

河川管理施設に着目した 2 時期のALB計測データによる河道管理検討

RIVER MANEGEMENT BY ALB SURVEY DATA FOR TWO PERIODS FOCUSED ON RIVER MANEGEMENT STRUCTURES

篠崎遼太¹・藤代政弘¹・山本一浩²

Ryota SHINOZAKI, Masahiro FUJISHIRO and Kazuhiro YAMAMOTO

¹八千代エンジニアリング株式会社 大阪支店河川・水工部 (〒540-0001 大阪市中央区城見1-4-70)

²八千代エンジニアリング株式会社 技術管理本部 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー)

近年、河道のALB計測や3次元管内図の整備等が実施され、河川維持管理分野におけるCIMの利用が推進されている。既往事例として、堤体の変状評価や河川CIMモデルの作成に関する研究は多くあるが、水面下を含めた河道や河川管理施設に着目した現場での活用事例は少ない。本研究では、河道管理に関するCIM活用事例として、既往の2次元図面やRiMaDIS (河川維持管理データベース) の変状記録を反映したCIMモデルを作成し、側方侵食に対する安全性評価 (護岸の必要性検討) や2時期のALB計測データによる洗堀箇所抽出、河床変動状況に着目した低水護岸基礎の安定検討を行った。また、検討地点の経年変化をRiMaDISで確認し、現地状況を踏まえた評価を実施し、予防保全型の維持管理手法を提案した。

Key Words: river management, CIM, Airborne Laser Bathymetry, riverbed variation, RiMaDIS

1. はじめに

平成30年4月に河川定期縦横断測量業務 実施要領・同解説¹⁾へ、令和2年3月には公共測量 作業規定の準則へ3次元点群測量に関する記載が追加され、全国的に河道の3次元点群データの取得が進められている。また、河川分野におけるCIM活用に向けたDX施策として、3次元管内図の整備が進められ²⁾、荒川下流事務所では令和3年6月に全国で初めて一般公開されている³⁾。

航空レーザ測深 (Airborne Laser Bathymetry) により取得される3次元点群データ (以下、ALB計測データとする) を用いる利点として、視認できない水部を含めた面的な地形状況を把握できることが挙げられる²⁾が、参考文献^{4), 5), 6), 7)}は堤体の評価や、CIMモデル作成、利用に関する研究であり、水面下を対象としていない。そこで著者らは、水面下を含む河道を対象とした河川維持管理における定量的な評価を行うことを目的とした。

本研究では、先進的に2時期のALB計測データが取得されている九頭竜川中上流域⁸⁾を対象に、2時期の差分モデルと低水護岸を反映したCIMモデルを用いた河道管理の検討事例を示す。なお、モデル作成は福井版CIMモデルの精神⁹⁾を踏まえて、省力化の工夫をし、検討対象は

河道の樹木繁茂や土砂堆積ではなく、河道内の河川管理施設とした。また、既往図面やRiMaDIS (河川維持管理データベース) の登録情報をCIMモデルに追加し¹⁰⁾、2時期のALB計測データから面的に侵食・洗堀状況を把握した上で、側方侵食に対する安全性評価 (護岸の必要性検討) や低水護岸基礎の安定検討を行った。

2. 河道管理検討用CIMモデルの作成

(1) 河川CIMモデルの構築

表-1にCIMモデル作成の諸条件を示す。河道モデルはCIM導入ガイドライン (案)¹¹⁾に示される地形 (現況) モデル、堤防 (計画) モデルに準じ、さらに河道管理検討のため、(2)に示す属性情報を付与した。

表-1 河川CIMモデル作成の諸条件

項目	内容
対象範囲	九頭竜川118.0k~31.2k (計測年: H28, R2)
計測点密度 (水域)	H28: 3 点/m ² , R2: 4 点/m ²
(陸域)	H28: 45 点/m ² , R2: 16 点/m ²
間引き格子幅	0.5m立方 (中央値を使用)
測地基準系	世界測地系2011/平面直角座標系VI系
使用ソフト	AutoCAD Civil 3D 2020 (Autodesk) TREND-POINT (福井コンピュータ (株))



図-1 距離標杭, 構造物位置, H.W.L.

