

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

INFRASTRUCTURE DATA PLATFORM BASED DATA ASSOCIATION
FOR EFFICIENT RIVER BED ANALYSIS

藤原 圭哉¹・佐藤 誠²・亀田 敏弘³・堀 宗朗⁴
Keiya FUJIWARA, Makoto SATO, Toshihiro KAMEDA and Muneo HORI

¹正会員 東京大学共同研究員 「i-Construction システム学」 寄付講座
(〒113-8656 東京都文京区本郷7丁目3番1号)

日本工営株式会社 河川部 (〒102-8539 東京都千代田区九段北1丁目14番6号)

²正会員 東京大学共同研究員 「i-Construction システム学」 寄付講座
(〒113-8656 東京都文京区本郷7丁目3番1号)

株式会社建設技術研究所 河川部 (〒330-6030 埼玉県さいたま市中央区新都心11-2)

³正会員 Ph.D. 東京大学特任研究員 「i-Construction システム学」 寄付講座
(〒113-8656 東京都文京区本郷7丁目3番1号)

筑波大学准教授 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

⁴正会員 Ph.D. 東京大学特任教授 「i-Construction システム学」 寄付講座
(〒113-8656 東京都文京区本郷7丁目3番1号)

海洋研究開発機構部門長 付加価値情報創生部門 (〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173番25)

This paper presents a use case of infrastructure data platform based data association for efficient river bed analysis. The platform can automatically collect data from distributed data storage, associate them with others, and provide extracted data for platform users. To prove the usefulness of the platform, this research shows the automatic numerical analysis of two-dimensional river bed-level variation as an example of efficiency improvement, which reproduces the situation after Typhoon 19, 2019, and intelligent data connection of big and distributed river infrastructure data generated every day such as various river survey data, drawing data, construction data, river management data.

Key Words : *infrastructure data platform, river bed analysis, intelligent data connection, big and distributed data, automatic computation, efficiency improvement, i-construction*

1. 序論

平成9年の河川法改正により治水・利水・環境の総合的な河川制度の整備が推進され、流域一帯での河川管理が重要となっている¹⁾。また、調査・設計・施工・維持管理の各過程で多種多量のインフラデータが生み出され、日々蓄積されている。地震防災の分野では、地理情報と構造情報を連携させることで、市街地全体の地震応答解析に用いる構造物の解析モデルを自動生成して、スーパーコンピュータ「京」で動的解析を実施した例^{2), 3)}が

あるが、河川管理者間や内部の部署間におけるデータの共有や、各過程をまたいだ利活用は依然として不十分である。

国土交通省では、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までの全ての建設生産プロセスでICT等を活用する「i-Construction」を推進し、建設現場の生産性を、2025年度までに2割向上することを目指している⁴⁾。本研究では、河川分野の各種データをインフラデータプラットフォーム（以下IDPとする）上にて共有し、データ連携を行って河床変動解析を行うプロトタイプを示し、河川管理者・建設コンサルタントの業務を効率化するた

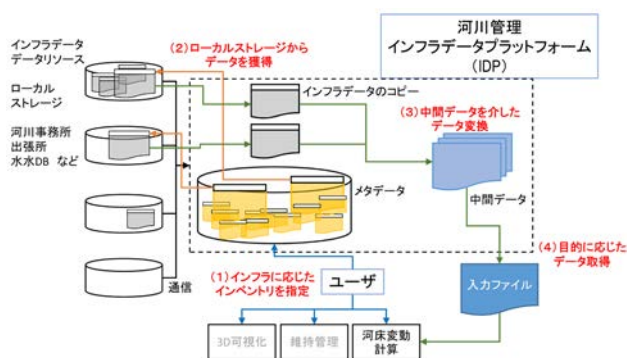


図-1 IDPを活用したデータ利用のフロー

めの具体的手法を示すことを目的とする⁵⁾。

2. 多種データをIDPで扱う手法

一般に河川分野で蓄積されているデータは厳密に規格化されておらず、データフォーマットや記録メディアは多様である。また、3D化されていないデータも多く存在する。これらのデータを直接サーバにアップロードして蓄積することはデータ容量の観点から現実的ではなく、利用したいデータの検索も困難となる。

