

MMSレーザを堤防点検に活用するための 植生の影響に関する研究

FOR MORE EFFICIENT LEVEE INSPECTIONS, RESEARCH ON THE IMPACT
OF VEGETATION IN MMS LASER MEASUREMENTS

田中敬也¹・河野隆治²・小澤淳真³・山崎崇徳⁴

Takaya TANAKA, Ryuji KOHNO, Atsumasa OZAWA, Takanori YAMAZAKI

¹ (公財)河川財団 河川総合研究所 戦略的維持管理研究所 (〒103-0001 東京都中央区小伝馬町11-9)

² (公財)河川財団 河川総合研究所 (〒103-0001 東京都中央区小伝馬町11-9)

³ (株)パスコ 中央事業部 (〒103-0001 東京都目黒区青葉台3-10-1)

⁴ (株)パスコ 中央事業部 (〒103-0001 東京都目黒区青葉台3-10-1) (現 株式会社建設技術研究所)

Detailed three-dimensional point group data provided by MMS (mobile mapping system) is now expected to be used for advanced river management. In order to measure precise shape of levee, it is necessary to consider the impact of the shielding due to vegetation.

In this study, we analyze the impact of vegetation according to its type and its growth process. We evaluate the timing and method of measurement for utilizing MMS for levee inspections, and the deformations that can be understood, and consider the efficiency and advancement of levee inspections using MMS.

Key Words : Mobile Mapping System, height of levee surface, impact of vegetation

1. はじめに

河川堤防の点検は現在専ら徒歩と目視により行われている。近年、レーザスキャナにより得られる詳細な三次元点群データを河川管理に活用することが期待され、様々な研究¹⁾²⁾³⁾⁴⁾がされているが、コンクリート構造物等と異なり堤防形状の計測にレーザスキャナを活用するためには、堤防上の植生によるレーザの遮蔽が課題となる。

このような植生の影響を抑えるために大型除草機にレーザスキャナを搭載し堤防除草と併せて計測を行うシステム⁵⁾が開発されているが、除草機の利用が困難な急勾配法面や除草機が侵入困難なコンクリート被覆箇所では計測に制限を受ける。

本研究では、レーザスキャナシステムとして道路・都市等他分野でも汎用的に利用されているMMS(Mobile Mapping System)を用いて堤防除草後の植生の再繁茂の各段階に応じて計測を実施し、その結果を分析することで植生がMMSによる堤防の形状把握精度与える影響を評価し、また植生の種類による影響とMMSで把握可能な堤防の変状についての評価を行うことにより、MMSを堤防点検へ活用する際に必要となる高さ精度や点群密度

の条件を示すものである。

2. MMSによる堤防計測方法

(1) 計測機器の諸元等

今回使用したMMS (VQ-450) は、レーザ測距装置を高所に設置した河川計測用の車両であり、レーザ測距装置の搭載位置は地表面から約3.6mである。車両に搭載されたカメラから前方及び側方の画像撮影も行っている。

(2) 現地計測の概要

a) 計測場所、計測日

計測場所は、近畿地方の一級河川猪名川の支川である藻川で、左岸2.2km付近を対象とした。

表-1 MMSレーザ計測年月日

計測回	計測日
1回目	9/27 [除草前]
—	(10/12[除草日])
2回目	10/19 [7日後]
3回目	11/6 [25日後]
4回目	11/22 [41日後]
5回目	12/7 [56日後]

計測は、9月27日(除草前)から12月7日(除草後56日

目)まで計5回行った。この間の除草日は、10月12日であった(表-1)。

b) 計測方法及び関連調査

計測車両の速度は約15km/h、上流～下流間を1往復することで堤防表法面～天端～堤防裏法面の一連の計測が完了する。除草刈高は概ね5cmであり、除草後に集草作業を行っているため刈草の影響はない。

