

移動計測車両（MMS）による計測技術の 河川管理業務への活用について

足立 哲也¹

¹近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 調査第一課（〒640-8227 和歌山県和歌山市西汀町 16）

移動計測車両（MMS：モバイルマッピングシステム）による計測技術とは、車両に搭載した高解像度カメラとレーザスキャナを用いて各種構造物を画像及び3次元点群データで面的かつ細密にその形状を把握するものである。本論文では、この技術により取得された3次元データの河川管理業務への活用方法として、河川の維持管理を目的とした状態把握並びに点検補完技術としての活用について検討した結果を報告するものである。

キーワード 河川管理 状態把握 点検 移動計測車両 3次元データ

1. はじめに

近年、移動計測車両（MMS）の建設分野での活用が拡大している。MMSとはMobile Mapping Systemの略称であり、車両にGNSS測量機、IMU（慣性計測装置）、走行距離計（オドメータ、DMI、走行距離積算計ともいう）、レーザ測距装置（スキャナ機能付き）及びデジタルカメラ等のセンサを搭載し、走行しながら道路周辺の地形・地物等に関する三次元位置情報を効率的かつ迅速に取得する技術である。

MMSによる計測技術については平成24年5月に国土地理院により「移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル(案)」が整備され、これを契機に道路分野では台帳附図の整備、路面性状の把握の為に基礎調査にこの技術が活用され、河川分野でも「河川空間の全周囲画像データ作成ガイドライン(案) Ver. 1.0」が整備され同技術の適用が試行されている。

本報告は、このような技術動向を踏まえ、同技術の河川分野への活用方法の一環として河川管理業務への活用について検討した結果を報告するものである。

2. 河川の維持管理を取り巻く現状と課題

従来、河川堤防の管理は、200m間隔に設置された河川距離標を対象とする定期縦横断測量成果に基づき形状把握が行われ、それ以外の項目については河川巡視や定期点検で目視確認されたものを河川カルテに集約・整理していた。平成27年9月の鬼怒川災害を契機に、定期縦横断測量では把握されない範囲に堤防高不足等の弱点が存在する可能性があることが指摘され、連続的な構造物である河川堤防の状態把握の為に、定期縦横断測量よりも密な間隔で連続的かつ詳細に堤防形状を把握することの必要性が再認識された。

一方、平成27年11月には建設産業が社会的役割を果たすために、経営環境の改善、建設現場に携わる方の賃金水準の向上、安全性の確保が進むよう、抜本的な改革の一環として「i-Construction：建設現場の生産性向上の取り組み」として、建設現場にICT技術を全面的に導入し生産性の向上を図ることに取り組むことが提唱された。この中では、調査・測量～設計～施工～維持管理までを一貫して扱うための3次元空間情報の取得・整備が

主要な施策としてあげられている。

このような状況を踏まえるならば、MMSによる計測技術は、河川堤防を主とした河川構造物の状態を細密な3次元地形モデルで定量的に把握するとともに、危機管理分野での活用、基盤となる3次元空間情報の取得・整備という河川管理全般での利用が期待される技術と言える。

3. MMSによる計測技術の概要

本報告で用いたMMSの計測緒元は以下のとおりである。

表1 MMSの諸元

項目		MMSの諸元
車両		Toyota レジアス
GNSS		二周波GNSSアンテナ 2台
IMU	取得間隔	200Hz
	姿勢精度	ロール&ピッチ角0.008° ヘディング角0.02°
オドメータ		1台
カメラ	台数	6台
	取得間隔	最大10フレーム/秒
	ピクセルサイズ	2448×2048ピクセル (500万画素)
レーザ スキャナ	台数	1台
	照射数	最大55万発/秒
	スキャン速度	最大200回転/秒
	照射角度	360°
	到達距離	最大800m (照射数150kzの場合)
	設置角度	走行方向に対して90°
	設置高さ	地盤から2m又は3.8m



図1 使用したMMSの外観

これらの諸元により得られた計測値の特徴は、以下のとおりである。

【計測位置精度】

- ①堤防の天端は、時速30km以下の走行で、天端を高さ精度±20mmの精度で計測できる。
- ②堤防では、距離30mまでの場合、位置精度40mm以内の精度で計測できる。

