

MMSを活用した河川維持管理の効率化・高度化の検討について

ENHANCED EFFICIENCY OF THE RIVER MAINTENANCE, CONSIDERING THE ADVANCEMENT

小林勝也¹・飛島幸則²・山崎崇徳³・岡部貴之⁴

Katsuya KOBAYASHI, Yukinori TOBISIMA, Takanori YAMAZAKI and Takayuki OKABE

¹正会員 ²非会員 国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所（関東維持管理技術センター）
（〒278-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1）

現 国土交通省 関東地方整備局 下館河川事務所

³正会員 株式会社 パスコ 中央事業部 技術センター 河川技術室

⁴正会員 株式会社 パスコ 中央事業部 技術センター 河川技術室（現 日本工営株式会社）

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism is pursuing for enhanced efficiency of the river maintenance, considering the advancement from a multidirectional perspective and, furthermore for visual inspection, it is promoting the active utilization of new technologies and its technical characteristics. In this paper, we report the study results for an efficient improvement of the river management by utilizing Mobile Mapping System (MMS). Additionally, the National Institute for Land and Infrastructure Management, Hokkaido Regional Development Bureau and the eight Regional Development Bureaus of the whole country conducted this study from 2011 to 2016.

Key Words : River Maintenance Engineering, Efficiency and Advancement, Mobile Mapping System, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

1. はじめに

河川堤防は、特殊区間・例外を除いて、河川管理施設等構造令により、盛土によって築造されることが規定されている。古くから流域沿川の治水安全度の向上のため、河道の流下能力向上や流水による侵食洗掘対策として、幾度となく、嵩上げ、腹付けなど、堤防の改修・強化が行われ、歴史的な変遷を経て、現在に至っている。

一方、近年、日本列島では、気候帯や地域性を問わず各地で水害が多発しており、更に気候変動を要因に将来的な降雨予測が増加するという研究成果¹⁾もあり、より一層、水害に対する備えと警戒が求められている。

このような状況下、河川堤防の有事に備え、国土交通省では、直轄一級河川を対象に各河川事務所が年間通じて、日々河川巡視を行っている他、出水期前には、堤防の状態や管理上の障害が無いか現場を歩きながら目視で確認する堤防点検、あるいは、堤防上重要な水防拠点の確認が行われている。しかし、財政制約のあり、広域的な行政管理区間を流下する長大な河川の堤防の点検や巡視には、限られた人員と予算では限界がある。

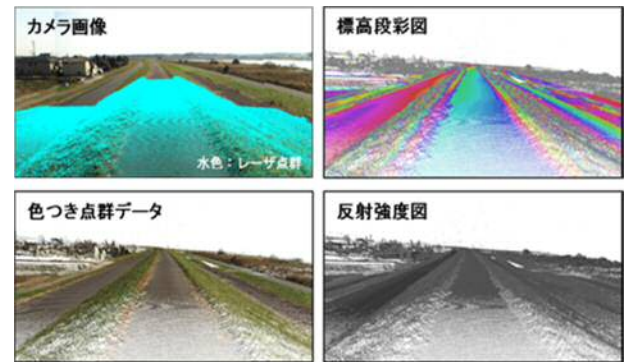
国土交通省では、平成27年11月に提唱された、調査から維持管理までの一連の工程でICT等を活用して建設現

場の生産性向上を図る「i-Construction」を推進しており、様々な分野の産官学が連携して、IoT・人工知能（AI）などの革新的な技術の現場導入や、3次元データの活用などを進め、効率的で魅力的な新しい建設現場を創出することが取り組まれている。河川管理の分野では、維持管理の効率化・高度化を図るべく、国土交通省の水管理・国土保全局河川環境課を中心に、国土技術政策総合研究所河川研究部が先行し、精度が高く迅速で効率の良い河道管理・堤防の点検手法として、「MMS」に着目された研究開発が始まり、その研究成果の確認を兼ね、全国の地方整備局及びその出先河川事務所も加わり、試行的な取り組みが行われた。

