

河川 CIM 標準化検討小委員会
成果報告書

令和 3 年 7 月

社会基盤情報標準化委員会
河川 CIM 標準化検討小委員会

目次

1. はじめに	1
1.1 この小委員会の狙い.....	1
1.2 参加メンバーとその構成	2
1.3 報告書の構成.....	4
2. 河川 CIM における課題.....	5
2.1 川づくりからみた課題.....	5
2.2 CIM データ運用上の課題.....	7
参考文献.....	9
3. 河川 CIM のデータ運用.....	10
3.1 地形モデル	12
3.2 4段階におけるデータ運用.....	16
3.3 3つのデータの受け渡しのルール.....	18
3.4 地形編集の3手法.....	20
参考文献.....	27
4. 河川 CIM の実装	28
4.1 各事例の位置づけ	28
4.2 設計：RiTER等を用いた3次元川づくり.....	33
4.3 設計：福井におけるCADを使った河川管理	41
4.4 設計：ゲームエンジンを活用したVRによる川づくり	50
4.5 維持管理：九州地方整備局における三次元管内図の取り組み.....	69
5. 多様な河川 CIM の活用.....	79
5.1 災害対応／360カメラやVRの活用.....	79
5.2 災害復旧／治水と環境を連動させた川づくり	82
5.3 人材育成／維持管理のできる人材を育てるためのVR活用.....	83
5.4 環境管理／定量化の可能性.....	87
5.5 まちづくり／かわまちづくりへのCIMの活用.....	88
6. 展望.....	92
6.1 モデルの可能性.....	92
6.2 地形	93
6.3 河川管理.....	93
6.4 設計	95
6.5 人材育成.....	96
謝辞.....	98
用語集.....	99

著者一覧

第1章	1.1	中村 圭吾
	1.2	小林 一郎
第2章	2.1	中村 圭吾
	2.2	小林 一郎
第3章		大槻 順朗
第4章	4.1	大槻 順朗
	4.2	林田 寿文
	4.3	山本 一浩
	4.4	佐藤 隆洋
	4.5	梶谷 憲靖 (国土交通省九州地方整備局河川部)
第5章	5.1	糸山 国彦 (国土交通省九州地方整備局九州技術事務所)
	5.2	林田 寿文
	5.3	糸山 国彦
	5.4	中村 圭吾
	5.5	小林 一郎
第6章		小林 一郎

1. はじめに

1.1 この小委員会の狙い

河川 CIM 標準化検討小委員会を立ち上げた主な社会的背景は3つある。ひとつは、BIM/CIM と呼ばれる技術が、建物や橋梁などの構造物を中心に検討されており、河道と言う地形が主な管理対象である河川管理に整合していないこと。次に、i-Construction が急激に進展し、3次元データを活用した、河道掘削などの土工が一般的にかつ容易に行われるようになったこと。そして最後は、グリーンレーザ（ALB）の出現により実務レベルで3次元の河川測量が可能となり、地上・水中を含めた精細かつ広域な地形データ（点群データ）が河川でいち早く活用できるようになったことである。

建設4段階(図 1-1-1)である調査（測量）、設計、施工、維持管理を考えると、測量は3次元データが得られるようになり、施工は3次元データに基づく ICT 施工が可能となった。ところが、その中間にある設計(ここで設計には地形編集及び評価を含む。評価は水理的な解析に加え、生態的な解析・評価、景観的な評価などを含む)、つまり3次元設計に技術のあい路があることが明らかとなった。

そこで3次元設計を検討の中心として設定し、調査、設計、施工、維持管理の4段階でのデータ交換をスムーズにし、河川 CIM の標準を見据えた考え方を提案することを目的として、この小委員会を発足させた。小委員会自体は研究開発を行うスキームではないため、すでに3次元設計など技術開発に取り組むグループや個人に声をかけ、意見交換をしながら、測量と施工をつなぐために必要な3次元設計ツールのあり方、あるいはデータのやり取りといったものの標準化をすべく2年にわたり活動してきた。実務に携わっているメンバーが中心なので、実務での活用・運用を通じて標準化の精度を磨き上げてきた。また、本小委員会には、国土交通省本省等で河川の BIM/CIM に関わるメンバーもオブザーバーとして参画しており、国土交通省の政策と齟齬の無いように検討を進めた。4段階のうち、維持管理も重要なテーマではあるが、時間的な制限もあり、本小委員会のなかでは、主として国土交通省九州地方整備局グループの「三次元管内図」の取組みを紹介する程度である。維持管理での標準化については行政的な判断も必要な分野であり、本小委員会での検討も活用しながら、今後の検討を進めるべき課題と考えている。

本小委員会では3次元設計を中心とした河川 CIM の標準化に向けた考え方の提案を目的としている。今後、各地の現場で本報告書の内容を参考にしつつ現場での実践に取り組んでいただき、現場で発生する細かな課題をつぶすプロセスが必要である。新しい技術の提案の中では新しい用語も用いられるため、巻末に用語集として取りまとめた。この標準化の提案がきっかけとなり、各地で河川 CIM の活用が進展し、治水、環境、維持管理が一体となった、よりよい川づくりが進むことを願っている。

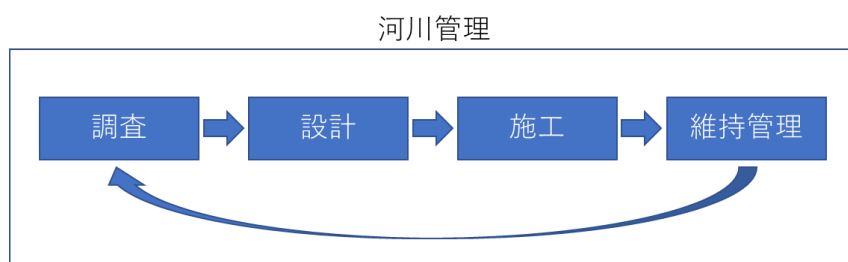


図 1-1-1 本報告書における河川管理と4段階

1. はじめに

1.2 参加メンバーとその構成

1.2.1 小委員会構成（2019年7月～2021年6月）

表 1-2-1 小委員会構成

小委員長：	小林 一郎	熊本大学大学院
副小委員長：	中村 圭吾	(国研) 土木研究所水環境研究グループ自然共生研究センター
委員：	林田 寿文	(国研) 土木研究所水環境研究グループ自然共生研究センター
	大槻 順朗	山梨大学大学院総合研究部工学域土木環境工学専攻 地域防災・マネジメント研究センター
	柴田 亮	一般財団法人先端建設技術センター (2020.04～)
	※大吞 智正	一般財団法人先端建設技術センター (2019.08～2020.03)
	宮本 久仁彦	国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所 (2020.08～)
	※嶋田 博文	国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所(2019.08～2020.07)
	竹下 真治	国土交通省九州地方整備局河川部 (2020.04～)
	※鶴木 和博	国土交通省九州地方整備局河川部(2019.08～2020.03)
	小串 俊幸	国土交通省九州地方整備局九州技術事務所 (2021.04～)
	※坂元 浩二	国土交通省九州地方整備局九州技術事務所 (2019.08～2021.03)
	山本 一浩	八千代エンジニアリング株式会社
	佐藤 隆洋	日本工営株式会社
オブザーバー：	尾澤 卓思	一般財団法人日本建設情報総合センター
	室永 武司	国土交通省水環境・国土保全局 (2021.04～)
	※青野 正志	国土交通省水環境・国土保全局 (2019.08～2021.03)
	福島 雅紀	国土交通省国土技術政策総合研究所
	坂本 達俊	株式会社建設技術研究所 (2020.5～)
	※藤田 玲	株式会社建設技術研究所 (2020.1～4)
事務局：	河野 誉仁	(国研) 土木研究所水環境研究グループ自然共生研究センター
	中島 幸香	熊本大学モデル空間研究所

※は前任者、()内は任期

1.2.2 研究グループの連携

本小委員会の委員は、下記の3研究グループの参加者である。

- 1) 国土交通省・近畿地方整備局・福井河川国道事務所・福井 CIM 勉強会（福井 G）
- 2) 土木研究所自然共生センターおよび国土交通省・九州地方整備局・九州技術事務所（土研 G）
- 3) 国土交通省・九州地方整備局・CIM 導入検討委員会・河川 CIM 分科会（九州 G）

3 グループの研究テーマと本小委員会の連携は下図(図 1-2-1)の通りである。

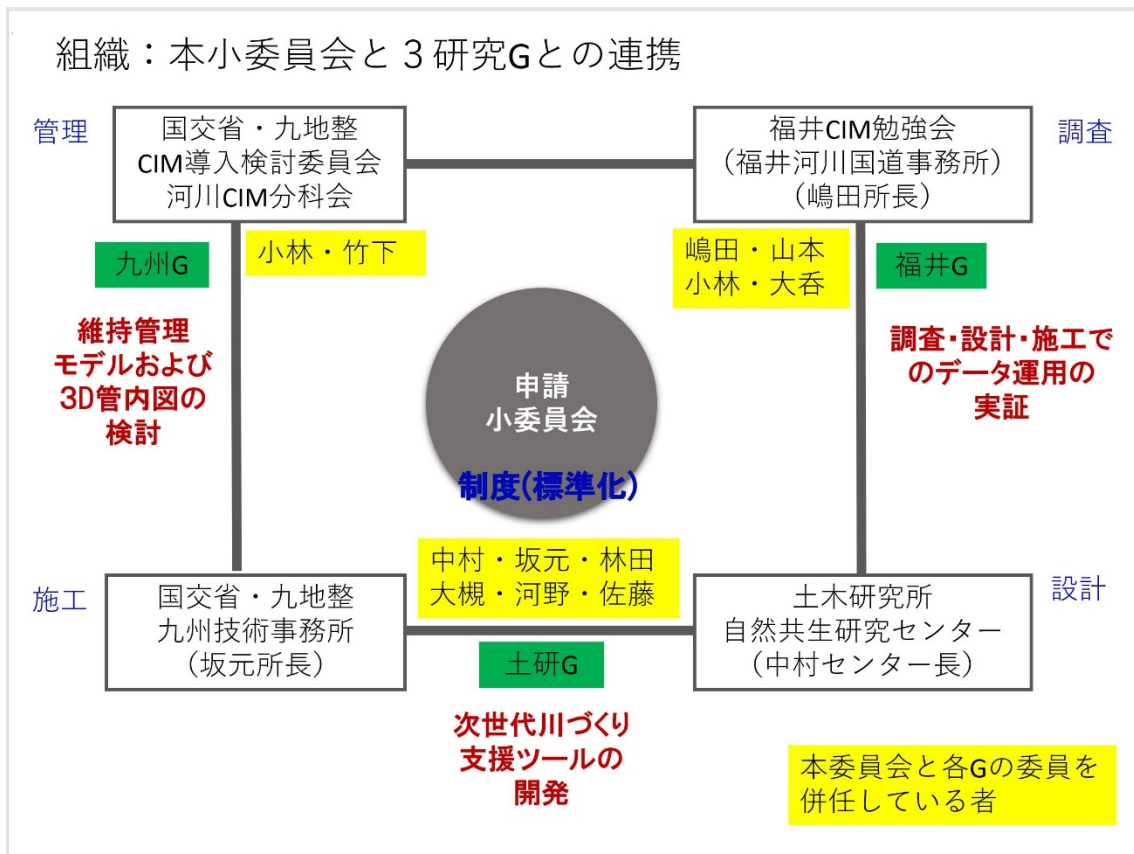


図 1-2-1 3 グループの研究テーマと小委員会の連携 (担当者は申請時のもの)

1. はじめに

1.3 報告書の構成

本報告書の構成を図 1-3-1 に示す。本報告書は 6 章立てで構成されている。

第 1 章では、小委員会の目的、構成メンバーと報告書の構成について述べた。

第 2 章では、川づくり、CIM（データ運用）の両側面から、河川への CIM 導入によって解決が期待される課題や、目下障害となる課題について述べ、取り組むべき課題を明らかにする。

第 3 章、第 4 章が、本小委員会での主要な検討事項となる。

第 3 章では、河川への CIM 導入に際して標準となる考え方の議論を展開する。具体的には、河川の CIM のモデリング対象となる地形モデルについて掘り下げつつ、建設マネジメント 4 段階（調査／設計／施工／維持管理）において実際に想定される土工に対してモデルが有すべき形態や受け渡しのルールについて一案を述べる。また、3次元地形モデルの設計の考え方を展開するため、現状利用可能な編集手法について特性、データ交換性、設計評価との関連性について述べる。

第 4 章では、先駆的に取り組まれている 4 つの河川 CIM 事例について述べる。ここでは、一つの現場を対象に異なるアプローチで 3 次元設計を試行しており、それぞれの考え方や特性、ツールの用いられ方が比較しやすいように配慮した。また、河川の総合的なマネジメント（河川管理）を CIM で試行した「3次元管内図」についても合わせて具体的に述べる。

第 5 章では、今後展開が期待される分野での河川 CIM 活用について述べる。5 つの方向性を示しており、中にはすでに実装段階に入っているものもあり、大いに参考になるだろう。

最後に第 6 章として、第 2 章での課題設定や第 3 章～第 5 章までの議論を踏まえて、河川 CIM が歩むべき展望について述べる。

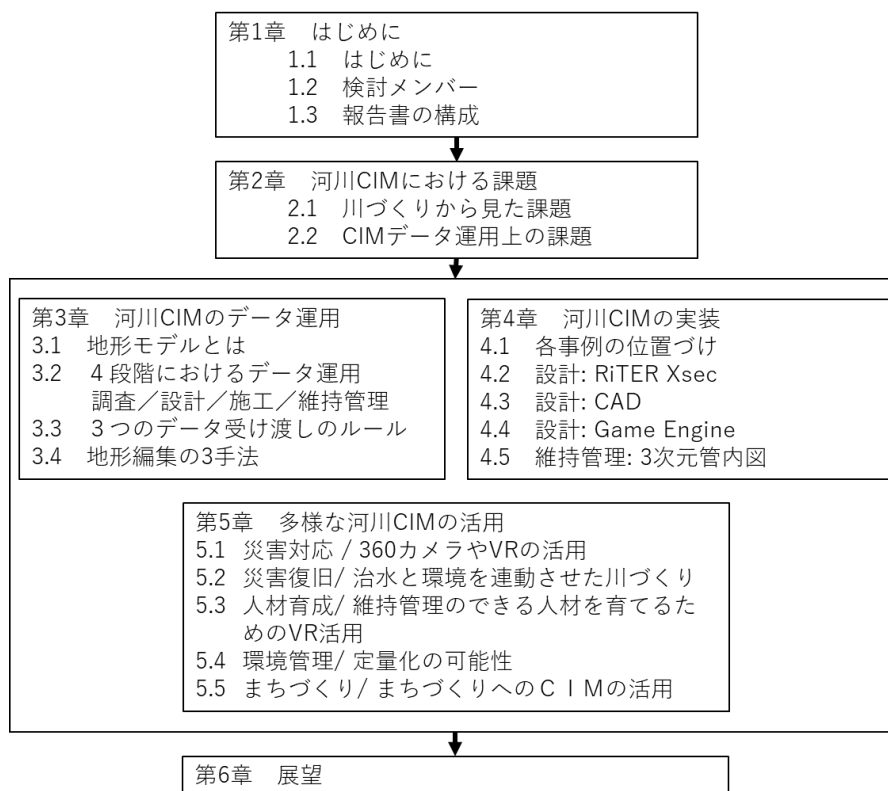


図 1-3-1 本報告書の構成

2. 河川 CIM における課題

2.1 川づくりからみた課題

河川 CIM は、河川管理において 3 次元モデルを建設データマネジメントの中心に据え、ICT 建設機械による施工技術を最大限活用することで、川づくりの大幅な高度化を図り、河川管理の考え方の抜本的な転換をもたらすものである。「高度化」とは、治水・環境・維持管理の融合といった「川づくり」の理念の技術的な解決と、施工等の生産性向上が可能とするフロントローディング（概念設計等の上流段階から負荷を掛け具体的な検討を行うことで生産性向上をはかること）によって相乗的に川づくりのレベルを上げることを意味している。通常の川づくりに加えて、気候変動の影響を踏まえた流域治水時代への変化も考慮すると、河川区域の外（背後地）も含めた治水・自然環境・景観等の評価も今後ますます重要になってくるだろう。ここでは、川づくりの視点と河川 CIM の導入によって解決が期待される課題を述べる。

2.1.1 川づくりが目指すものを支援するツールであること

水系の総合的なマネジメントである河川管理においては、治水・環境・維持管理が三位一体となって健全に機能する川をつくるのが目標である。具体的には洪水防御はもちろんのこと、河川生態系が保全・再生され、人々の生活に潤いを与える美しい景観を有するとともに、維持管理の負荷が小さい河川であることが求められる。河川 CIM は、川づくりが目指すものを実現するツールである。これは当たり前のように聞こえるかもしれないが、ツールが高度化になったからと言って（例えば CAD の導入）、いい川が生まれてきたかと問われれば、必ずしもそうとも限らないことが自ずと理解されるだろう。河川 CIM というツールを使うこと、モデル化するという手段が目的になってはならない。相手は、同じものが 2 つとない河川である。現実の河川で起こっている課題が先にあるということを常に念頭に置き、河川 CIM をそこにどうアプローチさせるのかが解決すべき課題の本筋である。

2.1.2 水理解析・環境評価・景観評価での実務的活用

これまで設計の評価では、水位が計画高水位以下となるかといった治水上の評価が全体のかなりの割合を占めており、川の環境、景観、親水性など、その他の有形無形の要素の比重がどうしても低くならざるを得なかった。しかし、本来はどちらが先ということはなく治水と環境の両立した川づくりを進める必要がある。そのためには、これらを同じように評価するツールが必要である。3 次元地形データと 2 次元水理解析ソフトウェアを用いれば、洪水時の詳細な流れ場のみならず、地形形成や瀬淵の分布といった高度な環境評価も同時に可能になる。既存の 1 次元的評価方法と連携することで、整備の継続性や連続性を確保しながら、こうした新しい技術を導入することも可能なはずである。明確な数値の算出が難しい景観や水辺の利活用などのユーティリティ（使いやすさ）の評価には、目に見えること、すなわち可視化が重要である。3 次元地形モデルをゲームエンジンに入力しバーチャル空間で見えるようにすることで、事前に重要な気づきを得ることができるだろう。さらに重要なのは、このモデルを使ってステークホルダー（関係者）が同じ完成形をイメージとして共有することが可能になることである。モデルはその場で容易に修正可能であり、修正されたモデルをさらにその場で水理解析モデルに受け渡しチェックする、といった、非常に柔軟かつ迅速な試行錯誤が河川 CIM によって可能となるだろう。し

2. 河川 CIM における課題

かもこれらに必要なソフトウェアはほとんど無料で利用できるようになってきている。

2.1.3 3次元地形の設計に求められる発想の転換

地形は元来複雑である。これまでは図面作成や水理計算の便宜のため、複雑なものである河川地形を単純化して（例えば断面で見る）扱ってきたところがあり、それが人工的な河川空間や単調な生息場を作り出す要因にもなってきた。複雑な3次元地形を設計する発想は、公園や水辺整備などのランドスケープ・アーキテクトの世界ではごくありふれたものである。一方で河川設計者は複雑な地形を設計することに慣れておらず、ときに河川地形に構造物に求めるような厳しすぎる基準を求めてしまうこともある。川が良いかたちになるためには、発想の転換、経験、スキルやノウハウの蓄積が必要である。発想の転換に関連して、これまでは河道設計が分かっている技術者でなければ河川デザイナーになるのは不可能だったが、河川 CIM の普及によってこのハードルを下げることで、様々な技術をバックグラウンドとした技術者が河川デザイナーになれる可能性を高めるだろう。このことは河川を舞台にした様々なシナジーを引き起こすきっかけになるかもしれない。

2.1.4 維持管理を起点とした3次元川づくりのしくみづくり

CIM は対象を3次元のモデルに置き換えマネジメントする技術である。河川でのモデリング対象は「河川地形」である。これまでは調査・設計といった河川管理の各段階のなかで分断化されていた地形データがフローとなって連続的に運用される。常に新しいデータが空間的に重なって管理され、それらのデータの分析によって意思決定され、次の設計がスタートするというようにデータの循環が生まれる。これまでは、データの出発点は調査からだけであったが、維持管理を起点としたデータフローによってシステマティックでスピーディな河川管理が実現できるようになるだろう。国土交通省ではこのシステムを「三次元管内図」と呼んでいる。地形のみならずあらゆる河川情報が蓄積される。例えば、これまでの環境情報図・植生図に加えて、生物種そのもののデータを環境 DNA から大量に得ることができるようになった。これらのデータは地形や水文データから分析され、例えば魚類の存在確率が面的に評価されるようになる。データはあらゆる場面で活用される。データの蓄積と平時からの運用は、時間的余裕のない災害復旧で特に威力を発揮するだろう。具体的には、調査に行く前の事前データはすでに整理・分析されており、必要最低限の情報を UAV などでも得ることで、迅速な状況把握ができ、適切な判断を下すことができるようになる。このようなデータベースの運用には、データ運用の相互理解、適切な管理ルール、運用プロセスをどう定めるかが大きな鍵となる。

2.1.5 災害復旧（改良復旧）における多自然川づくり

災害復旧では迅速かつ適切な対応が求められる。施設強化を含む改良復旧においては、再度災害の防止はもちろんのこと同時に自然環境や水辺利用なども考慮した計画とする必要がある。改良復旧では川づくりについて広範な知識を有する行政機関・大学の専門家がアドバイスを実施する「多自然川づくりアドバイザー制度」などの支援制度も運用されている。しかしながら、事前のデータがない、設計に必要な調査や検討の時間がない、前述のような検討手順に問題があるなどの理由から、求められる水準に達することができないケースも散見される。災害復旧は、特に中小河川において環境を大きく変える数少ない川づくりの舞台である。災害復旧において、どのレベルの計画を求めるかは、技術の進展に応じて常に見直されるべきであり、より高度で、迅速でありながらリーズナブルな手法を取捨選択すること

が必要である。河川 CIM の導入がもたらす、様々な高度化が災害復旧の場で実践できるのならば、我が国の河川整備は確実にレベルアップする。

2.2 CIM データ運用上の課題

河川 CIM に関しては、構造物モデルについて、国土交通省による『CIM 導入ガイドライン (案)』¹⁾の整備がすすみ、受発注者間でのデータの受け渡しも試行段階から実務段階に入りつつある。また、堤防の3次元設計に関する試みもはじまっている²⁾。さらに、河川においては、ALB やマルチビーム深淺測量の進展により、水中の地形の計測データ取得も実務段階に入っている。

上記のような成果を踏まえつつ、点群データを活用することで、河道内の地形設計が可能となる。そのためには、点群データの運用の流れを明確にすることが重要である。以下、河川に CIM を用いる時に課題となる5項目について述べる。

2.2.1 地形モデルの活用

CAD は本来、構造物の設計のためのツールである。したがって、CAD をベースとする現況の CIM モデルとは構造物モデルのことであると言ってよい。道路設計においては、切土・盛土の設計も含むので、地形自体が設計対象でもある。ただし、道路設計においては、道路線形は数学的に決定される形状であり、結果として定められる切土・盛土の形状も CAD 上でほぼ自動的に取得できる。

一方、河川における地形改変では、現状の設計では道路設計と同様の手法が用いられてはいるが、水際の地形の設計は、環境や景観の配慮から、道路設計のように数学線形（直線や円曲線など）を選ぶことができない。

本稿では、点群データから得られた現況地形を「地形モデル」と呼ぶ。このモデルは現況地形を表すモデルであるが、改変後には設計モデルともなる。『CIM 導入ガイドライン (案)』¹⁾では、地形モデルの定義は、明快には示されていないが、点群データの日常的な利用が確定していることから、CAD の TIN データとの相互変換も含めて、ある種の知見は示すべきであると考えられる。

2. 河川 CIM における課題

2.2.2 4段階でのデータ運用のプロセス提示

『CIM 導入ガイドライン (案)』の「地すべり編」¹⁾では、単に構造物のモデル定義を行うだけでなく、地すべり対策の PDCA サイクルの各段階でのモデルの運用法が示されている。これは今後 CIM の運用を考える上で重要なことである。建設のライフサイクルである、調査・設計・施工・維持管理の各段階（以下、4段階）において、各段階での CIM データの運用法、および、ある段階から次の段階へのデータ移行用フォーマットが明快に示されなければならない。この点があいまいなままでは、CIM データは、単に CAD のモデルとして作成され納品されるだけで、次の段階で使われることがない。

本小委員会で特に重要であると考えたのは、4段階でのデータ運用のプロセスを示すことである。これを概念的に示したものが図 2-2-1 である。具体的には、調査段階では、①点群データの取得と活用、②設計段階では、3次元設計（地形編集と評価）、③施工段階では ICT 土工、④維持管理段階では、構造物や地形の CIM モデルおよび各種の点群データの運用法である。

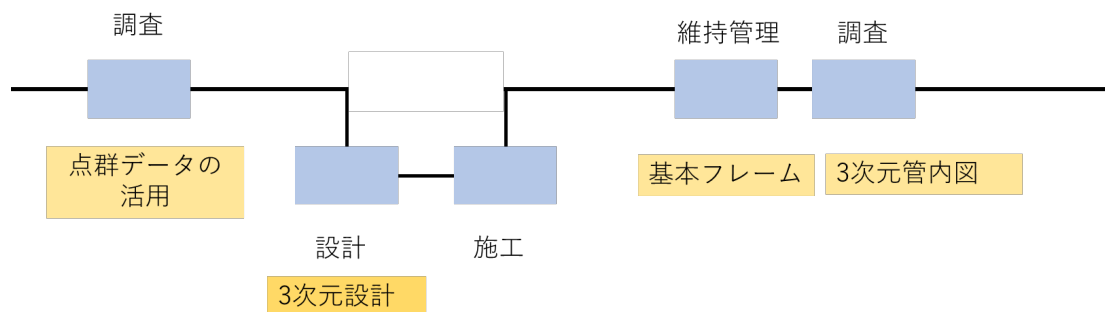


図 2-2-1 建設マネジメントの 4 段階

2.2.3 各段階でのデータの移行用フォーマットの提示

各段階での CIM データの運用法が明示されれば、各段階で受け渡される CIM データはより厳密に定義可能となる。なおデータは、必ずしも『CIM 導入ガイドライン (案)』で¹⁾明示された CIM モデルである必要はないし、3次元の CAD 情報である必要もない。重要なのは図 2-2-2 のように、あるルール（図中、a,b,c）のもとで利用されたデータから次の段階に必要な最適なデータ形式で引き継がればよいだけである。そのため、これらの段階間でのフォーマットを明確にする必要がある。

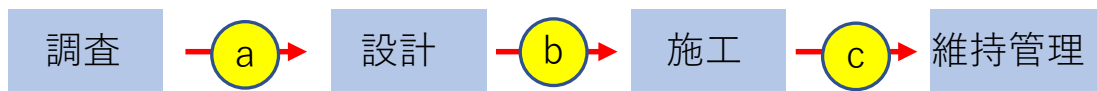


図 2-2-2 データ移行の 3 つのルール

2.2.4 維持管理・調査段階での活用事例の提示

河川の維持管理に CIM データをどのように使うかは、CIM の問題というよりは管理者がどのようなデータを用いて、「何を、どのように」維持管理するのかが重要である。さらに、維持管理情報の中から、つぎのステップの調査段階で活用可能な情報の抽出・加工も、各河川の様態や管理者にとっての次の設計に向けた準備のための作業によって異なる。

よって本報告では、九州地方整備局の協力のもとで、維持管理や調査に向けた CIM 情報の活用に関する事例を示すにとどめる。ただしこれは、図 2-2-1 の維持管理段階とそれに続く調査段階において具体的でかつ極めて有用な事例であると考ええる。なぜなら、管理者自らが検討し、ルール化した以下の 5 項目が示されているからである。(1)自らが、CIM において利用可能な CAD ソフトウェアの検討と選定、(2)全河川で共通して使える CIM モデル（以下、基本フレーム）の定義、(3)基本フレーム（基本型）とそれに追加可能な付加的データ（各河川ごとに必要となるデータ：応用型）との整合性の検討、(4)選定した CAD ソフトで実現可能で、かつ、調査段階で活用可能な独自の「三次元管内図」の検討と提案、(5)各種データを職員自ら運用するための人材育成方法の検討である。

このような、検討や実践の事例はわが国では例がないし、海外でも稀であると考ええる。これによって、**2.2.2** の調査段階と維持管理段階の CIM 運用の具体的なイメージが理解できるだろう。

2.2.5 3次元設計の可能性提示

これは、**2.2.2** の 4 段階のうちの設計段階である。地形編集を 3次元で行う手法の提示が本報告書での最大の目標である。CIM の活用を阻害する最大の要因は、3次元設計ツールの流通の遅れである。調査段階（3次元測量）と施工段階（ICT 土工）では 3次元化が日常のものとなりつつある。これらの真ん中にある設計段階が、いつまでも 2次元設計、2次元データ納品では意味がない。

3次元での地形編集に関しては、3つの手法に分類する。さらに、本報告書では各手法に対し、現時点で最も利用可能なツールを選択し、数値実験を試みる。この数値実験は、各ツールの得失を調べることが目的ではなく、**2.2.3** で述べた、調査段階から設計段階および設計段階から施工段階へのデータ移行用フォーマットの検討が目的である。理想としては、設計段階でいかなるツールを使うにしても、同じデータ形式でデータの移行ができることが望ましい。さらに、河川における設計とはどのようなものかについても検討する。設計は地形編集と評価（定性的評価と定量的評価）の間を行き来しながら解に到達することを示す。

参考文献

- 1) 国土交通省 (2020), CIM 導入ガイドライン (案) (令和 2 年 3 月)
https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000064.html
- 2) 川田テクノシステム株式会社 HP : 3D 堤防/河道計画・設計 V-nasClair 「RIVER_Kit」
https://www.kts.co.jp/seijyou/v_3driver/index.html (2021/5/7 閲覧)

3. 河川 CIM のデータ運用

3. 河川 CIM のデータ運用

第 2 章では、河川 CIM 導入の動機となる川づくりにおける課題 (2.1) と河川整備事業における BIM/CIM のデータ運用上の課題 (2.2) について述べた。本章では、これらの課題を解決する「河川 CIM の標準」を見据えた、各段階におけるデータ運用プロセスについて現状を踏まえた整理と望ましいあり方について議論する。

2.2 で述べたように、3 次元地形データの標準化やガイドラインについては、「調査」および「施工」段階にとどまっており、どのように設計、施工、維持管理へとデータを継承する必要があるかといった、データ運用をカバーするには至っていない。本章のねらいは、地形データと地形モデリングにおけるデータ運用のプロセスを提案することにある。まずベースとなる地形データと地形モデルの意義について述べる (3.1)、次に 3.2 では、道路・河川等の建設マネジメントで一般的に用いられる〈調査〉〈設計〉〈施工〉〈維持管理〉の 4 つの段階ごとに、河川 CIM において地形モデルを対象にその中で行われるデータ処理の内容とその目的を明示し、各段階へ入力できる形式、各段階から出力できる形式を示すことでデータが循環できるデータフローを示す。3.3 では、段階から段階へ受け渡されるべきデータのルールを考える。3.4 では、特に改善が必要とされる〈設計〉に焦点を当てる。3.4.1 では 3 次元の地形データの編集 (地形モデルの形状を変更すること) 手法について、代表的な 3 つの手法について説明する。3.4.2 ではその地形編集手法間のデータ連携、3.4.3 では評価 (水理解析、景観評価など) との関係性について述べる。

・議論の前提

河川には様々な構造物が存在するものの、基本的には既存の建築等で先行する BIM/CIM の概念に近く、マニュアルの整備も進んでいる。そのため、ここでは河道内の土工だけを対象とする (図 3-1、赤枠)。築堤等の堤防の土工も基本的には対象としていない。

CIM ではデータの保持・更新といった維持管理段階で担われる「データの管理」と、4 つの建設段階の中での「データの運用」の側面があるが、ここでは建設 4 段階の中での「データの運用」に限定して述べる (図 3-2)。この 4 段階の意味で、用語を使う場合には、〈調査〉〈設計〉〈施工〉〈維持管理〉とカギ括弧付きで記述する。

また、用語の使い方として図 3-1 に示すように、包括的な河川全体のマネジメントを意味して「河川管理」、そのうちの河道に係る部分として「河道管理」とする。「河道管理」の中身を 4 段階に分けて考える。このうち〈維持管理〉は、施工後の性能を維持するための行為として書き分けることとする。また、河川データの管理については、本来河川全体のマネジメントに係るため上位の「河川管理」とも取れるが、ここでは便宜的に〈維持管理〉に属するものとして書く。「データの管理」を「河川管理」レベルまで高めた事例として、地形データを含む河川管理上の情報のデータベース化とその可視化をめざした「三次元管内図」の事例 (4.5) を参照されたい。

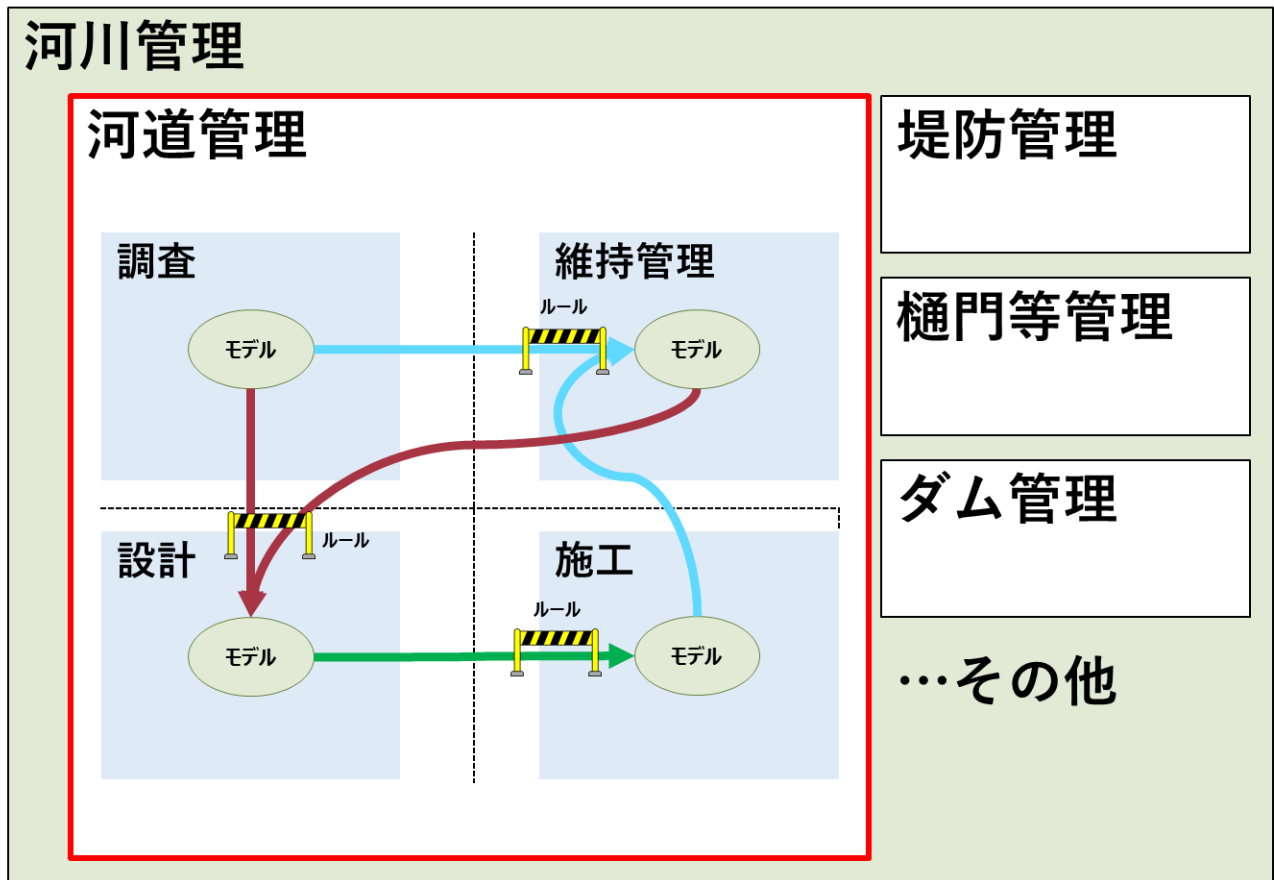


図 3-1 4 段階と 3 つのルール

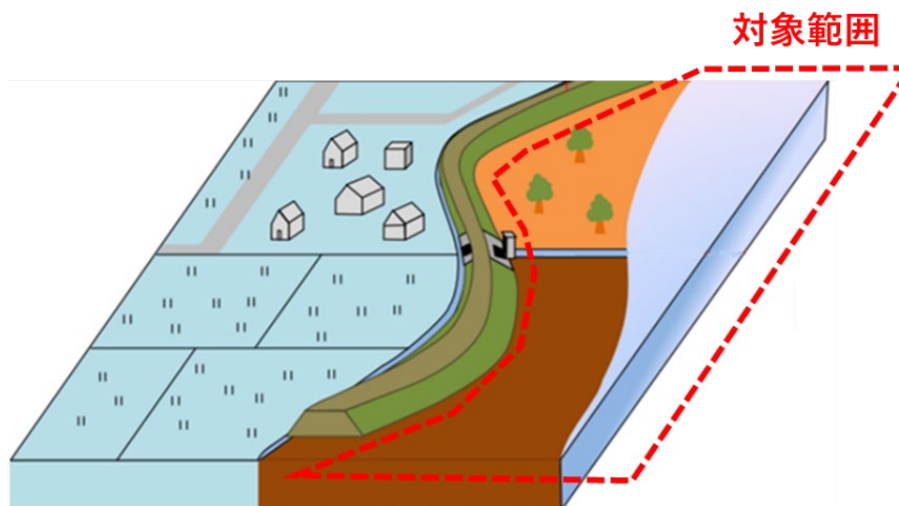


図 3-2 本検討における河川 CIM の検討範囲図

3.1 地形モデル

3.1.1 地形モデルの特徴

2.1 で述べたとおり、河川 CIM では構造物ではなく「地形」がモデリング対象となる。地形モデルが構造物モデルと大きく異なる点の一つは、不定形であることである。構造物では凹凸のない均質な面を数学的に表現することでモデルを構築するが、地形の場合は整形された盛土や切土でない限り、均一な面として表現することは不可能である。地形モデルの手法としては、不定形の三角形群で表現する TIN (Triangle Irregular Network)、画像データと同じ微細な格子で構成されるラスタで表現する DEM (Digital Elevation Model)、等高線などがある (図 3-1-1)。また、水理シミュレーションなど、地形の情報を用いて解析を行う場合には、もとの地形モデルをベースに計算に適合するよう、計算格子に置き換えて (計算格子に与える標高値として) 取り扱う (図 3-1-2)。またさらに抽象化して横断面の連結として扱う 1 次元的モデルも利用され、こちらのほうが現況の評価手法の標準になっている。

もう一つの違いは、構造物モデルが一般的に新たに生成するもの (人工物) であるのに対し、地形モデルはすでにそこに存在するもの (自然物) であるという点である。そのため、モデリング手法は地形の調査の質にも左右される。これまでは、河川の地形情報は横断面でしかなく、地形を 3 次元的に表現しようにも横断を縦断的に補間するよりほかなかった。しかし、点群測定の登場によってその必要性がなくなり、モデリングの精度とともにモデリングの手法自体の自由度も増している。また、構造物モデリングは新たに生成する前提のものであり編集手法も多様であるが、構造物設計の場面では地形はひとつの設計条件として捉えられているところがある。そのため、構造物に対する設計手法を地形に適用すること以外の、地形により適した編集手法が十分に普及していない。しかし、近年、仮想空間 (VR) の構築のニーズの高まりによって、自然な地形を生成可能な手法が利用可能になってきている。

このように、地形モデルには構造物モデルにはない特徴があり、こうしたモデルを既存の CIM のようにマネジメント可能なのが本報告の重要なポイントである。

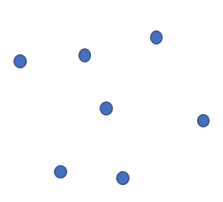
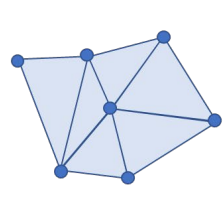
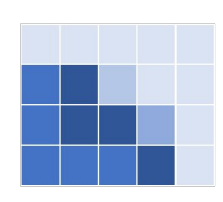
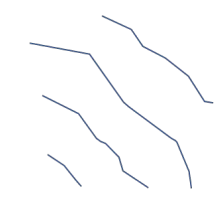
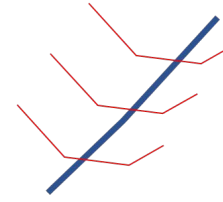


