

新技術開発探訪

河川マネジメントを意識した
福井版 CIM モデルについて

国土交通省 近畿地方整備局 福井河川国道事務所 わたなべ とし お やまもと かずひろ
渡邊 俊夫, 山本 一浩

1. はじめに

CIM の定義は、調査・計画・設計段階から 3 次元モデル (Modeling) を導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても、3 次元モデルと連携させ、建設事業 (Construction) で発生する情報 (Information) をライフサイクル全体で共有・活用 (Management) して、建設生産性を向上させようとする考え方である。その概念として、構造物の 3 次元モデルが中心にあり、その周辺に建設生産システムの各フェーズが配置されている¹⁾。

しかし、河川の維持管理段階のフェーズに着目した場合、管理施設が既に完成し、維持管理されている施設が堤防も含め多く存在するとともに、

河川管理者が直接管理する施設以外に、河川法に基づき許可されている工作物も多く、それら全てを 3 次元化することは、モデル作成に多大な時間と労力およびコストがかかるため、既設構造物については、今後の課題と言える。また、3 次元化にとられすぎて、本来の河川管理がおろそかになってはならない。

福井版 CIM モデルでは、上記のことを踏まえ、中心に河川マネジメントを置き、その周囲に、調査・計画、設計・積算、施工、維持管理の各フェーズを配置するとともに、さらに環境と防災も加えた建設生産システムとする概念を提案する (図-1)。

当事務所においては、平成 28 年度に九頭竜川の 18 k ~ 29 k (約 11 km) において ALB (Airborne

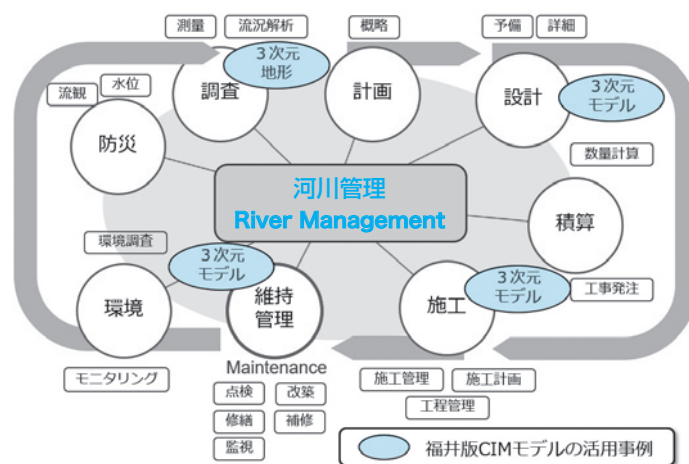


図-1 福井版 CIM モデルの概念

Laser Bathymetry) による 3 次元点群データを取得しているため、地形モデルについては 3 次元による CIM モデルの検討を行う状況にある。ALB とは、計測機器に水部用と陸部用の 2 つのレーザを搭載し同時に運用するもので、水部用のレーザは、可視域のレーザ光（緑色）を用いることにより、これまで取得できなかった、河床の地形も計測できるものである²⁾。

なお、測深性能は透明度や水質に大きく依存するが、今回使用した計測機器の仕様によると透明度の 1.5 倍とされ、最大 15 m まで測深でき、その精度は ± 0.15 m である。また、計測密度は、陸部 10 点 / m^2 、水部 1 点 / m^2 である。測深イメージを図-2 に示す。

以上のように 3 次元点群データが整備されていることを踏まえ、河川全体の地形モデルに着目し、モデルの定義と詳細度について検討を行い、さらに前述した福井版 CIM モデルの概念に基づいた、河川マネジメント全体における CIM モデルの活用について検討を行った。

