

早瀬高士\*  
金子昇治\*  
溝口博三\*

# 河川堤防の地形状況監視システム

Terrain Deformation Monitoring System for River Embankment

Takashi Hayase, Shoji Kaneko, Hiromi Mizoguchi

## 要旨

近年、異常豪雨による激甚な土砂災害が多発している。被害を受けやすい河川や砂防の管理者は、防災、減災を目的として危険箇所の現況を迅速かつ的確に把握し、避難情報等を早期に住民へ提供することを求められている。

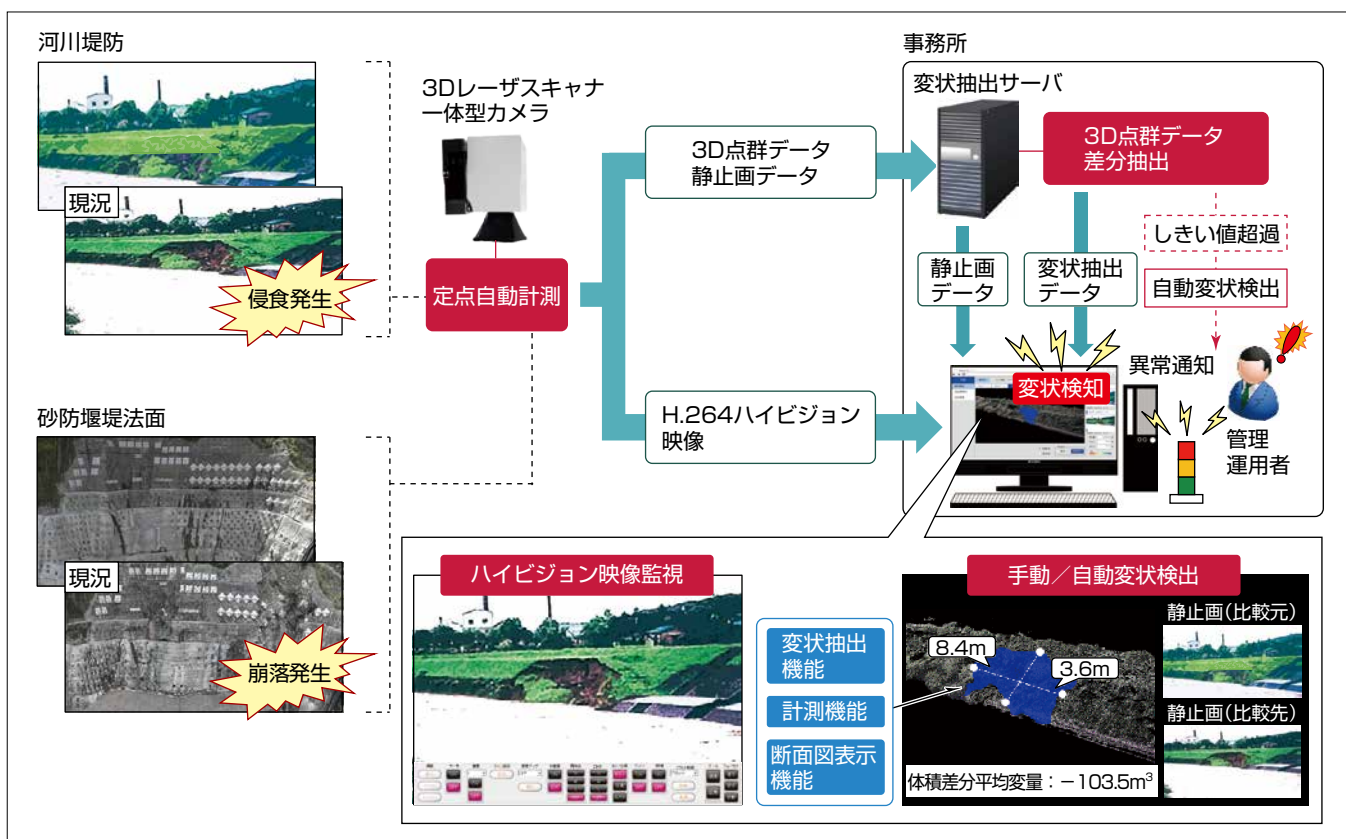
従来、河川堤防や砂防堰堤法面(さぼうえんていのりめん)<sup>(注1)</sup>は、管理者がCCTV(Closed-Circuit TeleVision)カメラ映像を用いて監視し、危険箇所の決壊や崩落を検知している。しかし、それらの要因である侵食や崩れは、映像だけでは確実な検知が難しく、地形を計測し、平常時からの変位の数値化が必要である。また、被災後の復旧工事には現場の定量的把握が必要であるが、人手による現地測量は二次災害の危険が伴うとともに、データ解析を含め数日の期間を要する。

