

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 27 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420501

研究課題名(和文) 河川防災のための迅速、広域かつ高精度での河川堤防の3次元変状検知技術の研究

研究課題名(英文) Study on three dimensional detection method of river dike deformation with rapid response, wide area and a high accuracy for river disaster prevention

研究代表者

西山 哲 (NISHIYAMA, SATOSHI)

岡山大学・大学院環境生命科学研究科・教授

研究者番号：00324658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：地球規模の異常気象によりゲリラ豪雨などの大雨が多発しており、それに伴い堤防決壊による洪水の被害も多発する傾向にある。しかしながら河川堤防の維持管理のための点検作業は、目視による巡視といった人的労力による定性的な管理しか実施されていないのが実情である。本研究は、レーザスキャナ機器を搭載した車両を走行させながら広域をリアルタイムで3次元測量する技術を構築し、点検作業に要するコストを抑えながらも、高精度、高密度な面的なモニタリングで管理する新しい河川堤防監視技術の構築に取り組み、広域な河川堤防のどこが、どのように危険な状態にあるのかを災害前後に迅速かつ正確に把握する計測手法を完成させた。

研究成果の概要(英文)：We have had lots of heavy rains caused by global abnormal weather, and these days the damage of the flood by river dike collapse has occurred frequently. However, inspection works for maintenance of river dike depends on visual inspection by experts, and only qualitative observation has carried out for river dike maintenance. In this study, we developed measurement method using vehicle equipped with a laser scanner apparatus. This measurement method can monitor the river dike of wide area in real time with three dimension and a high accuracy, and it has an advantage that we can perform the monitoring work without human efforts and time consuming. We completed the monitoring technique to grasp exactly before and after a disaster where and how the river dike is dangerous by using the vehicle measurement method.

研究分野：地盤工学

キーワード：車両走行計測技術 河川堤防 河川モニタリング レーザ照射技術 3次元計測 高精度計測 高効率  
広域計測 河川構造物

1. 研究開始当初の背景

平成 18 年度に「安全・安心が持続可能な河川管理のあり方」が社会資本審議会にて提言され、さらに平成 23 年 5 月に「国土交通省河川砂防技術基準 維持管理編（河川編）」が策定され、昨今の出水による災害や、日々の川の管理の重要性を踏まえて、巡視・点検等の維持管理の効率化、河川状態の分析評価の高度化が求められるようになった。それらを背景にして、図 1 に示す「サイクル型維持管理体系」も提唱され、従来の河川縦横断管理の高度化や平常時の定期管理から異常時（出水時・地震時）の河川構造物の迅速な分析・評価の対応を可能にする管理技術の構築が必要となっている。ところが河川管理のモニタリング手法を考えると、主として光学的な測量機器や GPS を用いた人的労力に頼った縦横断測量による管理が実施されているのが実情であり、広域を対象にしながらも 200m の距離間ごとの間欠的な計測値しか得られない。この計測の非効率化を解消し河川堤防の状態を詳細かつ面的に捉えるために、航空レーザ測量の導入も図られてきた。しかしながら航空レーザ測量では、航空機をある一定の距離以上の上空に飛行させなければならないことから計測精度の向上に限界があり、軟弱な基盤上や堤防本体の土質特性に起因した堤防天端の沈下あるいは堤防法面や河川構造物の変位を高精度で求めることが難しく、さらに計測コストが高く、また緊急時に迅速に対応することが容易ではないという課題を抱えている。

本研究開発はこの背景を鑑み、低コストで迅速に対応できる作業ながらも、限られた箇所での縦横断測量による管理から高精度の面的な測量値に基づく管理に変えることが可能なモニタリング技術を実現させるため、車両搭載型レーザスキャナによる河川堤防の変状検出技術を構築するものである。具体的にはレーザ機器を車両に搭載して、走行しながら河川堤防の測量を実施する手法を完成させるものである。この手法により、日常の管理および災害発生時の管理にかかわらず、堤防のどこがどのような状態であるのかを正確に把握し、的確な対策を措置するための資料をリアルタイムにて提供できる技術を実現させる。