分析対象とした堤防法面の位置及び実測を実施した箇所は法面上部(A地点)、法面中部(B地点)、法面下部(C地点)の各箇所である(図-1)。

Z地点は、距離標をコンクリートで被覆した箇所であり、植生の影響を受けない参照地点として取り上げる(図-2)。

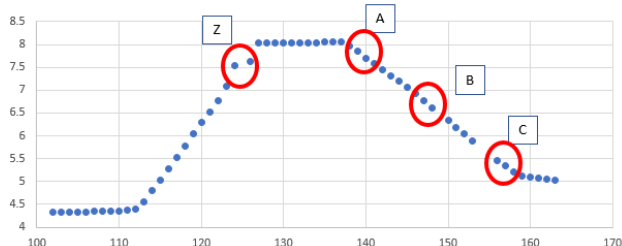


図-1 堤防断面と点群データの分析対象範囲のイメージ

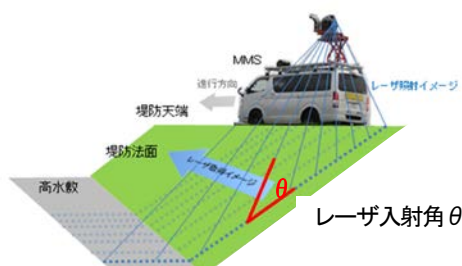


図-2 Z地点の法面の状況

各計測日には、堤防上の植生の写真撮影を行い、当該箇所の代表的な植生とその草丈の頂部をコンベックスで計測した(図-3)。また、レーザ点群による堤防の形状把握精度を検証するために、堤防横断方向の測線上を約50cm間隔でトータルステーションにより実測した(計測日11月22日)。実測は、草の影響を除去するため、ボールが土の中に刺さらない程度まで押し込んで測量を行った。車両は天端を走行し、天端から計測地点までの距離とレーザの入射角等は表-2のとおりである。

表-2 計測時の状況

	A地点	B地点	C地点
天端からの距離	約1.5m	約5m	約10m
点群密度	2,102点/m ²	1,847点/m ²	796点/m ²
レーザ入射角θ	約30°	約15°	約10°



	A地点 スイバ	B地点 ヤハズエンドウ	C地点 ネズミホソムギ
7日後			
	草丈5cm程度まばら	草丈5cm程度まばら	草丈5cm程度まばら
25日後			
	草丈5cm程度	草丈5cm程度	草丈10cm程度
41日後			
	草丈20cm程度	草丈15cm程度	草丈30cm程度
56日後			
	草丈20cm程度	草丈20cm程度	草丈35cm程度

図-3 MMS計測時の植生の状況の例

3. MMSによる堤防計測の精度評価

(1) 堤防計測の精度評価のための基本的事項

まずトータルステーションによる実測値とレーザ計測による計測値の標高較差を以下のように比較・評価した。

- ・トータルステーションによる実測地点を中心とした半径10cmの円を生成。
- ・その円内のレーザ点群標高値と実測の標高値を比較・評価

Z地点の計測値を横断面にプロットすると図-4のようになる。標高値の精度を評価するために、法面勾配の影響のみ打ち消す処理を行った。植生のないZ地点では全ての点が実測値との較差0.4cm以内に収まり十分な精度が確保されていることが確認できた。

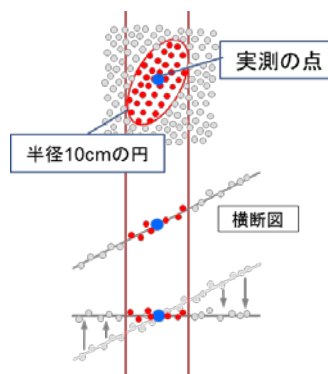


図-4 法面勾配の影響を打ち消す処理のイメージ

(2) 計測距離とレーザ入射角の関係

今回の計測では堤防天端から堤防法面に向けて斜め方向からレーザを照射している。従って入射角は、天端付近から堤防法面に向けて次第に小さくなっていき、単位面積あたりの点群数は、天端付近から法面に向けて次第に少なくなっていく。(表-2)

計測機器から計測地点までの距離点密度について、除草後7日後の天端から0.5m, 1.2m, 5m, 10mの地点で評価すると(表-3), 天端入射角の違いによる点群密度の違いは理論値ではレーザ入射角 0° であった場合と比較して法尻付近での入射角 10° では点群数は $\sin 10^\circ = 0.17$ に減少するところ、本研究の実測結果では0.23(単位面積あたり6,624点→1,497点)とほぼ理論値と同程度となることが確認できた。

この密度で点群が等間隔であったと仮定した場合、2点の間隔は1/2以上(1.23cm→2.58cm)の差になる(表-3)。このことは、天端付近と法尻付近では捉えられる変状の大きさの限界に違いがあり本研究フィールドでは、例えば幅2cm程度の亀裂は、天端付近ではとらえる可能性が高いが、法尻付近では把握できない可能性があることを示している。