今回、3D(3Dimensions:三次元)レーザスキャナー一体型カメラを用いて自動的に現地測量を行い、地形状況の変化(地形変状)を遠隔から安全かつ迅速に定量的把握することが可能な“地形状況監視システム”を開発した。

3Dレーザスキャナー一体型カメラで河川堤防や砂防堰堤法面の3D点群データを自動取得し、時系列での差分抽出を行い、地形変状を把握する。さらに、各種データを視覚的・定量的に表示することで、河川や砂防の管理者が求める現況把握を支援するとともに、住民への早期情報提供に寄与する。

今後は、道路法面崩落による地形変状把握など、様々なフィールドでの適用拡大を図る。

(注1) 土砂災害を未然に防ぐ施設である人工的な斜面



## 地形状況監視システム

3Dレーザスキャナー一体型カメラを用いて、CCTVカメラ映像とともに、河川堤防や砂防堰堤法面の3D点群データを自動的に取得する。取得した3D点群データを事務所の変状抽出サーバ内で差分抽出処理を行い、地形変状を把握する。変状抽出結果と併せて同一画面上に3D点群データ取得範囲の静止画を表示させることで変状箇所の確認を容易にした。また、ハイビジョン映像とともに監視することで危険箇所を的確に把握できる。

## 1. ま え が き

近年、異常豪雨による激甚な土砂災害が多発している。国土交通省及び各地方自治体の河川、砂防管理者は、決壊や崩落につながる可能性が高い、河川堤防や砂防堰堤法面の地形変状を早期に捉え、災害の危険性を早期に住民へ伝える手段を必要としている。

一方、国土技術政策総合研究所は、水害への災害対応支援を目的として“CCTVカメラを利用し災害対応を支援するシステムの導入ガイドラインの作成”<sup>(1)</sup>で、CCTVカメラ映像と地形の情報を数値化し、定量的に表現可能な3D点群データを活用した画像計測システム<sup>(注2)</sup>の導入を謳(うた)っている。

本稿では、3D点群データを活用することで、河川堤防や砂防堰堤法面の地形状況を迅速かつ的確に把握し、河川、砂防管理者に対する業務支援及び住民への早期情報提供に寄与する“地形状況監視システム”について述べる。

(注2) CCTVカメラ周辺の3D点群データとCCTVカメラ映像を用いて、被害規模を遠隔で計測するシステム。

## 2. 地形状況監視システム

### 2.1 目 的

現状、河川や砂防管理者は、CCTVカメラ映像によって危険箇所の決壊や崩落を視認によって監視しているが、それらの要因である法面の侵食や崩れは、映像だけでは確実な検知が難しく、地形を計測し、平常時からの変位の数値化が必要である。また、被災後の復旧工事には現場の定量的把握が必要であるが、災害現場での現地測量は、作業員が二次災害に遭う危険が伴うとともに、現況を把握するまでにデータ解析を含め数日の期間を要する。

地形変状を安全かつ迅速に定量把握するためには、映像監視とともに現地測量を自動で行い、地形状況を早期に解析し、結果を数値表現する手段が求められる。

三菱電機は、管理者に対する業務支援及び住民への早期情報提供を目的に、3Dレーザースキャナ一体型カメラを用いて自動的に現地測量を行い、遠隔から地形変状を安全かつ迅速に定量把握することが可能な“地形状況監視システム”を開発した。