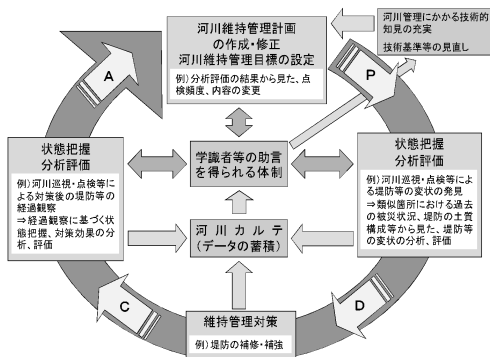


図 1 河川巡視・点検による P D C A サイクルの概要

2. 研究の目的

整備計画の見直しに基づき我が国の河川は整備されつつあるが、近年はゲリラ豪雨による堤防決壊や河川構造物の老朽化による被害が多発する傾向にある。その一方で管理に要する財政状況が厳しくなっているために、防災のための管理技術のより一層の合理化が求められる。しかし目視点検や GPS 測量といった人的労力による管理しか実施されていないのが実情であり、広域な河川箇所どころが、どのように危険な状態にあるのかを災害前後に迅速かつ正確に把握するのが困難な状態である。本研究は、レーザスキャナ機器を搭載した車両を走行させながら広域をリアルタイムで 3 次元測量する技術を構築し、モニタリングに要するコストを抑えながらも、高精度、高密度な面的なモニタリングで管理する新しい河川堤防および河川構造物監視技術を実現させる。

3. 研究の方法

航空レーザ測量で用いているレーザ機器を車両に搭載して、走行しながら河川堤防を計測する技術を完成させるのが本研究である。車両に搭載したレーザで 3 次元計測する手法は、既に道路台帳作成のために道路周辺の構造物のデータを取得する作業や、健全性を評価するために道路トンネルの 3 次元形状を計測する手法への適用が試みられており、レーザ機器を搭載するための車両技術の開発はほぼ完成している。本研究に用いる車両の代表的な構造は図 2 に示すようなものであり、前方と後方に複数のレーザスキャナおよびデジタルカメラを備え、走行しながら 3 次元のレーザ点群データ、場合によっては画像データを取得する。レーザスキャナは車両の仕様によっては前後左右に複数台を装備することができるので、一度の走行で全周囲の高密度なレーザ点群を得ることができる。走行中の車両の位置および姿勢は、これらの機器と同じ天板上に装備した複数の GPS による測位測定結果、IMU (Inertial Measurement Unit: 慣性計測装置) による角度と加速度の計測値を用い、さらに車両に装備されたオドメトリ装置 (車輪の回転による距離計) による移動距

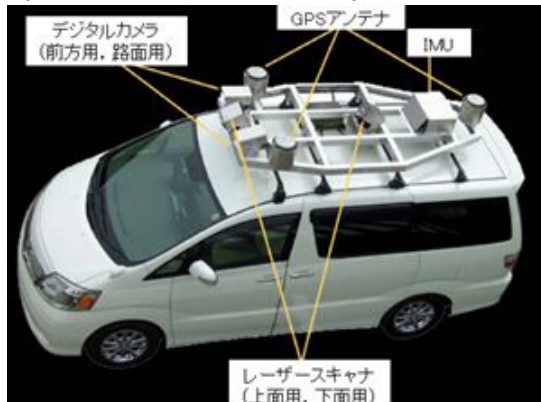


図 2 河川計測用レーザ計測車両の概念

離の計測値を同時に処理することにより、時速 80km までは走行速度に関係なく、高精度でレーザが照射された対象物の 3 次元座標を取得する。ただし車両走行によるレーザの照射計測に関して、現在まで開発されたハード機器の仕様では数 10m の短距離にある物を対象にしているものに限られていることや、計測データから変状を検出する技術は開発されておらず、堤防を広域に計測して変位を検出する技術へと高度化するためには、これまでの技術を基にした新たな技術の研究開発が必要となる。すなわち、本研究は道路構造物の情報などを取得するために導入が進められている車両搭載型レーザスキャナを河川堤防管理用モニタリング技術へと高度化させるためのレーザ計測技術とデータ処理技術を実施し、新しい河川堤防管理手法を実現させることが目的である。具体的には、広域で面的かつ高精度のモニタリングを実施するための走行車両による 300m 以上の遠距離を照射するレーザの照射技術と時系列データを高精度で重ね合わせる技術の融合により、河川天端あるいは周辺の道路を時速 20-30km/s の速度で車両走行するだけで、走行路対岸の法面を含めて容易に広域の 3 次元データを取得し、そのデータから堤防や河川構造物の変状の状態をリアルタイムで的確に把握する防災技術の構築を目指すものである。本研究は下記の各項目を開発することにより前記技術の完成を目指す。

