

堤防表面形状による内部状態の把握について ～重信川 堤防漏水被災箇所を例として～

松山河川国道事務所 河川管理課 河川管理係長 森田 達之

重信川では堤防変状の連続発生に伴い、3D(3次元)レーザ計測データにより堤防表面形状を把握しているところである。戦後最高水位を記録した平成29年9月台風18号出水では堤防漏水が多く発生し、堤防内の各種調査を実施している。これらの結果を踏まえ、本稿では計測データから得られる表面形状と堤防内部状態(構造)の関連性について考察するものである。

キーワード 堤防変状、3Dレーザ計測、堤防表面形状と内部の関連性

1. はじめに

(1) 重信川堤防の陥没・沈下の連続発生

重信川では、平成27・28・29年度に3年連続して堤防の陥没・沈下が発生している。平成27・28年度の変状箇所(H27：船川堤防の陥没、H28：田窪堤防の沈下)においては要因調査・復旧工事を完了している。その結果、堤防内に存置された旧護岸の背面空洞化、堤体土の高透水性(玉石、砂礫が主体)やゆるみの発生、腐食木片の存在などを素因として推定している。



図-1 陥没発生箇所の要因調査(H27：船川堤防の陥没)

(2) 河川堤防を対象としたMMS搭載型3Dレーザ計測

堤防内の異物やゆるみは堤防の品質である盛土の均質性を低下させ、「みずみち」「すべり」などの要因となり、場合によっては破堤につながるものである。このような異物やゆるみを把握する技術として、従来技術では物理探査等の地質調査があるが、経済性等の観点で延長の長い河川堤防への適用は困難な場合が多い。

一方で河川堤防の点検の省力化を目的として移動計測車両(以下MMS)を用いた3Dレーザ計測の適用性に関する研究がされており、法面陥没や堤防天端アスファルトの損傷、樋門や護岸等への適用性があるとされている。

重信川では堤防内の異物やゆるみにより、陥没・沈下といった現象(被害)が地表面に現れた実績がある。このことを踏まえ、堤防変状の前兆として地表面に微小な変状を生じるものと仮定している。平成29年度においてはこの微小な変状をとらえることを目的として、このMMS搭載型3Dレーザ計測を重信川全川で行った。

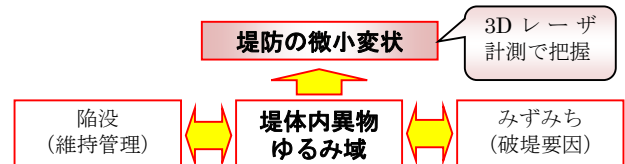


図-2 3Dレーザ計測による維持管理・破堤要因の把握の概念

(3) 平成29年9月17日台風18号出水による被災

重信川では平成29年9月17日台風18号出水により、それまでの戦後最高水位(平成13年6月出水)を超過し、堤防漏水(14区間)、堤防護岸崩壊(3箇所)の被災があった。なかでも重信川左岸3k800の堤防漏水被災箇所では、陥没を伴う噴砂という著しい被害が発生した。今回の出水直前の9月上旬には被災箇所のMMS3Dレーザ計測を実施することができている。さらに、被災箇所ではボーリング調査、50cm間隔という高密度でのサウンディング、試掘等の詳細調査を行ったことから被災箇所の堤防内部状態(構造)も概ね明らかになっている。

本稿ではこれらを踏まえ、MMS3Dレーザ計測結果により把握された変状と堤防内部状態の関連性や、3Dレーザ計測結果による被災箇所の予測可能性について考察を行う。

2. 3Dレーザ計測の方法と結果の利用方法

(1) 使用した3Dレーザ計測機の諸元

今回使用した3Dレーザ計測は、堤防の変状が把握可能な性能として、地表面データ(点群データ)を25cm間隔以下で把握できるもので、経済性などを考慮して表-1に示すMMS搭載型3Dレーザ計測機を使用した。このMMSは舗装のような道路施設の管理によく用いられているもので、航空機を用いた3Dレーザ(LP)より点密度が高いうえ、走行速度による計測精度の調節が可能な点が特徴である。

