが困難な場合がある。3次元モデル上に点検結果を記録することにより、点検位置を把握しやすくなるという効果がある。

3. 河川維持管理業務の課題分析

河川管理施設の維持管理の現状業務と課題を分析するために、大阪府の河川点検要領[6]を調査し、河川管理担当者にヒアリング調査を行った。

3.1 河川管理施設

河川管理施設は、河川の流量や水位を安定させ、洪水による被害を防ぐ機能を持つ施設である。河川管理施設を図1に示す[7]。河川法において、河川管理施設はダム、堰、水門、堤防、護岸、床止め、樹林帯、その他河川の流水によって生ずる公利を増進し、または公害を除去し、もしくは軽減する効用を有する施設とされている。護岸は、堤防や河岸の浸食を防止するために造られる構造物である。水門は、排水、逆流防止などを目的として造られる。床止めは、水の流れることによって河床が削られることを防ぐために河川を横断するように造られる施設である。

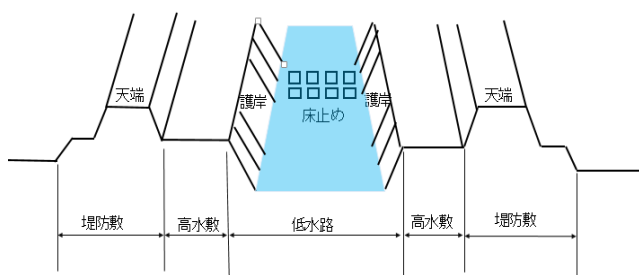


図1 河川管理施設[7]

3.2 河川定期点検要領

大阪府では、河川の効率的な維持管理を行うために、河川巡視点検で実施すべき項目、内容、点検方法について取りまとめ、河川定期点検要領を作成している。これは府内の土木事務所が管理する各河川で作成され、職員が点検を行う際に基準とすることを目的としている。

点検要領に基づく点検は原則年に1回実施され、徒歩による目視点検が基本である。点検対象とする河川管理施設は、堤防、護岸、樋門・樋管、床止め、河道の5項目である。それぞれの項目において、点検時に異常、変状が発見された場合は、その箇所を写真で撮影し、野帳にメモを取り、可能な範囲で変状を採寸する。写真は変状箇所と変状の内容がわかるように遠景と近景を撮影する。さらに、河道特性に応じた点検時の留意点も記載される。その内容は、河床勾配、施設(堤防形態、護岸形状、整備年度)であり、それぞれの特性が記入される。

3.3 ヒアリング調査結果

現状の河川巡視点検の手順と留意点を把握し、課題を抽出するために、大阪府岸和田土木事務所の河川管理担当者2名にヒアリング調査を行った。その結果は次のとおりである。

- 維持管理業務において特に重要となる点検項目
 河川形状の変状を重視し、特に堆積土砂、堤防と護岸の変状を重視する。これを3次元で表現することができれば、維持管理業務は効率化する。
- 点検結果の記録方法
 点検結果は紙の資料に記入される。点検結果を登録するためのパソコンで使用する情報システムは存在するが、操作性に課題があるため、ほとんど活用されていない。システムに記録された点検結果の履歴を参照することもほとんどない。
- 広い河川の流域内における点検地点の特定
 点検は、事前に地図を見て点検地点にある程度の目安をつけてから行う。しかし、現地では地図と写真を見て点検地点を探しながら行うため、点検地点を見つけるために時間を要する場合がある。

3.4 維持管理業務の課題

河川管理施設の点検結果は、2次元の地図上に異常・変状の発生位置とその状態がわかるように写真と状態の内容が記入される。点検要領やヒアリング調査の結果から、点検においては施設の変状を重要視していることがわかった。国土交通省が作成する河川カルテでも施設の変状が重要視されていることから、河川管理においては、河川の規模に係わらず施設の変状が最も重要である。しかし、2次元地図を基盤とする現状の管理形態では、施設の形状を視覚的に把握することが困難であり、変状を表す手法として最適

ではないと考える。さらに、異常・変状の発生位置は2次元地図上に示されているため、実際の位置を把握しづらい。

ヒアリング調査の結果より、点検結果の記録の電子化が進んでおらず、履歴の参照も十分に実施されていないことがわかった。文献[8]では、河川カルテのデータベース化は十分に進んでいないと述べられている。河川カルテの電子化が進んでいないことから、全国的に点検結果の記録の電子化が普及していないと言える。