### 2.2 システム概要と特長

CCTVカメラ映像と3D点群データが取得可能な3Dレーザースキャナ一体型カメラを河川や砂防堰堤に設置し、

河川堤防や砂防堰堤法面の3D点群データを取得する。取得した3D点群データは事務所の変状抽出サーバ内で差分抽出処理を行い、地形変状を把握する。

このシステムの主な特長は次のとおりである。

- (1) 監視対象の3D点群データの変化を体積差分量として算出することによって、地形変状の定量化及び、その可視化が可能(図1特長①)。
- (2) 地形変状の定量的把握を支援するために、3D点群データ上で変状箇所の幅・高さの計測が可能(図1特長②)。
- (3) 手動操作だけでなく、体積差分量がしきい値を超過した場合、災害の危険性があるとして、自動的な異常検出や管理者への通知が可能(図1特長③)。

### 2.3 機 能

#### 2.3.1 差分抽出機能

差分抽出機能は、監視対象の3D点群データの時系列変化を差分抽出し、地形変状の“範囲”を特定し、“体積差分量”を求め、その結果を“視覚化”する機能である。“体積差分量の算出”は、4点平均法<sup>(注3)</sup>を用いて実現した。4点平均法によって3D点群データを四角形でメッシュ化し、メッシュごとの直方体の体積を算出する。算出値を比較し、差分抽出量を合計することで、地形変状前後での体積差分量を算出する(図2)。実フィールドでは真値との比較が難しいため、監視対象である土砂等の滑らかな変化を想定した半球状の幾何モデルを用いて精度を評価し、真値に対する誤差0.12%以下を実現した。また、実際の河川堤防に地形変状を模擬した人工物を設置し、3D点群データ取得による評価も行い、その結果、真値に対する誤差8.89%以下を実現した(図3)。

“差分領域の可視化”は、算出した体積差分量に応じて3D点群データを色付け(体積増：赤色、体積減：青色)することで実現し、グラデーション表示で視覚的に地形変状の把握を容易にした。また、監視画面では3D点群データ測定範囲のカメラ静止画を同一画面内に補足表示すること