こうした問題点を克服するために、データ分散型のIDPを提案する。データ分散型IDPでは、分散して保管されたデータ（ローカルデータ）の所在と項目のみをIDP上で管理し、ユーザーが必要とするデータへのアクセスを迅速に行えることが特徴である。ローカルデータ側では、ローカルデータの項目の作成を考慮すれば良く、新規に蓄積されるデータの項目作成についても自動化することが可能である。

IDPを活用したデータ利用のフローを図-1に示す。以下の番号と図中の番号は相互に対応している。

(1) インフラに応じたインベントリを指定

ユーザーはそれぞれのニーズに応じて利用したいデータの目録（インベントリ）を用意する。インベントリは通常用いられる術語、たとえば「水位」「流量」のような一般的な術語の集合であり、ある工学分野に共通する術語の全体集合からユーザーのニーズに応じて定まる部分集合である。インベントリの情報を基にIDPにて照合を行うことによって、必要とするデータの存在の有無を知ることができる。

(2) ローカルストレージからデータを獲得

インベントリに記述された、ユーザーに必要とされるデータを、IDPは分散されたローカルストレージから獲得する。この時点では、データ形式はローカルストレージに蓄積されているデータ形式のままであり、形式は様々である。

(3) 中間データを介したデータ変換

IDPは獲得されたデータを中間データに変換するとともに、中間データからユーザーの特定の利用目的、たとえば数値シミュレーションのための変換⁶⁾を行う。中間データは他のユーザーからも利用可能な汎用のデータであるため、オリジナルデータが M 種類、ユーザーの用途が N 種類存在する場合、変換は $M + N$ 通りで済むことが利点である。中間データを設けない場合は、データ変換が $M \times N$ 通りとなりデータ量と用途の増大に伴い破綻するため、中間データの設定は極めて重要である。中間データを経由して特定の利用目的にデータを変換する部分を、データプロセッシングプラットフォーム（DPP）と呼ぶ。

(4) 目的に応じたデータ取得

ユーザーはIDPから利用目的に応じたデータをアプリケーションプログラムインターフェース（API）を通して獲得する。

3. IDPの河床変動解析への具体的適用

前節のフローの具体例として、本研究では提案するIDPを利用した河床変動解析を行った。解析対象を以下に示す。

(1) 解析対象

本研究の解析対象エリアは、i-Construction モデル事務所の一つである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。釜無川では河道整正事業（K-119～K127）の実施計画があり、河床変動予測のために各種の協力が得られることとなったため、当該区間を含む範囲で以下の考え方にに基づきモデル化範囲を設定した。

- ・釜無川では直近の定期縦横断測量業務にてALB計測（平成30年11月～12月）が実施されており、計測範囲がK-0～K155であること（ALB測量成果を本研究で用いることにより、三次元データの利活用を促進する役割も果たす）^{7), 8)}
- ・プロトタイプの段階であり、複雑なモデルとならないように支川合流を含まない区間
- ・河道整正区間の上・下流に十分な直線区間を含むこと（助走計算区間）
- ・検証の対象となる水位観測所を含むこと

