

ゲームエンジン等を活用した川づくりと ICT施工を見据えた河道設計の試行

GAME-ENGINE UTILIZATION FOR RIVER PLANNING
AND RIVER DESIGN TRIAL FOR FUTURE ICT-CONSTRUCTION

池上龍¹・澤海人²・杉本博幸¹・堀江克也³・藤崎大樹⁴
Ryo IKEGAMI, Kaito SAWA, Hiroyuki SUGIMOTO, Katsuya HORIE and Daiki FUJISAKI

¹非会員 いであ株式会社九州支店河川水工部（〒812-0055 福岡県福岡市東区東浜1-5-12）

²非会員 いであ株式会社九州支店技術生態部（〒812-0055 福岡県福岡市東区東浜1-5-12）

³正会員 いであ株式会社社会基盤本部国土保全事業部河川部（〒158-0094 東京都世田谷区玉川3-14-5）

⁴非会員 九州地方整備局川内川河川事務所調査課（〒895-0075 鹿児島県薩摩川内市東大小路町20-2）

近年、計画から施工データ作成までの工程におけるデータ不連続性を解消するため、ゲームエンジンやiRICソフトウェアなどを活用した検討ワークフローが提案されている。また、iRICソフトウェア等の川づくり支援ツールを活用して治水・環境の一体的な河道設計が試行されており、その有効性の確認や課題が報告された。しかしながら、これらツールを複合して活用した一連の検討フローを実河川において適用した事例は少ないため、一級河川の川内川の菱刈地区を対象として、その有効性の確認などを行った。

ゲームエンジンの活用により、目標とする川づくりのイメージ共有を図ることができ、iRICによって治水面・環境面及び維持管理面の多面的な観点を評価した河道設計が実施できた。また、一連で同じ三次元データを用いることで効率的な検討が可能となること、ICT施工への受け渡しにおける留意点を確認した。

Key Words: game-engine, iRIC-software, 3-D river channel design, environmental consideration, river channel management

1. はじめに

河川CIM標準化検討小委員会¹⁾は、三次元設計における技術のあい路の解消のため、三次元データを活用して河川の計画から設計・施工までの過程を一連で行うことや、河川技術者が実務で活用するための、治水と環境が一体となった検討ワークフローを提案している。また、福岡²⁾は、多自然川づくりの高度化を目指した河道の三次元設計を導入するために、治水面や維持管理面、河川環境面、景観面に配慮した検討フローや、汎用的なソフト(iRICソフトウェア等)を用いた検討プロセスの導入について提案している。さらに、周³⁾らは、その有効性の確認や留意点、課題を抽出することを目的に、三次元設計ツールを実河川に試行的に導入した。このほか、国土交通省九州地方整備局では、ゲームエンジンを用いたメタバース(仮想空間)での川づくりが実施され、かわまちづくりの説明会では地域住民とのイメージ共有を図るツールとして活用された⁴⁾。

このように、三次元データを用いた川づくり検討を行う上でゲームエンジンやiRICソフトウェアの活用が近年進められているが、これらのツールを複合して活用し、さらにICT施工データまで作成する一連の過程を実河川に適用した事例は少ない。そこで本稿では、これまでに提案された川づくりの検討ワークフローを参考に対象区間に落とし込んだ具体的な検討フローを作成し、ゲームエンジンとiRICソフトウェアを複合的に活用しながら、計画から施工までの一連の過程を実河川で適用した結果について報告するものである。

2. 対象区間と具体的な検討フロー

(1) 検討対象河川

検討対象河川は、一級河川の川内川の菱刈地区とした。川内川流域は、鹿児島県北部を東西に長く帯状を呈し、川内平野を貫流して薩摩灘へ注ぐ、幹川流路延長137km、流域面積1,600km²の一級河川である。

