

河川管理検討プロセスの高度化・省力化システム(X-EVA)の提案

PROPOSAL OF EVALUATION, VISUALIZATION, AND ANALYSIS SYSTEM WHICH REALIZES VERSATILE DATA HANDLING FOR HIGHLY-SOPHISTICATED RIVER MANAGEMENT TOWARD REDUCTION OF EFFORT

藤原 圭哉*・佐藤 誠**・亀田 敏弘***・泉 典洋****・堀 宗朗*****
Kei-ya FUJIWARA, Makoto SATO, Toshihiro KAMEDA, Norihiro IZUMI and Muneo HORI

Since big data of infrastructure is gathering strong attention, MLIT has been promoting the data platform project along with i-Construction policy toward effective utilization of big data. In this study, in order to develop the river management system taking advantage of data platform, we developed the components that can reduce human effort for a series of data handling such as data preparation, computation and visualization. Using those components, we developed the versatile visualizing system handling various data using open source 3D visualization library which can facilitate the installation of 3D river management map to support river management.

Keywords : *i-construction, 3D data accumulation, OSS data interoperability platform, automatic computation, highly-sophisticated river management, 3D GIS Web Application*

1. はじめに

国土交通省が推進する i-Construction を受けて、調査、設計、施工、検査、維持管理・更新までの全プロセスで ICT や三次元データ利用の研究開発が行われている¹⁾。特に河川分野においては、定期縦横断面測量にて三次元地形データを取得可能な点群測量が開始²⁾されており、また令和 5 年度を目標に直轄工事の BIM/CIM が原則適用³⁾となるため、三次元データによる検討は今後標準化が進むと考えられる。

このような中で、三次元管内図の全河川運用開始(2025 年度目標)⁴⁾に向けて各河川での取り組みが活発化している。三次元管内図は、「河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)」⁵⁾に則って、多くの河川で開発されている例が報告されている^{6), 7), 8)}。特に、荒川下流河川事務所では、『荒川 3D 河川管内図』と銘打って荒川下流域の様々なデータを三次元で立体的に表現し、誰もが手軽に Web ブラウザ上で表示・確認可能な Web アプリケーションを公開している⁹⁾。

ところで、今後の国のシステム構築やデータの取り扱いの方針として、内閣官房 情報通信技術(IT) 総合戦略室の文書に「最大のデータ保有者である行政機関自身が国全体の最大のプラットフォームとなるべく、データの分散管理を基本として、(中略)データ連携を可能とするシステム構築などに取り組みます。」とあり¹⁰⁾、柔軟にカスタマイズ可能なデータ・システム連携基盤を開発していく方向性が示唆されている。各河川事務所で個別に開発されている三次元管内図についても、既存の河川管理システムと連携可能な共通基盤を整備することによって、データの更新や河川管理者のニーズに応じたシステムの効果的・長期的な運用が可能になると考えられる。

本研究では、河川に関する各種データとシステムが今後更新・拡張されていくことを考慮して、オープンソースを採用した共通のデータ・システム連携基盤を「協調領域」と定義する。それに対して、各事務所のニーズに応じて、かつ各社の強みを活かして開発する領域を「競争領域」として定義し、役割を分担してシステム開発を行う将来像を提案する。

協調領域の事例として、スマートシティの分野においては、都市 OS が推奨されている¹¹⁾。これは、分野や組織ごとに特化したシステムや、分散して保管された各分野データを自由に連携できるものである。候補の一つとして欧州の官民プロジェクトにて開発/実証されたオープンソースの基盤ソフトウェアの FIWARE がある¹²⁾。これらの社会基盤整備に活用されるシステムの最新の動向や、藤原ら¹³⁾が提示した構想を踏ま

* 東京大学共同研究員「i-Construction システム学」寄付講座
日本工営株式会社 流域水管理事業本部 河川水資源事業部
河川部
** 東京大学共同研究員「i-Construction システム学」寄付講座
株式会社建設技術研究所 北海道支社 河川室
*** Ph.D. 東京大学特任研究員「i-Construction システム学」寄付講座
筑波大学准教授 システム情報系
**** Ph.D. 北海道大学教授
***** Ph.D. 東京大学特任教授「i-Construction システム学」寄付講座
海洋研究開発機構部門長 付加価値情報創生部門

え、河川 DX の動きを推進すべく、河川管理検討プロセスの高度化・省力化に向けてのシステムを開発した。なお、本研究では開発したシステムを X-EVA (Evaluation, Visualization, Analysis の略。読み方:クロスイーバ)と呼称する。XはDXに掛けた他、河川に限らず他の社会基盤分野にも将来的に展開するという意味を込めている。

2. 具体的な検討・開発手順

本研究では、X-EVA を開発するにあたって釜無川を対象フィールドに設定し、現場の課題解決に必要な既存の各種河川データと今後蓄積が想定される三次元データ群を提示し、課題解決を支援するアプリケーションを開発した。

第 3 章にて紹介するアプリケーションは大きく分けて、

- 三次元データをはじめとする各種河川データを GIS 上で一元的に可視化し、データ抽出機能を活用して河川施設安全性の定量的評価につなげることで、従来の二次元データ活用中心であった河川管理の高度化に資するアプリケーション
- 河川管理の検討プロセスで活用するシミュレーションの作業(本研究では平面二次元河床変動解析に着目)と出力結果の登録・更新の仕組みを高度化・省力化するアプリケーション