以上を踏まえ、モデル化範囲を図-2のようにK-90～K-140区間とした。

また、ALB測量の実施以降に発生した、令和元年10月の洪水を検証対象洪水とした。

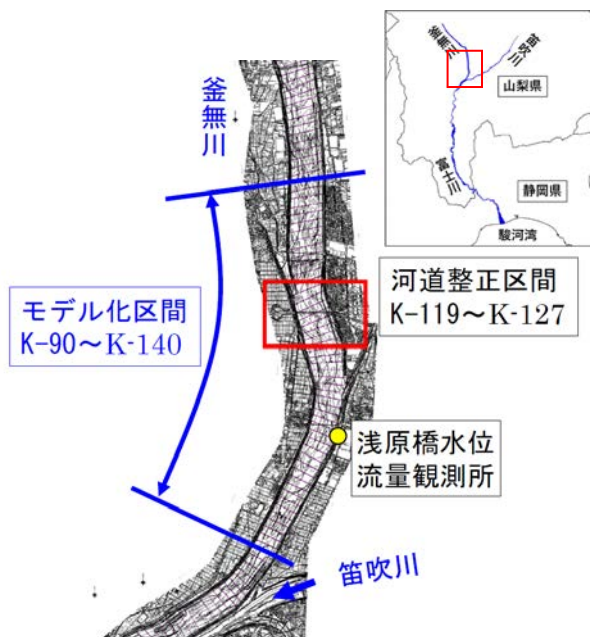


図-2 解析対象範囲

表-1 インベントリ一覧

データ	インベントリ	データ	インベントリ
定期横断測量データ	横断○ 横断面図○ 測量○ 測線× 格子×	護岸整備状況	護岸○
ALB 測量成果	計測○ 地盤○ 深淺測量○ TIN× ALB×	河床材料調査	河床○ 粒径×
河川平面図	平面図○ 水域○	河道技術会議資料	高水数○ 河川数○ 粗度×
航空写真	写真○	時刻水位データ	水位○ 時刻系単位○ 時刻表○
河川環境調査	環境○ ポリゴン×	流量観測結果	速度○ 流速○ 流量○
橋梁台帳	橋梁○	痕跡水位調査結果	水位○ 時刻系単位○ 時刻表○

(2) インベントリ

本研究のインベントリの選定にあたっては、2007年6月に建設情報標準化委員会 コード/分類体系検討小委員会から発行された、建設情報標準分類体系 (JCCS) Ver.2.0スキーマおよび基本テーブルを活用した。次頁で示す分散データに対応したインベントリの候補を表-1に整理した。(インベントリ語句の隣に○がついているものはスキーマ及び基本テーブル上に存在する語句、×は分散データは存在するがスキーマ及び基本テーブル上に存在しない語句を示す。)

(3) 分散データ

分散データは、通常は各河川事務所で管理されているオリジナルのデータであり、そのデータ形式は表-2で示すようにさまざまなものである。

表-2 分散データ一覧

種別	元データ	データ形式	利用目的・備考
地形データ	定期横断測量データ	Excel 形式	測線位置、法線設定
	ALB 測量成果	Csv 形式	地盤高設定 「H30 釜無川下流部定期縦横断測量業務」
背景データ	河川平面図	CAD 形式	モデル構築、結果表示の背景図
	航空写真	tif 形式 (オルソ)	ALB 測量と同時作成 解析モデル構築時の参考
地被データ	河川環境調査	shp 形式 (GIS)	地被状況の設定 河川環境データベース (http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/ksnkankyo/index.html)
構造物情報	橋梁台帳	CAD/pdf	移動床/固定床の設定
	護岸整備状況	CAD/pdf	不透過メッシュの設定
河床材料	河床材料調査	Excel 形式	河床材料の設定
粗度係数	河道技術会議資料	Word 形式	粗度係数の設定
水位データ	時刻水位データ	csv 形式	境界条件の設定、再現検証 水文水質データベースより
流量データ	流量観測結果	pdf 形式	境界条件の設定
痕跡水位	痕跡水位調査結果	pdf 形式	再現検証

(4) 中間データ

中間データは、分散データを基にさまざまなアプリケーションや、計算エンジンでも適用可能な汎用的な形式に変換されたデータである。本研究では、横断測量データを、汎用利用可能な (x, y, z) 形式に整理した中間データを作成した。その他の分散データについても、解析ソフトウェアに依存しないテキスト形式のファイルに各種パラメータを中間データとして作成した。

(5) シミュレーションインプットデータ

本研究ではシミュレーションモデル構築の効率化を目的としており、ユーザーがGUI上で行う作業を省力化するため、中間データをもとに、APIを通して、シミュレーションに用いる形式のデータに変換を行った。シミュレーションインプットデータは、以下の3つのファイルを必要とする。

