

河川堤防における被災要因・発生経緯から抽出した被災のシグナルと巡視・点検における留意点

笹岡信吾・福島雅紀・瀬崎智之

1. はじめに

堤防点検は「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領 (R5.3改訂)」¹⁾ (以下「点検・評価要領」という。)に基づき実施し、目視による状態把握を基本としている。従来行われてきた徒歩による堤防点検では、6~8人程度の点検者が堤防の天端や法面、法尻を分担して同時に点検するため、多大な労力と時間を要しており、効率化が求められてきた。さらに、法面は植生が繁茂しやすく、目視による変状発見が難しい。さらに、人的リソースが徐々に減少する昨今では豊富な経験を有する点検者が不足しつつあるため、点検に関するノウハウを継承しつつ、点検時の着眼点や見方を工夫する取り組みが一層求められている。

一方、河川巡視においても少ない職員または巡視員が多くの時間と労力を費やし、目視確認を実施している。また、河岸等の立入りが困難な箇所も多く、巡視員の安全確保が課題となっている。

上記の堤防点検、河川巡視における課題に対し、水管理・国土保全局河川環境課河川保全企画室では、個人の経験・スキルと労力に頼った「人」による管理から、「DXを推進」した管理に大きく転換し対応していく「スマート・リバー・プロジェクト」²⁾を推進している。試みの一環として、UAVによる画像取得とレーザ計測等による高精細かつ高密度な3次元点群データ (以下「点群データ」という。)を組合せ、画像解析やAIによる変状等の自動抽出の試行が始まっている (例えば³⁾)。これら新技術の活用により、河川管理の効率化が進んでいくと考えられるが、活用が進むにつれ弊害が発生する場合も考えられる。

例えば戸村ら⁴⁾は、AIを用いた堤防変状の自動検出技術の開発を実施し、変状の自動検出に成功している。今後の画像や点群データの計測精度向上に伴い、変状検知精度は一層の向上が見込まれ、従来捉えにくかった変状が容易に抽出できる

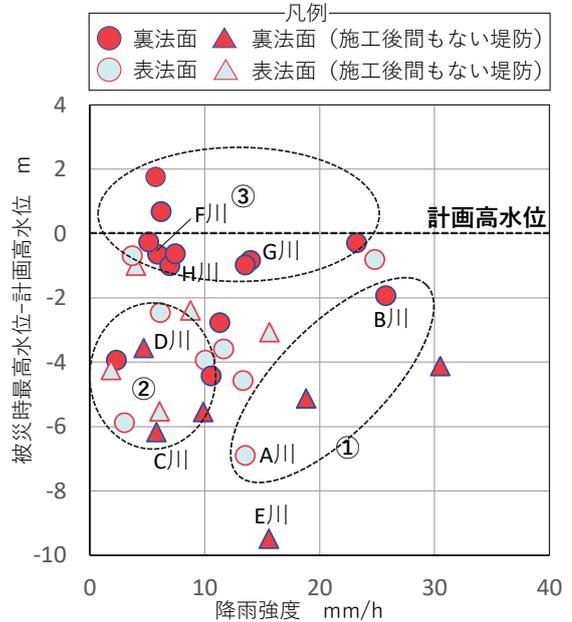


図-1 降雨強度と河川水位、変状発生箇所の関係

ようになる可能性がある。一方、記録に値しないような軽微な変状が、過剰に抽出される可能性もあるため、画像や点群データを用いた堤防点検における変状抽出の閾値決めや手法の検討、評価基準の設定が課題となる。

以上を踏まえ本報では、堤防欠損等、堤防機能に重大な影響を及ぼす被災 (以下「被災」という。)箇所で見出された複数の変状から、変状と被災要因との関連性を整理し、被災に繋がる複数の変状の組合せ (以下「被災のシグナルとして活用できる変状」という。)を抽出し、上記課題の解決に向けた検討を進めるとともに、巡視・点検時の留意点や変状の見方(手法)を提案することにより、効率的な巡視・点検作業の実施につなげることを目的としている。