の 2 点である。なお、X-EVA の横展開を視野に入れるため、オープンソースを活用してシステム全体の拡張性を担保しつつ、各アプリケーションを独立したコンポーネントで構成した。

3. 釜無川をフィールドとしたシステム開発

(1) 対象範囲

本研究の対象河川は、i-Construction モデル事務所の一つである国土交通省関東地方整備局甲府河川国道事務所が管理する、富士川の上流区間である釜無川を対象とした。中でも対象範囲の区間は図-1 に示すように、河道整正工事の試験施工が実施された箇所を含む K-90~K-140 区間とした。

(2) 対象区間における留意点

釜無川は急流河川であり流速が速く、また山間部からの土砂生産も盛んであり洪水時の河床変動が複雑である特性を持つ。そのため、洪水規模の大小にかかわらず堤防及び河岸を急激に洗掘する流れが発生し、河岸侵食の被害につながる事が課題となっている¹⁴⁾。従来の二次元データ主体の管理では、横断測線間の情報や水面下の情報を得るのが難しく、日常管理において、河床の深掘れ箇所を見逃してしまう原因となっている。これらの課題を解決すべく、図-2 に示す

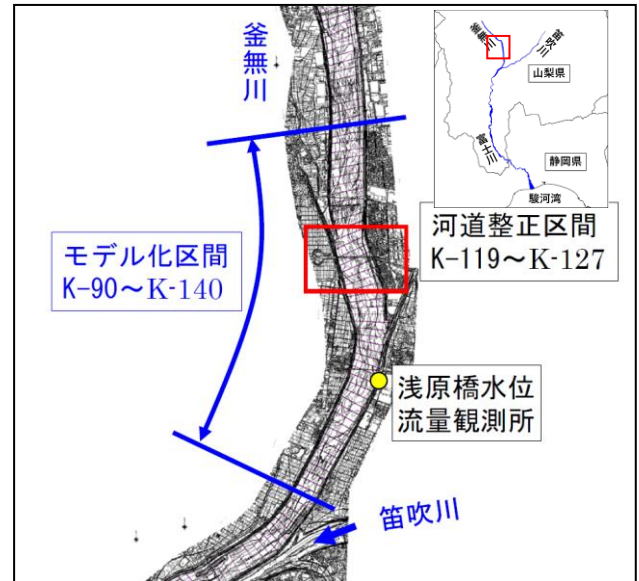


図-1 解析対象範囲

システム開発を実施した。具体的開発内容を次項以降で述べる。

(3) 三次元 GIS を用いたアプリケーション開発

河岸侵食を予防するためには、滞筋位置のモニタリングや、現地の各種河川施設の現状把握、過去の災害履歴や巡視・点検履歴の情報把握と、これらの情報を基にした定量的な評価が必要である。現場の巡視や点検のみでは水面下の情報や地盤情報・過去の災害履歴等を確認することができないが、それらの情報を三次元的にリアルに把握し、また定量的な評価につなげることは、河川管理の検討プロセスの高度化に資すると考えられる。

なお、三次元データの可視化にあたっては、Web ブラウザ上で三次元地図の表示が可能で、他分野においては採用実績のある^{15), 16), 17)}オープンソースの三次元 WebGIS の Cesium を活用した。Cesium は JavaScript によりコア部分が開発されており、カスタマイズにより、システム管理者やユーザーのニーズに応じて、オンライン上のあらゆるデータ保管場所から三次元データを含む多種多様な河川データを読み出して可視化する他、河川の定量的評価に資するアプリケーションを連携することが可能である。これらの機能はブラウザ上で端末を選ばず動作・確認可能であるため、河川の現場で日常点検・巡視しながら、あるいは施工現場での活用も可能となる。またユーザーインターフェースについても、ユーザーのニーズに応じてより使い勝手の良いものにカスタマイズできる。河川管理の分野に特化し、プラットフォームを介して他システムとの連携を志向した Cesium ベースのシステムはこれまで事例がなかったため、本研究の開発対象とした。