その結果、現在では、各学術分野で、各機関・研究者によって河川管理におけるMMSの技術論文として、発表されているが、本報告は、平成23年から平成28年度に実施された、これら 国土交通省（本省、国土技術政策総合研究所河川研究部、北海道開発局及び各地方整備局）における直轄一級河川を対象とするMMSを用いた「河川維持管理の効率化・高度化の検討」の研究内容を、有効に活用できるか検討した結果を整理し、関東地方整備局関東技術事務所（関東維持管理技術センター）により「MMSを用いた試行技術による堤防点検への利活用事例集」として^{2) 7)}

[illegible]

取得情報	
単独取得	①カメラ画像(動画)
	②レーザ点群データ
副次合成	③カメラ画像とレーザ点群の合成図
	④反射強度図 カメラ画像とレーザの反射強度を重ねたコンタリングしたもの
	⑤標高断面図 カメラ画像と標高値を合成した色彩区分



年度	業務名 等	発注機関	主要検討目的	主な検討結果
H23～ 24 年 度	堤防の 3 次元変状等をモービ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 国土技術政策 総合研究所	河川管理における MMS の適用	① 堤体の形状を高精度に計測するための計測条件（車両の移動速度、調整用基準点設置の必要性など）の整理 ② 堤体の変状等の状態を把握するために必要となるレーザ照査点数の提案
H25 年度	MMS を活用した河川堤防点検検証業務	国土交通省 近畿地方整備局 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 堤防上端付近の変状の検出率が高い ② 面的な変状の位置特定 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 北海道開発局 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 ② 死角、微小変状、泥濘部等の検出率
H27 年度	H27 全国MMS 試行検討業務	国土交通省 北海道開発局 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 ② 連続的な堤防上端高さや堤防横断形状が把握可能 ③ オール画像、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 関東地方整備局 関東技術事務所	MMS 利活用事例集	① 計測頻度・時期の提案 ② i-Constructin の適用性検証 ③ MMS 利活用事例集の作成

- 246 -

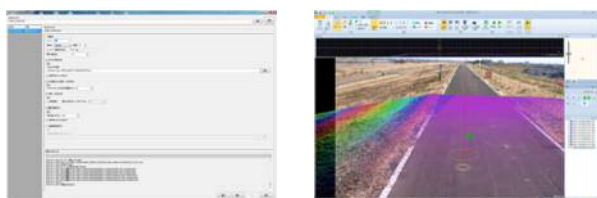


図-4 ビューワ 構築例

整備局管内の大和川、円山川をフィールドモデル河川として試行計測が行われ、堤防点検への活用調査が始まった。更に、次年度、平成26～27年度には、近畿地整以外の北海道開発局及び7つの各地方整備局に範囲を拡大し、各地整管内それぞれ各個別の検討テーマを設けたフィールドモデル河川を選定し、河川管理全般や堤防点検への具体的な利活用検討の試行調査を実施した。最終的に、その結果を平成28年度に関東技術事務所（関東維持管理技術センター）が中心となって、「河川管理における利活用事例集」として、全体成果のとりまとめを行った。

（但し、国土技術政策総合研究所で研究開発が始まった当時は、河川砂防技術開発制度（河川技術分野）が活用されている³⁾。

4. MMS利活用における課題と検討内容

(1) 堤防計測時の精度管理と死角の除去方策

河川の現場でMMSを適用するにあたって、前例の多い道路管理におけるMMS調査技術の確認検討を行った⁴⁾、この結果から河川堤防に適用する際の留意点を考慮し改良点を検討した。まず、計測機器の仕様と性能では、設置の計測対象となる堤防は、一般的な市街地道路よりも、遮蔽物が少なく広範囲に3次元データ取得範囲が及ぶため、長距離かつ高密度での計測が可能レーザを搭載することとし、堤防は高低差があることから角度による死角を極力減らすため、計測範囲を広範囲に網羅するようレーザ照射装置の設置高を考慮して、計測車両の高さ（計器高さ）を道路交通法上で規定する車両規制限界高さ

（ $h=3.6m$ ）まで高くした。また、レーザの特徴として、物体は透過しないので、草や設置物は、計測の物理的障害になってしまうため、この対策に補助地点を設けた。次に自走車両移動計測の安全対策として、堤防には、河川法に基づく占用物件や設置工作物、あるいは、周辺住民が堤防上で散策やサイクリング等（いわゆる自由使用）をしている場合や、小動物の出没等の人的以外の突発的な事象も発生することから、天端道路における計測車両は、完全に徐行とし、周囲と車両移動の安全性を配慮した。また、計測精度面では、これらの制約や条件を踏まえ、データがとれない部分を補完すると共にデータの精度を一定に保つ必要性から、レーザによる点群データの取得数を道路の事例における毎秒27,000点程⁵⁾から、毎秒550,000点と打点数を増やした。このように今回の計測では、死角を補

