

# MMSを用いた河川管理への利活用検討

三輪 尚子

関東地方整備局 関東技術事務所 維持管理技術課 (〒270-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1)

現;企画部 広域計画課.

MMSは、搭載されたレーザ測距装置により周辺の地物の3次元データを面的に取得するとともに、デジタルカメラにより画像データを取得することができるシステムである。

MMSは、これまで道路分野における台帳付図の整備、路面性状の把握のための基礎調査に活用されてきた。河川分野においても、河川管理の効率化・高度化を目指し、MMSの適用可能性についての検討が進められてきた。本報告では、MMSが堤防点検の補完や連続的な堤防高及び横断形状の把握、堤体沈下のモニタリング、構造物点検等について有効に活用できることを確認した結果を報告する。

キーワード MMS (モバイルマッピングシステム) , 河川管理, レーザ計測

## 1. はじめに

現状の河川管理は、定期的な河川巡視や年2回の目視による堤防点検などを実施しているが、長大な河川堤防や広大な河川空間が対象となるため、多大な労力を要するとともに、目視点検における点検者の技量、経験に起因する変状・変位の不均一性が課題となっている。

また、近年は局地的な大雨や巨大台風による浸水被害が各地で頻発しており、堤防の決壊や河川のはん濫等による水害を防止・軽減していくために、河川整備や維持管理のより一層の質の向上が求められている。

本報告では、河川管理実務の効率化・高度化を図るため、MMSによって取得されたデータから、堤防の経常的な変化箇所等を抽出し、堤防点検の重点点検箇所の抽出や連続した堤防高を計測し危険箇所を把握するなど、MMSの河川管理への適用性について検討した。

## 2. MMSの概要

MMSは、自車位置姿勢データ取得装置により車両の位置・姿勢及び搭載されたレーザ測距装置により周辺地物を移動して取得するとともに、デジタルカメラの連続撮影により、3次元データの取得範囲の画像を同時に取得することができるシステムである。走行可能区間であれば、連続的に3次元データの取得が可能であり、すでに道路分野では道路台帳付図の整備、路面性状の把握の基礎調査等に活用されている測量技術である。



図-1 MMS車両 (河川用)

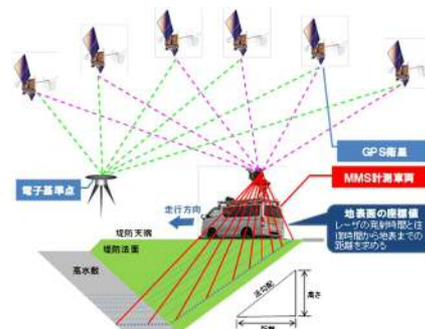


図-2 MMSの計測イメージ

MMSの計測イメージを図-2に示す。複数の衛星を介して電子基準点等の情報と統合して自己位置を算出し、GNSS時刻による関連づけを行うことで、3次元位置座標を取得している。

MMSでの計測によりレーザ点群との重畳可能なカメラ画像データ、標高値を色分けした標高段彩図、レーザ点群とカメラ画像を合成した色つき点群データ、レーザの反射率を相対的に示した反射強度図等が取得できる。

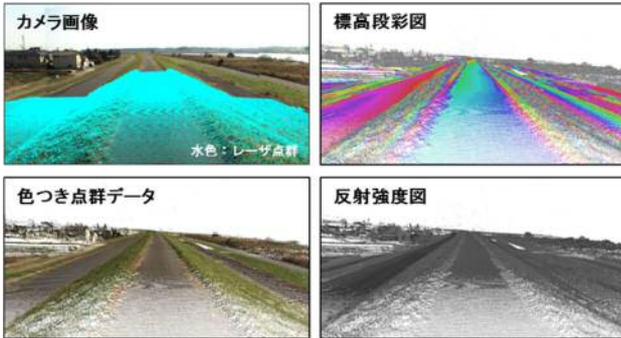


図-3 MMS取得データイメージ

### 3. 河川管理におけるMMS利活用検討の経緯

平成23、24年度にMMSが走行するだけで堤防の状態を的確に把握できる河川管理技術の構築を目的として、産学官連携による技術開発研究が行われた。平成25年度に、近畿地方整備局管内のモデル河川をフィールドとして、堤防点検への適応可能性の検証が行われた。これらを受けて平成26年度に堤防点検への活用検討に対する全国的な試行が行われた。