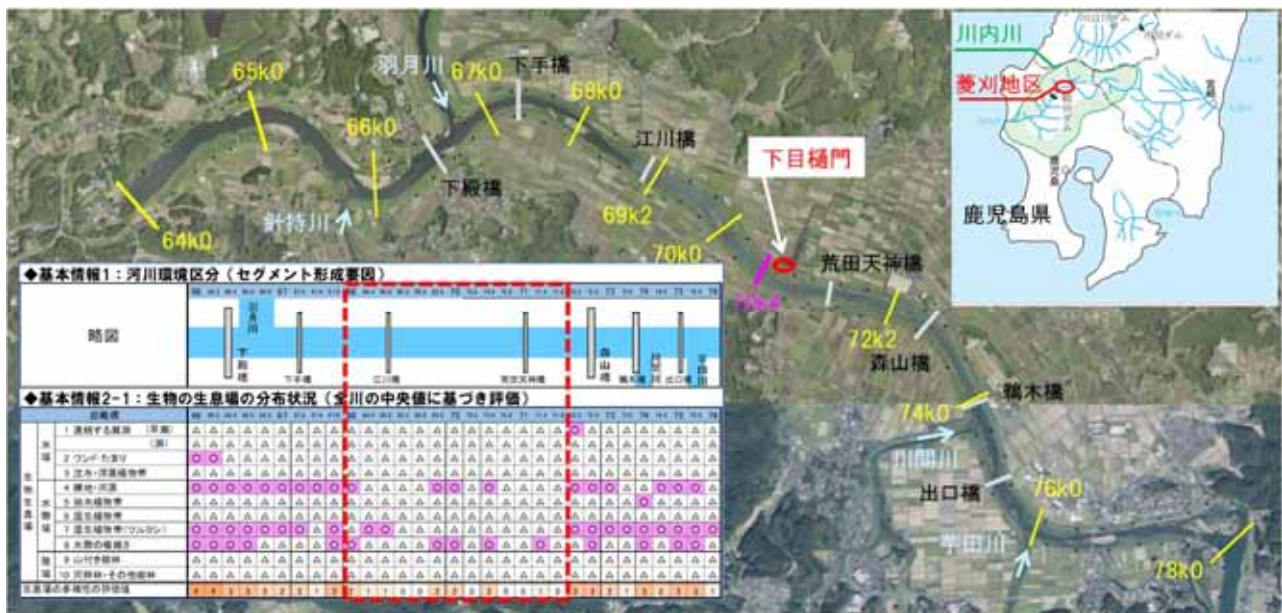


図-1 川内川（菱刈地区）の概略平面図（位置図，河川環境管理シート）

川内川の菱刈地区（図-1）は、H18.7洪水で甚大な被害が発生し、激特事業の対象となった地区である。現在、整備計画目標流量をHWL以下で安全に流すための河道整備を推進しており、大規模な河道掘削が必要となっている。治水面や維持管理面を考慮した河道掘削形状（緩傾斜掘削，河岸隆凸型掘削など）が検討されているが（図-2），河道掘削による河川環境面への影響も大きいいため，河川環境にも配慮した川づくり検討が必要であった。

(2) 具体的な検討フロー

福嶋ら³⁾による治水面や維持管理面，河川環境面，景觀面に配慮した検討ワークフローを参考に，川内川菱刈地区における具体的な検討フロー（菱刈地区）を作成した（図-3）。環境目標の設定にあたっては，川内川菱刈地区の河川環境を定量的に把握するため，河川環境管理シート⁵⁾を活用した（図-1）。なお，河川環境管理シートは，一つの瀬や寄洲などの生息場の特性を的確に捉えるため，一般的な1kmピッチではなく200mピッチの詳細版を作成するとともに，河川環境情報図を活用し，生物調査も行っており対象生物種や創出する環境場を設定した。治水・環境を配慮した掘削河道の三次元設計は，環境技術者と河川技術者の両者が目標とする川づくりのイメージを視覚的に共有・確認しながら，水際形状や水深などの目標とすべき環境場を作成することが重要であるため，ゲームエンジンを用いて作成することとした。

作成した環境場の治水面，維持管理面，河川環境面の妥当性の確認方法については，汎用性のあるiRICソフトウェア（Nays2DH，EvaTRiP，EvaTRiP Pro）を用いることとし，最終的に設定した最適河道に対して，Civil3Dによる三次元設計を行い，ICT施工のための三次元データを作成した。

