

## (37) 点群データを用いた堆積量算出システムの構築

藤田 陽一<sup>1</sup>・星野 裕司<sup>2</sup>・小林 一郎<sup>3</sup>・  
長崎 怜<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 博(工) 熊本大学大学院 自然科学研究科 学術研究員  
(〒860-0862 熊本市中央区黒髪2丁目39番1号)  
E-mail: fujitay@kumamoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 博(工) 熊本大学大学院准教授 自然科学研究科 (〒860-0862 熊本市中央区黒髪2丁目39番1号)  
E-mail: hoshino@kumamoto-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 工博 熊本大学大学院准教授 自然科学研究科 (〒860-0862 熊本市中央区黒髪2丁目39番1号)  
E-mail: ponts @ kumamoto-u.ac.jp

<sup>4</sup>学生会員 熊本大学工学部 社会環境工学科  
(〒860-0862 熊本市中央区黒髪2丁目39番1号)  
E-mail: 126t4808@st.kumamoto-u.ac.jp

3次元レーザスキャナや写真計測技術の発達に伴い、現況が高精度にかつ短時間で計測可能となり、現場の施工管理、土量変化把握などに、点群データの利活用が期待されている。しかし、現在、点群データを用いて現場の土量変化を把握するには、一度TINサーフェスを作成し、変化を把握しなければならない。

そこで、本研究では、点群データを用い、TINサーフェスを作成せず、直接土量の変化量を自動算出するシステムを構築する。土量の変化量が自動で算出可能となることで、業務の高度化、効率化、省力化に繋がると考える。本研究で構築したシステムを、ダム撤去に伴い堆積量が増加する現場を計測した点群データへ適用し、有用性の検証を行う。

**Key Words :** point cloud data, deposit amount, incremental difference, system architect

### 1. はじめに

3次元レーザスキャナや写真計測技術の発達に伴い、現況の点群データ取得が容易となり、実際の現場で用いられつつある。設計時の現況確認、2次元図面への変換、維持管理情報の取得、さらに、取得した点群データからサーフェスを作成し地形を作成する、などである。これに伴い、点群データ編集ソフトが研究開発され<sup>1)2)</sup>、点群データが利活用し易くなり、設計や施工段階で身近で使えるデータになりつつある。

著者らもこれまで、点群データの属性を分析する研究を行い<sup>3)4)</sup>、点群データの使用性向上を試みてきた。本論文では、業務の省力化、効率化を目指し、点群データを直接利用し、堆積量の自動算出を行う。そのために、サーフェスを作成せず直接点群データから差分を算出するシステムを構築する。第2章では、現状の土量算出法、TINサーフェスを用いた算出法、差分自動算出のメリットについて述べる。第3章では、点群を用いたメッシュ法、構築したシステムについて記す。第4章では、荒瀬ダム撤去事業に、本システムを適用し、考察を加える。

### 2. 差分算出

#### (1) 現状の土量算出法

従来の土量計算は、地表面を 10~25m 間隔で計測し、断面の面積を算出し、その間を直線的に補間する平均断面法で算出が行われている。そのため、補間した測線間は正確に算出する事ができないという課題がある。また、計測した断面から TIN サーフェスを作成し、メッシュ法で土量を算出する方法もある。図-1 は比較する 2つの TIN サーフェスから、図-1 a)に示す差分サーフェスを作成した図である。図-1 b)のように、変化量で色分けすることで、変化の視覚的把握や、変化量の数値化が可能である。しかし、TIN サーフェスを作成する時間や労力が必要となっている。



a) 差分 TIN サーフェス      b) 変化量で色分け

図-1 TIN サーフェスを用いた差分算出

## (2) 点群データを用いた土量変化の自動算出

レーザ計測や写真計測技術の発達に伴い、現況を高精度に計測した点群データの取得が可能となった。そのため、点群データを用いた土量算出が進められつつある<sup>9)</sup>。土量算出方法は、点群データから一度 TIN サーフェスを作成し、比較する2つの TIN サーフェスの差分から算出が行われている。現状の10~25m間隔の断面から TIN サーフェスを作成するより、数 cm 間隔という高精度な値で算出が可能となっている。また、レーザ計測や写真計測することで、計測にかかる時間も大幅に減少するため、点群データの利活用が期待されている。