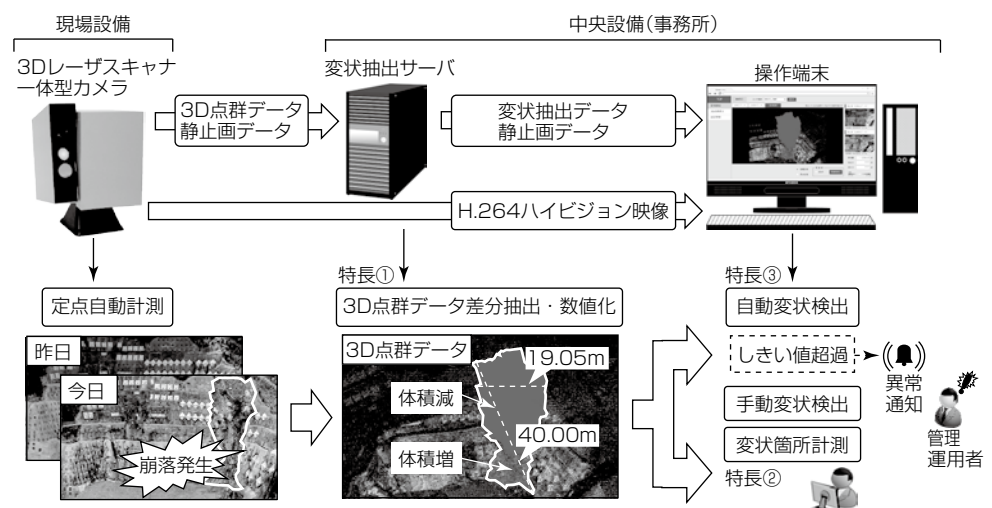


図1. 地形状況監視システム構成図

で、現場と3D点群データを対比し、変状箇所の確認を容易にした(図4)。

(注3) 国土交通省が土量計算の標準としている手法の一つ。

### 2.3.2 計測機能と断面図表示機能

監視対象の映像画面から任意の2点を選択することで、距離計測や断面図表示等を行う機能である(図5)。

計測機能は、地形上の距離や高さといったカメラ映像の視認だけでは把握することが困難な値を数値化する機能である。3D点群データ上で任意選択した2点間の距離、高さ方向の長さを表示することによって、地形変状の大きさの把握を可能にした。

断面図表示機能は、任意選択区間での地形断面を表示することで、地形変状を視覚的に把握する機能である。3D点群データ上で任意の2地点を選択し、2地点の直線上に存在する点の高さ情報を抽出、点間を直線で結ぶことで、断面図の表示を行う。また、同一箇所を時系列で計測した二つの3D点群データ(比較元データと比較先データ)の断面図を重ね合わせて表示することで、地形変状の可視化を可能にした。

### 2.3.3 自動変状検出機能

自動変状検出機能は、自動的に定周期で3D点群データの計測及び差分抽出を行い、地形変状を早期検出するための機能である。

設定したしきい値以上の体積差分量を検出した場合に自動で管理者に通報する機能を設け、崩落危険領域の早期警戒を可能にした。監視画面から計測箇所、測量開始日時、計測周期、比較元となる3D点群データを設定することで、

自動的に差分抽出を行い、体積差分量がしきい値を超過した場合、異常検出を自動通知する(図4)。通知の方法は、監視画面上での“点滅表示”及び警報装置を介した“アラーム通知”で、自動通知用のしきい値は、監視画面上で設定できるため、監視状況に応じた運用が行える。

### 2.4 課題と解決手法

差分抽出を行いたい範囲に草木などがあると、それらの成長と変化も体積差分として抽出し、誤検知してしまう。解決手法として、任意に選択した範囲内の3D点群データだけを差分抽出する機能を設けた。複数範囲を設定可能にすることで、より細かな条件での変状把握を実現した(図6)。