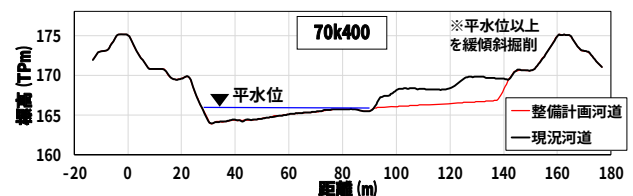


図-2 河川整備計画河道の横断面図

環境目標の設定

目標とする対象箇所、対象生物種、創出する環境場等の設定

- 対象箇所
川内川70k400
- 対象生物種
オイカワ稚仔魚
- 環境場
ワンド、細流、緩流環境等

◆河川環境管理シート
◆河川環境情報図

活用

反映

治水・環境を配慮した掘削河道の三次元設計

1) 仮想空間上で目指すべき環境場等を作成・確認

- 環境技術者と河川技術者の両面によるイメージ共有
- 創出する環境場の視覚的な確認

◆ゲームエンジン (UnrealEngine)

活用

入力データ

2) 物理環境の確認

- 河川環境面
瀬淵分布、対象生物種の生息場、陸生植物生育可否
- 治水面
河道・構造物の安定性
- 維持管理面
土砂再堆積、掘削形状の維持

◆iRICソフトウェア (EvaTRiP, EvaTRiP PRO, Nays2DH)

活用

出力

三次元設計データ

◆Civil 3D

- 河川整備計画対応の掘削河道（高水敷掘削）
- ALB航空測量データ（水域部）

図-3 具体的な検討フロー図（菱刈地区）

表-1 生物生息場と利用する生物の整理表（菱刈地区）

生物生息場	生息場を利用する生物（一部抜粋）
連続する瀬淵	魚類：アユ 植物：カワゴケソウ、チスジハ
ワンド・たまり ※氾濫原的水域 （細流等も含む）	両生類：アカハライモリ、トノサマガエル 爬虫類：ニホンイシガメ 魚類：ヤマトシマドジョウ、ミナミメダカ 底生動物：マルタニシ、コガタノゲンゴロウ 利用する生物群が多い
礫地・河原	鳥類：マナヅル、イカルチドリ 爬虫類：ニホンスッポン 陸上昆虫類：ツマグロキチョウ 植物：カワラケツメイ 利用する生物群が多い
沈水・浮葉植物帯	底生動物：モノアラガイ、コガタノゲンゴロウ、ヨコミゾドロムシ
抽水植物帯	魚類：ミナミメダカ 底生動物：マルタニシ、モノアラガイ、ヨコミゾドロムシ
湿生植物帯（ツルヨシ）	哺乳類：カヤネズミ 魚類：ヤマトシマドジョウ、アリアケギバチ 底生動物：ミナミヌマエビ 陸上昆虫類：ゲンジボタル 利用する生物群が多い
河畔林・その他樹林	陸上昆虫類：ゴマダラキチョウ本土亜種



図-4 ゲームエンジンを用いた環境配慮河道のコンセプト図

3. 環境目標の設定

河川環境管理シートによると、68k000～72k000区間の生物生息場の多様性の評価値が、その上下流側と比べて低くなっている（図-1）ことから、評価値が低い当該区間の評価値を高くする対策を講じる必要があると考えられた。また、川内川菱刈地区の環境特性については、河川環境情報図より対象生物種と利用する環境を整理した結果、利用する生物群が多い生物生息場は「ワンド・たまり」「礫地・河原」「湿性植物帯（ツルヨシ）」であった（表-1）。礫地・河原や湿性植物帯については、菱刈地区において掘削後に創出される環境であり、ワンド・たまり環境があまり見られていない。その他、当該区間の右岸側に流入する下目樋門の接続水路（堤内地側）は良好な湿地環境となっており、評価値が低い68k000～72k000区間への生物の供給源となることが期待される（図-1）。以上より、下目樋門周辺の砂州にワンド・たまり（細流環境含む）を創出し、生物生息場の多様性の向上を図るとともに、堤内地を含むエコロジカルネットワークを形成することを環境目標として設定した。