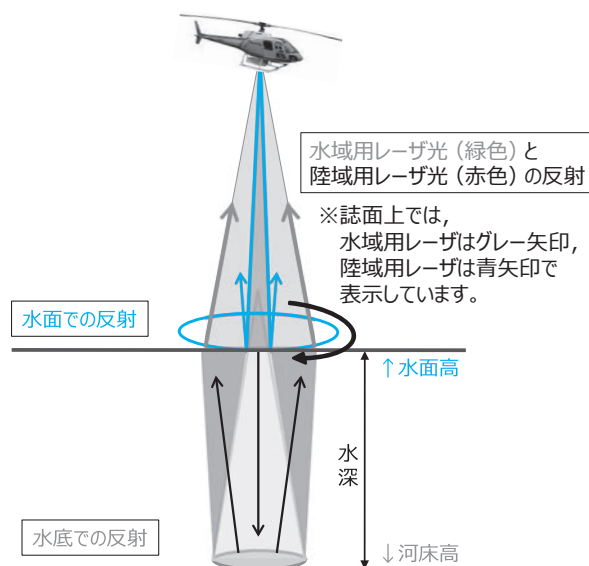


図-2 ALB 機器による測深イメージ

2. 地形モデルの定義と詳細度

地形モデルとは、ALB による 3 次元点群データからノイズ除去を行い、作成したオリジナルデ

ータから、さらに建物・建造物、樹木・植生等をフィルタリング処理したグランドデータより現況地形を TIN サーフェスで表現するもので、河川区域内の現況地形（堤防、低水路、高水敷）も含めた CIM モデルである（図-3）。

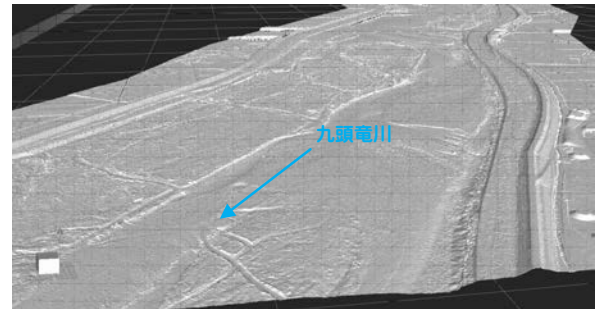


図-3 河川区域内の地形モデル

(1) 河川管理における CIM モデルの定義

河川管理における地形モデルの範囲は、河川区域とし河川法で区分している、1号地に該当する箇所を「低水路モデル」、2号地に該当する箇所を「構造物モデル（堤防）」、そして3号地に該当する箇所を「高水敷モデル」と定義する。なお、本稿では構造物モデルのうち堤防のみを検討するため、「堤防モデル」と定義することとする。

(2) 各モデルの詳細度

ガイドラインにおいて、地形モデルの詳細度については、「モデルの軽量化」を注意事項として記載され、「詳細度を十分に検討して作成する」となっている³⁾。

ALB から生成され、納品される地形モデルの最小メッシュサイズは計測密度から 0.5 m グリッドで生成されており、今回の計測範囲の 3 次元点群データ数は 30,774,532 点、地形モデルの納品形式である LandXML1.2 とした場合のファイルサイズは 5,847 MB と、操作性を考慮した場合、そのまま CIM モデルとして活用するには課題となる。

前項で定義した各モデルについて、河川管理を踏まえた詳細度について、最適なメッシュ間隔の検討を行った。

① 堤防モデル

堤防は洪水流を安全に流下させ、堤内地への洪水氾濫を防ぐための重要な河川管理施設であり、維持管理においては、堤防法面の変状等を把握し日常的に安全な状態にしておく必要がある。堤防は以上のような特性から堤防形状を正確に再現する必要があるため、堤防モデルのメッシュ間隔は0.5 m グリッドとし、詳細度「400」を提案する。