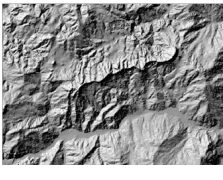
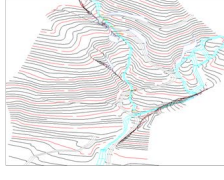
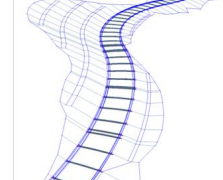
点群	TIN	DEM	等高線	サーフェス
XYZの座標値および属性	点群を連結した不定形の三角形面群	格子（ラスタ）にひとつの標高値	標高値を属性として持つポリライン群	縦断線と横断線の組み合わせによる曲面表現
.txt（テキスト） .las .LandXML	.LandXML .stl	.tiff .png（Unreal Engine）	.shp	.LandXML
				
				

図 3-1-1 地形モデルの種類（1）一般的な地形表現モデル

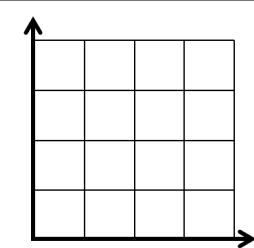
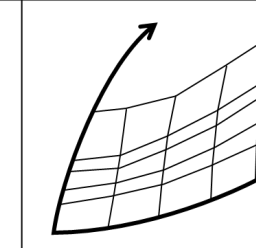
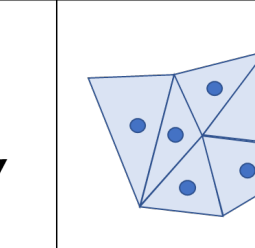
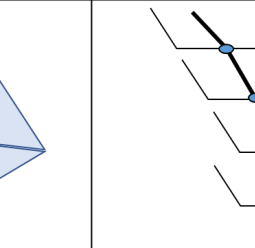
2次元構造格子 （直交座標系）	2次元構造格子 （一般座標系）	非構造格子	一次元
直交する座標系上に格子を配置し標高値を与える（ラスタと同様）	一般化された座標上に格子を配置し標高値を与える	不定形の三角形面群を要素とするモデル化（地形高は三角形1つ）	河川地形を縦断距離（x）に沿って配置される横断面に抽象化
			

図 3-1-2 地形モデルの種類（2）水理計算に用いられる地形モデル

3. 河川 CIM のデータ運用

3.1.2 地形モデリングの種類と発展

点群や高精細 DEM から得られる 3次元地形を編集（モデリング）する手法について整理したい。

図 3-1-3 のように地形のデジタルモデリングは、地形を扱ういくつかの分野において目的によって独立に発展してきた。第一に一般的な CAD を用いた土工の設計である。盛土や切土などにみられるように規格化された形状の扱いを得意とする。一方、同じ土工でも公園整備や都市景観を特に対象とした造園やランドスケープ・アーキテクトなどの分野では非定形地形の盛り上がりや凹みを意図的に設計することから、等高線などを利用した地形の細かな修正が可能な専用 CAD が用いられることもある。地形のモデリングは土工に関係する分野以外でも発展している。地図的な情報整理・分析を扱う空間情報を取り扱う分野では、GIS (Geographical Information System) で DEM を取り扱うことで、工事現場のスケールよりも広い範囲をカバーする。地形学や水理学といった自然科学の分野では、侵食や堆積といった地形形成プロセスの表現や科学的検証を目的に地形モデリングを行っている。水理学では図 3-1-2 に示すような計算格子等への入力条件として地形が扱われることが多い。コンピュータグラフィックス (CG) の分野では、絵画的表現の対象として美しい地形を描くための様々な表現技法を開発してきている。例えば、侵食されたような地形に見える（フラクタル幾何学を用いているが地形学的な根拠はない）画像加工手法などである。

このような、個別の分野で発達してきた地形のモデリング手法は、それぞれの分野においてツールの 3次元化が進んだことで、相互に活用できる可能性が広がっている。地形の 3次元モデリングで近年特に発展したのは、ゲーム空間などの 3次元仮想空間やアニメーションのニーズが高まった CG の分野であり、本報告でも紹介するゲームエンジンでの表現は、現実との区別が難しいほどの精巧な可視化を実現する。

地形モデルの形状変更を含む編集・構築手法について、Brown et al (2019)¹⁾は、「河川のデジタル化 (How to make a digital river)」の試みのなかで数多くの文献を調査している。彼らによれば、河川地形のモデリングや構築手法について、地形形成プロセスに精通したデザイナーが作為的に構築する Expert-based Design と土砂水理学的プロセスなど客観性を有する Strategic Design とがある。実際の土工設計では、自然現象としての河川地形形成以外の建築・都市景観デザインといった作為的な要素が多数持ち込まれることから、基本的には Expert-based Design による。Expert-based Design には、ランドスケープ・アーキテクトで用いられるような等高線の変更による Map River Design、河川の有する川幅や谷の深さといった地形要素をパラメータ化しそれと関連付けて地形表現する Geometric River Design (川幅水深比による河川形態の分類もこれに含まれる)、地形データを一種の画像とみなしデジタル絵画の作成と同じ技法で地形表現する Brush River Design がある。

3次元地形を構築するこのような手法の違いは、図 3-1-3 に示すようにその手法が生み出された個別の分野の便宜に関連した形で残っている。そのため、河川地形を取り扱う CIM では、手法の特性と最終的な設計物を念頭としたすり合わせが必要となる。ここで重要なのは、既存の構造物設計の便宜に合わせるのではなく、しかるべき地形のあり方を踏まえた技法の総合的活用や融合を検討することである。

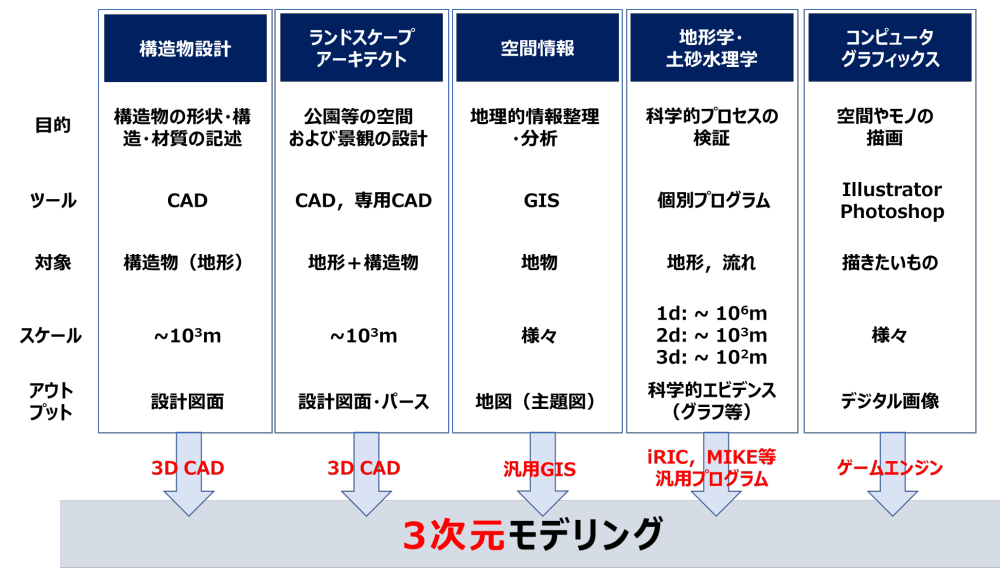


図 3-1-3 個別の分野で発展した地形モデル

3.1.3 地形情報の取得

地形のモデリングには、元となる地形情報が必要である。国土地理院は 2008 年より全国で行われている LiDAR(Light Detection and Ranging)を用いた航空測量による測量成果を統合し作成した解像度 5m(0.2 秒)の DEM の公開を順次開始し、現在ではほぼ日本全域に渡ってデータを取得できるようになっている²⁾。このデータには、河川内の地形も一部含まれているが、水中部や低標高部では欠測や精度不足がある。河川域におけるデータとしては、河川管理者が実施する原則として 5 年に 1 回の横断測量成果がある。オープンデータにはされておらず、利用用途を明示して、各河川事務所等から提供をうける必要がある。この定期的な測量については、水中部を計測可能なグリーンレーザを用いた航空レーザ測深 (ALB: Airborne LiDAR Bathymetry) が普及するなかで、H30 (2018) 年 3 月のマニュアル改定において、原則として「点群測量により実施すること」となった³⁾。グリーンレーザによる航空測量は、先駆事例となった九頭竜川での測量以降、国土交通省の河川事務所を中心にすでに 20 河川程度で実施されている⁴⁾。国内の 3 つの河川 (九頭竜川、北川、那賀川) では ALB による測量成果が公開され、河川管理用三次元データ活用マニュアル (案)⁵⁾ が令和 2 (2020) 年 2 月に公表されるなど、活用の模索が進められている。また、スポット的な UAV 等を用いた測量については、「UAV を用いた公共測量マニュアル (案)」⁶⁾ が平成 28 年 (2016 年) に国土地理院より示され、多くの現場においてそれに基づいた測量が実施されている。また、国土交通省が主導する「革新的河川管理プロジェクト」⁷⁾ (2016 年 11 月) により、世界初のドローン搭載型グリーンレーザ測深機が開発されたことが話題となっている。本プロジェクトにおいて Amuse Oneself Inc.が開発した TDOT GREEN⁸⁾は、従来課題となっていた面的なスキニングが可能であり、現状で 3000 万円弱と価格が抑えられていることが特徴であり、個別の現場での活用が進むことが予想される。

3. 河川 CIM のデータ運用

3.2 4段階におけるデータ運用

河川 CIM は、建設マネジメントサイクルにおける<調査><設計><施工><維持管理>の4つの段階に対し、データフローを通じて滞りなく、また損失なくデータが運用され、循環することが求められる。そのためには、相互のデータ形式やデータ解像度等に必要とされる要件を検討する必要がある。まずは、図3-1に示す建設4段階の中身を概観し、3次元地形モデルをデータフローの中心に据えたとき、どのような形式でデータが継承され得るかを示す。

・<調査>：

<調査>では、河川におけるある時点の地形情報を取得する。これまでは5年に一度の定期的な横断測量が実施されていたが、これが点群による面的な測量へ置き換えられる。調査は、変状を検出するための定期的な点検を目的としたものと、設計の前提条件を得るためのものに概ね分けられる。前者はALBなどの広域的な測量手法で、後者はUAVなどによるスポット的な測量手法がイメージされる。前者のデータは、<維持管理>に引き継がれストックされ、後者はそのまま<設計>へ引き継がれる。調査においては、入力データはなく、3次元の点群データが出力として、次の段階の<設計>あるいは維持管理目的の場合には<維持管理>に引き継がれる。

・<設計>：

<設計>は、現況の地形形状（前提条件）のもとにある目的にかなう地形モデルを構築し出力する段階である。通常の構造物の建設では、基本的に<調査>で得たデータだけから<設計>が行われるが、河川の場合は<維持管理>にストックされた点群やDEMデータも入力値となりうる。出力される設計データは<施工>にLandXMLで記述されたTINの形態で受け渡される。別途3.3に詳しく述べる。

・<施工>：

<施工>では、<設計>から得た地形モデルを入力とし、それをもとに半自動化されたICT施工が行われる。ICT建機に受け入れられる地形モデルの形式は、我が国の現状ではLandXMLで記述されたTINだけである。<設計>からは、施工すべき地形形状が受け渡されるが、施工される地形形状には直接関与しないものの、施工の便宜のため、照査を実施する基準線を示す線形情報（平面上の断面位置+断面形状）が求められる。また、施工を円滑に行うためにデータの調整が必要な場合がある。施工後には完了検査が実施される。点群測量の公共マニュアル^①に従って得られる施工前後の地形データを比較し、水準を満たしていれば検査に合格となる。施工後の地形が反映された検査用の地形データは、更新用として<維持管理>に受け渡される。施工が小規模の場合は、設計に用いたデータを施工後のデータとしてそのまま<維持管理>へ受け渡される場合もありえる。

・<維持管理>：

<維持管理>では、<調査>と<施工>で取得された地形モデルを収集し、管理する。常に地形が最新の状態になるように地形モデルの更新がなされる。災害や管理行為が必要となったときに保持されている地形モデルを<設計>に提供する。また、保持されている地形を含めて様々な河川情報を解析し、河川の状態を点検し、変状の検出を行い、管理行為の必要性を明らかにする。二時期の差分での評価ができるよう、点群を処理しDEM（ラスタ）に変換する。

以上のまとめにより、各段階における地形モデルの受け渡しをまとめたものが図3-2-1である。この図では、4つの建設段階の中での具体的な行為と、その間のデータフローを矢印で表しており、それに付記される青字が望ましい地形モデルの形式を示している。また、破線の矢印はデータの比較や受け渡しによって関連している部分で直接データを変更しないことを表している。<設計>へは<調査>からの点群、もしくは<維持管理>からの点群か高解像度のDEMが入力される。施工では、TINで受け取る必要があるため<設計>からの出力はおのずとTINとなる。<維持管理>では、データの形態を問わず入力とするが、分析のために地形データをDEMに変換し、あわせて保持される。

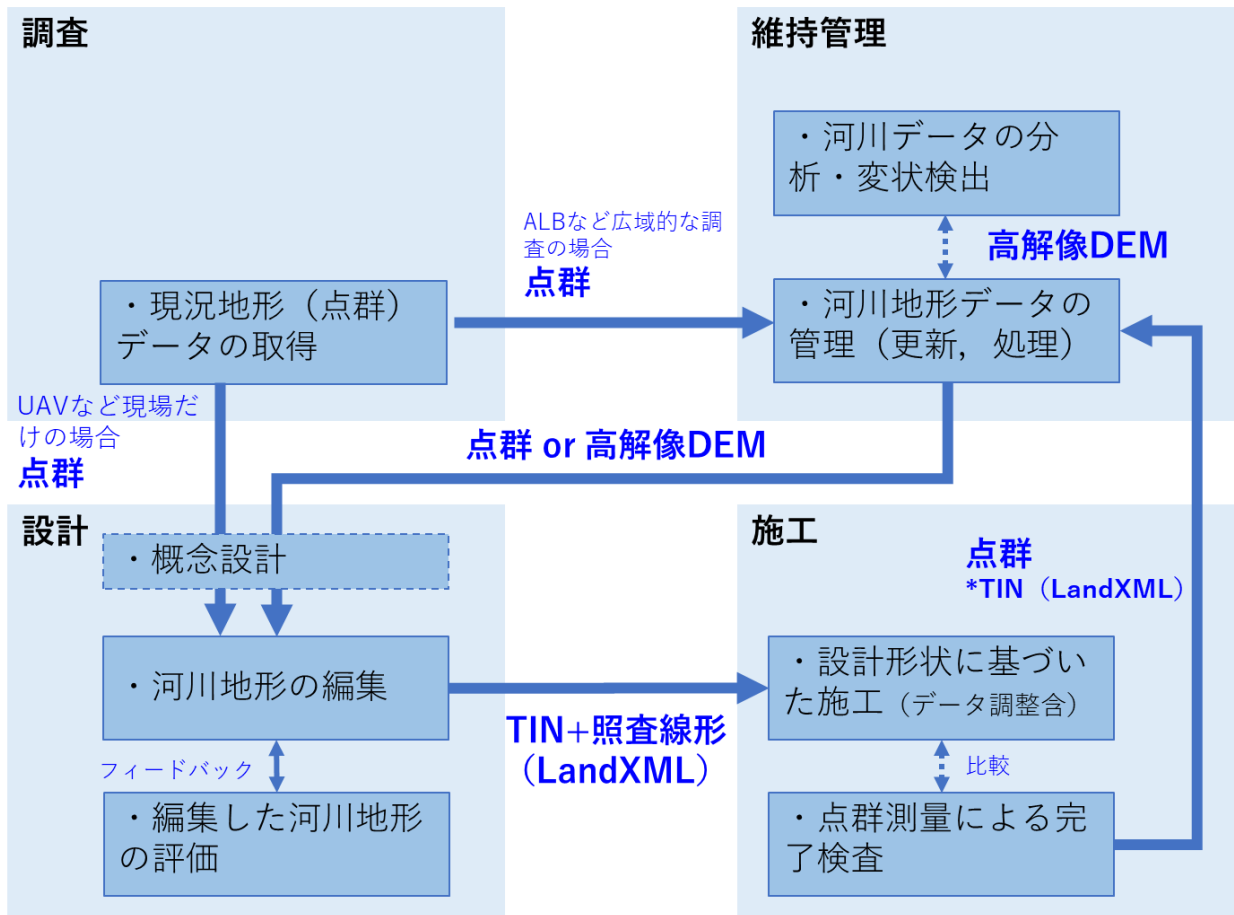


図3-2-1 各段階での3次元地形データのフロー

3. 河川 CIM のデータ運用

3.3 3つのデータの受け渡しのルール

調査から維持管理にいたる各段階で受け渡されるべき地形モデルの形式については、**3.2** で述べた。しかし、地形モデルの形式（拡張子）が正しければスムーズな運用ができるというわけではなく、＜設計＞、＜施工＞、＜維持管理＞の3つの入口に必要なデータの解像度などの質の制限や条件の明示したルールが必要になる。ルールは、4段階を運用していく上での物理的な制限と、データ量を圧縮するために必要な制限とがある。具体的には以下の通りとなる。

・ルール1：＜設計＞→＜施工＞

各段階の運用上の入力条件の中で、最もシンプルなのは＜設計＞から＜施工＞への入力の変換である。＜施工＞では TIN（Triangle Irregular Network）が實際上唯一扱えるモデリング形式であることを述べた。日本においては、ICT 建機にインプットするのは LandXML 形式の TIN が標準として用いられており、＜設計＞から＜施工＞へはこの形式で受渡される必要がある（なお、ここでの LandXML 形式は、LandXML1.2 に準拠して日本が規格化した J-LandXML のことであり、内包できる地形データは、線形（中心線と横断面）と TIN である。生成される TIN の面に対して ICT 建機のバケットをコントロール・ガイダンスすることで施工が行われるので、構成される TIN のサイズがバケット幅（概ね 1m）に対して小さすぎると、処理に多くの時間を要する原因になる。そのため、受け渡される TIN はバケット幅と同等程度に単純化しているとよい。逆に言えば、バケット幅より詳細な地形表現については施工困難であるので不要ともいえる。

・ルール2：＜調査＞・＜維持管理＞→＜設計＞

＜設計＞では、概ね 1m 程度の解像度の TIN を生成し＜施工＞に受け渡す。そのため、＜調査＞・＜維持管理＞から受け渡される地形モデルもその解像度がひとつの水準となる。また当然ながら、現況地形を正確に表現できていることが必要であり、基本的に公共測量マニュアルに則った地形データであることが必要条件である。調査では様々な点群測量方法によってこれが実現可能である。解像度の設定はデータ量と活用の幅に影響を与える。実現場での検討を行った渡邊・山本（2018）⁹⁾は、重要度や流れの表現レベルに対応し河川内の堤防・低水路・高水敷で重要度により、それぞれ 0.5、2.0、5.0m（LOD（詳細度）400、200、100）のグリッドで整備することを提案しており、堤防を除く河川内の土工ならば、解像度としては 1m 取ることができれば十分である。一方、広域的な ALB の測量対象外のことが多いが、川幅が狭い中小河川の場合は 1m の解像度では設計にするのに不十分である場合があるので、必要に応じてこの基準にとらわれることなく精細なデータを利用する必要がある。

・ルール3：＜調査＞・＜施工＞→＜維持管理＞

＜維持管理＞では、その後の設計への引き渡しと変状分析のため 1m 程度の解像度の DEM を生成できるデータを受け取る必要がある。「河川管理用三次元データ活用マニュアル（案）R2.2」⁵⁾でも、日常の管理には 1m DEM を用い、必要に応じてより精細なデータを用いるよう示されている（国土交通省、2020）。＜調査＞から＜維持管理＞には公共測量マニュアルに沿った点群測量であれば要求を満たす。＜施工＞→＜維持管理＞でも、公共測量マニュアルに従った測量成果で検査されれば陸部については問題ないが、水中部に欠測を生じる。ここでは、建機に保存されたバケットの位置履歴（刃先のデータ）からの推定値で補完することを提案する。また、小規模の事業の場合には、施工に用いたサーフェス（LandXML）をそのまま＜維持管理＞へ移行しても差し支えない場合もあるだろう。ただしこれらは

公共測量マニュアルで定められた手法ではないため、注意が必要である。

以上の検討により、各段階で入力されるべき地形モデルについては、表 3-3-1 に示すように、点群、TIN、DEM といった求められる地形モデルの形態をとりながら、水平解像度 1m を基準に受け渡すことが望ましいと考えられる。参考までに解像度別の地形表現の比較を示す(図 3-3-1)。ただし、前提に示したように、本検討では、堤防を含まない河道内の土工に限定した議論を行っており、堤防の設計ではより高い詳細度が求められるし、景観を含めた可視化においては、点群やオルソ航空写真データ等の色情報が別途求められることがあることに留意していただきたい。

表 3-3-1 各段階での 3次元地形データの取扱と入力・出力の制限

段階	3次元地形データの取扱	入力 制限	出力 制限
調査段階	地形データの取得	-	点群 公共測量 M
設計段階	地形データの編集	点群 公共測量 M	TIN > 1m
	地形データの評価	DEM < 1m	
施工段階	地形データに基づく ICT 土工	TIN > 1m	点群 公共測量 M+
	点群測量による完了検査	(+照査用線形)	水中の刃先データ *TIN < 1m
維持管理段階	地形データの管理、更新、処理	点群 公共測量 M	点群 公共測量 M
	地形データ等の分析による変状検出	*TIN < 1m	DEM < 1m

*小規模の場合

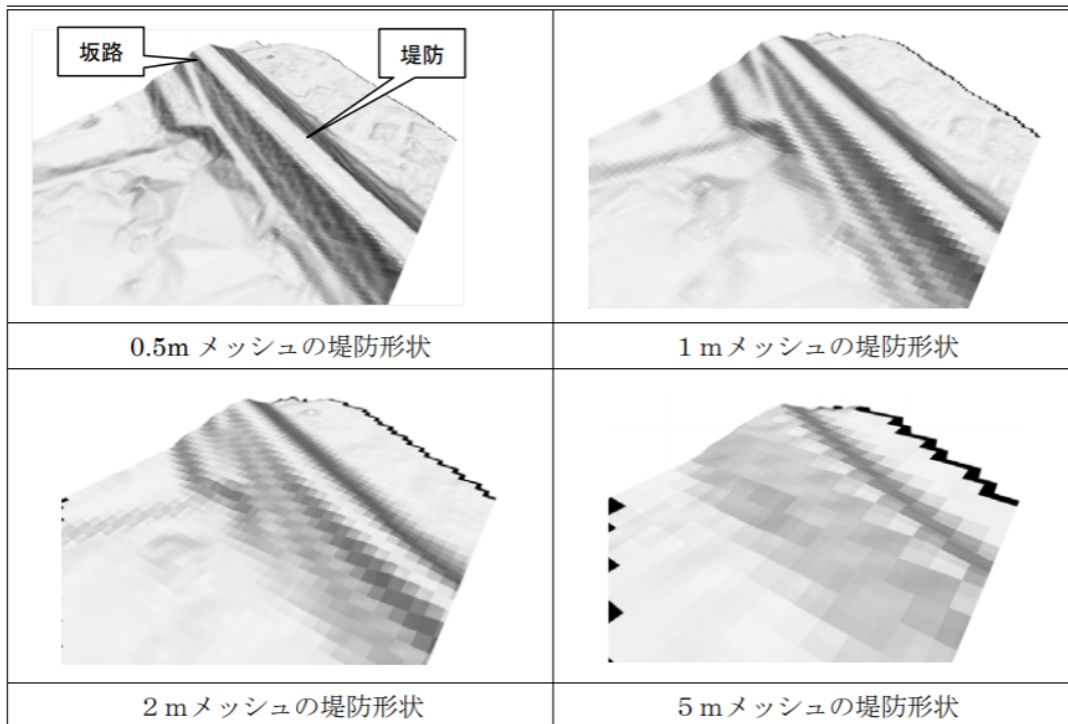


図 3-3-1 DEM の解像度による地形表現レベルの比較
(出典：JACIC CIM 技術検討会 平成 27 年度報告 別冊資料)

3. 河川 CIM のデータ運用

3.4 地形編集の3手法

3.4.1 地形編集3手法の特徴

本報告では、我が国で利用が進むと考えられる3つの地形編集手法を取り上げ、その特徴を述べたい。ここでは、図3-4-1のように<設計>の中身を、地形モデルの形状を変更することを「編集」、生成された形状の優劣を判断することを「評価」と呼ぶことし、「編集」と「評価」を繰り返すことによって、望ましい地形モデルが生成されることを<設計>と考える。

とりあげる3つの地形編集手法はそれぞれ、「断面・格子ベース編集」「CAD ベース編集」「ラスターベース編集」と呼ぶことにする。それぞれの地形編集について取りまとめたものが表3-4-1 および図3-4-2である。なお、ここに3つの手法を挙げているのは、これらを標準とすべきであるとか、手法の優劣を議論したいのではなく、それぞれに特性があることを認識することが趣旨である。

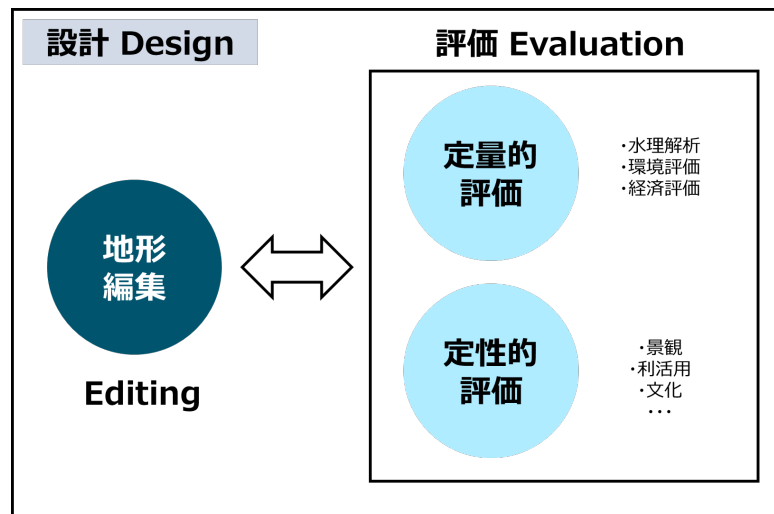


図3-4-1 設計における「編集」と「評価」

・「断面・格子ベース編集」(Cross section and grid-based editing)

この手法は、横断形状のデータ編集をベースとしながらそれを一般座標系の計算格子を介して3次元地形へと展開する方法である。この手法は、現在、平面2次元水理解析モデルを包含するフリーソフトウェア「iRIC software」(<https://i-ric.org/>)の前処理過程において「RiTER Xsec (River Terrain Editor / Cross-sectional)」として実装されている。

この手法で入力値となる地形データは、河道の縦断線の平面位置と横断面の位置と横断形状からなるデータである (riv ファイルと呼んでいる)。なお、RiTER Xsec には点群や DEM などの面的地形データから半自動的に断面形状を抽出する機能があり、3次元地形データがあれば、riv ファイルとしてデータを作る必要はない。入力データから法線と横断線を基準に縦断方向 (i 方向) と横断方向 (j 方向) に分割された2次元の計算格子を構築する。横断線上と重なる格子点には横断形状から抽出した標高値を与え、それらを縦断方向 (i 方向) に空間補間することで残る格子点の標高値が与えられ、横断形状を3次元形状へと拡張する。この状態を基本に、横断面の形状を任意に変更することで、変更を3次元モデルとして即座に反映することができる。この方法の利点は、横断図・縦断図・平面図を基本とした既往の

河川管理の手法と乖離せずに3次元の地形モデルの編集が行える点であり、検討段階で求められることが多い断面の拡幅や掘削によく対応することである。また、地形モデルの基盤が計算格子であるため、そのまま2次元の水理計算に利用でき、さらに、横断形状を元としているため、既往の評価法である1次元計算にも適応的である。一方、不利な点としては、精細さを求めて断面を増やすと編集すべき断面も増え操作性や効率が低下する点がある。そのため、この手法では取り扱う地形の詳細度(LOD)は他と比べて低くなり、縦断方向に10m程度、横断方向に数m程度になると考えて良い。この点は情報の欠落という意味では欠点であるが、地形データを適度に取り扱いやすく調整しているとも言える。また、水制のような、局所的あるいは縦横断方向に対して斜めの形状を表現するのは不得手である。可視化の点では、形状を俯瞰で立体視することはできるが、アイレベルからの視点場の確認といった高度な可視化は難しい。

・CAD ベース編集 (CAD-based editing)

この手法は、土木施工用3次元CADソフトウェア(Autodesk Civil 3Dほか)で実装されるサーフェスマデリングを用いる方法である。CAD(Computer Aided Design)には明示的に寸法を入力するパラメトリックモデリングと粘土をこねるように造形するスカルプトモデリングがあり、包含する概念は本来広いが、ここでは土木施工用3D CADを用いて河川のような線上の形状を表現するには「コリドー機能」を利用してモデル構築するのが一般的であるため、それを説明する。コリドー機能とは、平面・縦断位置を規定する「基線」と基線に沿った標準横断である「アセンブリ」によってサーフェスを構築する機能である。これを組み合わせることで、基線に沿って同一の断面を持つスムーズな3次元形状を明示的にモデリングすることができる。地形モデルを画面に表示しながら操作するGUIが基本であるので、地形の見え方の確認が容易であり、施工側へのデータの受渡しや調整が容易ということも運用上の大きな利点である。一方、地形モデリングの操作にはある程度の熟達を要すること、工夫を施さないと、直線的で変化の乏しい地形になりがちであることが難点である。2.1で述べたように、画一的な断面が連続する河川地形は多自然川づくりにおいて好ましくないことが指摘されている。

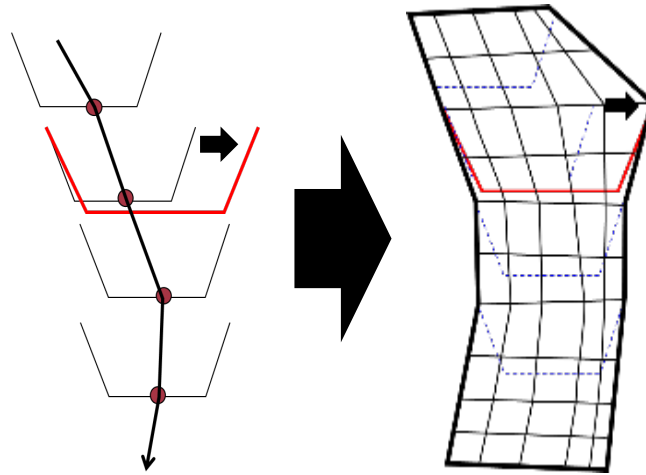
・ラスタベース編集 (Raster data-based editing)

この手法は、地形をラスタデータとして扱い、画像編集と同じ要領で地形データを編集すること手法を指す。近年活用の幅を広げている「ゲームエンジン」(Unreal Engineほか)の基本的技法として採用されている。前述のBrush River Design、またスカルプトモデリングのひとつと呼べ、円形等のブラシの範囲で掘る、あるいは盛る、スムージングをする、などがある。この方法の大きな利点は、直感的な操作で簡単になめらかで自然な地形形状を作ることができることである。また、ゲームエンジンでの作業では3Dバーチャル空間上で俯瞰やアイレベルでの景観を確認しながら作業でき、アイデアをすぐさま地形モデルに反映させることができる。流水の侵食を模した処理なども機能に含まれる。なお、Unreal Engineについては非ゲーム利用に関しては商用利用を含めて無料である。他方、明示的なサーフェスの構築には向いておらず、護岸のような均一な面で一定の法面勾配とするようなもの設計にはなじまない。また、地形高の保存形式が一般に用いられる方式とは異なり(Unreal Engineであれば、16bit png形式のデータ)、データに地理座標情報や標高の変換情報を別途付帯させる必要があるなど、現段階ではGISで利用可能なデータ変換ツールを要する。

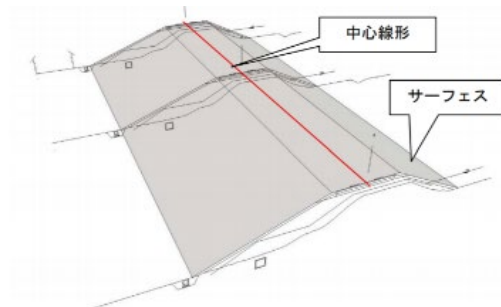
3. 河川 CIM のデータ運用

表 3-4-1 3つの地形編集手法の比較

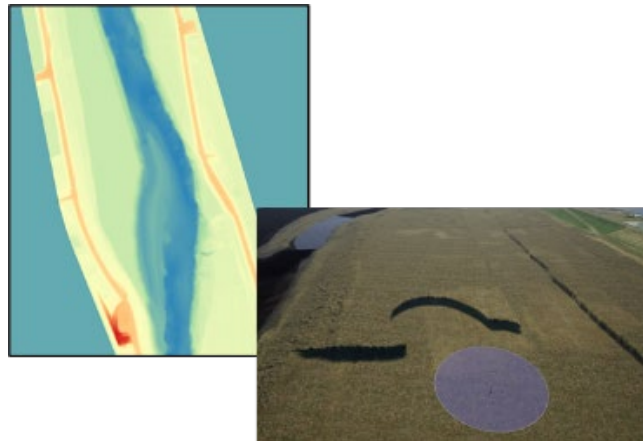
	断面・格子ベース :	CAD ベース :	ラスターベース :
実装	水理解析ソフトの応用 (ex iRIC Software GUI (RiTER Xsec))	3次元 CAD (ex Autodesk Civil3D)	ゲームエンジン (ex Epic games Unreal Engine)
入力	縦断線+横断形 (riv ファイ ル) 粗い点群、Geotiff、TIN でも 可	中心線+横断形	高解像度のラスター (png)
出力	縦断線+横断形 (riv ファイ ル) 2次元一般座標系計算格子	サーフェス (LandXML)	高解像度のラスター (png)
特徴	横断形を 2次元の計算格子 に拡張することで面的に地 形を表現	線形(縦断形状と断面の組み 合わせ)でサーフェス(面) として表現	地盤高ラスターを画像編集の 要領でブラシを用いて盛る、 掘る、ならすように地形を表 現
長所	管理者が長年親しんだ図面 を用いた検討と乖離せずに3 次元形状を扱うことが可能。 水理検討へ即座に移行可能。	土木設計の標準的手法。 明示的な面の取扱が可能。 様々な視点から形状を確認 できる。 施工側へのデータの受渡し や調整が容易。	即座に地形編集でき、なめら かな地形が作られる。 高度な可視化技術により、そ の場で施工しているかのよ うに景観変化を確認しなが ら作業ができる。
短所	地形の解像度 (LOD) が低下 する。 断面ごと変更する必要があ り、やや手間がかかる。 局所的あるいは縦横断方向 に対して斜めの形状を表現 するのは不得手。 3次元での形状の変化を都 度、確認する必要がある。	取り扱いには一定の熟練度 を要する。 扱いが容易な分、多自然川づ くり求められない画一的 な設計に陥りがちになる。	明示的な面の構築は不可能。 データ形式がやや特殊でコ ンバータが必要。



(a) 「断面・格子ベース編集」(Cross section and grid-based editing)



(b) 「CAD ベース編集」(CAD-based editing)



(c) 「ラスタベース編集」(Raster data-based editing)

図 3-4-2 3次元地形の編集方法

3. 河川 CIM のデータ運用

3.4.2 地形編集 3 手法の相互連携

3.4 で説明した 3 つの手法はそれぞれが異なる特徴や利点を有しており、扱えるデータ形式やフォーマットも異なる。しかし、これらのツール間でのデータ互換性はある程度担保されており、実際の設計では、これらが相互に組み合わせることが望ましい。図 3-4-3 は今回検討した 3 つのツール間でのデータの入出力の互換性について示したものである。今回示した 3 つのツールは、点群ないしは DEM をデータとして入力可能である。データを相互にやり取りし、最終的には LandXML 形式の TIN として出力することで、ICT 施工に求められる最低限のデータを受け渡すことができる。

また、図 3-4-1 に示すように、設計は、設計物の形状設定とその評価とが対になっている。例えば、今回取り上げた RiTER は水理解析、ゲームエンジンは景観評価といったように、設計物の定量的評価、定性的評価と強く結びついており、編集ツール間でのデータのやり取りが円滑になれば、それだけ円滑で多角的な評価が実施できることになる。以下は、紹介したツールごとにデータ交換について具体的に示す。

・断面・格子ベース編集 (RiTER Xsec)

この手法では、河川 CIM におけるデータ管理を想定している GeoTiff のほか、テキスト形式での疎な点群 (xyz)、LandXML、STL などの TIN データもサポートする。LandXML で出力すると、格子を対角線で三角形に分割した TIN としてアウトプットされ、これを通じて 3D CAD へのデータの受渡しが可能である。また、一旦計算格子を構築すれば、その上に別の地形データをオーバーレイすることで、形式を問わず格子点に落としこむこと（これをマッピングとよんでいる）ができる。例えば、CAD 側で再編集した地形データを LandXML ないしは STL の形で出力すれば、iRIC の機能を用いてその地形形状での水理的な検討を容易に実施できる。（ただし、格子のサイズよりも小さい変化は反映できないので注意）

・ラスターベース編集 (ゲームエンジン)

この手法では、前項で示したように入出力できる地形データの形式がやや特殊であり、画像フォーマットの PNG ファイルで (16 ビットのグレースケールで、 2^n-1*2^n-1 のサイズ) DEM を準備する必要がある。ここがこのツールの難点であるが、GIS ソフトウェア (QGIS 等) を介することで、様々な地形データをインポートすることが可能であり、QGIS で利用可能な GeoTiff to PNG コンバータプラグインが開発されており、iRIC ソフトウェアでも PNG 形式での DEM を入力できる。また、Unreal Engine については、点群データインポートのプラグインがリリースされており、インポートに関しては点群 (.XYZ (RGB 含)、.PYS、.TXT、.LAS) を用いることが可能である。

・CAD ベース編集 (3D CAD)

この手法では、点群、TIN (LandXML 等)、DEM (Geotiff) などさまざまな地形情報を入力できる。出力としては、線形を用いたサーフェス (TIN) となる。線形と TIN の両方を含んだ LandXML ファイルを出力できるのが特徴である。

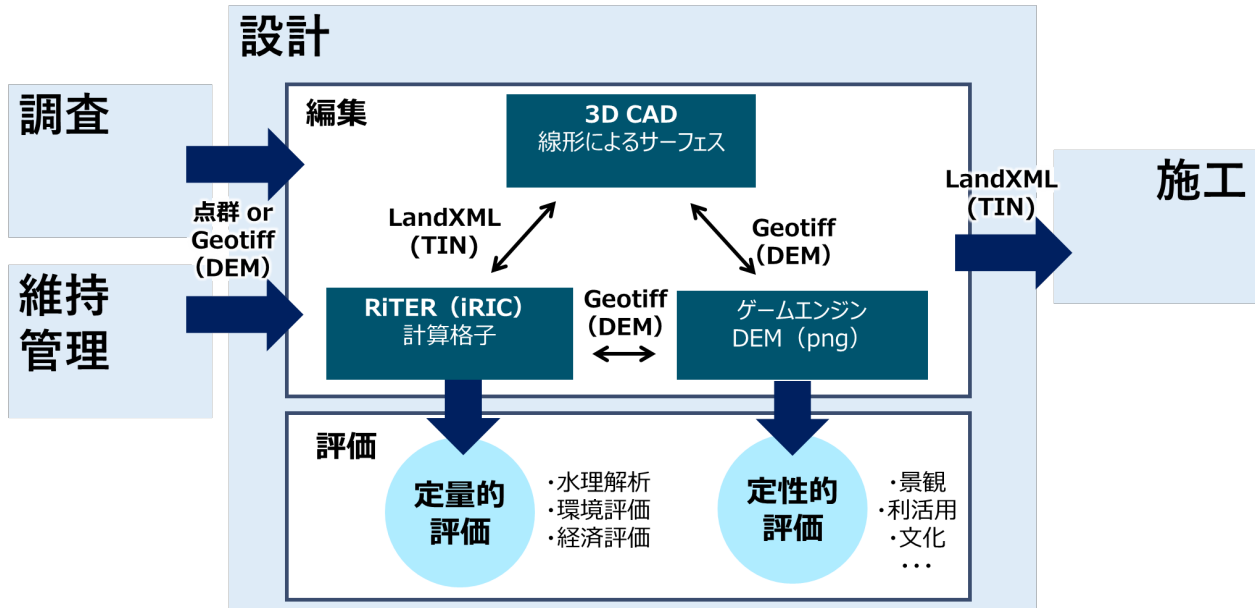


図 3-4-3 検討した3つの地形編集ツールの連携

3.4.3 地形編集手法と地形モデルの評価

3.4.2 では3つの手法はそれぞれ相互にデータ交換が可能で、柔軟な地形編集と評価が可能であることを示した。さらにこれらのツールは、地形編集機能に付随して定量・定性的な「評価」を行うための機能や施工用データとしての調整を行う機能が備えられている。地形の編集と評価をスムーズに行えるようになることで、検討現場で求められた地形の調整と評価をその場で行うといったことが可能になり、合意形成のレベルを大きく引き上げると考えられる(図 3-4-4)。以下に新しいアプローチとしての提案を述べる。