4. UAV 計測による 3次元モデルの構築

本章では、河川管理施設の3次元モデルの構築方法について述べる。本研究では、対象物の計測に UAV を用い、3次元モデルの構築には SfM (Structure from Motion) 技術を用いる。計測対象の河川は、大阪府泉佐野市、泉南市、田尻町、和歌山県粉河町、打田町を流域とする樫井川である。このうち、大阪府岸和田土木事務所が管理する泉佐野市流域(図2)で計測を行い、川幅約50メートル、延長約150メートルを計測範囲とした。



図 2 計測現場



図 3 PHANTOM3 PROFESSIONAL

4.1 UAV による河川管理施設の計測

河川管理施設の現況を計測するために、DJI 社製の PHANTOM3 PROFESSIONAL (図3) を使用した。これは小型の UAV であり、計測コストが低く、操作も容易であることから採用した。使用した機体の仕様を表1に、UAV に搭載されるカメラの仕様を表2に示す。

樫井川での計測では、事前に計測の計画書を岸和田土木事務所に提出し、承認を得て実施した。計測時には、安全面に配慮し、左右岸に監視員を2名ずつ配置して歩行者や車に注意を促した。操縦者は、事前に学内の広場で飛行練習を行った。計測ではカメラを下向きにし、河川を真上から見て動画を撮影した。9回の計測を行い、計測時間の合計は約40分である。SfM 処理には、撮影した動画を分割して得られた画像を用いる。SfM 処理による3次元モデルの構築においては、使用する画像のラップ率が精度に大きく影響を及ぼす。UAV で計測する場合は本来、ラップ率を目標値以上に保つために、機体の速度や高度、飛行ルートを設定したうえで自動飛行させることが望ましい。しかし、本研究で用いた UAV には自動飛行の機能がないため、手動飛行によって計測を行った。計測時の飛行経路を図4に矢印で示す。この際、ラップ率を高くするために、速度はできるだけ一定にし、横方向への移動は5メートル程度にとどめた。

表 1 UAV 機体の仕様

重量	1,280g
対角寸法	590mm
最大上昇速度	5m/s
最大下降速度	3m/s
ホバー精度	垂直: +/- 0.1m 水平: +/- 1m
最高速度	16m/s
飛行時間	約 23 分

表 2 カメラの仕様

センサー	Sony Exmor 1/2.3" 12.4 ピクセル
画像最大サイズ	4,000×3,000 ピクセル

4.2 SfM による 3次元モデル構築

SfM は、対象とする物体をカメラの視点を変えながら撮影した複数の画像から対象物の3次元モデルを構築する技術である。SfM の処理を行うソフトウェアには、Agisoft 社



図 4 飛行経路

製の PhotoScan Professional edition を採用した。これによって撮影した画像から対象物の3次元点群データ(.psz形式)を得ることができる。

3次元モデルの構築手順は次のとおりである。

- 1) UAV を用いて対象河川を動画で撮影する
- 2) 動画編集ソフト VirtualDub を用いて、撮影した動画を画像に分割する
- 3) 手順2)で得た画像を用いて、PhotoScan による SfM 処理を行う

手順2)ではファイルサイズ 1.6GB、約4分の動画を344枚の画像に分割した。以上の手順によって完成した3次元点群データを図5に示す。使用したCPUのプロセッサは Intel(R) Core(TM) i7-4790, 4GHz, メモリは32GB, ビデオメモリは2GBで、SfMによる点群データの生成には約10時間を要した。点群データのファイルサイズは1.01GB, 点数は25,248,632点である。300枚程度の画像からでも高精度な点群データを作ることができた。図6では点群データとともに、青色でカメラの位置を表示する。カメラ位置から画像がラップしていることがわかる。

5. システム提案

5.1 システムの目的

3章で述べたように、現状の河川維持管理業務には点検結果の管理が不十分、および2次元地図を基盤とした管理形態という課題がある。そこで、河川管理施設の管理担当



図5 櫻井川の3次元点群データ

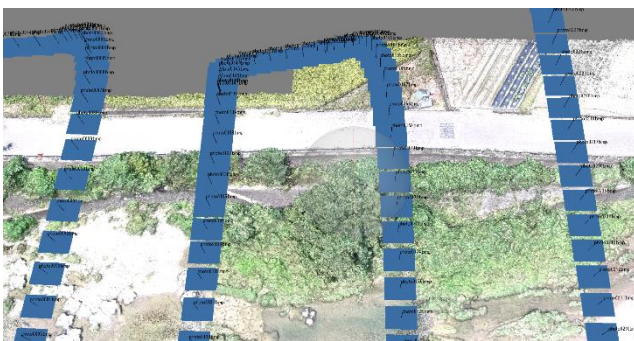


図6 3次元点群データとカメラの位置

者が3次元モデルを基盤として、任意の箇所点検、補修情報を参照し、効率的に維持管理業務を行うための河川維持管理システムを提案する。河川管理施設を3次元モデルで表現することにより、施設の変状を視覚的に把握することが狙いである。さらに、3次元モデルと関連付けて河川維持管理に関する情報を記録することにより、点検位置を把握しやすくし、点検結果の蓄積も可能とする。