② 低水路モデル

低水路は、常に流水がある箇所であり、河道形状が刻々と変化していくため、堤防と同等の詳細度とする必要はないと考える。河床地形が3次元形状で取得できることで、2次元不定流解析モデルが容易に作成できるようになった。例として、平水流量の流下時の解析においては、2 m グリッドでも流速分布等の流況情報を十分得ることができる。また、環境面においても瀬・淵や砂州等の形状が2.0 m グリッドでも十分に表現できることから、低水路モデルのメッシュ間隔は2.0 m グリッドとし、詳細度「200」を提案する。

③ 高水敷モデル

高水敷の維持管理では、河岸侵食による高水敷幅の変化による堤防防護ラインへの影響等の把握が必要であるが、堤防や低水路と比較して、高い詳細度は必要ないことから、高水敷モデルのメッシュ間隔は5.0 m グリッドとし、詳細度「100」を提案する。

以上の考え方より決定した、各モデルのメッシュ間隔で3次元モデルを生成した結果の3次元点群データ数およびLandXML1.2のファイルサイズを表-1に示すとともに、河道モデルを図-4に示す。ファイル容量が縮小されたことで、生成された河道モデルの利用において、データのインポート、エクスポートのスピードアップを実現した。このスピードアップは、河道モデルの活用において重要である。

3. 河川マネジメント全体での活用

1. で提案した、福井版 CIM モデルの概念の中心である、河川マネジメント全体において、前章で定義し、検討した詳細度に基づく河道モデルの活用について、各フェーズの段階ごとに取りまとめた。

(1) 調査・計画段階での活用

現在の流況解析は、主に200 m 間隔の定期横断面図に基づいた準2次元不等流計算より、水位縦断や流下能力等の把握を行っている。しかし、河道モデルを活用することで、任意の箇所において

表-1 地形モデル最適化前後の比較

最適化前		最適化後	
点群データ数 (ポイント)	LandXML1.2 (MB)	点群データ数 (ポイント)	LandXML1.2 (MB)
30,774,532	5,847	4,269,884	651

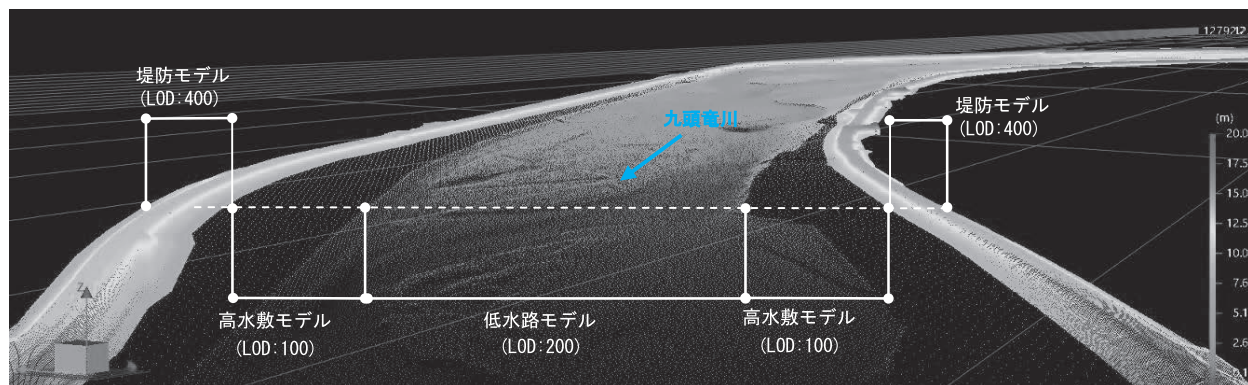


図-4 最適化後の河道モデル

横断面図が作成できることから、これまで把握できなかった距離標間の流速把握が可能となる。例として、九頭竜川の21.6k～21.8kにおいて20m間隔で横断を作成し準2次元不等流計算を行った。その結果、右岸側の樹木と護岸の間で流速が変化していることが確認できた(図-5)。

