

## 堤防の変状等を高精度に把握する モバイルマッピングシステムの開発

久保田啓二郎\* 大浪裕之\*\* 西山 哲\*\*\* 東 良慶\*\*\*\*

### 1. はじめに

現在、堤防の監視は担当職員が歩きながら目視により行うのが一般的であるが、この方法では担当職員の技量・経験が求められるとともに、相当程度の時間を要することからコスト等の観点からきめ細かな監視は容易でない。また、そもそも人間の知覚が及ばない僅かな変状を発見することは困難である。河川堤防が出水に対して十分な機能・耐力を発揮するためには、平常時から堤防の外形を監視し、変形等異常が発見された場合はいち早く対策を講じる必要があるとともに、出水直後においても、速やかに変状等異常の有無を確認し、対策を講じる必要がある。

このような背景を踏まえ、本研究開発では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適用させるためのハード・ソフト技術の開発を行い、新しい河川堤防管理手法を構築するものであり、本稿でその研究成果を紹介する。なお本研究は、河川技術分野の技術研究開発課題について、産学の持つ先端的な技術を積極的に活用し、産学官連携による技術研究開発を促進することによって河川行政における技術政策課題を解決することを目的として、国土交通省水管理・国土保全局が創設した河川砂防技術研究開発制度

(<http://www.mlit.go.jp/river/gijutsu/CollaborativeRD/index.html>)のもと、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻の西山准教授を中心とした研究チームと国総研水害研究室が連携しながら実施している。

### 2. 開発目標

本研究は、従来の河川台帳や河川縦横断測量を主とした管理に対して、河川管理の高度化を目指し、3次元数値データによる堤防評価と河川巡視・点検手法を提案するものであり、車両搭載型

レーザスキャナを利用したモバイルマッピングシステム(MMS)の仕様として、以下の通り設定した。

- (1) 位置・高さ精度は従来のGPSと同等で、計測距離75~300mを可能とする。
- (2) 照射密度は10万回/秒レベルで、走査範囲は180度のスキャナ技術を有するものとする。
- (3) 精度は堤防の一般・変状・災害モニタリング管理を考慮し、 $\pm 20\text{mm}$ 以下を最終目標とする。

### 3. MMSの機器構成

本計測で使用した機器は遠距離・高密度レーザ(Riegl、カタログ上の照査距離：500m、30万点/秒)であるが、普及が進んでいる近距離・低密度レーザ(Sick、カタログ上の照査距離：30m、1.35万点/秒)とのレーザ機器の特性の比較を可能とするため、両方の機器を搭載した仕様とした。また、車両で移動しながら計測を行なう際には、データ取得時のセンサヘッドの位置姿勢を高精度かつ時間遅れなく取得する必要がある。そこで図-1に示すように各種センサと位置姿勢標定装置はすべて同じ天板上に固定し、一つの剛体として動くように設計した。

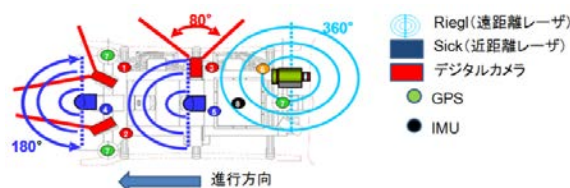


図-1 計測に使用したMMS車両(垂直照射)

## 4. 河川堤防計測へのMMS適用性の確認（研究1ヶ年目）

### 4.1 MMS適用性確認のための計測地選定

MMSの手法の適用性を検証し、実用化に向けての課題を整理する基礎データを取得するため、神奈川県中央部を南下し相模湾に注ぐ、相模川の下流部をフィールドとして選定した。相模川下流部は、以下の計測適合条件を備えている。

- (1) 近年改修した堤防が存在しており、盛土変位を計測できる可能性がある。
- (2) 400～500m程度の川幅と広い高水敷があり、遠方照査実験に適している。

### 4.2 計測結果の検証

#### 4.2.1 照射レーザの検証

遠距離・高密度レーザと近距離・低密度レーザとのレーザ機器の違いによる特性の比較を行った。比較した図を図-2に示す。近距離・低密度レーザでは、走行した堤防天端近傍のみが可視化されるのに対し、遠距離・高密度レーザのMMSでは堤防全体の形状を把握することができ、車両走行という効率的な計測手法で堤防の形状による管理が実現できる可能性が示唆された。