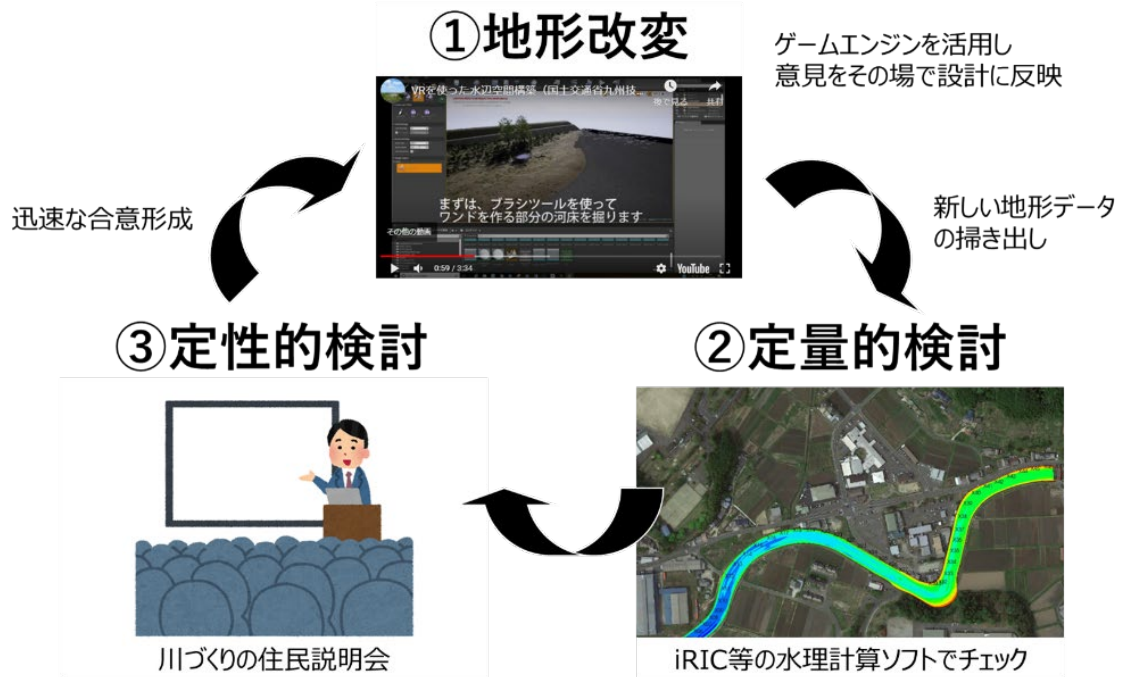


図 3-4-4 3次元地形モデルの円滑な活用による設計のレベルアップ

3. 河川 CIM のデータ運用

1) 水理的評価に対する新しいアプローチ

現在の河川の設計物に対する評価の方法としては、図 3-4-5 左に示すように、河川を 1 次元的に表現し（横断面と縦断距離）、設計条件となる流量を境界条件とした 1 次元不等流計算によって、計算水位が基準となる水位（計画高水位等）以下に収まることを確認する。この方法だと、河道断面が河川環境にも影響を与えるにもかかわらず、河川環境への配慮が後付的になってしまう問題点がある。そのため、治水要件と環境要件を同時に評価する枠組みが必要である。

ひとつの案として提案したいのが図 3-4-5 右のアプローチである。本報告で紹介した RiTER Xsec は水理計算の格子生成機能を利用したものであり、そのまま 2 次元の水理計算に適用できる。iRIC ソフトウェアには、水理計算結果を利用した環境評価機能（EvaTRiP Pro）も備わる。また、RiTER Xsec で編集すると、横断面の情報と面的な地形高の情報（計算格子）を同時に有することになる。そのため、これまでの 1 次元計算を用いた評価の枠組みをそのまま適用しつつ、同じデータを使って 2 次元水理計算やそれに付随する環境評価を行うことが可能である（現在のところ、河道計画等で利用できる実用的な 1 次元計算のソルバーがないため、別途ソフトウェアでの検討になる）。河川環境の評価を置き去りにせず、かつ定量的に設計に組み込むことが可能になる。

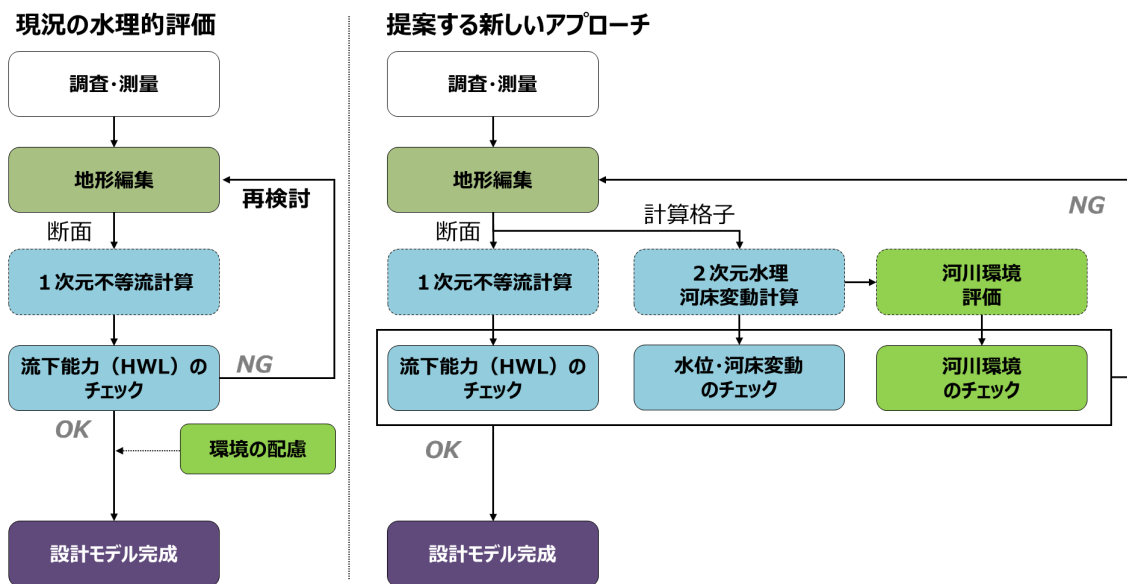


図 3-4-5 地形モデルの水理的評価に対する新しいアプローチ

2) 景観評価と合意形成に対する新しいアプローチ

ゲームエンジンの登場は、これまでデジタルデータとしての設計モデルを景観的に評価するチャンネルがなかったところに大きな風穴を開ける可能性がある。景観やユーティリティの評価とは、理想的には設計物が現実世界に落とし込まれたときに視覚的に認知されるさまざまな気づきを事前の情報によって抽出する行為とすることができる。しかし、従来の 2 次元の図面での情報では、そこから読み取れる情報にステークホルダー（利害関係者）間の差が生じるため完成形の認知の共有が不十分にならざるを得ず、重要な気づきを抽出できないことが大きなネックになっている。これまでは景観模型やパース図などがこうした欠落を補うために用いられてきたが、一般に大きなコストを伴うものですべての事業に適用できるものではない。また、完成形を見る、ということは、単に設計形状を立体視するというにとどまらず、施工に関わらない周辺環境（背後地）との調和や用いられる材質の質感などと合わせ

て認知できることが重要であり、現在のところこれらの要求を満たすような設計は限られている。図3-4-6のようなバーチャル空間は、ゲームエンジンと地形モデルがあれば表面のテクスチャなどは素材があるため容易に設置できる。そのため、計画の初期段階からこのようなモデルを活用することができる。

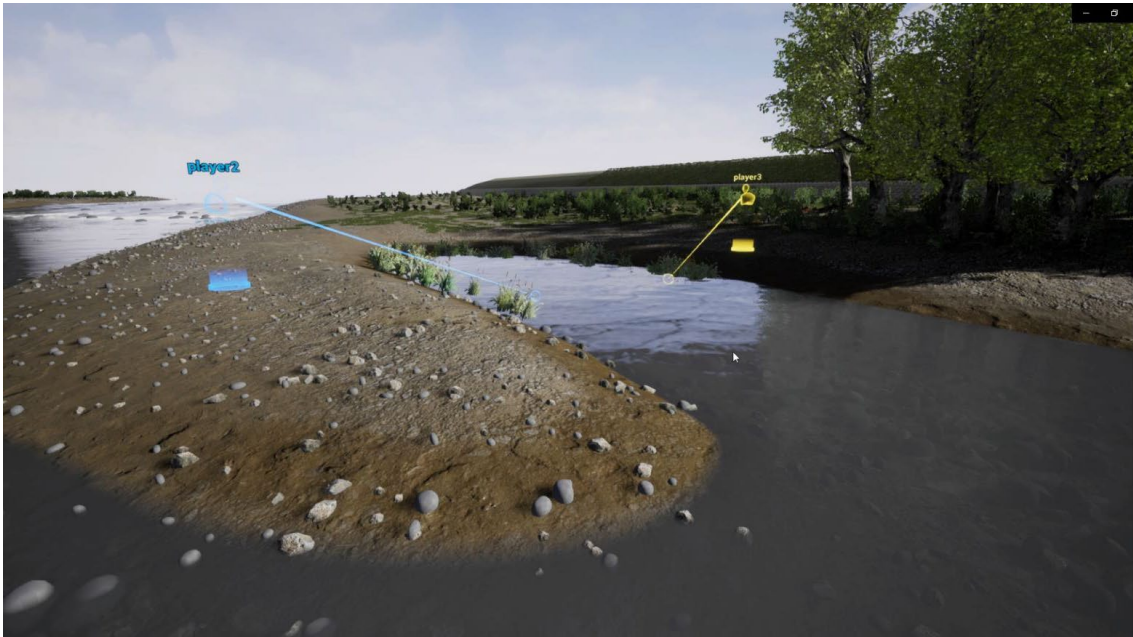


図3-4-6 ゲームエンジンによる地形モデルのアイレベルビュー表示

参考文献

- 1) Brown, R. A., & Pasternack, G. B. (2019). How to build a digital river. *Earth-Science Reviews*, 194, 283-305.
- 2) 国土交通省国土地理院 HP：基盤地図情報 ダウンロードサービス
<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>
- 3) 国土交通省 (2018)：河川定期縦横断測量業務実施 要領・同解説 (平成 30 年 3 月)
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/lp_kentoukai/dai03kai/dai03kai_siryou2.pdf
- 4) 中村 (2019)：河川 CIM で進化する多自然川づくり, R I V E R F R O N T, 18-21,88,2019.
http://www.rfc.or.jp/pdf/vol_88/p018.pdf
- 5) 国土交通省 (2020)：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),
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/pdf/3jigen_manual.pdf
- 6) 国土交通省 (2017)：UAV を用いた公共測量マニュアル (案) (平成 28 年 3 月, 平成 29 年 3 月改正) <https://www.gsi.go.jp/common/000186712.pdf>
- 7) 国土交通省 HP：水管理・国土保全局 革新的河川管理プロジェクト (第 1 弾) 陸上・水中レーザードローン (2021/3/1 閲覧) https://www.mlit.go.jp/river/gijutsu/inovative_project/pdf/5.pdf
- 8) AMUSE ONSELF Inc.HP：TDOT GREEN, <https://amuseoneself.com/service/tdotgreen>.
- 9) 渡邊俊夫, & 山本一浩. (2018). 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. 建設マネジメント技術, (487), 78-84.

4. 河川 CIM の実装

4. 河川 CIM の実装

4.1 各事例の位置づけ

本章では、河川 CIM の実現に向けた具体的な取り組みについて示す。各報告は図 4-1-1 に示すように、河川管理全体と、河道管理の 4 段階に関連している。**4.2**、**4.3**、**4.4** はいずれも河道管理の設計にフォーカスし、河川 CIM を活用した新しい川づくりについて模索している事例である。これについては、第 3 章において具体的な手法について触れているところであるが、これら 3 つの手法をよりイメージしやすくすることを目的に、同一現場の同一目的の工事に対する設計を施工的に実施した。**4.1.1** では、その結果を述べる。**4.3** の福井における事例については、CAD を用いた河川 CIM というに加え、実現場において調査→設計→施工→維持管理の建設サイクルの循環を試みた事例として極めて先進的である。また、**4.5** については、河川 CIM が到達すべき「河川管理」全体のマネジメントを全国に先駆けて試みた事例である。

4.5 3次元管内図

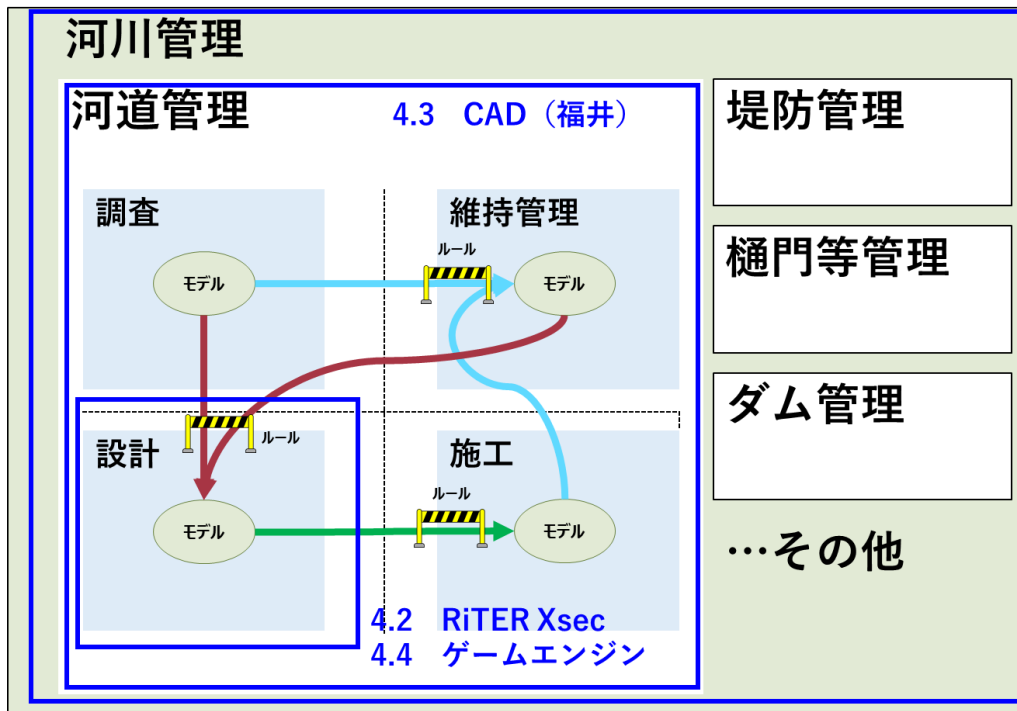


図 4-1-1 各検討の建設段階との関連性における位置づけ

4.1.1 同一の事例を異なる手法で実施する試行実験

対象とした事例は、福井県・九頭竜川流域支川、日野川の河床掘削事業である。この事業は河積確保のための高水敷掘削（維持管理行為）に対し、湿地復元をあわせて目論んだものである。具体的な方針としては、図 4-1-2 に示されている通り、高水敷を一定の高さに掘削した後、その川表部分に細長い陸部で隔てられたワンド状の水路を掘削するというものである。水路ののり勾配は 1:20、水路高さは T.P.-0.2m に指定されている。与えられるデータは、ALB によって測量された、点群ないしは 0.5m および 1m 解像度の DEM、航空写真のオルソ画像である。

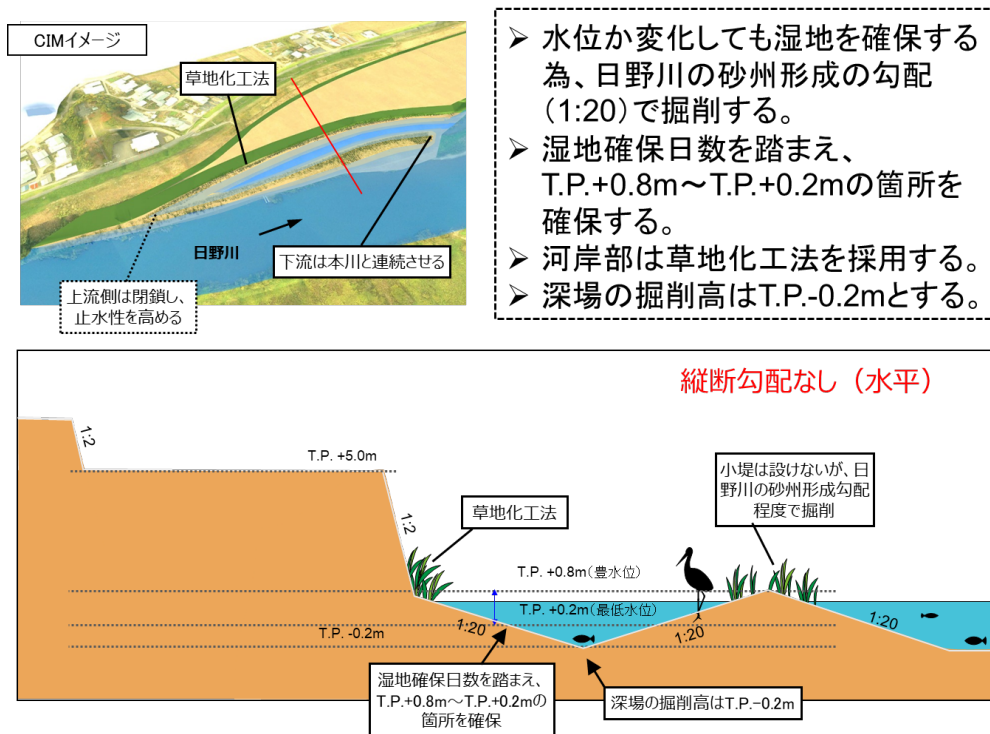


図 4-1-2 検討する湿地再生事業のイメージ

4. 河川 CIM の実装

RiTER Xsec では、横断面を編集することによって、高水敷掘削と水路の形成を行う。手順に示すように、まず DEM (.GeoTiff) を読み込む。参照情報としてポリラインを作成することで、掘削する位置の検討をつけるためのフラグを横断面図上に発生させることができる。中心線と幅を定義することで、面的標高データから横断面を抽出する。この断面位置のデータを元に、計算格子を作成する。横断面の修正による地形変化は、計算格子の標高点に反映されるので、最終的な地形モデルの解像度（詳細度）は計算格子の幅に依存する点に注意が必要で、詳細部分には計算格子を細かくする必要がある。ただし、計算格子の細かさは水理解析にも影響することにも留意する。横断面を一つ一つ成形して、格子にその変更を反映（マッピング）させると完成である。横断面を多く生成すると、その分だけ詳細になるが、作業が大変になる。iRIC には格子を対角線で分割した TIN として LandXML で出力できるようになっている。

3D CAD ではコリドー（線形）モデリングを用いてモデルを作成する。DEM を読み込むが、これ自体を編集するのではなくサーフェス構築の条件的な位置づけである。掘削形状を見ながら3つの線形を想定し、中心線と横断面を設定しサーフェスを作る。これを合成、トリミングし完成する。サーフェスはすでに TIN で構成されているので、これを LandXML で出力する。

ゲームエンジンでは、ラスタで構築される DEM（ゲームエンジンではハイトマップと呼んでいる）を編集することによりモデルを作成する。まず、DEM を読み込むが、所用の変換が必要である（表 4-1-1、図 4-1-3 参照）。DEM の他、オルソ画像を同時に読み込むと作業性がよい。テクスチャ等の作業環境を設定し、地形編集作業に入る。画像編集のようにブラシなどを用いたラスタ値の変更がこの方法の地形編集の特徴であり、なでるように水路を掘削していくことができる。作成した地形に、植生などのテクスチャの貼り付け、水面などの設定をすることで現実感のある描写ができる（地形そのものには変化はない）。ハイトマップは微細な格子のラスタのため、直接 LandXML で出力することはできない。GIS にインポートし、1m 程度の適当な解像度に焼き直し、CAD や CIM ソフトウェアを介して LandXML で出力する。

最終的に得られた LandXML 形式の TIN を描画したものが図 4-1-4 である。ゲームエンジンに関しては、1mDEM に焼き直したものを点データにした上で TIN として出力している。まず、高水敷部については、3つの方法で差がなく均一な表面として出力されている。一方、水路部（図 4-1-5）の表現に差がある。CAD で生成された TIN は極めて均質な面で構成されているが、RiTER Xsec とゲームエンジンでは、凹凸が見られる。RiTER Xsec の河岸部に凹凸がみられるのは、横断面の高さを縦断方向に補間する際に、格子線が河岸と完全に平行にできないため連続的に補間できないためである。一方、横断方向で見ると、不連続点は見られず、河岸勾配を設定どおりに表現できていることがわかる。これに対し、ゲームエンジンについては、横断方向に見たときに不連続な部分がみられる。これはゲームエンジンでは、面に対してある範囲を編集するというように特化しているため、一定の法勾配の立面の形成が不得手であるためである。

このように抽出される差異は、そのツールの欠点であるということではなく、初期の設計方針を図 4-1-2 に示すような、直線的な断面で指定するから優劣かのように見えているだけのことである、本質的に重要なのは、どのようなものを作りたいかであって、どの道具を使うべきかではないことは強く留意したい。

表 4-1-1 検討した各ツールによる検討手順

RiTER Xsec	3D CAD	ゲームエンジン
1. DEMを読み込む	1. DEMの読み込み	1. DEMの変換
2. 参照情報の設定	2. 中心線(線形)の設定	2. DEMのインポート
3. 断面の抽出	3. サーフェスの生成	3. 環境設定
4. 計算格子の作成	4. サーフェスの調整	4. 地形の編集
5. 横断面の修正	5. サーフェスの合成	5. テクスチャの設定(修景)
6. 格子にマッピング	6. 完成	6. 完成
7. 完成	7. LandXMLでエクスポート	7. ハイトマップを書き出し
8. LandXMLでエクスポート		8. LandXMLに変換

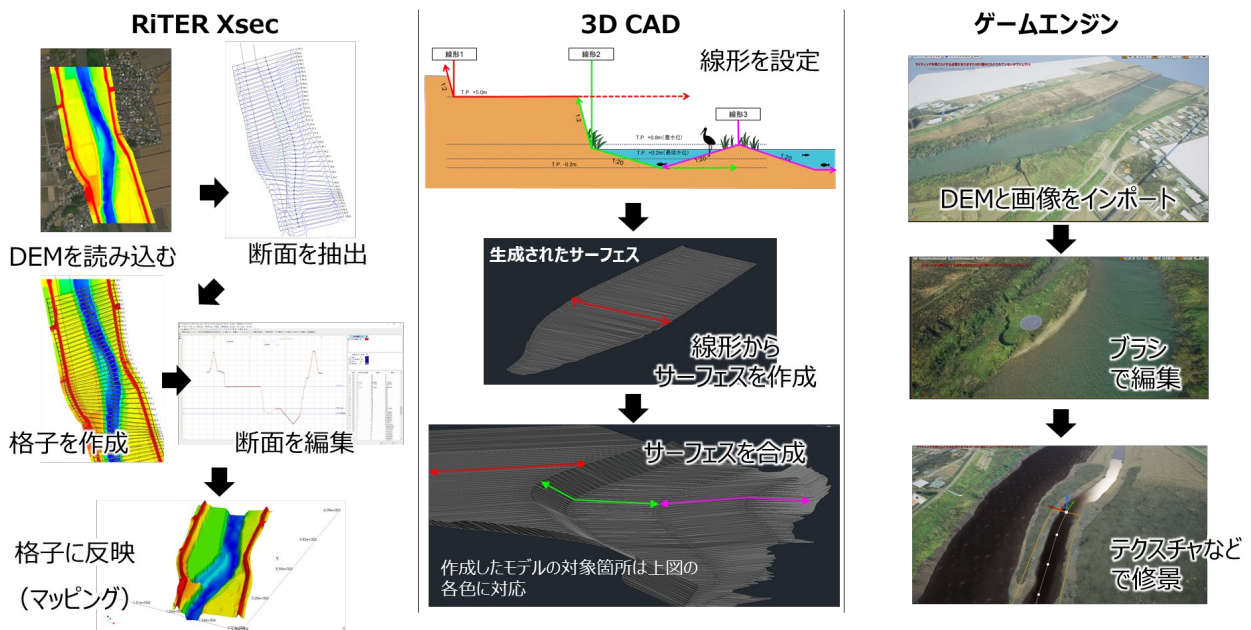


図 4-1-3 検討した各ツールによる検討手順

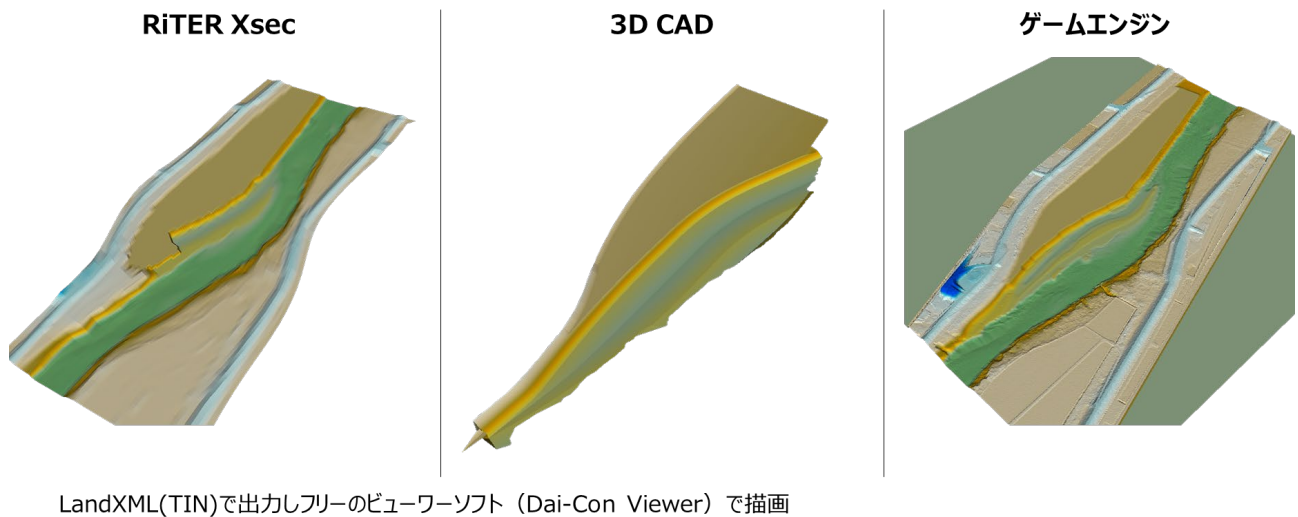


図 4-1-4 検討した各ツールによる LandXML (TIN) による出力結果 (遠景)

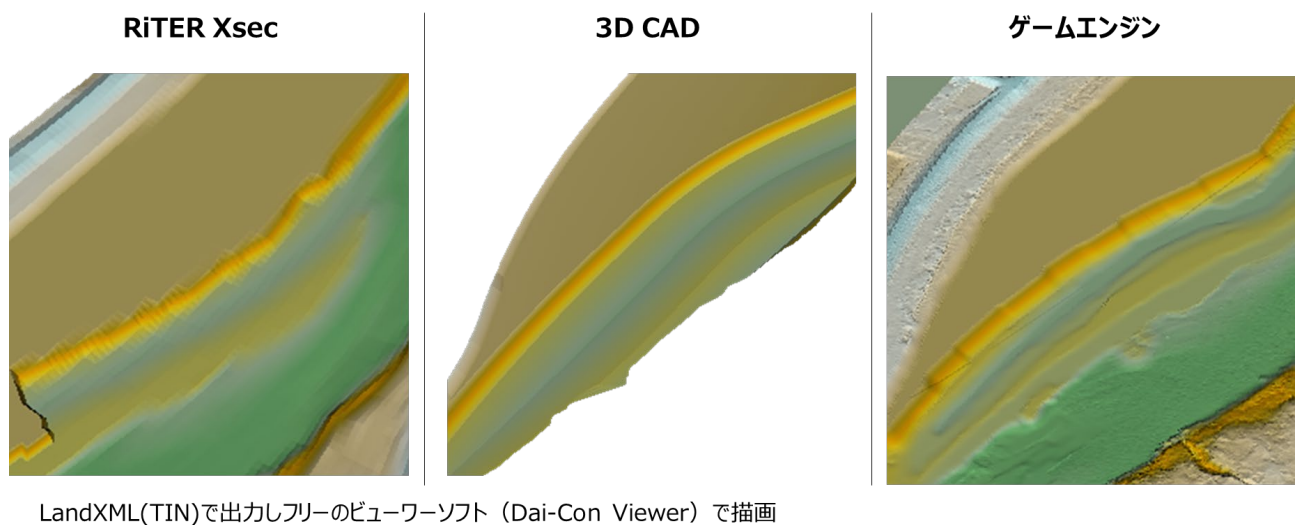


図 4-1-5 検討した各ツールによる LandXML (TIN) による出力結果 (近景)

4.2 設計：RiTER 等を用いた 3 次元川づくり

4.2.1 多自然川づくり支援ツールの全体像と開発の経緯

中小河川において河道の形を大幅に変更する機会は限られている。例えば災害復旧はその一つであるが、非常に短い期間で河道計画を立案する必要があることから、治水検討優先で環境への配慮が後手に回りがちである。そのため、治水上の評価とともに、自然環境保全に対する評価を迅速かつ負担なく行うことができる支援ツールが求められている。自然環境や水辺利用などを念頭に置いた川づくりを行う上では、操作性の良い地形編集機能と自然環境評価機能が重要である。また現在、3次元測量技術の高度化やその成果をそのまま用いる CIM、さらに無料で使える水理シミュレーションソフトウェアなども浸透しつつあり¹⁾、これらの持つ利点を川づくりの場面で活かせる河道計画のプロセスの確立が必要である。

こうしたことから、土木研究所自然共生研究センターでは、災害復旧事業での活用と 3次元測量や CIM、VR (Virtual Reality) の適用を念頭とした新しい河道計画プロセスと、これに対応できる「多自然川づくり支援ツール」の研究開発を行っている。図 4-2-1 は、多自然川づくり支援ツールの全体像である。大きく分けて川づくりを行う上で重要な 3つの機能を支えるツールがある。中心となるのは、洪水時の安全性を評価するツールとなる無料の水理シミュレーションソフトウェア、iRIC ソフトウェア (以下、iRIC)²⁾である。これに 3次元地形モデルを編集する機能 RiTER Xsec (River Terrain Editor X(Cross)-section、ライタークロスセクション) および河川環境の定量評価ツール EvaTRiP (Evaluation Tools for River environmental Planning、エヴァトリップ) と呼ぶ 2つの機能を iRIC へ追加した。

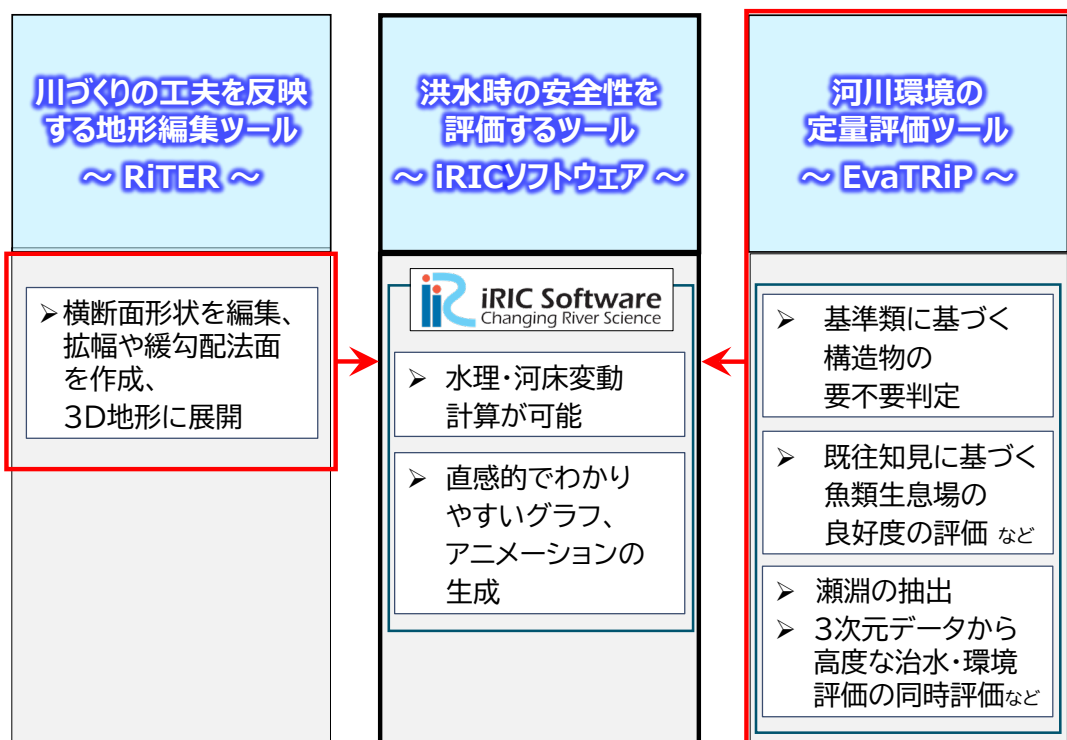


図 4-2-1 川づくりに重要な 3つの機能を支えるツール群

(赤枠：土木研究所で開発し iRIC に追加した機能)

4. 河川 CIM の実装

4.2.2 地形編集ツール RiTER Xsec の機能

RiTER Xsec は、河道地形を柔軟に編集するためのツールである（図 4-2-1 左）。RiTER Xsec の最大の特徴は、横断面ベースでの地形編集でありながら、3次元地形モデルの編集を行うことができる点である。横断面をベースに考えることは従来の河川計画に馴染んだ方法であり、技術者が高い障壁を感じることなく、河川の3次元設計へ移行できることを狙っている。主な機能は表 4-2-1 のとおりである。

RiTER Xsec の基本構造は、iRIC の平面 2次元の計算格子を構築する機能である。図 4-2-2 にその概念図を示す。基本となるデータは、河川横断面データである。同図①のように、横断面の位置データとともに読み込むと、これをもとに②のように計算格子（青）が半自動的に設定できる。ここで、赤色で示すように格子点に横断面データから標高値を抽出して与えると（これをマッピングと呼ぶ）、格子点の接続性から3次元の河道地形モデルを生成することができる。横断面を変更した場合は、③のように計算格子の再設定および再マッピングを行えば、編集された3次元モデルを生成できるという仕組みである。

表 4-2-1 RiTER Xsec のねらいと具体的な機能

ねらい	機能
① 横断面図と平面図の連動した旗揚げ機能	✓ 平面図に官民境界や道路などの線情報を記入し、横断面図上でその位置に旗揚げされる機能
② 横断面図編集機能の強化	✓ 横断面図上で法勾配を確認しながら法面編集する機能 ✓ 横断面の編集機能強化として背景格子・スケール、参照用断面の表示機能（図 4-2-5）
③ 平面図と航空写真の活用	✓ 平面図や航空写真の重ね合わせ機能 ✓ 数値標高モデル（DEM）データから河道に沿って一連の横断面を抽出する機能（図 4-2-6）
④ 3次元川づくりと i-Construction との連携	✓ 編集した地形を i-Construction の標準である LandXML 形式で出力する機能

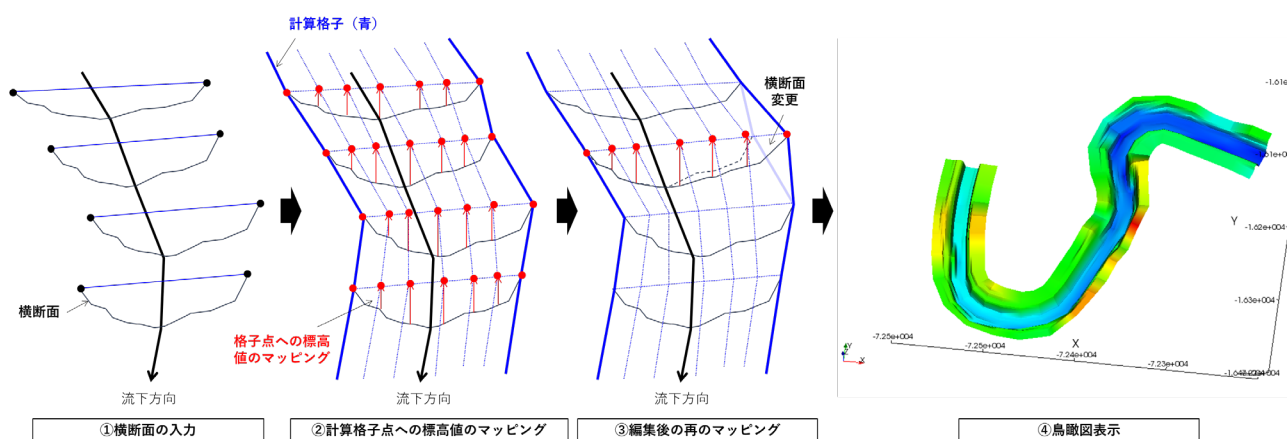


図 4-2-2 RiTER Xsec による 3次元地形編集の考え方

4.2 設計：RiTER 等を用いた 3 次元川づくり

RiTER Xsec には、現実の整備に則して検討を行いやすくするための工夫が施されている。その一つが、表 4-2-1 の①横断面図と平面図の連動した旗揚げ機能である。実際の川づくりの現場では、必要な流下能力（河積）や用地制約を踏まえつつ、自然環境や水辺利用に配慮した法面や空間づくりを行う、といった場面によく出くわす。本来は、被災状況や官民境界を踏まえて十分にスペースを活用した設計が望ましいのであるが、図 4-2-3 のように河積ベースの流下能力を重視した直線的な形状に陥りがちである。スペースを最大限活用した設計のためには、平面上での境界と横断面上の境界が連動し、平面的な位置関係と法勾配とを相互に確認しながら、工夫を入れ込んでいくことが求められる。RiTER Xsec では、図 4-2-4 のように、平面図ビュー上で官民境界などの目安となるラインを入力すると、横断面図にも反映されるようになっている。イメージとしては、同図右のように、周囲の土地も活用して使いやすく心地よい空間の設計に役立てて欲しいという思いである。その他に、使い勝手の便宜を考え、横断面図上で法勾配を確認しながら法面編集する機能、横断面の編集機能強化として背景格子・スケール、参照用断面の表示機能（図 4-2-5）、平面図や航空写真の重ね合わせ（ジオレファレンス）機能を追加している。

また、3次元川づくりと i-Construction との連携も考慮しており、表 4-2-1 の④に示す 2 つの機能を開発した。1 つ目は、数値標高モデル（DEM）データから河道に沿って一連の横断面図を抽出する機能である（図 4-2-6）。従来は、横断その位置からなるデータ（riv ファイルと呼ぶ）を別途作成して読み込ませる必要があったが、この機能によって、UAV や航空 LP、ALB などの面的な測量成果を利用しやすくなった。さらに、編集した地形（計算格子を三角形に分割した TIN）を i-Construction の標準である LandXML 形式で出力する機能も追加している。