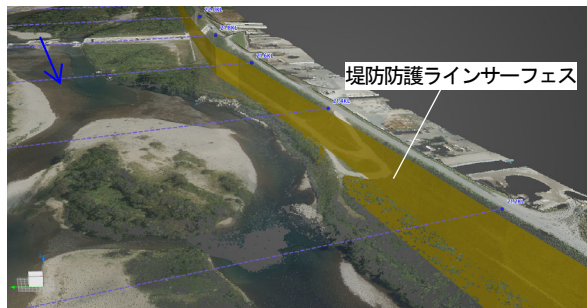


図-2 堤防防護ライン

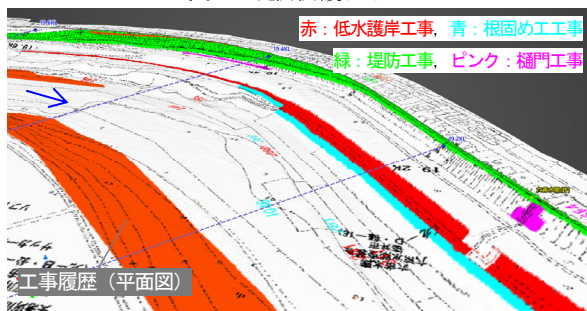


図-3 工事履歴 (平面図)

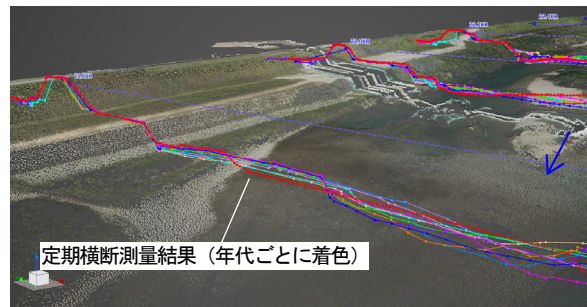


図-4 定期縦横断測量結果

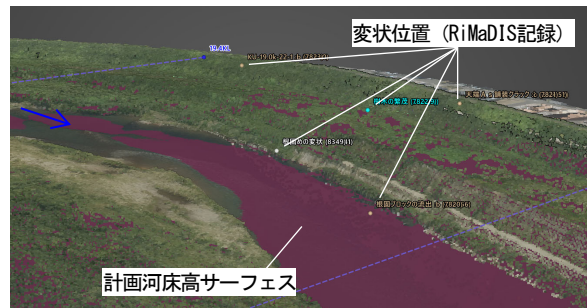


図-5 変状位置 (RiMaDIS記録), 計画河床高

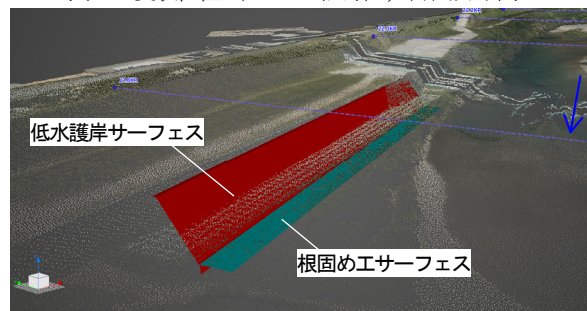


図-6 低水護岸 (サーフェスモデル)

(2) 属性情報の付与

基本的な河川の諸元としてa)をCIMモデルに反映し、さらに河道管理検討のため、b)~g)を追加した。以下に各種情報の利用方針やデータの作成方法、データ加工の工夫点を示す。

a) 距離標杭, 構造物位置, H.W.L.

距離標杭の測量結果および構造物台帳に示される平面座標値より、最近隣法よりALB計測データのの高さを与え、座標点を登録した。また、距離標位置でのH.W.L.の値から面的にサーフェスモデルを作成した(図-1)。

b) 堤防防護ライン

高水敷幅の不足区間を検証するため、管理基図に示される堤防防護ラインの平面座標値から鉛直方向のサーフェスを作成し、CIMモデルに反映した(図-2)。

c) 工事履歴 (平面図)

護岸や根固め工等は覆土等により視認できない場合があることから、既設護岸の設置範囲を把握するため、事務所で整理されている工事履歴の平面図を点群データから作成した地形サーフェスに反映した(図-3)。

d) 定期縦横断測量結果

ALB計測データ取得以前の河床変動状況を把握するため、既往の定期縦横断測量結果に対して、距離標杭の平

面位置から3次元的な座標を与え、ポリラインを作成し、距離標毎の河床の経年変化を把握した(図-4)。

e) 変状位置 (RiMaDIS記録)