- ・地形条件データファイル
- ・外力条件データファイル
- ・計算条件データファイル

以下に、各データの作成方法を示す。

a) 地形条件データファイル

計算格子データは、中間データで取得されている横断測線座標データから作成した。横断測線の左岸及び右岸端を縦断的に接続したデータを堤防法線データと見立てて、横断測線間を4分割、堤防法線間を40分割に当分割し、縦断方向201、横断方向41のメッシュを作成した。

計算格子データに、地被情報 (ポリゴン)、構造物情報 (ポリゴン)、地盤高情報 (DEM)、河床材料調査 (区間情報) 等の中間データから、該当する格子点またはセルにAPIを通して属性を与えた。なお、地形条件ファイルに記載されるデータは以下のデータである。

- ① 格子データ (番号 (I, J, K), 座標 (x, y, z))
- ② セルデータ (構造物), 移動・固定床, 植生密度, 植生高さ, 粗度係数, 河床材料)

図-3に格子データとセルデータの設定イメージを示す。

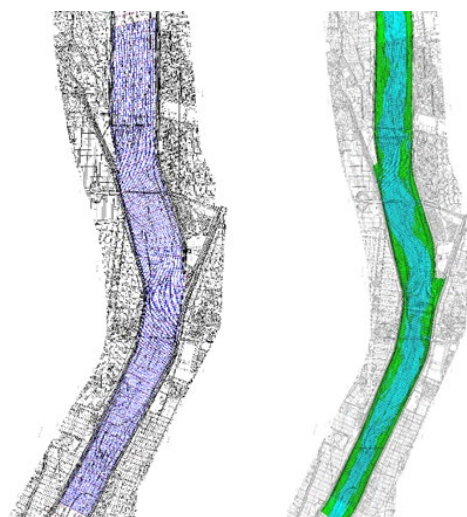


図-3 インプットデータの構築

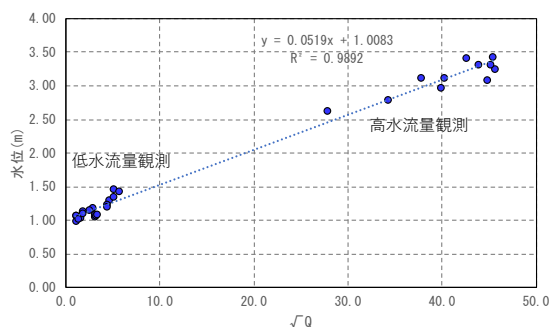


図-4 流量観測データからのHQ式作成

b) 外力条件ファイル

計算期間を設定することで、水位情報、流量情報の中間データから、APIを通して外力条件ファイルを作成する。本研究では、IDPを介して水文水質データベースの水位情報、流量情報を取得したが、流量情報は水文水質データベースに登録されるまでに期間を要するため、取得できなかった。そのため、高水流量観測データを取得し、簡易HQ式を図-4のように作成し、水位を流量に換算して図-5のような流量条件とした（なお、高水流量観測データは速報値を用いている）。

c) 計算条件ファイル

計算条件は、中間データを経由した設定した。主な計算条件を表-3に示す。

(6) 計算環境

計算環境は、以下のとおりである。

- OS : Windows10 Professional Edition
- CPU : Intel Core i7-7700 3.6GHz
- メモリ : 24GB

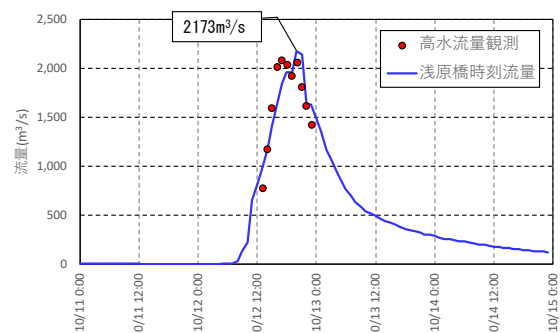


図-5 流量条件の設定

表-3 主な計算条件

	項目	設定値
ソルバー タイプ	河床変動計算	有効
	移流項の差分方法	風上差分
	河床材料の種類	混合粒径
	流砂の種類	掃流砂
	掃流砂量のベクトル式	芦田・江頭・劉の式
境界条件	乱流モデル	ゼロ方程式モデル
	下流端水位	等流計算
	上流端の流速分布	等流計算
時間条件	上流端の流砂供給の調整	無効
	タイムステップ	0.5秒
初期条件	水位計算の緩和係数	0.8
	初期水面形	等流計算
その他	水の密度	1,000kg/m³
	土粒子の水中比重	1.65
	土粒子の空隙率	0.4