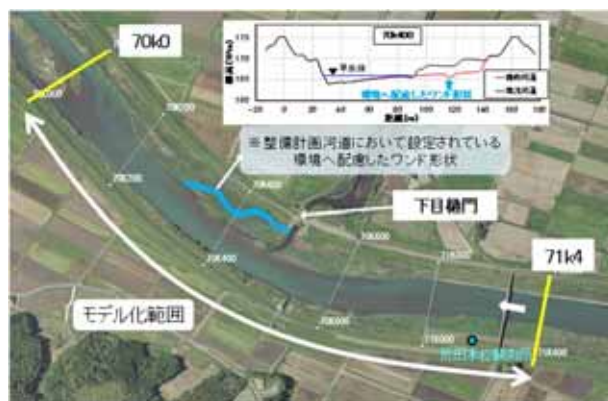


図-5 解析モデル範囲

表-2 解析ケース

解析	対象河道	対象流量	河道安定性	瀬淵環境	魚類生息環境	植物	
						生育可能性	流出可能性
流況解析	現況河道	平水流量	—	—	●	—	—
		平水流量	—	●	●	—	—
	環境配慮河道	平均年最大流量	—	—	—	—	●
		整備計画流量	—	—	—	—	●
		10年後予測河道	平水流量	—	●	●	—
	平均年最大流量		—	↑	↑	—	—
	河床変動解析		環境配慮河道	●	●	●	—
環境配慮河道		●	—	—	—	—	
環境評価			—	●	●	●	●

※矢印はデータの流れを示す。

※10年後予測河道は、河床変動解析により予測した10年後の河道地形を示す。

4. 治水・環境を考慮した掘削河道の三次元設計

(1) ワンド・たまり・水路（環境配慮河道）の設計

ワンド・たまり・細流環境を好むトノサマガエルやヤマトシマドジョウ、ミナミメダカ等の小型の生物を対象として環境配慮河道の設計を行った。創出する河道の水深や川幅、流れの変化などのイメージを環境技術者と河川技術者で共有するため、ゲームエンジンにより仮想空間上に河道モデルを構築し、意見交換をしながらリアルタイムで目指すべき環境場を作成した。樋門水路からの水の引き込みや捨石による多様な流れ場の工夫、下流部のワンドの深みなど、コンセプトを作成した（図-4）。

(2) iRICソフトウェアを用いた解析モデルの構築

治水面・維持管理面の確認は、iRICソフトウェアのNays2DHを用いて平面二次元解析（流況解析と河床変動解析）により行った。環境配慮河道におけるワンドや細流環境の水路の川幅が1.5m程度と狭いことから、計算のメッシュサイズを細かく設定（0.5m²程度）し、徐々に大きくするよう設定した。検討区間は、下目樋門近傍の70k000～71k400の区間（図-5）とし、河道計画で実施されている菱刈地区全体の河床変動計算モデルの解析結果

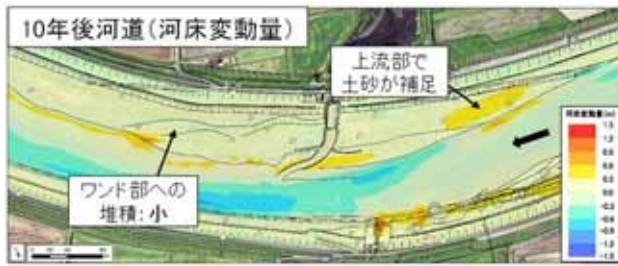


図-6 平面二次元河床変動結果(平均年最大流量)

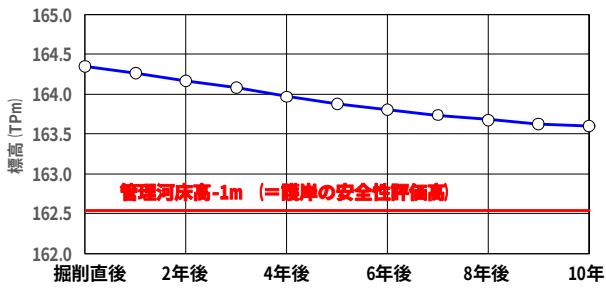


図-7 最深可床高の変化図

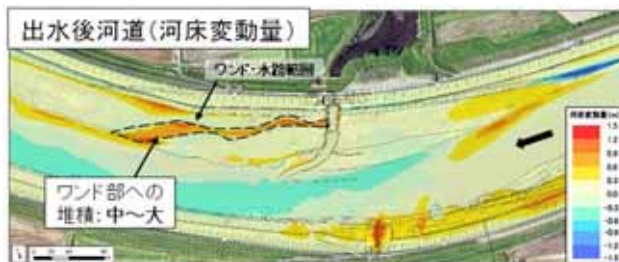


図-8 平面二次元河床変動結果(整備計画流量)