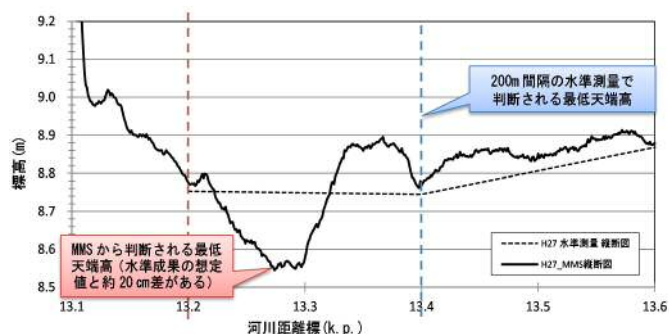


図-5 連続的な堤防天端高さ縦断面図 作成例



図-6 標高取得設定

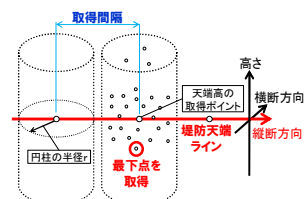


図-7 標高取の概念

足しながら、安全対策上の移動制限速度を遵守し、データ精度が確保できる合理的な工夫を図り、試行計測を行った。

(2) 計測データのフリーな利活用方法

もう1つの課題とは、計測したデータの閲覧・共有方法が確立していないことであった。計測延長にもよるが、取得したMMS3次元点群データは容量がGバイト以上と膨大になる。このため国土交通省職員が通常使用しているPCやサーバ上では、電算処理が出来ず、データ保存や情報共有が難しかった。また、現状では、データを閲覧及び加工する場合は、計測業務を受注した技術コンサルタントによって、計測機器に内蔵されたOSに対応する専用のビューワ（図-4）を開発（プログラミング）して頂いている状況である。このような計測単体の他、付属する解析ソフトウェアについては、建設CALSのように統一された標準規格がなく、計測業者の独自に開発されたものに頼っており、閲覧者が、受注者が違う点群データを参照したいときには、上手く閲覧できない等の不都合が生じてしまうこともある。また、そもそもこのビューワは著作プログラムに該当し、各社毎に著作権単独ライセンスが設定されており、全職員のPCにインストールして共有するためには、ライセンス契約を行う必要があって、経済的事情から難しい。このため、ビューワによらない簡易的な情報共有方法の検討が課題である。但し、電子納品の対象として、建設CALSの電子納品取り扱い要領が、順次改正されており、平成29年1月には、「i-Constructionに関する電子納品参考資料」⁶⁾が示され、3次元のデータを活用するため15の新基準が導入された。この課題は、解消方向に進んでいる。

表-3 縦断測量のコスト比較 (単位：千円)

計測技術	MMS	ネットワーク型 RTK-GNSS測量 (VRS方式)	航空レーザ 測量	定期縦断測量
概算計測費用 (10kmあたり)	800	1,350	2,430	2,800

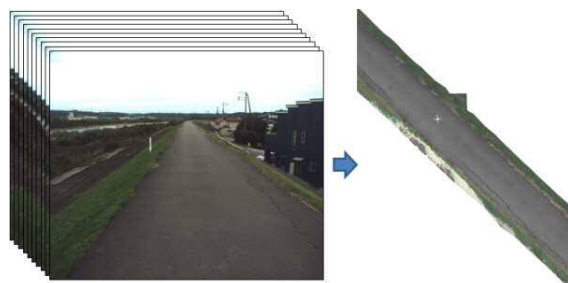


図-8 写真地図化 (オルソ画像)