#### (1) レーザ照射技術の開発

照射距離 300m 以上、照射密度は 10 万回/秒以上のレーザスキャナを車両に搭載し、河川天端および周辺道路を走行しながら GPS と同等の高精度で対象物を計測するレーザ照射技術を確立させる。すなわち  $\pm 20\text{mm}$  の精度で変状を抽出するためには、照射時のレーザ照射位置と姿勢の 3 次元座標を高精度で正確に把握し制御する必要があり、レーザスキャナと同じ車両天板部に搭載される位置と角度の計測・制御用 GPS と IMU のデータ処理を高度化する。

#### (2) データ処理技術の開発

デジタル写真測量技術などで使用されている時系列データから変状を 3 次元的に抽出

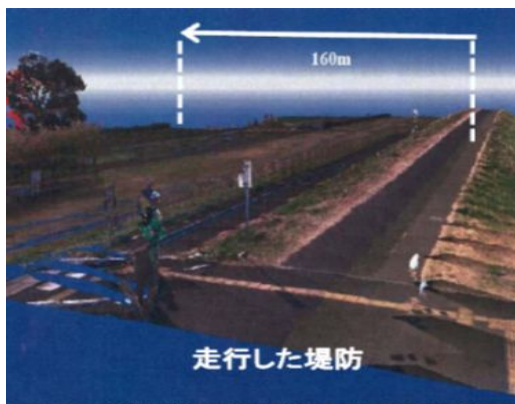


図 3 遠距離照射レーザによる堤防点群

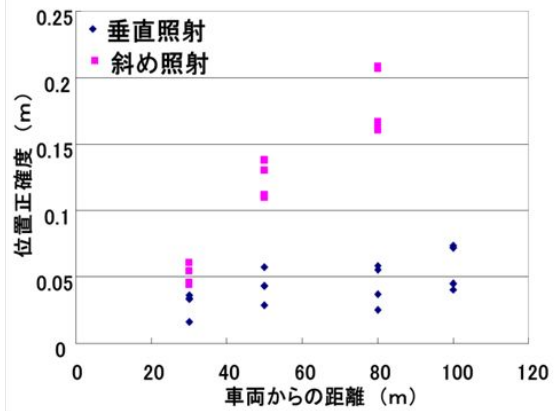


図 4 計測精度検証実験結果

する解析技術を、高密度のレーザ 3 次元データに適用できるように高度化する。これにより堤防天端沈下、堤防法面の変位を面的に捉え、また平常時と洪水時の外水位の変動に伴う堤内地側法面の漏水の影響による変状の検知も可能にする。

### 4. 研究成果

#### (1) レーザ照射技術の開発

図 3 は照射距離 500m 以上、照射密度 30 万点/秒以上のレーザスキャナを用いて堤防天端走行によって取得したレーザ点群の例である。図に示すように計測現場を広範囲に捉える点群が得られ、河川管理に活用できる点群データを効率的に取得可能であることを実証した。

次に堤防天端を 10km/hr の速度走行する条件にて精度検証用のターゲットの座標を計測した結果を図 4 に示す。また計測はレーザを車両進行方向に対して垂直に照射させた場合と、斜め（進行方向に  $45^\circ$ ）に照射させた場合を実施した。この結果より開発初年度に構築した高精度計測が本現場でもレーザ照射方向に関わらず再現されることを実証した。本計測は GPS の受信状況あるいは電子基準点の配置によって精度が大きく変わる欠点をもっているが、本結果はその欠点を克服するため計測対象領域に新設の基準点をあらたに設置し、その基準点にて MMS の位置を補正することによって得られた結果であり、計測領域に依存しない本計測手法の汎用性も確立させることができた。

#### (2) データ処理技術の開発

高密度レーザデータには植生の影響や高密度条件にて発生する各種誤差が含まれ、それらの影響を除去して堤防の形状を把握する分析技術がモニタリングには必要となる。図 5 は堤防を 1.0m 間隔の横断面に区切り、その横断面内でレーザ点群のフィルタリング処理を行うことで、河川堤防の 3 次元形状を復元させたものである。この堤防形状と 3 年前に実施された航空レーザ測量との差分を算出したものが図 6 である。除草作業は必要であるが、広範囲にわたる堤防の計測値に対して、発生した変状の量を任意に抽出する