RiMaDISに登録された変状にはタブレットのGPS機能により緯度経度が記録されるため、変状位置に距離標杭等と同様にALB計測データのの高さを付与し、座標点としてモデルへ追加した(図-5)。CIMモデルから変状の周辺地形やH.W.L.との位置関係などを把握し、さらにRiMaDISには時系列的に変状の状況写真が蓄積されているため、必要に応じて現地の周辺状況を確認した。

f) 計画河床高

計画河床高は工事実施基本計画施行時に用いられ、当時の低水護岸は基礎天端高を計画河床高-1mとして設計されている場合が多いため、CIMモデルに反映することで既設護岸基礎高の推定に用いた。H.W.L.と同様に距離標毎の値からサーフェスモデルを作成した(図-5)。

g) 低水護岸

後述する安定性照査を行う対象護岸について、2次元図面(平面図, 縦断図, 横断図)より3次元モデルを作成した。ただし、厚みのあるモデルとせず、護岸天端法肩から基礎天端および前面の根固めブロック下面のみを対象とし、モデル作成の省力化を図った(図-6)。

3. 1時期のALB計測データを用いた現況把握手法

近年、多くの一級河川でALBによる定期縦横断測量が実施され始めているため、3次元管内図の活用にもつながるよう1時期のALB計測データを用いたCIMモデルによる現況把握方法と河道管理における活用例を整理した。

(1) 洗堀・堆積箇所の把握

河川は上流へ向かって標高が高くなるため、点群データの高さ関係の把握によく利用される標高段彩図では標高の差異が読み取りにくい。これに対して、ALB計測では水面の標高が同時に得られていることから、測量時水位のサーフェスモデルを作成し、地形高との差分をコンター表示することで、**図-7**、**図-8**に示される水面比高図として相対的な洗堀・堆積箇所を把握した。



図-7 水面比高図 横断イメージ図

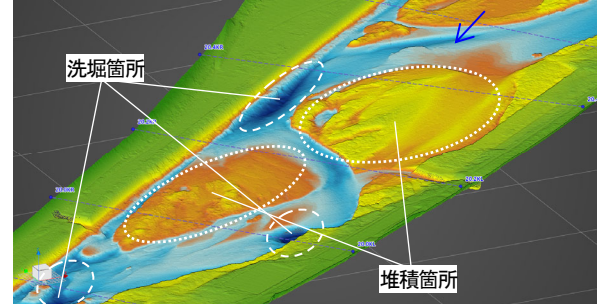


図-8 水面比高図

(2) 側方侵食に対する安全性照査

図-9のように、堤防護ラインと高水敷幅の関係から、連続的に側方侵食に対する安全性を評価でき、これまで確認できなかった測線間（定期縦横断測量は200m間隔）で局所的に弱部となりうる地点等も把握することができる。照査基準としての堤防護ラインの妥当性や護岸等の設置範囲などを確認した上で評価を行う必要がある。本検討の対象範囲では、高水敷幅不足区間には既に低水護岸が整備されており、新たな侵食対策（低水護岸整備）は不要であることを確認した。

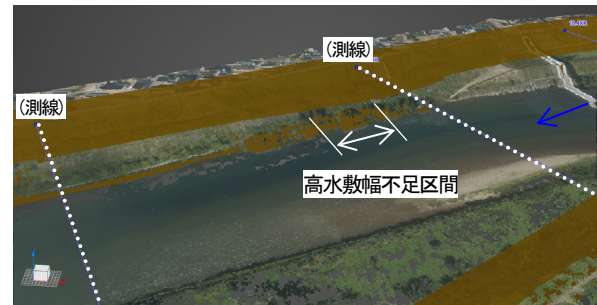


図-9 現況高水敷幅の照査

(3) 低水護岸基礎の根入れ概略照査

図-10のように、護岸設置範囲での現況河床高と基礎天端高の目安である計画河床高-1m地点の高さ関係から、河床高の方が小さい（計画河床高-1mのサーフェスが上に表示される）範囲を確認することで概略的に既設護岸の根入れ不足範囲を確認した。ただし、護岸の設置年（計画河床高を用いた設計かどうか）や近年の河床変動状況を踏まえて、評価を行う必要がある。