平成27年度には、堤防点検に限定せず、河川管理全般に対するMMSの適用性について、幅広い視点から検討が実施された。

表-1 これまでの検討の経緯

| 年度       | 業務名等                                   | 発注機関                        | 主要検討目的                         | 主な成果   |
|----------|--|-----------------------------|--------------------------------|--|
| H23～24年度 | 堤防の3次元変状等をモバイルマッピングにより広域かつ高精度に把握する探査技術 | 国土交通省<br>国土技術政策総合研究所        | 河川管理におけるMMSの適用                 | ①堤防天端、法面全体の形状を面的に把握可能<br>②時期の異なるデータを用いて、堤体の変状等の状態を面的に把握可能                                      |
| H25年度    | MMSを活用した河川堤防点検検証業務                     | 国土交通省<br>近畿地方整備局<br>近畿技術事務所 | 代表河川におけるMMSを用いた堤防点検の代替性検討      | ①堤防天端付近の変状の検出率が高い<br>②面的な変状の位置特定、大きさ等を正確に把握可能<br>③新探査技術を活用した堤防点検要領(案)の作成                       |
| H26年度    | H26全国MMS試行検討業務                         | 国土交通省<br>北海道開発局<br>及び8地整    | 全国の河川特性を考慮したMMS堤防点検検討          | ①はらみだし等面的な変状把握は有効<br>②死角、微小変状、泥濘部等の検出率が低い  |
| H27年度    | H27全国MMS試行検討業務                         | 国土交通省<br>北海道開発局<br>及び8地整    | 全国の河川特性を考慮した河川管理全般に対するMMS適用性検討 | ①抜け上がり、堤防沈下、門柱傾きや面的な変状・変位の検出に有効<br>②連続的な堤防天端高さや堤防横断形状が把握可能<br>③オルソ画像、河川基盤図更新、河道の点検など新たな活用方法の検討 |
| H28年度    | H28MMSを用いた河川堤防変状計測技術検討業務               | 国土交通省<br>関東地方整備局<br>関東技術事務所 | MMS利用方針(案)の作成                  | ①計測頻度・時期の提案<br>②i-Constructinの適用性検証<br>③MMS利用方針(案)の作成  |

※H27年度で全国的な試行は終了。H28年度は各地整の状況に合わせて発注したため関係業務のみ記載

さらに、平成28年度には、関東技術事務所において平成23から27年度までに未検討であった計測頻度の検討や新たな分野での利活用等を検討し、「河川管理におけるMMS利活用事例集」を作成した。

### 4. MMS利活用における課題と検討内容

#### (1) 計測に関する課題と検討内容

過年度の河川堤防の点検への活用検討において、道路分野で活用されているMMSに改良を加え、レーザ照射高を高く、また長距離かつ高密度の計測が可能なレーザを搭載して計測を行うことで、法面や構造物による死角をより少なくした機材による試行を行った。他にも、作業性、計測精度、データの解析能力、費用等について比較検討を行い、測量技術としての精度が高いことが検証されている。また、移動計測車両による測量は、平成28年3月には公共測量作業規定の準則に位置づけられている。

MMSは車両による計測であるため作業効率がよく、目視では把握することが難しい微少な沈下やはらみ出し等の変状を、連続的な3次元データと画像で定量的に示すことが可能であるとの結果を得た。

