

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月10日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01329

研究課題名（和文）河川堤防および河川構造物の維持管理のための高精度車両走行計測技術の研究

研究課題名（英文）Research on high precision travelling vehicle measurement technology for maintenance of river embankment and river structure

研究代表者

西山 哲 (nishiyama, satoshi)

岡山大学・環境生命科学研究所・教授

研究者番号：00324658

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：人材不足や財政難の問題から、河川堤防や河川構造物の点検作業のより一層の合理化が要求されており、世界最先端のICRT技術を活用して、高効率や低コストをキーワードとした予防保全による維持管理水準の向上を図ることの重要性が高まっている。なかでも車両に各種計測機器を搭載して走行しながら計測する計測法は、広域を効率よく点検する技術と期待されてきたが、計測精度の不足や経験を要するデータ処理が必要になる等の問題により実現していない。本研究は、この課題解決を図り、レーザスキャナとデジタル画像機器を搭載した車両による移動体計測の高精度化技術を図り、河川堤防および構造物の車両走行型モニタリング技術を実用化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

河川堤防は、出水期や出水後に作業員の徒歩による目視点検で確認しているが、調査に時間や労力がかかり、河道・堤防の長大な延長の変状を客観的に迅速に把握することは困難である。また水門、樋門・樋管あるいは堰などの河川構造物は3万箇所存在し、いずれも老朽化する問題を抱えながら、堤体と同じく目視点検しか行われておらず、健全性が定量的に評価されていない。頻発しているゲリラ豪雨などの災害状況の変化への対応や将来の人材不足への対策が要求されながらも、経験に頼った目視に代わる点検技術は開発されていない。本研究は、ICRT技術を活用することにより、これら課題の解決を図るものであり、その意義は大きいと考える。

研究成果の概要（英文）：Due to the lack of human resources and financial problems, further streamlining of inspection work of river embankments and river structures is required. Therefore, it is becoming more important to use ICRT technology to improve maintenance and management levels through preventive maintenance with high efficiency and low cost. Measurement methods using a travelling vehicle with various measurement devices have been expected to be techniques for efficiently checking a wide area, but due to problems such as lack of measurement accuracy and data processing requiring experience, it has not been used. In order to solve this problem, this research aimed to improve the accuracy of the travelling vehicle measurement method equipped with a laser scanner and digital imaging equipment, and put into practice the monitoring technology of river embankments and structures.

研究分野：防災工学

 キーワード：ICT技術 河川堤防 河川構造物 レーザ点群 デジタル画像 車両走行計測 点検作業の高効率化
3次元計測

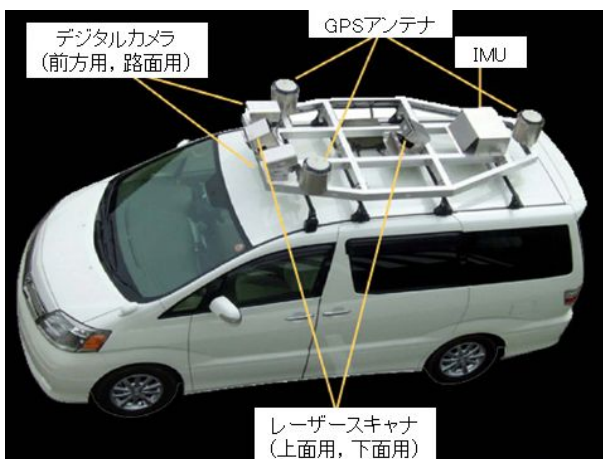
様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