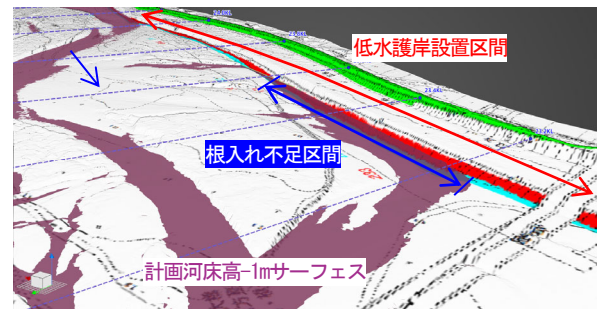


図-10 護岸設置範囲における計画河床高と現況河床高の比較

4. 2時期のALB計測データを用いた低水護岸の予

防保全型維持管理

図-11に本検討フローを示す。九頭竜川中上流域では2時期のALB計測データが取得され、河床変動状況を面的に把握することが可能であるため、河床洗堀や河岸侵食の進行性に着目して、洗堀箇所に設置される低水護岸を抽出・モデル化し、低水護岸基礎の根入れ深さの照査を行った。また、周辺の現地状況や経年変化を踏まえ、対象護岸の評価を行い、CIMモデルやRiMaDISを活用した予防保全型維持管理手法を提案する。

(1) 検討対象護岸の抽出

- ・河床変動状況の把握
- ・低水護岸の設置範囲の確認

*河床が洗堀傾向にある地点の低水護岸を抽出、モデル化

(2) 低水護岸の力学的照査

- ・基礎天端高さと護岸前面の現況河床高を比較（基礎高 \geq 河床高の場合、護岸の安定性を要確認）

高水敷幅やRiMaDIS記録（現地状況）を踏まえ、予防保全対策や今後のモニタリングを検討

図-11 2時期のALB計測データを用いた低水護岸の予防保全型維持管理 検討フロー

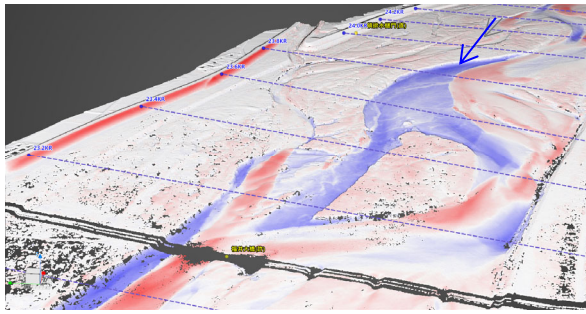


図-12 河床変動状況のコンター表示

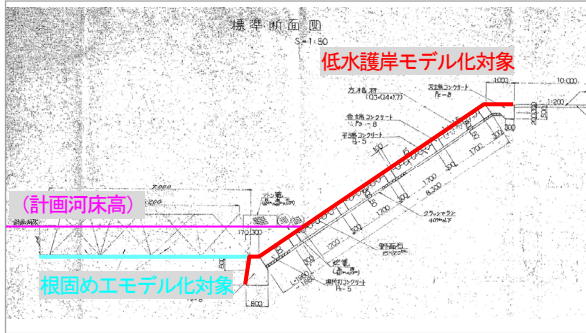


図-13 照査対象護岸のモデル化

(1) 河床変動状況を踏まえた照査対象護岸の抽出

図-12に示されるように、令和2年に取得されたALB計測データを基準に、平成28年のデータとの標高差分コンター（洗堀(-)：青、堆積(+):赤）で着色した3次元点群データを作成し、九頭竜川中上流部全体の河床変動状況を面的に把握した。また、前述の高水敷幅の検証と合わせて確認し、高水敷幅の不足区間における平成28年から令和2年にかけての河岸侵食の進行性を確認した。

作成した河床変動状況のコンターから、検討範囲での河床の変動量を把握し、相対的に顕著な洗堀が確認される箇所として1.5m以上洗堀している地点を抽出した。これに加えて、モデルに反映した工事履歴（平面図）から既設護岸の設置範囲を確認し、洗堀箇所に設置されている低水護岸2箇所を基礎根入れ深さの照査対象護岸として抽出した。

(2) 低水護岸基礎の安定性照査

(1)で抽出した2箇所の低水護岸について、それぞれ照査対象護岸①、②とし、既往の二次元図面（平面線形、縦断高さ、標準断面図）から座標値を有する3次元モデルを作成し、CIMモデルへ反映した。本検討では、護岸前面の河床高と低水護岸の基礎天端高の高さ関係から、前者の方が低い場合に護岸の安定性に懸念があるものとして評価を行うため、必要最低限の検討モデルとして、図-13に示すように低水護岸の天端法肩から基礎天端および護岸基礎前面の根固めブロック下面のみをサーフェスモデルとして作成した。