上記方法は、TIN サーフェスを作成し、土量変化を算出する方法である。一方、本論文では、TIN サーフェスを作成せずに、点群データから直接差分を算出する方法を提案する。算出方法は、メッシュ法を用いて行う。具体的には、比較対象元となる点群データと同位置を計測した点群データを重ね合わせ、比較対象元、比較対象の両点群データを格子に分割し、標高差から変化量の算出を試みる

## (3) 自動算出の意義

自動で変化量が算出可能となることで、業務の省力化、労力軽減、効率化につながり、かつ、以下のことへの適用が可能となると考える。①減災（災害時の即時状況把握）、②施工管理（進捗管理）、③維持管理、④堆積量把握などである。たとえば、①被災時に、現況の地形データと、被災後の点群データの差分が自動で算出できることで、発災直後に流れた土砂量の把握が可能となり、トラック、重機数算出への利用につながる。また、②の施工管理では、宅地造成の現場を定期的に、レーザ計測し、差分を算出し、可視化、数値化することで、切り盛りの調整などへの適用も可能であると考え。③維持管理では、地すべりが起こりそうな箇所を定期的に計測し、傾向を分析するといった利用法もできる。

上記のように、点群データから自動で土量の変化が算出できることで様々な事例において、省力化、効率化へつながると考える。

本論文では、ダム撤去に伴い堆積する土砂を監視するために、差分算出システムを構築し、堆積量の変化把握を行った。

## 3. 堆積量算出システムの構築

### (1) メッシュ法

点群データは、計測精度に依存するが、異なる日時に同一箇所を計測した場合、おおむね同一の XY 座標とな

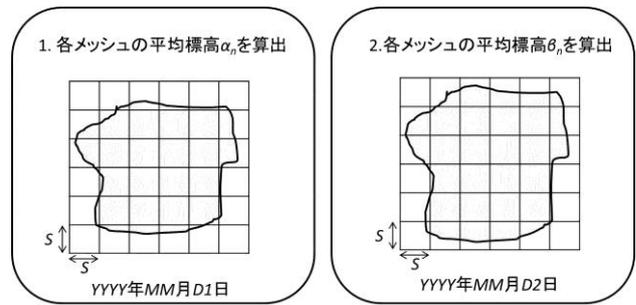


図-2 メッシュ法

表-1 動作環境

Component	Configuration Detail
OS	Windows 7 64bit
Processor	Intel® Core™ i7-2820QM CPU @ 2.30GHz
メモリ	8 GB

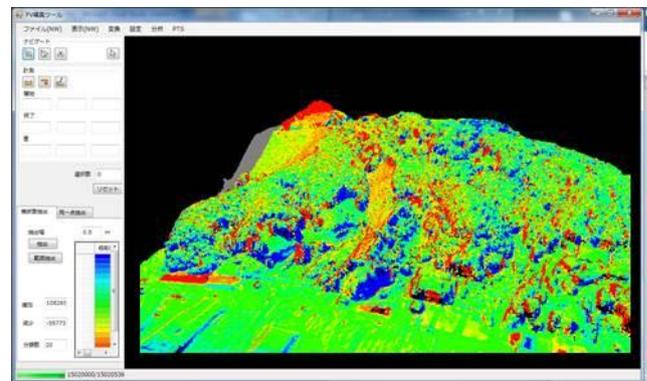


図-3 堆積量算出システム UI

る。それゆえ、XY 座標で点群データを格子に分割すると、堆積量に変化がある場合、Z 方向での変位が表れる。そこで、本研究では、点群データを格子に分割し、標高差を算出し、メッシュ法を用いて堆積量算出を行う。