一方で、平成25年度及び平成26年度の堤防点検への活用検討の結果、課題として検討した死角、泥濘部、堤防天端以外の微少な変状の検出は困難であることが確認され、MMSは目視による堤防点検の補完技術としては有効であるものの、堤防点検の全てを代替することは難しいという結果となった。また、河川堤防でのMMSの活用は、堤防の植生の影響を受けること、橋梁交差部など走行出来ない箇所があること、車止めの開閉の手間など道路計測では問題になることのない課題もある。

このため、平成27年度からは、堤防点検に限定せず、河川管理全般に対するMMSの適用性について、幅広い視点から検討が実施され、「連続的な堤防天端高さの把握」、「連続的な堤防横断形状の把握」、「構造物点検への活用」等への適用効果があるとの結果を得た。

#### (2) 計測したデータ共有に関する課題と検討内容

もう1つの課題として、計測したデータの共有・閲覧があげられる。取得したMMS 3次元点群データは容量が大きいため、職員が通常使用しているPCやサーバ上ではデータ保存や情報共有ができない。また、データを閲覧及び加工する場合には、ビューワが便利だが、統一された規格がなく、計測会社のビューワを納品してもらうことがほとんどである。計測時期により受注業者が異なる場合や、整備局全体のデータを参照したいときに不都合が生じてしまう。また、そもそもビューワを全職員のPCにインストールすることは難しい。このため、ビューワによらない簡易的な情報共有方法を検討した。

## 5. MMSを用いた河川管理への利活用における代用的な事例

平成25年度から平成28年度までの全国地整等の検討結果から、現時点で河川管理に適用できるMMSの利用項目は概ね以下のとおりである。

表-2 適用項目とその概要

|                |                         | 内容   |
|----------------|-------------------------|--|
| 1. 測量          | 1.1. 連続的な堤防天端高さの把握      | 定期縦断測線間の堤防天端の高さを連続的に把握   |
|                | 1.2. 連続的な堤防横断形状の把握      | 定期横断測線間の堤防横断形状を連続的に把握  |
|                | 1.3. オルソ画像の取得           | カメラ画像を写真地図化し、ひび割れなどを検出   |
|                | 1.4. 河川基盤図の更新           | 堤防天端周辺の地形改変箇所を河川基盤図更新  |
| 2. 河川の状態把握     | 2.1. 函体の抜け上がり           | 樋門・樋管における函体の抜け上がり量を把握  |
|                | 2.2. 門柱の傾き              | 樋門・樋管の門柱等の傾斜角度を把握  |
|                | 2.3. はらみだし、陥没等の変状・変位検出※ | 変状・変位を検出する。(鋼矢板傾斜の変状を追加)   |
|                | 2.4. モニタリング(堤体の沈下)※     | 複数時期のMMS計測により堤体の変位を把握(堤体沈下について3か年目を追加)                           |
|                | 2.5. 標識等の管理や不法行為への活用    | 標識等の位置情報、画像データの取得  |
|                | 2.6. 洪水痕跡水位調査           | 洪水直後の連続的な痕跡水位を把握   |
| 3. 河道流下断面の維持管理 | 3.1. 河道の点検※             | 対岸からのレーザー照射により低水護岸等の変状・変位を検出、砂州や樹木の繁茂状況等を把握(砂州の形状取得、樹木繁茂状況を追加検証) |
| 4. その他活用方法     | 4.1. 氾濫原浸水痕跡調査          | 氾濫原の浸水痕跡(浸水深)を把握   |
|                | 4.2. 全周囲画像の活用           | MMS全周囲画像を活用したタブレット用システムの開発について記載                                 |
|                | 4.3. 計測頻度※              | 新堤防の形状変化から最適な計測頻度について記載  |
|                | 4.4. i-Construction※    | i-Constructionの新基準に対応した土量計算                                      |

