

3次元ビューアを用いた堤防点検の効率的な評価手法の提案

中央復建コンサルタンツ(株) ○豊東 翼
中央復建コンサルタンツ(株) 崎山 賢人
(公財)河川財団 宝藤 勝彦
中央復建コンサルタンツ(株) 藤崎 忍
中央復建コンサルタンツ(株) 吉田 和也

論文要旨

河川堤防の点検は、変状について堤防機能の状態や進行性を踏まえ、点検者が評価する「一次評価」と、詳細点検の実施や専門家の助言の上で河川事務所が再評価する「二次評価」が行われている。しかし、二次評価は人的リソースの減少等により全変状は再評価できていない。そこで、詳細に評価すべき変状を効率的に精度良く抽出できる統一的な「評価基準の設定」と「既存の3次元ビューアを活用した評価手法」を導入し、その有効性を確認した。

キーワード：河川管理施設、評価手法、3次元ビューア、ALB, RiMaDIS

まえがき

河川堤防は、国土交通大臣管理河川区間において年1回以上の点検・評価が行われている。2016年度以降、「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領」¹⁾(以降、「点検・評価要領」とする。)に基づき、点検者による一次評価、河川事務所による二次評価(及び総合的な評価)が実施され、点検結果が国土交通省HPで公表されている。

一次評価では、点検者が目視点検で発見した「変状の状態」に対し、堤防機能低下の状態や変状の進行性を評価している。二次評価では、一次評価結果及び一次評価において判断が難しかった変状に対し、河川事務所の関係部署が参加する横断的連絡調整会議等において、変状箇所ごとの評価を組織として再評価している(図-1)。また、目視で確認できない変状や発生要因が不明な変状については、二次評価では、既往資料等を踏まえ、必要に応じて詳細点検の実施もしくは学識経験者や専門家等の助言を受けた上で、再評価を行っている。

1. 目的

長大な河川堤防の点検を目視で実施するには、多くの人員と時間を要し、点検者のノウハウの継承が課題である。そこで、点検の効率性及び精度の向上を図るため、UAV等の新技術の活用した河川管理の取り組みが行われつつある。

木本ら²⁾(2015)は、UAVで取得した河川堤防の画像によるSfMを用いた調査を実施し、調査可能範囲・撮影方法・計測精度・調査時間を把握し、今後の運用に向けた適用性と課題を整理している。戸村ら³⁾(2021)は、点群データを活用したAIによる堤防変状の自動検出を検討し、量的に変状箇所として評価できる可能性を示している。

一方で、河川事務所が行う二次評価では、人的リソースの減少等により、全変状を再評価できていない。そのため、一次評価で得られた変状のうち、評価の悪かった変状を抽出し、経験則等から再評価を行っている。しかし、一次評価は「変状の状態」に対する評価であり、変状が発生した場所等の条件を踏まえた評価となっていない。よって、堤防機能に支障が生じる可能性のある変状を見逃す可能性がある。

これに対し、田島ら⁴⁾(2019)は、対象河川において、河川堤防の穴掘り、掘り起こし行動をとる動物の形態や形状、掘削時期等を整理することで、経験則に頼らない評価指標を提案している。しかし、1つの変状種別に着目したものであり、実際には河川では、多様な変状が発生している。

そこで、一次評価の「変状の状態」に対する評価に、変状が発生した場所等の条件を加えて、詳細に評価すべき変状を膨大な点検結果から効率的に精度良く抽出できる統一的な「評価基準の設定」と「既存3次元ビューアを活用した評価手法」を河川事務所に提案・導入し、その有効性を確認した。

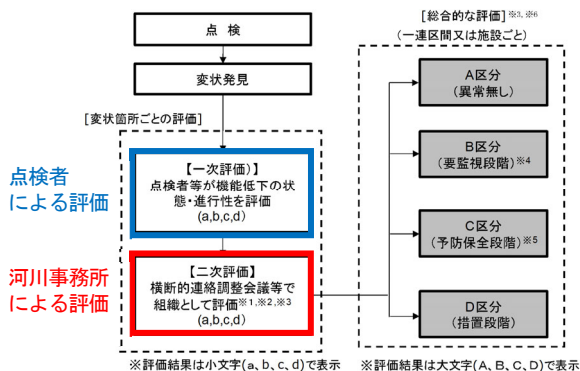


図-1 評価の手順(一部加筆)¹⁾

2. 堤防点検・評価の基本的な流れ

国土交通大臣管理河川区間では、2013年度より河川維持管理データベース(RiMaDIS)が試行運用されている。RiMaDISは「ウェブシステム」「タブレット」「クラウドサーバ」で構成されるシステムの総称であり、国土交通省の職員を始め、各関係者がモバイル通信により管理行為(河川巡視、各種点検、維持管理対策)、河川カルテ、状況把握を迅速に伝達・情報共有できるデータベースである(図-2)。