図-14、図-15、図-16、図-17に照査対象護岸①、②の照査結果として、護岸周辺のCIMのイメージおよび横断面図を示す。なお、横断面図は護岸前面で最も河床が低く、

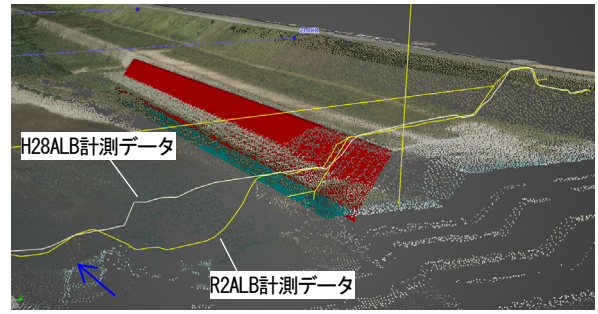


図-14 照査対象護岸① CIMイメージ

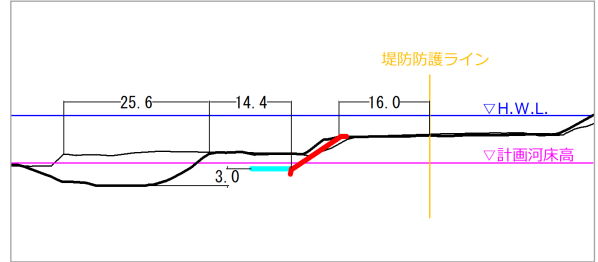


図-15 照査対象護岸① CIMモデルから抽出した横断面図

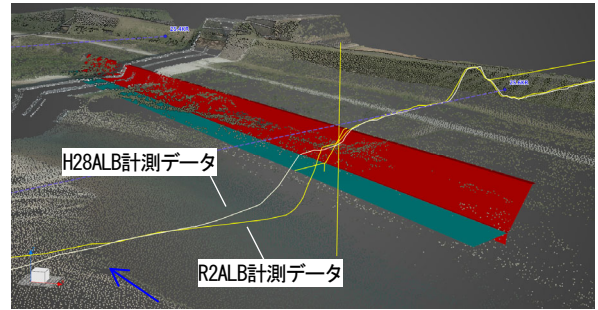


図-16 検討対象護岸② CIMイメージ

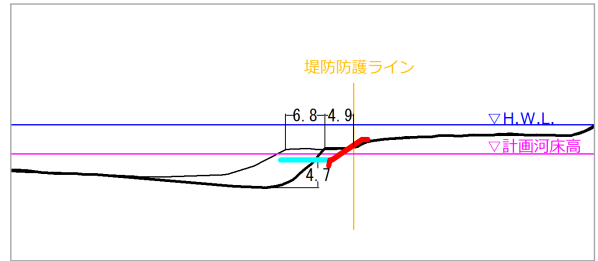


図-17 検討対象護岸② CIMモデルから抽出した横断面図

深掘れしている位置でCIMモデルから横断面を作成し、2時期の河床高、H.W.L.、計画河床高、堤防防護ライン、低水護岸、根固めブロックモデルを抽出した。

照査対象護岸①について、護岸前面の河床高が基礎天端高より約3.0m低く、さらに平成28年から令和2年にかけて側方侵食が約25m進行し、護岸基礎部まで約14mであることから、同ペースで侵食が進行した場合、護岸の安定性に支障が生じる恐れがある。なお、護岸から堤防防護ラインまでの距離は約16m確保されている。

照査対象護岸②について、護岸前面の河床高が基礎天端高より約4.7m小さく、平成28年から令和2年にかけて、約6.8mの側方侵食が生じている。令和2年の河床状況から護岸前面の根固めブロックの底部が洗堀されている状況が確認され、護岸から堤防防護ラインまでの距離は約5mと直近4年の侵食幅より小さいため、基礎部の洗堀が



図-18 照査対象護岸① 護岸前面洗堀時の状況
(平成30年7月24日 RiMaDIS巡視記録より)



図-19 照査対象護岸① 洗堀対策実施後の状況
(令和1年8月27日 RiMaDIS巡視記録より)