表-3 天端からの距離とレーザ点群の密度の関係

天端からの距離	m ² あたりの点数	平均間隔(cm)
0.5m	6,624	1.23
1.2m	3,949	1.59
5m	2,898	1.86
10m	1,497	2.58

(3) 植物の成長がMMS計測精度に与える影響の分析

実測値と計測値(半径10cm内のレーザ点群)の較差が植物の成長に伴ってどのように変化するかを調べることで、植物がMMS計測精度に与える影響を分析する。

各地点における、実測値と計測値の較差1cmの階級毎の計測点群の個数のヒストグラムの上辺を結んだ度数折れ線を図-5A～図-5Cに示す。この図は、レーザ点群が堤防地表面付近のどの高さをどの程度多く測定しているかを示すものであり、本論文では、以降この図を「点群標高特性図」と呼ぶ。前項のコンクリート面のように、レーザ点群により一定の高さが明瞭にとらえられる場合は、点群標高特性図の形状はピークが高く幅が狭くなり、その逆に植生の遮蔽効果で、レーザが堤防付近の様々な高さで反射する場合は、点群標高特性図は、ピークが低く横に広がることとなる。例えば、図-5Aを見ると、除草直後(7日後)は較差0cm,1cmにレーザ点群数が集中しており、多くの点が地表面を捉えていると見なせるが、25日後、41日後、56日後と時間の経過に伴い、グラフのピークが右に移動するとともに低くなっていき、成長していく植生を捉える割合が大きくなっていくことが分かる。41日後以降は、較差0cmの点群数は0となり地表

面を捉えられていない。

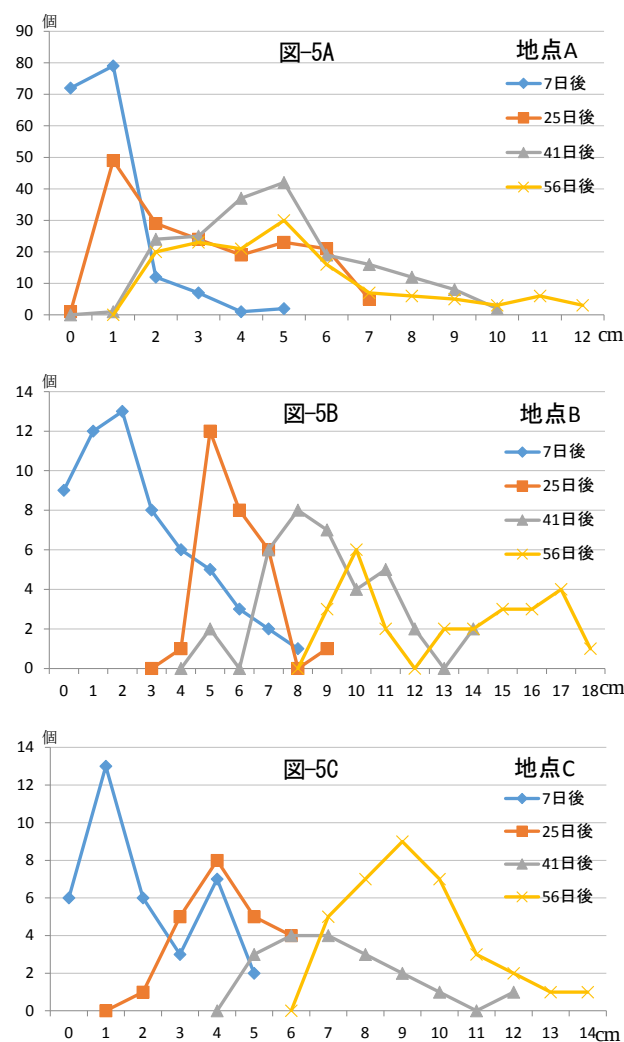


図-5A～図-5C 点群標高特性図

この点群標高特性図が、最低計測値(グラフの左端)を記録してから左方向で高いピークを迎える形状であるほど地表面を多くの点がとらえていることとなる。そのような形状の特徴を比較するために、点群標高特性図を累積相対度数で表したものを図-6A～図-6Cに示す。