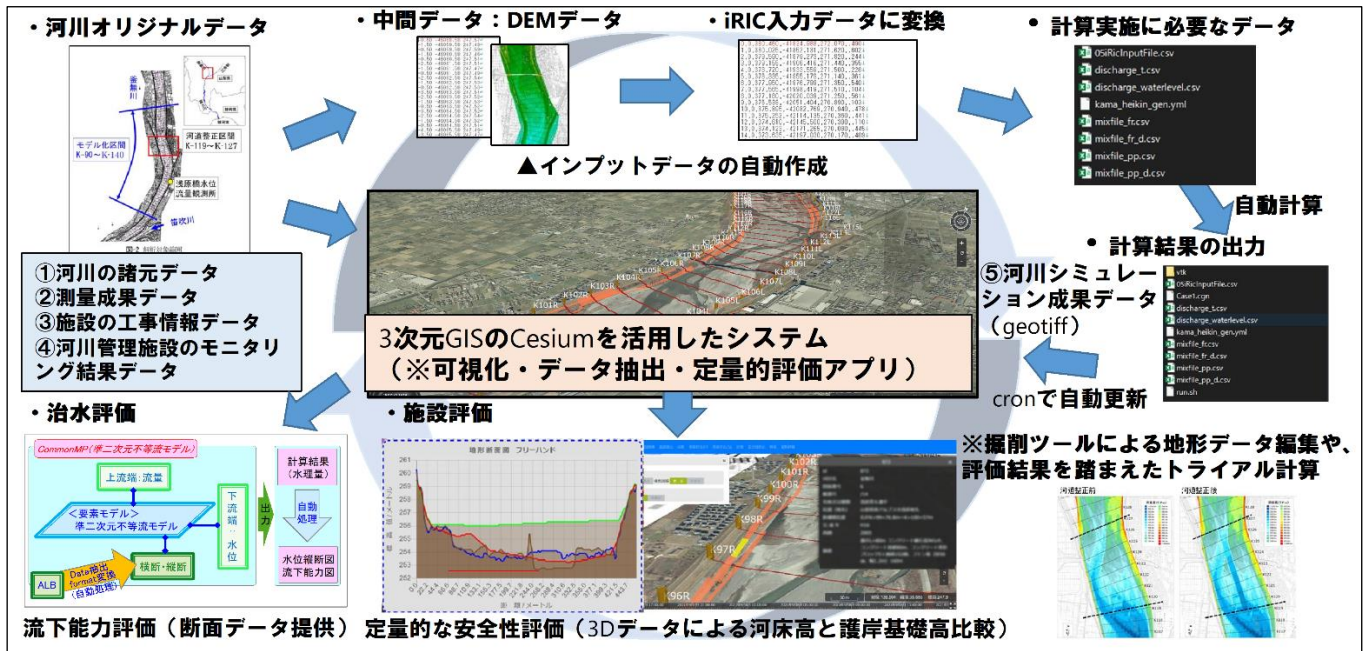


図-2 開発した X-EVA の全体像

表-1 可視化データ一覧

データ	データ形式	概要
距離標	geojson(点)	測量基準位置の把握
横断測線	geojson(線)	測量基準位置の把握、excelの横断経年変化図を紐づけ
堤防法線	geojson(線)	堤防法線を示すデータ
三次元点データ	laz形式	河道や堤防地形の把握
DEMデータ	3Dtile形式	河道の詳細地形データ
航空写真	3Dtile形式	経年変化を重ね合わせて河道周辺の状況把握
護岸工事箇所	geojson(面)	工事情報を属性で確認でき、工事図面データも紐づけ
堤防評価	geojson(面・線) csv形式	堤防評価(堤防詳細点検結果・重要水防箇所)の表示
巡視・点検データ	geojson(点)	RiMaDISの巡視・点検データの表示
河床変動計算出力結果(河床高・水位)	3Dtile形式 geotiff形式	計算結果の標高(時系列)データ
ハイドログラフ	csv形式	計算結果の時系列データと連動して当該時刻の流量を表示

1) 搭載データ

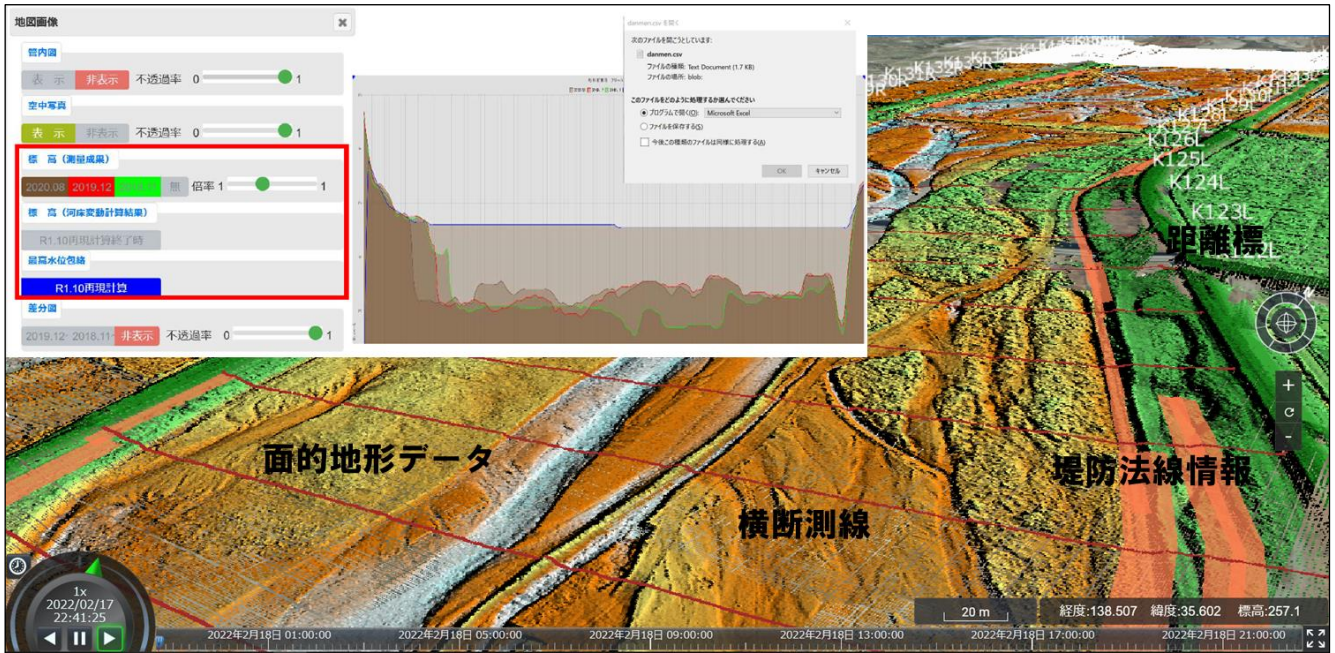
河岸侵食の予防につなげるために必要なデータとして表-1を挙げ、Cesium上に搭載した。搭載データは大別すると、①河川の諸元データ、②測量成果データ、③施設の工事情報データ、④河川管理施設のモニタリング結果データ、⑤河川シミュレーション成果データである。