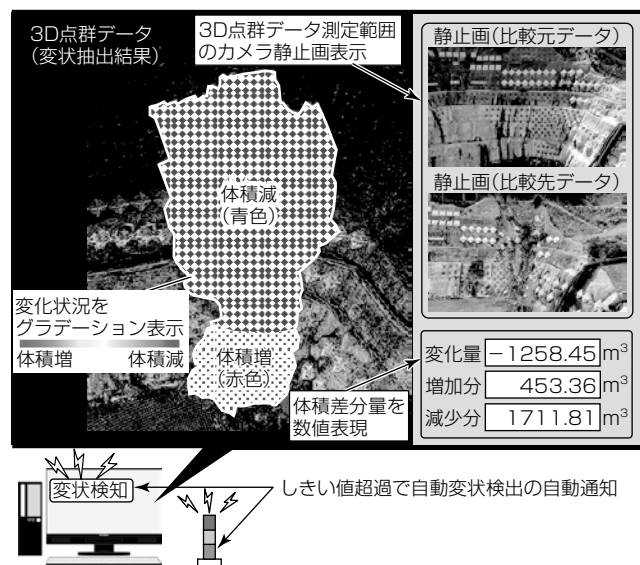


図4. 差分領域の可視化と自動変状検出の自動通知

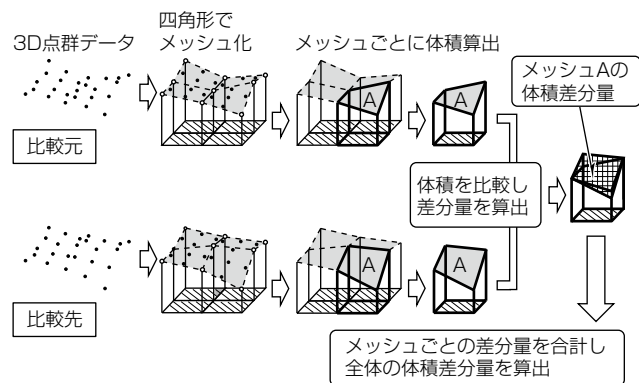


図2. 4点平均法による体積差分量の算出

		幾何モデルA	幾何モデルB	人工物
評価結果				
体積差分量	真値(m³)	77.56	77.56	0.405
	算出値(m³)	77.51	77.47	0.369
真値に対する誤差(%)		0.06	0.12	8.89