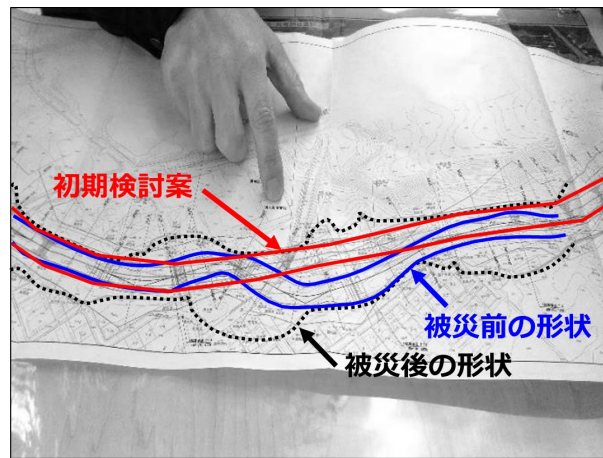


図 4-2-3 直線的な河川設計になってしまう場合

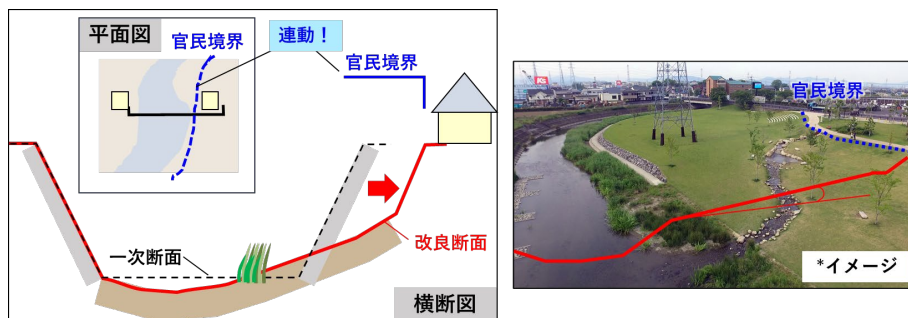


図 4-2-4 川づくりにおける横断面の検討方法

4. 河川 CIM の実装

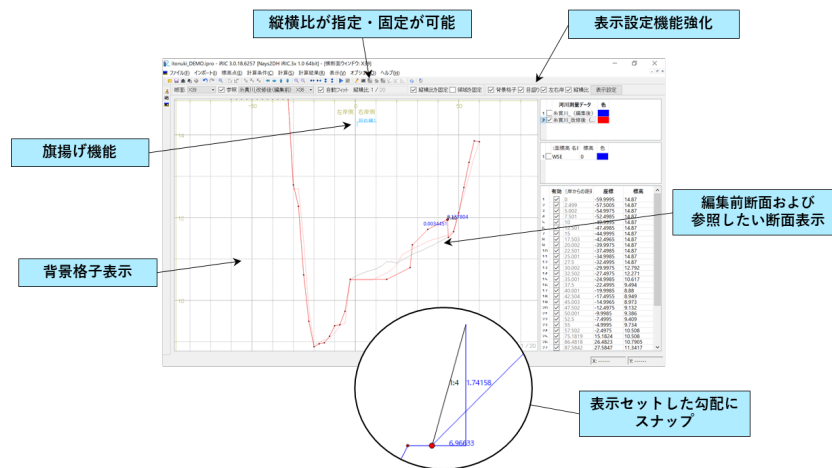


図 4-2-5 RiTER Xsec による横断面編集機能の強化

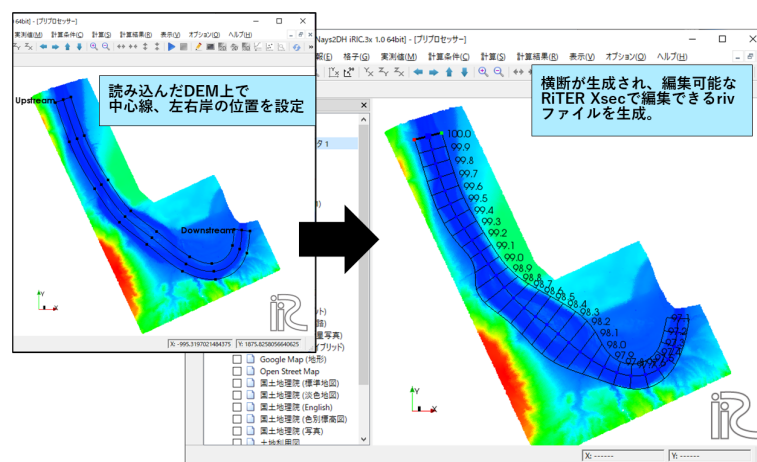


図 4-2-6 DEM データからの河道断面 (riv ファイル) の抽出・作成機能

4.2.3 河川環境評価ツール (EvaTRiP、EvaTRiP Pro) の機能

自然共生研究センターでは、2014 年度から河川環境評価を行うためのツール、EvaTRiP の開発を行っている⁴⁾。EvaTRiP は、iRIC 上で動作するソルバーと呼ばれる個別機能として動作する。コンセプトは、図 4-2-7 に示すように、iRIC で Nays2DH 等を用いて平面 2 次元水理・河床変動計算を実施した水深や流速の計算結果を入力値として、半自動的に評価する、というものである。従来の EvaTRiP では現場での利用が見込まれた①護岸要否の評価 (流速に対して護岸の要否箇所の評価)、②移動限界粒径の評価 (砂礫が移動を開始する限界の単一粒径の評価)、③陸生植物生育可否の評価 (河道内の陸生植物の生育の有無についての評価)、④魚類生息場の評価 (PHABSIM 法) といった自然環境に関わる評価値を算出する機能が備わっている⁵⁾。図 4-2-8 は、EvaTRiP の機能④を利用して、瀬・淵・早瀬の環境条件を事前に定義 (ここでは、Pool 淵：流速 30 cm/s 以下、水深 30 cm 以上、Riffle 瀬：流速 30~60 cm/s、水深 30 cm 以下、Rapid 早瀬：流速 60 cm/s 以上、水深 30 cm 以下とした) し、計算結果からその分布を表した例である。図 4-2-8 上図は水制工なし、図 4-2-8 下図は水制工ありの場合の出水後の流況に対する瀬淵分布である。結果を比較することで、水制工の有無の効果を明らかにすることができ、現場での工夫や判断に役立つ。

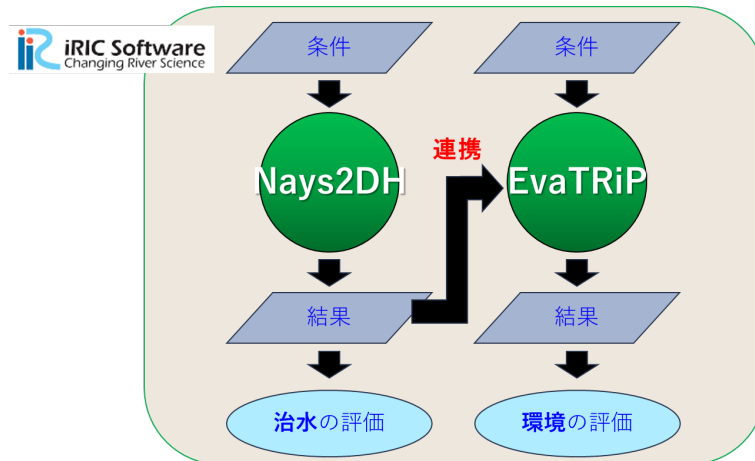


図 4-2-7 環境評価 SolverEvaTRiP のコンセプト



図 4-2-8 水制工なし（上図）と水制工あり（下図）の瀬淵分布の判別例

EvaTRiP Pro は、既存の EvaTRiP の機能をより広い目的で活用できるよう機能を一般化した河川流況計算結果の分析用ツールである。EvaTRiP と同様 Nays2DHをはじめ、任意の河川流況計算 Solver の計算結果の分析に使用することが可能である。また、EvaTRiP Pro は、Python で開発された iRIC 用 Solver であり、利用者が自由に改変して利用できるライセンスでソースコードを公開している。より高度な分析を行いたい場合、ユーザーは EvaTRiP Pro のソースコードを参考に、自由に機能を追加して利用することも可能である。詳細は、5.2 で述べる。

4. 河川 CIM の実装

4.2.4 河川環境整備のタイミングとアプローチ（一案）

4.2 で述べたように、河川環境のための地形改変の機会は、予算上の問題もあり非常に限られている。一方で、戦後の治水偏重の河川整備を施された河川は津々浦々まで浸透しており、少しずつでもこれを転遷していく機会を増やすことが必要である。すでに 3.4.3 で指摘されているように河川計画のプロセスにも課題がある。技術の進展によって克服されうる課題は解決していかなければならない。ここでは、多自然川づくり支援ツールを念頭とした新しい河川環境整備のコンセプトについて、一案を述べたい。

まず、いつ整備を実施するかという問題がある。災害復旧は確かに極めて貴重な機会と言えるが、それ自体は災いであり期待するべきものではない。そこで注目したいのが、維持管理行為である(表 4-2-2)。維持管理による土工は、どの河川でも毎年どこかで実施されるものである。また、災害と異なりいつどこで実施するかが、ある程度分かっており時間的余裕もある。事業範囲の延長は概ね 1~2km におさまっており、平面 2 次元の水理計算を実施するには適当である。維持掘削は、河川計画を担う部署が直接発注等行うわけではないため、実際に多自然川づくり支援ツール等を用いた環境考慮型の維持管理土工を行うには課題も多いと思われる。次節 4.3 の事例は直轄河川の改修ではあるが、まさに環境考慮型で実施されており、その意味でも参考になると考える。

また、災害復旧のような抜本的かつ広範囲の河道改変行為についても、1 次元計算にとどまり、面的な瀬淵などは評価できない、流下能力を決めた後に環境の配慮を行うため環境面を川の基本構造に反映できない、複雑な地形の検討が困難といった課題があり、図 4-2-9 に示すような、2 次元河床変動計算の導入、環境評価の実装といった 3 次元空間として河川を捉えるためのプロセスの見直しが必要である。技術の進歩はまさに日進月歩であり、こうした変化を現行のフローから逸脱させずに軟着陸させられるかが今後大きな課題になるだろう。

表 4-2-2 事業ごとの河川への働きかけに係る予算、頻度、範囲、時間的余裕および自由度

	災害復旧（改良）	災害復旧（単災）	（通常の）改修	維持管理
予算	大	中	中	小
頻度、件数	少	中	少	多
範囲	広い（～数キロ）	せまい	広い（～数キロ）	せまい（～1,2k）
時間的余裕	切迫	切迫	余裕あり	比較的余裕あり
自由度	大	ほとんどなし	大	ある程度あり

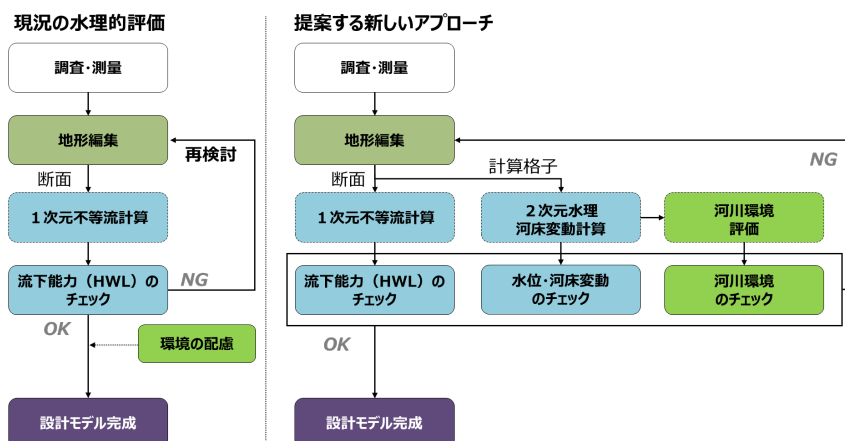


図 4-2-9 今までの河道設計プロセスと新たに提案したい河道設計プロセス（図 3-4-5 再掲）

4.2.5 多自然川づくり支援ツールの普及

自然共生研究センターでは、iRIC を活用した多自然川づくり支援ツールの開発を通じ、河川空間を 3 次元のまま設計で取り扱う川づくり「3 次元川づくり」を推進している¹⁾。多自然川づくり支援ツールとして開発を進める、河道地形編集ツール RiTER 及び河川環境評価ツール EvaTRiP については、講習会の開催等により技術の普及を図っている（図 4-2-10）。講習会は、都道府県職員などを対象に定期的に開催しており、PC に iRIC をインストールするところから始めて、これらのツールを体験し、5 時間で一連の流れを体験できる内容となっている。また、独学でも進められるよう、講習会で用いた資料やデータは共生センターのホームページ⁵⁾で令和 2 年 5 月から公開した。本資料を使用することで RiTER Xsec による河道地形の編集の実施、iRIC による 2 次元流れ・河床変動計算の実施、河床変動計算で得られた水理計算結果を用いて環境評価を行うまでの一連の流れを体験することができる。公開している資料の概要を以下に示す（表 4-2-3）。



図 4-2-10 講習会の様子

表 4-2-3 講習会資料の概要

① iRIC の概要	✓	iRIC 使用のメリットである河川（事業）の実態、予測、効果をより分かりやすく見る・示すことができる点なども理解する。
② Nays2DH の概要と演習	✓	Nays2DH は、iRIC のソルバーの 1 つであり、平面二次元計算により、河川における流れ、河床変動、河岸侵食などの計算が出来る。 RiTER Xsec を使用した地形編集を行い、地盤高や粗度係数、流量や水位、計算方法などを与え、計算格子を作成し、流れの計算を行う水理解析と流砂の計算を行う河床変動解析を行うところまでを扱う。
③ EvaTRiP の概要と演習	✓	上述の Nays2DH の水理計算結果から、「護岸の必要性」、「植物の生育可能性」、「瀬・淵の抽出」の評価を行う。 EvaTRiP に水理計算結果をインポートし、計算パラメータを設定し、計算実行、計算結果を表示させ、環境評価が NG の場合は、再度 RiTER Xsec により地形の見直しを行う。

4. 河川 CIM の実装

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、河川、76巻、第3号、No.884、2020.
- 2) iRIC ホームページ：<http://i-ric.org/ja/>
- 3) 大石哲也ら：中小河川における河川環境に配慮した河道設計支援ツールの開発、河川技術論文集、第21巻、2015.
- 4) 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、第11号、pp.8~13、2018.
- 5) 自然共生研究センターホームページ：<https://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/index.htm>.

4.3 設計：福井における CAD を使った河川管理

4.3.1 はじめに

CIM とは、調査、設計、施工、維持管理の一連の過程において 3 次元モデルを導入することによって、建設業全体の生産性向上を図ろうとする取り組みである。国土交通省では、測量から設計、施工、検査、維持管理に至る全ての事業プロセスで ICT を利用し、建設現場の生産性を飛躍的に向上させることを目指した、i-Construction の取り組みを行っている。ICT 建機の導入、出来形計測における UAV の導入など、省力化や効率化を図る取り組みは、ICT 施工がその代表例である。

河川事業においても、近年、河道掘削等の土工を主体とした工事において ICT 施工が実施され、施工における生産性向上が図られている。河道掘削や堤防拡築といった土工が主体の工事は、生産性向上を図る上で、ICT 施工に適していると言えよう。

しかし、ICT 建機に必要となる 3 次元モデルを、工事受注者である施工業者が、2 次元図面から作成しているといった、ICT 施工における課題もある。その原因は、工事発注前の設計段階における 3 次元設計の導入が進んでいないことである。

以上の課題を解決するため、福井河川国道事務所では、地場の建設業に携わる企業、行政及び学識経験者との情報交換を行う場として、「福井 CIM 勉強会」を平成 30 年 3 月に設立し、6 回にわたり議論を重ねた。

4.3.2 河川分野における CIM とは

CIM では、3 次元モデルの導入を通じ、建設事業で発生する情報をライフサイクル全体でマネジメントし共有・活用することによって、建設生産性の向上を目指す。概念的には、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。

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及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 次元化にとらわれすぎて、本来の河川管理がおろそかになってはならない。

福井 CIM 勉強会における CIM モデルでは、上記のことを踏まえ、河川における CIM の概念を設定することから始めた。それを示しているものが図 4-3-1 である。中心に河川管理（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した。福井 CIM 勉強会で目指す目標を、測量から維持管理まで CIM 活用で一気通貫とした。

4. 河川 CIM の実装

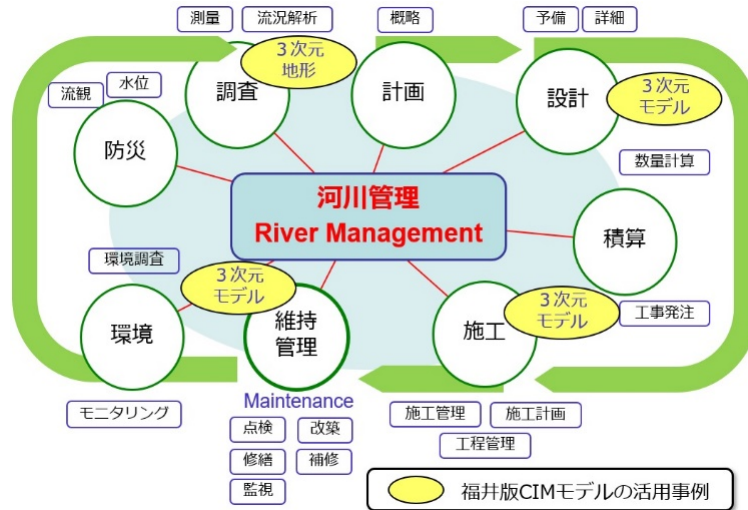


図 4-3-1 福井版 CIM モデルの概念

4.3.3 2.5次元からの脱却

ICT 施工の現状は、前述のとおり、2次元図面から施工者が3次元モデルを作成し ICT 施工を行っている。福井 CIM 勉強会では、これを「2.5次元設計（図 4-3-2）」と称し、3次元設計を推進し 2.5次元設計を無くすことを提案した（図 4-3-3）。

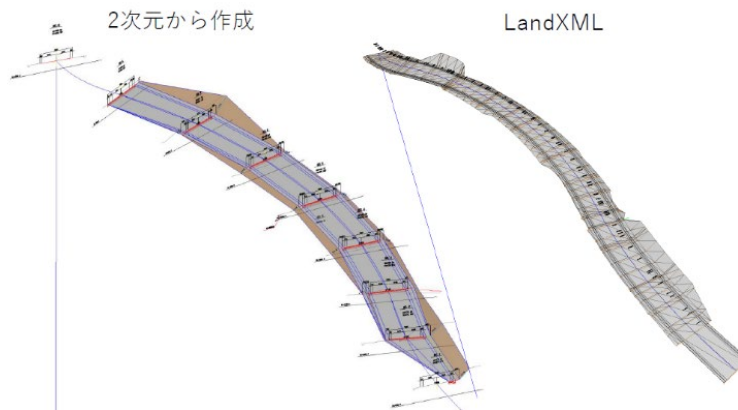


図 4-3-2 2.5次元設計の概念図

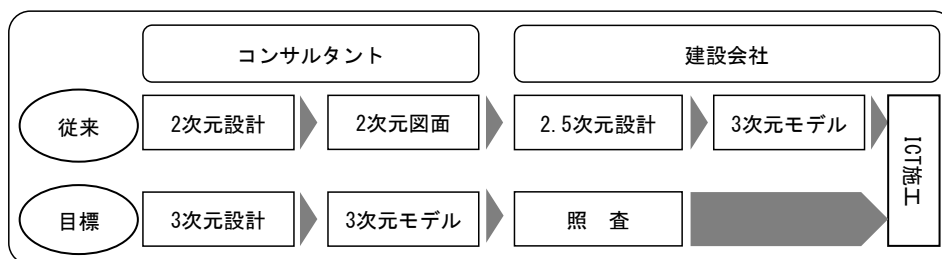


図 4-3-3 従来の河川事業の流れと目標

4.3.4 河道掘削における 3 次元設計

福井河川国道事務所が管理する九頭竜川水系は、平均年間降水量が、平野部で 2000～2400mm、山間部で 2600～3000mm となっており、全国平均約 1700mm よりも多く、降雪量は平野部で 2～3m、山沿いで 6m 以上に達する。流域内には、福井県の県庁所在地であり流域内人口約 67 万人の約 4 割が集中する福井市を擁しており、福井市周辺の平野部は、九頭竜川、日野川、足羽川などの洪水時の河川水位より低い位置にあり、氾濫時には甚大な被害が予想される（図 4-3-4）。

九頭竜川の支川である日野川では、足羽川合流部より上流においては、河川整備計画で目標としている 2800m³/s の河道整備を鋭意進めているところである。一方、日野川流域の上流部の越前市においては、生態系ネットワーク形成を目的とした環境整備が進められ、福井県におけるコウノトリの放鳥等が行われている。

このような状況を踏まえ、日野川における河川改修においては、治水効果に加え、生態系ネットワークを意識した「コウノトリも生息できる」湿地創出を目指した、日野川湿地創出事業を進めているところである（図 4-3-5）。

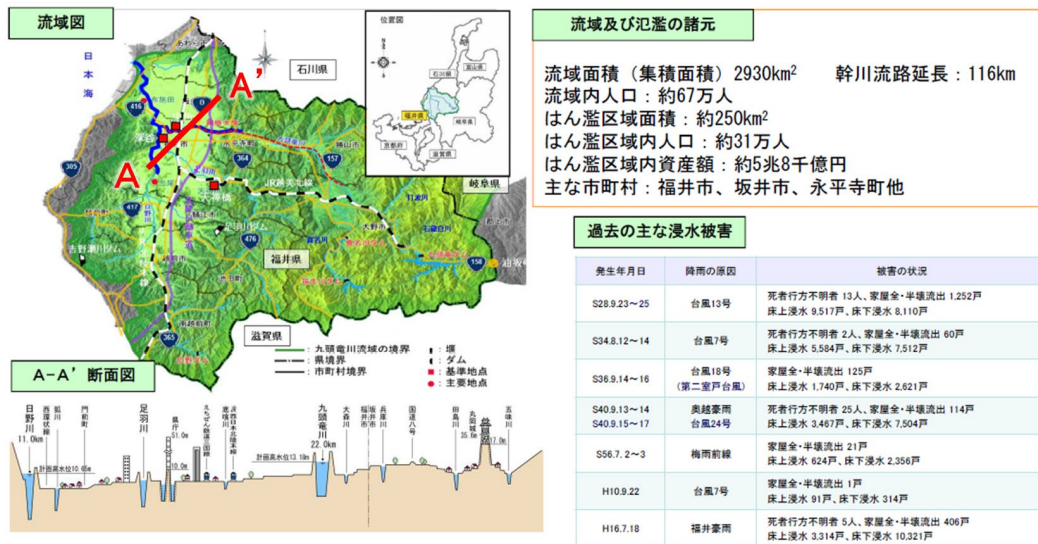


図 4-3-4 九頭竜川水系の特徴

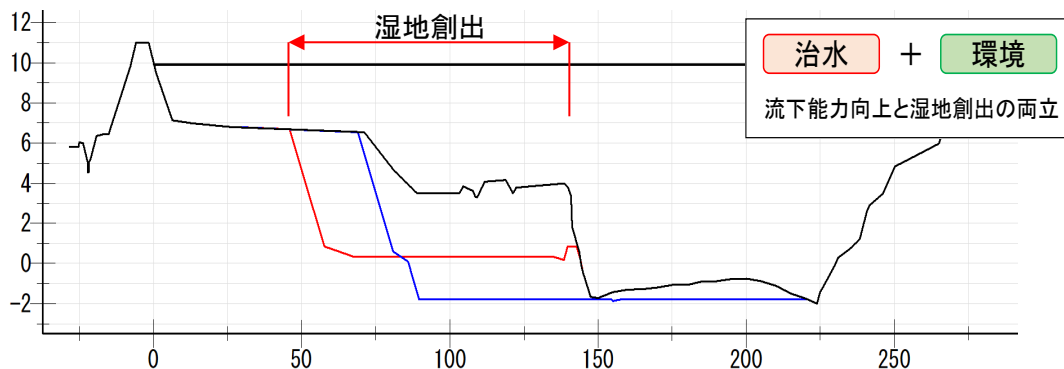


図 4-3-5 治水と環境の両立を目的とした河川改修

4. 河川 CIM の実装

対象とした工事は、日野川片粕地区上流部の河道改修工事である。この工事では図 4-3-6 に示すとおり、測量・設計・施工の一連の段階において CIM を活用することを目指し、定期縦横断測量として実施した ALB 計測データを活用した 3 次元設計を行うこととした。この地区は既に完成している日野川片粕地区下流部の日野川湿地創出事業で創出された湿地に続くものであり、設計においては、先に完成した湿地における物理環境、生物の生息環境のモニタリング結果の知見を考慮した湿地環境の検討が求められている。設計にあたっては、これまでのモニタリング結果から得られた知見より、設計条件を整理したうえで、CIM モデル（一次案）を作成し、「福井県流域ネットワーク協議会 河道技術部会：以下 有識者会議」において有識者から意見を聴取した。この有識者からの意見を踏まえ、図 4-3-7 のように湿地形状の基本設計条件を整理した。

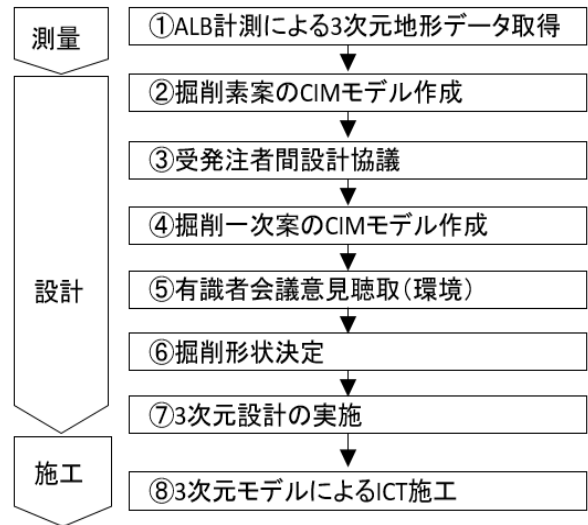


図 4-3-6 CIM を活用した測量から施工までの流れ

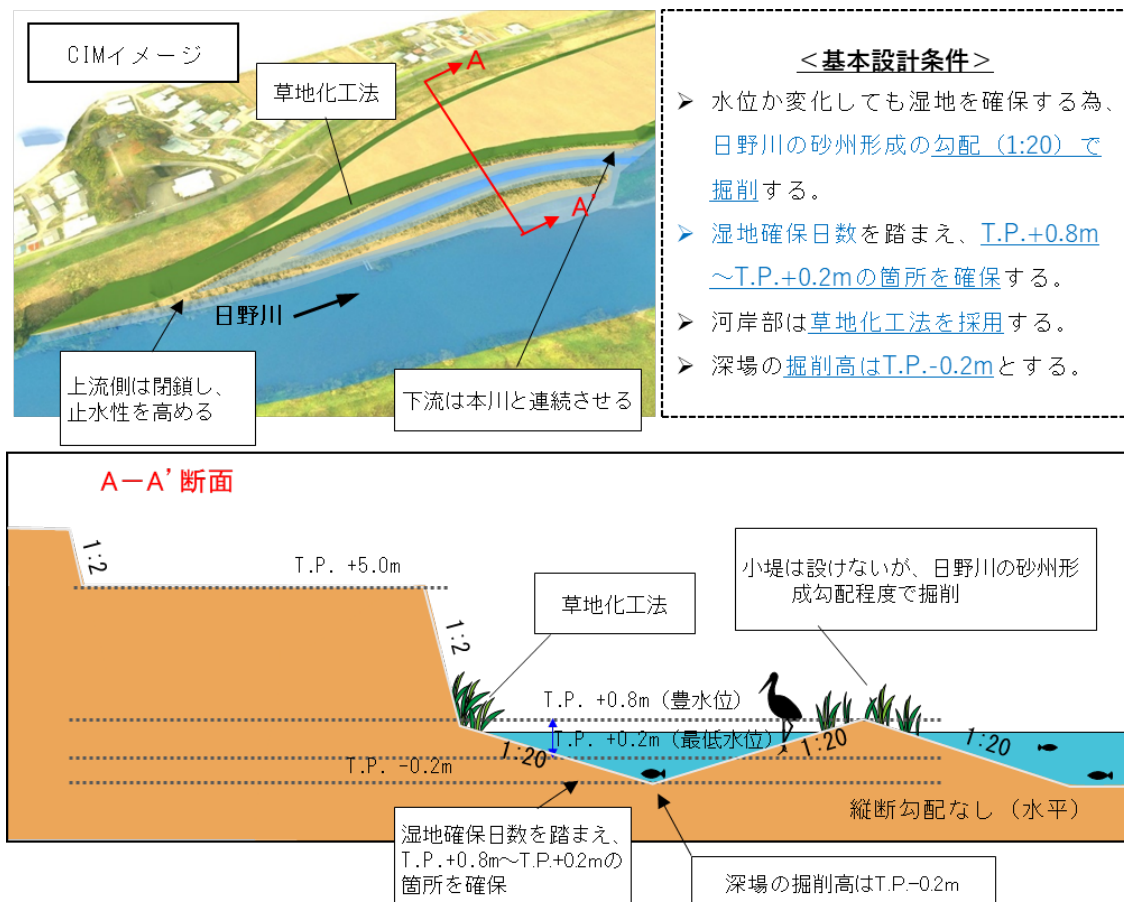


図 4-3-7 有識者の意見を踏まえた湿地形状の条件

4.3.5 複数断面の掘削形状の CIM モデル作成手法

有識者会議での意見を踏まえた湿地形状は、コウノトリの餌場となる水深を確保するため、日野川の砂州形状が維持される 1:20 の勾配とし、水位の変動が生じても一定の水深を保てる形状となっている。また、一次掘削から湿地となる箇所では掘削形状が異なるため、1 つの標準線形では設計できないことから、図 4-3-8 のように 3 本の線形を用いて設計した。

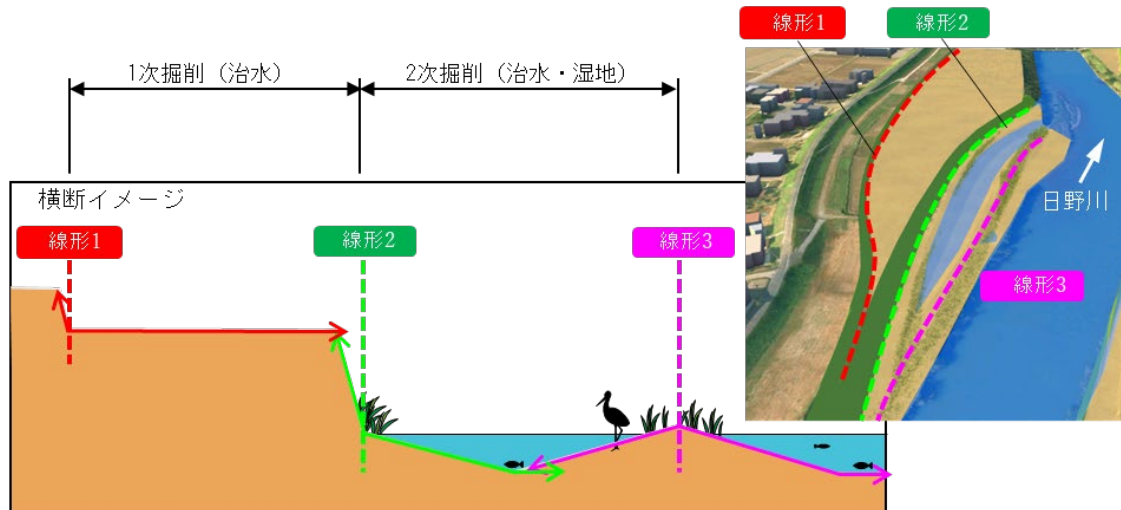


図 4-3-8 複数の線形による 3 次元設計イメージ

上記の 3 つの線形と対応する標準断面によりサーフェスを生成し、生成された 3 つのサーフェスを合成し 1 つのサーフェスとしたものが図 4-3-9 である。このように、断面を想定できるような形状であれば、複数の線形と標準断面を組み合わせることで、相当に複雑な土工の地形モデルを作成できることが確認できた。また、今回の設計条件では縦断方向の勾配に変化をつけていないが、線形の勾配を適宜設定することで、さらに複雑な地形形状の設定も可能である。

4.3.6 ICT 施工における課題と対策

4.3.5 で作成された TIN サーフェスより、ICT 施工用の LandXML を出力し、発注者を通じて施工者に渡された。施工者は、ICT 施工の前段として、渡された LandXML の照査を行った。照査の経緯 (①～③) を以下に示すとおり、数回のやり取りにより課題が解決され、ICT 施工へと進んだ。

- ① 線形情報が無いため、現地における施工場所の特定が出来ないため、線形情報を追加して欲しい (図 4-3-10 (a))。 (2019/10/30)
【対応】設計時の線形を追加 (図 4-3-10 (b))。
- ② 当初発注工事との整合を図るため、河川中心線形も追加して欲しい。 (2019/11/01)
【対応】河川中心線形を追加 (図 4-3-10 (c))。
- ③ 上流部の現況地形との擦り付け箇所に段差が生じている (図 4-3-10 (d))。 (2019/11/12)
【対応】現況地形との擦り付け部の設計を修正 (図 4-3-10 (e))。

4. 河川 CIM の実装

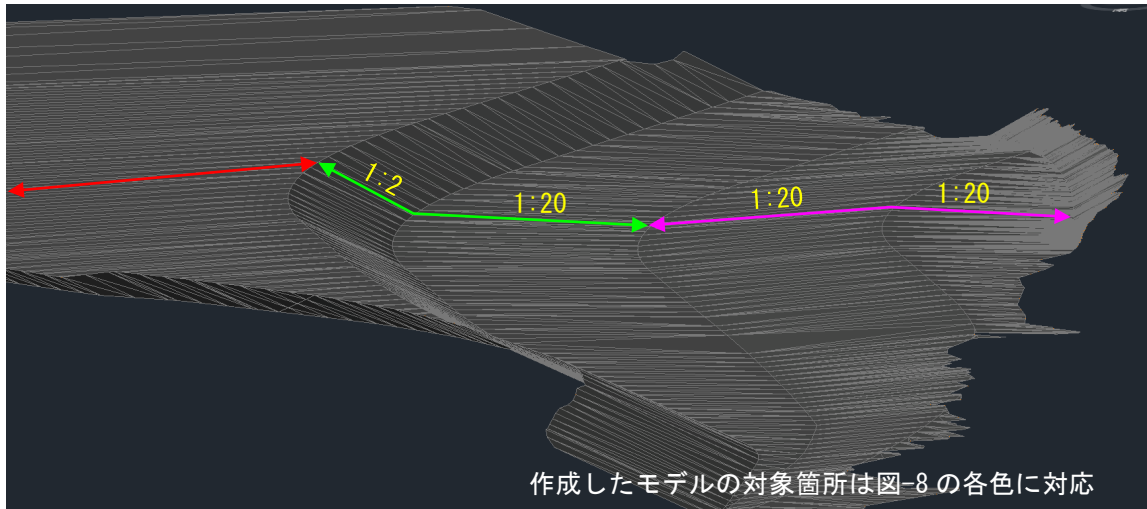


図 4-3-9 複数断面手法により生成された TIN サーフェス

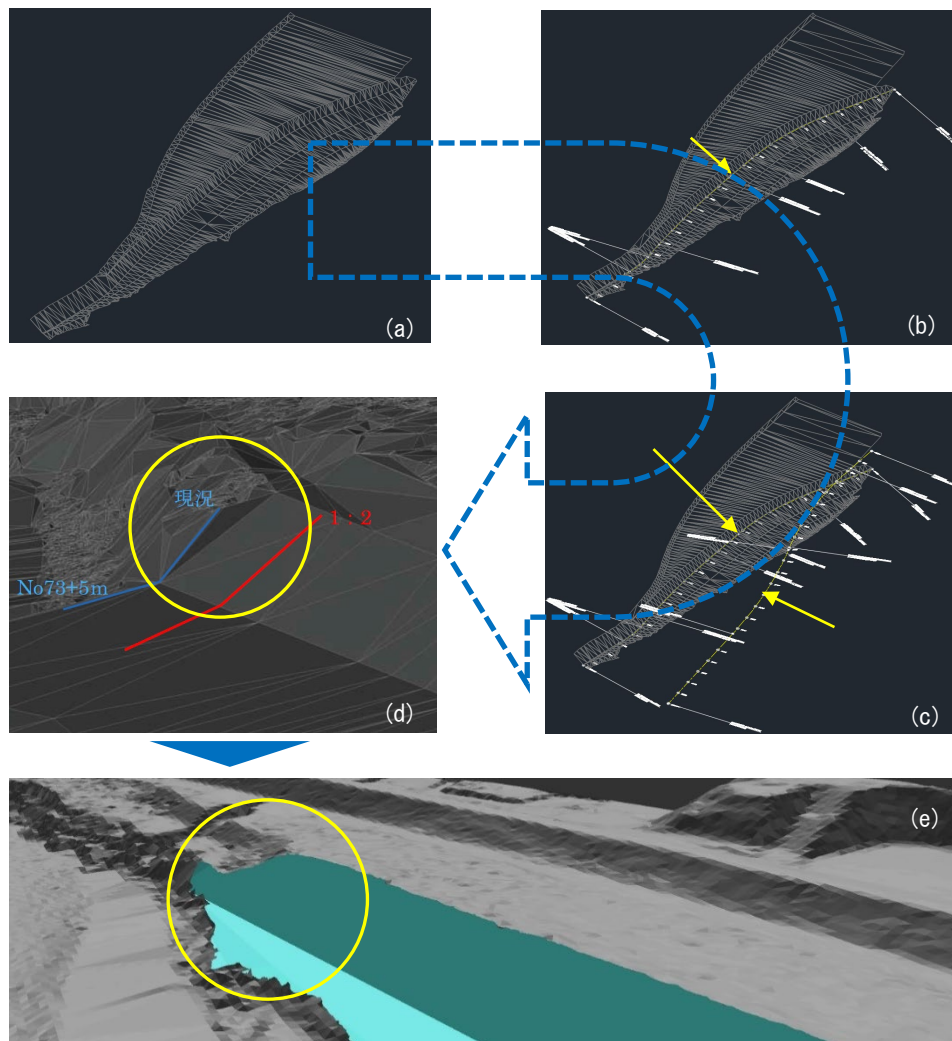


図 4-3-10 施工前の照査結果と対応

4.3 設計：福井における CAD を使った河川管理

施工時の評価としては、2次元の図面では今回の現場は理解が難しかったが、3次元モデルであったため、イメージがともしやすかったとの意見や、施工用の3次元モデルを直接貸与されたことで、施工側での作業が大幅に減少し、生産性向上が図られたといった、施工者からの意見があった。

一方で、施工時の課題も挙げられた。ICT建機（マシンコントロール）のバケット幅よりも小さな三角形を含む TIN が存在したため（図 4-3-11）、動作に時間を要することが多かった。TIN の大きさについては、3次元設計手法の検討を行い解決していく必要がある。

前述のような課題はあったものの、それらは速やかに修正可能であったため、設計で得られた3次元モデルを、ICT建機に取込み、施工を行うという、根本的な課題はクリアされた。ICT施工時の状況と、完成写真を図 4-3-12 に示す。

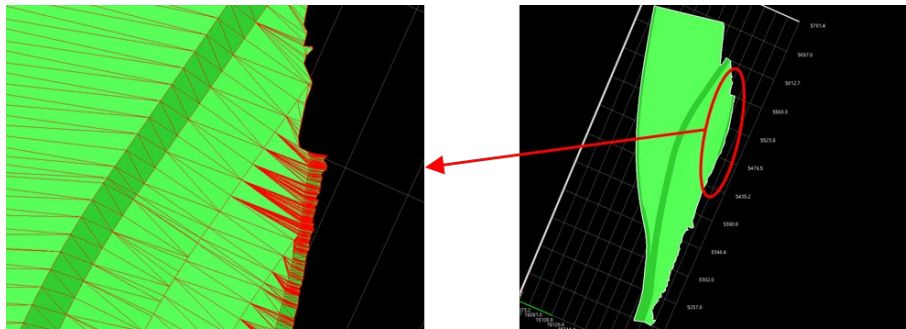


図 4-3-11 施工時の課題となった小さな三角形を含む TIN



図 4-3-12 ICT 施工状況と完成写真

4. 河川 CIM の実装

4.3.7 施工から維持管理へ

CIM 活用工事（ICT 施工）として実施した工事は、出来形管理も UAV 計測による 3 次元データと 3 次元設計データとの比較図（ヒートマップ）で検査を実施することとなっている（図 4-3-13）。ヒートマップにより出来形が $\pm 5\text{cm}$ の範囲に入っていることが確認できた場合、合格判定となる。

検査を合格した工事は、ヒートマップ作成のために計測した出来形計測データを納品することになっており、この出来形計測データを設計段階で使用した LP 計測データや ALB 計測データと再統合することにより、河道地形が最新の形状を維持することができる（図 4-3-14）。