【3次元点群の計測密度】

- ①堤防の天端は、時速15kmで走行した場合の点間隔は進行方向8cm、横断方向2cmで計測できる。
- ②堤防では、距離30mの場合の点間隔は約0.1mで計測できる。

【画像データの解像度】

- ①堤防の天端は、時速15kmで走行した場合の画像解像度は、進行方向5mm/pixel、横断方向2mm/pixelで計測できる。
- ②堤防では、距離30mの場合の画像解像度は15~20mm/pixelで計測できる。

また、MMSによる計測技術の課題としては以下の点がある。

- ①堤体形状を正確にとらえるためには、レーザ及び画像の死角となる植生の除去(除草)が必要となる。
- ②斜面と平坦面では、同じような地形変状があってもレーザの当たり方が異なるため、点間隔が狭くても変状の形状をうまく表現できない場合もある。
- ③レーザ点群密度、カメラ解像度共に距離に比例して粗くなる。

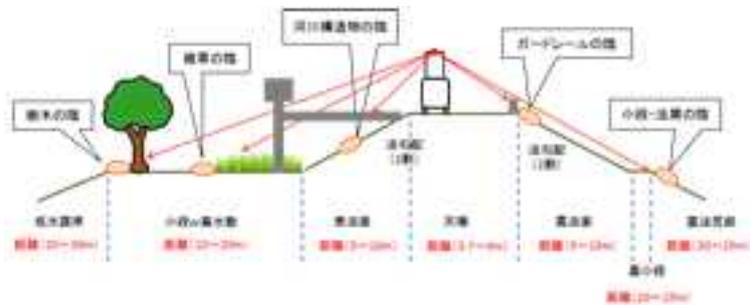


図2 MMSの計測イメージと死角のイメージ

4. 河川管理等への活用に関する検討

MMSによる計測技術を河川管理等へ活用するために、以下の事項について検討を行った。

- ①MMSによる時系列的計測成果を用いた堤防形状の経年変化把握への適用性
- ②MMSによる計測成果の河川縦横断測量への適用性
- ③MMSによる計測技術の構造物点検(抜上り、傾倒)、堤防護岸点検への適用性
- ④MMSによる計測技術の堤防点検への適用性

(1) MMSによる時系列的計測成果を用いた堤防形状の経年変化把握への適用性

軟弱地盤上に構築された堤防では、堤体の不同沈下、変状把握を目的に、堤防形状の経年変化把握が実測水準測量により実施されている。

実測水準測量は、特定の測線、測点の標高値を把握するものであり、堤体全体が一様に変動する場合は計測値と堤体の挙動は同様と判断できるが、堤体の挙動が一様でない場合は計測値の評価が難しくなる。また、面的な挙動把握のために計測箇所を増やすならばコスト高となる。このため、MMSによる計測技術を活用し、実測水準測量と同じ堤体の沈下傾向や変状傾向を把握できるかを確認するために、MMSによる計測結果と実測水準測量による計測結果の較差を3cm以内に納めることが可能な手法について検討した。

検討結果は表2に示す通りであり、MMSによる計測結果と実測水準測量の較差は、最大誤差3cm以下、平均二乗誤差2cm以下となり、経年変化把握手法として適用可能であることを確認した。但し、この結果は固定局までの基線長を10km以内とし、標定点を1km間隔で配置した場合のものである。標定点からの距離が長くなるに従い、誤差が大きくなる傾向が確認され、実測水準測量と同等の精度(cmオーダー精度)を求める場合は1km間隔の標定点が必要であること、また、変状収束まで経年変化を把握するにはcmオーダー精度が必要であり、1km間

隔程度の標定点が必要となる。

表2 MMS計測結果と実測水準測量の標高較差

取得時期	平成25年	平成26年	平成27年
検証箇所数	9	9	9
平均誤差(m)	0.003	0.003	0.013
最大誤差(m)	0.024	0.024	0.023
平均二乗誤差(m)	0.016	0.011	0.015

(2) MMSによる計測成果の河川縦横断測量への適用性

河川縦断測量は、概ね200m間隔で配置された河川距離標、河道及び河川構造物による変化点を対象に、また、河川横断測量は縦断測量測点の横断方向の地形形状の変化点を、公共測量の精度管理を適用しながら実施されるものである。