※: H28年度に関東技術事務所発注業務で検証した項目

### (1) 連続的な堤防高さの把握及び情報共有

従来の定期縦横断測量は、河川の規模により約200m～500mピッチに設置されている距離標や堤防形状の変化点を測点として計測している。MMSでは連続した堤防

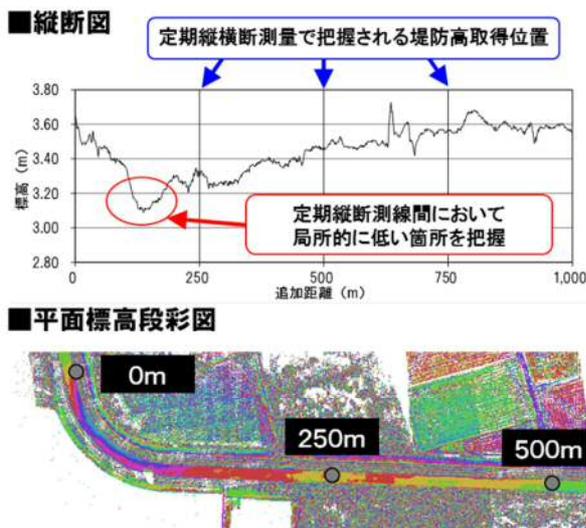


図-4 連続的な堤防高さ縦断図作成例

高を取得できるため、定期縦断図よりも密な間隔で堤防高さの把握が可能となり、周囲より局所的に低い箇所を把握することが可能となる。

なお、連続した堤防高さの縦断図は、平成28年度に関東地方整備局管内の全直轄河川を対象に、MMS及び航空レーザ測量データ等を用いて作成した。堤防高や計測時期、舗装種別等のデータ一式をMicrosoft Accessで閲覧・検索ができるよう整理している。

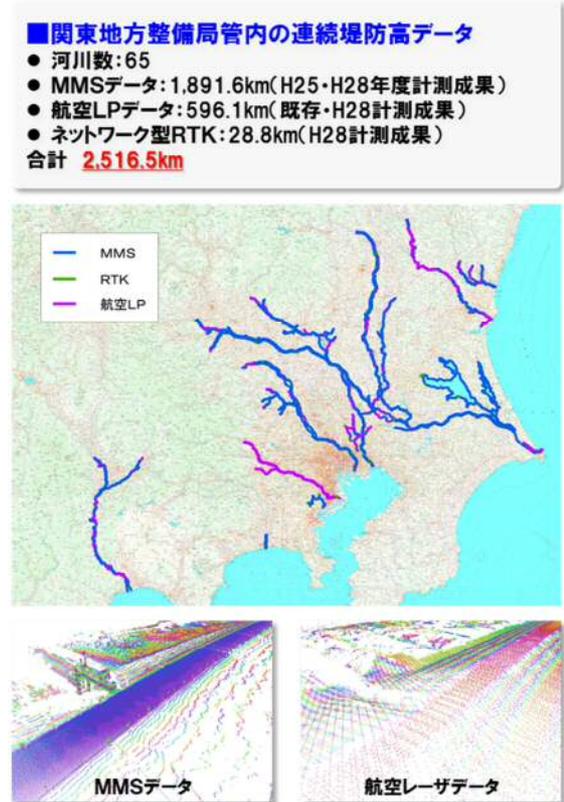


図-5 関東地整管内の連続堤防高データ

### (2) 連続的な横断形状の把握

堤防法面の植生や死角の影響は避けられないものの、レーザデータが取得されている範囲で、堤防横断形状も任意の位置において把握することができる。

MMSによる横断図と、定期縦横断測量や竣工図との重ね合わせを行うことにより、はらみ出しや不陸、寺勾配などの変状・変位が把握できる。MMSデータで2次期の堤防横断形状を比較することができれば、堤防の沈下等も定量的に把握することが可能である。