一次評価を実施する点検者は、主にタブレットを用いてクラウドサーバに点検結果を登録する。登録の際には、変状種別、変状規模、評価区分及び写真等を同時に登録する⁵⁾(表-1)。なお、変状評価は、「変状の状態」に対して4段階の評価区分を用いて評価を行う(表-2、表-3)。

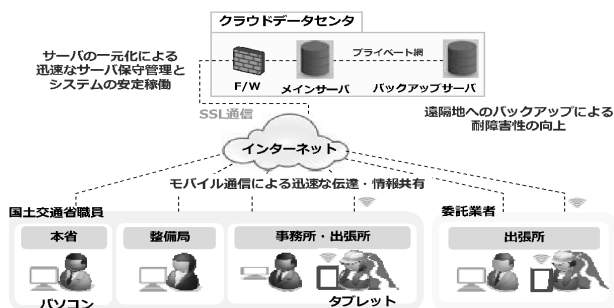


図-2 システム構成 (RiMaDIS ver3. 0) ⁵⁾

表-1 管理行為機能を取り扱う主な情報とデータ形式⁵⁾

取扱う情報	データ形式	情報例
名称	文字(任意)	沈下、樹木の繁茂等
河川名	文字(マスタ)	利根川、淀川等
左右岸	文字(マスタ)	右岸、左岸、中岸
距離標	数値	23.5k+234m等
座標	数値	緯度・経度
地先名	文字(任意)	〇〇町△△地先等
出張所名	文字(マスタ)	〇〇河川事務所等
点検者名	文字(任意)	河川 太郎等
記録日	日付	2019年4月2日13:59等
変状種別	文字(マスタ)	土堤-天端-沈下等
変状のステータス	フラグ	重要情報、要監視、要対策等
変状評価	文字(マスタ)	a~d
変状規模	数値	長さ(L)、幅(B)、深さ(H)
コメント	文字(任意)	
写真	JPEG	
変状番号	数値(自動採番)	535201等(現状6桁)

一次評価の確定後、河川事務所の担当職員らは、RiMaDISに登録された評価の悪い変状(c・d評価)から堤防機能に支障が生じると判断した変状を抽出する。その後、抽出した変状を対象として発生要因等の分析を行い、河川事務所

の関係部署が参加する横断的連絡調整会議等において、変状箇所ごとの評価を組織として再評価する。

表-2 変状箇所ごとの点検結果評価区分¹⁾

区分	状態	変状確認	機能支障
a	異常なし	・ 目視できる変状がない、または目視できる軽微な変状が確認されるが、堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていない健全な状態	なし
b	要監視段階	・ 堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていないが、進行する可能性のある変状が確認され、経過を監視する必要がある状態(軽微な補修を必要とする場合を含む)	あり
c	予防保全段階	・ 堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていないが、進行性があり予防保全の観点から、対策を実施することが望ましい状態 ・ 詳細点検(調査を含む)によって、堤防等河川管理施設の機能低下状態を再評価する必要がある状態	あり
d	措置段階	・ 堤防等河川管理施設の機能に支障が生じており、補修又は更新等の対策が必要な状態 ・ 詳細点検(調査を含む)によって機能に支障が生じていると判断され、対策が必要な状態	あり

表-3 一次評価の事例(沈下・目地等の段差 X川)

区分	現地写真(変状の状態)
a	異常なし 変状が発生していない状態
b	要監視段階 段差又は凹みが発生している状態 
c	予防保全段階 沈下が進行し、大きな段差が生じている状態 
d	措置段階 空洞化が進行し、背面が確認できる段差が生じている状態 

3. 堤防点検・評価の課題(2018年度)

2018年度のX川河川事務所の担当職員は、計436件の堤防点検結果から、44件の変状の抽出を行っている。抽出した44件の変状は、一次評価でc・d評価の変状に対し、「河川特性に応じた点数付け」を行った、c評価の上位39件及びd評価5件である。その後、計44件の変状に対して、発生要因等の分析を行い、横断的連絡調整会議で再評価を実施している。