表-1 MMS 搭載型 3D レーザ計測機諸元

項目	単位	数値
計測Rate	Hz	100
Shot数	発/s	300,000
移動速度	km/hr	15
計測密度(法面部)	個/m ²	250

(2) 計測方法

堤防天端を走行することで天端ほか法面、小段の計測を行うものとした。法面での計測密度を向上させるため、堤防天端の川表側に沿った走行と、川裏側もしくは小段上の走行の往復走行による計測を行った。

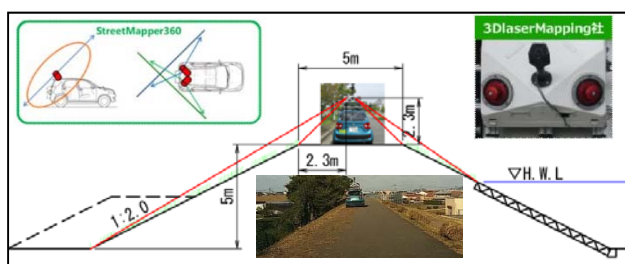


図-3 MMS 搭載型 3D レーザ計測概要

(3) 地表面データの抽出

取得される点群には、地表面のほか、植生やガードレールなどの構造物のデータも含まれる。計測目的が地表面形状を把握することであることから、法面部に関しては三角形サーフェスを用いたアルゴリズムにより地表面データの抽出を行った。

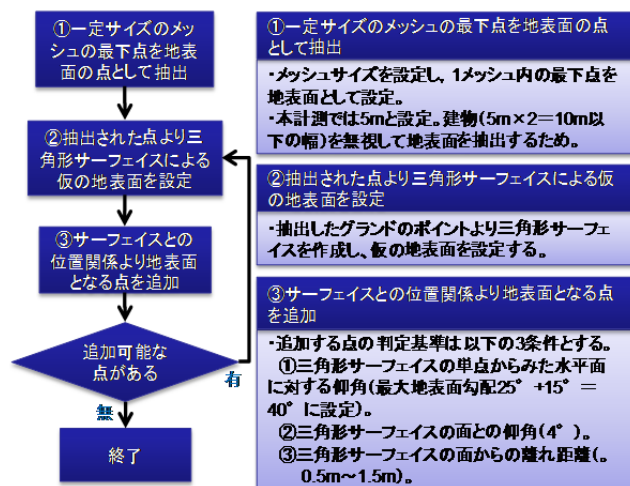


図-4 地表面データ抽出アルゴリズム

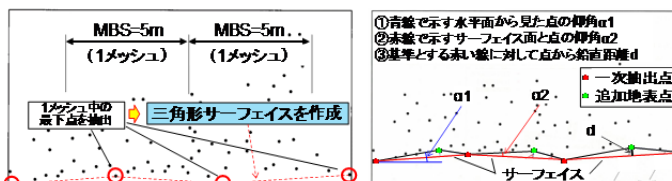


図-5 地表面データ抽出のイメージ

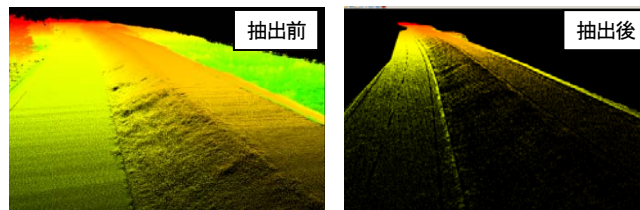


図-6 地表面データの抽出前後の点群の比較

(4) 段彩図を用いた変状の把握

3Dレーザ計測結果は点群で与えられるが、図-6に示すような3D表示では、堤防の変状箇所を抽出するのに不向きである。そこで、容易に変状を把握しやすくするため段彩図の作成を行った。