進行し、護岸が損傷・崩落した場合には側方侵食に対する安全性に懸念が生じることを確認した。

(3) RiMaDISの変状記録および現地状況を踏まえた評価

(2)の検討から照査対象護岸①、②とも、護岸前面の河床が護岸基礎天端高より低下し、護岸の安定性に懸念があることを示した。ここでは、RiMaDISに登録されている変状の状況写真や現地調査結果より過去から現在に至る現地状況を確認し、低水護岸の評価および今後の対応を検討した。

照査対象護岸①について、RiMaDISの変状記録から平成30年7月24日の記録(図-18)において、低水護岸前面で洗堀が生じ、その後、令和1年8月27日の記録(図-19)で洗堀・侵食対策として巨石連節ブロックの設置が確認されている。さらに、低水護岸の基礎前面には既設の根固めブロックが設置されているため、急激に侵食や洗堀が進行し、護岸の構造耐力に影響するような変状が生じる恐れは小さいものと考えられる。また、2時期の河床変動状況(図-20)から周辺では平成28年から令和2年にかけて、滞筋が右岸側へ移動している様子が確認されている。以上より、照査対象護岸①は当面の対策は不要であるが、今後も河岸侵食の状況や上下流区間を含めた河道の安定状況について、出水後を中心に巡視等で継続的にモニタリングする必要があるものと評価した。

照査対象護岸②について、RiMaDISの変状記録から令和2年9月8日の記録(図-21, 図-22)において、根固めブロックが移動・沈下し、背面土が露出している状況が確認される。なお、作成したCIMモデルにおいても根固めブロックの下面が洗堀されている(モデル上は根固めブロック部が河床から飛び出ている)状況から、現地状況との整合性を確認した。また、現地調査結果(図-23)より、低水護岸の法面や高水敷部に変状が確認されないため、現状、河床洗堀による護岸構造への影響は生じていない。しかし、図-22のように根固めブロックの背面土はすでに露出し、洗堀・侵食を受けやすい状況であるため、照査対象護岸②は顕著な出水時だけでなく、堤防点検等を通して、低水護岸と根固めブロックの周辺を年数回モニタリングし、今後進行性が確認された場合は必要な予防保全策を検討することが望ましい。

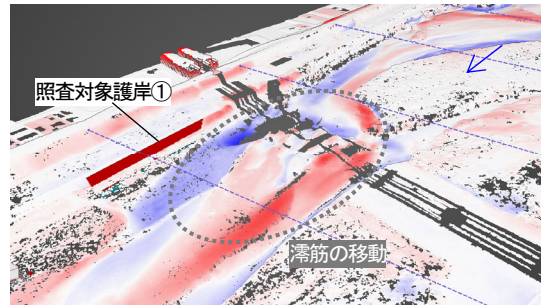


図-20 照査対象護岸① 周辺の河床変動状況



図-21 照査対象護岸② 根固め工の沈下状況 遠景
(令和2年9月8日 RiMaDIS巡視記録より)



図-22 照査対象護岸② 根固め工の沈下状況 近景
(令和2年9月8日 RiMaDIS巡視記録より)



図-23 照査対象護岸② 低水護岸の状況
(令和3年1月27日 現地調査結果)

5. まとめ

本研究では、CIMモデルを用いた水面下を含む河道管理の検討事例を示すことを目的に、CIMモデルによる現況把握の手法や維持管理へ活用方法を示し、2時期のALB計測データおよびRiMaDISを活用した低水護岸の根入れ深さに関する検討を行った。ALB計測データや既往の2次元図面等を併用することで、河川巡視や堤防点検等で目視確認できない水面下の河床洗堀、河岸侵食に対する定量的な評価を行うことができ、ライフサイクルコスト低減に向けた予防保全型の維持管理を行うことが可能となる。

本研究における課題としては、①CIMモデル更新の必要性、②既往図面等基礎情報の所有状況の違い、③シームレスな環境構築の3点が挙げられる。

①について、今後も定期横断測量として5年に1度程度の頻度で河道のALB計測データが取得されるが、出水後など河道が変化した場合にはCIMモデルの更新が必要となる。河道変化が懸念される場合には、短区間であれば比較的簡易に実施できるグリーンレーザ搭載型UAVによる測量等により河道の3次元点群データを蓄積し、現状に即したCIMモデルとして更新する必要がある。