全点群データを  $P$ 、各点を  $p_i$  とし、以下のように表す。

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_i\} (i = 1, 2, \dots, n)$$

また、各点  $p_i$  は以下のように表す。

$$p_i = [x, y, z, r, g, b]^t_i (i = 1, 2, \dots, n)$$

上記、全点群データ  $P$  を一辺  $S_m$  の格子サイズに分割し、各格子の平均標高を、以下の式で算出する。

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i \quad (1)$$

たとえば、図-2のように、YYYY年MM月D1日に計測した点群データを格子に分割し、各格子の平均標高  $\alpha_n$  を式(1)を用い、算出する。

同様に、異なる日付 YYYY年MM月D2日に同一箇所を計測した点群データも格子に分割し、各格子の平均標高  $\beta_n$  を式(1)を用い、算出する。

算出した平均標高  $\alpha_n$  と  $\beta_n$  から各格子の標高差  $\gamma_n$  を算出する。

$$\gamma_n = \beta_n - \alpha_n \quad (2)$$

式(2)から堆積の増加量は、 $\gamma_n \geq 0$ の総和となる。

$$\mu = \sum_{i=1}^n \gamma_i S^2 \quad (3)$$

また同様に、堆積の減少量は、 $\gamma_n \leq 0$ の総和となる。各格子の増減量を段彩表示することで、増減を可視化することが可能である。

## (2) システム概要

前節で述べた差分算出を、自動で行うシステムを構築した(図-3)。本システムは、異なる時刻に計測された2つの点群データから差分を自動で算出することが可能である。処理フローは、図-4のように、比較元の点群データと、比較対象の点群データを順次選択することで、自動処理を実行する。比較する2つの点群データをDBのそれぞれ異なるテーブルに格納し、メッシュ法を用いて差分算出を行う。また、本システムの点群データ表示画面は、Autodesk社 NavisWorksのAPIを利用し、DBはMicrosoft社のAccessを使用した。本システムの動作環境を表-1に示す。

本システムでは、堆積量の増減を可視化、増加量の段彩表現、減少量の段彩表現、増加体積の算出、減少体積の算出、の機能を付加している。

## 4. 適用事例

熊本県にある一級河川球磨川水系球磨川に存在する荒瀬ダムの撤去工事における河川形状の変化をField Viewer(以下FV)<sup>7)</sup>で計測した点群データを用い、本研究で構築したシステムを適用した。本撤去工事は全国初のダム撤去事業であり、撤去に伴い対象地全体の急激な変化が予想される。また、撤去による急激な変化の履歴を出水ごとに記録していく必要があるため、本ダムの上下流2箇所にFVカメラを設置し(図-5)<sup>8)</sup>、毎日定時に同じ角度で写真と点群データを蓄積している。

### (1) 堆積量の可視化

2013年12月25日に計測した点群データを図-6 a)、2014年1月5日に計測した点群データを図-6 b)に示す。これらの点群データを用い、増減を可視化したものを図-6 c)に示す。赤色の箇所は堆積している箇所である。一方、青色の箇所が、減少した箇所である。堆積量の変化を視覚的に把握することができた。

次に、堆積した箇所について増加量を段彩図で表したものを、図-7に示す。青色から赤色にいくにつれて変化が大きくなるように色分けをしている。可視化することで、どの箇所が多く堆積しているか一目で把握可能であった。