「河川特性に応じた点数付け」は、「河川管理施設における診断・補修マニュアル(案)」⁶⁾の評価配点(表-4)を参考に、河川事務所が実情に応じ作成したもので、過去の被災履歴、変状周辺の河川構造物の有無及び劣化進行度等の

様々な要素から点数付けを行っている(図-3)。しかし、「河川特性に応じた点数付け」の指標を用いた再評価は、b評価や暫定堤防区間に発生した変状等は対象外となっている。

表-4 河川特性に応じた配点表(案)⁶⁾

分類	評価項目	条件	評価点	備考
健全度 (配点50点)	①健全度ランク評価	D	50	
		C	10	
変状の進行度 (配点10点)	②変状の進行度	前回から進行している	10	
		変状の進行はない	0	
護岸重要度 (配点25点)	③堤防形状	掘込み河道	10	
		掘込み河道	3	
		完全掘込	0	
	④護岸設置部位	堤防護岸	10	
		高水護岸	5	
	⑤河道状況	低水護岸(高水敷幅確保不足)	3	
		低水護岸(高水敷幅確保区間)	0	
社会要因 (配点10点)	⑥人口・資産	特定区間	10	
		特定区間に準じる区間	5	
		その他	0	
施設の特性 (配点5点)	⑦施設の特性	考慮すべき事項あり	5	
		考慮すべき事項なし	0	
合計(100点)				

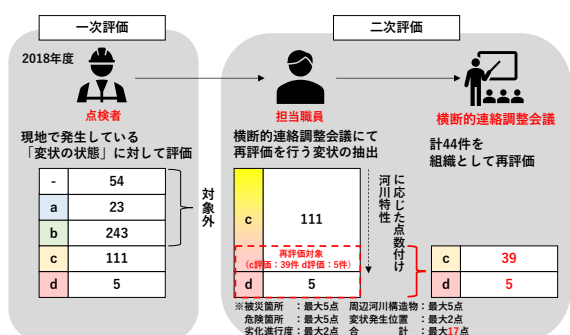


図-3 堤防点検・評価の基本的な流れ(2018年度 X川)

図-4に示す変状は、堤体への「亀裂」である。一次評価では現場で発生している亀裂に対して、「変状の状態」からb評価と判定している。しかし、当区間は暫定堤防区間であり、重要水防箇所(堤体漏水)に位置しているため、この変状は、堤防の基本機能に支障が生じる可能性がある変状である。図-3の堤防点検・評価の流れでは、堤防の整備状況や耐浸透機能等が評価できておらず、b評価である当変状は再評価の対象外となっていることから、二次評価の方法に課題が残る。

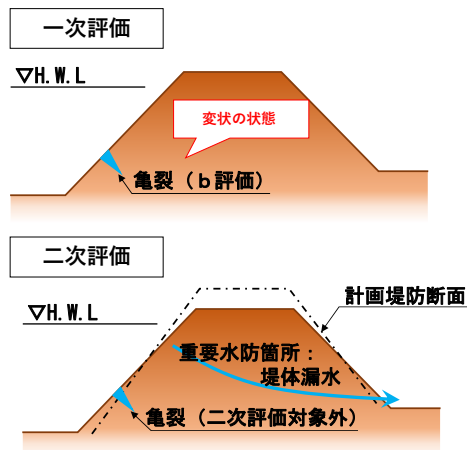


図-4 暫定堤防に発生している変状例(2018年度 X川)

4. 3次元ビューアを用いた評価手法

膨大な点検結果データから、効率的に精度良く再評価対象を抽出できる統一的な「評価基準の設定」と「既存の3次元ビューアを活用した評価手法」をX川河川事務所へ提案した。

(1) 「評価基準の設定」の基本的な考え方

一次評価では、「変状の状態」による機能低下への評価を行っていることから、変状が発生した場所等の条件は加味されていない。そのため、計画堤防断面に侵入している亀裂と、第1種側帯等で発生している亀裂が同程度の変状であった場合、亀裂の評価は同じ評価となる(図-5)。