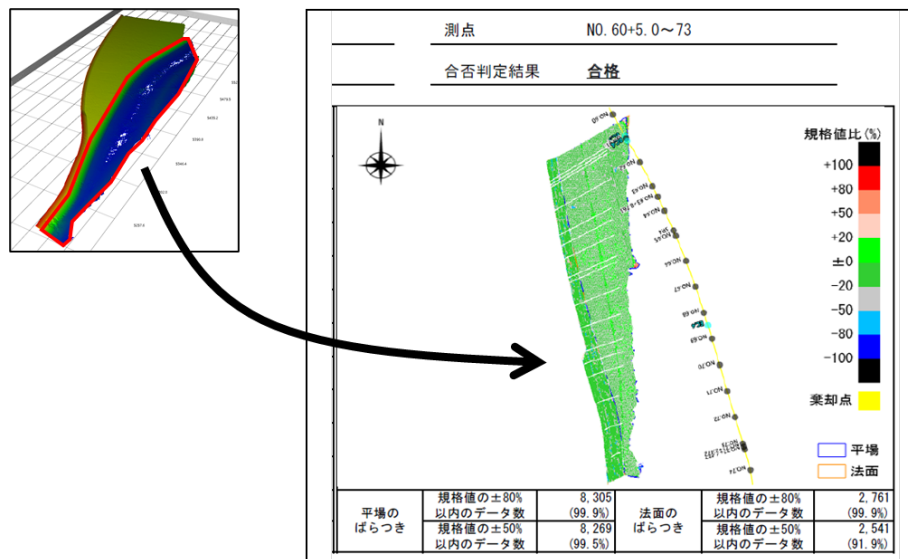


図 4-3-13 ヒートマップによる出来形検査

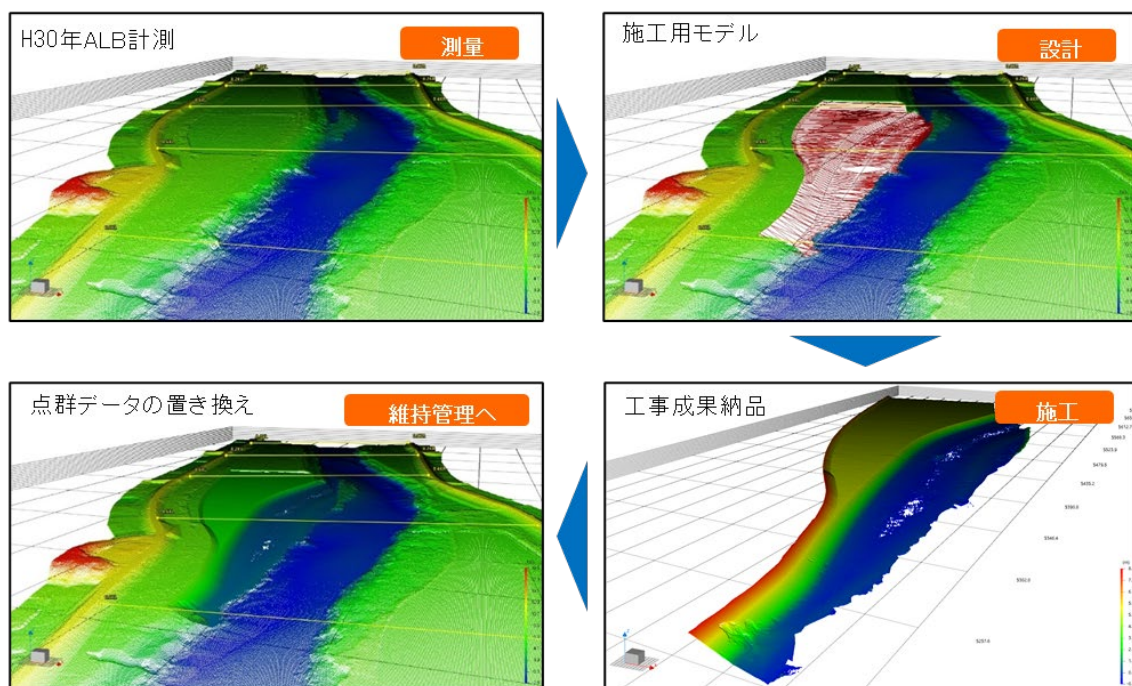


図 4-3-14 出来形計測データの再統合による河道形状の最新化の事例

4.3.8 維持管理・モニタリング活用への展望

河道における 3 次元モデルと ALB 計測データとの差分により、土砂堆積・洗掘傾向を把握することが可能であり、河道掘削事業における効果検証や、今後の掘削方針の検証データの精度向上が期待できる。その一例として、既に完成している日野川片粕地区下流部の湿地における確認結果を図 4-3-15 に示す。図 4-3-15 は設計時の 3 次元モデルと、工事完成後の ALB 計測データとの差分図である。工事完成後に発生した出水により、湿地内の河床の変動量（堆積、洗掘）を定量的に把握することができる。

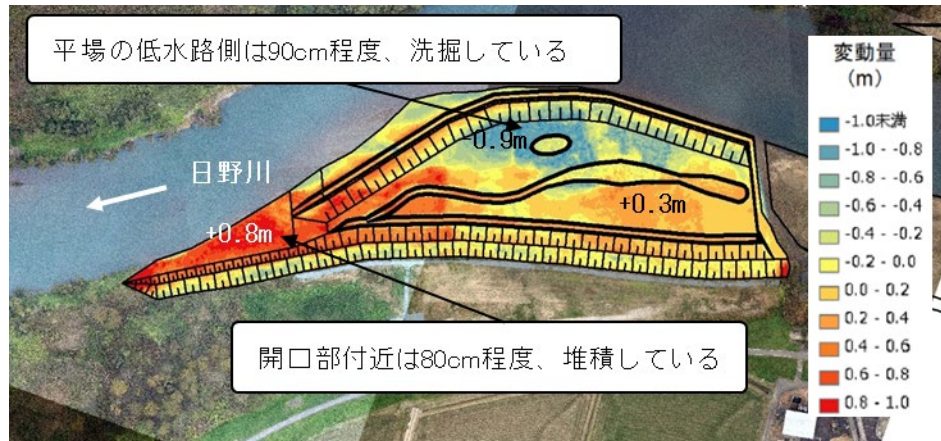


図 4-3-15 湿地設計時と ALB 計測データとの差分図時における照査結果

4.3.9 おわりに

令和元年度より、定期縦横断測量は点群測量（ALB 計測）が原則となったことから、今後、直轄河川においては、ALB 計測データが蓄積されていくこととなる。このことは、河道掘削や堤防拡築等の設計においては、ALB 計測データを活用した 3 次元設計が増える可能性が高く、前述の河道掘削における 3 次元設計が一般化されると思われる。ICT 施工においては、工事受注時点から 3 次元モデルが貸与され、データ照査後、速やかに工事に着手することが可能となり、設計・施工の両フェーズでの生産性向上が期待できる。

また、設計及び施工時の 3 次元モデルと ALB 計測データを活用することにより、河道モニタリングの精度向上が図られ、得られた知見から、河道管理にも寄与するものと考えられる。今後は、維持管理段階における 3 次元モデルの活用に向けた検討を進めて行く必要がある。

4. 河川 CIM の実装

4.4 設計：ゲームエンジンを活用した VR による川づくり

4.4.1 川づくりへのゲームエンジンの利点

川づくりでは、「実現したい河川」のイメージの共有が重要であり、空気感や雰囲気などの情景やこの場所にふさわしい形状を試行錯誤しながら検討していく。「実現したい河川」のイメージの表現方法には、パースや模型などが用いられてきた。しかし、図 4-4-1 に示すように検討された内容はそのまま設計形状として反映されることがなく、データが個別に分断されていることが課題となっている。

現在、河川分野においても BIM/CIM や i-Construction が進展しており、川づくりの計画・検討についても多くがデジタルデータとして取り扱われるようになってきている。BIM/CIM で提唱されるデータ連携を実現することによって、パースや模型で検討してきた「実現したい河川空間の思想」がデジタルデータを介して継承され、事業における河川空間づくりの思想の連続性が確保できるようになると考える。

川づくりワークフローでは、＜設計段階＞でのコンセプトの検討（概念設計、図 3-2-1 参照）と施工用のデータを作成する段階で担当者の専門分野が異なることが多い。例えば、コンセプトの検討では環境系の技術者が参画し環境面を重視して空間検討を行い、後工程の施工用データの作成では設計の技術者が主体となるため治水重視になっている、といったことである。また、設計の技術者は BIM/CIM を用いているものの、環境系の技術者は GIS を使用しているなど、利用するツールも異なっている（図 4-4-2）。

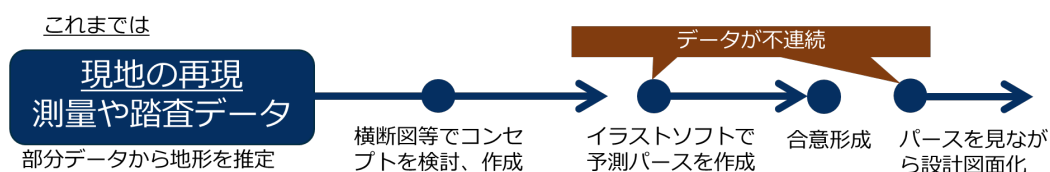


図 4-4-1 川づくりワークフローにおけるデータの分断

- ✓ BIM/CIM や i-Construction の進展で、入出力データがデジタルデータになっている。
- ✓ ＜設計段階＞の概念設計（コンセプトの検討）と河川地形の編集（LandXML などの施工用のデータを作成する段階）で利用しているツールが異なっている。
- ✓ ＜調査段階＞や＜設計段階＞の概念設計では環境系の技術者、＜設計段階＞の河川地形の編集（LandXML などの施工用のデータを作成する段階）では治水系の技術者が担当するなどプレイヤーが異なる。

図 4-4-2 川づくりを取り巻くデジタル環境に係る課題

上記の課題への対応として、「実現したい河川空間の思想」とデジタルデータを連続させて活用する「デジタルエンジニアリング」を用いた新たなワークフローの構築を図ったことが、本検討の大きな目的である。デジタルエンジニアリングで重要な点として、環境面の制約条件モデル（今回は地形データ）を BIM/CIM につなぐことがあげられる。本検討では、つなぐためのツールとして、ゲームエンジンを利用した。

4.4 設計：ゲームエンジンを活用したVRによる川づくり

ゲームエンジンを計画段階で利用することについては、前述の思想の連続性の確保の他、様々な利点がある。図 4-4-3 は、ゲームエンジンで計画段階の情報レベルで構築した仮想空間例を示す。従来の3DCGで作成していたような高品位のCGをリアルタイム描写可能であり、さらに仮想空間内での空間共有や、編集した地形データをBIM/CIMやGIS用に出力できる強力なツールとしての可能性がある。

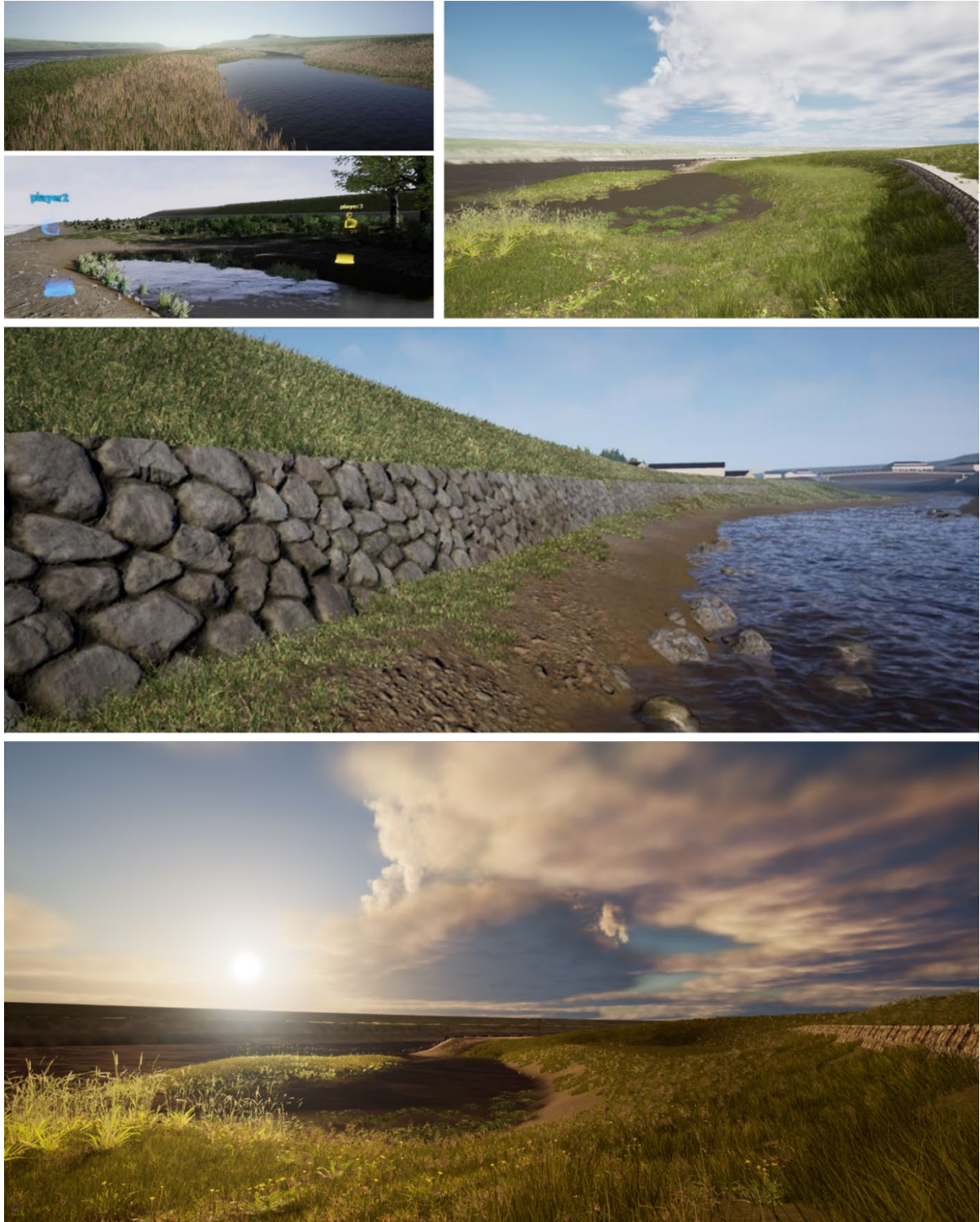


図 4-4-3 ゲームエンジンの表現例

4. 河川 CIM の実装

川づくりにゲームエンジンを用いる利点を以下に整理する（図 4-4-4）。

- ✓ 粘土を加工するようなイメージで地形編集ができ、自然な形状を作ることが可能
- ✓ 検討初期などの構造物の詳細形状が定まっていない段階でも、質感を表現するテクスチャを用いることで完成時に近い表現が可能
- ✓ ネットワークゲームなどに代表される、多人数での仮想空間共有により、離れた拠点間でも同じ仮想空間に入って確認ができる

図 4-4-4 川づくりにゲームエンジンを用いる利点

4.4.2 ゲームエンジンを取り入れたデジタルエンジニアリングワークフロー

デジタルエンジニアリングの具体的なワークフローの検討に際して、計画、検討、解析、設計、施工の各段階におけるツールとデータフォーマットについて検討を行った（図 4-4-5）。第 3 章に示すように、本検討においては、スタートとゴールのファイルフォーマットは i-Construction の流れによってある程度定められている。

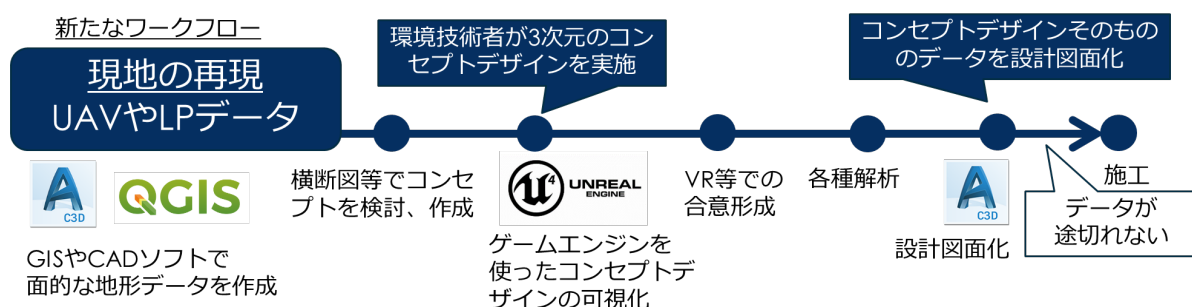


図 4-4-5 デジタルエンジニアリングのワークフローの概念

スタートとなる測量では UAV やグリーンレーザ、航空 LP データのように面的な点群データが整備されており、点群データがスタートのデータとなる。一方で、川づくりなどの施工時には、今後情報化施工が進んでいくと考えられ、3次元土工設計データ（LandXML による TIN）がゴールのデータとなる。

測量と施工の間の各種検討、設計は、様々なファイル形式のデータが使用される。今回は、デジタルデータによる検討について、ゲームエンジンを交えたデータフォーマットを整理した（図 4-4-6）。

4.4 設計：ゲームエンジンを活用したVRによる川づくり

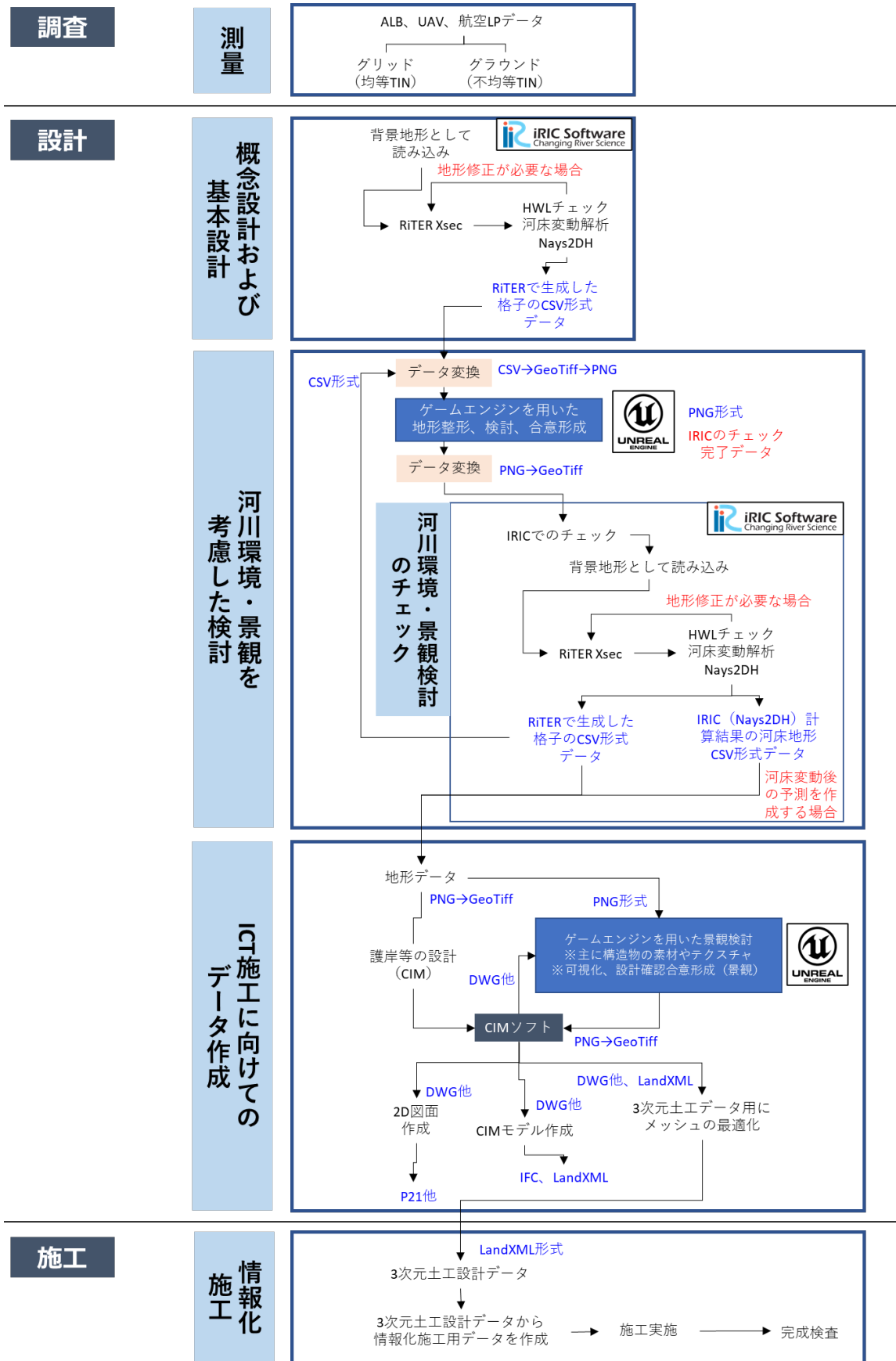


図 4-4-6 デジタルエンジニアリングのデータフォーマットの関係

4. 河川 CIM の実装

4.4.3 BIM/CIM とゲームエンジンの違い

検討段階では従来は平面図、断面図とスケッチ、模型などが用いられてきたが、BIM/CIM の進展に伴い、デジタルパースなど 3D で検討することが普及し始めている。また、設計段階においては、BIM/CIM、i-Construction の推進により 3次元デジタル化が進んでいる。一方で、川づくりに特化したソフトウェアはなく、汎用 CAD による設計が主となっている。

土木設計とは異なる分野の動向として、3次元CGや3次元ゲーム分野のソフトウェアの発展が近年目覚ましく、UnityやUnreal Engineなどゲームエンジンは、リアルタイム3D制作プラットフォームとして、リアルタイムで光の計算を行いながら高品質で描画を行うものや、VRヘッドセットを用いて3次元空間で作図をするもの、3次元空間を共有しながら作図を行うものなど新たな表示デバイスであるVRヘッドセットを作図ツールとして活用され始めている。3次元CGや3次元ゲームで用いられてきたゲームエンジンは、製造分野や建築分野での3次元設計や都市計画分野での3次元GISの可視化ツールとして活用されつつある(図4-4-7)。設計分野のBIM/CIM(CAD系)とCG分野やゲーム分野ではモデル作成の考え方がやや異なってくる(表4-4-1)。

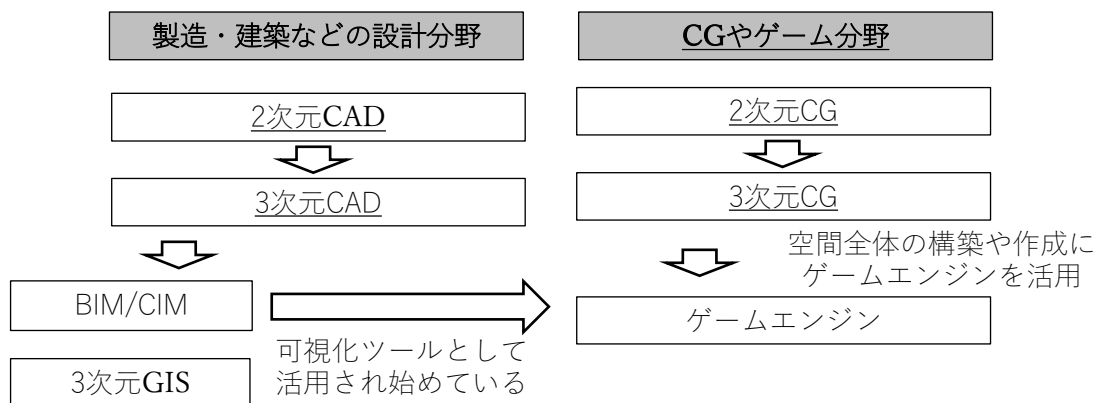


図 4-4-7 設計分野と CG 分野のモデル作成ツールの違いとゲームエンジンの関係性

表 4-4-1 BIM/CIM (CAD 系) と CG 系のモデル作成の考え方の違い

種別	モデル作成の考え方
設計分野 (BIM/CIM)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 形状を作りこむことで全体形状や細部を表現している ✓ BIM/CIM では詳細度 (LOD) の概念が一般的
CG やゲーム分野	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 大きな形状は 3次元モデルで表現し、微小な凹凸や形状は法線マップ (傾斜方向図) やハイトマップ (高さ分布図) を用いた光の計算で表現している ✓ CG の LOD は、視点からの距離に応じて描画するポリゴンを少なくするための概念で、遠いと細部まで見えないので、細部までは描画しないことをプログラムの的に処理する概念

4.4 設計：ゲームエンジンを活用したVRによる川づくり

一般的なCADやBIM/CIMでは、細部の表現は幾何学的形状そのものを変更することで表現するしかない場合が一般的である。これに対し、CGソフトウェアやゲームエンジンでは、物体の表面に形状とは別のマテリアル（テクスチャ：凹凸や色、模様といったデータ）を貼ることで表現する。さらに微小な形状については光の計算で疑似的に作り出す手法を用いることで、できるだけ小さなデータ量で精細な空間や物体を表現することができるようになっている。マテリアルには、色や模様のテクスチャと、光の計算に用いる凹凸模様のテクスチャ（法線マップやハイトマップと呼ばれる）の2種類のテクスチャを用いることで、光の計算と表面の質感が再現可能となる。以下は、基本のテクスチャの例と、法線マップで生成された凹凸と陰影の結果である（図4-4-8、図4-4-9）。

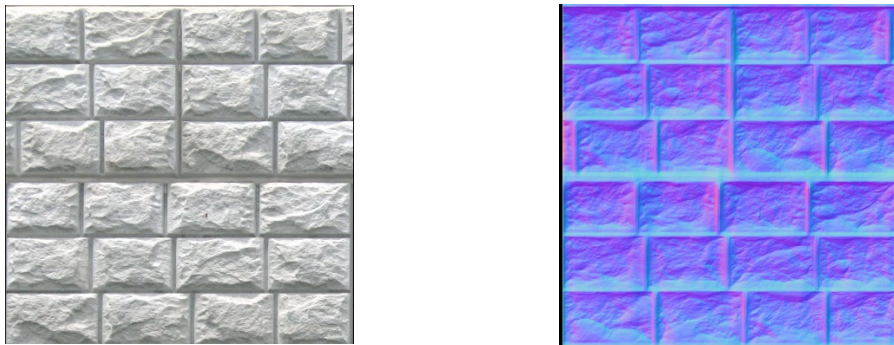


図4-4-8 基本のテクスチャ（左：色や模様のマップ、右：凹凸の傾斜方向を示す図）

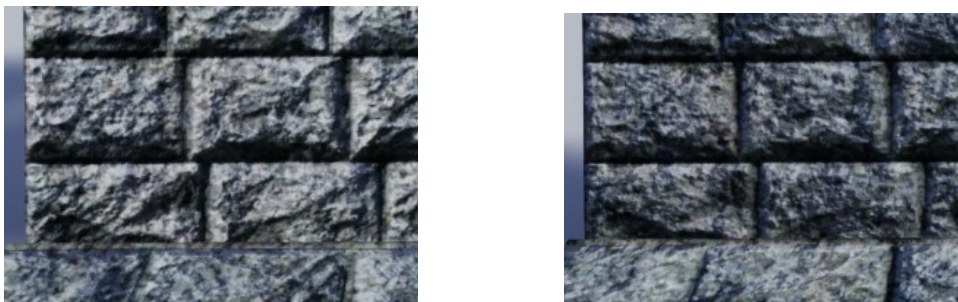


図4-4-9 法線マップによる陰影の計算（左：左から光を照射、右：右から光を照射）

図4-4-10～12は、擁壁の表面をCG系のモデルで表現した一例である。形状の詳細度はLOD100～200をイメージしている。凹凸模様のテクスチャからTINを生成するタイプや、CGソフトの光の計算のみで凹凸を表現するタイプがある。

- ✓ 左は、凹凸の情報がいったマップを用いたものであり、凹凸形状に応じてポリゴン分割されTINが新たに生成されている。
- ✓ 中は視差を表現するもの、右は単純なテクスチャを張り付ける際のモデルであり、左の凹凸形状とは異なり、ポリゴンの分割は行われない。

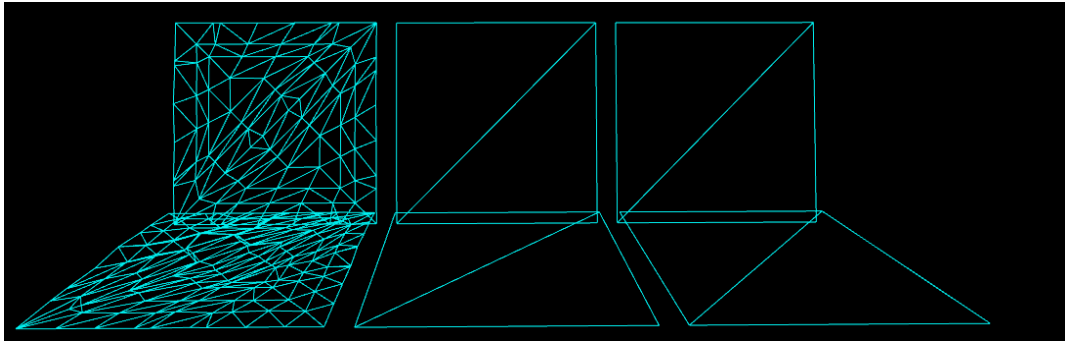


図 4-4-10 形状モデル（ワイヤーフレーム表示）左：凹凸、中：視差、右：法線のみ

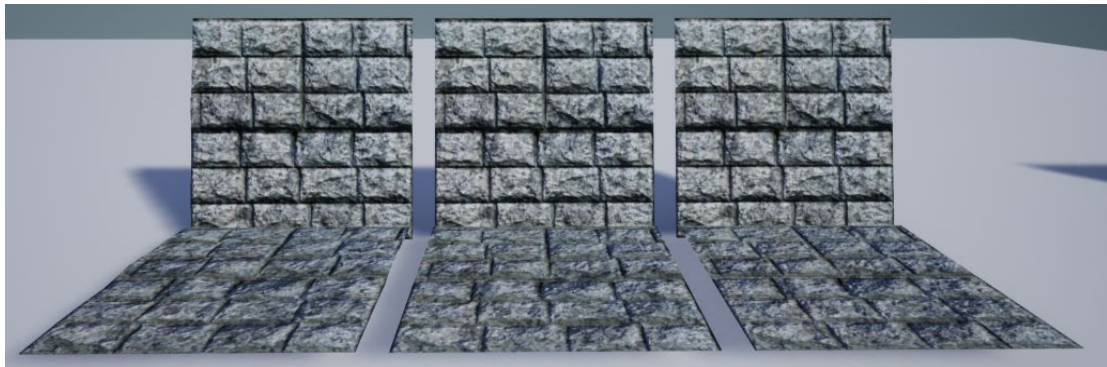


図 4-4-11 テクスチャを適用（左：凹凸、中：視差、右：法線のみ）

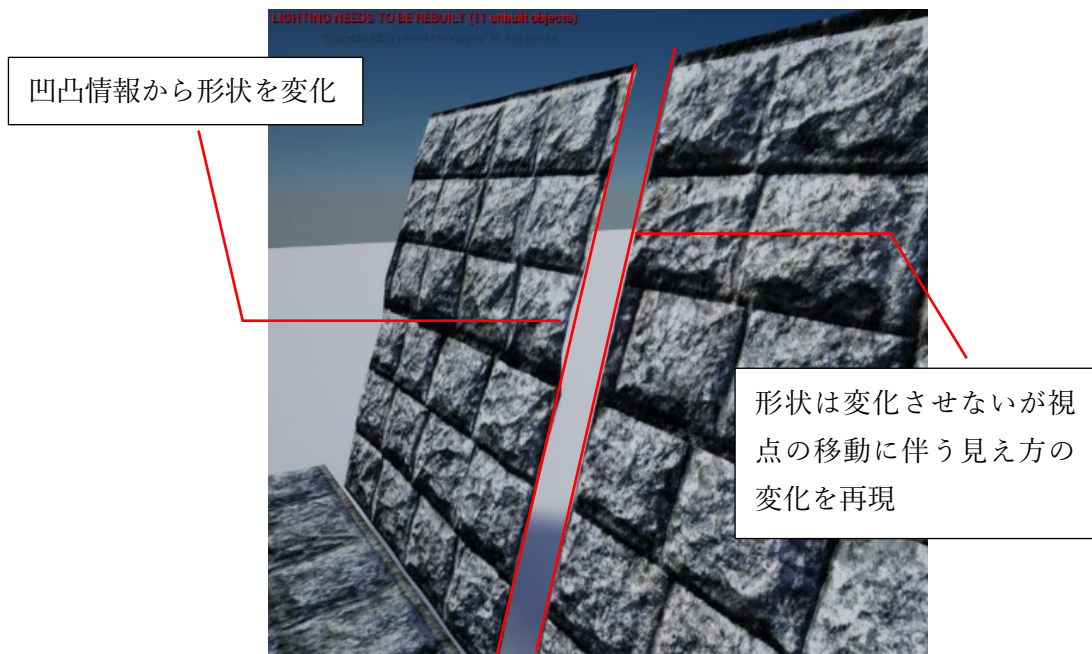


図 4-4-12 テクスチャを適用（左の凹凸は形状も変化、右の視差は形状の変化はない）

4.4.4 ゲームエンジンを用いた多自然川づくりのケーススタディ

ゲームエンジンを用いた多自然川づくりについて、ケーススタディを用いて説明する。

1) 作業環境

使用したゲームエンジンは、EPIC GAMES 社の UnrealEngine4.25.4 である。作業に用いた PC は、BIM/CIM ソフトが動作するスペックの PC を用いた。PC の諸元を表 4-4-2 に示す。なお、VR 等を行う場合には、使用する VR 機器が動作する PC スペック（特に描画用の GPU）が求められる。

表 4-4-2 作業に用いた PC の諸元

項目	内容
CPU	Intel Core i7-8550U(1.8GHz) 4 コア 8 スレッド
ストレージ	M.2 SSD 500GB 等 ※データ転送速度が作業性に影響するため HDD よりも SSD を推奨
メモリ	16GB
GPU	NVIDIA GeforceGTX1070 ※ノート PC の外付け GPU として使用しているため GTX1060 相当の動作
OS	Windows10Pro 64bit
ソフト	EPIC GAMES 社 UnrealEngine4.25.3
備考	HP ELITEBOOK830G5

2) ケーススタディの概要

前述の日野川の事例を用いて、ゲームエンジンでの作業イメージを以下に解説する。なお、日野川の事例は、既に BIM/CIM で設計されており（4.1 および 4.3）、ICT 施工が終わっているため、今回の検討はさかのぼって検討を行ったものである（図 4-4-13、）。

<検討段階での造成条件>

- 水位が変化しても湿地を確保する為、砂州形成の勾配（1:20）で掘削する。
- 湿地確保日数を踏まえ、T.P.+0.8m～T.P.+0.2m の箇所を確保する。
- 河岸部は草地化工法を採用する。
- 深場の掘削高は T.P.-0.2m とする。

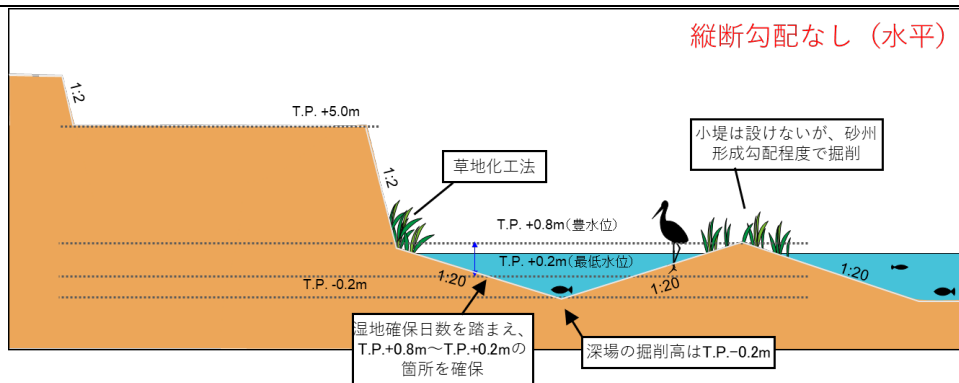


図 4-4-13 ケーススタディの説明

4. 河川 CIM の実装

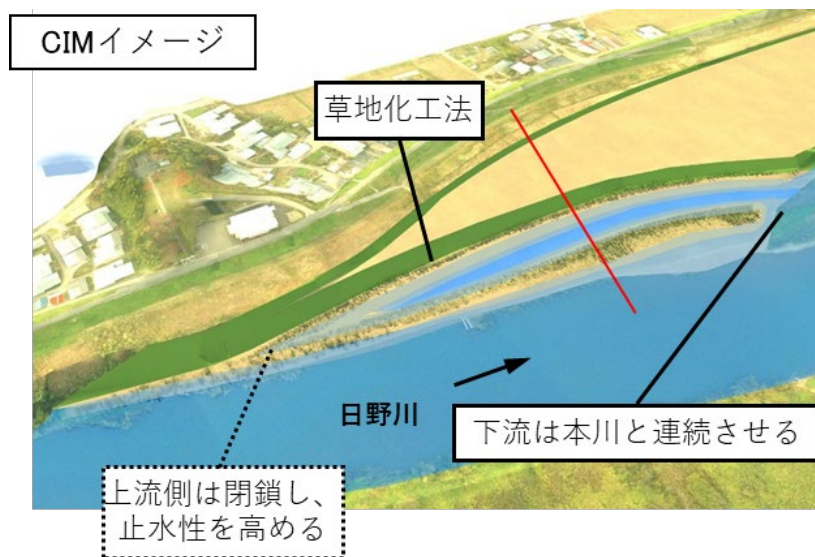


図 4-4-14 ケーススタディの説明

3) ゲームエンジンへのインポート

グリーンレーザの測量データを用いて、地形データをゲームエンジンに取り込む。取り込みの際には、ゲームエンジンが GIS ソフトや BIM/CIM ソフトでよく利用されている GeoTiff 形式が読み込めないため、CG 系のソフトで一般的に利用されている PNG 形式に変換する（表 4-4-3）。

表 4-4-3 測量データと変換手順について

作業	内容
元データ	グリーンレーザデータ
変換手順	<ul style="list-style-type: none"> ● 点群処理ソフト CloudCompare (フリー) を用いて 0.25m 四方のグリッドデータ (ラスターデータ: Geotiff) を作成 ● GIS ソフトを用いて、Geotiff データをゲームエンジンに取り込めるサイズ 8129×8129 ピクセルにトリミングし、16bitPNG 形式で出力

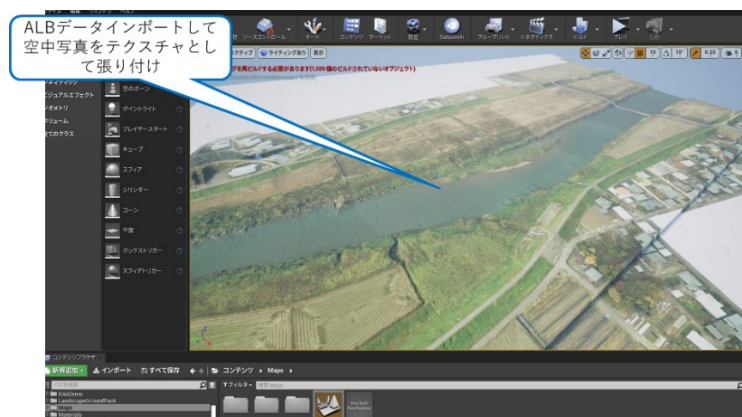


図 4-4-15 ゲームエンジンに地形データを取り込んだ状況

4.4 設計：ゲームエンジンを活用したVRによる川づくり

ゲームエンジン側が地理座標をサポートしないため、ゲームエンジンでの位置合わせや、BIM/CIMソフトへの出力の際に座標を間違えないように、PNG 画像の位置情報を記録しておくことが必要となる。

- PNG 出力の際に、画像の位置座標を記述しているワールドファイルを必ず保存
※GIS の場合はデータの地理座標情報を出力可能 (Tiff の場合 tfw など)
- PNG 変換時のパラメータ (高さ変換情報) も記録しておく
※GIS の変換のパラメータを記録
※QGIS の場合は GDAL Translate で入力した内容を記録 (図 4-4-16)

```
gdal_translate -of PNG -ot UInt16 -scale ① ② 入力ファイル名 出力ファイル名
```

① : 標高の最大最小 (地理座標)
② : PNG の階調数 (16bit)

※上記の場合、0m~392mを0~65536段階に変換という記載

図 4-4-16 QGIS での GDAL コマンドの記載例

上記の手順で作成した PNG ファイルをゲームエンジンの地形データとして読み込む。地形データの読み込みの際に、ゲームエンジン内で実際のスケールで扱えるように位置、高さを換算する (図 4-4-17)。