河川縦断測量は、測点間隔が長い為、測点間に治水弱点となる堤防高不足区間がある場合、把握ができないという課題を有している。

このような既往河川縦横断測量の課題を踏まえ、MMSによる既往河川縦横断測量への適用性を検討した。

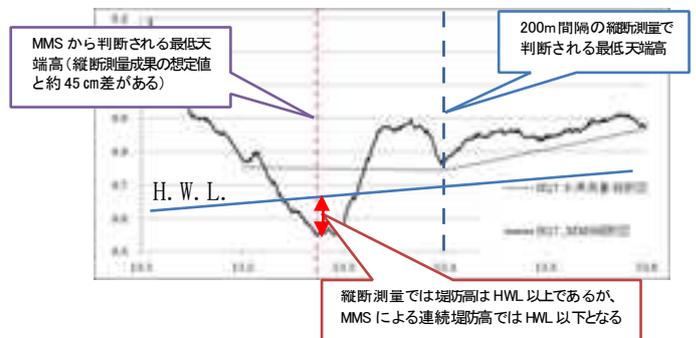


図3 MMS計測データによる河川縦断図

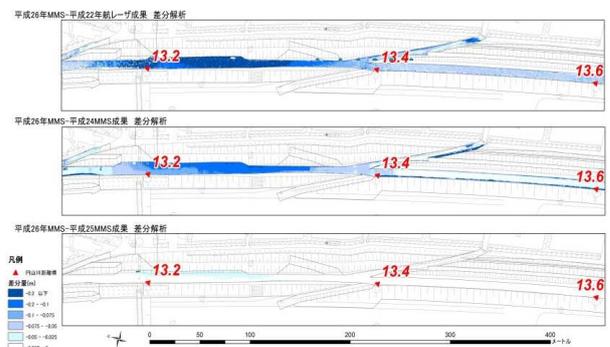


図4 MMS計測データによる堤防高の平面分布

図3に示す通り、MMS計測による縦断データは車両走行可能区間の堤防天端高を詳細かつ連続的に取得することが可能である。また、図4に示す通り、特定測線を細密に表現するだけでなく、天端高の平面的な高低差や変状を把握することが可能である。

これらの結果より、MMSによる計測データは、河川縦断測量では把握困難な距離標間の堤防弱点(堤防高不足箇所、越流危険箇所等)を把握することが可能なことから、危機管理の観点から有効な手法である。

なお、横断的には植生、地物の影響によりその地形変化点を明確に捉えることができない場合があり、計測点の再現性に劣り、かつ、その精度を確保するのは難しい。

これらの結果より、MMSによる計測データは既往の河川縦横断測量の補完技術として、主に縦断形状の詳細把握手法として活用することが望ましい。

(3) MMSによる計測技術の構造物点検への適用性

MMSによる計測技術は、堤防の天端走行により天端及び天端周辺の状況を計測することを最も得意とする。

ここでは、MMSによる計測技術を用いた構造物詳細点検の為の基礎情報の取得に着目し、変状程度が目視では確認しにくい門柱傾倒及び天端・法面の抜け上がりについて適用性を検討した。

(a) 門柱傾倒把握手法としての適用性

水門・樋門等の門柱傾倒については、目視点検では確認しづらく、関連する施設との接合部の開き・亀裂や欠損等により想定され、下げ振りによる計測で確認される場合が多い。

MMS計測技術による門柱傾倒把握手法としてはMMSの計測データの解析により、目視点検の予備情報が無くても下げ振りによる確認結果と同等の結果を得ることを目的とした。

検討に当たっては、TSによる門柱面四隅の測量、地上型レーザによる門柱面の計測とMMSによる計測の精度検証を行い、MMSによる計測結果が、両手法と同等

の傾倒量が計測できることを確認した。さらに、下げ振りによる検証も行い、構造物詳細点検の必要精度を十分に確保していることを確認した。

表3 MMS計測値と他手法の計測値の比較表

面番号	天端に対して	MMS		実測		地上レーザ	
		算出角度(°)	1m先でのズレ(cm)	算出角度(°)	1m先でのズレ(cm)	算出角度(°)	1m先でのズレ(cm)
①	側面	89.98	0.03	90.00	0.01	89.99	0.02
②	正面	89.30	1.22	89.20	1.40	89.20	1.39
③	側面	89.93	0.12	89.99	0.02	89.99	0.02
④	側面	89.87	0.23	89.93	0.11	89.96	0.08
⑤	正面	89.13	1.52	89.24	1.33	89.21	1.38
⑥	側面	89.98	0.03	89.96	0.06	89.98	0.04