この図は、0%からの立ち上がりが急であるほど最低測定値に近い点を多く計測していることを表し、逆になだらかなほど、植生の影響により草丈までまんべんなく高さを計測していることを表している。

この図から、地点Aは除草後に曲線の傾きがなだらかなる傾向が出ているが、地点B,Cではそれほどその傾向に差は表れておらず、特にBでは7日後より25日の方が急な曲線となっている。地点Bのこのような傾向については植生の種類の影響が考えられ、次項で考察を行う。

(4) 植物の種類による影響の分析

現在全国的に堤防の植生は、芝以外に外来植生を含め多様化が進んでいる。本節では植生の違いによるレーザ遮蔽の影響を分析する。

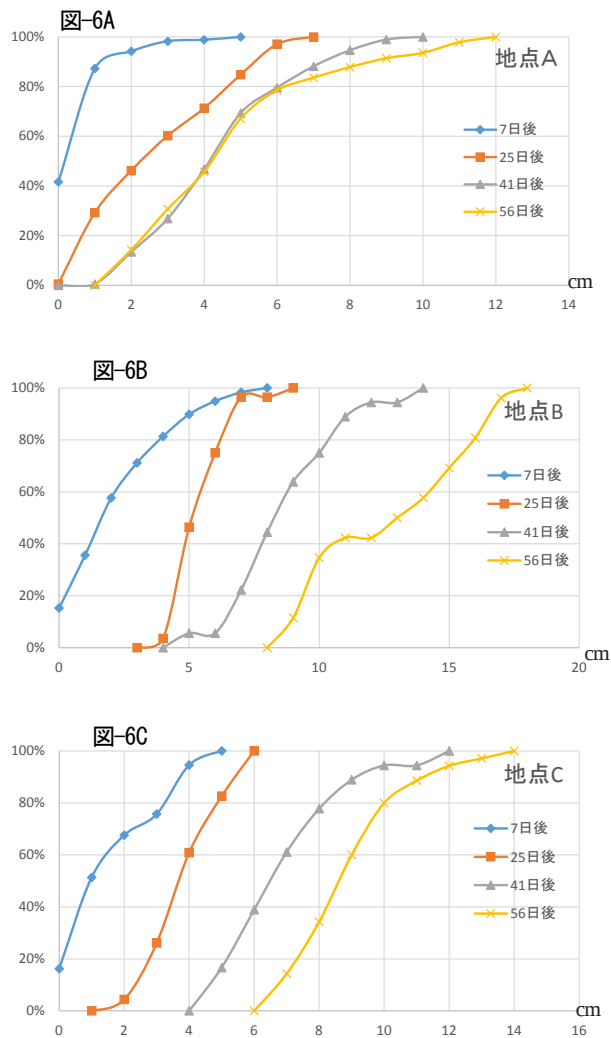


図-6A～図6C 点群標高特性図の累積相対度数

前項で見たように、地点Bでは除草7日後で地表面ではなくその2-3cm上に、また25日後には5-6cmに計測値が集中しており、7日後より25日後が急な曲線となっている。地点Bの植生はヤハズエンドウであるが、計測時の状況(25日後)は、図-7のとおり背丈は低いものの小さな葉が堤防表面を覆い隠しており、この植生表面近くに多くの点群が補足されたことによるものと考えられる。



図-7 地点Bの植生

植生の違いによる影響をさらに分析するため、図-3で示したスイバ、ヤハズエンドウ、ネズミホソムギに加え、芝、セイバンモロコシ、ススキが繁茂している箇所でも別途計測を行った(11月6,22日,12月7日)。図-8は除草後初回の計測値を基準として以降の計測値(下位10%平均値)との差分を堤防の位置及び植生の種類で整理したものである。グラフの横軸は堤防表法尻から裏法尻までの計測位置を示す。以下その結果を概括的に整理する。