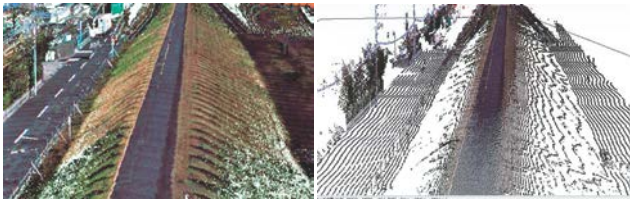


図-2 遠・近距離レーザ点群比較  
(左が遠距離の計測結果、右が近距離の計測結果)

#### 4.2.2 計測精度の検証

MMSの計測精度の検証を行った。図-3は天端走行による天端高さの計測結果を車両走行速度ごとにトータルステーション（TS）測量値と比較したものである。天端の沈下に対しては、目標の±20mmの精度が確保され、往復の計測による再現性も良好であることが実証された。ただし走行速度による計測精度の相違が見られたが、これは路面状態を反映したものと考えられ、舗装路か砂利道かにより、計測時には走行条件を調整する必要がある。

車速 km/h	10	20	30		
平均高さ誤差 mm	-16.70	-12.66	-8.10	-9.45	-3.76
標準偏差 mm	4.31	4.11	3.66	3.71	4.55

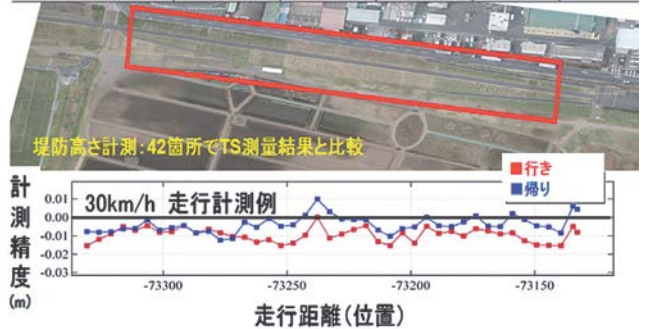


図-3 堤防天端計測結果

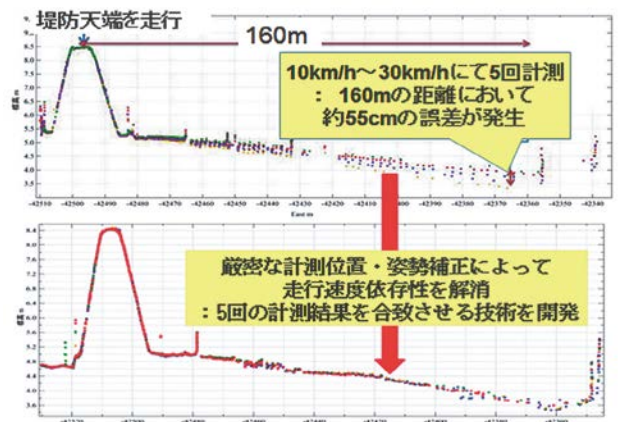


図-4 計測データ重ね合わせ処理例

#### 4.2.3 計測データの重ね合わせ処理技術の検証

図-4に複数回走行によるデータの重ね合わせ処理に関する技術開発を行った結果を示す。堤防天端では精度が確保できるものの、距離が遠くなるにつれてレーザ密度が減少すると同時に、走行ごとの計測精度のばらつきの影響が大きく現れた。そこで遠距離の計測においても高密度のレーザデータを確保して計測精度を向上させるために、複数回の計測結果を重ね合わせる処理技術を構築した。これにより計測精度の車両走行速度の依存性を解消でき、また遠距離におけるレーザ密度を確保できることから、目標とする遠距離での高精度化が可能であることも立証した。さらにこの技術によって、堤防の形状の経年変化を面的に把握できる手法も可能にした。

## 5. 河川堤防管理への適用性の検証（研究2ヶ年目）

ここではMMS計測の利点を活かした河川堤防管理例を試行した研究開発2ヶ年目の結果を示す。計測対象箇所は兵庫県北部を流れる円山川の下流



域で、海成粘土層が厚く堆積していることで継続的な地盤沈下が生じており、河川堤防の沈下・変状等の管理が課題となっている箇所である。

### 5.1 計測精度再現性の検証

図-5は堤防天端走行により天端から一定の距離に設置した検証点の座標を計測し、結果をTS測量と比較したものである。これは前章での処理技術によって堤防の全体形状を計測する際の精度を検証したものである。なお計測は図-6に示すように車両走行方向に対してレーザを垂直に照射した場合と、斜めに照射した場合の両者で実施した。

図-5より斜め計測は垂直計測と比べて照射距離が長くなるので計測精度は劣るものの、照射場所、照射時期および照射機器（方向）が異なっても、前述のように堤防の形状の計測を±20mm以下の精度で実施できることが本現場で実証された。また、レーザの照射方向にかかわらず計測精度が確保されており、レーザ照射機器（方向）に依存しない汎用的な計測手法であることも分かった。