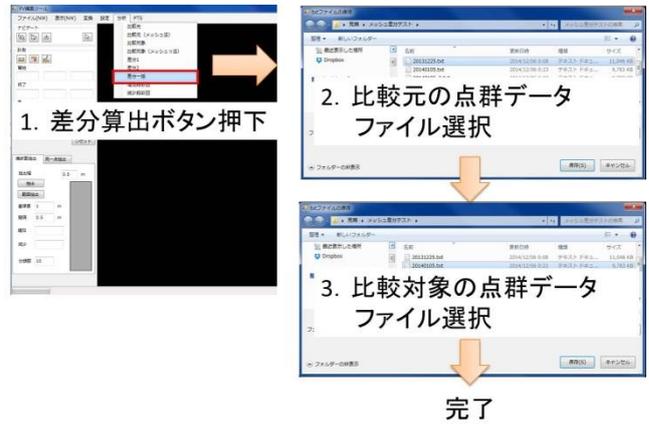


図-4 処理フロー図

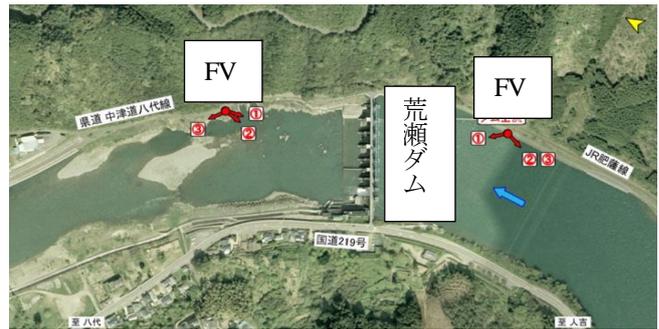


図-5 FV設置位置

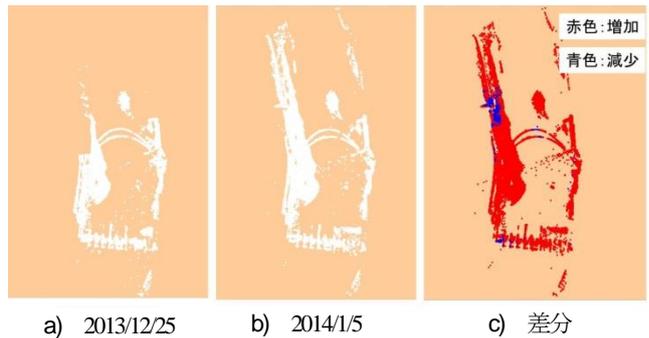


図-6 堆積量増減の可視化

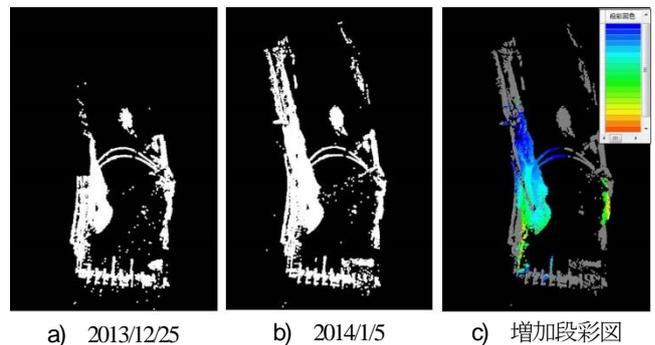


図-7 増加量段彩表示

### (2) 体積増減算出

式(3)を用い、2ケースで体積の増減算出をおこなった。2013年12月25日と2014年1月5日に計測した点群データの体積の増減を算出した結果を図-8 a)に示す。ここでは、増加と減少の値が算出されている。一方、

Autodesk 社の Civil3D を用い、差分 TIN サーフェスを作成し、増減を算出した結果は図-8 b)のようになっている。誤差は、切土量 95.8%, 盛土量 91.8%, であった。

同様に、2014年1月5日と2014年1月8日の点群データの増減算出をした結果を、図-9 に示す。誤差は、切土量 98%, 盛土量 90.8%, の誤差で体積算出が可能であった。

### (3) 考察

FV は毎日、同時刻に同位置の計測ができるため、同位置の点群データが日々取得可能である。そのため、本システムを用い、ボタン操作で堆積量の可視化や数値把握に、取得した点群データが利活用可能となる事で、業務の高度化につながると考える。また、可視化と堆積量は同時に算出でき、本事例では約 15 分で解析可能であった。計測後すぐに堆積状態を効率的に把握でき、省力化も可能になると考える。土量などの堆積を算出し、河床の変化を大まかではあるが、把握できることは河道管理を実施していくうえで重要なことであると考えられる。