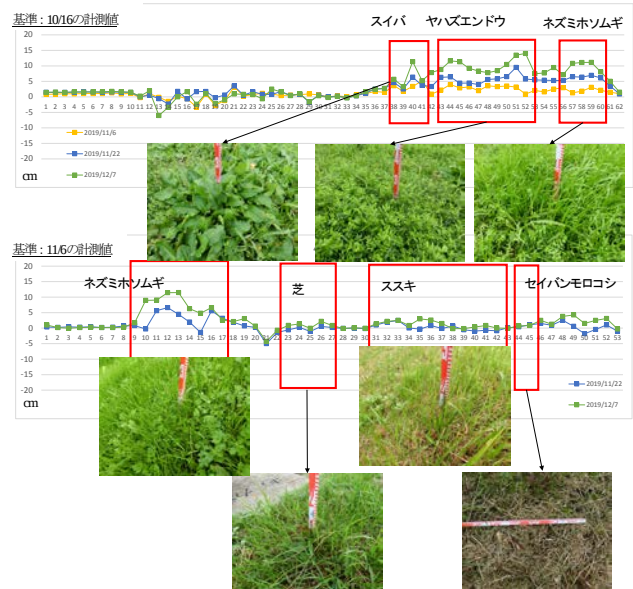


図-8 植生毎のレーザ遮蔽状況

【芝】草丈は伸びているが、調査期間(除草後49日)では、レーザを遮蔽するまで成長はなかった。ただし、除草時からレーザが地面に到達できないほど密集していた。

【ススキ】除草後の茎から新芽が20cm程度成長しているが、垂直方法への成長のみで、葉が広がるなどはなく、レーザの遮蔽はほとんどなかった。

【ヤハズエンドウ】除草後7日までは、レーザ遮蔽の影響はなかったが、再繁茂につれ密集度も高くなり、最終的には20cm程度の草丈になり、除草後25日以降は、完全にレーザを遮蔽した。

【スイバ】除草後7日までは影響はないが、21日後、41日後、56日後では、レーザの遮蔽が認められた。しかし、水平に成長する植物であり、また、密集度も少なく、葉の間から地面にレーザが到達できるため、点群のばらつきが多くなるが、56日後でも地面を捉えたレーザ点群もあった。

【ネズミホソムギ】除草後から再繁茂により、レーザを遮蔽している。マメ科も若干まざり、除草後25日では、6割強のレーザを遮蔽し、56日後には完全にレーザを遮蔽するまでに成長した。

【セイバンモロコシ】夏場はセイバンモロコシが繁茂していたが、この時期は枯れており、調査した期間では、変化はなかった。(ほぼ裸地状態)

マメ科やイネ科（ホソムギやエノコログサ等）の草丈が低く葉の数が多く密集して繁茂する植物は、レーザ遮蔽の影響が大きいことが分かった。ススキやセイバンモロコシなど大型のイネ科は、草丈が低い時期は葉の数も少なく、除草時の茎が密集していないこともあり、レーザ遮蔽の影響は少ないことが分かった。

葉の大きなスイバは一見影響が大きいと思われるが、小さいうちは地面を覆う密集度が少なく、葉が大きくてもレーザが葉と葉の間を透過して地面に到達する可能性が高いことが分かった。

4. 堤防の変状把握のための評価

(1) 実測標高値とレーザ標高値の較差

半径10cmの点群の中から堤防表面を捉えた点群を抽出することを目的として、同データを用いて計測値の下位10%の平均値と実測値との比較を行った（図-9）。

堤防法面中部(地点B)・下部(地点C)の41日後の較差は5-6cm、56日後では7-9cmを示している。5cm以内の精度を要求水準とすれば、除草後25日以内であればMMSが利用可能であることが示唆された。ただし、今回は、植生が法面の位置で異なることから、天端からの距離、草丈、草の種類の関係性までは評価できなかった。

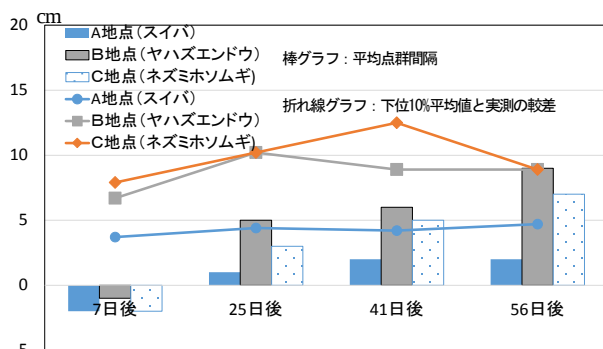


図-9 下位10%平均値と実測の較差及び平均点群間隔

(2) 堤防の変状規模の違いによる評価

図-9において、法面の位置と植生の繁茂による堤防法面を捉えている点群数（実測標高値とレーザ標高値との格差が2cm以内であれば地表面を捉えたと仮定）について、等間隔に置き換えた間隔を整理した。