段彩図は、地表面の点群を、図-7に示すように一定の標高ごとに1色づつ色を変化させ平面表示する図面である。そのため、単調な平面では同一色で表されるほか、単調な法面では一定間隔の直線的な縞模様を描く。

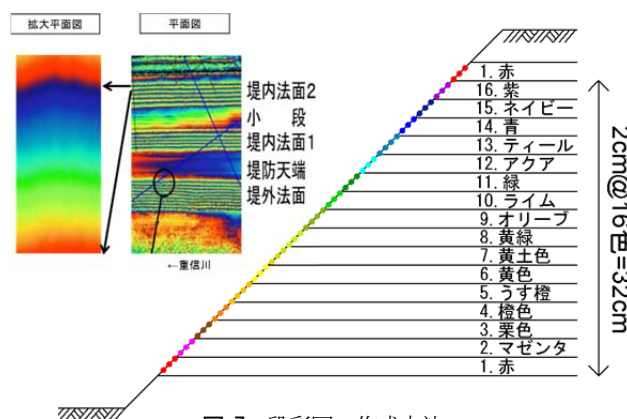


図-7 段彩図の作成方法

変状箇所はこの縞模様が図-8や図-9のように局所的に曲線形状となったりするほか、間隔が不規則に変化したりする箇所を抽出することで把握することができる。

ここでは、微小な堤防変状を把握できるように標高2cm間隔で全16色、32cm・1サイクルでの段彩図を作成した。

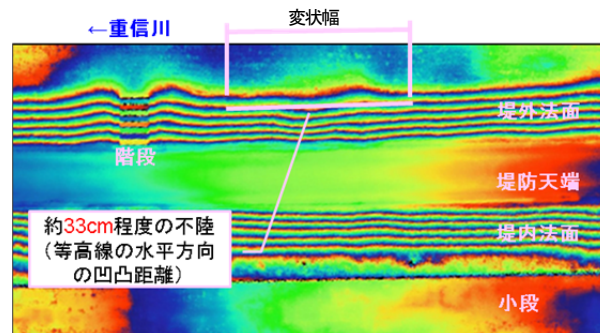


図-8 段彩図を用いた変状箇所の抽出(例)

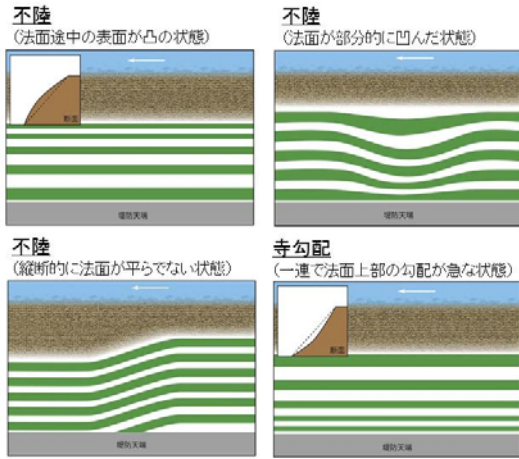


図-9 段彩図で見られる堤防変状のイメージ

(5) 堤防変状の抽出結果

重信川0k000～17k000の左岸・右岸において、約330箇所の堤防変状を抽出することができた。以下に、抽出した堤防変状の種別、規模に関する頻度分布を整理した。