と比較することで計算モデルの妥当性を確認しモデルを構築した。解析ケースを表-2に示すとおりとし、「河道安定性」「瀬淵環境」「魚類生息環境」「植物の生育可否の可能性」の4つの観点から評価を行った。なお、河道安定性については、ピーク流量が平均年最大流量程度のH25.6.26洪水波形を10サイクル与えて10年分の洪水とした中長期計算、整備計画流量による短期計算の河床変動計算を行い評価した。瀬淵環境・魚類生息環境・植物の生育可否の可能性の評価については、EvaTRiPやEvaTRiP Proを用いて、Nays2DHにより算出した水深や流速等の水理量より評価を行った。

(3) 河道安定性の評価

平均年最大流量(10サイクル)における平面二次元河床変動解析(Nays2DH)の結果を図-6に示す。解析の結果、10年後の再堆積量は小さく、ワンドや水路部は維持されていることを確認した。右岸樋門より上流側の砂州に土砂堆積が生じているが、これは植生による土砂捕捉で堆積したものと考えられる。砂州ではツルヨシの繁茂を想定したパラメータを設定しているが、上流から流下する土砂が砂州部に堆積するため、下流に位置するワンドや水路部への再堆積の影響は小さいと考えられる。

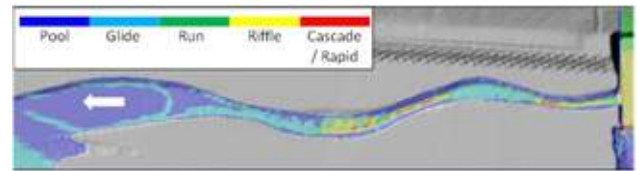


図-9 水路部の瀬淵環境評価の分布図

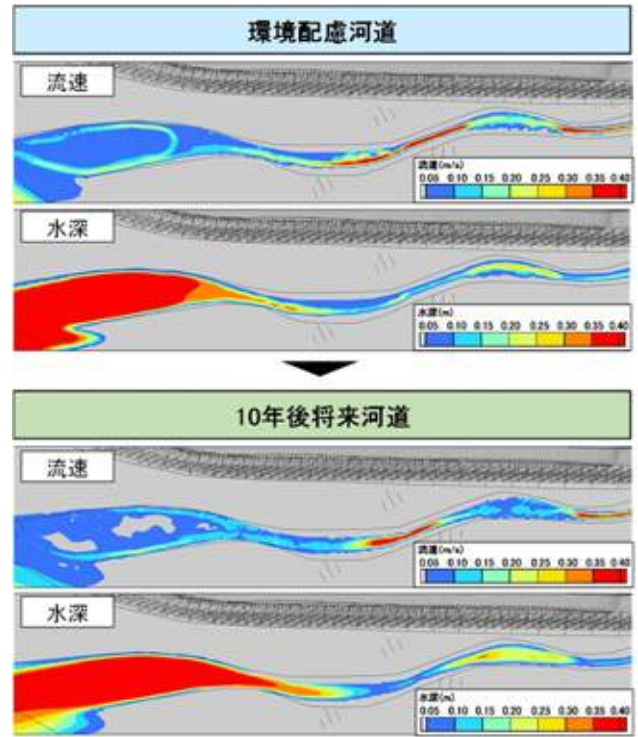


図-10 ワンド・水路部の将来予測結果の比較図(平水流量)

また、河道全体でみると左岸側の河岸部で河床低下傾向がみられたため、護岸の安全性についても評価した。計算による最深河床高の経年変化(図-7)を示すが、10年後には緩やかに低下傾向が収まってきており、護岸の安全性に影響はないことを確認した。一方、課題として、整備計画流量流下時における平面二次元河床変動解析の結果(図-8)では、ワンドや水路への土砂堆積がみられており、大規模出水時の土砂堆積に留意が必要と考えられる。

(4) 瀬淵環境の評価

平常時(平水流量)における流速・水深による物理環境場を算定し、瀬淵環境を評価した。また、ワンドや水路部における10年後将来河道の流速・水深についても確認した。評価はフルード数を用い⁶⁾、環境配慮河道における瀬淵評価の分布図(図-9)を示す。ワンド・水路部の区間では、瀬と淵が交互に形成して、良好な環境場となる可能性があることを確認した。また、10年後の将来予測河道(図-10)でも、流速・水深の傾向は、環境配慮河道時の状況と概ね同じであったことから、ワンドや水路部は概ね維持されることを確認した。