この結果から、天端付近では、幅や長さが5cm程度の変状（例えば、亀裂幅が5cm程度）であれば、除草後56日程度は捉えることができるが、ネズミホソムギなどが生育している堤防法面では、7日後には、幅や長さが8cm程度の変状がわかる程度の間隔になり、25日後には、10cm程度、41日後には13cm程度の変状がわかる程度の点密度まで減少し、天端付近の芝とは、大きな違いが生じることになることがわかった。

(3) はらみ出しや寺勾配等広範囲におよぶ変状

既往研究において、全点群に対して特殊な表示を行うことで、堤防のはらみ出しや寺勾配・陥没といった広範囲に及ぶ変状を視覚的に見つけ出すことができることが示されている。本研究のデータを用いて同様の表示を行った（図-10）。いわゆる寺勾配が急になるとレーザ点群が当たりにくくなり（図-11の緑色の測線上）、点群の密度が疎になるため、何らかの変状があることが確認できる。今回の研究では定量的な評価は行っていない。

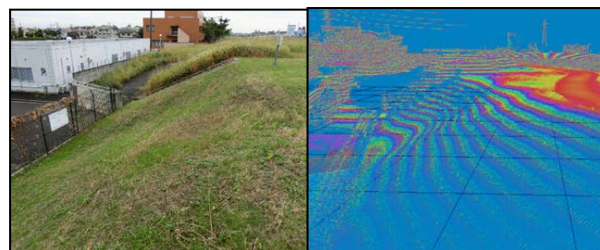


図-10 法面の変状箇所と色彩図

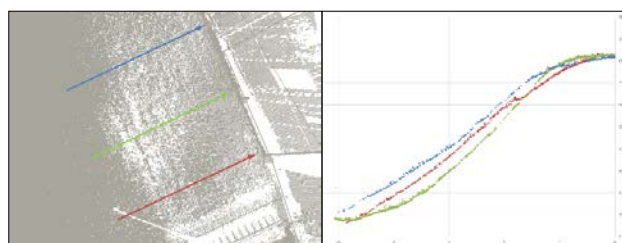


図-11 法面の変状箇所のレーザ点群と断面図

4) 亀裂等局所的な変状

前項においてMMS計測では、天端から離れた法尻へ向かってデータ密度が次第に粗となるため、天端付近と法尻付近では評価できる変状の規模が異なり、天端から離れた地点では亀裂やクラックなどの変状を定量的に評価することは困難となることを示した。

今回、コンクリートの距離標板に刻まれた河川名や距離標の文字、波のマーク（図-12）を、レーザ点群がどのように計測するか確認し、MMSの亀裂等の変状計測への活用可能性について考察する。

今回のMMS計測時の走行（15km/h）では、進行方向に対して約4cmの間隔となり、進行方向に対して直角方向は、ばらつきがあるものの5mm以内の間隔で計測できている。

レーザ点群を平面図上に展開した場合、幅や長さが5cm程度の変状であれば、何らかの変状があることがわかる（今回は、4点程度のレーザ点群が窪みに当たれば変状を把握できた）。また、距離標柱（高さ10cm×縦10cm×横10cm）も容易に確認できる。ただし、幅2cm程度の変状（今回は文字）は、平面図上に展開してもあまり明確にならず、断面図を作成した時点でようやく何かがわかる程度である。植生のある土堤に比べて明瞭に形状変化が捉えられるコンクリート面において把握できる変状規模はこの程度であり、土堤であれば

同様の規模の変状の発見は困難であると考えられる。

現在、堤防等河川管理施設の点検結果評価要領⁷⁾には、亀裂等の評価に明確な幅は記載されていないが、10cm程度の亀裂やモグラ等の小動物の穴の抽出は難しいことがわかる。

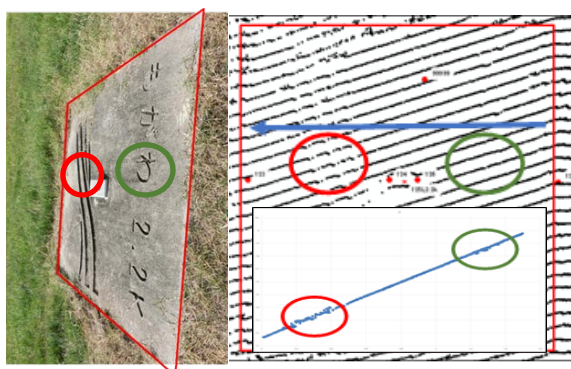


図-12 コンクリート被覆の状況・レーザ点群と断面図
(同色の円は概略的に同じ位置を示す)