5.2 システム構成図

システムの利用者は、河川管理施設の管理担当者と点検者とする。システム構成を図7に示す。点検者は、モバイル端末を用いて現地でシステムに点検結果を登録し、PCまたはモバイル端末によって参照することができる。登録する際は、モバイル端末のGPS機能によって、位置情報を取得し、位置情報も含めて登録する。

5.3 システムで対象とする河川維持管理に関する情報

3章で述べた課題分析の結果を基に、本システムで取り扱う河川管理に関する情報を整理する(図8)。点検要領に点検対象として記載されている河道、護岸、堤防、樋門・樋管、床止め等の5つを主な点検項目とした。点検要領より、5項目の点検結果の詳細な情報として、点検位置、異常・変状の内容、点検対象の遠景と近景写真、変状のスケールを扱う。また、点検箇所ごとに番号を割り振って管理する。さらに、河川の特性を把握する必要があるため、河川特性の項目も設けた。その内容は河床勾配、施設(堤防形態、護岸形状、整備年度)があり、それぞれの特性が記入される。

5.4 システム開発

本システムは、3次元GISソフトウェアであるskyline社製のTerraDeveloperを基盤とする。TerraDeveloperは3次元の点群データを読み込むことができる(図9)。また、APIを用いた独自機能のカスタマイズが可能である。本研究では開発環境にMicrosoft Visual Studio2013を、開発言語にC#を用いて開発を進める。

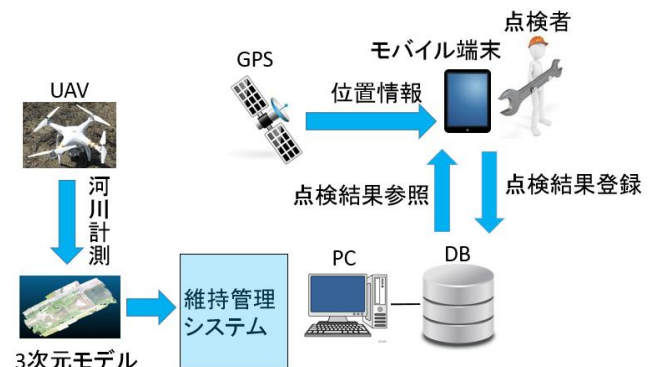


図7 システム構成図

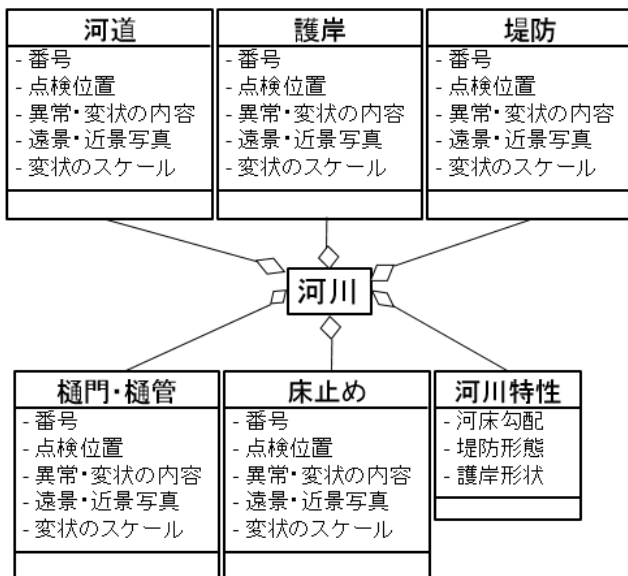


図 8 提案システムで取り扱う情報

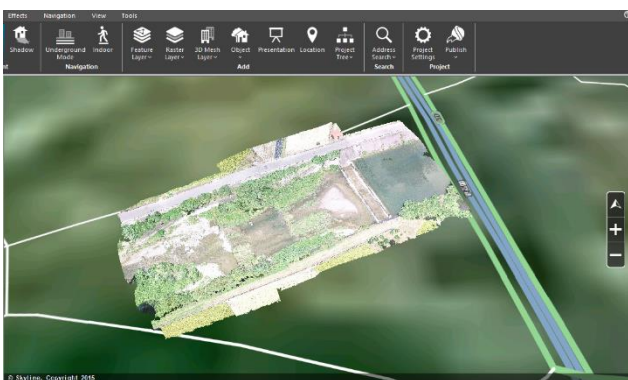


図 9 TerraDeveloper で読み込んだ点群データ

5.5 システムの機能

提案システムの機能を説明する。

- 点検結果入力機能

3次元モデル上の任意の位置で図8に基づいた情報を入力する機能である。3次元モデル上の任意の位置をクリックすると、図10が表示され、点検結果をテキストと画像で入力できる。