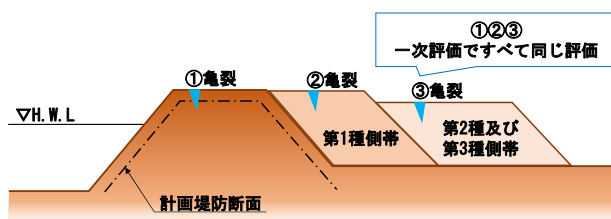


図-5 築堤区間に発生している変状例

そこで、「発生位置と堤防形状の関係性」を評価基準として加えることを提案した。

定期横断面は、従来200m毎単位で作成されていたが、航空レーザ測深データ(ALBデータ)の導入に伴い、任意の位置で河川横断面図が作成できるようになった。河川横断面図に点検者が計測した変状規模(長さ(L)・幅(B)・深さ(H))を反映させることで、変状が計画堤防断面より深く侵入しているのかを確認可能となった(図-6)。

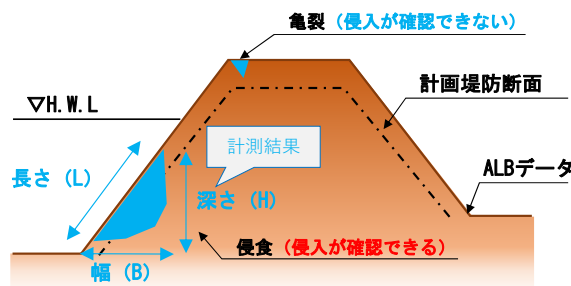


図-6 発生位置と堤防形状の関係性を把握する評価基準

X川は、ほとんどの区間が築堤区間となっており、そのうち、一部区間に暫定堤防が存在している。一次評価での「変状の状態」による機能低下への評価に加え、堤防に侵入した変状が、計画堤防断面等の維持に支障を及ぼしているか否かを評価基準として設定した(図-7)。

暫定堤防区間で変状が発生している場合や計画堤防断面を有する築堤区間で計画堤防断面等へ変状が侵入している場合には、一次評価から評価のランクアップ(例:b評価→c)

評価)を検討し、掘込区間等の計画堤防断面よりも大きな断面の区間に変状が発生している場合は、一次評価から評価のランクダウン(例:c評価→b評価)を検討することとした。

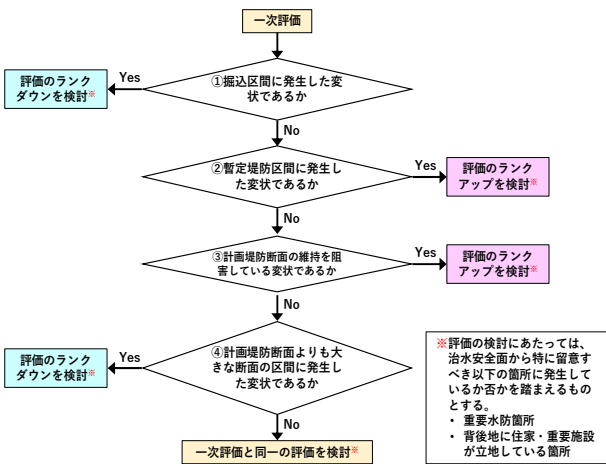


図-7 X川における基本的な評価基準

(2) 既存の3次元ビューアを活用した評価手法

設定した評価基準を用いるための手法として、ALB データを容易に扱える既存の3次元ビューアを活用し、「発生位置と堤防形状の関係性」が分かる機能等を追加した。独自のシステムを開発した場合、汎用性に欠け、広く普及する可能性が低いことから、既存のシステムを拡張する形式で作成した。

なお、当評価手法は、担当職員が横断的連絡調整会議にて再評価の対象とする変状の抽出等を行うためのシステムであり、機械的に調査結果の分析を行うものではない。あくまで、二次評価として、膨大な点検結果データから再評価対象とする変状を抽出する上で、効率性の観点から作成したこと留意する必要がある。

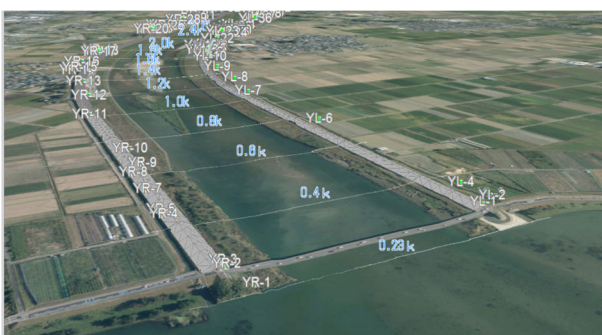


図-8 3次元ビューアのイメージ図(X川)