5. まとめ及び考察

本研究では、以下のことが判明した。

- ・実測標高値とレーザ点群の較差は、除草の刈高に影響を受け、また除草後は、植生の成長により較差は小さくなっていくが、約3週間後(25日後)までは取得できたデータの下位(今回は下位10%に含まれる)の点群データを採用することにより、植生によるレーザ遮蔽の影響を除去して堤防の形状を把握できることを示した。
- ・その後は、植生の種類によりその成長に応じて堤防の形状把握が段階的に困難となることが定量的に確認でき、堤防表面を捉えたレーザ点群密度と較差の関係を整理できた。
- ・堤防植生により、レーザ計測可能な期間が決まり、大型のイネ科の堤防植生より、マメ科などの植生やイネ科のネズミホソムギなどは、比較的短い期間でレーザを遮断することが確認できた。

堤防植生によるレーザ遮蔽の影響を軽減するためには、除草直後に計測を行うのが最も望ましい。しかしながら、実際の河川管理の現場を想定すると、一般的に除草業務とMMS計測業務は別業務として発注されるため両業務間での工程調整が必要となり、また数日以上かけて一連区間を除草後、MMSが1日で計測することもあり、除草直後(数日以内)にMMS計測を行うことは困難である。しかしながら、本研究結果を踏まえれば、秋季であれば除草後3週間以内に計測を行えば、除草直後に計測を行う場合と同程度の精度で堤防形状を評価可能であると考えられる。

把握できる変状については、現在目視点検により確認している変状のうち、亀裂、踏み荒らしといった局所的

な変状を把握することは難しく、陥没、はらみだし等の広範囲にわたる変状に対して効果があることがわかった。

また、MMS車両の走行方向に平行(堤防縦断方向)の変状は比較的把握しやすい一方、走行方向に直角方向(堤防横断方向)の変状は把握が難しいことがわかった。深さにもよるが、本研究では長さ10cm程度、幅2cm程度の変状に対しては、レーザが数点変状箇所に到達するものの、その形状を把握することは難しいことが示唆された。

今回のMMS計測は秋の除草後に実施し、春の除草時期の影響については確認していないが、実際の堤防管理にMMSを活用するにあたっては、年2回実施する除草のうち河川堤防の植生状況に応じて植物の成長の影響が少ない時期を選択して実施すべきであり、その場合八木ら⁸⁾の研究が参考になると考える。またUAVを用いる場合、MMSのような天端からの距離による計測精度と把握できる変状の違いはなくなり、また真上からの計測となるため植生の遮蔽の影響も異なるものとなるが、植生の違いによる影響については本研究成果の結果は参考になると思われる。

最後に本研究にあたり、現地フィールドを提供いただいた近畿地方整備局猪名川河川事務所に対して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小澤淳真, 安達孝実, 吉田高樹, 関克己, 岡部貴之, 山崎崇徳: レーザ計測技術の点検実務への適用に関する検討, 河川技術論文集 第23巻, pp329-334, 2017
- 2) 安達孝実, 河野隆治, 関克己, 藤山秀章, 小澤淳真: 堤防管理の高度化に向けた堤防地表面の点群データの活用に関する検討, 河川技術論文集 第24巻, pp565-570, 2018
- 3) 国土交通省東北地方整備局東北技術事務所: MMS活用の手引き(案), 2017
- 4) 国土地理院: 三次元点群を使用した断面図作成マニュアル(案), 2016
- 5) 白井正孝他: 大型除草機によるモグラ(小動物)穴の面的検出システム: 建設マネジメント技術 2018年8月号
- 6) 小林勝也, 飛島幸則, 山崎崇徳, 岡部貴之: 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, 河川技術論文集 第24巻, pp245-250, 2018
- 7) 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の点検結果評価要領, 平成29年3月
- 8) 河川財団: 平成30年度河川研究セミナー講演録 第1回河川財団の河川維持管理に関わる取組, 2018

(2019. 4. 2受付)