2) アプリケーションの機能

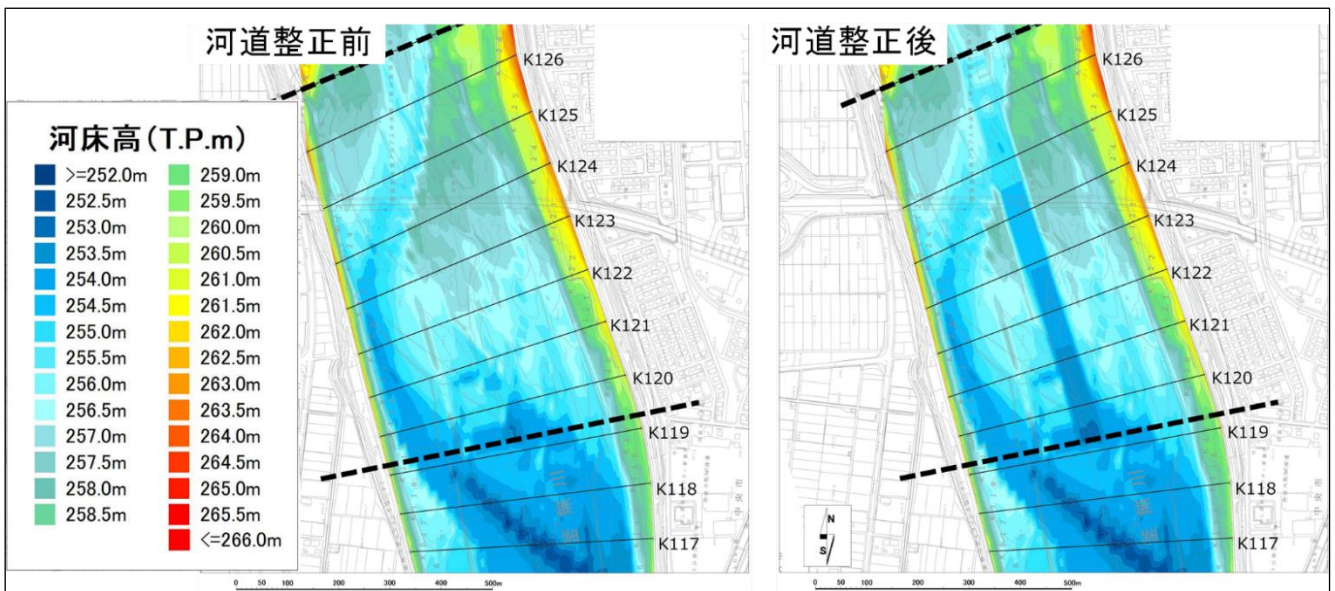
河岸侵食の予防方策検討を支援するために、ブラウザ上で三次元データを活用して、任意位置で河川施設の安全性を定量的に評価できるアプリケーションを開発した。河岸侵食の予防においては、まず既存護岸の構造や被災履歴を把握することが重要である。そこで、情報把握のために、Cesium上に搭載した護岸の工事情報や図面データから着目したい情報の検索機能を実装した。これにより、工事名と位置にて検索が可能となり、検索結果一覧より、護岸の図面データへのアクセスやブラウザ上での表示、データ取得が可能となる。

また、護岸や堤防の安全性を定量的に評価するために、ユーザーが任意に指定した線分や、Cesium上に搭載した横断測線や堤防法線沿いで三次元地形データの断面を出力する機能を実装した。経年的に蓄積された複数の三次元地形データの断面を図-3のようにブラウザ上に出力し、csv形式にて座標データを出力することも可能である。

これにより、三次元データの測量成果による任意位置での河床高の実績値や、三次元データを活用した河川シミュレーション結果により算出された河床高の予測値を護岸基礎工高と比較し、護岸の安全性評価を定量的に実施することが可能となった。また、区間内の全横断測線沿いの三次元地形データ断面を一括で出力する機能も実装しており、流下能力



図－3 開発した X-EVA のブラウザ上の表示



図－4 掘削ツールによる地形データの作成例

評価に際して活用される準二次元不等流計算のインプットデータの作成が可能である。

(4) 河川シミュレーションの自動化・省力化ツール

河床変動が顕著な河川においては、河床変動解析が現象の理解や対策検討のために使用されている。しかし、インプットデータの加工やアウトプットデータの可視化などに労力を要することが多い。このため本研究では、自動化・省力化に資する以下のツール群を開発した。同ツールは、将来クラウド上での稼働にも対応できるよう、Python で構築しており、将来的には砂利採取や河道整正工事発注前の掘削形状のトライアル計算が所内でも可能になると考えられる。なお、計算実施