ことが可能である。

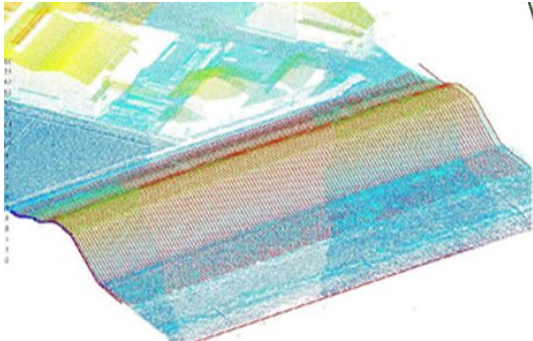


図5 堤防の3次元形状の復元

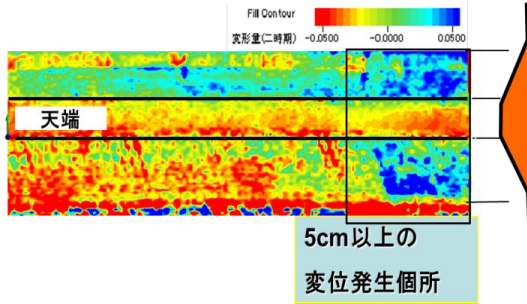


図6 堤防形状の差分解析例

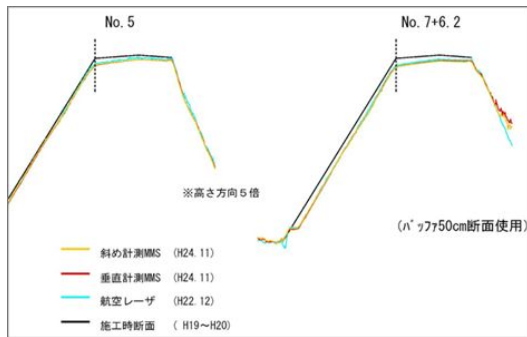


図7 堤防形状の経年変化の解析例

また図7は、施工時の断面を復元したものととの差分析結果等を示すもので、昨年度開発したデータの重ね合わせ技術を応用し、堤防に発生する変状の経年変化を面的に捉える技術を完成させた

さらに図8および図9は1回の計測データから変状箇所を抽出した結果を示すものである。図8は堤防表面の凹凸が大きく出現する箇所を抽出するもので“孕み出し”部分が赤色で表示され、また図9は堤防天端の中心の標高との差を抽出するもので、50mm以上の標高差がある箇所を青色で表示する。図6から図9で示された変状箇所はいずれも現地の踏査結果と整合するものであった。このように従来の定期縦横断面測量と比べ、車両走行という簡便な手法によって連続した定量的な堤防の状態把握が可能になる。

以上、本研究開発によって次の技術を完成させた。

- (1) 車両走行という簡便かつ迅速な計測手法ながら1から3cmメッシュという高密度で河川堤防における±20mmの変状を検出することを可能とする

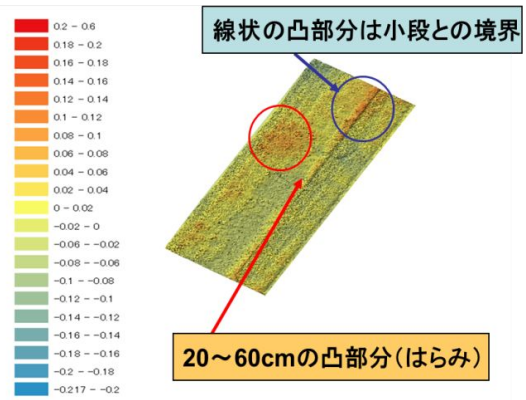


図8 堤防における凹凸形状の解析例

- (2) 汎用的な計測技術の完成。
- (2) 本計測による計測結果をデータベース化として点検作業に活用するための複数あるいは他の計測結果を重ね合わせることを可能とするソフトウェアおよび重点的に点検する必要がある箇所をスクリーニングする作業のための分析技術。