シミュレーションには、4コア使用時で約6時間を要した（計算外力96時間）。

(7) 解析結果

構築した河床変動解析モデルの検証を行った。

検証対象は、ALB測量が実施された後に発生した令和元年10月12日洪水とした。

再現性の検証は、低水路粗度係数をパラメータとして、痕跡水位及び観測所水位を最もよく再現できる粗度係数を設定した（なお、痕跡水位データは速報値を用いている）。

その結果、粗度係数を $n=0.021$ とした場合、図-6の通り最も痕跡水位及び観測所水位を再現できる結果となった。縦断的な最高水位は精度良く再現されている。

水位観測所水位の再現性については、図-7の通り洪水の立ち上がり前の再現性はよくないが、立ち上がり、ピーク及び低減部は精度良く再現できている。

立ち上がり前の水位について、釜無川は図-8の通り河床の変動が激しく、中小規模の出水でも滞筋や河床高が変化するため、流量が低い部分ではその影響が大きく出ているものと考えられる。流量規模が大きくなるに従いその影響が小さくなるため、再現性が良くなっていると考えられる。

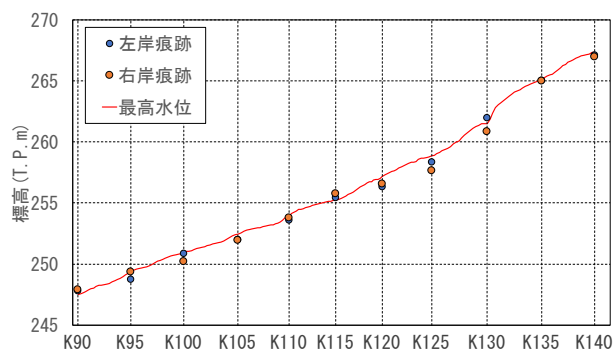


図-6 痕跡水位の再現性

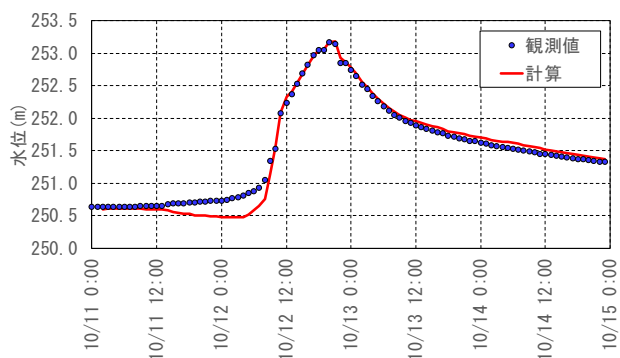


図-7 観測所水位の再現性

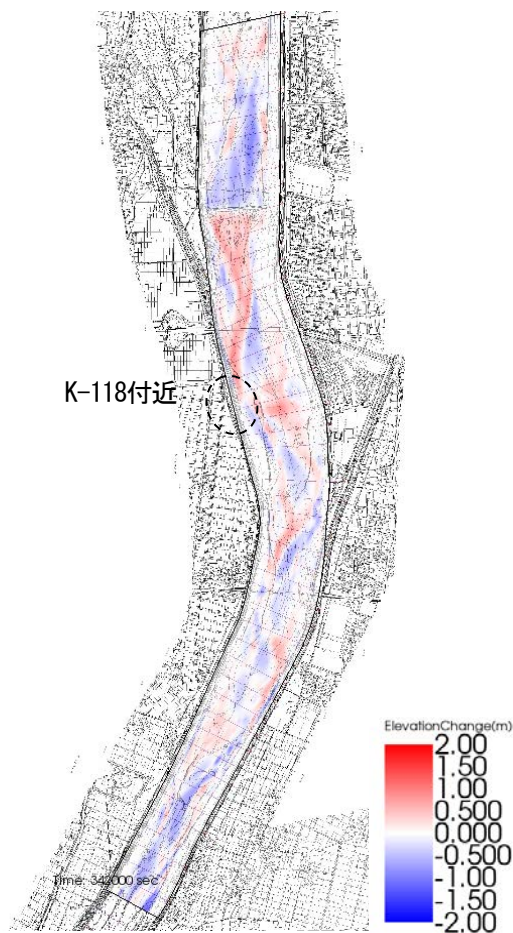


図-8 河床変動状況



図-9 令和元年洪水による被災状況 (K-118付近右岸側)