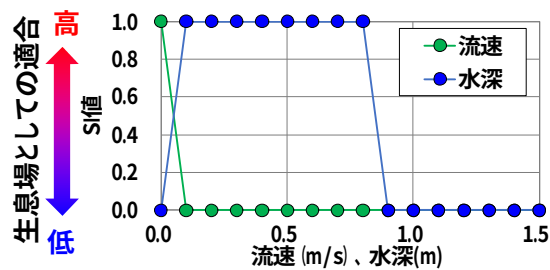


図-11 オイカワ稚仔魚のSIモデル



図-12 オイカワ稚仔魚の生息場評価分布の比較図

(5) オイカワ稚仔魚の生息場評価

対象魚種はオイカワの稚仔魚とした。その理由は、ワンド創出箇所の上下流においてオイカワの産卵場が河川環境情報図で確認されており、ワンドが稚仔魚の生育場として期待できるためである。オイカワ稚仔魚のSI値は、淡水魚類生息条件データ集をもとに作成した(図-11)。

設定したSI値をもとに、オイカワの稚仔魚の生息場評価を行った結果を図-12に示す。現況河道では、水際部の止水域で局所的に評価が高くなっている。環境配慮河道としてワンドを創出することで、オイカワ稚仔魚に適した生息場環境の範囲が拡大する結果となった。また、10年後の将来河道における生息指数別の面積予測の結果を図-13に示す。年数経過しても適正指数が高い面積は減少せず、オイカワ稚仔魚の適地は維持されることを確認した。

(6) 植物の生育可否の可能性

a) 生育可能性評価

植物が生育するか否かの条件は、水深(h)と流速(V)の関係式をもとに、平水流量時の h_{VD_est} と解析結果の水深の比較で評価した(図-14)。

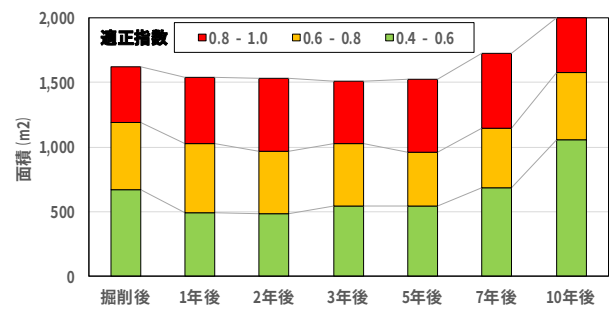


図-13 生息場評価の予測結果(区分ごとの面積集計)

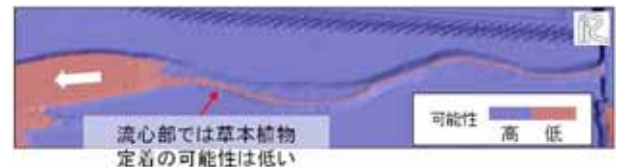


図-14 生育可能性の評価分布図



図-15 流出可能性の評価分布の比較図(環境配慮河道)

関係式及び評価方法は以下の通りである⁷⁾。

$$h_{VD_est} = -0.1 \log(V) + 0.05 \quad (1)$$

ここで、 $h < h_{VD_est}$: 植物生育の可能性が高い

$h > h_{VD_est}$: 植物生育の可能性が低い

結果、ワンドの流心部以外の箇所において草本群類が定着する可能性は高いことを確認した。掘削後は、ワンドや水路部の水際部にツルヨシ等の植物帯が定着することにより、生息場としての機能が期待される。

b) 流出可能性評価

WOI値により、当該区間の樹林化の可能性について評価を行った⁷⁾(図-15)。対象流量は整備計画流量とした。現在は、ワンド造成を行う内岸部では樹木群落はみられない。算定したWOI値は、現況河道において内岸部における流出可能性は高く評価されており、環境配慮河道においても同様の傾向が示されている。

現状では樹木はみられないため、環境配慮河道の整備後も樹木群は定着しないことを確認した。なお、水路部の侵食が懸念されるため、水路が低水護岸に近づく区間においては、水路河岸部に捨石を置いて侵食を保護する対応を行った。