(3) 3次元ビューアの主要な機能とその内容

X川にて3次元ビューアを活用し「変状発生位置と堤防形状の関係性」が分かる2つの機能を追加した。

a) 変状発生位置と堤防形状の関係性の把握機能

前述のとおり、ALB データと変状情報に登録されている地点情報等を連携させ、発生位置で横断面図が作成できる機能を追加する。その他堤防形状として、計画堤防断面及び堤防の基本断面形状(図-9)を追加した。これにより、変状の位置・規模と計画堤防断面、堤防の基本断面形状等との関係性を迅速かつ高精度に把握できるようになった。

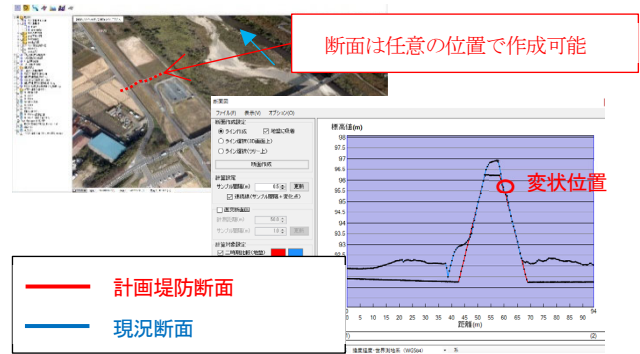


図-9 変状発生位置と堤防形状を把握する機能

b) 変状発生位置と堤防形状の関係性把握機能

ALB の過去データを搭載することで、堤防形状の二時期の比較ができるシステムを追加した。変状の発生位置で堤防形状の比較ができることで、河床洗掘、堤体沈下の傾向を容易につかむことができる。

これにより、精度良く、効率的に変状の発生要因の分析が可能となった。図-10に河床洗掘の事例を示す。水衝部等で変状が発生している場合、発生要因がいくつか想定されるが、当機能を用いて河床洗掘の状況を把握することができる。

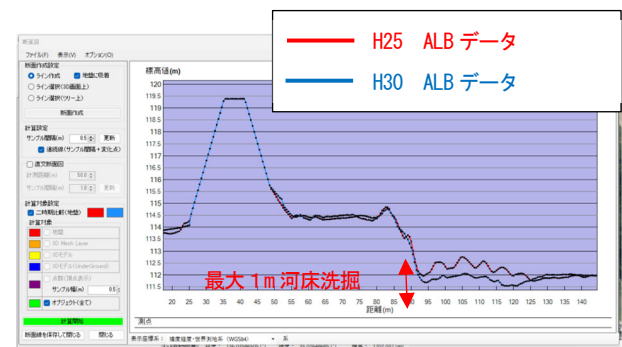


図-10 測量データの二時期比較機能(河床洗掘の事例)

5. システムの有効性と今後の課題

(1) システムの有効性の確認(2019年度以降)

2019年度以降、X川にて3次元ビューアを用いた評価手法を導入することで、担当職員らが、一次評価で得られた全変状を対象とした抽出作業を行っている。その中で、3次元ビューア導入による有効性が確認できた事例を示す。

a) 現地情報の高精度化による再評価対象の抽出の事例

変状発生位置と堤防形状の関係性の把握機能により、再評価対象を抽出した事例を示す。

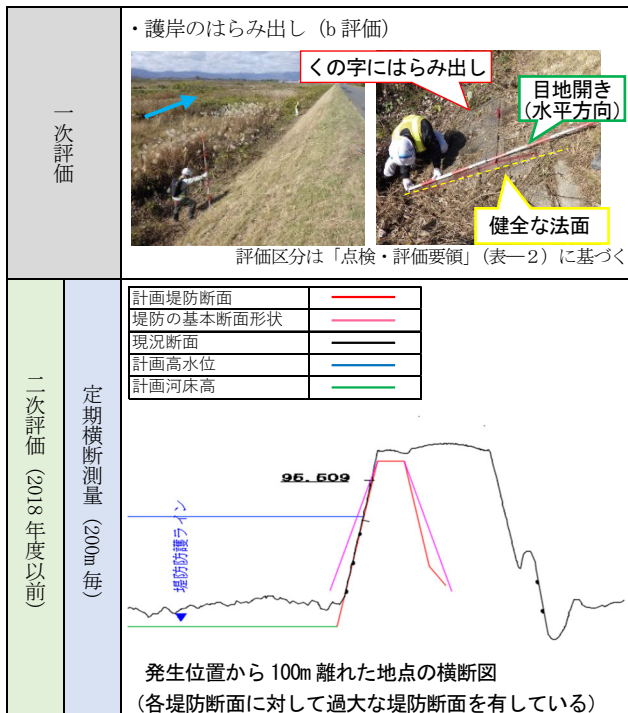
表一5に示す変状は、護岸への「はらみ出し」である。健全な法面に対して、くの字にはらみ出していることがわかる。当変状は一次評価でb評価であったため、「河川特性に応じた点数付け」から、2018年度以前は二次評価の対象外だった。