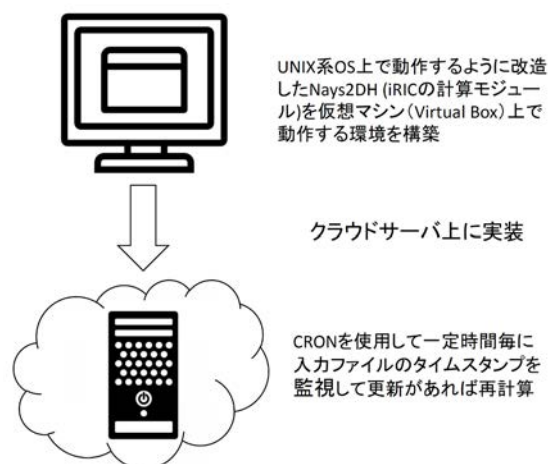


図-10 自動計算を目的としたクラウドコンピューティングシステムの構築

洪水後の地形データは未取得であるため、全体的な地形変化の検証はできないが、令和元年10月洪水において、図-9に示すようにK-118付近で河岸侵食が発生しており、河床変動解析による侵食位置と概ね一致していることが確認できる。今後、出水後の地形測量取得後に精度向上を図る予定である。

4. IDPを用いた自動計算システムによる省力化

IDPを用いることによって、計画変更や新規計測に伴う分散蓄積データの更新を自動的に検知することが可能となり、データ更新をトリガとして数値計算を自動的に起動して最新のシミュレーション結果を取得できる利点がある。図-10に示すように、本研究では解析用ソフトウェアとして広く利用されている iRIC に対して、計算を自動実行可能とするために、GUIから起動するのではなく、UNIX系OS上でのコマンドとして起動できるように改造を加え、入力データの更新が検知されると自動的に新しい計算が実行されるクラウドコンピューティングシステムを構築した。

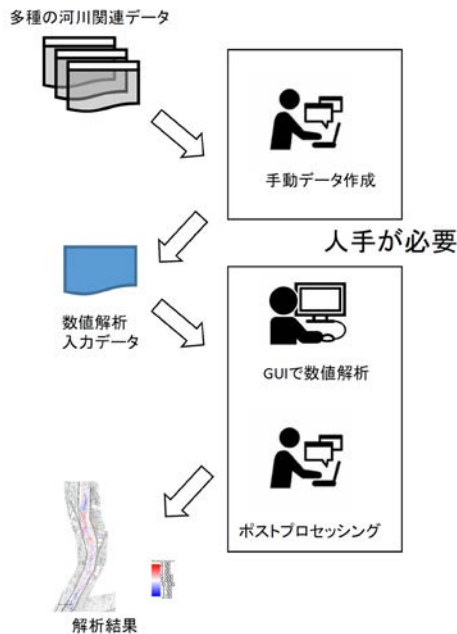


図-11 従来の数値解析のフロー

このシステムにより、設計時点における試行錯誤を予測シミュレーションと自動的に連携するフロントローディングを行うことが可能となる。さらに、図-11、図-12に示すように、従来の手法において人手を介する部分が自動化されることで、各種のシミュレーション評価における飛躍的な効率化が可能となる。