河川の堤体等の外観の変状は、出水期、台風期および出水後に作業員の徒歩による目視点検で確認している。この方法では調査に時間や労力がかかり、河道・堤防の長大な延長の変状を客観的に迅速に把握することは困難である。また水門、樋門・樋管あるいは堰などの河川構造物は3万箇所存在するが、その約40%が5年後には老朽する恐れがありながら、堤体と同じく目視による定量的な検査が困難である状況にある。将来ゲリラ豪雨などの新たな災害に対する迅速な対応や将来の人材不足への対策が要求されながらも、経験に頼った目視に代わる点検技術は開発されておらず、例えば航空レーザー測量の活用も検討されてきたが、300m上空からの測量のために計測精度の向上に限界があり、また計測コストが高く緊急時に迅速に対応できない課題が解決されていない。近年、道路台帳作成用に道路周辺の構造物を認知する、あるいはトンネルの3次元計測データから変形箇所を抽出するために、レーザスキャナ等を車両に搭載して走行しながら対象物の3次元座標を取得する技術が注目されており、本技術を河川管理へ応用する検討も行われてきた。本手法に用いる機器の例を図に示す。レーザスキャナおよびデジタルカメラを備えた車両が走行しながらレーザ点群と画像データを取得する。走行中の車両位置およびレーザ照射角度は、機器と同じ天板に装備したGNSS(GPS)あるいはIMU(Inertial Measurement Unit: 慣性計測装置)による測位値で特定し、広域にある対象物の座標を効率よく取得できる利点がある。本手法の河川管理への活用の期待は大きいですが、これまでの道路という平面を走行して数10m以内の近距離の対象物を計測する場合と異なり、河川堤防の変状計測への応用には、例えば次のような課題が解決されておらず、未だに実用化に至っていない。

・法尻まで高密度のレーザ点群を得るには遠距離を照射する機器の使用になる。その場合、道路構造物やトンネルなどの近距離照射とは異なり、数10m以上の遠方を対象にした場合では、レーザ照射位置や姿勢角の計測誤差が大きく影響する。その結果、レーザ点群の高精度化が困難となる。

・河川堤防を安定走行できるのは堤体天端であるが、堤体法面に対してはレーザ光の入射角が浅くなり、オクルージョン領域(見えない箇所)が生じるため堤防全体の形状の把握が困難に



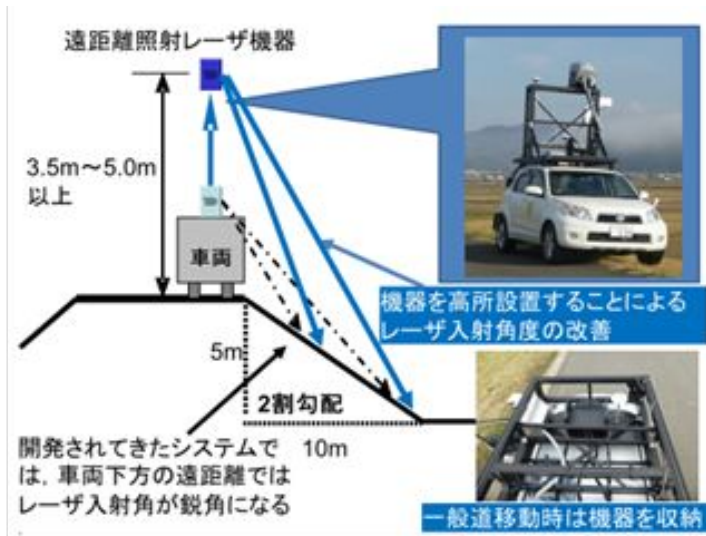
なる。また堤体の植生の影響のためにレーザが表面に届かず、計測できる時期や地域が限定される。

本研究は、計測データの処理技術の高度化を含めて、上述の技術的課題を解決し、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までもリアルタイムで的確に把握する点検技術を完成させるものである。

2. 研究の目的

本研究の狙いは、これまでの目視点検という人的労力に頼る河川管理から、車両走行という低コストで迅速に対応できる作業ながらも、面的で定量的な値に基づいた的確な維持管理につながる河川管理に変えることである。そのため、困難であった車両走行計測データの高精度化を実現するために、次の研究開発に取り組む。

・車両走行計測技術は、道路周辺の構造物やトンネル壁面といった近距離の計測用に開発され



てきたため (Mobile Mapping System: モービルマッピングシステムとも称する), 天端から法面といった遠距離に照射されるレーザーの入射角度は鋭角的になることで, フットプリントと言われるレーザーの照射範囲が大きくなり, 高精度化が困難である. この課題に対して図のように高い位置からのレーザー照射が有効であるが, 走行中の車両は上下の揺動が激しく, 高所設置機器の姿勢計測

誤差が大きくなり, 結局遠方へのレーザー照射の高精度化が実現できない状態である. 本研究では, 車両位置とレーザーの照射姿勢の測位技術を開発し, $\pm 20\text{mm}$ の高精度で堤防全体の形状を復元する技術を完成させる.