また、面的な流況把握として2次元平面解析も低水路モデルを活用することで、容易に解析モデルを生成できる。

なお、この項で使用したCIMモデルは、堤防モデル、高水敷モデル、低水路モデルである。

(2) 設計段階での活用

既往研究において、ALBによる横断面図と実測による較差および標準偏差において、河川定期横断測量の実施要領の基準である $\pm 15\text{ cm}$ を満たしているとの報告がされており²⁾、堤防の量的整備の設計をする際に、測量を省略し堤防法線と堤防モデルを活用した3次元設計が可能であると考えられる。

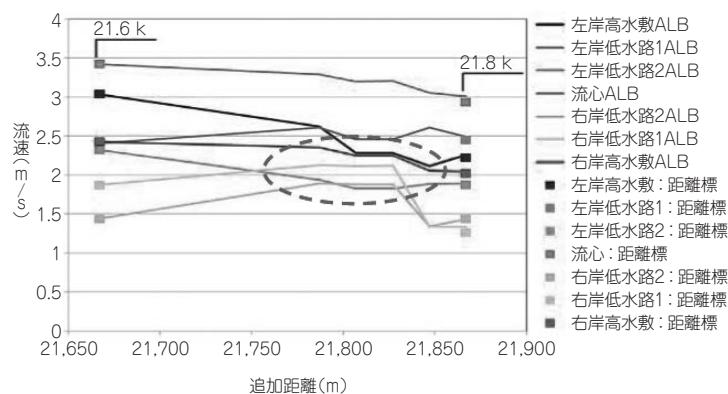


図-5 20m 間隔による不等流計算

堤防法線は一般的に堤防表法肩としているため、現況堤防の表法肩を堤防法線とし、計画堤防高、定規断面を設定し、堤防断面が不足している区間において3次元モデルを生成した。なお、定規断面の3次元モデルを本稿では「堤防定規モデル」と定義する。その結果を図-6に示す。

この図からも分かるように、堤防高は十分確保されているが、法面が所定の断面を有していないことが分かる。そのため、この区間において、余盛り高、堤防法面勾配および堤防天端舗装等の条件を設定した上で、量的整備の3次元設計を行った。その結果を図-7に示す。不足していた法面が確保され、完成断面となっている。この3次元設計で得られた土量算出結果を積算に、そして、土工モデルについてはLandXML1.2形式で施工段階に渡すことで、ICT施工が可能となる。