- 点検結果参照機能

点検結果を入力すると、図11に示すように入力した位置にマーカが表示される。3次元モデル上のマーカをクリックすると、図12のように当該位置に紐付けてテキストや画像などの点検結果が表示される。

- 差分表示機能

差分表示機能は、2つの3次元モデルを重ね合わせ、形状の違いを可視化する機能である。図13は同じ河川を異なる二時期に計測して、構築した3次元モデルを重ね合わせたものである。土砂量が増加した部分を青色で、減少した部分を赤色で表示している。

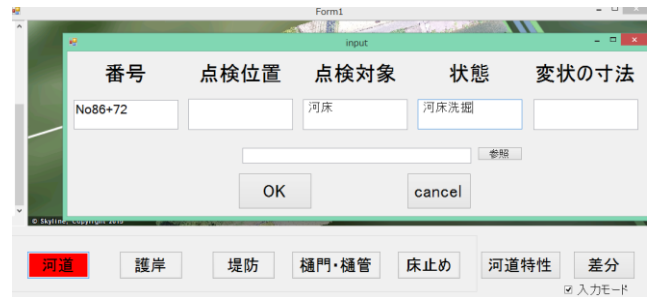


図 10 点検結果の入力



図 11 マーカの表示



図 12 点検結果の参照

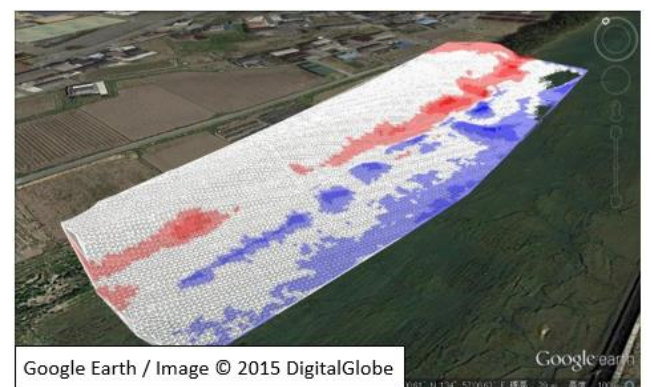


図 13 3次元モデルの差分表示

6. おわりに

本研究では、河川管理施設の維持管理業務を効率化するために3次元モデルを用いるシステムを提案した。まず、河川管理担当者へのヒアリング調査などによって現場の課題やシステムで扱うべき情報を整理した。次に、UAVで河川を計測して得た画像より、SfM処理をして3次元の点群

データを作成した。そして、システムの機能を構想した。
今後は、システムを実装し、河川管理担当者に使用してもらい、その有用性を検証する予定である。

参考文献

- 1) 町田佳隆, 酒井隆章, 三平良雄, 佐藤宏明: 河川構造物データの3次元化とデータベースの整備について, 平成25年度河川情報シンポジウム講演集, pp.6-1-6-6 (2013).
- 2) 藤田陽一, 星野祐司, 小林一郎, 水野純生: 複数の既存データを併用した河川管理 CIM モデルの提案, 土木情報学シンポジウム講演集, 土木学会, Vol.40, pp.41-44 (2015).
- 3) 吉田史郎, 野間卓志, 藤田陽一, 小林一郎: 時間軸をベースとした河道管理, 土木情報学シンポジウム講演集, 土木学会, Vol.40, pp.83-86 (2015).
- 4) 藤田陽一, 星野祐司, 小林一郎, 長崎怜: 点群データを用いた堆積量産出システムの構築, 土木情報学シンポジウム講演集, 土木学会, Vol.40, pp.133-136 (2015).
- 5) 田中成典, 窪田諭, 今井龍一, 中村健二, 櫻井淳: 点群による3次元データを用いた河川維持管理の可視化環境の提案, 土木情報学シンポジウム講演集, 土木学会, Vol.40, pp.91-94 (2015).
- 6) 大阪府土木部: 河川定期点検要領 (2015).
- 7) 大和川河川事務所 < <https://www.kkr.mlit.go.jp/yamato/about/glossary/21.html> > (入手 2015.11.1).
- 8) 国土交通省: 安全を持続的に確保するための今後の河川管理のあり方について (2013).