2. 被災のシグナルとして活用できる変状

1) 堤防欠損被災事例の整理

2009年から2021年に発生した堤防欠損 (法崩れ等)の被災事例について、筆者らが直接現地確

認・調査等を実施した事例が32事例あった。被災発生箇所、発生時期等を整理したところ、32事例のうち18事例で川表、16事例で川裏の被災があった（うち2事例は川裏川表両方で被災）。なお、全体のうち12事例が築堤や堤防改修等の施工後1年以内の被災であった。

2) 被災のシグナルとして活用できる変状の抽出

次に被災発生時の降雨強度と被災時最高水位を整理したところ、上記被災事例の中には明らかに降雨の影響を強く受けて被災した事例が見受けられた。そこで、まず横軸に降雨強度、縦軸に被災時最高水位と計画高水位の差をとった散布図(図-1)を作成し、各被災事例のプロットされる位置から被災の主要因を推定した。図-1より、①で示したグループは降雨による侵食・浸透を要因とした被災、②は施工後間もない期間に被災した事例が多いと推定し、降雨や河川水以外の要因による被災、③は河川水による浸透を要因とした被災であったと考えた。次に、このように被災の主要因が異なると考えられる①～③の各グループの中から被災のシグナルとして活用出来る変状が整理できるか検討した。検討対象とした被災事例はグループ①～③の中で、特に詳細に調査が行われているA～H川より選定した(表-1)。抽出したA～H川においては、詳細調査により被災の主たる要因が大別したグループと合致していることを確認している。

①のグループに含まれるA川及びB川の被災例では、いずれも法崩れが発生したが、被災時の河川水位は計画高水位を大きく下回り、短期間の豪雨で被災したと考えられた。両事例で確認された主な変状(図-2)は以下の通りであった。

- ・被災箇所周辺の堤防天端高が上下流区間で相対的に低く、天端の雨水排水が集中しやすい箇所であった。
- ・天端法肩部の縦断亀裂や法肩・法面上部の侵食(ガリ)が多数生じていた。(a)
- ・天端道路が供用されており歩車分離ブロックが設置されていた。天端排水はブロックの排水孔を通じて被災した法面と反対の法面に排水される構造であったが、排水孔が目詰まりを起こして排水不良が生じていた。(b、c)
- ・供用されていた天端道路の度重なるオーバーレイ等により法肩部の寺勾配化が進んでいた。

表-1 検討対象とした被災事例

グループ	河川名	箇所	被災形態
①	A川	表法面	主に降雨に起因する法崩れ
①	B川	裏法面	主に降雨に起因する法崩れ
②	C川	裏法面	施工後間もない堤防の表層法崩れ
②	D川	裏法面	施工後間もない堤防の表層法崩れ
②	E川	表・裏法面	施工後間もない堤防の表層法崩れ
③	F川	裏法面	主に河川水の浸透に起因する法崩れ
③	G川	裏法面	主に河川水の浸透に起因する法崩れ
③	H川	裏法面	主に河川水の浸透に起因する法崩れ



(a) 亀裂・法肩侵食 (A川)

(b) 排水不良 (A川)



(c)排水孔の目詰まり (A川)

図-2 A川及びB川で発見された主な変状

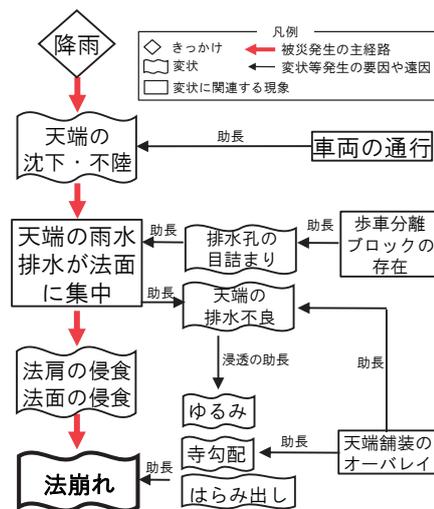


図-3 降雨による法崩れの発生経緯(推定)

これら事例は、天端の不陸や沈下箇所に降雨の排水が法面に集中し、法崩れに至ったものと推察される。そのほか、天端排水の阻害や法面の寺勾配化なども法崩れに至る一要因であったと考えら