### 5.2 河川堤防形状の経時変化の計測

ここでは「堤防等河川管理施設及び河道の点検要領（平成24年5月）」<sup>1)</sup>に示されている項目に対応させてMMS計測を行った例を示す。

図-7は約10km/hrでの天端走行によって得られた結果から、堤防法面のはらみ出しを調べたものである。これは既存のレーザ測量による成果での法面よりも凹凸が大きくなっている箇所を抽出し

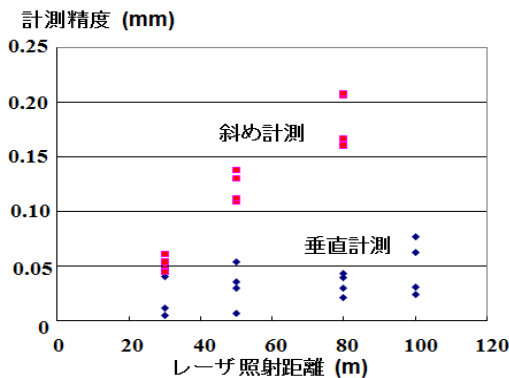


図-5 遠距離・高密度計測結果

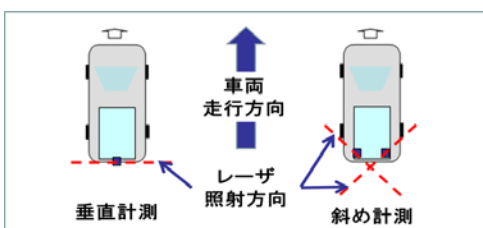


図-6 レーザ照射方向の相違

たもので、広域を高密度に取得したレーザ点群データから、すばやく異常な箇所を検知した例である。また図-8は同じく天端走行によるMMS計測結果と設計断面との差分解析によって、堤内地側法面の凹状変化、堤内地側法肩の局所的沈下を定量的に抽出した例である。図-7は1回の計測結果を処理したもの、図-8は時間的に間隔をおいたデータの差分を取ることで得られた結果であり、いずれもMMS計測によって1~3cmという高密度な間隔で堤防の3次元座標が取得できるこ