図3. 体積算出精度の評価結果

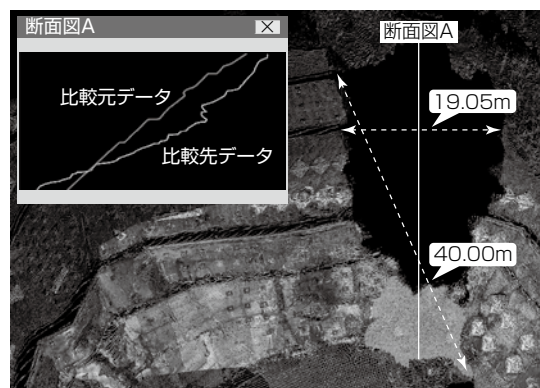


図5. 計測機能と断面図表示機能

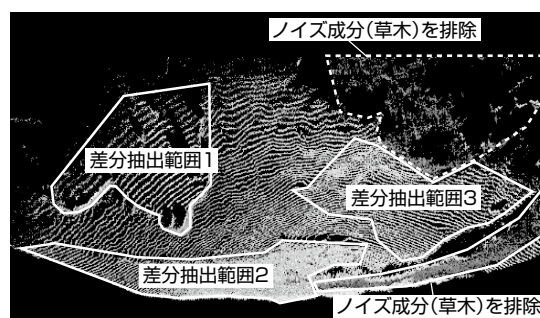


図6. 差分抽出範囲の複数選択

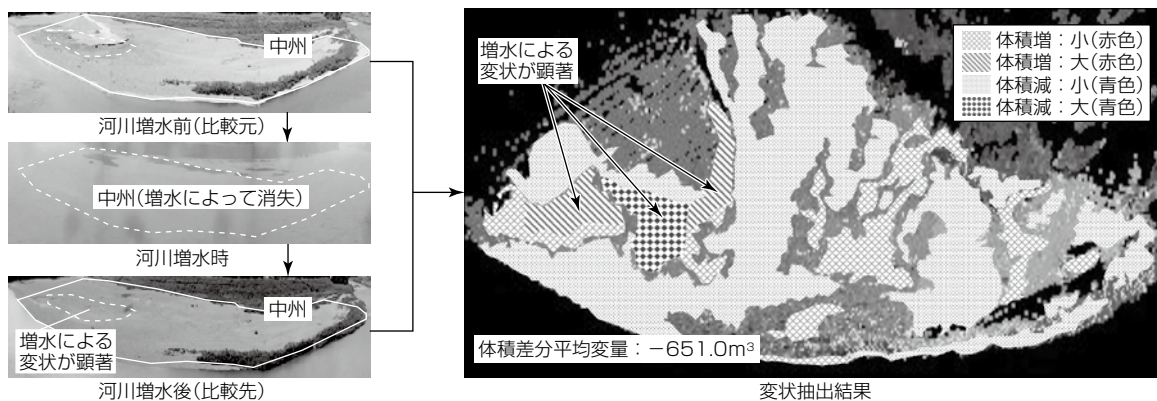


図7. 河川中州での変状抽出結果

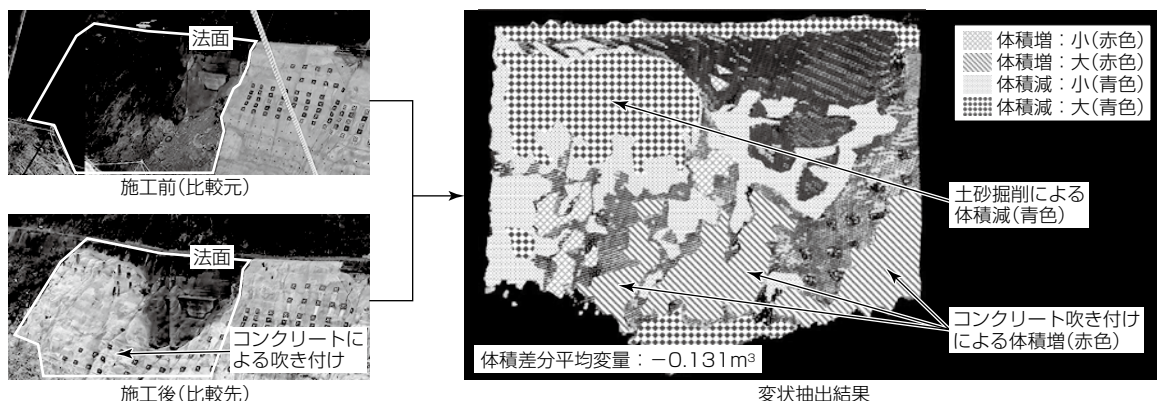


図8. 砂防堰堤法面での変状抽出結果

### 3. 差分抽出機能のフィールド検証

#### 3.1 フィールド検証

洪水予防を目的に適正な状態維持が求められる“河川中州の堆砂状況変化”及び、的確な施工状況把握が求められる“砂防堰堤の建設工事現場での法面の施工状況変化”を対象としたフィールド検証を行った。本来であれば定量的な検証が望ましいが、これらのフィールドでは真値との比較が難しく、また、体積差分(体積増, 体積減)が生じた領域の表示だけでも有用性確認として十分であったため、地形変状時に、視認による変状範囲と比較を行った。

#### 3.2 フィールド検証結果

##### 3.2.1 河川中州での変状抽出確認

大雨等による河川増水前後では、中州の堆砂状況が変化する。フィールド検証では、中州の堆砂状況を1地点から計測し、変状抽出を行った。体積差分の領域について、視認による変状範囲と、このシステムによる表示結果を比較し、合致していることが確認できた(図7)。

##### 3.2.2 砂防堰堤法面での変状抽出確認

砂防堰堤の建設工事現場では、コンクリートによる吹き付け施工が行われるため、施工進捗に応じて法面の形状が変化する。検証では、法面状況を2地点から計測し、変状抽出を行った。2地点で計測した3D点群データで変状抽出を行うためには一つの3D点群データに統合を行った上で解析処理する必要がある。

結果は、視認による施工状況に対して、体積差分領域の表示が合致していることが確認できた(図8)。

##### 3.2.3 フィールド検証結果のまとめ

河川中州及び砂防堰堤でのフィールド検証の結果、地形変状時に、体積差分領域の抽出・表示が可能であることが確認できた。

一方、車両など草木以外の“ノイズ”による地形変状の誤検知や、2地点で計測した3D点群データの重ね合わせ精度に伴う誤差などが発生した。これらを補完する機能を追加実装するとともに、フィールドでの定量的検証によって、精度向上、利便性の改善等を行っていく。

## 4. むすび

3D点群データを用いて、河川堤防や砂防堰堤法面の地形変状を検出し、管理者の業務支援及び住民への早期情報提供を可能にする地形状況監視システムについて述べた。

CCTVカメラ映像だけでは行えなかった定量的な現況把握を安全かつ迅速に行うことで、被災時での災害対応の大幅な効率化が期待できる。今後は、道路法面など防災、減災に結び付く様々なフィールドでの適用拡大を図るとともに、更なる精度向上及び機能高度化を目指す。

## 参考文献

- (1) 一般社団法人 建設電気技術協会：TESLA建設電気技術, 198, 14~15 (2019)