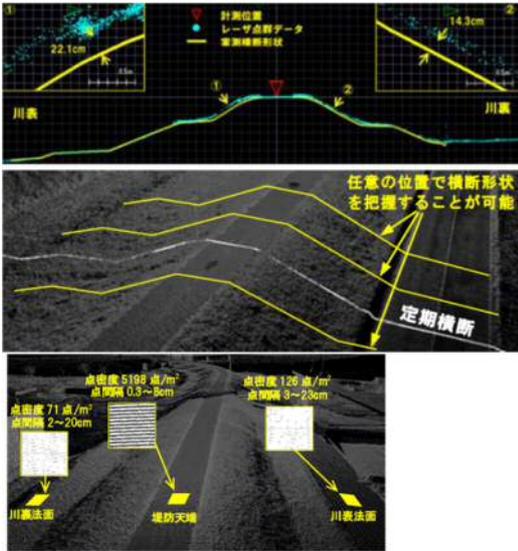
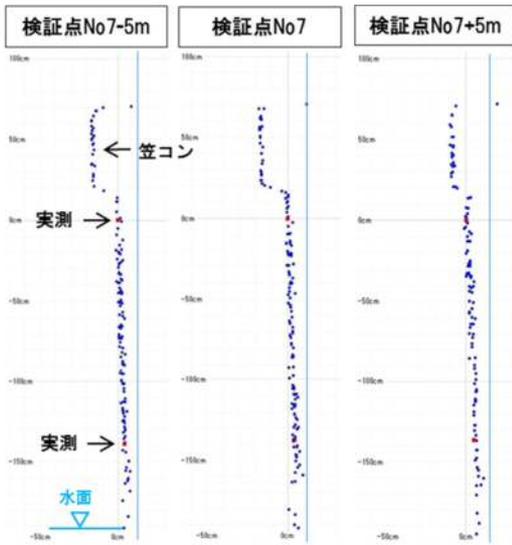


図6 定期横断測線とMMSによる堤防全体の形状取得状況

### (3) 構造物（鋼矢板護岸等）の傾斜の把握

構造物の傾斜も微妙な傾斜である場合には目視での確



実測及びMMSによる鋼矢板の傾斜角度算出結果

| 検証点番号   | 実測          |              |               |          | MMS         |              |               |          |
|---------|-------------|--------------|---------------|----------|-------------|--------------|---------------|----------|
|         | 鉛直方向の距離 [m] | 壁面との距離量 [mm] | 1mあたり距離量 [mm] | 傾斜角度 (°) | 鉛直方向の距離 [m] | 壁面との距離量 [mm] | 1mあたり距離量 [mm] | 傾斜角度 (°) |
| No.7-5m | 1.390       | 44           | 32            | 1.8      | 1.372       | 22           | 16            | 0.9      |
| No.7    | 1.375       | 43           | 31            | 1.8      | 1.382       | 36           | 26            | 1.5      |
| No.7+5m | 1.363       | 52           | 38            | 2.2      | 1.383       | 69           | 50            | 2.9      |

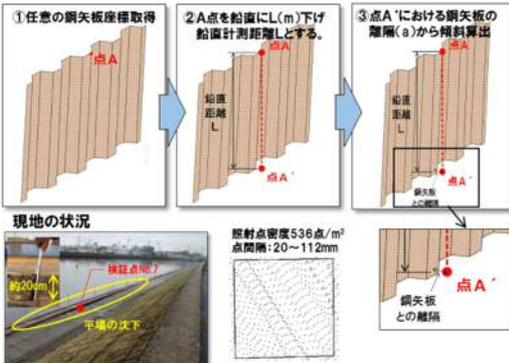


図-7 矢板の傾斜把握事例

認は難しく、また、定量的な評価をすることも困難である。この事例は堤防天端から対岸の鋼矢板をMMSで照射することにより傾斜角を計測したものである。トータルステーションによる実測値とほぼ同等の値が計測できるとともに、点群を表示することで視覚的にも傾斜している様子が確認できる。