れる。これらを踏まえ、被災調査で見られた変状から被災発生までの事象の連鎖を図-3のように整理した。なお、図-3のフローはあくまでも被災調査で見られた変状から推察した被災発生に至る経緯であり、以降の事例も同様である。

次にC川、D川、E川をグループ②に整理した。図-1を見ると、出水時水位は他の事例と比較して低く降雨強度もそれほど強くない傾向が見られた。

水位の上昇が見られない点ではグループ①の事例と似ており、降雨の影響が主要因であると考えられるが、降雨強度もそれほど強いわけではない。他の要因を調べたところ、これらの事例に共通しているのは施工後間もない期間内に被災が発生しているという点である。以上より、グループ②の被災を「施工後間もない堤防の表層法崩れ」と定義した。グループ②の特徴は被災調査結果から以下のようなものが見られた。主な変状を図-4及び以下に示す。

- ・張芝のズレや目地の開き（法面の亀裂）、法面の不陸、芝の活着不良（植生異常）が見られた。(a)、(b)
- ・堤体内の含水率が高く、覆土と堤体の境界等で法崩れが発生していた。
- ・本事例では、天端の形状（縦断的に低い箇所がある）や坂路の構造に起因し、天端排水が法面に集中しやすい状況にあった。天端排水や降雨が法面に浸透し、表層法崩れに至ったと考えられる。

上記を基に被災発生経緯の推定を図-5に示す。

次にF川、G川、H川では法尻の漏水や噴砂等が発生しており、いずれもグループ③に分類した。被災時水位は計画高水位を上回るか同程度で、降雨強度は比較的弱い。そのためグループ③の被災を「主に河川水に起因する浸透による法崩れ」が主要因であったと推定した。

発見された主な変状を図-6及び以下に示す。

- ・法崩れ箇所の法尻や堤内地では漏水や噴砂、法尻や法面の陥没が発見された。(a)
- ・法尻付近では水たまりや泥濘化、湿性植物の繁茂（排水不良）が確認された。(b)

本事例では主に河川水が堤体や基礎地盤に浸透することで堤体土の飽和度が上昇し、堤体強度が低下したことや、噴砂を伴うものについては堤防や基礎地盤に河川水が浸透することにより、土中