5. 結論

本研究では、各過程でのニーズに応じたインフラデータの集約・加工・提供を自動化して機能するプラットフォームの活用例を、オープンソースを用いた河床変動シミュレーションにて検討した。インプットデータとアウトプットデータの自動集約により、現状不十分な河川管理者間や内部の部署間におけるデータを一部連携させることを実現し、またシミュレーションの自動計算により解析の効率化と、調査・設計・施工・維持管理の各過程で日々生み出される多種多量のインフラデータの横断的な利活用事例を示すプロトタイプの実現した。

将来的には、河川の調査・設計・施工・維持管理の各過程で用いられるデータを自動的にやり取りし、各種シミュレーションやコストの概略評価を自動実行できるシステムである河川統合インフラデータプラットフォームを構築することが目標である。本研究で提案する自動化されたインフラデータプラットフォームを広く展開整備することで、社会基盤全体に関して、各過程をまたいだ円滑なデータ利用が実現し、客観的・合理的な社会基盤施設の総合的な経済評価を行うことが可能となるため、効率化と省力化を図り生産性の向上が期待できる。

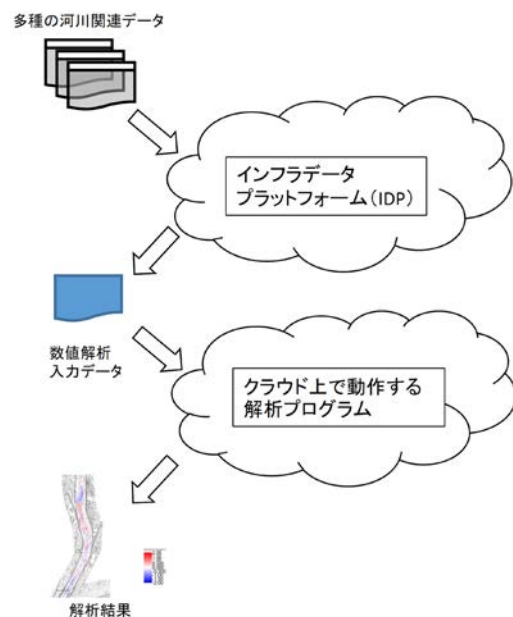


図-12 本研究の数値解析のフロー

謝辞：本論文の一部は、東京大学大学院工学系研究科「i-Constructionシステム学」寄付講座における研究として行われた。寄付講座の設立に感謝する。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の協力に感謝する。本研究は日本建設情報総合センター（JACIC）から研究費の支援を受けている。ここに感謝する。本研究におけるNays2DHの改造は株式会社RiverLinkが行った。同社の技術力に感謝する。

参考文献

- 1) 河川法令研究会編著：よくわかる河川法 第三次改訂版，2018.
- 2) 堀宗朗，壁谷澤一寿，ソバニネジャド ゴラムレザ：統合地震シミュレーションの高度化，神戸大学都市安全研究センター研究報告，第13巻，p151-p159，2009.
- 3) 堀宗朗，田中謙吾，Sobhaninejad Gholamreza，市村強，小国健二：自然災害シミュレーションのためのGISから都市モデルへの汎用的データ変換，土木学会論文集 A2，Vol.66，No.1，p1-p12，2010.
- 4) 国土交通省：i-Construction推進に向けたロードマップ2018年6月1日 第3回企画委員会資料，http://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/pdf/180601_roadmap.pdf，2018.
- 5) 大谷英之，陳健，堀宗朗：異種GISデータに記録された構造物の3D形状と属性情報の自動関連付け，土木学会論文集 A2(応用力学)，Vol. 70，No. 2 (応用力学論文集 Vol. 17)，I_631-I_639，2014.
- 6) 東京大学大学院工学系研究科「i-Constructionシステム学」寄付講座HP，<http://www.i-con.t.u-tokyo.ac.jp/>，2019.
- 7) 河川定期縦横断測量業務 実施要領・同解説，2019.
- 8) 河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)，2020.

(2020. 4. 2受付)