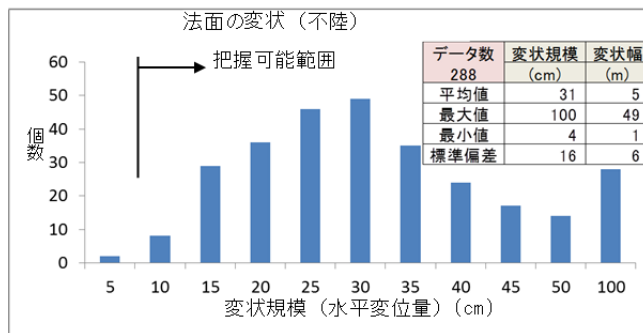


図-10 法面の不陸の水平変位量頻度分布

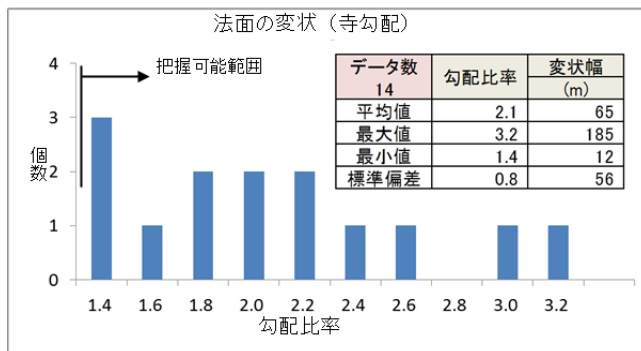


図-11 法面の寺勾配の勾配比率頻度分布

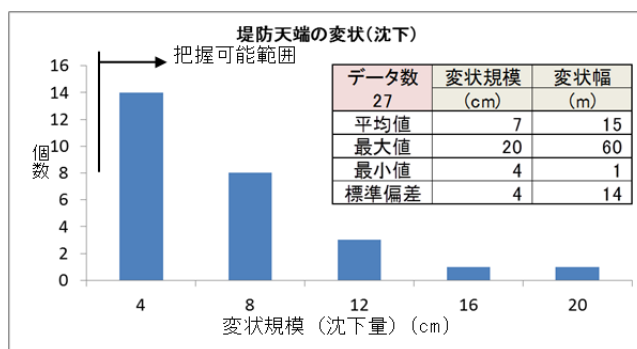


図-12 堤防天端の沈下量の頻度分布

【法面の変状】

- 不陸・・・概ね水平方向に10cm程度の変状が把握可能。
- 寺勾配・・・概ね法面上部と下部の勾配比率が1.4倍程度の変状が把握可能。

【堤防天端と小段の変状】

- 沈下・・・概ね4cm(段彩図2色程度の変化)程度の変状が把握可能。

3. 堤防内部状態(構造)との比較

台風18号出水で堤防漏水被害が著しかった箇所の一つで、重信川左岸3k800の噴砂に伴う陥没がある。当箇所およびその付近では、図-13に示すボーリング調査(B1・B2)、サウンディング(S1～S5)、試掘といった各種調査を基に、堤防内部状態(構造)の把握を行っている。

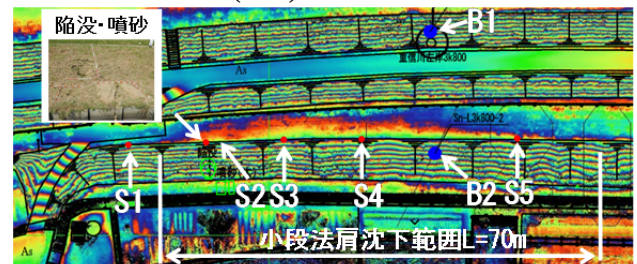


図-13 重信川左岸 3k800 付近の段彩図(出水前)と調査位置

この左岸3k800を対象として出水前3Dレーザ計測結果(台風18号出水前)を基に作成した段彩図から読み取った変状範囲と堤防内部状態との関連性について考察を行う。

(1) 地表面形状とボーリング調査結果

出水前計測による段彩図(図-13)では小段部の法肩で周辺より約10cm程度の下が観察される。左岸3k800では変状箇所である川裏小段と、非変状箇所である川表法面でボーリング調査を実施している。ここでは、盛土層(Bs-g・Bgs)と沖積層(Acs)の性状に起因して変状が生じたものと考え、両箇所のN値ならびに粒度特性について比較を行った。