そこで、定期横断測量を用いて、変状発生位置と堤防形状の関係性を確認すると、発生位置から約100m離れた位置での横断面図では、計画堤防断面等と比較して、過大な堤防断面を有していることが確認できた。

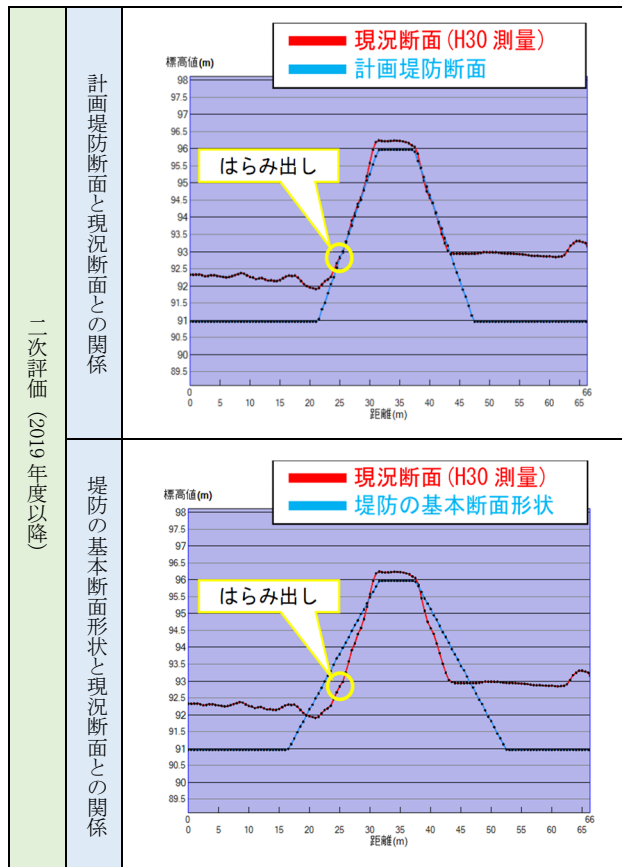
2019年度以降、3次元ビューアを導入し、ALBデータを用いて変状発生位置と堤防形状の関係性を把握した。はらみ出しが、堤防の基本断面形状を満たしていない区間で発生していることが確認できた(表一6)。そのため、発生要因等の分析を行うと、基礎地盤に非常に軟弱な粘性土層が分布していることから、堤体の圧密沈下(二時期比較による沈下量:約9cm/15年)が要因であると推定した。

沈下により目地に水平方向の開きが生じ、ブロックの一体性が低下し、圧密沈下や出水時の残留水圧による背面土の流動の影響を受けたと想定される。以上から、当変状は、すべり破壊の途中段階であり、護岸の安定性が低下していると判断し、c評価とした。

表一5 護岸のはらみ出しの再評価事例(2018年度以前)



表一6 護岸のはらみ出しの再評価事例(2019年度以降)



b) 変状位置の明確化による複数変状の一括評価の事例

ALBデータと変状情報に登録されている地点情報等を連携させ、3次元ビューアに変状位置を明確化することで、変状の密集度が確認できている。変状位置の明確化から点検結果を一体的に評価した事例を示す。

X川の橋梁付近を確認すると、下流側で計4件の変状が確認されており、橋梁の条件護岸への目地開き、クラック等の変状、拡幅盛土の堤防天端に亀裂等の変状が密集している(図一11、図一12)。