・車両に搭載されたデジタル画像機器によって取得された画像データを用いて 3 次元的に河川構造物を復元し, その復元像と前記高精度レーザー点群と重ね合わせることにより, 構造物上の任意の計測点の座標を特定できるようになる. その後, 当計測点の座標の経時変化を追跡することにより, 構造物の変状発生状況を定量的にデータベース化することができる. すなわちレーザー点群だけでは構造物上の任意の計測点を特定することは困難であるが, 写真測量技術による 3 次元復元像と重ねる技術により, 任意の箇所の座標値を計測でき, 河川構造物の変状検知が可能になる.

本研究は, このようにハード機器とソフト技術の両面の技術開発の成果により, 期待されながらも実現できなかった堤防や河川構造物の変状を高精度に把握する車両走行計測の構築を目指す.

3. 研究の方法

本研究における下記項目ごとに, その方法を記述する.

< 車両走行によるレーザー計測データの高精度化 >

ガードレールや法面上の植生の影響を排除し, さらに非鋭角的な入射角によって点群の高精度化を図る高所からのレーザー照射を可能にするため, 走行車両の自己位置およびレーザー照射角データの高精度化を可能にするハード技術と精密測位技術の構築を図る. これにより堤体状況は河川ごとに異なるが, どのような河川でも天端を車両走行することで法面を含めた堤体全体を $\pm 20\text{mm}$ の精度で 3 次元的に計測する技術を実現する.

< 河川構造物の変形計測技術の開発 >

上述のレーザー計測技術の高精度化が実現した後, デジタル画像機器を同時に車両に搭載し, 河川構造物のレーザー点群と画像データを同時に取得し, その時系列データから微細な変状を抽出する解析技術を確認させる. レーザ点群は高密度で照射しても任意の計測点を特定することは困難であるため, 写真測量技術による 3 次元復元画像とレーザー点群を重ね合わせ, 構造物上の任意の計測点の座標値変化を特定できる点検技術を完成させる.