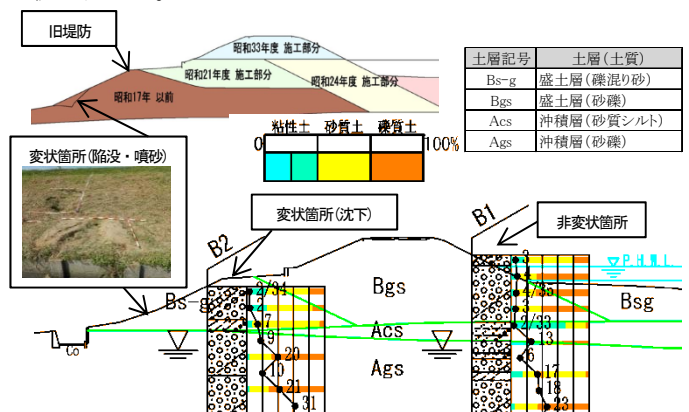


図-14 重信川左岸 3k800 の土質推定横断面

表-2 変状箇所と非変状箇所のボーリング調査結果一覧

	土層	層厚 (m)	平均N値 (回)	礫分 (%)	砂分 (%)	細粒分 (%)
変状箇所	Bs-g	3.2	3.7	14	66	20
非変状箇所	Bgs	5.2	3.5	52	39	9
	Acs	1.2	2.0	4	26	70

表-2に示すように、変状箇所(Bs-g)と非変状箇所(Bgs、Acs)ではN値は同程度といえるが、変状箇所では礫分含有率が40%程度低い。重信川の堤防は砂礫主体であることが特徴であるなか、当箇所の変状は部分的に礫分の少ない箇所で発生していることが予測される。なお、変状箇所(Bs-g)は、築堤履歴によると旧堤防盛土層にあたる。また、この左岸3k800付近は昭和18年7月出水時に破堤履歴があり、復旧盛土と考えられる。

(2) 地表面形状とサウンディング結果

対象箇所では、地盤の相対的な強度を把握するため、沈下範囲において50cm間隔でスウェーデン式サウンディング(以下SWS)を実施している。ここでは法肩部で実施したSWSの結果と、沈下量について考察を行った。

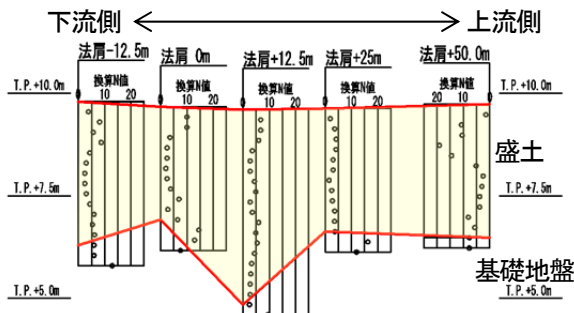


図-15 沈下範囲における SWS 結果(小段法肩部)

表-3 沈下範囲の小段法肩部における SWS 結果一覧

位置(陥没箇所±m)	-12.5	0	12.5	25	50
沈下量(cm)	0	10	14	18	6
盛土層厚(m)	3.5	2.8	4.8	3.0	3.2
平均換算N値(回)	5.0	4.8	4.2	3.1	7.4

表-3に示すように、盛土層厚は+12.5m位置を除いて概ね3m前後で一定しており、沈下量との相関性は低いものと考えられる。一方、平均換算N値が低い範囲では沈下量が大きくなる傾向にあるといえる。

(3) 変状箇所と平成29年9月台風18号出水被災箇所

重信川0k000～17k000で実施したMMS搭載型3Dレーザ計測結果より抽出した変状箇所は約330箇所である。変

状箇所の縦断分布を図-16に示す。

台風18号における堤防漏水箇所は右岸1k000～3k000、左岸1k000～5k800の範囲に集中している。この範囲では変状度(図-17のとおり、変状箇所および影響範囲を検討)も比較的高い。