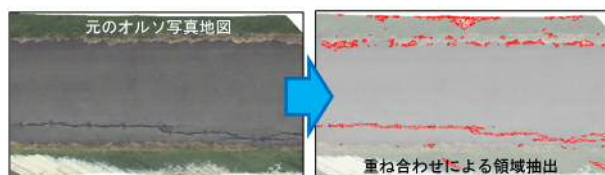


図-9 ひび割れ推移

5. MMS利活用における検討代表事例

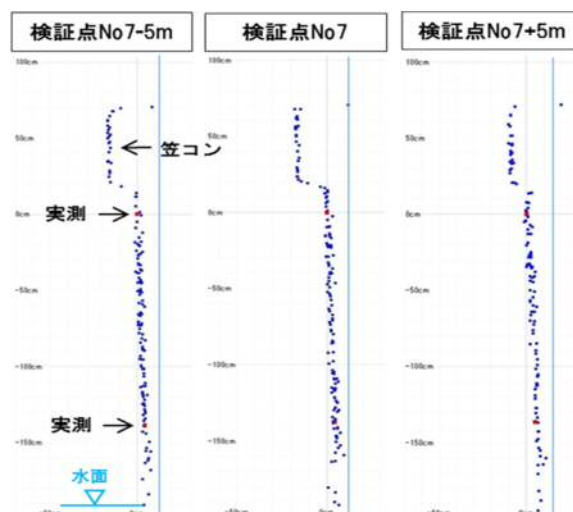
平成25年度から平成28年度の4年間で北海道開発局及び各地方整備局での試行調査として行われたMMS検討の概要を(表-2)に示す。「国土交通省河川砂防技術基準 維持管理編(河川編)」を参考に、検討する項目を4分類のテーマに区分し(①測量, ②河川の構造物の変異把握・状態把握, ③河道管理・断面の維持管理, ④その他)として整理した。その分類毎に主な代表的な事例をあげ説明する。

(1) 測量

a) 縦断断測量への活用

従来から、河川の定期横断測量は、河川の規模や形状により一部を除き縦断方向に概ね200m間隔で実施されている。これを縦断的に、間隔が空いた測量断面をつなぎ合わせて、縦断的な高さを把握していた。

MMS計測データから、堤防天端上に標高取得点を等間隔で設定し、標高取得点上に半径 r の円柱を仮定し、この円柱内の最下点にあるレーザ点群データを取得位置の堤防天端高さとして設定する(図-5)。これにより、連続的な堤防天端高さを把握することが可能となり、定期縦断測量では把握できない局所的に低いところが確認できるため、水防活動の重点区間の基本情報として活用できる(図-6~7)。なお、縦断測量に関わる計測費用は、従来手法である定期縦断測量をはじめ、他の計測技術(航空



検証点 番号	実測				MMS			
	鉛直方向 の距離 [m]	壁面との 距離 [mm]	1mあたり 距離 [mm]	傾斜角度 [°]	鉛直方向 の距離 [m]	壁面との 距離 [mm]	1mあたり 距離 [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-10 鋼矢板の傾斜測定結果

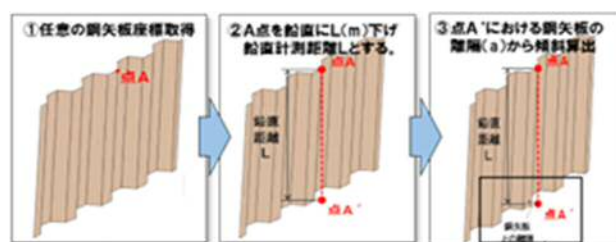


図-11 鋼矢板の傾斜測定方法

レーザ測量等)と比較したところ、一例ではMMSが最も有利と試算された(表-3)。

b) オルソ画像としての活用

MMSのカメラ画像は、1度の計測で数千枚に及ぶデータが取得されることから、データ量が膨大となる。変状・変位を検出するためには、これらを一枚ずつ目視で確認する必要があり、非効率となる。

MMSのカメラ画像に対し、周辺減光処理、光量補正等を行った上で、MMSで取得した点群からカメラ画像を投影する堤防形状を生成し、カメラ画像一枚に対して堤防形状に正射投影した写真地図画像を作成することができる(図-8)。また、写真地図画像に対し、輪郭抽出と黒または黒に近い色抽出処理を実施し、両者の重ね合わせ処理を行って重複する領域を抽出することでひび割れが推測できる。(図-9)。