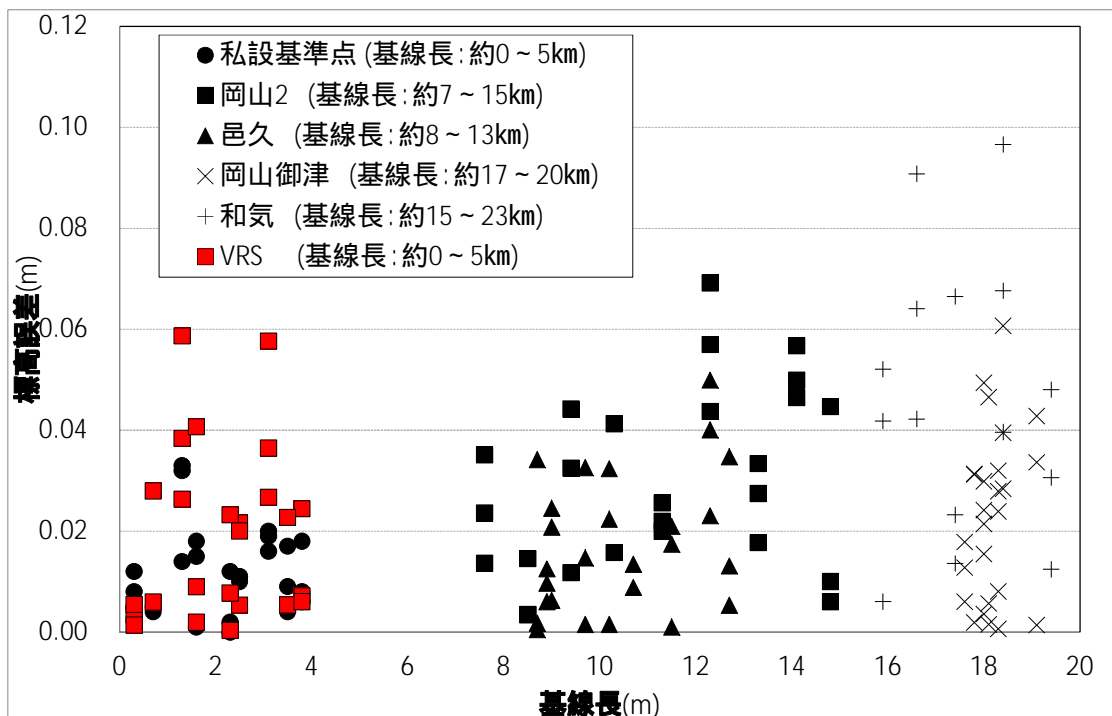
4. 研究成果

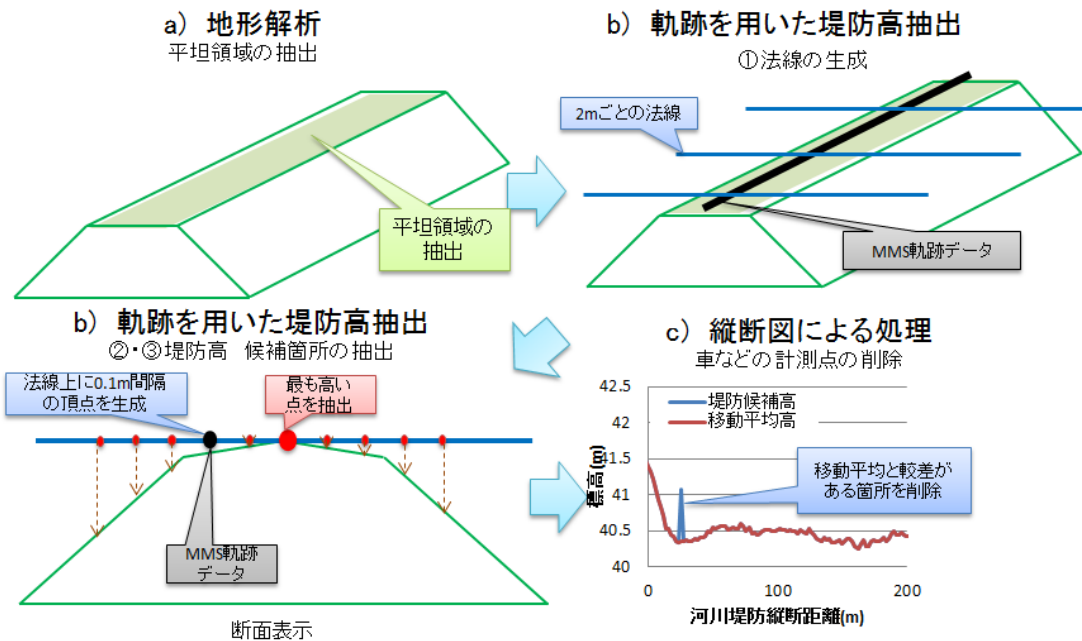


MMS は、車両に GNSS 受信機、慣性計測装置 (IMU : Inertial Measurement Unit), レーザスキャナなどの計測機器を搭載し、自己位置と姿勢を測定しながら車両周辺の三次元形状を計測できる車載レーザ計測システムである。その自己位置精度は、RTK-GNSS 測位結果と IMU の慣性測位結果の結合処理により決定される。一般に RTK-GNSS 測位は、固定局から MMS までの距離 (基線長) が長くなるにつれて、GNSS 電波の電離層遅延などの影響により位置精度が劣化する。長い線状構造物の河川堤防では、基線長が長くなりやすいため、MMS 取得データの

位置精度が低下しやすい。そこで基線長を仮想的に短くする測位技術として、ネットワーク型仮想基準点 (Virtual Reference Station) 方式の RTK-GNSS 測位 (VRS 方式) の活用を考える。VRS 方式とは、周囲にある複数の電子基準点等の観測データから電離層・対流圏による信号の遅延や衛星の軌道誤差の補正量を生成する技術である。本研究は、前述の通り、図に示す高所設置機器の MMS と VRS 方式の組み合わせによる高精度車両移動型計測技術の構築を目指す。