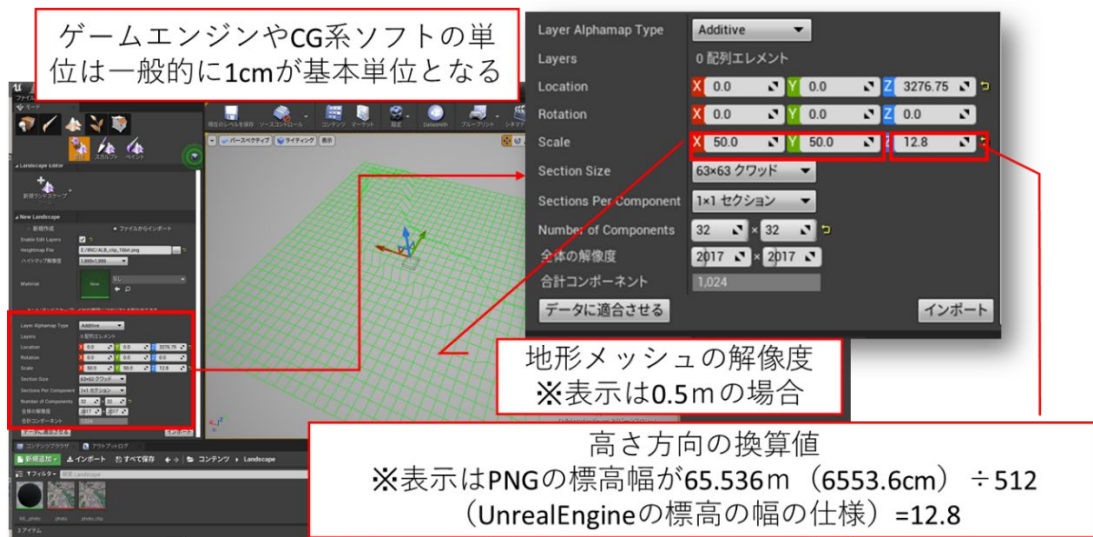


図 4-4-17 ゲームエンジンでの地形データの調整

4. 河川 CIM の実装

4) 地形編集作業

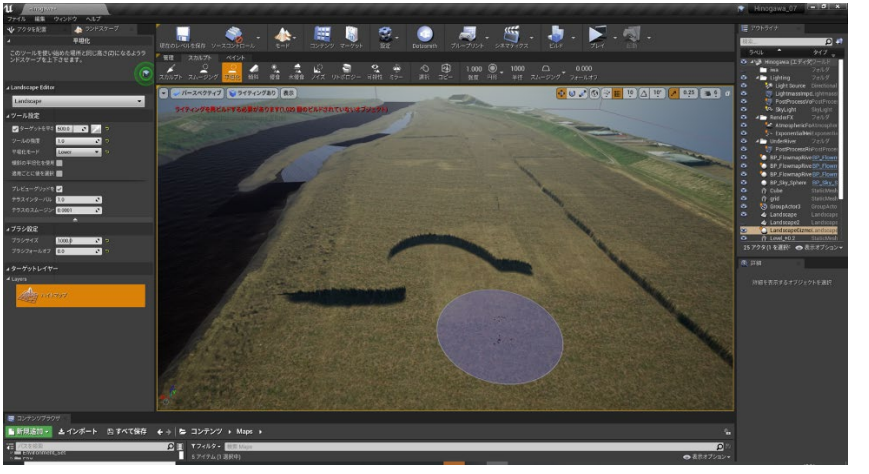
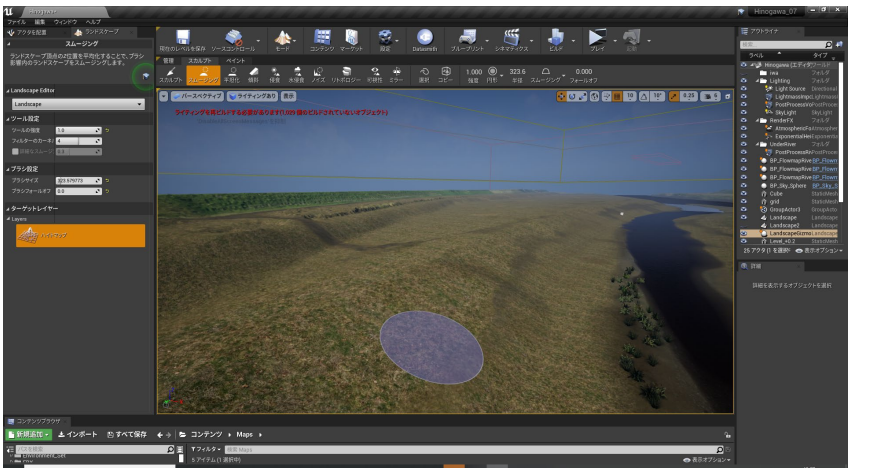
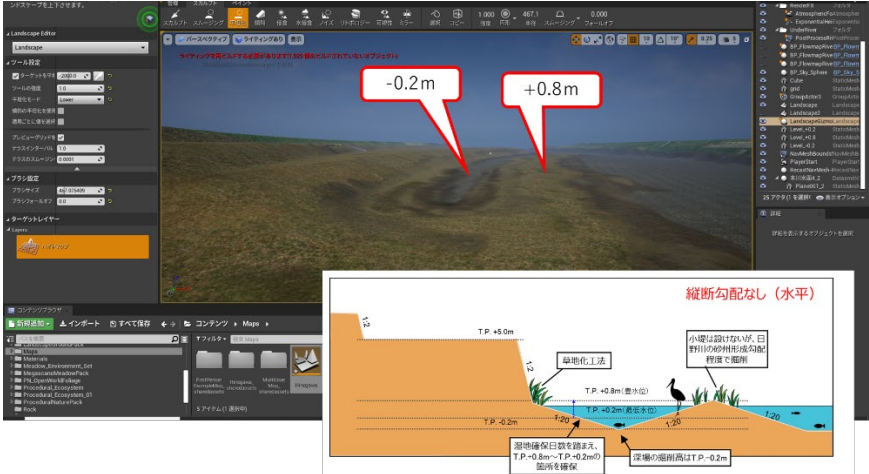
地形編集作業は、ゲームエンジンの地形編集機能を用いた。基本操作としては、ブラシを使用して、ペイントするイメージで掘削や盛土、段差を均したりする作業となる（表 4-4-4、表 4-4-5）。

表 4-4-4 地形編集の手順 (1/2)

作業工程	画面
+0.8mの高さで中州を掘削	 <p>• 平坦にならずブラシを使用 • +0.8mまで掘削 ※ゲームエンジンは単位がcm表記</p> <p>ブラシ</p>
掘削箇所の整形	 <p>スムージングツールでならず</p>
視点を変更しながら確認	 <p>アイレベルでも確認しながら スムージングツールでならず</p>

4.4 設計：ゲームエンジンを活用したVRによる川づくり

表 4-4-5 地形編集の手順 (2/2)

作業工程	画面
+5.0mの高さで高水敷を掘削	
掘削箇所の整形	
視点を変更して確認	

4. 河川 CIM の実装

5) 空間デザイン作業

実際の出来上がりを想像できるように、植生モデルや水面などを配置する。

植生モデルは、一般的な植生については市販のパーツが販売や配布されているものの、重要種等の特殊な植生は植生成成ソフト等で作成する必要がある（表 4-4-6）。

表 4-4-6 空間デザイン作業

作業工程	画面
植生の配置	
水面の作成	

6) 地表面などの素材づくりのポイント

河床材料などは広い面積に張り付けることから繰り返しのパターンが目立ちやすく、BIM/CIM ツールなどの出力がパースやCGと異なり違和感を覚える場合がある。

テクスチャを航空写真のように現地の写真を反映して作成すれば、繰り返しの違和感をなくすることができるものの、画像サイズが巨大になり、ソフトウェアの動作が重くなるなどあまり現実的ではない。

そこで、動作を軽くしながら繰り返しの違和感を軽減することが河床材料のテクスチャの基本となる。

下表は、単一のテクスチャを用いたものと複合テクスチャを用いたものの比較である（表 4-4-7、図 4-4-18～23）。

- 左の単一テクスチャは、近景では繰り返しのパターンが目立ちにくいものの、遠景では繰り返しが目立ってしまう。このようなテクスチャ表現は CIM ソフトウェアで多く用いられているものであり違和感を生じやすい。
- 右の複合テクスチャは、単一テクスチャにムラを合成させる処理とカメラ距離に応じたムラの発生を行っており、繰り返しのパターンが緩和されている。
- ポイントは、近景、中距離、遠距離用にテクスチャを設けて、合成処理させる点となる。CG系やゲームエンジンなどのソフトウェアは、テクスチャの合成や複合に対応しているためテクスチャの繰り返しの違和感を軽減することが可能になる。

表 4-4-7 繰り返しパターンによる見え方の違い

	単一テクスチャ	複合テクスチャ
近景		
遠景		

4. 河川 CIM の実装



図 4-4-18 砂利の単一テクスチャ（近景）

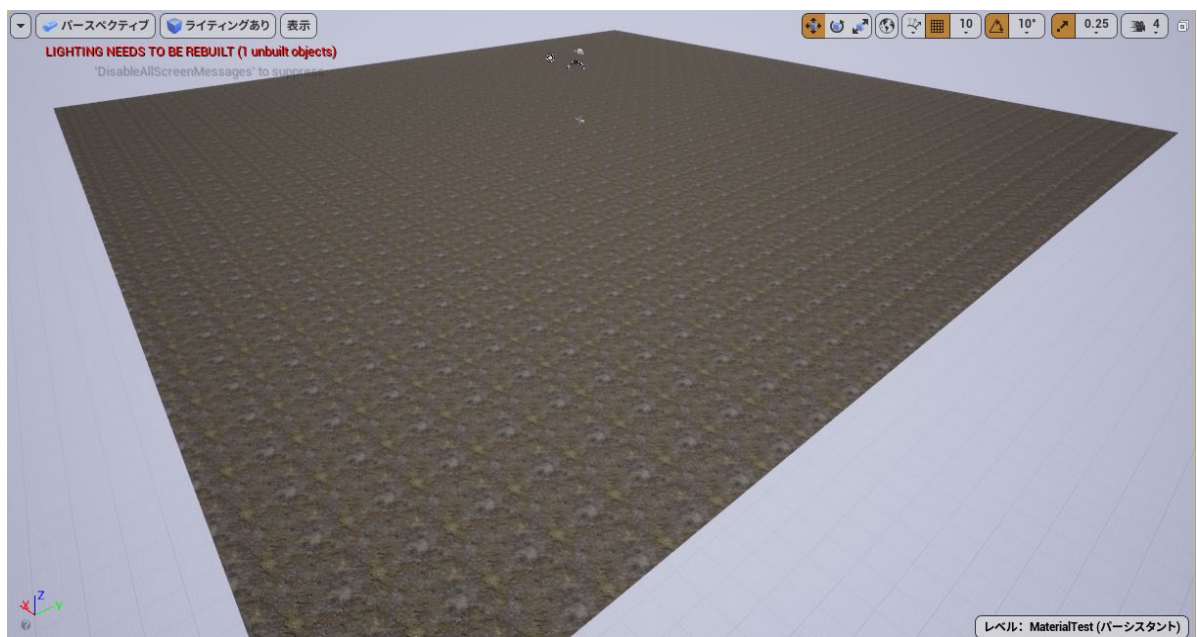


図 4-4-19 砂利の単一テクスチャ（遠景）

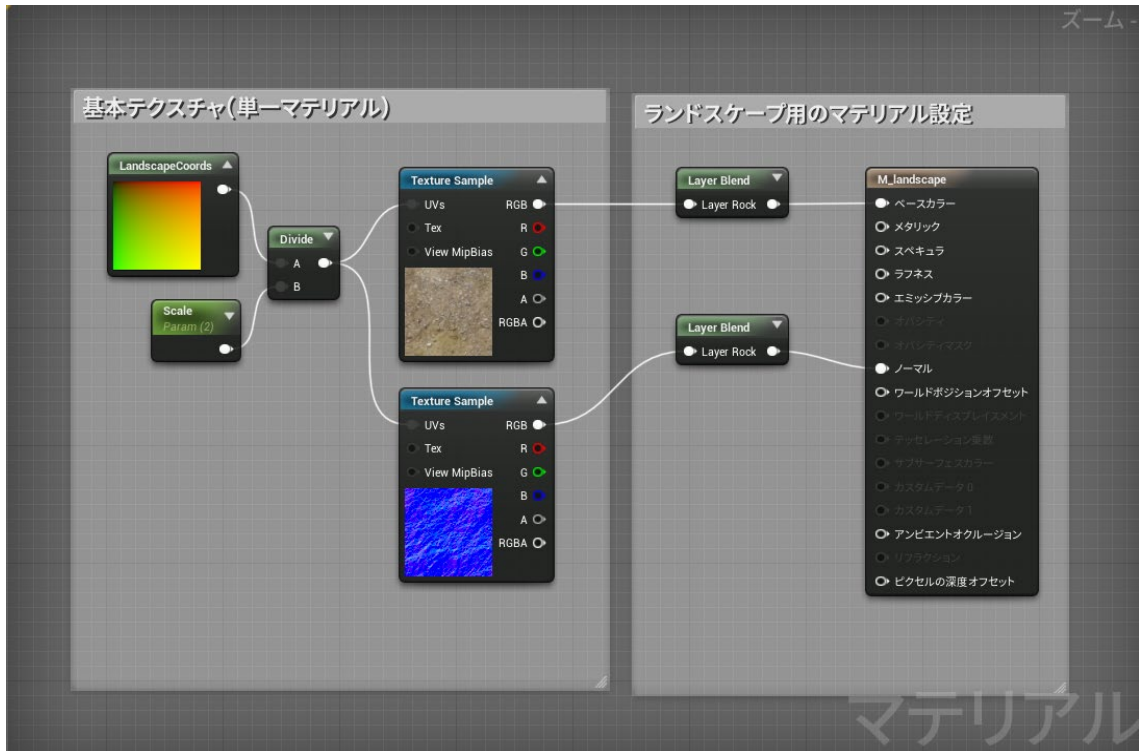


図 4-4-20 砂利の単一テクスチャ（テクスチャ設定）



図 4-4-21 砂利の複合テクスチャ（近景）

4. 河川 CIM の実装

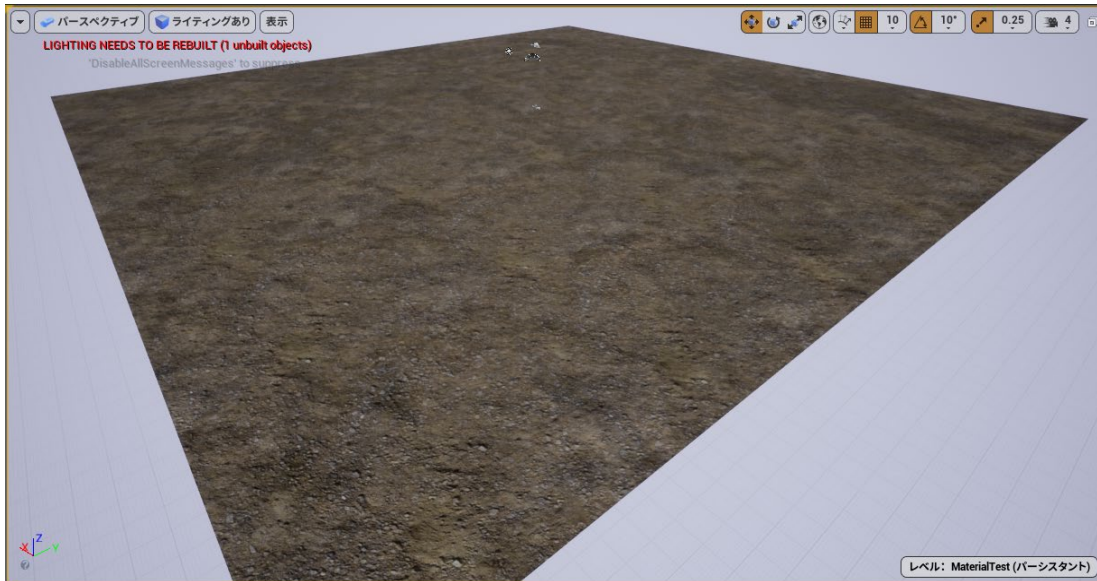


図 4-4-22 砂利の複合テクスチャ（遠景）

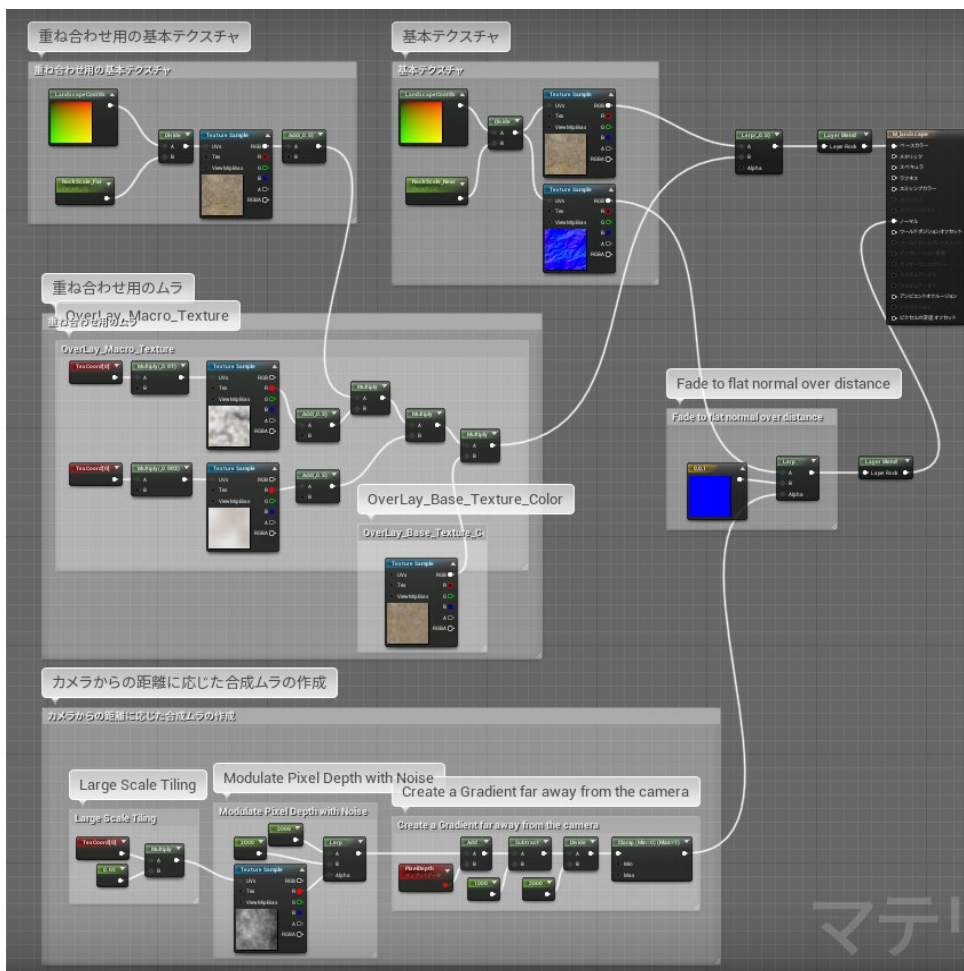


図 4-4-23 砂利の複合テクスチャ例（テクスチャ設定）

7) 確認及び仮想空間共有

確認は編集画面上で確認するほか、コンテンツとして出力（ソフトによってはビルドやパッケージ化など）すると、他のPC等との空間共有やヘッドセットを活用したVR空間での確認ができる（表4-4-8）。ゲームエンジンの利点として、編集画面でのリアルタイム描画が可能であることから、合意形成の初期段階では、編集画面で実際に地形を編集しながら出来上がりを確認するような使い方も適している。また、コンテンツとして出力した場合、VRヘッドセット等を用いて仮想空間内で体験することが可能となるため、使い勝手や危険箇所などを確認する利用方法も適している。

表 4-4-8 確認及び仮想空間共有

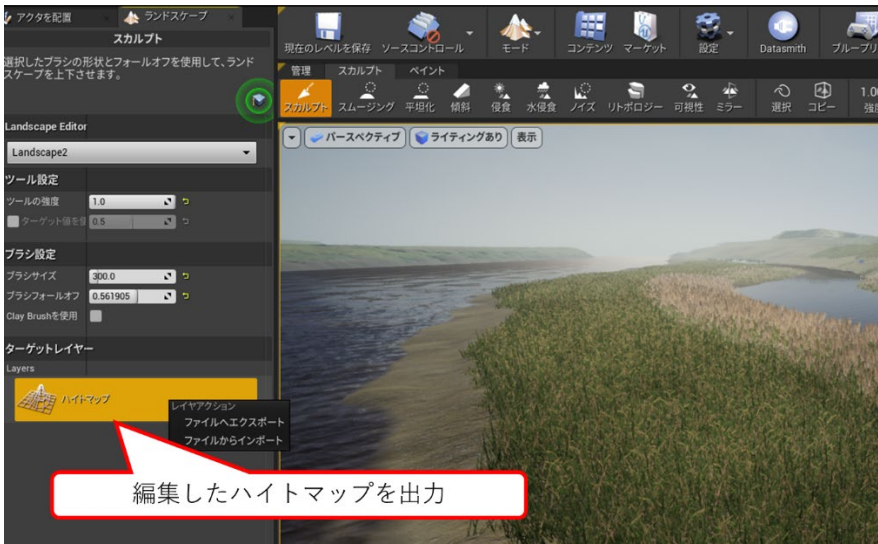
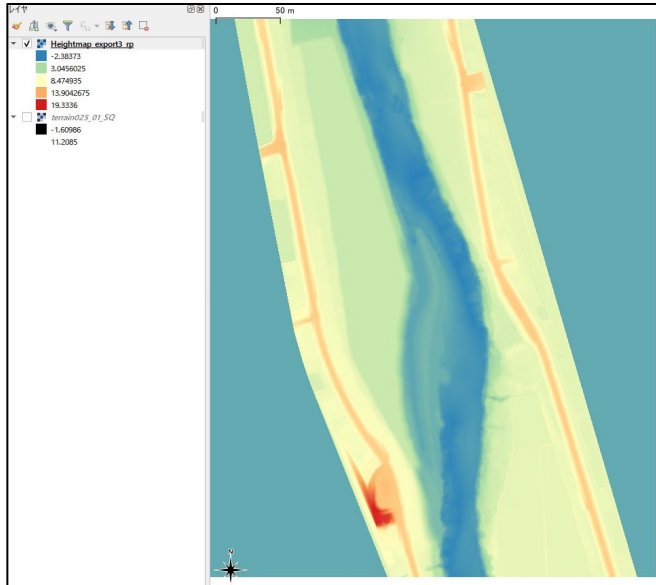
種別	画面
編集画面での確認	
コンテンツとして出力 ※複数のPCで同時に確認	

4. 河川 CIM の実装

8) 編集した地形データの引継ぎ

編集後の地形データは、他の解析や設計のソフトで利用可能である（表 4-4-9）。ゲームエンジンからは 16bitPNG のハイトマップとして出力されるため、ゲームエンジンへの取り込み時のパラメータを用いて、GeoTiff 形式に変換を行う。オープンソースの GIS ソフトの QGIS 等で変換（QGIS の場合は `gdal_translate`）を行う。

表 4-4-9 ゲームエンジンで編集した地形データの出力

種別	画面
<p>ゲームエンジンから編集した地形データを出力 ※16bitPNG 形式</p>	
<p>Geotiff への変換 ※16bitPNG から Geotiff 形式に変換 ※変換は GIS ソフト等を用いる</p>	

4.5 維持管理：九州地方整備局における三次元管内図の取り組み

4.5.1 はじめに

河川管理用三次元データ活用マニュアル（案）（2020）¹⁾によると「三次元管内図」は、「河川管理業務の効率化・高度化を目的として、水系や管理区間の三次元地形データを基礎資料として表示するものとし、閲覧機能、GIS機能、検索機能を備えたもの」として位置づけられており、現在、国管理の全河川で整備がなされるよう進められているところである。

九州地方整備局では、「三次元管内図」の整備が本格化する以前からも河道管理を主眼とした河川 CIM の導入に力を入れてきたところである。河川の維持管理については、管理延長が長い、対象が自然物と人工物の複合構造であり、図面等が無い部分が多い、変状情報を常に収集・把握する必要があるという特徴があり、河川 CIM の導入に当たっては最初から様々な情報や活用性を網羅的に適用するのではなく、段階的に構築を進めていった。そこで河川 CIM を導入・普及するにあたり、省力化、効率化、品質の確保を考慮し、次に掲げる4つのポイントに留意することとした。

- ① 整備局職員の使い勝手が良い
- ② できるだけシンプルにすること
- ③ 河川 CIM の成功体験を積み上げることができること
- ④ できるだけ低コストであること

また、九州地方整備局河川部では、平成19年度から学識者と連携した「九州河道管理研究会」²⁾にて、河道変化を踏まえた予防保全型の管理や機能維持を考慮した河道掘削技術について研究を行っているところである。研究会では、既存の基礎調査データを活用して河道の状態を縦断的に把握し、河道内の堆積や洗掘等の進行による「差し迫った危険」を把握するため、要注意箇所を設定して河道管理を実施することとしている。そこで、図4-5-1に示す水位計算結果、平均河床高、最深河床高の経年変化及び樹木繁茂による影響等が見える化した「河道管理基本シート」（国土技術政策総合研究所・河川研究室開発）²⁾を用いている。基本シートの情報に加え、設定された要注意箇所について、航空写真や平面図、定期横断の重ね合せ図等を個別に確認して、危険度や対策の必要性の確認をしている。しかしながら、判定結果が職員個人の技術力に左右されてしまう欠点があった。

この課題を解決するため、河道管理基本シートを立体的に見える化し、状態把握や要因分析を行いやすくすることを目標として、各河川が保有している平面図に横断図や縦断図・最深河床高・MMSデータなどから河道管理の基礎となる河川 CIM の基本フレーム（以下、基本フレーム）を検討した。検討の第1段階としては、職員が日常的に活用できるようシンプルかつデータ処理速度を考慮して横断図などの河川地形情報をデジタル平面上に配置する「2.5次元化」を目標とした。作成するソフトは、汎用性の高い3DPDFを使用することで、職員のパソコンで容易に操作ができる仕様とした（図4-5-2）。

結果、洗掘や土砂の堆積状況を縦断的に把握することが容易であり、操作性も良いことを確認することが出来た。一方で、200mごとに管理している横断データでは、その測線間の状況確認には無理があった。そこで、3次元点群データの取得と併せて、更なる河川 CIM モデルの構築を進めていった。

4. 河川 CIM の実装

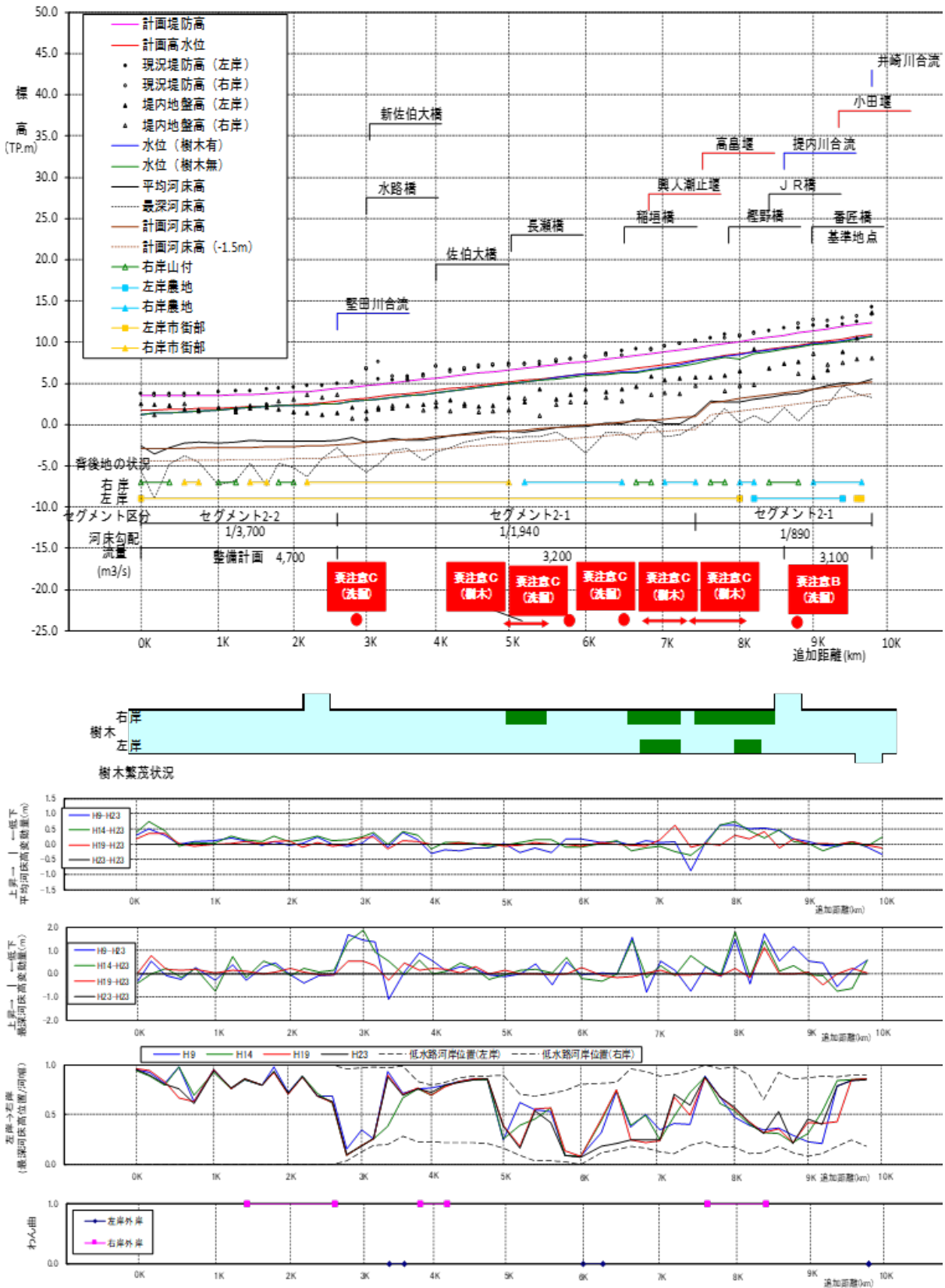


図 4-5-1 河道管理基本シート (抜粋)

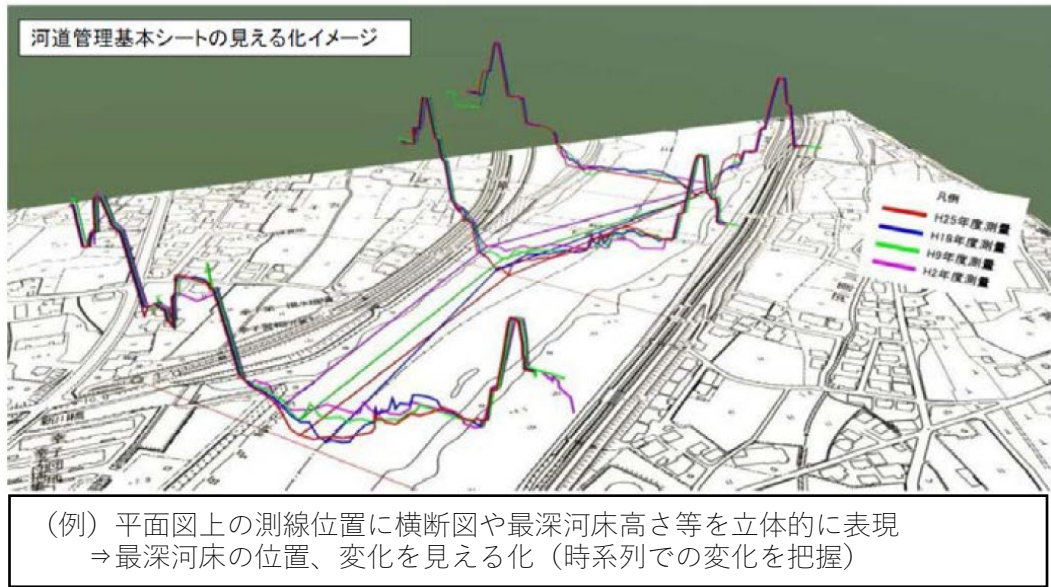


図 4-5-2 基本フレーム (2.5 次元)

4.5.2 基本フレームの構築状況

1) 基本フレームの概要

2.5次元から3次元へと基本フレームのバージョンアップを行うにあたって、次のことに留意した。河川管理に用いるデータは膨大であり、全てを3次元化することや各種データをモデルに紐付けることによりデータ容量が大きくなり職員用PCではモデルの動作性が悪くなり日常的に使用することが難しくなる。シンプルかつ職員が使い勝手がよいシステムとするためには職員が日常で活用したい情報を厳選し必要最低限の情報で構成する必要がある。このため現在検討を進めている基本フレームのモデル構成は3部構成のモデルを検討している(図4-5-3)。

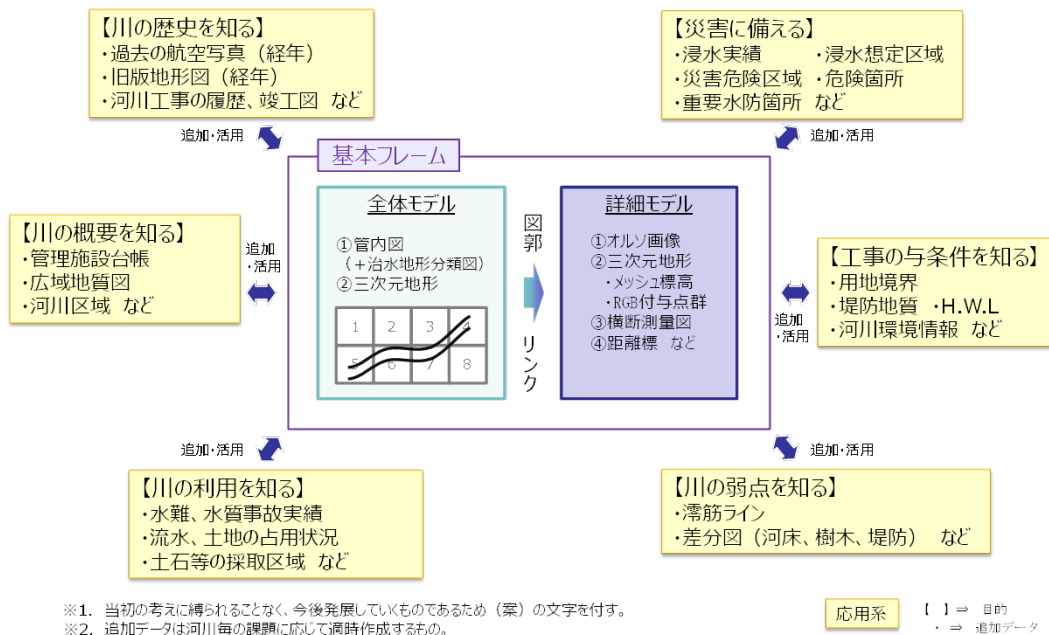


図 4-5-3 基本フレームの構成

4. 河川 CIM の実装

- | | |
|--------|--|
| ①全体モデル | ：河道全体の概況を確認できる三次元管内図であり詳細モデルへの牽引図としての機能を有するモデル |
| ②詳細モデル | ：河川図の図郭全体の地理空間情報を3次元地形上で提供するモデル |
| ③応用系 | ：各河川が抱えている課題に対して必要な情報を詳細モデルに追加するモデル |

詳細モデルはメッシュデータと点群データの2種類を検討しているがメッシュデータは面であり視認性が良いが既存の横断図を重ね合わせると地形に埋もれてしまう課題がある。点群データでは既存の横断図は確認できるものの、点の集合体であるため地形に近づくと視認性が悪くなる課題がある。このため、活用場面に応じたモデルの選択等も検討する。また、応用系モデルは各河川が抱えている課題や必要な情報について、詳細モデルに情報を追加することを検討しているが、情報量が膨大になることが想定されるため、詳細モデルからリンク先に渡すことで一連のモデルとする等、操作性も踏まえて検討を進めている。なお、全体モデル、詳細モデルを無償のビューソフト Autodesk Navisworks Freedom で閲覧できるように構築しており、自席の作業PCで閲覧できるように環境を整えているところである。Autodesk Navisworks Freedom の機能として延長・面積の計測や任意箇所の断面化などが可能である。

2) 全体モデル

全体モデルは、管内全体の地理空間情報を3次元地形上で確認できるモデルとして構築している（図4-5-4）。そのデータ構成については、表4-5-1に示すとおりであり、管内図、治水地形分類図を用いて空間的な位置情報を把握し、また、索引図としての機能も持たせている。

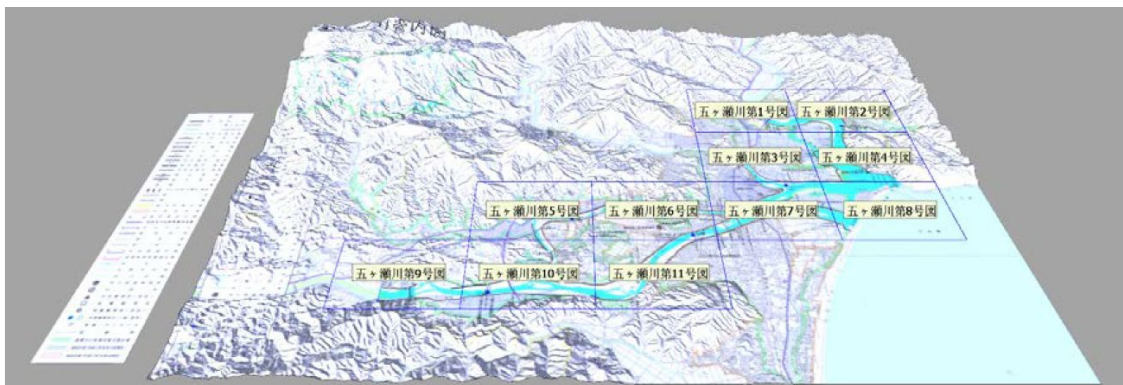


図 4-5-4 全体モデルのイメージ

表 4-5-1 全体モデルの諸元

全体モデルを構成するデータ群(案)		
①	機能	空間的な位置情報を提供する(索引図)
②	作成範囲	管理河川の管内を網羅する範囲[≠流域図] (管理延長が長い河川は、下・中・上流等で分割) ※基本的に現行管内図の範囲
③	初期背景図	管内図
④	初期地形データ	10mメッシュ標高
⑤	サブ背景図	治水地形分類図
⑥	サブ地形データ	④と同一

3) 詳細モデル

詳細モデルは、「川の概要を知る」ために航空写真、河川図 (S=1:2500)、距離標を詳細地形に合わせて3次元化したモデルと「川の弱点を知る」ための定期縦横断 (4 時期) を同様に3次元化したモデルから構成している (図 4-5-5)。構成モデルの諸元は、表 4-5-2 のとおりである。

なお、全体モデルと座標整合させており、全体モデル上に詳細モデルの範囲を図郭として表現し、その図郭が詳細モデルと対応する構造としている (図 4-5-6)。

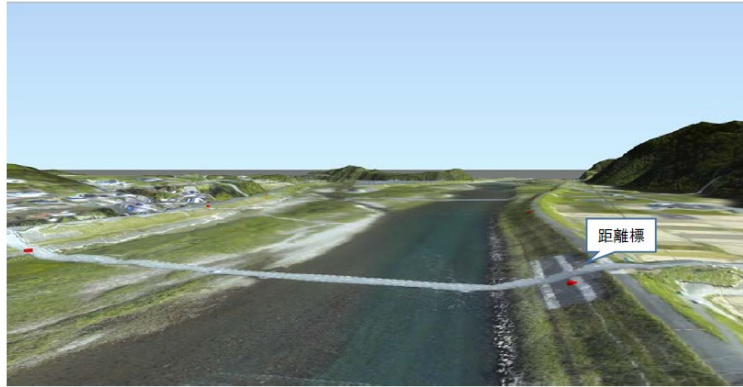


図 4-5-5 詳細モデルのイメージ

表 4-5-2 詳細モデルの諸元

詳細モデルを構成するデータ群(案)		
①	機能	河川沿川及び河川区域内の空間情報や地形情報を提供する
②	作成範囲	基本: 河川図1 図郭(図郭間は原則シームレス)
③	初期背景図	オルソ画像
④	初期地形データ	メッシュ標高(河川区域内1m、河川区域外5m)
⑤	サブ背景図1	—
⑥	サブ地形データ1	RGB付与点群データ
⑦	サブ背景図2	河川図(S=1:2,500程度の白図の情報量)
⑧	サブ地形データ2	横断図(オンスケールの定期測量横断図:4世代)
⑨	掲載情報	距離標(位置・距離名称) ※台帳等のリンク無し



図 4-5-6 全体モデルと詳細モデル

4. 河川 CIM の実装

4) 応用系の例

基本フレームは必要最低限の情報で構成しているが、河川毎で必要とする活用方法に応じて河川管理項目を応用系として基本フレームに追加しての活用が考えられる。以下、追加データの案を例示する。

①河床変動および植生の発達状況の把握

河床変動の把握を目的として 2014 年の河道地盤高と 2020 年の河道地盤高の標高差を算出し、河床変動量を色付きの点群データとして構築した (図 4-5-7)。構築したモデルを詳細モデルに追加することで、構築範囲の土砂の侵食や堆積している箇所の把握が容易となる。

ただし、河床変動量を標高値として点群データで可視化しているため、地形データと合わせても X 座標と Y 座標の位置把握しかできないことに留意が必要である。また、水中部は近赤外レーザでは計測できないため、陸上部の土砂の侵食や堆積箇所の把握となる。今後はグリーンレーザにより水中部も計測が可能となるため、水中部も含めた土砂の侵食や堆積状況も可視化することが可能である。また、2014 年の表層データ (地盤高+樹木等の地物データ) と 2020 年の表層データの標高差および 2020 年の表層データと 2020 年の地盤高の標高差を算出し、詳細モデルに追加することで、構築範囲の河道内樹木の生長の把握が容易となる (図 4-5-8)。