(2) 河川の構造物の変異把握・状態把握

河川の構造物の異常把握を行う事例として、低水護岸

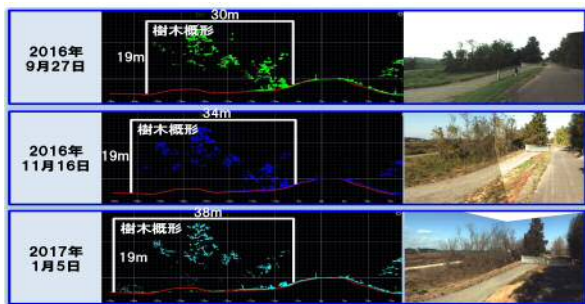


図-12 河道空間の立体把握事例

基礎工の鋼矢板を調査した事例を示す。堤防防護ライン上に、河岸洗掘や浸食の対策のため低水護岸が施工される事例が多いが、その護岸の基礎に鋼矢板を用いている場合も多い。レーザ射程距離が200m程度まで及ぶことから、この特徴を活かし、対岸の堤防に、MMSを置き、連続的に設置されている基礎鋼矢板の正面を計測し、その前後との相対的な関係から傾斜について測定した（図-10～11）。この測定結果を、さげ振りによる傾斜角と比較したところ、さげ振りに近い計測精度が確認できた。

(3) 河道空間の立体管理

この事例もレーザ射程距離が遠距離に及ぶメリットを活かしたものであるが、堤防天端を走行し、連続的に対岸の状況を計測撮影する。河道空間に障害物が少ないため、堤防高さ、河岸の状況や砂州の形成状況、樹木の繁茂状況を記録保存できる。左右岸で、行い補完しあえば、河川区間の立体的な状況管理図を構築することも可能である（図-12～13）。

(4) その他（洪水痕跡水位調査）

治水計画上の河道検討や実洪水の解析で用いる洪水水位の水位計算を適切に行うためには、計算条件として重要なパラメータの一つに、適切な粗度係数を設定すること（逆算粗度係数の算定）が求められるが、洪水痕跡調査は、その粗度係数設定の根拠となる重要な調査である。しかし、従来、その水位調査方法は、洪水が退いた後に、人の目視で泥やゴミの付着具合などで判定を行う手法がとられてきたため、さほど、効率と精度が高くはない。

更に、泥やゴミの痕跡（付着状況）は、時間の経過と共に消失や薄れてしまう恐れがあり、時間を急ぐ必要もあるので、相応の人員の投入も必要であるし、また、一方、縦断的な痕跡の確認間隔は、直線河道部では50～100m間1個は確実に痕跡を記録することが望ましいとされていたため、MMSでは、この二つの条件をカバーでき、痕跡を短時間で連続して、捉えることができる。

6. まとめ

上述までの事案は、紙面の関係上、MMSの利活用検討の

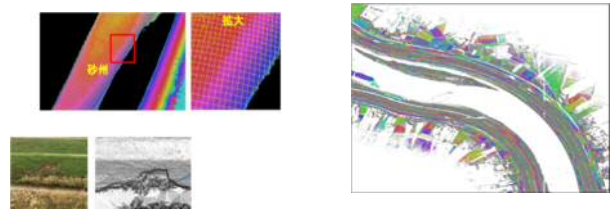


図-13 河道点検の状況管理図例

結果の一部のみしか紹介ができていないが、多角的に活用方策を検討した結果を整理し、河川管理の現場で適用する際の主立った論点をあげると以下のとおりである。

- ・測量手法としての適用性
- ・堤防点検（変状確認）への適用性
- ・取得したデータの特性と利活用
- ・機械機器のメンテナンス
- ・MMSで堤防計測を行うベストなタイミングと計測計画
- ・河川管理におけるMMS利活用事例集の策定

(1) 測量手法としての適用性

国土交通省が測量計画機関として行う公共測量は、測量法第33条によって、公共測量作業規定が定められており、その詳細な内容については同法第34条の規定によって公共測量作業規定準則が定められている。MMSは平成28年3月31日付けで、公共測量作業規定準則に追記された。これにより、測量法に基づく公共測量手法として明確になり、測量技術としては従来の定期縦横断測量と同様な測量技術と位置づけられた。