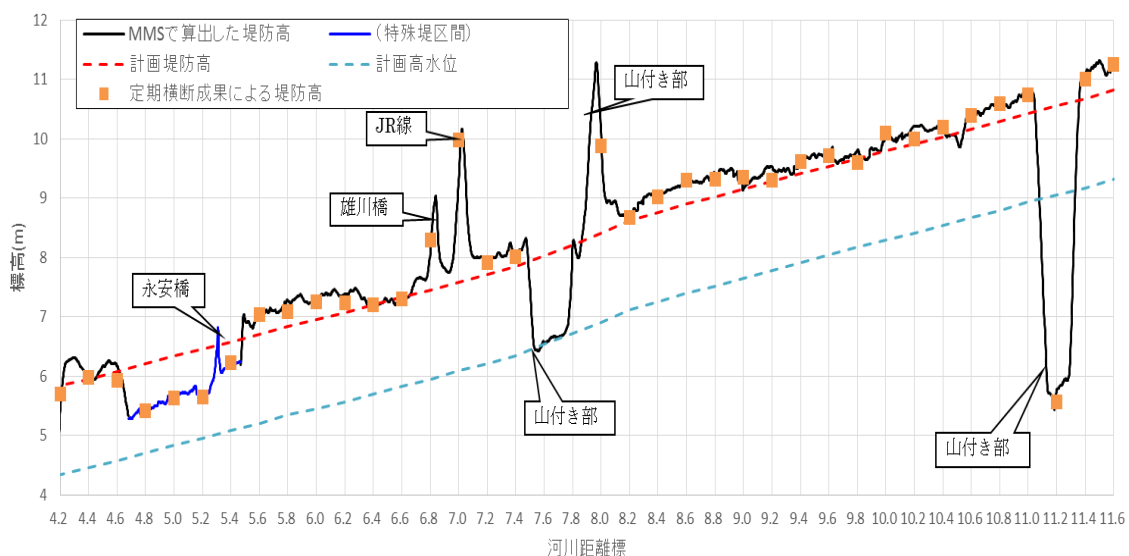
日本で整備された電子基準点は 20km より短い間隔で配置されている。本研究では、岡山県吉井川流域において、基線長 20km までの区間を対象にして、私設基準点と 4 箇所の電子基準点をそれぞれ固定局に用いた RTK-GNSS 測位から MMS 点群を生成し、GNSS の受信が良好な地区に設置した検証点と比較した。下図は計測結果を示す。黒色のプロットは RTK-GNSS 測位で生成した MMS 点群と検証点の精度であるが、標高の精度は、基線長が長くなるにつれ劣化するとともに、ばらつきが大きくなる傾向が見られる。また赤色プロットは VRS 方式の MMS 点群の較差である。この MMS 点群は、私設基準点を設置した位置に VRS 方式の補正を施した GNSS 観測データを生成し、固定局として使用して得たものである。このように、VRS 方式を導入することで、最長 20km あった基線長は、仮想的に 5km 以下になり、その結果、平面の位置精度は 0.05m 以下となり、RTK-GNSS 測位精度に比べて同等もしくは良好な結果を示す。このように、VRS 方式の導入により、MMS の実用化を実現する高精度化を図ることを可能にした。