### (4) 河川堤防の経年的モニタリング

大規模盛土施工箇所において、3時期にわたりモニタリングを行った。2時期に分けて盛土を行っている区間があり、盛土に応じて約10cmほど沈下していることがわかる。なお、付近の動態観測結果とほぼ同じ数値が確認されている。動態観測結果や定期縦横断測量では点としての測定値であるが、MMSでは沈下の範囲を連続的に把握することが可能である。

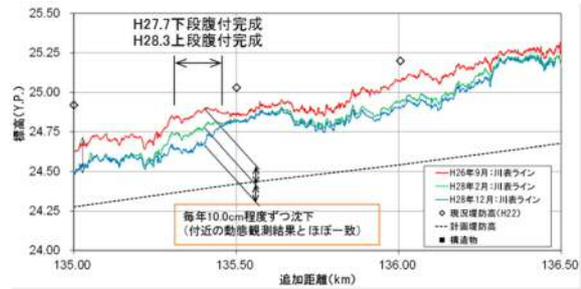


図-8 河川堤防の経年的モニタリング

### (5) 面的変状の把握及び情報共有方法の検討

MMSによる計測の一番の特徴として、面的にデータを取得できる事があげられる。堤防天端で水みちになるような微妙な傾斜や、堤防法面のはらみだし・沈下等は目視では確認することが難しいが、MMSであれば把握が可能である。

標高段彩図で表示するのが一般的だが、ビューワがインストールされていないPCでは閲覧ができないため、ビューワによらない表示方法を検討した結果の一例を以下に示す。

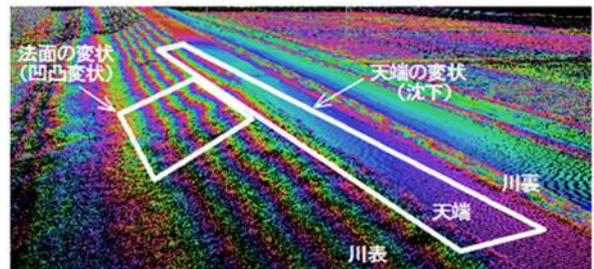


図-9 堤防天端及び法面の変状事例 (標高段彩図)

**a) 堤防天端傾斜方向**

川表、天端中央、川裏付近の3測線で堤防縦断面図を作成し、3本のグラフを比較した。グラフより、この区間の堤防天端には川表側の排水勾配がとられているが、一部区間で傾斜方向が逆転している。沈下などにより変状が発生している注意箇所の把握が可能である。