斜字太文字：門柱傾倒面の計測値



図5 門柱傾倒面計測位置

(b) 抜け上がり把握手法としての適用性

水門・樋門等堤防横断構造物による抜け上がりは、構造物周辺や堤体内部に空洞やゆるみが生じている可能性があることを示している。このため、補修・対策の為の目安となる変状程度の数値(基準値)が設けられている。

MMS計測技術による抜け上がり把握手法としては、天端及び法面・小段に生じる縦断的な変化量(抜上り量・段差)を計測し、基準値に見合った精度で変状を定量的に把握することを目的とした。

検討に当たっては、縦断的な変化量把握と共に、面的

な変化量把握手法を試行し、図6に示すように20cm間隔の縦断データにより状態監視の目安となる10cmの抜け上がり検出が可能となる。また、MMS計測技術による構造物周辺の面的変状と定期点検等により確認された個別部位の変状を重ね合せ表示することにより、個別箇所の変状ではなく、構造物としての変状を示唆する情報を取得可能であることを確認した。

これらの結果よりMMSによる計測結果は、詳細点検の必要性の判断資料(スクリーニング資料)及び基礎資料としての適用が可能であると言える。

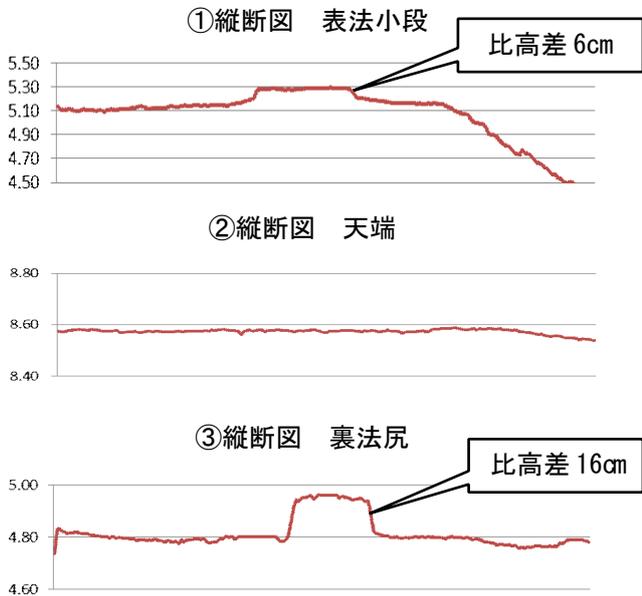
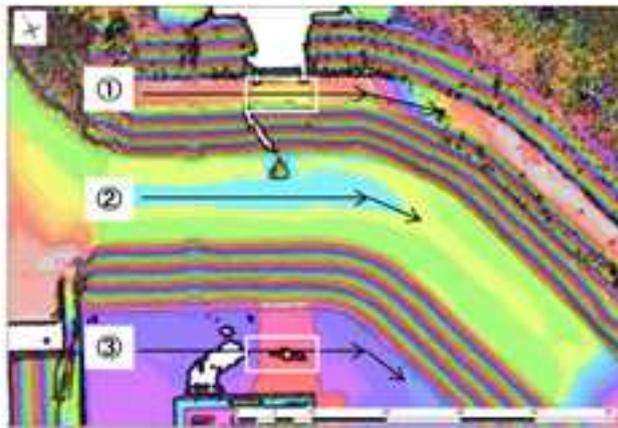


図6 抜け上がりの面的把握状況と縦断的把握状況

(4) MMSによる計測技術の堤防点検への適用性

河川管理施設の点検は、「堤防等河川管理施設及び河道の点検要領」(平成24年5月)に則り実施されている。

同要領では、目視点検を基本とした点検事項(項目、手法)が定められ、出水期前、台風期、出水後の3時期に実施することとなっている。

MMSによる計測技術は堤防天端からの計測を基本としており、計測範囲は堤防天端から見通せる範囲であり、植生や構造物により死角が形成される場合はその範囲の計測は困難という制約条件がある。また、計測距離により解像度が低下するという器械性能の制約や、斜め方向からの計測という計測方向の制約もあるため、クラックや小動物による穴等の微小な変状については識別できないという制約もある。