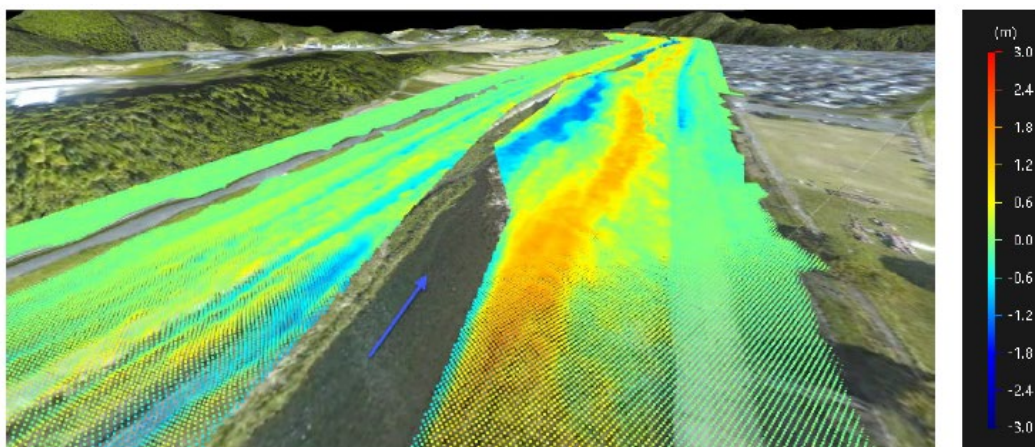


図 4-5-7 2014 年の河道地盤高と 2020 年の河道地盤高の標高差

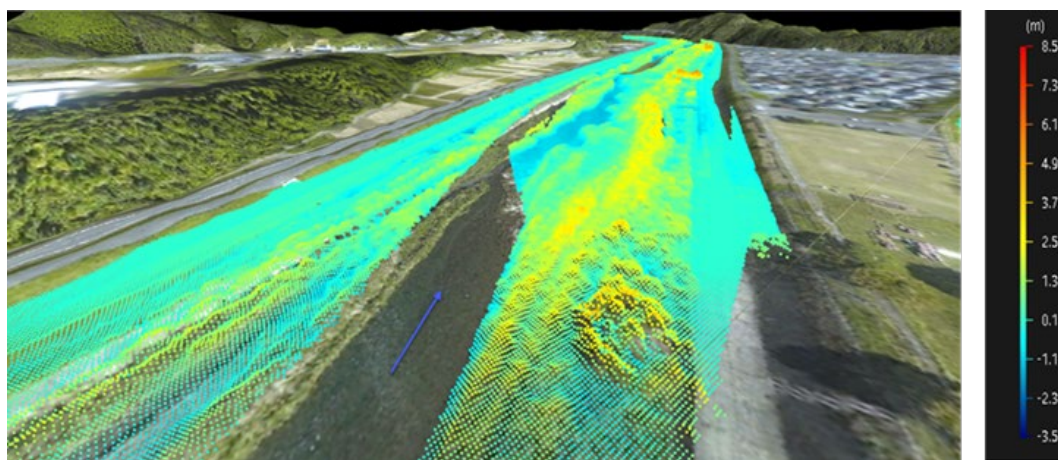


図 4-5-8 2014 年と 2020 年の植生の差分

②竣工図の重ね合わせ

2次元竣工図を3次元化し地形データと重ねあわせることにより低水護岸基礎が洗掘による影響を受けていないか等を確認することが出来る。なお、地形データを活かすためにも構造物データを連続的に3次元化する必要がある。この3次元化については、どこまで簡略的に構造物を図化させておくか等検証する必要がある。(図4-5-9)

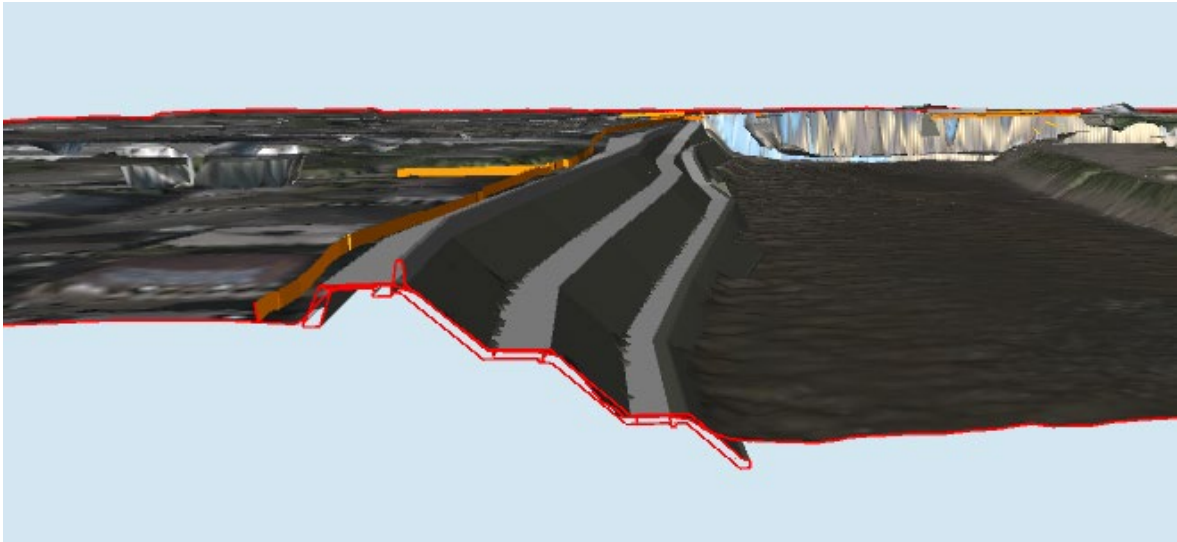


図 4-5-9 竣工図の重ね合わせ

③河川環境情報図の重ね合わせ

河川環境情報図³⁾を地形モデルに重ね合わせたモデルを詳細モデルに取り込むことにより、保全対象種が好む物理的環境の特徴把握やその後の地形変状による予測などを行うことが可能になる。河川環境情報図をリンク先として設定することで詳細な情報が確認可能となる(図4-5-10)。

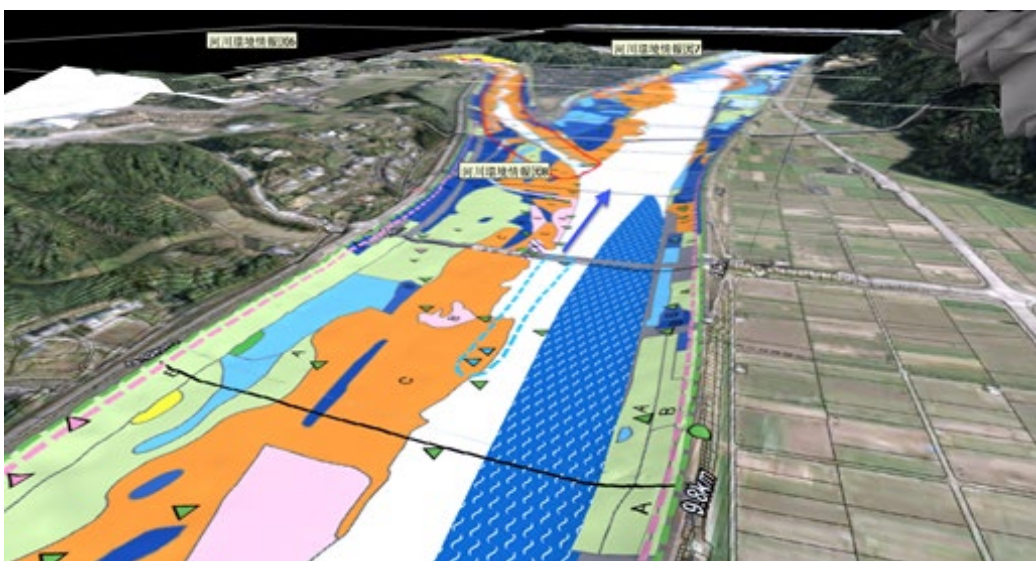


図 4-5-10 河川環境情報図の重ね合わせ

4. 河川 CIM の実装

④事業による背後地への影響把握

河川整備計画の形状を CAD データ等から 3 次元化し、詳細モデルに読み込むことで、事業による現況施設や背後地への影響について事前に 3 次元空間上で把握することが可能となる（図 4-5-11）。例えば、引堤区間の影響により、改築が必要となる樋門等の施設の位置把握や構造台帳をリンクしておくことにより、台帳などの情報を瞬時に確認することが可能となる。

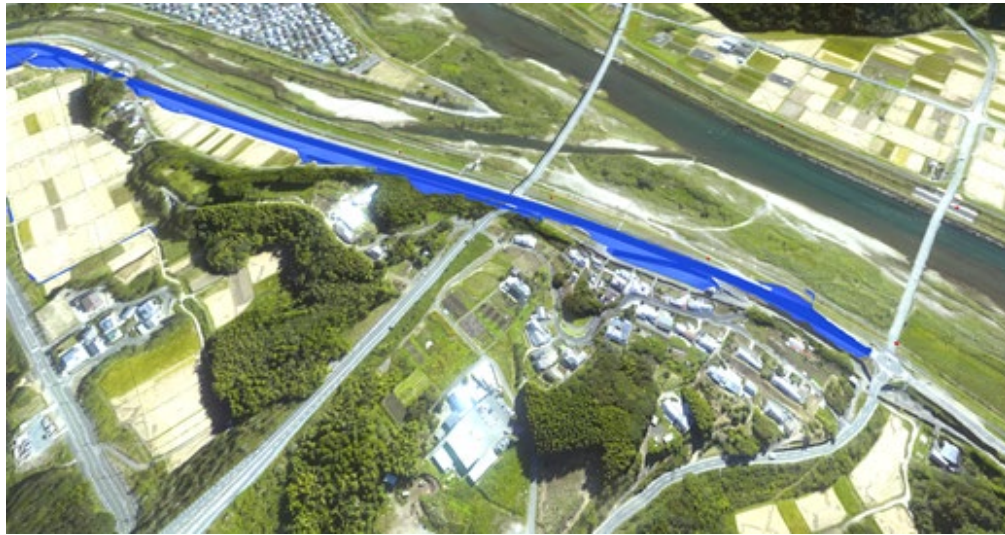


図 4-5-11 引堤する堤防の計画モデルと現況地形の重ね合わせ

⑤地質構造の把握

堤防点検区間の地質縦断面図と横断面図のパネルダイアグラムを詳細モデルに読み込むことで、地質構造の把握を可能とする（図 4-5-12）。例えば、フーチング等の地中部の根入れ範囲や深度等を 3 次元上で地質構造と合わせて確認したり、掘削時の河床地質を確認したりすることが可能となる。

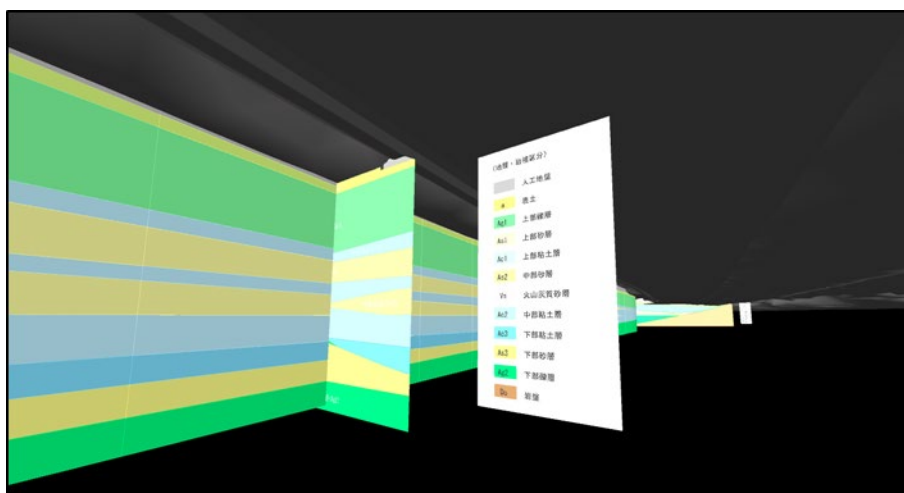


図 4-5-12 地質構造の可視化

4.5.3 今後の展開

維持管理・調査段階として、河川 CIM の導入を進めてきた。現時点までの課題と今後の展開について以下に示す。

1) データの更新

河川管理を行う上でデータの取得年次は重要になる。樹木繁茂範囲の計測を行おうとした時にオルソ画像が古く樹木が確認出来なかったケースが発生する等、オルソ画像や地形データの更新を適切に行うことが維持管理・調査段階では重要になってくる。

国土交通省では、河道の状態把握のための測量は5年以内に1回程度または出水により大きな河床変動が生じた場合に実施することが基本となっている。全川をまんべんなく点群測量を行うためには、費用の課題もあるため、現地の状況や変状を的確に把握するための観測頻度や観測手法を再検討する必要がある。

2) 維持管理・調査段階から設計・施工段階へのつなぎ

維持管理の視点も含めて、設計・施工につなぐためにも、各段階の3次元作業状況を確認出来るよう三次元管内図がプラットフォームとして機能することを望んでいる。そのためには、各段階に適したソフトから構築された3次元データを統合モデルとしてデータ保管し、各職員のPCで日頃から閲覧出来る仕組みを構築する必要がある。この一連の流れを具体的に最低限のルールとして整理していきたい(図4-5-13)

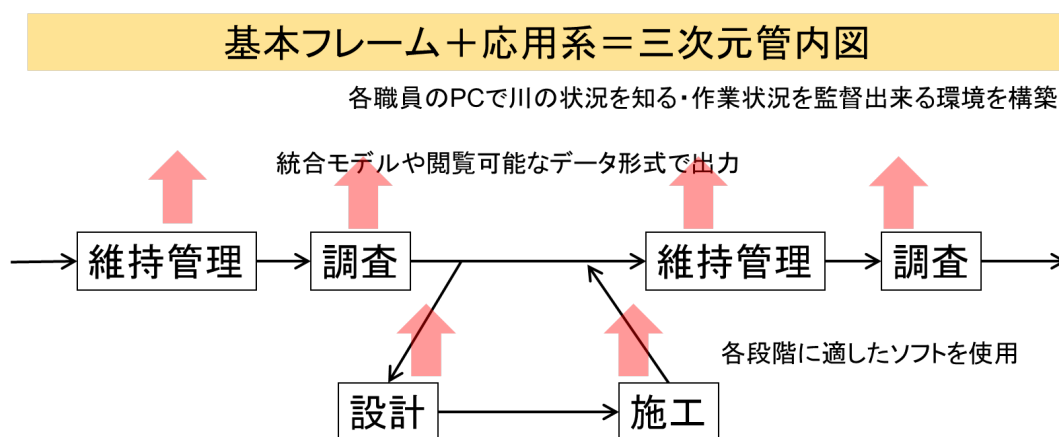


図 4-5-13 三次元管内図と各段階との関係性

4. 河川 CIM の実装

3) スキルアップ（人材育成・技術力向上）

基本フレームの導入河川を増やすことと併せて、河川 CIM に関することや基本フレームの操作技術に関する勉強会（図 4-5-14）を継続して取り組んでいく予定である。そのなかで、効率がよくなることで、思考が停止することのないように職員の河川技術力の向上も留意することが、河川 CIM の拡がりにつながると考えている。

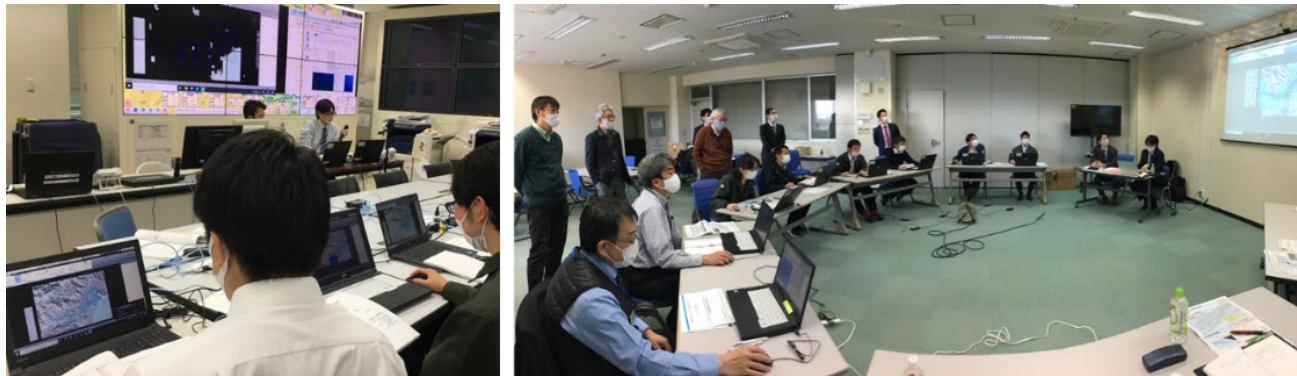


図 4-5-14 基本フレームの勉強会の様子

参考文献

- 1) 国土交通省水管理国土保全局（指針・ガイドライン等）：
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/index.html
- 2) 藤田光一ら：現場での実践を通して河道管理技術を向上させる先駆的取り組み、河川技術論文集、第 17 巻、2011
- 3) 九州地方整備局ホームページ：【九州地方整備局版】河川環境情報図作成の手引き（案）、
<http://www.qsr.mlit.go.jp/n-kawa/kasenjyouhouzu/kasenjyouhouzu.pdf>

5. 多様な河川 CIM の活用

5.1 災害対応／360 カメラや VR の活用

5.1.1 これまでの情報共有

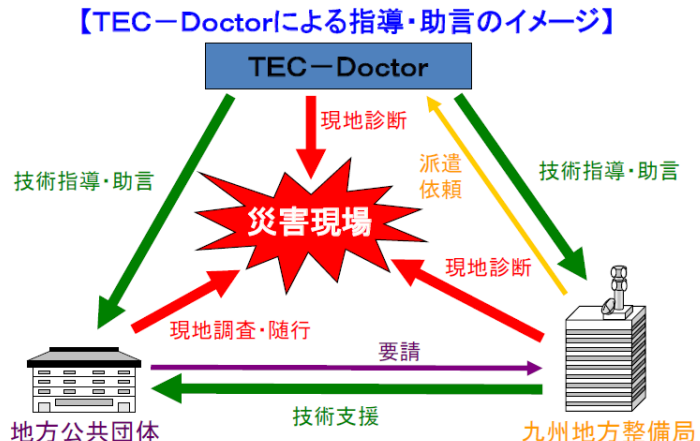
災害発生時には、自治体支援を行うために、国土交通省の他、消防や警察、自衛隊が災害派遣で現場に派遣（自衛隊法や災害対策基本法に規定）される。このような状況においては、自衛隊が救助を行う際に土砂除去等の技術的な判断を国土交通省職員に求めることがある。しかし、なかには即時に技術的な判断を下すことが困難なケースも存在し、その場合には土木の分野に関する高度な技術や専門的な知識を有する TEC-doctor（平成 20 年に設置された九州地方整備局の制度、図 5-1-1）に助言を求めながら対応を進めることになる。

TEC-Doctor制度(学識経験者との連携)



TEC-Doctor制度とは

- ◆ 土木の分野に関する高度な技術や専門的な知識を有する学識経験者により構成され、国土交通省が管理する河川・道路・砂防施設などが災害等により損傷した場合に、現地調査を始め機能復旧に向けた調査や適切な災害復旧工法の選定（平常時については予防的措置）等に関する指導・助言を行うことを目的とした制度です。
- ◆ この制度は、災害時に地方公共団体等からの要請に対しても、適用することとしています。



【制度の設置等】

- ・平成20年6月30日に設置
 - ・TEC-Doctorは、橋梁やトンネル等の構造物、地滑り等の地盤・地質、河川や火山・防災等に関する専門的な知識や高度な技術力を有する学識経験者を九州地方整備局長が委嘱しています。
- 【令和3年3月現在：75名の学識経験者で構成】

図 5-1-1 TEC-Doctor 制度

このようなケースでは、従来、図 5-1-2 のステップにおいて関係者間で写真を用いて現地状況の共有が行われている。迅速な対応を求められている災害対応時において、図 5-1-2 のステップによる現地状況の共有では、写真の整理や関係者間での打合せ日程の調整などに時間を要する。迅速な対策工事実施のためには、情報発信や共有の仕組みを改善する必要がある。

5. 多様な河川 CIM の活用

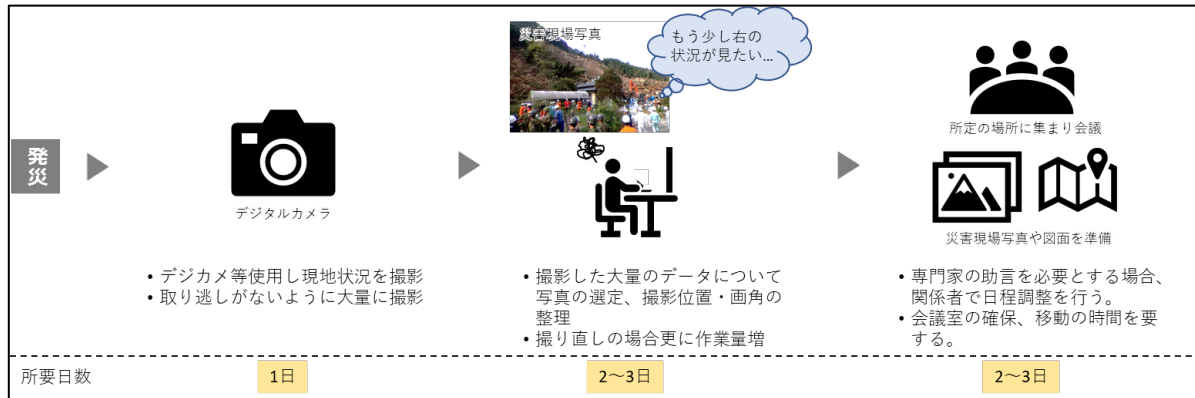


図 5-1-2 災害発生時の現地状況（写真）の従来の共有ステップ

5.1.2 災害現場における写真撮影に対する 360 度画像の活用と課題

災害現場では、撮り逃しがないよう大量の写真撮影を行っているが、撮影者の経験不足等により取り逃しが生じることがある。改善策の一つとして、360 度画像の活用がある。360 度画像は一度の撮影で周辺のあらゆる方向の地物が撮影可能なため、撮り逃しを少なくすることが出来る。

一方で、360 度画像は全方向の閲覧が可能な分、閲覧時に見ている方向や箇所が分かりづらいという課題もある。そのため、画像の閲覧者に的確な撮影条件（方向や画角など）を共有できる工夫が必要である。

5.1.3 360 度写真を用いたこれからの情報共有

360 度写真を用いた現地状況の共有について、国交省九州地方整備局災害対策マネジメント室と TEC-Doctor 間で有効性の確認や操作性等の試行を行った。その概念図を図 5-1-3 に示す。360 度写真は PC のディスプレイの他、没入感や規模間の把握のため、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を使用して確認できるようにした。TEC-doctor 等の拠点に HMD を導入し、専門家に現場の状況をより正確に把握してもらうことが狙いである。

360 度写真の確認は、オンライン上に構築された仮想の会議室で行った。関係者はこの仮想会議室にアクセスし、同じ 360 度写真を複数人で確認することができた。確認する写真は同一であるが、その写真のどの方向、どの画角を見ているのかは各参加者が自由に選択できる。見ている方向・画角が異なり円滑な情報共有に支障をきたすのを解消するため、マウスや HMD のコントローラーで操作できるレーザーポインターを実装し、各々が見ている場所を指し示すことが出来るようにした。(図 5-1-4)

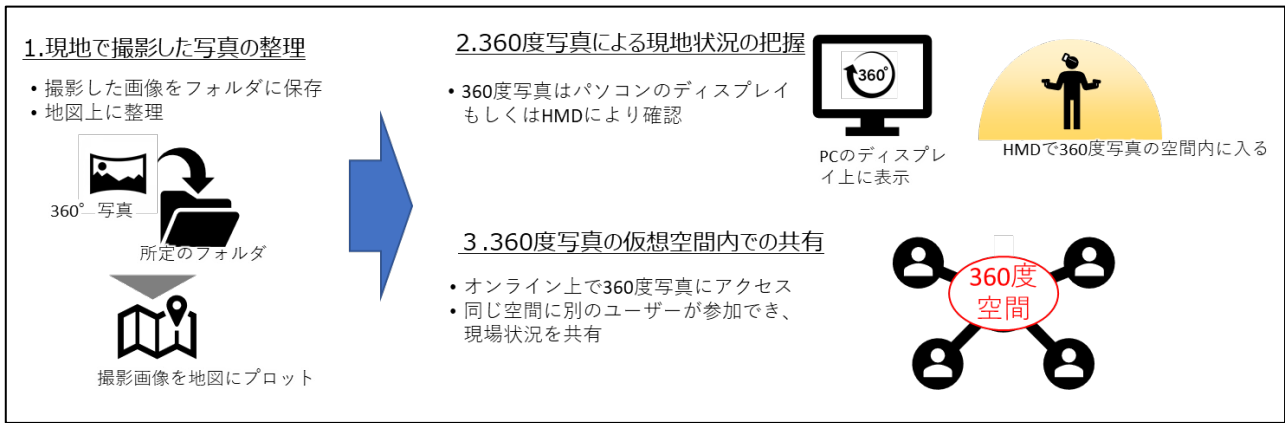


図 5-1-3 災害発生時の現地状況の共有ステップ



図 5-1-4 現地状況の共有画面

5.1.4 今後の VR 活用の可能性

災害時に、仮想空間内で 360 度写真を共有するシステムの試行では、十分に現場の臨場感を共有することができ、本システムは災害対応時に有効である可能性が示された。さらに、撮影データをアーカイブすることで、災害対応の研修にも用いることができる。今後、機器類の進展に伴い、360 度写真に加えて、BIM/CIM データや点群データを仮想空間内で共有することで、災害査定時の活用等にも展開できると考える。

参考文献

- 1) 国土交通省九州地方整備局 HP：TEC-Doctor オフィシャルページ（2021/4/29 閲覧）
http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai_joho/TEC-Doctor_official/index.html

5. 多様な河川 CIM の活用

5.2 災害復旧／治水と環境を連動させた川づくり

5.2.1 はじめに

災害復旧では非常に短期間で立案する必要があるため環境への配慮が後手に回るおそれがある(2.1.5)。また、計画案の定量的な検討は實際上治水的評価にとどまり、生息場の良否などの環境面の評価に及んでいない。改良復旧を行う際にも多自然川づくりを推進するためには、迅速かつ定量的に治水と環境両面での評価ができ、河道計画立案を補助するツールが必要である(3.4.3)。土木研究所自然共生研究センターでは河川環境評価ツール EvaTRiP の開発を行ってきた。EvaTRiP は、無料の河床変動計算ソフトウェアである iRIC ソフトウェア(以下、iRIC)の機能の一部(ソルバー)として動作し、河床変動計算で得られた時々刻々の水深・流速の計算結果を取り込んで評価値を算出するもので、治水評価と環境評価を同時に実行し、治水と環境の両立を目指すことが狙いである。

5.2.2 EvaTRiP Pro について

EvaTRiP Pro は、専門家から管理者まで様々なレベルのユーザーのニーズを満たす高度な河川環境評価を可能とするソルバーである。従来の EvaTRiP はあらかじめ評価方法を限定していたが、EvaTRiP Pro は柔軟に評価方法を設定できるようになっているほか、実用的な環境評価を充実させている。以下に特徴を紹介する。

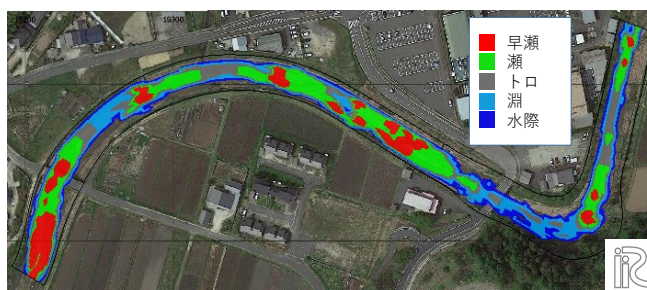


図 5-2-1 EvaTRiP Pro による河川瀬淵環境の判別

瀬淵評価機能：河川管理者の河川環境評価と

してニーズの高かった瀬淵評価機能(図 5-2-1)を充実させた。フルード数を用いた簡易的な分類方法の他、河川のサイズや状況に応じて水深・流速の閾値をマニュアルで設定することも可能である。

Python によるオープンソースソルバー：EvaTRiP Pro は Python で動作する初めての iRIC ソルバーである。ソースコードは公開されており、ソルバーの導入に際しては iRIC 上での Python 動作環境を合わせて整備した。これにより、EvaTRiP Pro を改良するなどして、様々な iRIC の Python ソルバーを独自に開発できるようになっている。AI や深層学習といった新しい解析技術の多くは Python を言語としている。環境のみならず水理計算と深層学習を組み合わせた新しい河川評価技術のプラットフォームとして幅広い活用が期待される。

5.2.3 3次元データ活用に向けた開発

iRIC をプラットフォームとした 3次元川づくり技術の開発については、ほかにも取り組みがある。一つは、ALB による河床高・水深の面的観測情報から平面流速分布を推定する技術であり、水理計算を行わず観測値のみで環境評価に結び付けることができるようになる。また、ゲームエンジンと iRIC で地形データのやり取りを円滑に行うための I/O (入出力) の整備も実施済である。自然共生研究センター HP に解説動画(YouTube)へのリンク、iRIC HP (<https://i-ric.org/ja/>) にマニュアルを公開している。活用を期待したい。

5.3 人材育成／維持管理のできる人材を育てるための VR 活用

5.3.1 背景

河川の維持管理において、河川堤防の管理は最も重要な位置を占める。河川堤防は長大な土構造物であり、一部の材料の性質や変状が堤防全体の安全性に大きな影響を与えるという特徴を持つことや、堤防の状態は出水や地震等の作用により常に変化することから、巡視や点検によって変状を把握し、最適な対策を講じることが求められる。加えて、樋門、水門等の河川管理施設は高度経済成長期に建設されたものが多く経年劣化が進行しており、それら河川管理施設の維持管理・更新が課題となっている。平成 25 年には、河川法が一部改正され、河川管理施設等の維持・修繕に関する規定が創設されることになった。これにより、河川管理施設の点検要領や点検評価要領の策定、点検結果の公表等河川の維持管理に対する社会情勢が変化し、変状を発見・対応するための点検・評価技術向上のニーズが高まっている。一方で、熟練技術者の離職による技術力低下や技術系職員不足が大きな課題となっている。

そこで、経験の浅い技術者でも河川管理施設の状態を適切に把握・評価し、対応できる人材育成を目的とし、河川構造物点検実習設備として、実物大の堤防の研修施設（以下、研修堤防）及び VR 技術を活用した河川構造物研修コンテンツ（以下、研修用 VR コンテンツ）を構築した。

5.3.2 河川構造物点検実習施設の目的

従来の河川管理施設の点検技術に関する研修は実際の河川で実施してきたが、研修で使用することが望ましい堤防や樋門の変状は河川管理上早急に修繕されてしまう。また、テキスト等にあっても実際に目にする機会のない変状も多い。そこで九州技術事務所では、実際に「見る・触れる・感じる・考える」ことで点検の基礎技術を習得できるように、当事務所の敷地内に河川の堤防及び樋門等に発生する変状を人為的に再現した点検実習施設を作成した（図 5-3-1）。点検実習の目的は表 5-3-1 の 3 点である。



図 5-3-1 点検実習施設における被災箇所の計測 (a) および写真撮影 (b) (c) の実習例

表 5-3-1 河川構造物点検実習整備

目的	内容	研修堤防	VR
点検技能の向上	<ul style="list-style-type: none"> 変状の種類や状態把握、適切な評価の技術向上を図る。 再現した変状を通じて変状発生に至るメカニズムを研修する。 メカニズムを知ることによって発見した一つの変状から関連する変状を推定し、変状の見落としを防ぐ。 	○	○
計測方法	<ul style="list-style-type: none"> 変状の状況を記録するための方法を研修する。スタッフやポールの当て方、クラックスケールの使い方等を学ぶ。 	○	
計測の記録(撮影)方法	<ul style="list-style-type: none"> 変状の状態を他者に伝えるための撮影方法を学ぶ。 	○	

5. 多様な河川 CIM の活用

5.3.3 堤防実モデルと VR 技術を活用した研修施設の設備

当事務所では河川構造物点検実習設備として、研修堤防と研修用 VR コンテンツを用意している。これらの施設を活用することで、点検の着目点や計測・撮影方法、変状に至る要因などの河川管理施設を適切に維持管理するうえで必要な技能・知識を効率的・効果的に習得することが可能となる。

この研修堤防は、実際に変状の計測方法や撮影方法、安全教育を体験しながら実施できる利点があるが、変状の再現や維持が難しい（図 5-3-2）。そこで、変状のバリエーションについては、研修堤防に加えて研修用 VR コンテンツを補完的に活用することで、維持管理面や研修の目的を達成できるように取り組んでいる（図 5-3-3）。

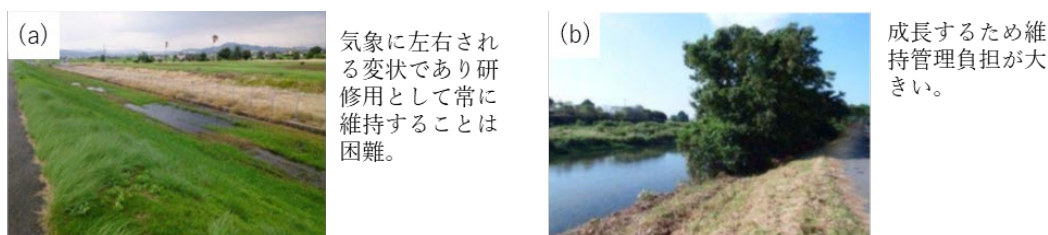


図 5-3-2 実際には再現困難な変状例 (a) 排水不良、(b) 樹木の侵入

	実際に整備する研修施設	研修用VRコンテンツ
概要図		
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 計測、撮影、記録作業といった内容を研修可能。 打診等の触覚による点検技術の向上が可能。 講師の負担が小さい。(VR)のような新技術の知識や使用法の事前学習が不要) 	<ul style="list-style-type: none"> 実際に再現困難な変状(例:排水不良等)が再現可能。 不可視部分を可視化できる。 変状の追加・修正が容易。 変状に至る過程やその後どのような重大事象に至るかを学習可能。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 実際に再現が難しい変状あり。 変状の追加・修正の労力が大きい。 堤防内部やコンクリート内部等不可視部分あり。 変状に至る過程やその後の事象をイメージしづらい。 	<ul style="list-style-type: none"> 計測、撮影、記録作業といった内容を研修可能。 人によっては酔いやすい。 VRの場合、機器(高性能PC、HMD)を準備する必要がある。 微細な亀裂や微妙な高さ変化などは判断しづらい。

実際の施設とVRやARそれぞれのメリットを生かした効率的、効果的な研修の実現

図 5-3-3 実物大の研修堤防と研修用 VR コンテンツの特徴比較

5.3.4 VR を活用した維持管理人材の育成

整備を行った河川構造物点検実習設備は、令和 2 年度の河川保全技術研修にて試験的に運用し、令和 3 年度の研修より本格的に運用を開始する予定である。河川構造物点検実習設備の活用方針として、現在は国土交通省職員（自治体職員含む）向けの点検技術の向上や安全講習、計測及び記録方法を想定している。河川構造物点検実習設備の研修用 VR コンテンツとしては、点検シミュレーター、破堤体験、変異発生機構学習の 3 つを整備している。以下、それぞれ説明する。

点検シミュレーターコンテンツ（図 5-3-4）は、土堤防や河口付近の特殊堤や矢板、樋門樋管などを題材に各種変状を再現している。特に、研修堤防では再現困難な変状や、実際の現場ではすぐに修復さ

5.3 人材育成／維持管理のできる人材を育てるための VR 活用

れる変状を VR では再現している。これらの変状に対して河川構造物点検の点検行動をシミュレーションし、変状と原因との関連性を学びながら点検技能の向上を図るものである。

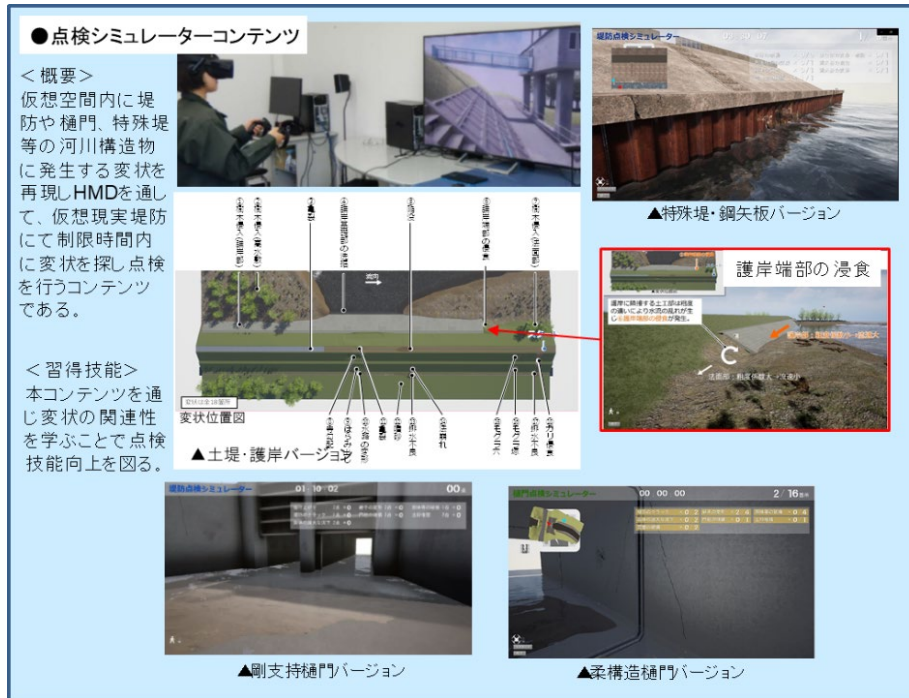


図 5-3-4 点検シミュレーターコンテンツ

破堤体験コンテンツ(図 5-3-5)は、越流破堤の越流開始から破堤に至る過程を仮想空間内に再現し、疑似体験するものである。点検技能の向上だけではなく、堤防の沈下や堤防内の構造等の越流破堤の要因がもたらす結果を学ぶことで、普段の点検や評価において、変状の重要度判断と対策を想定する技能を習得する。

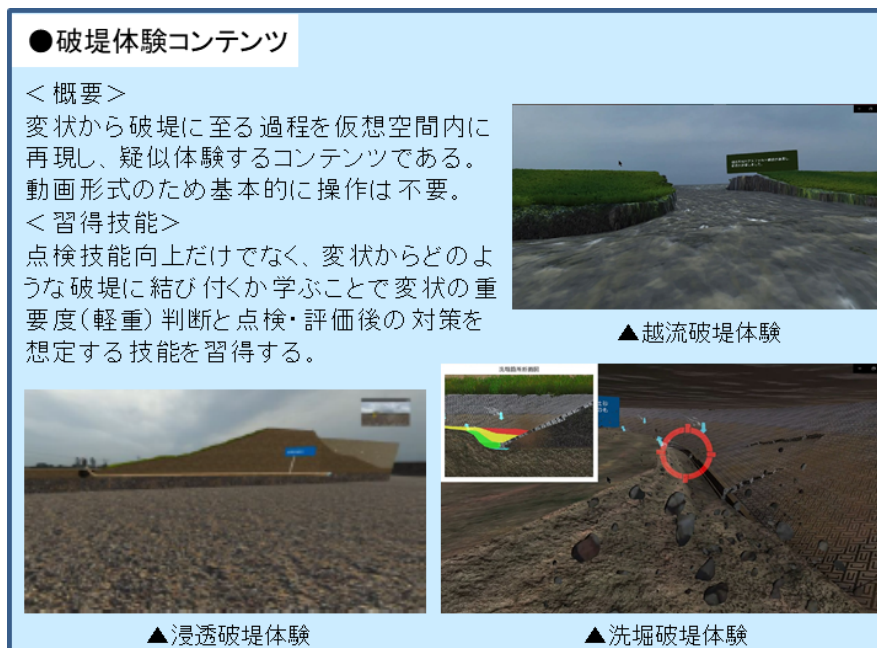


図 5-3-5 破堤体験コンテンツ

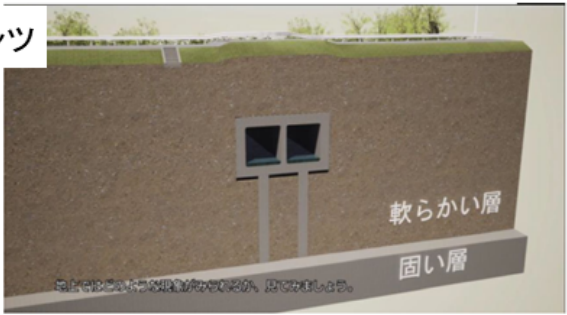
5. 多様な河川 CIM の活用

変状発生機構学習コンテンツ（図 5-3-6）は、剛支持や柔構造の樋門樋管に発生している変状について、要因となる地盤と、表面に現れる変状の関係性を解説するものである。変状に至る過程やその過程の中で関連して発生する変状を学習することで、変状要因を想定する技能を習得する。