(a) 法肩の亀裂 (b) 植生異常

図-4 改修後間もない堤防で見られた変状

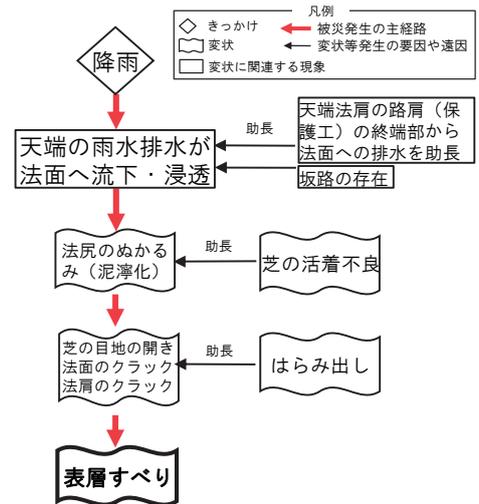


図-5 施工後間もない堤防の表層法崩れ発生経緯（推定）



(a) 噴砂 (b) 法尻の水たまり・泥濘化

図-6 F川、G川及びH川で発見された変状（一例）

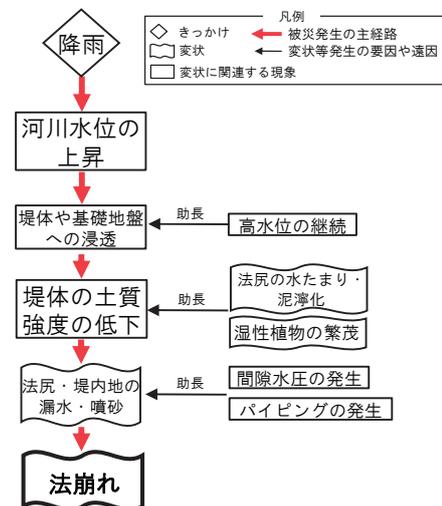


図-7 河川水の浸透による法崩れの発生経緯（推定）

の間隙水圧が上昇し、噴砂によって砂の抜け出しが生じ、法崩れを助長したと推察される。これらを基に推定した被災発生経緯を図-7に示す。

3) 適用性の確認

次に上記の整理手法の適用性を確認するため、被災箇所周辺の点検結果において変状履歴があったかをRiMaDIS（河川維持管理データベース）に登録されている被災事例について確認した。今回の検証では、2009年から2021年の近年の事例に着目し、堤防構造を同一とする区間における変状の発生有無を検証した。その結果、対象とした32事例のうち7事例に事前に変状が見られていた。

3. 新たな点検手法の提案

前章で示した被災形態から、「被災のシグナルとして活用できる変状」を抽出し、点検項目A（天端や法肩等植生の影響を受けにくく比較的点検し易いと考えられる箇所における変状）、点検項目B（法面中腹以下で植生の影響を受け易く比較的点検が難しいと考えられる変状）として整理した。巡視・点検の精度向上を目的として、点検項目Aにおいて変状を発見した場合に、点検項目Bに該当する変状が発生している可能性があるかと推察し、詳細な点検を実施する点検手法を提案する（図-8）。

4. おわりに

近年、新技術を活用した堤防点検の試行等、河川管理施設の維持管理への活用が進んでいる。将来的に新技術を活用した堤防点検が主流となっていくものと考えられる。しかし、新技術を活用することで効率化に直結するわけではなく、新技術活用による新たな課題が発生することも念頭に検討を進めていく必要がある。そのため、新技術の

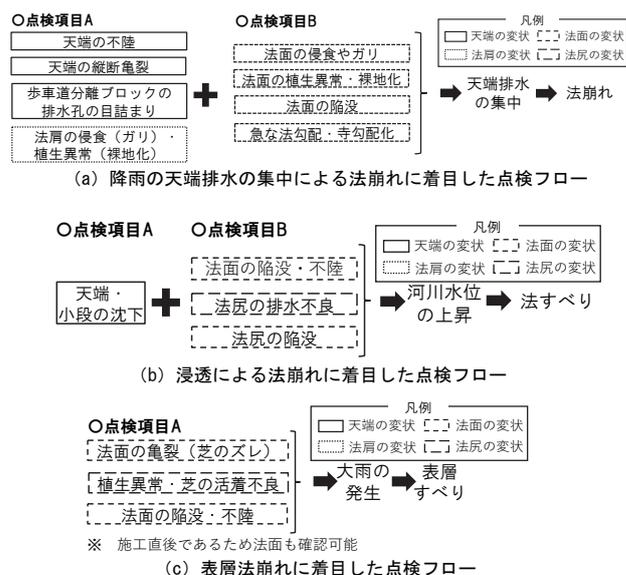


図-8 被災のシグナルとして活用できる変状に着目した点検フローの例

活用と並行して、被災事例の詳細調査等から被災メカニズムを踏まえた変状の抽出について検討を行っていくことで、さらに効率的な河川管理施設の維持管理へつなげていけるものとする。そのためには、引き続き被災のシグナルとなる変状について検討事例を増やし、巡視・点検における留意点としてさらに整理を進めることが重要である。

参考文献

- 1) 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及び河道の点検・評価要領、2023.3.
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課河川保全企画室：河川管理をDXで変える～スマート・リバー・プロジェクト～、河川.2022.12.
- 3) 森本洋一、瀬崎智之、福島雅紀、大坪摩耶：河川管理における河川計測技術の適用に関する検討、河川技術論文集、第26巻、pp.131～136、2020.6.
- 4) 戸村健太郎、笹岡信吾、中村明彦、篠原光礎、堀田一弘、早川雅人、名尾耕司、河野文俊：三次元点群データとAIを活用した河川堤防の効率的な変状抽出に関する検討、河川技術論文集、第27巻、pp.199～204、2021.6.

笹岡信吾



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室
研究官
SASAOKA Shingo

福島雅紀



国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所長、博士
(工学)
Dr. FUKUSHIMA Masaki

瀬崎智之



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部 河川研究室
室長
SEZAKI Tomoyuki