本事例では、河川の堆積量の監視に差分算出システムに適用したが、被災時の被災状況把握や宅地造成の切り盛り調整、地すべりの維持管理などへの適用も可能であると考えている。

一方、計測精度により、同じ箇所を計測していても、正確に重ならない場合がある。その場合は、評定点を計測し、位置合わせした点群データを読み込むという作業が必要となる。また、データ容量が大きくなると処理に時間がかかるという課題もある。これらを解決することが、今後の課題である。

## 5. おわりに

本論文では、点群データから差分を算出し、堆積量を監視するシステムの開発をおこなった。開発したシステムをダムが撤去される河川に設置してある FV で取得された点群データへ適用した事例を通じ、本システムの有用性を検証した。2 章では、現状の差分算出方法について述べ、既往研究と本研究との違いを示し、点群データから直接差分を算出するメリットを示した。第 3 章では、差分の算出法として、メッシュ法を提案し、本研究で開発した差分算出システムの概要と機能を記した。第 4 章では、荒瀬ダム撤去事業に本システムを適用し、有用性、信頼性の検証を行い、考察を加えた。点群データから土量の変化が自動算出可能となることで、防災、施工管理、維持管理など、様々な場面で点群データが高度利用可能になると考える。

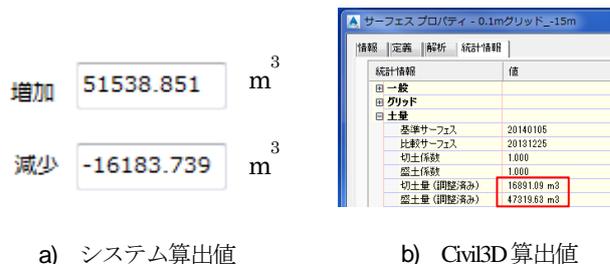


図-8 2013年12月25日と2014年1月5日の差分算出

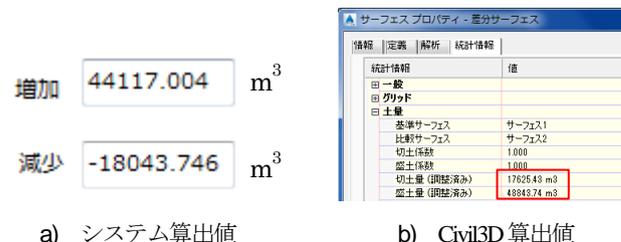


図-9 2014年1月5日と2014年1月8日の差分算出

今後の展望として、考察で述べた課題を解決すべく実証実験を試みる。

謝辞：本稿をまとめるにあたり、旭測量設計（株）、オートデスク（株）、熊本県熊本土木事務所、には本研究に協力していただきました。謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 福井コンピュータ株式会社：TREND-POINT  
<<http://const.fukuicompu.co.jp/products/trendpoint/index.html>> (入手 2015.6.30)
- 2) 株式会社岩崎ホームページ：点群データ自動ノイズ処理ソフト，PET'S,  
<<http://www.iwasakinet.co.jp/product/iwasaki-solution/pets/index.html>> (入手 2015.6.30)
- 3) 藤田陽一，小林一郎，緒方正剛，Wongsakom Chanseawrassamee：点群データ用エディタの開発と利用法について，土木情報学論文集 F3, Vol.70, No.1, pp.48-55, 2014.
- 4) 藤田陽一，緒方正剛，Wongsakom Chanseawrassamee，小林一郎：属性を付与した道路点群データの建設ライフサイクルでの利用，土木学会論文集 F3，Vol.70, No.2, p.1\_144\_151, 2014.
- 5) オートデスク株式会社ホームページ：  
<<http://www.autodesk.co.jp/adsk/servlet/item?siteID=1169823&id=24316438>> (入手 2015.6.30)
- 6) 三菱電機エンジニアリング(株)HP：  
<<http://www.mee.co.jp/>> (入手 2015.6.30)
- 7) 熊本県企業局 HP：  
<<http://www.arasedamtekkyo.hinokuni-net.jp/>> (入手 2015.6.30)