にあたってインプットデータ加工の自動化や自動計算については、藤原¹⁸⁾が開発したものを利用した。

1) 計算パターンの検討ツール(掘削ツール)の開発

河床変動が問題となる河川で実施される「クリーク掘削」や「水衝部の埋め戻し」を想定し、任意の諸元(平面・横断形状や勾配)を設定すれば、対応する河道形状(X、Y、Zのメッシュデータ)を簡易に作成するツールを開発した。本ツールにより作成した地形データの作成例を図－4に示す。作成したインプットデータは研究開発や実務でも活用されている^{19)、20)}オープンソースの河川シミュレーションソフトウェア iRIC の Nays2DH(平面二次元河床変動計算モデル)に、インプット

としてそのまま使用できるものである。また、次に述べる出力ツールにより設定結果が容易に可視化可能である。

2) データ出力・更新ツールの開発

Nays2DH の計算結果を専用ソフトに依存せずに評価できるよう、座標情報を有する画像ファイル形式である Geotiff で出力する変換ツールを構築した。

3) 一連処理の自動化

インプットデータの作成から河床変動計算に至る一連の処理には cron²¹⁾を活用し、定期的な入力データの更新状況の確認、及び更新時の計算実行・計算結果を Cesium 上へ自動取り込みを行えるようにした。構築の方針として、LP データの更新や計算の進行時間を考慮し、データ更新を検知した後、一定期間更新が無くなってから処理を行うようにした。

4. X-EVA の河川管理への活用例

(1) 平面二次元河床変動解析の評価

平面二次元河床変動解析は平面的な水理量や河床変動高をシミュレーションで得られることから、河川管理の様々な場面で活用されている。具体的には、河道掘削や樹木伐採などの河川改修による水位低下効果の評価、大規模洪水による土砂堆積箇所（維持掘削必要箇所）の抽出、洪水による洗掘深と構造物根入れ深さの比較による安全性評価などが挙げられる。このような平面二次元河床変動解析結果の活用が可能と考えられる河川管理に関する評価項目として、「洪水水位評価」、「河道維持管理」、「河川構造物保全や機能保持」が挙げられる。本研究では、これらの分類ごとに、その整理方法（可視化方法）の例を表 2 に整理した。

上記で挙げた評価にあたっては、解析データの収集から水理解析モデル構築、解析結果の評価といった一連の作業を要することになるが、X-EVA により省力化が可能であり、一般ユーザーでも汎用 PC で実施可能となる。

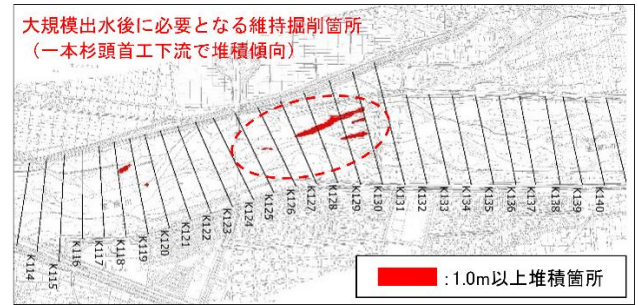


図-5 土砂堆積の評価の整理例

ここでは、釜無川モデル区間 (K90～K140) を対象に、評価にあたって使用するデータ及び整理方法、汎用ファイル形式である Geotiff 画像形式を使用した整理例として、「事例① 土砂堆積の評価」、「事例② 側岸侵食の評価」で例示する。

1) 事例① 土砂堆積の評価

平面二次元河床変動解析の初期河床と計算後河床の差分を算出し、その数値を平面的に可視化することにより、土砂堆積が顕著となる箇所の抽出が可能である。評価項目の整理にあたっては、計算メッシュ格子点の位置関係と河床変動量を示すデータの 5 列分 (I、J、x、y、Δz) 及び、それを Geotiff 画像形式データに変換したものを活用する。図-5 に Geotiff 画像形式データを GIS ソフトに入力して地形図と併せて整理した結果を例示した。この図においては、堆積が顕著となる箇所を堆積+1.0m を閾値として、赤色ハッチにて着色して表示している。モデル構築区間内における一本杉頭首工下流で一部堆積傾向が顕著であることがわかる。平時にこのような堆積が顕著となる箇所を把握することで、出水後の維持掘削を効率的に実施することが可能となる。

2) 事例② 側岸侵食の評価

平面二次元河床変動解析の計算メッシュごとに洪水時の最大流速を抽出し、事例①と同様に平面的に可視化することで側岸侵食による河岸の危険性の評価が可能である。

表-2 整理方法(可視化方法)の例

分類	評価項目	評価内容※	整理方法（可視化方法）の例
洪水水位評価	越水	最高水位（計画規模）	最高水位を左右岸堤防高、HWLなどと比較
	改修効果	改修前後の最高水位の差分（計画規模）	河道掘削や樹木伐採などの河川改修前後の水位低下量を整理
河道維持管理	土砂堆積	河床変動量（既往大規模出水）	初期河床と計算後河床の差分（堆積箇所）を平面的に描画
		摩擦速度（平均年最大流量）	摩擦速度が比較的大きくなる箇所を平面的に描画
		無次元掃流力（平均年最大流量）	無次元掃流力が比較的小さくなる箇所を平面的に描画
	樹木繁茂	冠水頻度	計算メッシュごとの冠水頻度を整理
河川構造物保全や機能保持	樹木流出	流体力（既往大規模出水）	樹木倒伏限界モーメントの算出により流出箇所を推定
	河床洗掘	河床変動量（既往大規模出水）	初期河床と計算後河床の差分（洗掘箇所）を平面的に描画
	構造物安定性	河床変動量（既往大規模出水）	洪水時の最低河床高と構造物の根入れ深さとを比較
	側岸侵食	最大流速（計画流量）	最大流速を平面的に描画
		流速ベクトル（既往大規模出水）	流速ベクトル図の作成により水衝部、偏流部を抽出