②について、本研究ではALB計測データだけでなく、属性情報として複数データをCIMモデルに反映させ、検討を行ったが、河川の規模や管理者によって、河道計画の諸元や河川構造物の図面などの基礎情報の所有状況に差異があるものと考えられ、一律に同じCIMモデルを作成することは難しい。また、河道特性や対象河川が持つ課題に応じて維持管理に必要な情報も異なるため、河川毎に適切なCIMモデルを作成する必要がある。

③について、整備が進められている3次元管内図も同様であるが、現状CIMモデル作成に用いるソフトウェアは多岐にわたり、モデルの確認に高価な専用ソフトの購入が必要である場合も少なくない。今後、河川分野でのCIM活用を推進する上では、作成したCIMモデルをオープン利用可能なビューアーとして出力するなど、利用に関する制限を取り除き、シームレスな環境を整える必要がある。福井河川国道事務所においては、CIMモデルをソフトウェアのインストール不要なビューアーとして出力・使用しており、全国的に各事務所で実施される横断的連絡調整会議¹²⁾等での活用を図っている(図-24)。

本研究におけるCIMモデルの使用データや作成方法、検討手法は3次元管内図の整備等CIMの実務利用の参考となれば幸いである。また、河川維持管理分野でのCIM活用の推進に向け、今後も多様な河川で検討事例を蓄積しながら、水中ドローンによる深部の点群取得やスマートフォン(LiDER)による簡易測量、AIによる変状の自動判定などのほか新技術との併用、連携を図ることで更なる高度化・省人化が期待される。

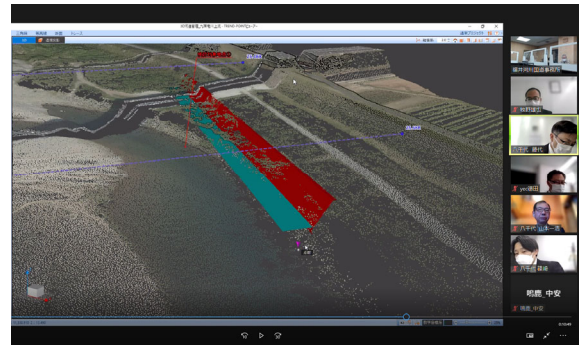


図-24 横断的連絡調整会議(WEB)でのCIMモデル活用

謝辞：本論文の作成にあたり近畿地方整備局福井河川国道事務所にはALB計測データ等、数多くの資料を提供いただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局：河川定期縦横断測量業務実施要領・同解説，2018。
- 2) 国土交通省 水管理・国土保全局：河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)，2020。
- 3) 国土交通省 荒川下流河川事務所：Arakawa Digital Twin online-荒川3D河川管内図(下流域)，<https://arage.maps.arcgis.com/apps/webappviewer3d/index.html?id=aad07ecc86dc4a09a547216eca0fa23a> (2021/6/28公開)。
- 4) 大西伸和，橋本将明，狩野普一：河川 CIM モデルの構築による河川維持管理の効率化方策検討，令和元年度 建設コンサルタント業務研究発表会，2019。
- 5) 崎田晃基，西山哲：河川堤防地形測量における3次元データの取得法とその活用に関する研究，情報地質，第30巻，第3号，pp.101-109，2019。
- 6) 社会基盤情報標準化委員会，河川CIM標準化委員会：河川CIM標準化検討小委員会成果報告書(令和3年7月)，2021。
- 7) いであ株式会社：3次元データを活用した河川維持管理の検討，技術広報誌i-net，Vol.60，pp. 6-7，https://ideacon.jp/technology/inet/vol60/vol60_new03s.pdf，2022。
- 8) 山本一浩，中村 圭吾，福岡 浩史，戸村 健太郎，金田 真一：グリーンレーザ(ALB)を用いた河川測量の試み，河川技術論文集，第23巻，pp.293-298，2017。
- 9) 渡邊俊夫，山本一浩：河川マネジメントを意識した福井版CIMモデルについて，平成30年度国土交通省国土研究会論文集，pp.4-1~6，<http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/giken/brochure/2018ronbun4.pdf>，2018。
- 10) 藤田陽一，星野裕司，小林一郎，水野純生：複数の既存データを併用した河川管理CIMモデルの一考察，土木学会論文集F3(土木情報学)，Vol.71，No.2，pp.1_79-I_86，2015。
- 11) 国土交通省 CIM 導入推進委員会：CIM 導入ガイドライン(案)第3編 河川編，pp.84-86，2018。
- 12) 国土交通省 水管理・国土保全局：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領，2019。

(2022. 3. 25受付)