●変状発生機構学習コンテンツ

<概要>
健全な状態から変状がどのように発生し、進行していく過程を学習するためのコンテンツである。

<習得技能>
変状に至る過程やその過程の中で関連して発生する変状を学習することで変状要因を想定する技能を習得する。



▲剛支持樋門における変状発生機構学習コンテンツ

全構造樋門における変状パターン1

健全な状態

樋門が堤防と一体になって挙動

車両の往来や地震などの外力で樋管以外が沈下

▲柔構造樋門における変状発生機構学習コンテンツ

健全な状態

杭はあるが支持層に達していないので結果的に全構造になり過大な沈下が変状を引き起こす。

図 5-3-6 変状発生機構学習コンテンツ

5.4 環境管理／定量化の可能性

ここでは河川 CIM 技術を活用した定量的な環境管理の可能性について考えてみたい。ドローンやグリーンレーザ (ALB) などの登場によって、河川地形が精緻に取得できるようになったことが環境管理の観点からは大きい。河川において生物生息環境を捉える段階として①～③の段階がある。すなわち、①生物が生息・生育する場 (ハビタット) の条件の測定する、②生物の在不在や密度の分布を採捕や観測によって捉える、③ハビタットの条件と生物の存在の関係性をモデル化する。測量技術の向上によって①の精度が上がり、②についても環境 DNA を代表とする新技術で効率的かつ安価に調査可能となって来ている。③についても、AI や深層学習といった汎用的かつロバストなモデリング手法が登場してきている。このようなことから、以前は困難であった定量的な環境管理が実務的に十分活用できるレベルになっており、河川 CIM はそれを支えることになるだろう。

水生生物のハビタットとしては、水深、流速、河床材料などが基本的な環境条件となる。グリーンレーザ等により河床高が面的に把握できると iRIC 等を活用することで面的に流速を得ることができる。水深と流速で瀬や淵の条件を定義すると 5.2.2 の図 5-2-1 のように、その分類が広域に可能である。河床材料についてもまだ課題が多いものの面的な把握に向けた研究開発が進んでいる (図 5-4-1)。地形が面的に得られることは、付随して様々な物理量の直接的・間接的手法を含めて広域的な取得に大きく貢献する。

直轄河川では河川水辺の国勢調査により生物相を明らかにしているが、それ以外の河川では生物情報は限られている。最近では、環境 DNA による生物調査も実用段階に入っており、さらなる調査費用の低下も期待されている。安価な新技術を活用した詳細かつ広域の生物相の把握ができると、それを利用してモデルが作成できる。

地形モデルにより直接的あるいは水理解析などにより間接的に把握された生息地と生物情報を結び付けて生息適地モデルを作成し、生息ポテンシャルを推定することができる。これはハビタットなどの物理データと生物情報を統計的に結び付ける方法で、生物調査されていない地点における生物の存在確率を明らかにすることが出来る。

水辺の利活用を促す水辺空間デザインにおいても定量的な関係が明らかになってきており、物理環境と結び付けて設計することができるようになってきた。

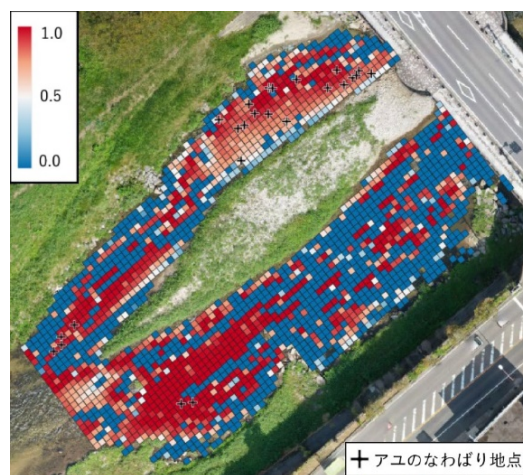


図 5-4-1 水理量と UAV で取得した河床条件からアユの生息ポテンシャルを推定した例

5. 多様な河川 CIM の活用

5.5 まちづくり／かわまちづくりへの CIM の活用

5.5.1 事例の概要

平成 24 年 7 月 3 日と 14 日に九州北部において連続発生した集中豪雨で、大分県中津市では山国川の氾濫により甚大な被害を受けた。山国川は古くからの石橋が有名で観光資源にもなっているが、今回その石橋が災害を助長したとして、被害の大きかった馬溪橋周辺の住民からは石橋撤去の要望があがり、国土交通省は新橋への架替えの見解を示した。一方、馬溪橋は国指定名勝耶馬溪の重要な構成要素であるため、文化庁では馬溪橋修理のための調査・測量が実施された。中津市は総合判断の結果、「馬溪橋を存置した上で河川改修工事をおこなう」方針を示した。これを受けて、国土交通省では「山国川床上浸水対策特別緊急事業」の中で、対象地全体の景観検討を行うこととし、著者（小林）が委員長を務める「景観委員会」が発足した。さらに著者は、中津市の「馬溪橋周辺整備活用マスタープラン」作成にも関係し、国と市の個別の事業での情報共有の観点から、CIM によるモデル空間の作成をおこなった。

図 5-5-1 の調査段階で、馬溪橋周辺（平田地区）景観マスタープラン作成に CIM モデルを活用した。設計段階では、馬溪橋周辺の堤防の景観設計に活用した。さらに「その後」（第三段階）として、市の「防災・まちづくり」への活用を提言したが、実施できなかった。本事例の課題は、今後の「かわまちづくり」への CIM の活用を想定し、表 5-5-1 のように異なる発注者間での、モデル空間の連続活用の可能性を追究することである。

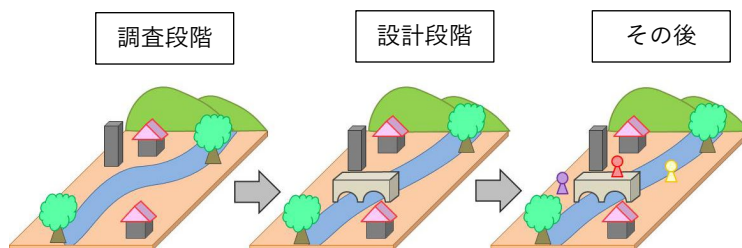


図 5-5-1 モデル空間の連続活用

5.5.2 モデル空間の連続活用

モデル空間作成には、Autodesk 社の Infracore360 を用いた。図 5-5-2、図 5-5-3 のように、橋を含めて複数の文化財がある地区での景観計画である。中津市教育委員会主催の馬溪橋周辺整備に関する委員会参加者（一般市民を含む）に対し、立体的な空間把握のための情報提供を心掛けた。

表 5-5-1 事業概要

	調査段階	設計段階	その後
目的	景観計画 (特異点探索による 景観特性の把握)	堤防設計および 周辺の景観検討	防災・まちづくり
発注者	市・教育委員会	国	市
CIM 担当	熊本大学 小林研	熊本大学 小林研	熊本大学 小林研



図 5-5-2 モデル空間（平面図）



図 5-5-3 モデル空間（鳥瞰図）

1) 眺望点の探索

調査段階でのモデル空間内には、広範囲の地形および馬溪橋や周辺住宅等の簡易モデルを配置した。従来の地図による現地確認（図 5-5-4、ペーパーロケーション）に替えて、図 5-5-5 のデジタルロケーションにより、対象地域の文化財の位置関係の把握、眺望点探索および観光客のための動線確認をおこなった。

図 5-5-6 に優れた眺望点から見た現地写真とモデル空間の立面図を併記した。A 地点は、現況では近づくことのできない視点である。モデル空間上での確認により、整備後には馬溪橋および遠景を見渡す良好な視点場ができることが発見された。さらに B 地点では、現地とほぼ同等の状況をモデル空間上で再現できていることがわかる。C 地点は、現地写真では木々により視界が遮られており、対岸が見渡せない。しかし、木々を切ることで眺望が開けることが、モデル空間上で確認できる。

以上より、視点は A（立ち入れない視点）、B（実際の通り見える視点）、C（整備することで見える視点）の 3 つに整理できる。特に視点 A や C は、現地調査では見えてこないし、図 5-5-4 のような、地図のみの読み解きでは、人目線での空間の把握はできない。「見えないものが見える」ことによる情報共有という CIM の利点を確認できた。

さらに、このような手法を用いることで、①景観調査において現地で、必ず行くべき場所（文化財の周辺、眺望点など）が特定できる、②行く必要のない場所が確認できる、の 2 点が重要であることがわかった。特に②により、現地調査の時間を大幅に短縮できる。実際に日程の関係で、現地調査は真夏（7月上旬）の炎天下に実施したが、短時間で的確に、調査地点を回ることができた。

デジタルロケーションは、道路設計の初期段階での線形検討や発災後の現地調査に向けた準備など様々な場面で活用できるが、特に景観検討では、人目線による立面の景の予測が可能となることである。

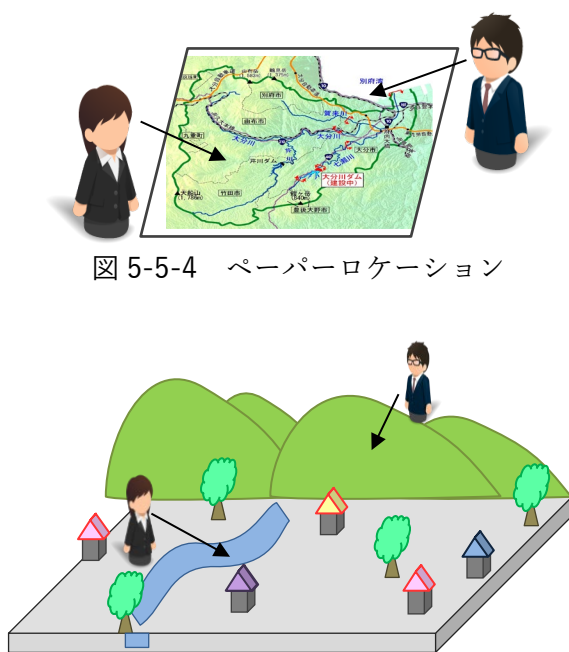


図 5-5-4 ペーパーロケーション

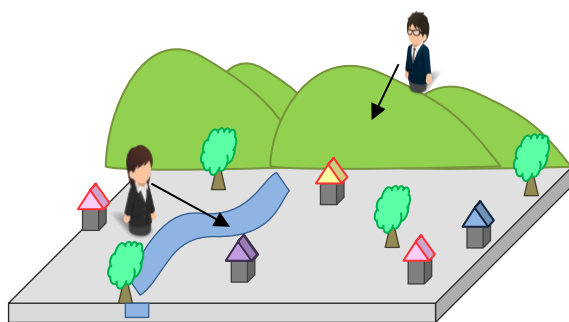


図 5-5-5 デジタルロケーション



図 5-5-6 CIM モデルと現場写真による眺望点の比較

5. 多様な河川 CIM の活用

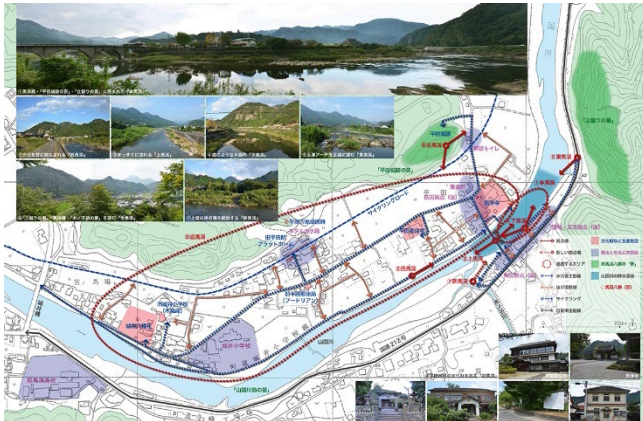


図 5-5-7 景観マスタープラン

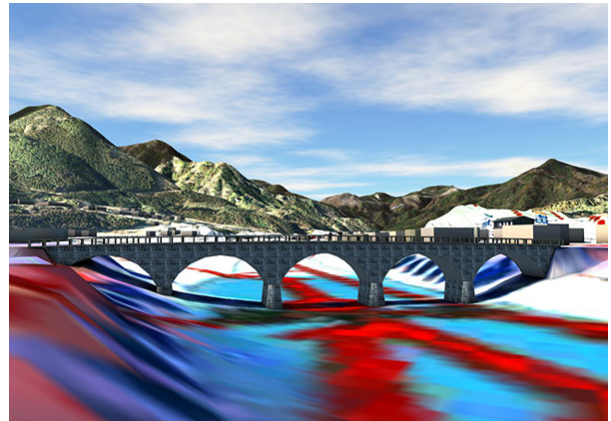


図 5-5-8 上流からの眺め (モデル空間)



図 5-5-9 モデル空間へのマスタープラン図の貼り付け

2) 景観マスタープランの作成

図 5-5-7 は、中津市の報告書に掲載されたマスタープラン図である。専門家でない委員全員がこの図を見ても、例えば図 5-5-8 のような、橋の上流からの眺めを立面としてイメージすることは難しい。しかし、図 5-5-9 のように、モデル空間にマスタープラン図を貼り付けただけで、イメージは共有される。

3) 堤防設計

続いて設計段階では、調査段階で用いたモデル空間を活用し、堤防に関する景観デザイン案を議論した。特に馬溪橋下流は、景観デザイン上重要な空間となる。特に左岸は寺院もあり、歴史的な景観の保存が望まれる。右岸は民家の立ち退き後に、新たな施設を配置するか否かが課題であった。

本事業では、著者自身が調査段階からモデルの作成をおこなっており、続けて設計段階にも携わったため、段階間でのモデルの活用が可能であった。調査段階のモデル空間上に、堤防モデルを配置した結果、図 5-5-10 のように、河川景観の代表的な景である、図 5-5-10(a)の流軸景だけでなく、図 5-5-10(b)に示す俯瞰景、図 5-5-10(c)の対岸景などが、より具体的に確認できた。

検討結果は、①流軸景の検討から、護岸の石積みは、上流左岸もおこなうこと、②今後整備が進み、展望所の開設も想定される平田城からの俯瞰景より、馬溪橋との景観的な統一に配慮し、橋の下流右岸も石積みにすべきこと、③対岸景の検討より、西浄寺のパラペットと笠石は、コンクリートの輝度を下げ、石積との調和を図るなど、丁寧に仕上げること、④民家移転後の右岸の残地は、駐車場だけでなく、防災ステーション等の設置場所も計画すべきこと、などが確認された。

さらに、堤防天端上からの人目線での確認で、堤防整備により発生する空間および階段の配置位置を検討した。このように動線の確認や地域に調和した空間づくりのために、モデル空間の活用は極めて有効であった（図 5-5-11、図 5-5-12 は完成後の景観）。

5.5.3 あとがき

本事業では、堤防設計完了後、モデル空間を連続利用し、中津市の「防災・まちづくり(平田地区)」の検討を予定していた。まちづくりでは、川だけでなく、地域全体に着眼する必要がある。しかし、事業主体が国から市に移ったことで、モデル空間の活用ができなかった。

モデル空間の連続利用は、事業の初期段階から活用を目指す（フロントローディング）という観点からも、より広域で川を眺めるといふ観点からも重要な課題である。とくに後者は、3 次元的な考察が重要となるが、今後各地での「かわまちづくり」や防災マップ活用による地域づくりへの適用が重要であると考えられる。



(a) 上流からの流軸景



(b) 平田城からの俯瞰景



(c) 上流右岸からの対岸景

図 5-5-10 堤防設計のための景観検討



図 5-5-11 下流左岸西浄寺の石積と馬溪橋



図 5-5-12 西浄寺のパラペットと笠石

6. 展望

6. 展望

本報告のまとめや感想も含めて、委員長として私見を述べたい。

6.1 モデルの可能性

筆者(小林)は河川の景観デザインの実務に参加させてもらっている。特に九州の激特事業関連では、時間が限られた中で、より広く、より深い議論が行われている。景観検討に際しては、さまざまなモデルを活用している。いわゆる、模型(物理モデル)が一般的であるが、デジタルモデルも徐々に活用が始まっている。20年ほど前に、モデル空間の活用を始めた筆者が、一番感動したのは、対岸の山並みが見えたとときである。今回さらに、川の中の地形が見えるようになった。近景も遠景もデジタルモデルでしか表現できない。また、FEM(有限要素法)というのも、応力や変位を推定するための数値モデルである。デジタルモデルの利点の一つは、異なるデジタル情報を並列に記述できる点にある。たとえば、橋脚という形状モデルに数値解析結果の応力分布を表示することができる。

以下の3事業は、著者が関係した河川の景観デザインのうち、高い評価を受けたものである。

①曾木の滝分水路(2012年度・グッドデザイン賞・サステナブルデザイン賞)

(CIM活用の詳細は、『CIMを学ぶ～河川激特事業におけるCIMの活用記録より～』、pp.13-47)

②白川河川激甚災害対策特別緊急事業【龍神橋～小碓橋間】(2020年度・グッドデザイン賞)

(『CIMを学ぶ～河川激特事業におけるCIMの活用記録より～』、pp.48-65)

③山国川床上浸水対策特別緊急事業(2020年度・土木学会デザイン賞・最優秀賞)

(『CIMを学ぶⅢ』、pp.30-38、本報告書5.5の概要掲載)

実はこの3事例のいずれでも、デジタルモデルが活躍した。詳細は上記の文献を参照していただきたい。①では、分水路の掘削形状を道路設計の切土機能で作った。萌芽的段階ではあったが、3次元地形の概略設計を実現できた。平面線形の異なる3案の形状を検討し、それぞれの土工量の概数を出すこともできた。ただし、詳細設計は、現行の横断面ごとの2次元設計を行っている。また3次元データを用いて、情報化施工の試行を進言したが、時期尚早で実現しなかった。

②では、構造物(堤防、樋門建屋の屋根)の形状検討やCCTVの配置位置の検討等に利用した。③では、今後の「かわまちづくり」に利用可能な川を含む街区のモデルが利用され、石積の護岸のデザイン検討にも活用された。また、山国川の13か所の事業のうち2か所では、斬新な試みも行われた。地形設計用の物理模型を作成し、検討結果を3Dレーザースキャナーで計測し、その点群データを実物大に変換後、ICT建機に入力し施工を行った。これもまたデジタルモデル活用の事例である。

さて、これらの事例を通して、デジタルモデルの特長が明らかになってきた。広域の点群データからは、広域(たとえば、50km四方)の空間モデルを作ることができる。これにより、本書でも一部論じられたように、「まちづくり」への活用や三次元管内図への活用の道が開ける。一方、配筋の干渉チェックといった構造レベルの細かなモデルとしても利用可能である。さらに、次節でも述べるボーリングデータの表示等は、実際には見えないものが可視化されることで、地中の状態の把握・情報共有は大きく前進するであろう。今後もモデル活用の可能性はさらに広がっていくものと考えている。

6.2 地形

本小委員会の河川 CIM 関連では、河道の地形モデルが検討対象であった。ただし、広域モデルとしては、三次元管内図がカバーするモデル空間がある。小範囲のモデルとしては、瀬、淵や河道内の橋脚周りの洗掘状況の地形モデルもある。

地形モデルに関して、最も重要なのは、河床の認識が一変したことにある。今まで、河道は縦断線と等間隔（200m）の横断線からなる折れ線の骨組みでしかなかった。ところが、ALB やマルチビームによる点群データから、河道の3次元形状をそのまま見ることができる。瀬も淵も初めてその姿を目の当たりにした。縦断でも、横断でも、斜めでも、自分の欲しい断面が見える。

これは画期的なことである。これらの情報に環境的な知見を付加すれば、5.4 のような環境の検討も可能となる。水際の水制やカヌーの発着場の検討でも河床の形状が判っているというのは素晴らしいことである。さらに、河床の下に広がる情報がわずかでも加われば、我々の判断の可能性は広がる。例えば、ボーリングデータ等の土質情報を付加すれば、低水護岸の新設時の根入れの判断がより正確でより素早くなるであろう。また、既設の低水護岸の根入れ線を推定でも入れておけば（将来的には、新規施工分の情報を追加すればよい）、河床低下時の維持管理の判断は楽になるだろう。さらに、第3章で示したように、施工後の出来型の河床情報が保存されれば、災害直後や経年的な土砂の堆積地形との差分を取ることで、容易に堆積土砂量の推定ができるし、土砂撤去の工法や施工計画等も容易に策定できるだろう。今後は、河床という「日々変化する地形モデル」を定期計測し、何世代かにわたって保存・活用することが、河道管理の基本情報になるであろう。

6.3 河川管理

本報告は、主として河道管理での点群データの運用について論じた。その成果は、3.2 で詳述されている。モデルの作成法を論じることよりも建設の4段階を見据えたデータ運用に力点が置かれている。これは、本小委員会の成果であり、提案でもある。これをもとに点群データの運用に基づいたフォーマットが定められれば幸いである。

今後の課題を2点述べる。第1の課題は、「統合モデルの運用」である。本報告では図6-3-1に示す河道の地形編集に焦点を当てたデータ運用の流れを検討した。「河川 CIM」の一般化を考えると、堤防や樋門・樋管等の河川工作物は、別途の3次元設計が進展すると予想される。その上で、地形と構造物を含めた統合モデルを用いた河川管理の考え方を明確にする必要がある。これについては、維持管理段階から調査段階に関する4.5の九州地方整備局の取り組みが参考になるであろう。

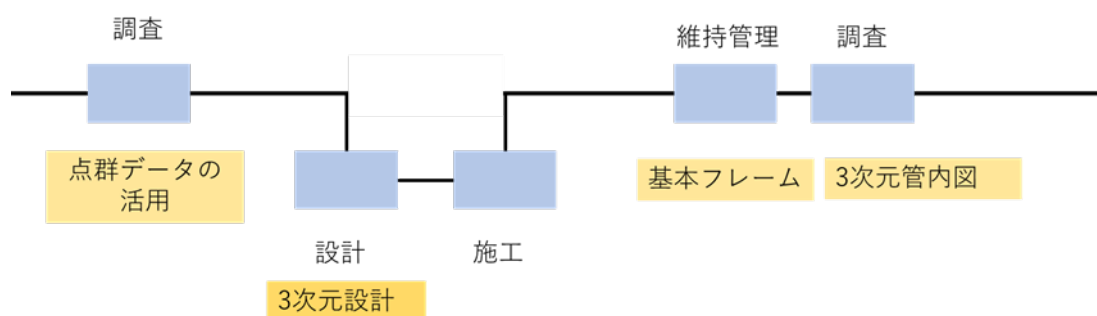


図 6-3-1 建設 4 段階と河川 CIM の活用（再掲）

6. 展望

第2の課題は、4.3「福井におけるCADを使った河川管理」で示された図6-3-2のような、より詳細な河川管理の項目だと各項目でのデジタルデータの活用法の検討である。8項目を列挙すると、調査、計画、設計、積算、施工、維持管理、環境、防災である。計画段階から設計段階への移行で、CIMの活用法はどのように変化するかについては今後の各現場での活用事例を通して、定型的なモデルが定まって来るであろう。具体的なイメージとしては、4.5の「三次元管内図」から始まり、5.5のような周辺の空間モデルを活用し、技術者や学術の専門家との意見交換や住民との合意形成が図られ、設計段階では、実際の設計対象となる構造物の設計や河床地形の編集（設計）が進んでゆくと考えられる。また、維持管理段階で蓄積されたデータは、当然のこととして環境（たとえば5.4）や防災（たとえば5.1や5.2）に利用可能である。ただし、今後のデジタルデータ活用の様々な機器（AR技術や360°カメラなど）やアイデア（人工知能など）の発展は、我々の想像を超えて進化し続けている。ここでは、デジタルデータ活用による河川管理の大いなる進展を期待したい。

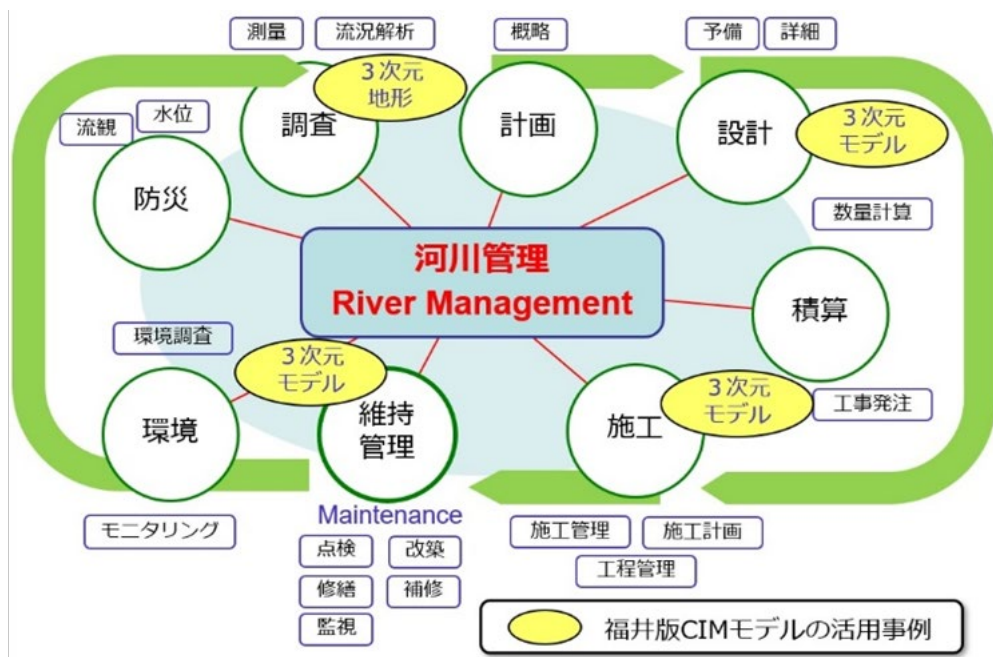


図 6-3-2 福井版 CIM モデルの概念 (再掲)

6.4 設計

本小委員会の最大の成果は、第3章と第4章である。第3章では、地形編集の3つの手法（断面・格子ベース編集、CADベース編集、ラスターベース編集）を整理した。さらに、第4章では、それぞれを代表するツールで、同一のデータ（日野川の湿地再生）での、設計可能性の数値実験を行った。地形に関しては、3次元設計は可能であるという結論にいたった。

さらに、著者が指摘したいのは3.4で示された図6-4-1である。これはあくまで提案である。しかし、これほど明快に設計行為を示した図はほかにないだろう。この図は地形編集に留まるものではない。たとえば、「地形編集」の部分「歯車形状」と置き換え、右の下の定性的評価を削除すると、機械設計におけるCAD・CAM (Computer Aided Manufacturing) に相当する。設計条件や目的関数を設定すれば、自動的に設計が行われ、製作に渡され、機械的に大量生産が行われる。

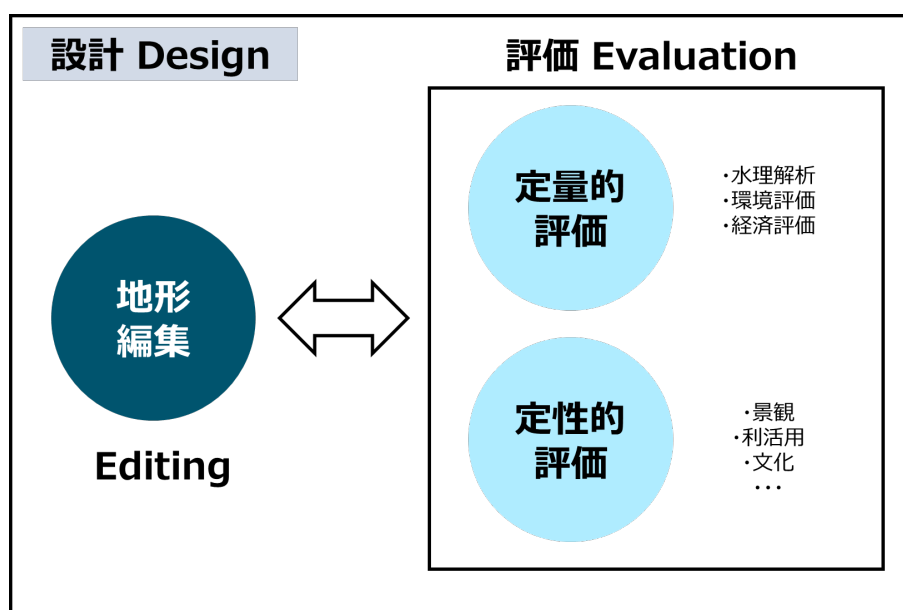


図6-4-1 設計における「編集」と「評価」(再掲)

一般の土木設計もこの図でカバーできるが、この図で特に着目していただきたいのは、次の2点である。①定性的な議論の充実と、②定量化の可能性拡大のための研究の深化である。①に関しては、2つの側面があると考えている。CIMを活用することで、ようやく「良い設計」に関する議論が始まるといってもよい。地形編集と定量的評価をより速く、より細かく繰り返すことで、設計において最も重要な「より深い」意見交換が可能にある。その時の議論の中心は、各自の考える「良い設計」の見直しになるはずだ。第2の側面は、河道設計特有のものである。設計対象である河道は常に動いている。このため設計とは、「現時点での決定事項」であり、極言すれば、施工直後から形状は変化し、いわゆる「川が川を造っていく」ことになる。ただし、定期的に河床の現況地形が入手されることで、モデルの地形は変更され、維持管理から計画段階の過程でより適切なタイミングで、より正確な判断が行えるだろう。江戸期の川は「みためし」という実に立派な設計・施工の考えがあったが、デジタルデータの活用によって、モデル空間内では、まさに「現代のみためし」が行われるだろう。

6. 展望

②に関しても、2つの期待を述べたい。はじめは、定量的評価の部分である、3次元設計の可能性が現実のものとなる以上、水理解析もまた、現状の枠組みに加え、3次元地形を生かした平面2次元解析も積極的に取り入れるべきである。CIMは単に3次元CAD活用なのではなく、我々の川との付き合い方に根本的な変更をもたらすものであると考えている。河川関連の研究者や技術者の研究の深化に大いに期待したい。2つ目はさらに夢のようなことではあるが、他分野の研究者や技術者（あるいはデザイナー）との交流による、定性的な評価における定量化の促進である。DXの本来の趣旨は、業務を「より速く、より安く」といった量的変革ではなく、その先にある質的改革である。将来の具体的な成果は予測できないが、自動車の歴史を振り返ると、はじめは馬車の代替品として「より速く、より強い」移動手段であったものが、車社会という、当時では想像できなかった変化を暮らしの隅々まで及ぼした。河川管理へのデジタルデータの導入もまた、遠い将来は見通せないとしても、まずは、設計のスタイルを変えるものになってほしいものである。

6.5 人材育成

これも2通りのことがある。①CIMデータのマネジメントができる人材（筆者はこれを「CIMコーディネーター」と呼んでいる）の育成と、②CIMを活用した河川技術者の育成である。

前者に関しては、研修等でも大きな誤解があるように思っている。CIMのモデルを作る人はモデラーである。CADに習熟している必要がある。技術者でかつモデラーであることは理想である。しかし本当に必要なのは、コーディネーターである。実際のモデル空間作成の取りまとめをし、データの運用を行う人材である。このためには、実務が判りCIMのことも理解している必要がある。若者はモデラーになれても、現場経験が少ない。年配の技術者でCIMや3次元CADを使える人はほほいさない。ではどうすべきか。私は中堅技術者の中から、PCやCADに拒否反応のない人をコーディネーターとして育成するのが先決であると考えている。

2023年にはCIM活用業務の原則義務化が予定されている。これをトラブルなく推進するためには、必要な人材である。コンサルタント技術者の中にも、建設の実務者の中にもコーディネーターに相当する人材が育成されていくはずなので、CIMに関連した受発注業務の中で対等に意見交換ができる人材の育成は急務である。具体的には、コンサルタントによって3次元設計が行われるとして、設計の協議の場で、発注者はどのような3次元データを必要としているのか（精度、データの範囲、設計結果の納品時のデータ形式等）を提案、議論できる能力が重要である。同じように設計完了後、施工にデータを渡すときも同じような課題がある。例えば、データと実際の地形がずれていたらどう対応すべきだろうか。このような課題に対し、コーディネーターは迅速に対応し、速やかな工事着手に貢献するに違いない。中堅技術者なら、数回の業務経験で、コーディネーターになれると思っている。ぜひともこのような人材育成プログラムを作るべきである。

次に、後者である。たとえば5.3では、VRを用い現場での堤防の維持管理業務の訓練を紹介した。この方面は、新しいソフトウェアの開発や装置の登場で、我々の想像を超えた多様な展開が期待できる。

これほど手が込んでいなくても、例えば、第4章の河床モデルのデータがストックされ、容易に閲覧可能であれば、当時の担当者が、モデルを動かしながら設計の経過を語るだけでも、新人には参考になるであろう。瀬や淵の意味や、より良い地形の改変法を、3次元モデルを前にして説明するだけで、人材育成になる。現地に行くことだけが、実践教育ではない。モデル空間で、学べることは極めて多様で豊かである。さて、このために必要なことを指摘したい。CIMのデータは再利用を前提に保存するこ

と。使い勝手の良い3次元CADソフトと技術者向けの高性能PCを用意することである。

最後に感想を一言。DXによって、現場に行かずにできることは増えていくであろうし、従来の作業は減っていくはずである。では我々は、余った時間で何をすればいいのか。「河川管理の質の向上」とは何であろうか。「深く考える時間」が増えることを期待したい。そして、より多くの時間を、現場を眺めに行くことに使いたいものである。

謝辞

謝辞

本報告書の取りまとめに際し、3 研究グループ（福井 G、土研 G、九州 G）参加者の熱心な討議に謝辞を表します。本小委員会に参加された委員およびオブザーバー各位にもお礼を申し上げます。また、清水康行教授（北海道大学）、iRIC UC、吉村伸一氏（(株)吉村伸一流域計画室）、岐阜県、愛知県から有益な助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

用語集

*は必ずしも一般的に意味づけされている用語ではなく、本報告に限っての意味であることを示す。

用語	意味	章
河川管理*	包括的な河川全体のマネジメントのこと。	全
河道管理*	「河川管理」のうち河道に係る部分のこと。	3,4
4段階*	調査、設計、施工、維持管理 の各段階の総称。	1,2,3,4,6
調査（段階）*	地形測量などの設計および維持管理に必要な情報や前提条件を得る行為・段階。	全
設計（段階）*	現況の地形形状（前提条件）のもとにある目的にかなう地形モデルを構築し出力する段階。	全
施工（段階）*	設計段階から得た地形モデルを入力とし、それをもとに実際の構造物や地形を形成する段階。	全
維持管理（段階）*	施工後の性能を維持する段階。	全
（地形の）編集*	地形モデルの形状を変更すること。	3
（地形の）評価*	地形モデルの妥当性を定量的、定性的観点で優劣をつけること。	3
BIM/CIM	Building/Construction Information Modeling/Management。土木工事における計画、調査、設計段階において、3次元モデルを導入することにより、その後の施工、維持管理の各段階においても3次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化を図ること。	全
CIMモデル	3次元モデルを単体ではなく、複数モデルを連関させられる状態にあり、施工現場全体を網羅的にマネジメントできる状態の3次元モデルやその総称。	2,4,5
i-Construction	調査・測量から設計・施工・維持管理までのあらゆるプロセスでICT等を活用、すなわちBIM/CIMの推進により、建設現場の生産性向上を図ることを目的とした、国土交通省の取り組み。	1,4
ICT 建設機械（建機）	MC/MG (Machine Control system/Machine Guidance system)を搭載した建設機械。建設機械に3次元設計データを取り込み、排土板の機械操作ガイド（MG）、機械自動制御（MC）を行う。	2,3,4,6
プラットフォーム	サービスやシステム、ソフトウェアを提供・カスタマイズ・運営するために必要な「共通の土台（基盤）となる標準環境」	4,5
LiDAR	Light Detection and Ranging。光による検知と測距。国内ではLP（Lazar Profiler）とも呼ぶことも多い。	3,4
ALB	Airborne LiDAR Bathymetry。航空レーザ測深。地表面高のみならず、水底面を測定する。グリーンレーザを利用することから一般的には「グリーンレーザ」と呼ばれることも多い。	全

用語集

3次元モデル	形状を(x,y,z)の座標値で表現したモデル。地形については、点群を除いてほとんどのモデル化手法で平面座標(x,y)に対し1つのzしか持たないが、便宜的に3次元モデルと呼んでいることがある。	2,3,4,6
平面2次元モデル ／計算	平面座標(x,y)に対し、属性を結びつけるモデル化。呼称は2次元だが、高さzが属性として扱われることで地表面を表現する3次元モデルとなる。	3
(モデル) データ フォーマット	モデルの呈する構造とその記述方法。ここで構造とは、地形モデルを例にすると、点群・TIN・DEMなどに相当し、記述方法とはファイル拡張子に対応した、.TXT、.LandXML、.GeoTIFFのことである。データフォーマットを定めるとは、この両方を指定することを指す。	2,3,4,6
TIN	地形モデルの一種。Triangular Irregular Network（不規則三角形網）。不揃いな三角形群で地形の凹凸を表現するモデル化手法のこと。対応するデータフォーマットは、LandXMLのほかSTLなど多数。	3
DEM	地形モデルの一種。Digital Elevation Model。ラスタ形式によって地形の表面高をモデル化する手法のこと。対応するデータフォーマットは、GeoTIFFが一般的で、ゲームエンジンの場合には通常画像に用いられるpngが使われることもある。	3,4
LandXML	LandXML1.2に準拠して日本が規格化したJ-LandXMLのことであり、内包できる地形データは、線形（中心線と横断面）とTIN。	3,4
LOD	Level of Detail。詳細度。モデル対象の詳細をどの程度まで表現するかをの指標。	3,4
CAD	Computer-Aided Design。コンピュータ支援設計。コンピュータを用いて設計をすること、あるいはコンピュータによる設計支援ツールのこと（CADシステム）。	2,3,4,6
GIS	Geographic Information System。地理情報システム。地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータ（空間データ）を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術。QGISは無料で利用可能なGISソフトウェアである。	3,4
ゲームエンジン	ゲーム制作に必要な機能を提供するソフトウェアパッケージの総称。ゲームエンジンを使うことで、プログラミングに精通していないアーティストやプランナーでも、自身が制作したデータを自分の手で仮想空間上に組み込むことができるようになる。代表的なゲームエンジンには、Unity、Unreal Engineなどがある。また、独自のゲームエンジンを開発しているゲーム会社もある。	3,4,5
(3D) CG	(3 dimensional) Computer Graphics。コンピュータの演算によって3次元空間内の仮想的な立体物を2次元である平面上の情報に変	3,4

	換することで奥行き感（立体感）のある画像を作ること。	
VR	Virtual Reality の略で、人工現実感や仮想現実。「表面的には現実ではないが、本質的には現実」という意味が含まれ、VR によって実体験に近い体験が得られる。	3,4,5
レンダリング	データ記述言語やデータ構造で記述された抽象的で高次の情報から、コンピュータのプログラムを用いて画像・映像・音声などを生成すること。例えば、3次元オブジェクトと表面描写情報（後述マテリアル）から、画面上に表示されるCGを描画すること。	4
ワイヤフレーム	3次元形状のモデリングやレンダリングの手法のひとつで、立体を辺だけから成るような線の集合で表現するもの。	4
マテリアル	オブジェクト（形状、Unreal Engine ではアクタと呼ぶ）表面の質感を表現するために貼り付けるデータ素材のことで、表面のテクスチャ（画像）に、光の反射係数、凹凸を表現するハイトマップ、凸凹の向きを表現する法線マップなどが加わったもの。	4
テクスチャ	3次元CGにおいて、立体物の質感を表現するために使われる画像データのこと。	4
ハイトマップ	面的な標高をグリッドとして表現したラスタイメージ。地標高の表現のほか、壁や石積みといった凸凹した立面のテクスチャとしても用いられる。	4
法線マップ	単純なポリゴンで詳細な見た目の表現を得るために用いられる、より詳細なオブジェクトの法線ベクトル（面がどの方向を向いているか）をRGBに対応させたラスタイメージ。光の当たり方に影響を与え、描画された画像に影響を与える。	4