※括弧内は主に対象とする外力

評価項目の整理ではメッシュ中心点の流速の数値データ (I、J、x、y、V) 及びそれを Geotiff 画像形式データに変換したものを活用する。

図-6 に Geotiff 画像形式を GIS ソフトに入力して地形図と併せ整理した結果を例示した。この図においては、最大流速が 2.0m/s (「美しい山河を守る災害復旧基本方針」(ガイドライン) における張芝の設計流速) 以上の箇所をグラデーションで着色して表示している。河岸際で流速が大きい箇所が存在すれば、護岸の存在状況及び素材・工法を鑑みて懸案箇所として抽出でき、河川維持管理計画(護岸の整備)の検討材料に活用することが可能となる。

(2) 三次元管内図の概念に付加価値を付与

三次元管内図を整備することのメリットとしては、「河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)」に下記が挙げられており、本研究にて開発したビューワーにおいてもそのメリットを享受できるものとなっている。

- ・ オルソ画像、グリッドデータ、河川距離標などのデータを表示させることで、Web ブラウザで閲覧可能なオンライン地図情報提供サービスなどの三次元地図表示が可能となる。
- ・ 取得した三次元データを可視化した状態で職場内に共有できる。
- ・ 占用申請者との事前協議において、申請者との調整、意思疎通が円滑化する。
- ・ 事業説明会などの際に、現地状況など、臨場感のある説明ができる。
- ・ データ検索機能により、アーカイブされたデータの中から必要なデータを検索し、受注者等へスムーズに提供できる。
- ・ 断面データ出力機能により、災害申請資料等の作成や、横断工作物設置の概略検討などに活用できる。
- ・ 計測機能や注記作成機能により、概算数量を算出し、工事発注資料の作成に活用できる。
- ・ 連続的な縦断堤防高や形状を把握し計画堤防高、計画高水位等と比較することで、越水危険箇所を網羅的に抽出する。その結果は水防団と共有し、洪水時の水防対策に活用する。
- ・ 距離標がなくても任意の位置で横断形状が確認できる。
- ・ 二時期の標高差分をとることにより、発達している砂州や深掘れしている滞筋といった箇所が把握できる。

ここで、本論文で構築した三次元ビューワーは三次元管内図の一例としても位置付けられるものである。さらに、従来の三次元管内図の付加価値として、河川のシミュレーションによ

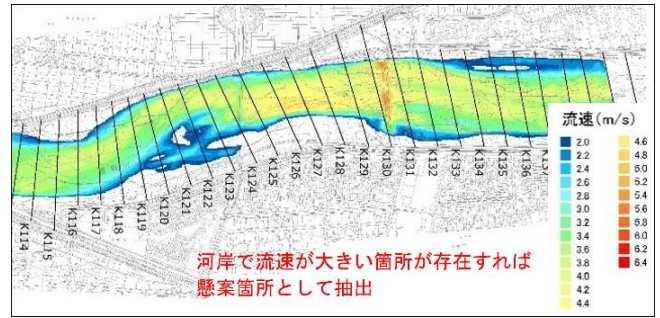


図-6 側岸侵食の評価の整理例

る河道評価機能を連携した点が挙げられる。蓄積した測量データと計算データとのデータ連携により、例えば任意線分での断面図作成機能を活用して、断面計算前河床高(測量結果)データと計算後河床高の断面比較、計算後河床高(予測値)と蓄積されていく測量データ(実測値)との比較といった活用法が考えられる。また、護岸基礎高データと計算結果データの連携により、定量的な護岸の安全性評価にもつながることが可能となる。

5. 結論と将来像

(1) 河川管理の高度化・省力化に向けたシステムの構築

本研究では、オープンソースの三次元 WebGIS を活用した河川データの可視化・河川施設の安全性を定量的に評価するアプリケーションを開発した。また、河川シミュレーションによって治水安全性の定量的な検討・評価を実施するプロセスを自動化・省力化するアプリケーションについても開発した。

将来的に、X-EVA を図-7 に示すような分野横断型のシステム²²⁾の疎結合による連携基盤(協調領域)へと発展させることにより、システムの拡張性を担保しながら、Web ブラウザを通してあらゆる関係者が協働して三次元データを基に定量的に河川管理を考え、情報共有の効率化と合意形成の迅速化を図ることを目標としている。

(2) 今後の研究展開の方向性

データ・システム連携基盤については、土木分野のデータに対応するために、データ連携・検索効率化²³⁾や既存の二次元 CAD データの三次元化²⁴⁾の研究開発が産官学連携で実施されている。また、国土交通省では本研究に関連する施策として、河川分野におけるデータプラットフォームの検討開始²⁵⁾が予定されている。プラットフォームの対象ユーザーとしては、図-8 のように河川管理者(発注者)・受注者をまずは想定するが、将来的にはオープンデータ化が進み、他分野の企業や一般住民の活用も想定される。