なお、この項で使用したCIMモデルは、堤防モデル、高水敷モデルである。

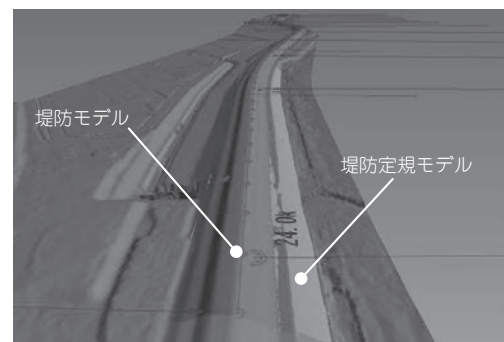


図-6 地形モデルと堤防定規モデル

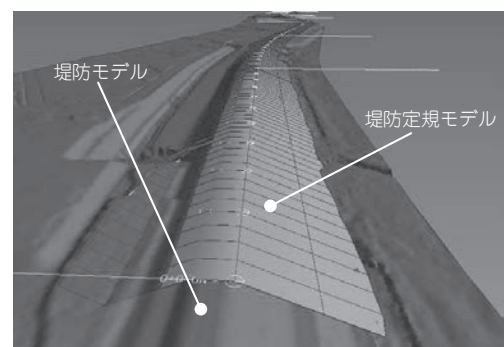
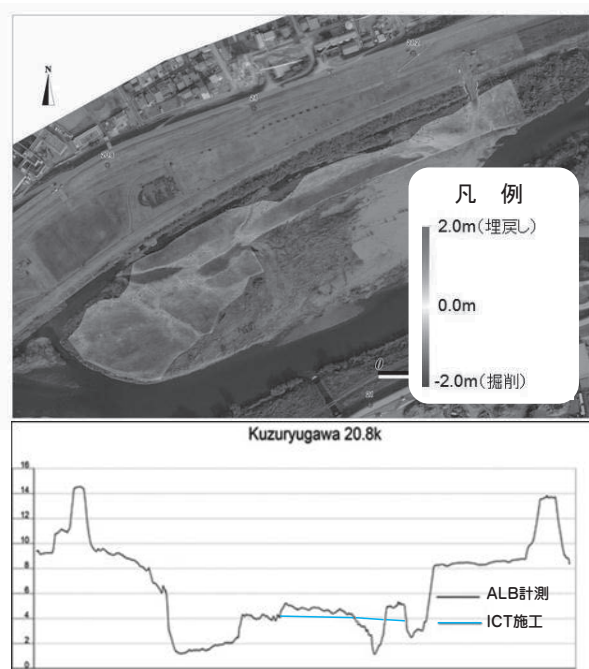


図-7 完成堤防モデル

(3) 施工段階から維持管理へ

前項の3次元設計から、ICT 施工用の3次元モデルが受け渡されることで、施工段階では、建設会社が3次元モデルを作成する必要がなくなり、効率よく工事に着手できる。また、工事完成後に納品されるデータは LandXML1.2 形式であるため、地形モデルの更新が可能であり、最新の地形モデルにより維持管理が可能となる。

当事務所での ALB は、平成 28 年 12 月に計測しているが、その後 ICT 施工による河道掘削工事が着手され平成 29 年 2 月に完了している。そのため、工事箇所においては ALB 計測以降に地形が変化しているため、地形モデルを工事後に納品された 3 次元モデルに置き替えている（図－8）。

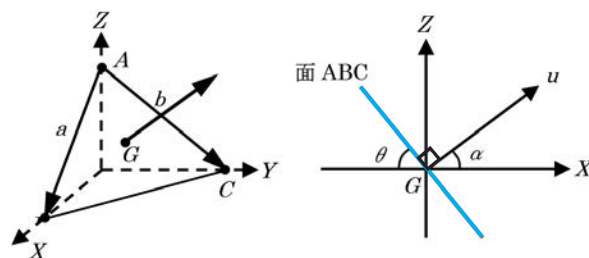


図－8 ALB 計測後の工事完成データの活用

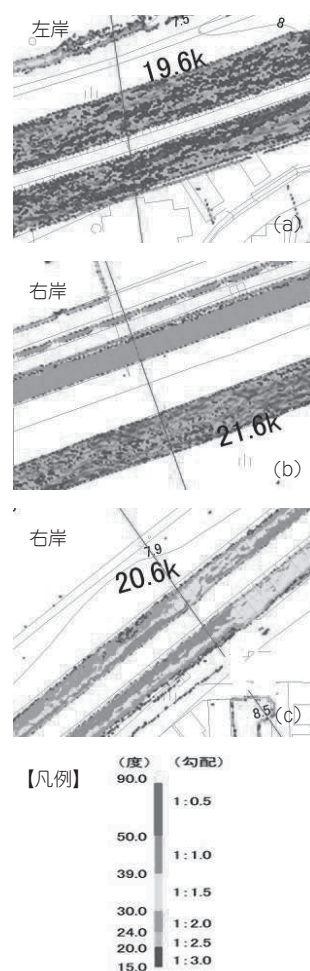
(4) 維持管理段階での活用

① 堤防法面の面的把握

TIN サーフェスの三角形から外積計算により法線ベクトルを算出することで、勾配や方向が計算される（図－9）。この方法で算出された全ての TIN に勾配による色分けを行うことで、面的に堤防法面勾配を把握することができる（図－10）。左岸 19.6 k 付近（図－10 (a)）では、表・