但し、技術論の基幹である、現在のレーザでは、透過性が無く、堤防上の雑草や構造物が障害となり、計測ができず死角の発生は防げない。つまり、単純に測定障害物が少ない堤防天端上の高さを測定し縦断的に迅速かつシームレスに計測することが有用な技術である。但し、実際の堤防天端上には、車両制限柵が設置されている場合も多いので、その柵を事前に仮撤去・移動をしておけば、移動しながら、効率的な連続測量が可能である。また、このように縦断測量の代替手法として活用を図る場合、レーザの死角や打点の異常点のデータ等精度的な誤差も不確実性として内在しており、定期縦横断測量結果との照合は必要である。

(2) 堤防点検（変状確認）への適用性

復唱となるが、現在の堤防に雑草が茂り、年2回程度の除草では、堤防の地表形状や変状が草で隠され、遠距離からのレーザが行き届かず、むき出しの河川構造物の状態把握（破損や傾斜等）は容易に確認できたが、堤防の変

状や変異を確認することはできない。

(3)MMSで堤防計測を行うベストなタイミングと計測計画

現在、使用されているレーザは、物体を透過しないことから、計測のタイミングを考えると、障害物が整理されており、堤防除草が完了した後直ぐのタイミングがベストだが、刈草速度とMMSの走行速度では、圧倒的に、MMSの自走速度が早い。MMSの計測効率を考えると、ある一連のまとまった区間の除草完了時が良いが、その段階だと、初期に、刈った草の背丈が再度伸びてしまい、計測の障害になってしまう。このため、障害物や堤防除草の進捗状況を考慮しMMSを用いるタイミングを考えた計測計画が必要である。この対応案として、直近の検討では、自走式の除草機自体にMMSの計測器具を装着して、計測するような提案も出ている。

(4)取得データの特性と利活用

取得されたデータは、共通フォーマット形式に変換することができ、利用者間での共有は簡単に行える。但し、フォーマットを解析に用いるアプリケーションソフトと3次元画像を見るビューワーソフトも開発会社の独自規格になっているものが多く、他者が活用するには、ライセンスの取得やOSでの設定が必要であり、それらについては開発会社の協力が必要である。

(5) 機械機器のメンテナンス

MMSの機械器具は海外製品が主力だが国内の代理店が扱い市場性があり、点検整備や修理等についても、早い対応を行って頂けた。もともと、道路分野で先行して活用されているため、機械器具の故障に対する修理（アフターフォロー）については、不満がない対応が可能であった。

(6)河川管理におけるMMS利活用事例集の策定

平成23年度から、今までの成果をとりまとめ、上述までのとおり有効を検討しつつ、前述にご紹介した「河川管理におけるMMS利活用事例集」としてとりまとめた。現在、関東技術事務所のHP⁷⁾上からダウンロードができる。

最近、このMMSの活用事例をまとめている間に、革新的河川管理プロジェクト⁸⁾が始まり、MMSにより取得したビックデータが、さらなる活用が見込まれている。将来的には、MMSが発展し、このビックデータを取り込んだAIロボットが河川技術者の技術と知恵を使い、河川の点検を行う日が来るかもしれないと夢や期待を抱いている。

謝辞:国土交通省水管理・国土保全局河川環境課、国土技術政策総合研究所河川研究室福島主任研究官、各地方整備局の方々、関東地方整備局企画部広域計画課三輪係長にご指導ご助言を賜った。ここに記し謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所気候適応変動研究本部「国土技術政策総合研究所資料749号 気候変動適応策に関する研究(中間報告)」, pp. II-142, 2013
- 2) 三輪尚子:MMSを用いた河川管理への利活用検討: 国土交通省関東地方整備局スキルアップセミナー2017
- 3) 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, 河川技術論文集,第19巻,pp21-26,2013
- 4) 新技術情報提供システム (New Technology Information System: NETIS) :モービルマッピングシステムで取得したレーザ点群データと画像データを利用した3次元数値図化システム,登録番号 KK-110052-A
<http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Explanation/MainExplanation.asp?TabType=1>
- 5) 三菱モービルマッピングシステム高精度GPS移動計測装置カタログ
- 6) 国土交通省Hp:電子納品に関する要領・基準
http://www.cals-ed.go.jp/Cri_otherdoc/
- 7) 関東技術事務所(関東維持管理技術センター) Hp:
<http://www.ktr.mlit.go.jp/ijikanri/index006.html>
- 8) 齋藤博之:これからの河川管理,河川構造物管理研究セミナー,2018

(2018. 4. 3受付)