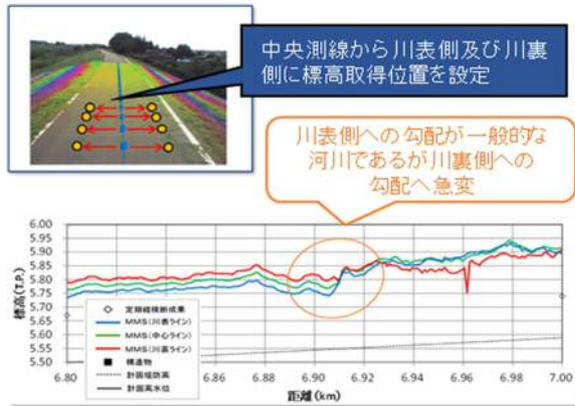


図-10 3測線の比較

**b) 基準面解析**

コンクリート護岸に基準面を設け、照射されたレーザ点群データと基準面と離隔量を読み取ることで変状の規模を測定した。堤防護岸のある一定の区間で小規模な沈

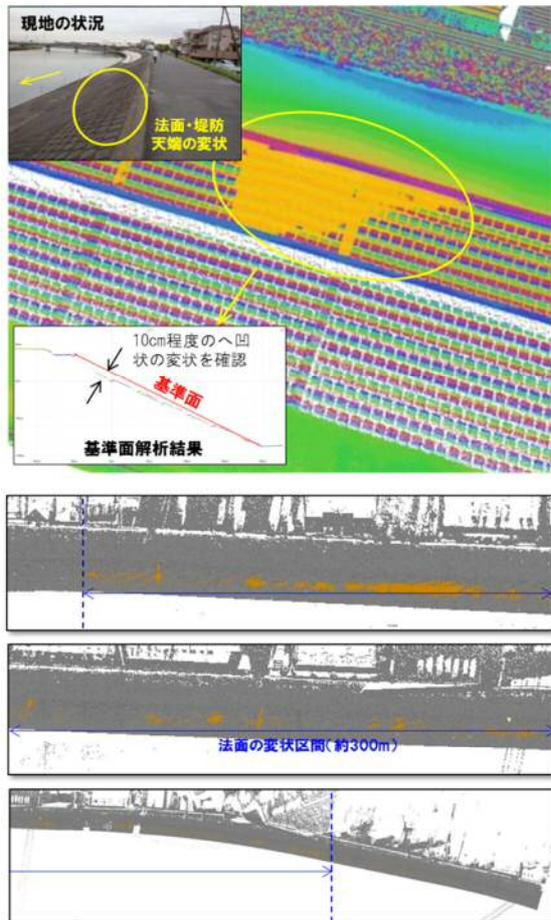


図-11 基準面解析の事例

下が複数生じている場合、目視では正確な位置と変状を記録することは大変な作業量であるが、MMSを利用することにより位置、変位量を正確かつ定量的に記録しておくことが可能となる。これまで、MMSデータの解析は、標高段彩図を基にした目視判読が主であったため短時間に定量的に変状を検出することが困難であったが、この方法を採用することにより、300mにわたる変状区間を1時間程度で解析可能となった。

**6. MMS以外の計測技術を用いた河川管理**

MMSでは計測が難しい河川管理に関する情報について、UAV及びMMS計測を同時期に行い、UAVによる補完調査手法を検討した。UAVは人が立ち入れない箇所の点検や災害時の撮影など、河川管理の高度化が図られる技術として急速に認知度が高まっている。

平成27年度にはカメラを搭載したUAV、平成28年度はレーザを搭載したUAVにより検討を行った。

**(1) UAV (カメラ画像) による補完**

人やMMSが近づけない樋管や水門の天井部分や水面上に位置する構造物の場合、目視による点検が困難であるため、UAVによる点検が有効である。

また、UAV画像とMMSで計測したレーザデータを重ね合わせることで変状の発生箇所をより具体的にわかりやすく表示することができる。

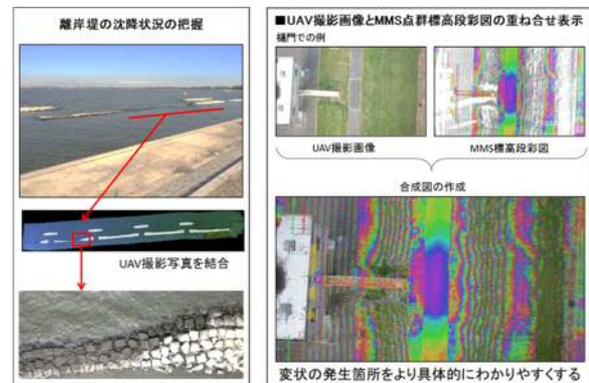


図-12 UAV (カメラ画像) による補完事例

**(2) UAV (レーザ) による補完**

堤防天端をMMSで計測するだけでは死角となってしまう法尻付近の形状を、UAVレーザでは取得できた。UAVレーザは、天端上空を一方向計測するだけで、堤防形状取得に十分な照射点密度、点間隔が確保できることが確認できた。UAVレーザは、MMSよりも死角領域が少なくなるため、変状・変位を検出する手段として有効であることが確認できた。