図－9 三角形 ABC 面の傾斜角の算出



図－10 勾配ベクトルによる堤防法面の確認

裏法面ともに 1:2.5 以上の緩やかな法面勾配であることが確認できる。右岸 21.6 k 付近（図－10 (b)）では、表法面が 1:2.5 以上、裏法面が 1:2.0 の法面勾配で天端幅も広いことが確認できる。この箇所は、堤内側に側帯を設けている箇所である。左岸 20.6 k 付近（図－10 (c)）では、表・裏法面ともに、堤防上部が 1:1.0、堤防下部が 1:2.0 と寺勾配となっていることが確認できる。

このように、勾配ベクトルによる法面勾配の把握は、堤防全体の量的整備状況について確認する

ことができ有用な方法であり、法面勾配が1:2.0より急な勾配の堤防箇所においては、堤防断面が不足している可能性が高いことが容易に確認できる。このような区間を対象として、量的整備の必要性が把握できることで、堤防量的整備について、計画・設計段階へとつなげていくことが可能と考える。

なお、この項で使用したCIMモデルは、堤防モデルである。

② 2次期の点群データによる樹木繁茂状況の確認

河道内樹木は主に砂州等に繁茂していることが多いことから、水部が取得されないLPデータも活用できる。そこで、平成25年度に取得したLPによるデータと、今回のALBによるデータとの差分により、河道内樹木群の変化を確認した。なお、樹木の点群データはオリジナルデータであるため、低水路モデルとの差から樹木高をそれぞれの年次で算出し、樹木高の2次期の差分から樹木の変化を捉えた。

その結果、1) 成長している樹木、2) 新たに萌芽し繁茂している樹木、3) 消失した樹木が確認できた。この変化を捉えることで、樹木伐採計画や流況解析による死水域の設定に活用できるものと思われる(図-11)。

なお、この項で使用したCIMモデルおよびデータは、低水路モデルとLP、ALBのオリジナルデータである。

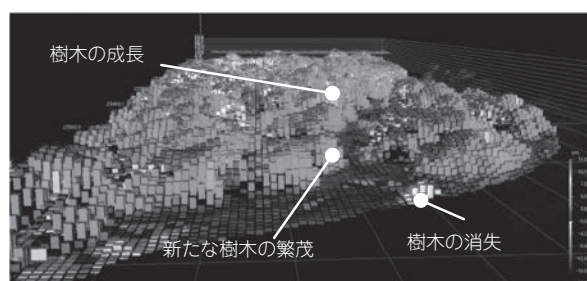


図-11 2次期の差分による樹木群の変化

③ 許可工作物の確認(橋梁)

許可工作物の一つである橋梁の橋脚部では、洗

掘が発生している可能性が高い。しかし、著しい洗掘は河川の増水など洪水時に生じやすいことから、変状の確認が困難であることが多い。また、対象となる橋梁付近に定期横断の測線が存在しない場合には、洗掘の状況が確認できず、見逃す可能性も高い。ALBによる河道モデルを活用し、橋脚部の洗掘状況を確認した。

福井大橋(国道8号)を対象として、河川占用許可申請時の2次元図面から、LOD200で3次元モデリングを行い、橋梁の諸元および世界測地系座標を属性として付与し、低水路モデルと統合(図-12)。これにより、福井大橋の金沢方面(上り)の橋脚部周りでは下流の範囲において洗掘されており、周辺の河床よりも最大で約3m洗掘され、フーチングから約1mの高さまで河床低下していることが確認できた。この洗掘状況については、今後の橋梁点検の基礎データとなるよう、道路管理者に情報提供を行っている(図-13)。