一方、計測データについては電子的な位置情報として取得されると共に、計測可能な変状については、変状範囲・規模について点検者の個人差の影響を受けることなく取得され、さらに、データの保管・管理も容易という特徴を持つ。

このような、MMSによる計測技術の特徴を生かした堤防点検への適用性、点検補完技術としての活用可能性について検討した。

(a) 変状の自動検出

MMSによる計測技術を活用した変状の検出方法には、計測データの目視判読による方法と解析処理による検出方法があり、ここでは、効率的かつ判読個人差が生じない以下の解析処理による検出方法を用いた。

- ①一様な想定面に対して凹凸を抽出する「基準面解析」
- ②周辺地形に対して局所的な凹凸を抽出する「平滑化基準面解析」
- ③泥濘化等の水分異常を抽出する「反射強度解析」

これらの手法による検出結果と目視点検結果の合致状況を「検出率」として評価した(表4参照)。

これらの結果より陥没、法崩れ、不陸等の主に面的な変状の把握についてMMS計測技術は有効な手法であり、目視点検では把握できない面的な変状の位置・規模・範囲についてもデータ取得が可能となる。

表4 MMS計測技術で検出率の高い変状

検出率	堤防部位	検出された変状
100%	土堤・法面	陥没、法崩れ、侵食、表土異常、不陸、樹木の侵入・拡大
	土堤・小段	泥濘化
	土堤・天端	不陸、破損、目地のずれ、
	土堤・法尻部	泥濘化
75%以上	土堤・法面	泥濘化
	土堤・天端	亀裂

(b) モニタリング手法としての適用性

MMSによる点検は、変状の位置・規模・範囲を周辺地形とともに高密度な位置情報で取得することができ、目視点検に比べ検出基準が明確なため、現地との整合性、再現性が高い。

目視点検とMMS計測の特性を比較するならば、表5に示す通り、進行程度が顕著になると堤防機能への影響が大きくなる面的変状の経年変化把握等のモニタリングへの適用性が高い。

表5 モニタリングに着目したMMS点検の特徴

点検方法	位置情報の取得	進行性の面的変状	
		小規模	大規模(広範囲)
		代表する1点の計測で状態把握可能なもの(計測定点を設定し易いもの) (例)法面:局所洗掘、護岸変状等 天端:陥没等	面的な複数点の計測で状態把握可能なもの(計測定点を設定し難いもの) (例)法面:寺勾配、はらみだし等 天端:沈下、抜け上り等
目視点検	×	○:最大下がり等定点を直接計測することで変化量を把握可能 ×:多数の観測定点を設けることが難しく変化量を把握困難	
MMS計測	○	△:変状内に3次元点群が十分に分布する場合、最大下がり等定点の変化量を把握可能 ○:広範囲で多くの3次元点群を取得でき面的な変化量を把握可能	

(c) 災害時の適用性

MMSによる計測技術は天端走行により3次元点群データと画像データが取得できるため、災害時の情報取得手法としての活用が期待される。

災害時の活用として、変状検出手法を解析処理手法に限定し、位置精度確保の為に標定点の配置を行わない場合、計測から3日で標高段彩図、5日で解析処理情報を提供することができる。これらの情報は、変状位置、規模、範囲を電子情報として提供可能であり、災害時に有効な情報取得手法と言える。

5. まとめ

MMSによる計測技術は、植生等の死角の影響を受けない条件下では、通常点検で見落としがちな面的変状も網羅的に検出することが可能であり、その範囲・規模の定量的な把握に有効な手段といえる。このため、定期点検の補完手法としての活用が期待される。

また、面的変状をはじめ、ほとんどの変状については危険度評価の基準値が明示されていないため観察・監視レベルの判断が困難であるが、MMSにより面的変状を継続的に計測することにより、定量的な状態監視ができるため、今後の評価基準の基礎資料としての活用も期待される。

なお、昨今のICT技術活用の流れを踏まえるならば、今後新たに取得する空間情報は3次元空間情報であることが必須となる。

河川空間を3次元で均一かつ網羅的に効率よく計測を行う方法としては航空機を活用したレーザ計測があげられ、一方、主に実測がカバーしていた堤防、構造物周辺等の大縮尺の空間情報が整備されている区間については、MMS、UAV、地上型レーザ等があげられる。

それぞれの計測手法の特性と目的を整理し、河川維持管理にも活用可能な3次元空間情報の整備を進めていくことが望まれる。