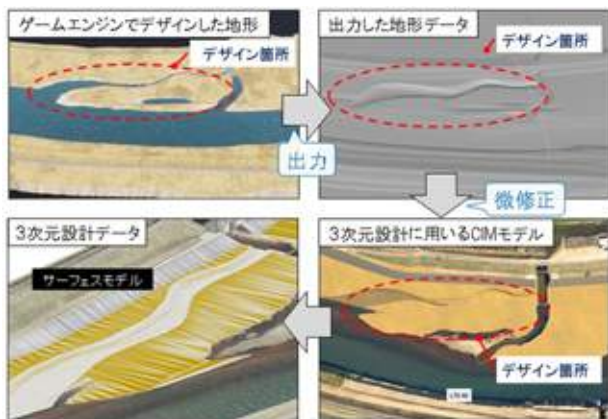


図-16 施工用三次元データの作成過程

5. 施工用三次元データの作成

ゲームエンジンによりデザインした地形をもとに、Civil3DによりICT施工に対応した三次元設計データ（LandXML）を作成した（図-16）。また、施工業者用に川づくりの設計コンセプトが共有できるよう、コンセプト資料や仮想空間内を歩き回れる実行形式（exe）の作成（図-17）も行った。川内川河川事務所では、CIMに関する定期的な意見交換会が行われており、測量・設計・施工業者が出席して、CIM活用に向けた協議や取り組み事例の紹介等が行われ、情報共有が図られている。ICT施工のための設計から施工へのデータの受け渡しにおいては、使用するCADソフトの違いによりデータが正常に読み込めない事例があった。解決方法として、設計から施工へのデータの受け渡しをJ-LandXML形式とすることで、施工業者側のソフトでも設計データを読み込めた。但し、CADソフトによっては読み込めない可能性もあるため、関係者間で柔軟に対応する必要がある。

また、ゲームエンジン等によって複雑な微地形を表現した計画・設計を行うことができる反面、複雑な施工が求められるが、ICT施工が可能なTINサイズは限られているため、CIMデータを共有して事前にTINサイズやデータ形式を施工業者と調整する必要がある。

6. おわりに

ゲームエンジンやiRICソフトウェアを活用して計画からICT施工データまでを作成する一連の河道設計を川内川河川事務所へ適用した。本検討により得られた成果は以下のとおりである。

- ・ 河川環境管理シート等を用いて創出が必要な環境目標について定量的に示すとともに、ゲームエンジンを用いることで創出するワンド・水路等の環境配慮河道のイメージを効率的に共有することができる。
- ・ ゲームエンジンからiRICにデータを引き継ぐことで、ワンド・水路部の微地形を解析モデルに反映し、イ



図-17 施工業者とのイメージ共有(画面キャプチャー)

メージ通りの地形で解析を行うことができる。

- ・ iRICソフトウェアを用いることで治水面・維持管理面・河川環境面の評価を効率的に行うことができる。
- ・ ICT施工へのデータの引き継ぎについては、サイズやデータ形式等の事前の調整が必要である。
- ・ ゲームエンジンを用いて物理・環境場を想定しながら直観的に作成した環境配慮河道は、解析によって妥当な河道設計であることが確認できた。これを踏まえて、環境配慮の川づくり検討では、技術者の経験に基づいた直観を表現するツールとしてゲームエンジンを活用することが望ましい。

今後は、本設計した三次元データをもとにICT施工を行う予定であり、施工後はモニタリング計画案に従い、河道及び河川環境の変化を確認し知見を蓄積していく。

謝辞：本報告は、国土交通省九州地方整備局川内川河川事務所に多大なるご理解とご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 河川CIM標準化検討小委員会：河川CIM標準化検討小委員会成果報告書, 2021.
- 2) 福嶋克武, 内藤太輔, 麓博史：多自然川づくりの高度化を目指した河道の3次元設計ツールの導入, リバーフロント研究所報告, 第33号, 2022.
- 3) 周月霞ほか：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.
- 4) 川野倫輝, 齋藤啓, 佐藤隆洋：ゲームエンジンを活用した河川整備事業の合意形成の円滑化の検討, 建設コンサルタント業務研究発表会, 2022.
- 5) 中村圭吾, 白尾豪宏：河川環境管理シートによる河川環境の定量評価と多自然川づくり, 水環境学会誌, 第45巻 (A) 第4号, pp.119-123, 2022.
- 6) iRIC : EvaTRiP Pro User's Manual, 2021.
- 7) iRIC : EvaTRiP Solver Manual, 2018.

(2023.3.24受付)