社会実装に向けては市場(データ提供者と利用者/最終ユーザー)の設定や技術的な課題・データ公開範囲を含めたルールや運用の全体制度設計²⁶⁾といった視点で産官学を含

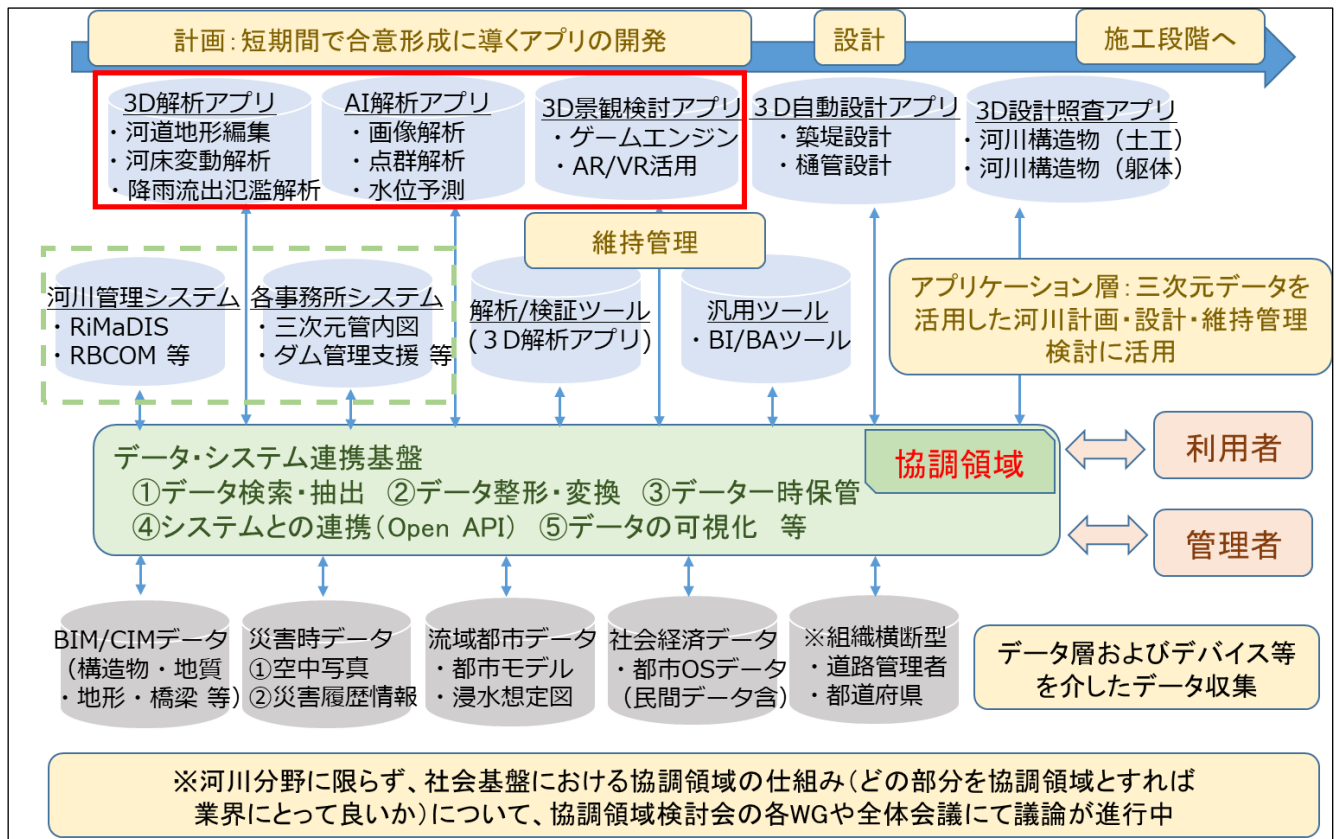


図-7 X-EVA の将来像

めた幅広い専門家の議論が望まれる。例えば他国の参考事例として、エストニアのオープンなデータ・システム連携基盤のX-Road²⁷⁾は、アジャイル開発を推奨し、ベンダーロックを防ぐ発注形式で柔軟性を担保する仕組みで運用されている。

一方で、特に受発注者含む現場サイド向けには、連携基盤を通して日々使える便利なアプリケーションの開発が求められる。一例として、日々の巡視・住民の問い合わせデータ等が連携基盤を活用して地形・地質・構造物などの三次元モデル上で逐次更新され、情報の一元共有が可能なアプリケーションが挙げられる。また、iRIC や CommonMP といったオー

ブンソースの解析モデルだけでなく、各社の独自モデルによる解析結果(競争領域)を連携できれば、受注者側の積極的な参画につながると考えられる。

※本論文は、河川技術論文集、第 28 巻、2022 年 6 月に投稿された報告において、第 4 章を補足追記したものである。

謝辞: 本研究の一部は、東京大学大学院工学系研究科「i-Construction システム学」寄付講座と日本工営株式会社及び株式会社建設技術研究所の共同研究として行われた。また、(一財)日本建設情報総合センター(JACIC)からの委託研究の一部として実施されたものである。本研究で用いたデータの取得に関して、国土交通省甲府河川国道事務所及びアジア航測株式会社にご協力いただいた。関係各位に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省:i-Construction 推進に向けたロードマップ(案)、i-Construction 推進コンソーシアム第3回企画委員会資料-2、2018
- 2) 国土交通省:河川定期縦横断面測量業務 実施要領・同解説、平成30年4月、pp.12-13
- 3) 国土交通省:令和5年度のBIM/CIM原則適用に向けた進め方、第5回BIM/CIM推進委員会、資料3-1、2021