図9 堤防の標高差の解析例  
赤の破線は200mの間隔を示す

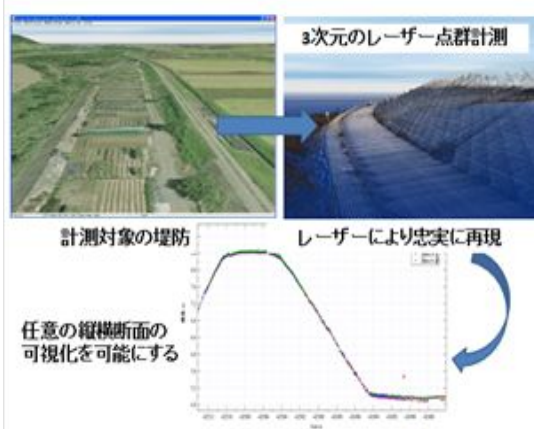


図10 本手法による堤防点検作業の概念

このように、レーザスキャナ機器を搭載した車両を走行させながら広域をリアルタイムで3次元測量する技術を構築し、モニタリングに要するコストを抑えながらも、高精度、高密度な面的なモニタリングで管理する新しい河川堤防管理手法の構築を完成させた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

橘菊生, 間野耕司, 島村秀樹, 西山哲: 河川堤防計測へのモバイルマッピングシステムの適用, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 54, No. 4, pp. 166-177, 査読有り, 2015

橘菊生, 間野耕司, 島村秀樹, 西山哲: 河川堤防計測のための高所設置型 MMS の開発と精度検証, 応用測量論文集, Vol. 26, No. 75-86, 査読有り ISSN2185-1867, 2015

東良慶, 西山哲, 石川貴一郎, 吉岡裕嗣, 島村秀樹, 大津裕之: モービルマッピングシステムによる河川堤防の高精度計測, 土木学会河川技術論文集, 第 20 巻, pp. 485-490, 査読有り, 2014

東良慶, 吉岡裕嗣, 西山哲, 石川貴一郎, 船田征, 久保田啓二郎: モービルマッピングシステムの河川堤防管理への適用性の検討, 土木学会河川技術論文集, 第 19 巻, pp. 21-26, 査読有り, 2013

西山哲: 車両走行型レーザスキャナを用いた迅速かつ効率的河川堤防検査手法の開発, 河川(日本河川協会), 第 69 巻(第 10 号), 807, pp. 30-33, 査読無し, 2013.

〔学会発表〕(計 11 件)

西山哲: インフラの長寿命化対策技術について, 岡山県土木施工管理技士会, 岡山建設会館, 2015 年 7 月 24 日

橘菊生, 間野耕司, 島村秀樹, 西山哲: 河川堤防計測のための高所設置型 MMS の開発と精度検証, 第 26 回応用測量技術研究発表会, 東京大学, 2015 年 6 月 24 日

西山哲, 藤木三智成, 井上浩一, 和田寛: モービルマッピングシステムを活用した道路ストックデータベースの研究, 交通科学研究会平成 26 年度学術研究集会講演論文集, 大阪市立大学, pp. 37-38, 2014 年 12 月 5 日

西山哲: インフラ構造物維持管理のための移動体計測による 3 次元モデルの活用, 精密工学会大規模環境 3 次元計測と認識・モデル化技術専門委員会, 大阪大学, 2014 年 10 月 10 日

西山哲: 少子化時代におけるインフラ構造物の維持管理をどのように考えるのか, 中国地方建設技術開発交流会, 山陽新聞

さん太ホール, 2014 年 10 月 14 日

西山哲: 国土強靱化を支えるこれからの技術, 岡山県土木施工管理技士会, 岡山コンベンションセンター, 2014 年 7 月 22 日

西山哲: インフラ長寿命化計画のための地盤工学とモニタリング技術の融合について, 地盤工学会岡山地域セミナー 第 2 回講演会, 岡山大学環境理工学, 2014 年 7 月 7 日

西山哲: 車両搭載型レーザ計測装置の利用, 地盤工学会主催 わかって使うレーザ計測講習会, 地盤工学会大会議室, 2013 年 10 月 31 日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
無し

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西山 哲 (NISHIYAMA Satoshi)  
岡山大学大学院 環境生命科学研究科  
教授

研究者番号: 00324658

### (2) 研究分担者 無し

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者 無し

( )

研究者番号: