

二時期の ALB データを前提とする 3次元河道設計プロセスに関する検討

福嶋克武¹・麓 博史²・大槻順朗³・林田寿文⁴・河野誉仁⁵・中村圭吾⁶

¹正会員 (株) 建設技術研究所 大阪本社 河川部 (〒541-0045 大阪市中央区道修町 1-6-7)
E-mail: ktt-fukushima@ctie.co.jp (Corresponding Author)

²正会員 国土交通省 総合政策局 海外プロジェクト推進課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関 2-1-3)
E-mail: fumoto-h8311@mlit.go.jp

³正会員 博(工) 山梨大学大学院准教授 総合研究部工学域 (〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11)
E-mail: kotsuki@yamanashi.ac.jp

⁴正会員 博(環境科学) (国研) 土木研究所 流域水環境研究グループ 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地)
E-mail: hayashida-k573bs@pwri.go.jp

⁵正会員 博(工) 鳥取大学工学部助教 社会システム土木系学科
(〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4 丁目 101 番地)
E-mail: tkono@tottori-u.ac.jp

⁶正会員 博(工) (国研) 土木研究所 流域水環境研究グループ
(〒350-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6)
E-mail: nakamura-k573bs@pwri.go.jp

3次元測量やモデリング, 平面2次元河床変動解析モデルの普及により, 従来の河川設計で課題とされてきた治水・環境・景観を並行して検討することや時間変化を考慮することが可能となる. 本研究では, 二時期の ALB データを有する河川を通じて, 多自然川づくりの理念に沿った河川設計の質の向上に対する有効性や課題を検討した. その結果, 設計評価に用いるモデルが二時期の ALB データで検証可能となったことでより確からしいデータに基づいた条件設定によって河床変動モデルの高精度化を適切に図ることができる. これらは設計に対する多面的な評価において正の影響を与えるが, 一方で, 設計評価モデルの土台となる平面2次元河床変動解析の評価指標や, 環境評価における水理量の閾値の取扱いについてより深い検討が必要であることが明らかとなった.

Key Words: 3-dimensional terrain model, nature-oriented river management, river corridor design, airborne LiDAR bathymetry (ALB), BIM/CIM

1. はじめに

河道を設計する際には, 設計した河道の形状で洪水が安全に流れることができるという治水上の機能が満たされる必要がある. それだけではなく, 河道の形状が土砂の移動によって変化することや, 河道で形成される河川環境の質と量, さらには良質な景観形成や機能の持続可能性に寄与することなども含めた多面的な質の担保が求められる. 1997年の河川法改正にて, 洪水に対する安全性(治水)や水利用(利水)のみならず「環境」の観点でも河川管理を行うことが目的化, 2006年には「多自然川づくり」と呼ばれる総合的な河川管理の指針が通達され¹⁾, 2024年5月には Nature-Positive と呼ばれる生物多様

性の損失を止め反転させる国際的な動きに対応した河川管理を推進することが国土交通省から発表された. このように河川管理における河川環境の重要性は高まり続けているが, 河道の形状, 洪水や河床の変動, 求められる品質の観点どれもが複雑であることから, 実務に耐えられるよう単純化した設計と評価手法によって河道が形作られ, それにより河川環境を単純化し棄損してきた歴史がある.

一方, 河川分野では, 水底部を含めた点群データを取得可能な ALB (Airborne LiDAR Bathymetry) による測量や BIM/CIM (Building/Construction Information Management) の概念の普及²⁾, 各種設計ツールや水理・河床変動モデルの普及が進んでいる³⁾. 2019年には河川における公共測量

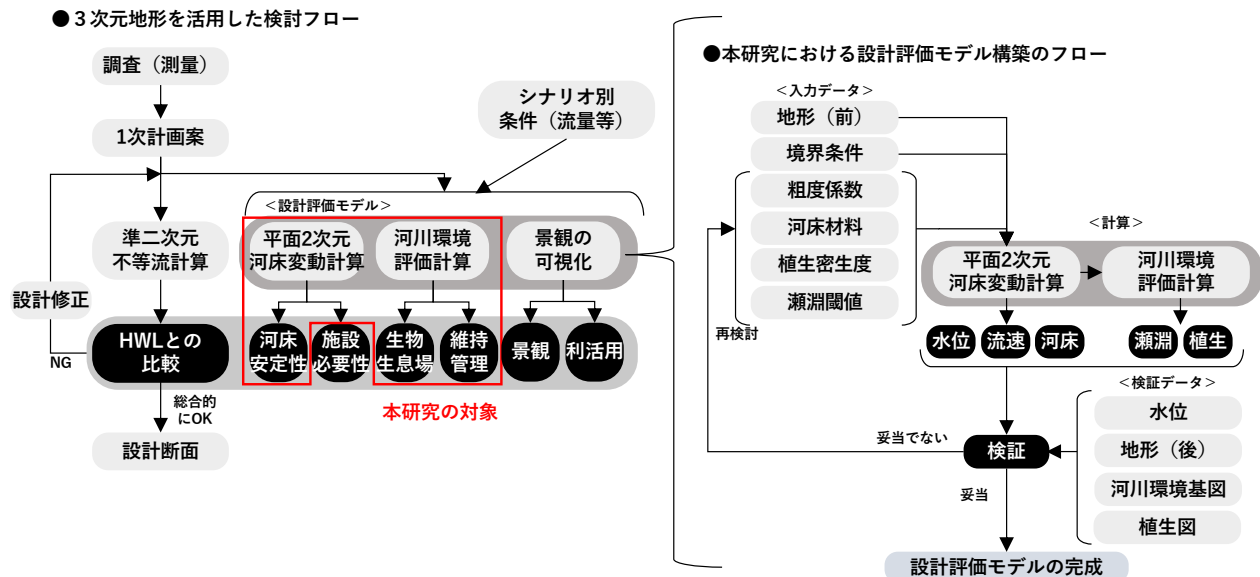


図-1 3次元地形を活用した活用フロー（左）および設計評価モデル構築のフロー（右） ※10より抜粋・追記

の手法として ALB が標準となっており、河道の形そのものを捉えた詳細な 3 次元河床地形データ（以下、ALB データと呼ぶ）が入手可能となった。

このような背景から、最新の技術を洪水防御のみならず環境整備に適用することが今一層求められている。3 次元データを河川環境評価に応用する試みは生息場の抽出等³⁾様々な面で進められているが、新たに環境を創出する設計への応用については緒に就いたところであり、大槻⁴⁾、林田ら⁵⁾、周ら⁶⁾の検討などに留まり多くない。

ALB データと平面 2 次元河床変動シミュレーションの組み合わせは、河道の地形変化の将来予測を通じて、河道の環境形成や維持管理のより正確な情報を提供する可能性がある。既往研究⁷⁾では河道の将来予測による治水、防災上の視点が重視されているが、シミュレーションにより地形や水量の変化を精度よく予測できれば、瀬（流れが浅く速い場所）や淵（流れが深く遅い場所）といった生物生息場としての環境の分布も推定可能と考えられ、設計した河道を治水・環境等の観点から多面的に評価できるようになる。

しかし、このような河道設計は、従来のワークフローとは本質的に異なる部分も多い。特に 2 次元河床変動モデルの検証方法については、この手法を展開する上で大きな障害になっている。ALB データを用いて河床変動モデルの予測精度を検討した事例⁸⁾は見られるようになっており、パラメータの調整などでより再現性の高いモデルが得られている。しかし、再現性の評価については河床変動量の分布を定性的に比較するにとどまっており、客観的で適用性のある計算精度指標での比較は行われていない。

本研究は、3 次元を前提とした河道設計のワークフロ

ーの有用性と課題の検討を行うため、二時期の ALB データが存在する実際の河川で適用し検討を行ったものである。まず、著者らが提案する河道設計で想定されるフローを示し従来の河道設計法と比較しながら利点と課題を検討した。次に、設計した河道の将来予測と評価に用いる「設計評価モデル」（図-1）の構築プロセスを具体の河川に適用した結果を示すとともに、この設計評価モデルの妥当性評価について、特に河床変動解析の評価に焦点を当て複数の手法を比較検討した。最後に、設計評価モデルの将来予測に基づく複数の掘削案を複数の観点で比較し、これらを通じて得た成果と課題をまとめた。

なお、二時期の ALB データを入力と検証に用いる場合、データの取得間隔や品質から、データが将来予測を行うモデルの検証材料となりうるかも検討課題となるが、ここでは検証材料として利用できる前提で検討を進める。

2. ALB データを前提とする河道設計プロセス

(1) プロセスの概要

（公財）リバーフロント研究所は「多自然川づくりの高度化を目指した河道の 3 次元設計ツール導入手引き（案）」¹⁰⁾（以下、手引き）を 2024 年 3 月に発刊し、ALB データを前提とした新たな河川整備のワークフローを提案している。「手引き」に示される 3 次元地形を活用した活用フローおよび設計評価モデル構築のフローの概要を図-1 に示す。ここでは掲載されている図に追記しているが、基本的なワークフローは図のとおりである。

河川分野における設計では従来、河道の断面をベースとして設計と評価がなされてきた。具体的には、①ある

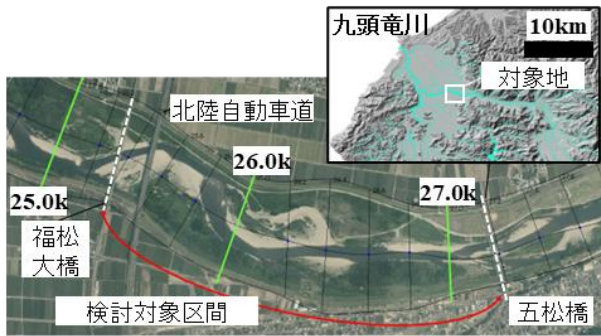


図-2 検討対象区間

間隔ごと（国交省直轄区間では概ね 200m）に河道断面を測量，②その断面ごとに設計流量を流下させられる河道断面積（河積）を図面上で設定，③1 次元計算で計画高水位（HWL）を超過しないことをもって評価するという手順である．断面測量をベースとした従来の河道設計のフローにおいては，河積見合いで断面形状を固めてから環境への“配慮”を決めており，本質的な環境形成の考慮に至らない点が課題である．また，河川で生じる土砂の堆積・侵食，植生の繁茂など時間発展で生じる現象が無視されていること，評価において環境の要素が扱われていないことが課題として指摘される²⁾．

これに対し提案するワークフローでは，ALB データを平面 2 次元河床変動計算の入力値として計算し，将来河道を予測しその結果を用いて，治水，河川環境（景觀）に係る多面的評価を簡易に実施し，治水と環境を同時並行で検討することを提案している．設計の評価に用いる河床変動モデルなどの数値モデル群をここでは「設計評価モデル」と呼ぶ．設計評価モデルは，河道で生じる現象の将来予測とその可視化を通じて，設計された河道の形状の良し悪しを多面的に評価するためのモデルの集まりである．設計評価モデルは，平面 2 次元河床変動計算モデルがベースとなる．設計河道に想定される洪水を与えて河床変動を生じさせ，得られる河床変動量，水深，流速等の水理量の分布をもとに瀬や淵などの重要な生息場の分布，維持管理に直結する植生の流出可能性など設計評価につながる指数を複数算出する．

図-1 右に設計評価モデルの構築フローを示す．本研究では汎用性の観点から，無償で利用することができる数値シミュレーションのプラットフォーム iRIC Software¹⁾ 同梱の平面 2 次元河床変動解析ソルバ Nays2DH および環境評価ソルバ EvaTRIP Pro を用いて設計評価モデルを構築する方法を示す．Nays2DH は，河川における流れ，河床変動，河岸侵食の計算を行うために開発された，一般曲線座標を用いた非定常平面 2 次元流れと河床変動計算の解析用ソルバであり，河道の複雑な形状に適合した解析が実施でき実地適用事例も多い．EvaTRIP Pro は，

Nays2DH から得た水深と流速の予測結果を用いて様々な評価値を算出でき，瀬淵の分布や，河床材料粒径と掃流力をベースとした WOI 指標¹²⁾により植生の流失可能性判定が可能である．

設計評価モデルは，後述(2)に示すように，妥当性が検証される必要がある．妥当性が検証された後，そのモデルに将来シナリオを入力して将来予測を実施し，設計した河道形状が治水・環境・景觀へ与える影響を評価する．手引きでは，ゲームエンジンなどの高度な 3 次元可視化ソフトウェアを用いた景觀検討が提案されているが，本研究では景觀に関しては取り扱わない．

シナリオとして与える流量については，「手引き」では，事例として平均年最大流量相当を複数回与える例，整備計画流量を用いる例，近年の主要洪水を与える例を紹介しているが，定説はない．

(2) 設計評価モデルの妥当性評価

よりよい設計の評価のためには，得られるデータの条件下で，設計評価モデルの予測の妥当性を高める必要がある．特に時間発展を扱う河床変動計算では，実測データによる検証や計算の入力値の精緻化が重要となる．

入力データについては，初期条件となる地形データに加え，粗度係数や植生抵抗（植生密度），河床材料等のパラメータと流量等の境界条件があり，得られるデータに応じてこれらを適切に設定する必要がある．その後，計算を実行し，水位，流速，河床高，瀬淵と植生流失の分布予測を得て，検証データを用いて構築したモデルの妥当性を判断する．検証データには，水位や地形データ，瀬淵の形成には河川環境基図，植生流失には植生図が利用できる．

モデルが妥当であれば設計評価モデル構築完了となり，妥当でなければ，パラメータの再調整を行う．上記の手順で設計評価モデルを構築することが基本となるが，河床変動計算の妥当性を測る標準的な指標や目安については知見が乏しく「手引き」でも具体的な手法は明示されていない．そこで本研究では新たに河床変動の妥当性を評価する指標を比較検討した．

3. 設計評価モデルの構築

(1) 対象地とモデル構築に用いたデータ

図-2 に示す一級河川九頭竜川中流部，河床勾配約 1/290 のセグメント 1 に該当する区間を対象とする．ここには 2016 年および 2020 年の二時期の ALB の測量成果が存在する．本対象地で用いることの可能だったデータの一覧を表-1 に示す．

河床材料については，①河川整備基本方針策定時に用

表-1 設計評価モデル構築に用いるデータ

項目	データ
地形	ALB データ (2016.12: 初期条件, 2020.9: 検証)
流量	2017~2020 における実績 4 波形 最大流量 $Q_{max}=2,118\text{m}^3/\text{s}$
粗度係数	河川整備計画策定時に用いられた値
河床材料	分布無: ①基本方針策定時調査結果 (1967: 11 地点) 分布有: ②調査結果 (2010~2012, 2015, 2016: 69 地点) + ③筆者追加現地調査結果 (2023.4: 2 地点)
植生抵抗	河川水辺の国勢調査 (2020) 河川環境基図・植生図 (この情報を基に植生密度を付与)
瀬淵の分布	河川水辺の国勢調査 河川環境基図 (2020) オルソ画像 (2020), ALB データ (2020.9)

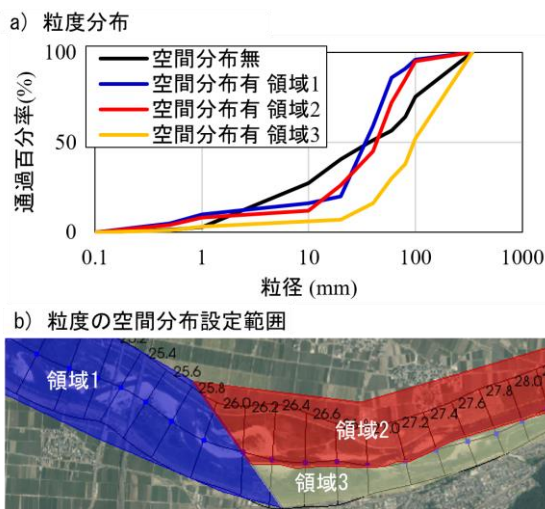


図-3 設定した粒度分布と空間分布の設定範囲

いられた 1967 年の検討対象区間全体に渡る粒径分布 (代表粒径 $D_{50}=73\text{mm}$) および, ②2010 年~2016 年に調査された 200m 区間ごとの調査結果がある. ①のデータについては対象区間上流に堰が整備される以前かつ 40 年以上前のデータである. これに加え, ③著者自身による追加の河床材料調査データがある.

河川の生息場環境および植生については, 河川水辺の国勢調査の河川環境基図および植生図 (2020 年調査) が存在する. 瀬淵の空間分布の検証には河川環境基図を, 植生図は植生流失の評価の検証に利用できる. 留意点として, 水辺の国勢調査は 5 年ごとに調査が実施される点, 目視での調査であり水量と関連付けた判別ではない点がある. 本研究では河川環境基図のデータをもとに, 直近のオルソ画像と ALB データから得られる水深で瀬淵の分布を補正したデータを検証用として別途準備した.

流量については近傍の中角観測所の実績流量, 平均年最大流量, 河川整備計画流量を用い, 下流端水位については等流水位として与えた.

(2) 対象地での設計評価モデルの構築

本研究では図-1 に赤線部で示す, 河床変動量, 瀬淵の分布 (環境), 植物の流失範囲 (維持管理) および掘削土砂量の 4 項目に限定し, 特に, 河床変動解析部分について中心的に検討する. 河床変動解析では, 前時期 (2016.12) の地形から後時期の地形 (2020.9) を推定するモデルを構築し, その再現性を確認することで妥当性を検証する.

河床変動計算では, 現地の粒度の粗さから混合粒径で掃流砂のみを考慮することとした. メッシュサイズについては, 解析安定性, みお筋 (平時に水が流れる河道内の深い場所) の幅, 総メッシュ数, 計算コストを考慮し, 縦横断共に 10m を目安に設定した. 境界条件としては, 二時期間 (2017-2020) における実績の年最大流量 4 波形を抽出して与え (最大流量 $Q_{max}=2,118\text{m}^3/\text{s}$), 下流端水位は流量見合いの等流水深を与えた. その他, 粗度係数については, 河川整備計画策定時に用いられた値 (0.035) を一様に与えた. 植生分布については, 河川水辺の国勢調査の河川環境基図をもとに草本・木本で分類し密度の空間分布を与えた.

河床材料については, より現実に近い値を設定することの効果を確認する目的で, 2 つのデータを用いて比較した. 一つ目 (分布無, と呼ぶ) は, 河川整備計画において設定されている代表粒径を, 前述①を区間一様に与えた場合である. もう一つ (分布有, と呼ぶ) は, ②をベースに③で補正して最新の状態でできるだけ近づけたもので, ②と③の結果が大幅に異なった領域 3 (図-3) を最新の現地調査結果から③のデータに置き換えたものである.

4. 設計評価モデルの妥当性評価

(1) 河床変動量

再現計算で得られた河床変動量の解析結果を図-4 に示す. 図中 a) は, ALB データから得た実測の河床変動量, b) は, 前述①の区間全体に一様の「分布無」の解析結果, c) は前述②③を組み合わせた「分布有」の解析結果となる. 結果を比較すると, 「分布無」の場合, 河床変動量の絶対値が実測値よりも小さく, 粒度の空間分布有の場合の方がみお筋位置の侵食, 砂州での堆積量が実測値により近く見える. 表-2 に示すように領域全体の河床変動量の二乗平均平方根 (RMS) は実測と 2 つの解析それぞれで, 0.582m, 0.241m, 0.443m であり, 粒度の空間分布を考慮した場合の方がより差が小さいことが分かる. 図-5 は, 2 つの解析で河床変動量の実測値と解析値を比較したものである. これより, 両者とも観測河床変動量の絶対値が大きいほど誤差 (45 度線との差) が大きく, 侵食・堆積の生じやすい砂州前縁, 後縁や流路変動が生

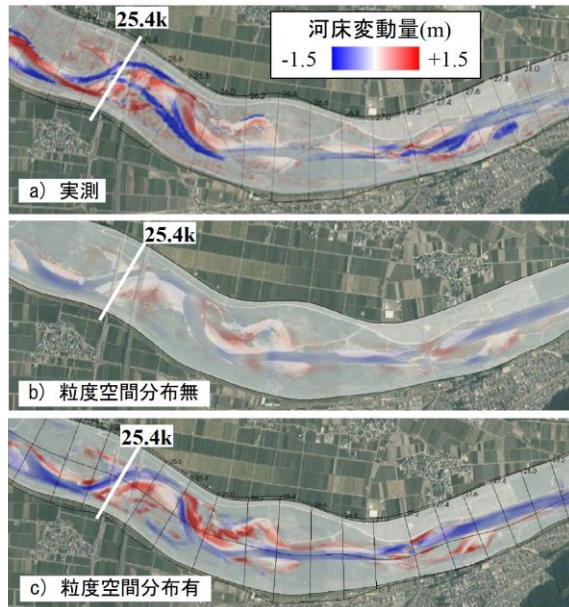


図-4 実績洪水波形(2016-2020)を用いた再現計算結果

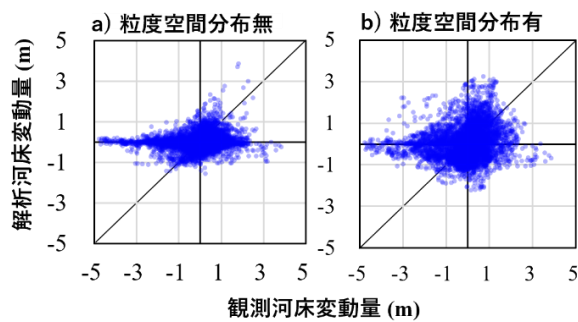


図-5 河床変動量の実測値と解析値の分布

表-2 河床変動量解析の精度に関する指標値の比較

		粒度		
		現況	分布無	分布有
河床変動量 RMS (m)		0.582	0.241	0.443
(0内は現況に対する差分)			(-0.341)	(-0.139)
河床変動量の解析値に対する RMSE(m)			0.589	0.669
傾向正解率 (閾値:0.5m)	侵食		10%	28%
	堆積		15%	35%
	平衡		96%	87%

じやすいみお筋付近での誤差が大きいことが分かる。また、「分布無」の場合、侵食・堆積が大きい箇所では解析河床変動量が0に近く解析上侵食・堆積が起こっていない箇所が多くみられる。これに対し、「分布有」の場合、この傾向が弱まるが、実測で侵食・堆積がない横軸0付近での誤差が大きくなっている。

表-2に領域全体での河床変動量の解析値に対するRMSEと、河床変動量+0.5m以上を「堆積」、-0.5m以下を「侵食」、それ以外を「平衡」に変動傾向を区分した

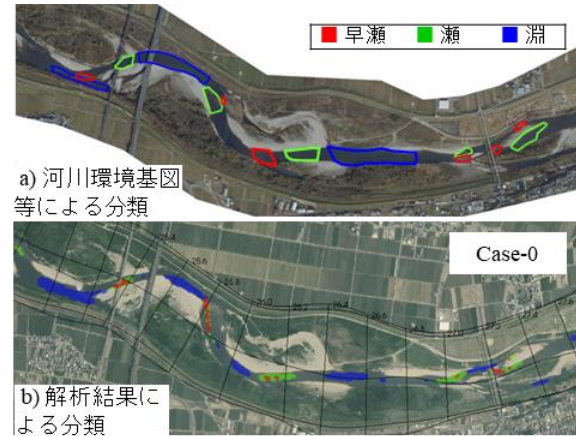


図-6 現況河道における瀬淵評価の閾値の検証

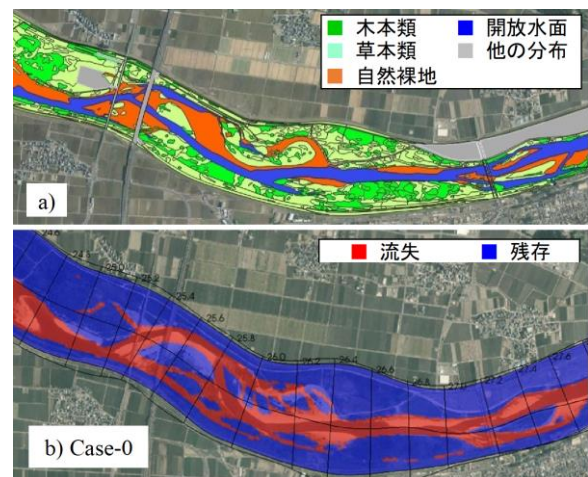


図-7 植生の流失可能性による再現

場合の、解析値の正解率(解析での判別セル数/実測での判別セル数)を示す。これより、侵食・堆積の傾向正解率は、「分布有」の場合20%ほど向上していることから、領域全体の侵食・堆積傾向の再現性が高まったことが分かる。一方、RMSEは粒度の空間分布無の方が0.08mほど小さく、この指標ではこちらのほうが高精度と判定される。

以上の検討から、環境・景観評価を実施する上で重要な領域全体の侵食・堆積傾向の再現性が高まった「分布有」を設計評価に用いるのが合理的と判断された。

(2) 瀬淵の分布と規模

平水時の現況河道における瀬淵評価の閾値を検証する。先述の河川環境基図(2020)の情報をオルソ画像とALBデータ(2020)で補正した分類結果を検証データとし(図-6a)、ALBデータ(2020)を地形条件とし平水流量を与えた計算結果に対して検証データになるべく整合するよう、分類閾値となる水深 h [m/s]、流速 v [m/s]を決定した。結果、瀬： $h \leq 1.7$ かつ $1.9 \leq v < 2.3$ 、早瀬： $h \leq 1.7$ かつ $2.3 \leq v$ 、淵： $h \geq 1.7$ かつ $v < 1.9$ となった。

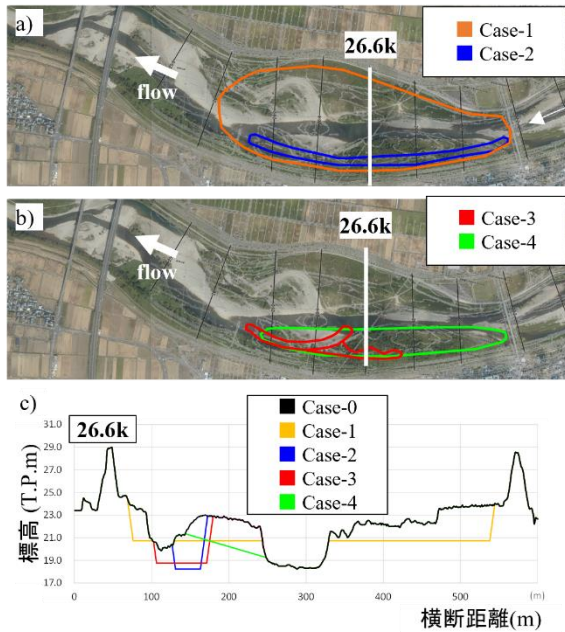


図-8 ケーススタディで検討した設計案の概略図
a-b)平面図, c)横断面図

表-3 解析ケース一覧

Case 名	河道	計算条件
現況	Case-0	ALBデータ (2020.9)
設計河道	Case-1	平均年最大流量 (5 波形, $Q_{max}=1,558 \text{ m}^3/\text{s}$)
	Case-2	最大限掘削
	Case-3	整備計画流量 (1 波形, $Q_{max}=5,442 \text{ m}^3/\text{s}$)
	Case-4	副流路
		副流路+ワンド
		傾斜掘削
		平水流量 ($Q=80 \text{ m}^3/\text{s}$)

図-6a)はオルソ画像の判読及びALBデータから水深算出による結果, b)は解析結果による瀬淵の分布位置を示している. これより, 領域全体で概ね瀬と淵の位置と規模を捉えており, 特に淵の推定精度は良好である. 瀬については早瀬の位置が20mほど異なる箇所が見られた. この差は計算メッシュが10mであることを考慮すると必ずしも大きな差とも言えない.

(3) 植生の流失

植生の流失可能性による, 実績の年最大流量4波形を与え, 2020年のピーク時における現況河道の再現性を検証した. 図-7a)の植生分布図における開放水面(青)と自然裸地(オレンジ色)と, 同図b)の植生流失判定結果での流失と判定された範囲(赤)を比較すると, 両者は概ね整合した.

5. 設計評価モデルを用いた設計案の相互比較

(1) 比較検討する設計案

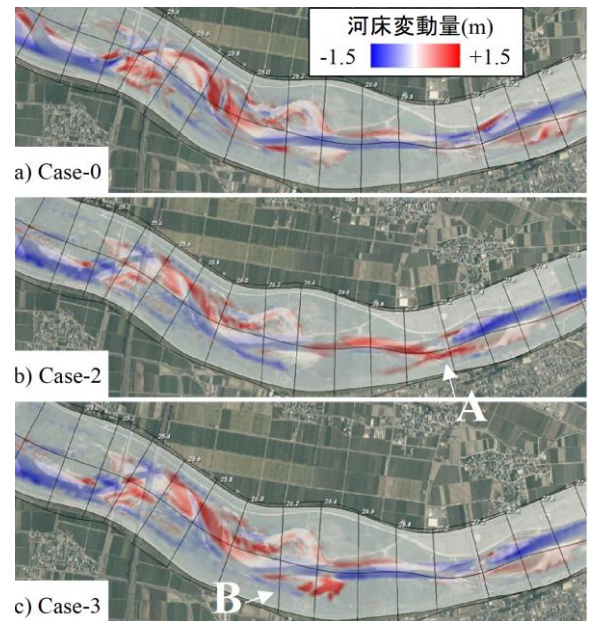


図-9 平均年最大流量条件下での河床変動量の解析結果
a) Case-0, b) Case-2, c) Case-3

比較評価する仮想の河道設計案を図-8および表-3に示す, 比較検討する設計案は方向性が異なる. Case-1は治水の観点から砂州を全体的に掘削する案, 環境(瀬淵)の観点から, Case-2は砂州上に副流路状の掘削を行う案とCase-3はワンド(入り江状の止水域)を設ける案, Case-4は維持管理(植生の流出可能性)の観点から傾斜をつけて掘削する案とした. これらには, 仮想の検討として, 九頭竜川でカマキリ *Rheopresbekazika* (地方名アラレガコ) の生息地保全のために設定されている河床の掘削敷高制限(平水位+50cm)を超えたものもあるが, あくまで仮想的な検討であることに留意されたい.

対象外力は, 現況河道の地形条件に対し, 平均年最大流量5波形または整備計画流量1波形を検討流量として与え, さらに平水流量を与えた条件において瀬淵の形成状況を確認した.

(2) 個別要素の相互比較

a) 治水評価

各ケースにおける整備計画流量流下時の水理解析結果は, 現況河道, 設定した設計河道の各ケースにおいてもHWLを下回っていることが確認できた. ここでは詳細は割愛する.

b) 河床安定性(河床変動量)

各検討ケースによる河床変動量の分布を示したものが図-9である. ここでは, 新たに掘削する副流路や新設ワンドの閉塞の可能性を検討するため, Case-2(副流路), Case-3(副流路+ワンド)のみ掲載する. これを見ると,

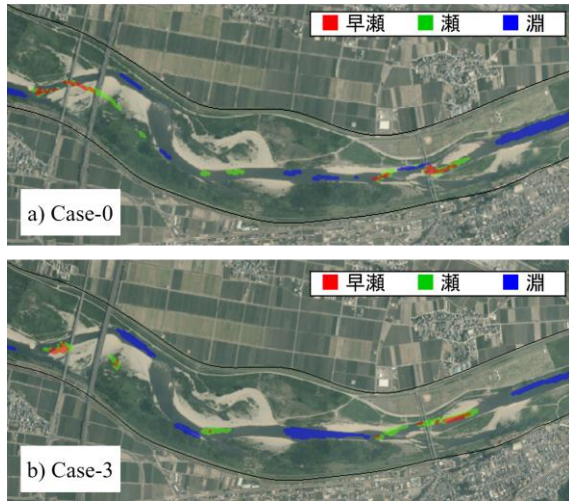


図-10 平均年最大流量流下時の瀬淵の分布評価結果

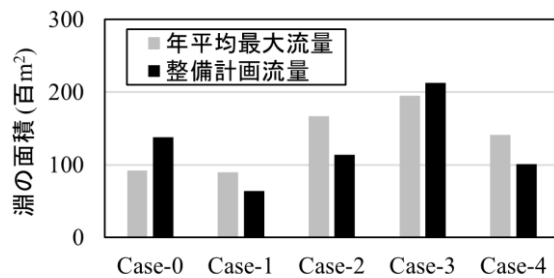


図-11 各検討ケースおよび入力流量に対する淵の面積の比較

Case-2 では 27.0~27.2k において掘削した左岸側の副流路に土砂が堆積し副流路の閉塞が生じた (図-9 図中 A) . 一方で, Case-3 では 26.4k において副流路に堆積するものの新設したワンドには影響が及ばないことが確認できた (図-9 図中 B) . 検討対象区間における河床変動量の総和を比較すると, Case-3 が最小であった.

c) 生物生息場 (瀬淵の形成)

平均年最大流量 5 波形を与えた計算ケースから瀬淵の形成状況を検討した結果を図-10 に示している. これより, Case-3 (副流路+ワンド) では, 副流路とワンドを新たに創出することで, 当該エリアでは堆積エリアの拡大に伴う水深の低下, 上流側では流速の低減が確認できた (図省略) . 加えて, 瀬および淵の面積が他よりも広いことが示された. 図-11 に示すのは河川整備計画流量を与えた計算ケースにおける対象区間内の淵の面積の総和を比較している. これより, 同じ河道ケースでも対象流量によって淵の面積が異なる場合がある. Case-1, 2, 4 では, 規模の大きい整備計画流量を与えた場合の方が淵の面積がより小さくなっている. 一方 Case-3 で淵の面積が増加し, 大規模洪水を受けても淵の面積を減少させることなく維持することが可能であることがわかった.

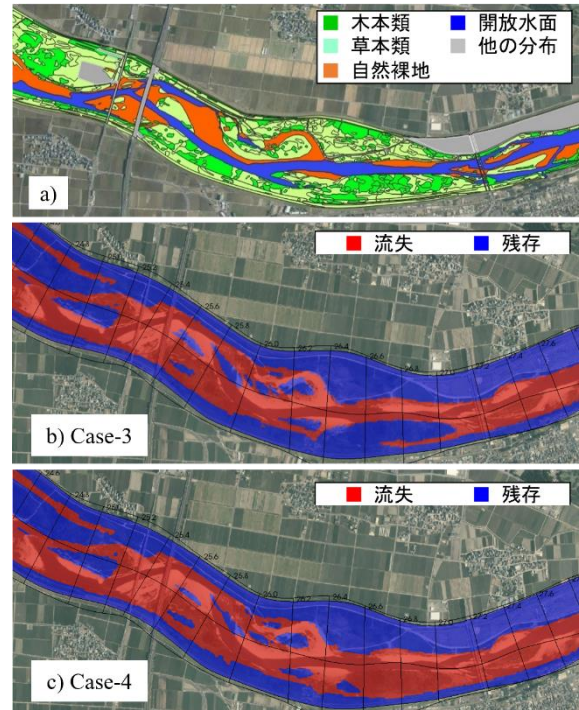


図-12 a) 河川環境基図を元にした植生分布および b-c) 平均年最大流量時の植生流失評価結果

d) 維持管理 (植生の流失可能性)

図-12 は, 現況の植生分布 (同図 a)) および植生流失の判定結果を示している. 同図 b) の Case-3 (副流路+ワンド) の結果では, 自然裸地の箇所において赤で示される流失可能性が高くなっている. また, 同図 c) の Case-4 (傾斜掘削) では Case-3 に比べて流失可能性範囲が拡大した. これは, 周辺地形に合わせ 1/50 の傾斜をつけて掘削しているため, Case-3 に比べて掘削部の洪水時水深が大きいこと, 掘削範囲が広く植生抵抗が除去されたことで流速が増大し, ピーク時の掃流力が増大したことが要因と考えられる. 平均年最大流量で植生流失範囲となる箇所は, 洪水による植生流失が見込めるため樹木伐採等の河道の維持管理の省力化を期待できる.

(3) 総合評価

ここまでの検討項目を比較したものが表-4 となる. これより多くの項目で Case-3 の優位性を見て取れる. 実際の河道設計ではその他の観点も勘案して設計を決定することは当然としても, 従来の河道設計を多角的に評価することは難しかった中で, 二時期の ALB データと設計評価モデルの活用で掘削量, 河床変動量, 瀬淵や植生流失を定量的に評価し, 定量的な比較検討が容易になった.

以上より, 新しい情報に基づいて粒度分布に空間分布を与えて初期条件の精緻化を行うと計算モデルの予測精度が向上することがわかった. 二時期の ALB データの存在は, 計算モデルの妥当性を評価できるという点と,

精度検証により精緻な情報を活用できるという点で重要である。

6. 検討から得られた成果と課題

(1) 得られた成果

本研究では、多自然川づくり技術の向上を念頭に河川整備の3次元技術化の有効性や推進に係る課題を抽出することを目的とした。3次元データ、3次元ツールを前提とした3次元川づくりの想定ワークフローについて概略を示し、二時期のALBデータが整備された河川を対象としたケーススタディを実施し、上記のワークフローに沿ってその有効性を議論した。

(2) 課題

得られた課題は主に2点である。一つは、二時期のALBデータにより河床変動計算の検証が可能となったものの、適切な精度指標が定まっていない点である。検証用のデータと比較しながら計算パラメータを調整することで、より再現性の高いモデルを得ることができることを本研究で確認した。しかし、調整後のモデルは指標によっては精度の高まりを示さなかった。平面2次元河床変動計算に関する研究は膨大に存在し、ALBデータを用いた事例も見られるようになってきたものの、統一的な計算精度指標は著者らが知る限り提案されていない。公共測量では、品質保証として誤差の最大値を制限する方法が取られることが多いが、河床変動計算ではみお筋付近では局所的に実測値との差分値が非常に大きくなりやすいため適切ではないかもしれない。また、竹林ら¹³⁾の検討では、網状河川では初期条件で与えるわずかな地形の違いで解析結果が大きく異なることを示されており、モデル上の問題がなくても解析の再現性を確保しにくい条件の場合もある。解析する河川の条件や解析期間の長さにも依存する難しい課題であるが、実務的な検討を積み重ねることで、適切な精度評価指標を検討する必要がある。一つの方向性として、本検討で示したような複数の精度指標を組み合わせることが重要だろう。

もう一つは、瀬淵を分類する妥当な閾値についての点である。検証するデータが必ずしも物理量と紐づいていないため、どの範囲内で閾値を設定することが妥当かという問題が生じる。これに対しては、実測に基づいた生息場と流れの関係性の知見が蓄積されることが、妥当な閾値を定めるのに役立つ。ただし、瀬や淵の水深、流速は、河川のサイズにも依存するため、すべての河川で同一の値を適用することは合理的ではない。そのため、河川に応じた値を抽出する方法の検討が課題となる。

表-4 設計した河道のケース別総合評価

Case	Case-0	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4
掘削量 (千 m^3)	0	592.9	148.9	96.0	178.3
河床変動量 (百 m^3)	384.9	570.5	474.7	258.4	470.6
淵(百 m^2)	92.0	90.0	167.0	195.0	141.0
瀬(百 m^2)	126.0	88.0	143.0	159.0	143.0
早瀬(百 m^2)	73.0	31.0	32.0	58.0	35.0
植生流失可能性(百 m^2)	4,953.0	7325.0	5699.0	5422.0	6091.0

*平均年最大流量5波形での検討

7. おわりに

本研究では、二時期のALBデータを用いることで、現況河道のポテンシャルを正しく把握する設計評価モデルを整備でき、対策の効果を多角的かつ定量的に評価できることを示した。データの充実化により一対でデータが揃う河川も今後増える見込みである。このプロセスは河川整備においてNature-Positiveな判断を支援するだろう。今回は河床変動量、瀬淵の分布と規模、植生の流失について検証したうえで設計案を評価したが、今後、3次元河道設計を展開していく上で、解析する河川の河道特性や解析期間の長さにも依存することから、評価する目的に応じて評価指標を定めることが必要である。

謝辞：国土交通省 近畿地方整備局 福井河川国道事務所にはご指導及び多くのデータをご提供頂きました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中村圭吾, 林田寿文, 大槻順朗, 小林一郎: 河川 CIM (3次元川づくり) の考え方と標準化に向けた取り組み・課題, 月刊誌「河川」, 3月号, pp. 41-45, 2020.
- 2) 大槻順朗, 林田寿文, 中村圭吾, 萱場祐一: 中小河川研究と多自然川づくりの深化, 土木技術資料, 第60巻11号, pp8~13, 2018.
- 3) 森本洋一, 鈴木敏弘, 槇島みどり, 中村圭吾: 点群データを用いた瀬・淵の定量的な抽出に向けた研究, 河川技術論文集, 第30巻, pp. 47-52, 2024.
- 4) 大槻順朗: 河川 CIM/3D ベースの河川設計・管理の実践的アプローチ, 機関誌「環境管理」, 第51号, pp. 36-43, 2022.
- 5) 林田寿文, 河野誉仁, 森照貴, 中村圭吾: 河川 CIM に貢献する3次元の多自然川づくり支援ツールの開発と普及, 河川技術論文集, 第29巻, pp. 67-72, 2023.
- 6) 周月霞, 吉武央気, 東海林太郎, 森下祐, 小河健一郎, 堀江隆生, 関谷雄大, 中村洋平, 河野誉仁, 林田寿文: 3次元河道設計ツールを用いた治水・環境

- の一体的検討の試行～雲出川直轄区間を例として～, 河川技術論文集, 第 28 巻, pp. 205-210, 2022.
- 7) 藤原圭哉, 佐藤誠, 山下千智, 黒田直樹, 亀田敏弘: 3D データと河床変動解析を活用した河川分野におけるデジタルツインの実現に向けての提案, AI・データサイエンス論文集, 5(1), pp.126-133, 2024.
 - 8) 山口華徳, 吉田圭介, 前野詩朗, 間野耕司, 赤穂良輔, 西山哲: ALB による河道地形の再現性向上に伴う河床変動解析の改善効果の検討, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 74(2), I_465-I_474, 2018.
 - 9) 秋田麗子, 西口亮太: 洪水前後の河道三次元データを用いた今後の河道管理手法の提案, 河川技術論文集, 第 30 巻, pp. 299-304, 2024.
 - 10) 公益財団法人リバーフロント研究所, 多自然川づくりの高度化を目指した河道の 3 次元設計ツール導入手引き (案), 2024.
 - 11) iRIC HP: <https://i-ric.org/ja/>
 - 12) 田中規夫, 八木澤順治, 福岡捷二: 樹木の洪水破壊指標と流失指標を考慮した砂礫州上樹林地の動態評価手法の提案. 土木学会論文集 B, 66(4), 359-370, 2010.
 - 13) 竹林洋史, 江頭進治, 岡部健士: 網状流路の時空間的な変動特性, 水工学論文集, Vol. 46, pp.737-742, 2002.1

(Received June 30, 2024)
(Accepted August 31, 2024)

Study on the 3D river channel design process based on two periods of ALB data

Katsutake FUKUSHIMA, Hiroshi FUMOTO, Kazuaki OHTSUKI,
Kazufumi HAYASHIDA, Takanori KONO and Keigo NAKAMURA

With the spread of 3D-based technologies in river surveying, design, and evaluation, it is now possible to simultaneously consider flood control, the environment, landscapes, and utilities. This will bring solutions for issues in conventional river design, where the environmental aspect is often set as secondary to flood control measures. We conducted a case study to examine the practical efficacy and issues involved with using 3D technologies in a river holding a couple of fine-resolution topographic datasets. Through our study, we identified that they are helpful for building a reliable model set and supporting the introduction of more realistic calculation conditions, such as spatial grain size distribution. However, this approach brings not only better reproducibility but also additional concerns, such as the need to adjust riffle-pool segmentation parameters.