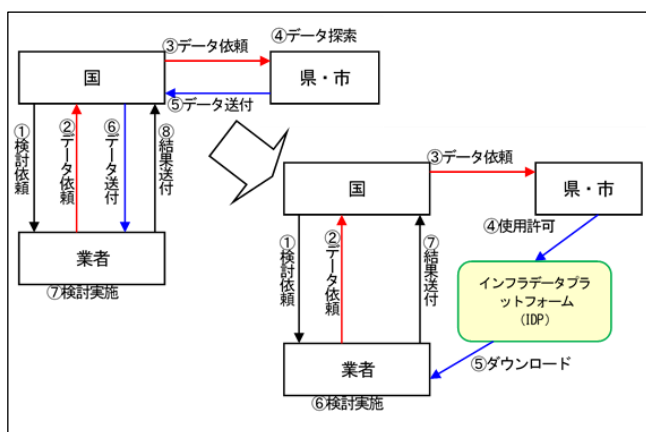


図-8 データ授受の簡易化・迅速化

- 4) 関東地方整備局:インフラ分野の DX 推進に向けたロードマップ、BIM/CIM・DX 推進 河川 WG、2021、
https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000814239.pdf
- 5) 国土交通省: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
- 6) 井上 恭介・間野 耕司:河川内の状況を把握する三次元表示システムについて、令和 3 年度近畿地方整備局研究発表会論文集、イノベーション部門 I、No.02、2021
- 7) 谷河 澤・井上 恭介:三次元管内図の整備および利活用について、令和 3 年度近畿地方整備局研究発表会論文集、イノベーション部門 I、No.03、2021
- 8) 城 柊太郎:三次元河川管内図について、令和 3 年度スキルアップセミナー関東、イノベーション部門、2021
- 9) 荒川下流河川事務所:荒川 3D 河川管内図(下流域)～三次元河川管内図～、
<https://www.ktr.mlit.go.jp/arage/arage01048.html>
- 10) 内閣官房 情報通信技術(IT)総合戦略室:包括的データ戦略(案)の概要、pp.3、2021
- 11) SIP 第 2 期ビッグデータ・AI を活用したサイバー空間基盤技術におけるアーキテクチャ構築及び実証研究事業:スマートシティリファレンスアーキテクチャ、pp.78、2020
- 12) 望月 康則:FIWARE エコシステムの御紹介、pp.2、2019
- 13) 藤原 圭哉、佐藤 誠、亀田 敏弘、堀 宗朗:インフラデータプラットフォームを活用したデータ連携による河床変動解析の効率化に関する研究、河川技術論文集、第 26 巻、2020
- 14) 甲府河川国道事務所:富士川河川維持管理計画、pp.8、2017
- 15) 3D 都市モデルを体感できる WEB アプリ | PLATEAU VIEW、
<https://www.mlit.go.jp/plateau/app/>
- 16) 国土地理院:地理院地図 Globe、<https://maps.gsi.go.jp/globe/>
- 17) 国土地理院:『浸水ナビ』地点別浸水シミュレーション検索システム、<https://suiboumap.gsi.go.jp/>
- 18) 藤原ら・前掲注 13)
- 19) 山田真史:分布型降雨流出氾濫モデル RRI と氾濫流解析ソリューション iRIC Nays2DFlood の連携について、
https://uc.iric.org/uc_products/online_workshop/200928/02_yamada.pdf
- 20) 林田寿文:3次元の多自然川づくり支援ツール、
https://www.pwri.go.jp/jpn/results/tecinfo/siryou/2019/nagoyasc/pdf/SC2020_nagoya29.pdf
- 21) NEC:cron の設定ガイド、
<https://www.express.nec.co.jp/linux/distributions/knowledge/system/crond.html>
- 22) 松實 崇博、小出 和政、大江 展之、小澤 一雅:インフラデータプラットフォーム及び 3 次元モデルを活用した道路管理システムの開発、第 2 回 i-Construction シンポジウム、Section 2-5、2020
- 23) 全 邦釘、眞崎 浩一、田嶋 聡司、亀田 敏弘、大谷 英之:インフラデータプラットフォームでのデータ連携・検索効率化のためのメタデータメカについての研究、第 3 回 i-Construction シンポジウム、I-①-3、2021
- 24) 大谷英之、大石哲、石田哲也、亀田敏弘、米田大樹、土屋智史、井上直、市村強、堀宗朗:2 次元 CAD から 3 次元モデルを自動構築する技術に関する研究、第 2 回 i-Construction シンポジウム、Section 2-4、2020
- 25) 西尾 崇:協調領域検討会 設立記念シンポジウム 維持管理分野の取り組み、
https://drive.google.com/file/d/19wtQ6y306J19wtQ6y306JWKTTojocn_R4wpBGJYzXF7h/view
- 26) 小澤一雅編著:i-Construction システム学、技報堂出版、pp.168、2021
- 27) NGO Nordic Institute for Interoperability Solutions: Procurement of X-Road Software Core Development, 2018,
<https://riigihanked.riik.ee/rhr-eb/#/procurement/721591/qualification-conditions>