使用したCIMモデルは、低水路モデル、構造



図-12 LOD200で3次元モデリングした橋梁

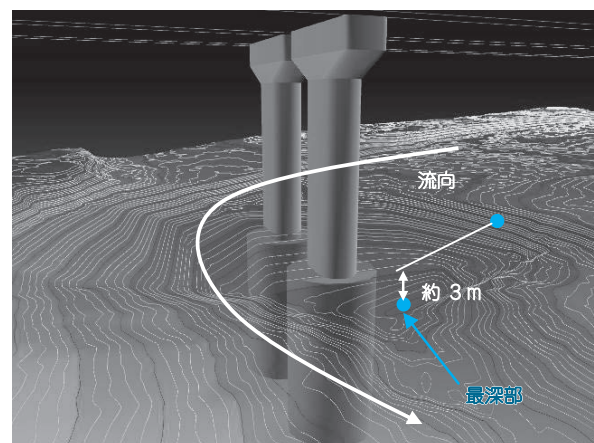


図-13 橋脚周辺の洗掘状況の確認

物モデル (LOD200) である。

4. おわりに

本稿は、一般的な CIM の定義に対し、河川の維持管理段階における課題から、福井版 CIM モデルの概念を提案した。

また、当事務所において、ALB による河道の 3 次元点群データが取得されていることから、河川全体の地形モデルについて、河川区域における河川管理を踏まえたモデルの定義を行うとともに、定義された各モデルの利用形態に応じ、詳細度の検討を行い、河道モデルを生成した。さらに、この河道モデルを河川マネジメント全体の各フェーズにおいて、CIM モデルの活用について検討を行った。

調査段階では、水位縦断や流下能力等の流況解析において、河道モデルを活用し、九頭竜川の 21.6 k ~ 21.8 k において 20 m 間隔の横断により、準 2 次元不等流計算を行い、従来の計算では解明できなかった、樹木と護岸間の流速の変化を確認した。

設計段階では、堤防の量的整備の設計において、堤防法線と堤防モデルを活用した 3 次元設計を試みた。設計の前段として堤防法線を確定するため、定規断面に基づく 3 次元モデルを生成。これを堤防定規モデルと定義し、設計条件を設定した上で、量的整備の 3 次元設計を行った。また、3 次元設計で得られた土量算出結果を積算に、そして、土工モデルを施工段階に渡すことで、ICT 施工の可能性を確認した。

今回の試みでは、3 次元設計による土工モデルを活用した ICT 施工の実施まではできていない。今後は、この 3 次元設計による土工モデルを活用した ICT 施工を行い、実用性について検証

していきたい。

施工段階では、前述のように、3 次元設計で得られた土工モデルでの ICT 施工は実施していないが、過去の ICT 施工による河道掘削工事後に納品された 3 次元モデルを地形モデルに置き替え、常に最新の地形モデルで管理することができを確認した。

維持管理段階では、堤防法面の形状を面的に把握できることから、堤防の量的整備箇所の特定制と、その箇所における計画・設計段階へつなげていくことの可能性について考察した。

また、河道内樹木の繁茂箇所を対象として、2 次期の点群データの差分により、樹木の成長度、新たな繁茂、樹木の消失といった、樹木群の変化の把握を行った。

さらに、橋脚周りの洗掘状況について、低水路モデルと構造物モデルにより、洗掘状況を確認し、橋脚周りの河床低下状況の確認を行った。

今後は、本稿で提案した詳細度や河川マネジメント全体の各フェーズの CIM モデルの活用法について、さらなる検討を重ねた上で課題等を抽出し、河川マネジメントに即した CIM モデルのあり方について、研究を行っていきたい。

【参考文献】

- 1) 土木学会誌：CIM から広がる新たな世界，第 100 巻 第 6 号，pp.8-9，2015。
- 2) 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）を用いた河川測定の試み，河川技術論文集，第 23 巻，pp.293-298，2017。
- 3) 国土交通省：CIM 導入ガイドライン（案）第 3 編 河川編，pp.84-86，2018。
- 4) 牧野衛，小林一郎，山本一浩，九鬼裕之：航空 LP データを用いた山岳地帯道路の散水融雪設備計画，土木情報利用技術論文集，Vol.18，pp.235-242，2009。
- 5) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：土木工事数量算出要領（案），2017。