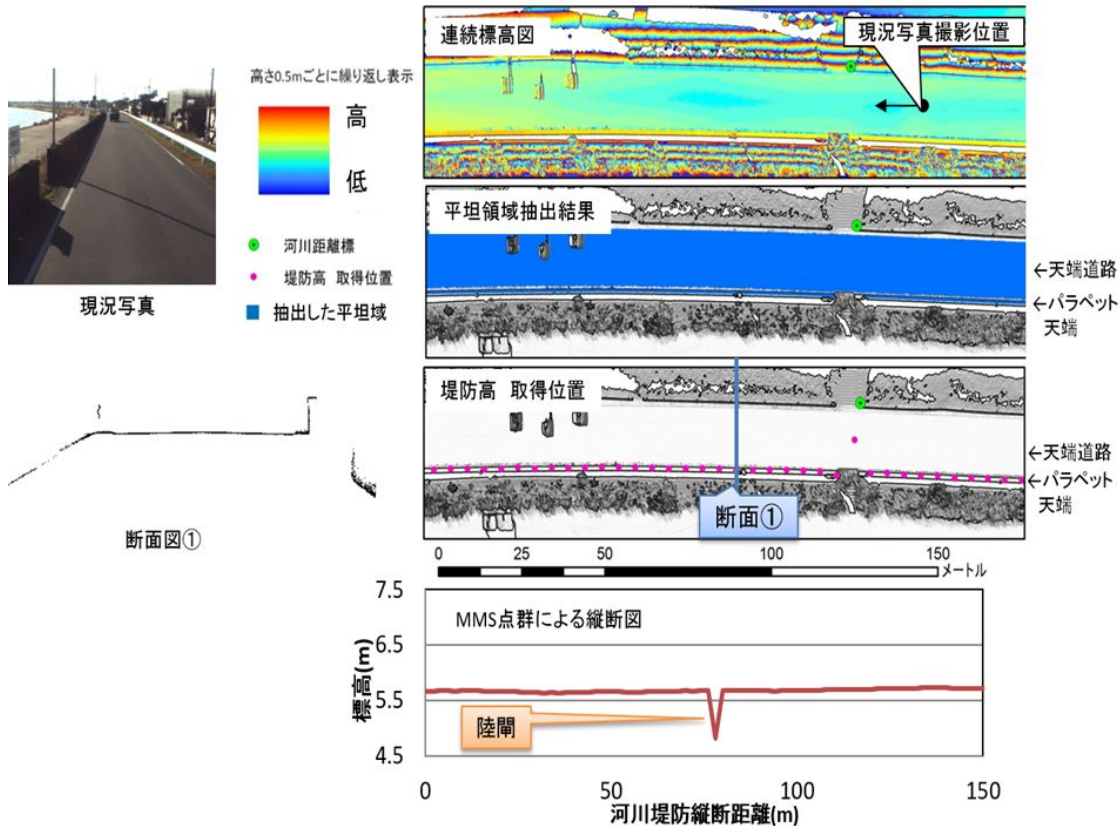


上図は、本研究で開発した MMS 計測から堤防高を抽出する処理を示すものであるが、本手法は、MMS 計測により得られる軌跡データと MMS 点群を用いる。その処理は、3つの工程で構成され、はじめに、MMS 点群を用いた地形解析を行い、天端の平坦領域を抽出する。その結果と軌跡データを用いて、堤防高の候補となる箇所を抽出する。最後に、縦断方向の連続性に着目した処理を施し、堤防高を抽出する。

このソフト開発により、下図に示すように堤防高、計画堤防高および計画高水高を重ねた縦断面図の作成を容易にした。図の 4.7~5.5k.p は特殊堤の区間であり、天端幅の狭い特殊堤でも、土堤の天端と同程度の精度を確保していることが確認できた。4.4k.p や 6.6k.p 付近は、約 50m の区間にかけて、計画堤防高に対しての余裕高がほとんどなく、周辺より 0.15~0.2m 程度低いことが確認できる。計画堤防高や計画高水高と現況の堤防高を容易に比較できるだけでなく、従来手法で難しかった周辺より低い区間を連続的に把握できることが確認できるソフトを開発する成果を得ることができた。



また研究開発目標である写真測量技術による 3次元復元画像とレーザ点群を重ね合わせによる構造物上の任意の計測点の座標値変化を特定できるソフト技術も、次ページの図に示すように完成させることができた。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- (1) 間野 耕司, 井関 禎之, 森田 真一, 橘 菊生, 西山 哲: 移動計測車両による河川堤防高把握の検討, 土木学会論文集 F3 1_53-1_64. 2018 年, 査読有, DOI https://doi.org/10.2208/jscejcei.73.1_53.
- (2) 間野耕治, 井関禎之, 森田真一, 橘菊生, 西山哲: MMS による河川堤防の変形・沈下把握に関する研究, 応用測量論文集, Vol.28, ISSN2185-1867, pp.63-74, 2017 年, 査読有.
- (3) 藤木三智成, 西山哲, 井上浩一, 阿部亮吾, 徳岡杜香: 3次元レーザ点群による河川堤防点検手法の開発, 地盤と建設, Vol.35, No.1, pp145-153, 2017 年, 査読有.
- (4) 藤木三智成, 西山哲, 井上浩一, 堀川毅信, 大石哲, 島田英司, 阿部亮吾, 徳岡杜香: 車両移動計測手法の河川堤防点検への適用に関する研究, 地盤と建設, Vol.34, No.1, pp109-117, 2016 年, 査読有.

〔学会発表〕(計 2 件)

- (1) 崎田晃基, 西山哲, 菊地輝行: 移動計測車両による法面モニタリング手法のための解析手法の精度検証, 第 73 回土木学会年次学術講演会, 2018.
- (2) 間野 耕司, 井関 禎之, 森田 真一, 橘 菊生, 西山 哲: 移動計測車両による河川堤防高計測の検討, 第 42 回土木情報学シンポジウム, 2017.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件), 取得状況(計 0 件)

〔その他〕 無し

6. 研究組織

(1) 研究分担者 無し

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 間野 耕司, 橘 菊生

ローマ字氏名: mano kouji, tachibana kikuo