変状発生位置と堤防形状の関係性を把握したところ、堤防の基本断面形状を満たしていない区間で発生していることが確認された。また、発生要因等の分析を行うために、ALBデータの二時期比較機能を用いて、5年間で最大0.08mの沈下が発生していることを確認した。

さらに、別途、地質情報より、基礎地盤に非常に軟弱な粘性土層が分布していることが確認できたため、堤体及び橋梁部の拡幅盛土の圧密沈下が要因であると推定した。

横断的連絡調整会議において、計4件の変状は、同じ発生要因で発生している変状であることから、一体的な変状として評価を行い、c評価とすることを提案した。各変状は小さな変状であるが、3次元ビューア導入により、複数の変状を一体的な変状として適切な評価をすることができた。



図-11 三次元河川管内図 (X川) 橋梁付近の様子

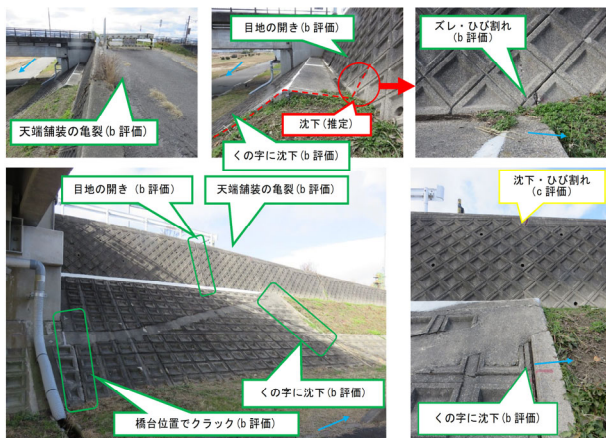


図-12 X川の橋梁付近の下流側条件護岸で発生している変状

(2) 今後の課題

前述のとおり、沈下要因の推定のための土質情報は、3次元ビューアに搭載されていないため、別途資料で再確認を行った。今後、多種多様な変状の発生要因を分析できる機能の追加が今後必要と考えられる。例として、治水地形分類図、被災履歴、土質横断図、河川環境情報図等が挙げられる。

また、国土交通大臣管理河川区間では、2020年に発行された「河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)」⁸⁾に則り、三次元河川管内図が作成されている。

X川では、先行的に今回作成した3次元ビューアを基に、三次元河川管内図の作成が進められている。独自システムではなく、汎用性の高い既存システムを活用したことで、他河川においても当評価手法を適用できる可能性が高いと考えられる。

6. まとめ

「変状の状態」による機能低下の評価に、変状が発生した場所等の条件を加えるために、ALBデータを容易に扱える既存の3次元ビューアに「発生位置と堤防形状の関係性」が分かる機能等を追加することで、2018年度以前、再評価対象でなかった変状の抽出が可能となった。

また、「評価基準の設定」と「既存の3次元ビューアを活用した評価手法」の導入により、効率的に精度良く、河川事

務所の担当職員らが、全ての変状を個別に確認することができるようになった。

今回河川事務所へ提案した「評価基準の設定」「既存の3次元ビューアを活用した評価手法」は、現在、各河川で作成されている三次元河川管内図でも適用可能な評価手法である。しかし、あくまで、二次評価を行う上での効率性、精度の観点から開発したことに留意する必要がある。

当システムは、経験則に頼らずに多種多様な変状を効率的に、精度を向上させて評価することができるため、人的リソースが不足することが予測される今後の河川管理の負担軽減に資すると考えられる。

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，令和5年3月。
- 2) 木本 啓介ら：UAVを用いた護岸の健全度評価，写真測量とリモートセンシング，日本写真測量学会，2015，54(6)，pp. 270-274。
- 3) 戸村 健太郎ら：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，土木学会，2018，24，pp. 251-256。
- 4) 田島 憲一ら：動物の巣穴・掘り起こしに関する種ごとの特徴と影響度を考慮した河川堤防の点検・評価手法，河川技術論文集，土木学会，2019，25，pp. 493-498。
- 5) 森永 泰司ら：RiMaDISの構築と運用及び今後の展開，河川技術論文集，土木学会，2020，26，pp. 551-556。
- 6) 全国河川管理課長会議 診断・補修WG：河川管理施設における診断・補修マニュアル(案)(参考資料：護岸編)，2013，pp. 19。
- 7) 国土交通省河川局治水課：河川堤防設計指針 最終改正，2007，pp. 3。
- 8) 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：河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)，令和2年2月。