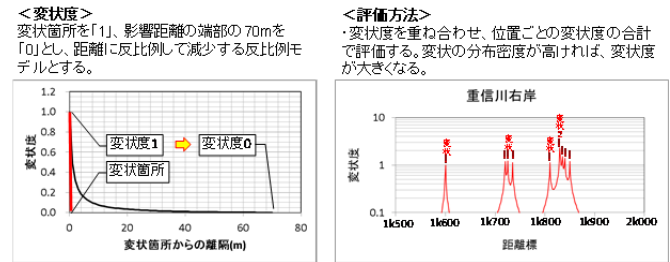


図-17 変状度と評価方法の検討

以上より、変状の発生と漏水など被災箇所との間には一定の相関があるものと考えられる。

(4) 3D計測結果(変状箇所の抽出)と堤防内部状態の関係

重信川左岸3k800の3D計測で観察した沈下範囲において、堤防内部はゆるみが発生しやすい土質性状(礫分含有、平均N値等)であることを確認した。また、3D計測で抽出した変状箇所は、台風18号出水による堤防漏水痕跡が多い区間との相関もあることを確認した。

4. おわりに

本稿の考察結果によると、堤防の微小変状を3Dレーザ計測結果より作成した段彩図により把握することで、被災箇所の予測につながる可能性があると考ええる。

平成30年度においては、抽出した変状箇所と、堤体構成材料、物理探査結果、堤体内異物等による分布傾向分析を行い、堤防弱体危険区間を抽出・特定する予定である。そして、破堤などの甚大な被害を未然に防止するための対策(監視、工事等)につなげることが必要と考える。

本稿で示した3Dレーザ計測による堤防変状区間の抽出手法などは、他河川にも応用可能であると考ええる。有用性のある事例となるよう調査検討を続け、地域の安全・安心に貢献できるような河川維持管理を目指していきたい。

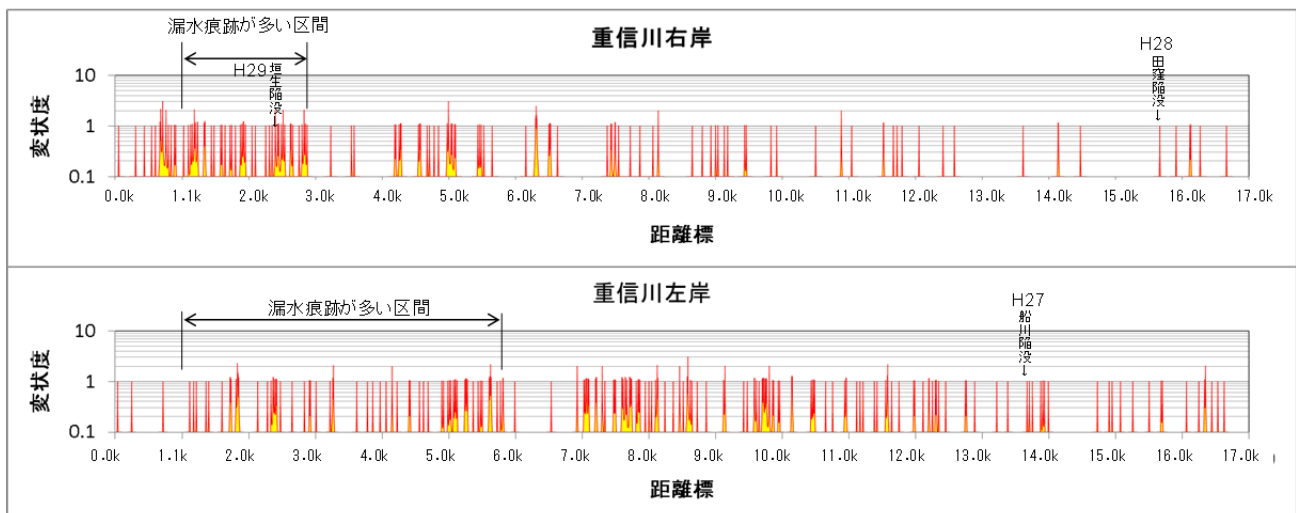


図-16 重信川 0k000～17k000 の変状分布縦断図(台風 18 号出水前の 3D レーザ計測による)