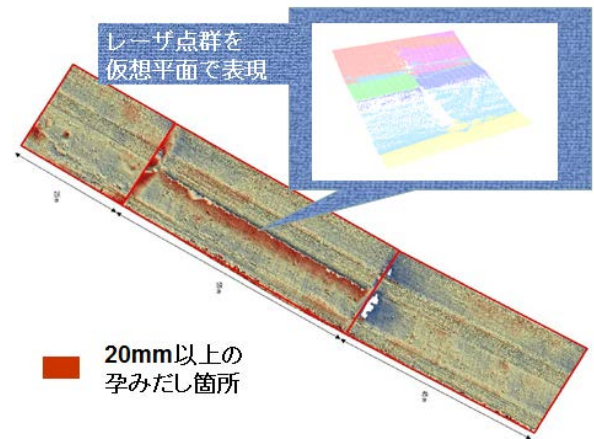


図-7 堤防法面はらみ出し抽出結果

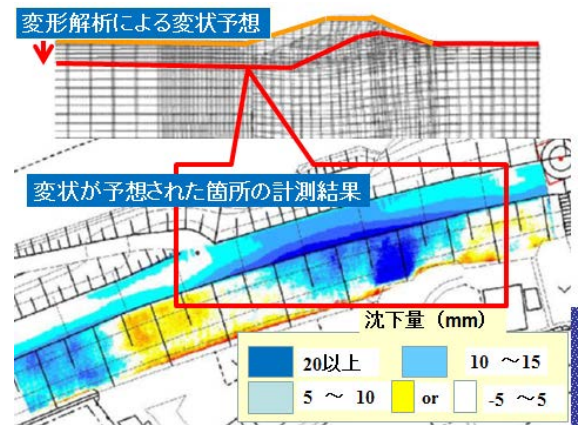


図-8 設計断面との差分解析結果の活用例

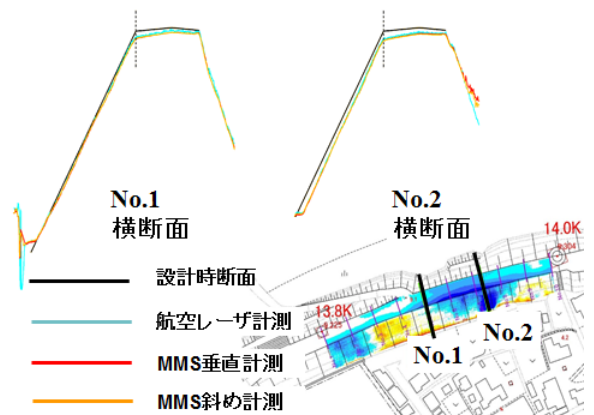


図-9 図-8の横断面の形状変化分析例

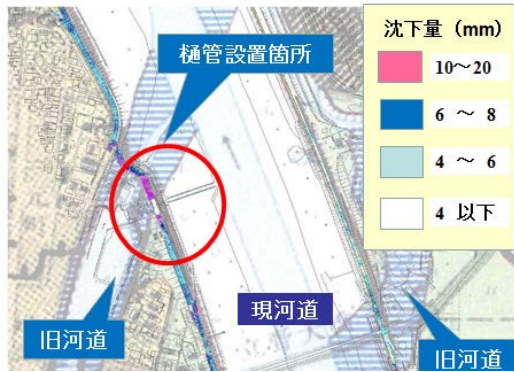


図-10 樋門周辺の堤防変状観測例

とを活用した例である。特に、図-8に示す区間は、軟弱地盤対策を実施した箇所で、数値計算であらかじめ沈下が発生することが予測されており、その数値計算で予想された地盤沈下と整合する堤体の変状区間が検出されている。また図-9のように必要に応じて任意の箇所の横断面の変形を詳細に見ることができるので、これまで200m区間で実施されていた定期縦横断などにおいて現行の点検要領にて示されている「表水面・表小段の亀裂、陥没、はらみだし、法崩れ、寺勾配化、侵食等はないか」あるいは「堤防天端及び法肩に亀裂、陥没、不陸等の変状はないか」等に対応する点検を、面的かつ定量的なものに高度化することができる。

点検要領の「樋門等構造物周辺の堤防」に対する「構造物上部の天端及び法面の抜け上がりや亀裂の状態に変化はないか。幅、段差が拡大していないか」に対しても、堤防形状の時系列な変化から高精度に変状を把握することができる。例えば図-10は3年前に取得された航空レーザ測量データとの座標値の差分を取ることによって堤防の形状変化を抽出した例であり、堤防を横断する樋門周辺の局所的な沈下を検出した例である。構造物下の空洞を直接計測することは困難であるが、それにつながる構造物上の天端や法面の抜け上がり等

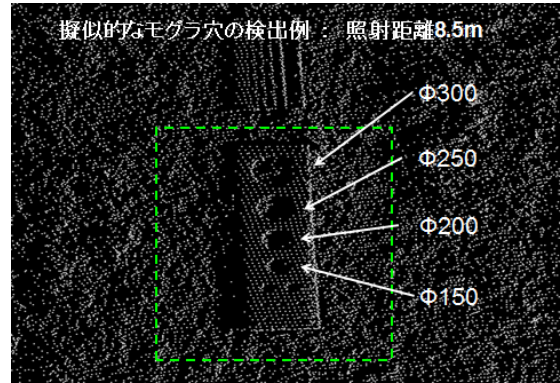


図-11 モグラ穴を模擬したモデルによる変状観測例

の変状を定量的に観測することができる。また計測結果を治水地形分類図に重ね合わせた結果、現河道と旧河道が交差した領域で沈下が生じていることも判明し、重点監視区間の効率的な抽出に活用できると考えられる。

また図-11は堤防法面にモグラ穴を模擬したモデルを設置してレーザ計測した例であるが、穴の大きさや位置によっては検出が困難な場合もあり、どのような項目が現行の目視点検の代替あるいは高度化できるかを今後検討する予定である。

## 6. 終わりに

車両走行によって広範囲の堤防を高密度に3次元計測するMMSは、河川堤防を効率的に管理するための手法として大いに期待でき、今回の研究開発により±20mmという高精度で計測するための技術開発を完了させることができた。

今後は河川堤防の植生状況の相違による精度の違いなどの影響も見極めて、実用化を図っていき

## 参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課、堤防等河川管理施設及び河道の点検要領（平成24年5月）、59p、2011

久保田啓二郎\*



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター水害研究室主任研究官  
Keijiro KUBOTA

大浪裕之\*\*



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター水害研究室 研究官  
Hiroyuki OONAMI

西山 哲\*\*\*



京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 准教授  
Satoshi NISHIYAMA

東 良慶\*\*\*\*



京都大学防災研究所助教  
Ryoukei AZUMA