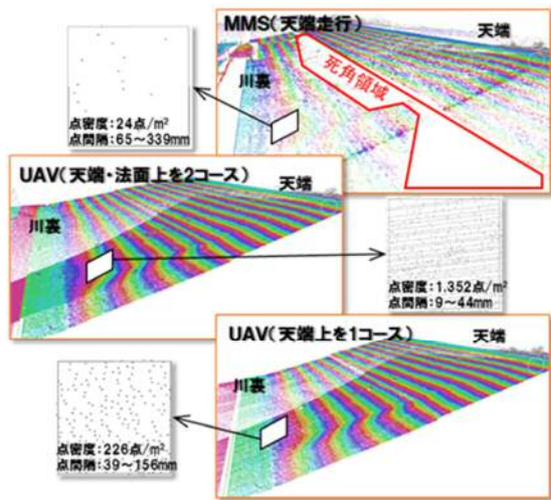


図-13 UAV (レーザ) による補完事例

現在、国土交通省では、i-Construction (ICTの全面的な活用 (ICT土工) による生産性の向上を図る取り組み) が進められており、死角領域が少なく地盤面の形状取得の適格性からみて、UAVは今後の測量で有効な方法だと思われる。

一方、現時点では大多数のUAVはバッテリー等の関係から1回の飛行可能時間が短く、重量の制限もあるため、効率性に課題がある。

このため、レーザデータ取得に関しては、効率性に優れたMMSと適格性に優れたUAVレーザそれぞれの特性を踏まえ、目的、用途に応じた使い分けまたは組み合わせにより活用することで、効率的で高度な河川管理が可能だと考える。

## 7. まとめ

MMSの試行に携わってから、何度となく聞かれたことがある。定期縦横断測量と比較した精度は？定期縦横断測量と合わないのであれば使えないのでは？という質問である。

MMSは平成28年3月31日付で一部改正した公共測量作業規程の準則に記載され、公共測量として活用可能な測量技術である。定期縦横断測量と乖離がないかというチェックは当然必要だと考えるが、計測方法が異なるの

で、精度管理を行っていたとしても、それぞれを比較するときに誤差が生じてしまうのは当然のことである。計測に含まれる誤差やデータの特徴を勘案して、データを活用することが必要だと考える。

また、堤防点検の代替検討から始まった試行であったため、目視点検で見つかるはずの全てがMMSで見つからないのであれば使えないのでは、という意見も多く頂いた。

河川管理のうち堤防点検に限定してしまうと、目視点検で検出できる変状のうち検出できない変状がある、死角が生じる等、デメリットが目向きがちだが、MMSは車両にレーザとカメラを搭載しているため、走行可能な場所であれば、1度の走行で長距離でかつ堤防付近の3次元データ・近接画像を同時に取得できるという大きなメリットがある。河川管理者としてデータを活用していく際には目的・用途に合わせた計測方法や解析方法を決定していくことが重要である。

今回の試行等において計測したMMSやUAV、航空LPのデータが、それぞれの計測方法の特性を使い分けながら、データに振り回されることなく河川管理に活用されることを期待したい。

謝辞：MMS及びUAVの計測にあたり現場調整をいただきました関東地方整備局管内の河川事務所・出張所、また「河川管理におけるMMS利活用事例集」のとりまとめにあたりご助言・ご協力いただきました国土交通省水管理・国土保全局、北海道開発局及び地方整備局、技術事務所の方々にこの場をお借りして厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 久保田啓二郎、大浪裕之、西山哲、東良慶 (2013) 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、土木技術資料 55-4
- 2) 研究代表者 西山哲 堤防の3次元変状等をモバイルマッピングシステム、高精度高密度航空レーザ測量システムにより広域かつ高精度に把握する探査技術 国土交通省水管理・国土保全局 河川砂防技術研究開発公募 河川技術分野平成23年度採択テーマ研究成果報告書概要
- 3) 前田隆徳 (2015) 河川の維持管理に関わる新技術への取り組みについて、河川 15-12
- 4) 山崎崇徳、岡部貴之、森田真一、堀内成郎 (2016) MMS (Mobile Mapping System) による河川管理の効率化・高度化について、第4回河川堤防技術シンポジウム (平成28年11月29日開催)