

10-1 Question

3次元データを活用した多自然川づくりの現状について教えてください。

■Question の意味と背景

国土交通省では令和5年度までに小規模を除く全ての公共工事において BIM/CIM 原則適用の方針が示され、建設現場の生産性向上や働き方改革の促進が求められている。河川の現場においても ICT 建設機械を活用した i-Construction による施工も普及してきた。河道地形の把握においても、グリーンレーザ（ALB）や UAV などによる航空測量を中心に河川において 3 次元データが急激に取得されるようになってきている。課題であった 3 次元設計についても検討が進み iRIC、三次元 CAD あるいはゲームエンジンを活用した手法が試みられている。河川管理についても 3 次元管内図を活用する動きとなっており、3 次元データの活用はますます大事になってきている。しかしながら、現場では、まだ試行段階のものが多く、必ずしも理解が進んでおらず、なじみの深いものとはなっていない。多様で複雑な河川環境の場（生息場）をそのまま捉えることのできる 3 次元データは多自然川づくりを高度化させるうえで重要な技術となりつつある。

■関連する Question

特になし

Answer

調査、設計、施工、維持管理あらゆる段階で3次元データが活用されています。3次元データの活用は正確な生息場の把握や環境の定量的評価につながり、多自然川づくり技術の向上が期待できます。

■ Answer の概要と基本的考え方

河川測量にグリーンレーザ（ALB）が一般的に使用されるようになり、3次元データを活用の基盤ができた。同時に ICT 建設機械の普及により、複雑な河道地形の整形も3次元データを建設機械に取り込むことで可能となってきた。測量から施工に至る途中の設計段階で、一度2次元図面に戻ることが課題であったが、3次元測量から直接3次元設計に進むプロセスについても様々な取り組みがなされており、急激に技術は進展しつつある。3次元データを活用することにより治水と環境を統合した定量的な評価、あるいはゲームエンジン等を用いた景観評価についても検討が進んでおり、これまでよりも高度で美しい川づくりが実現できる素地が出来てきた。河川のかたちをそのまま再現でき、精度よく定量的な評価を可能とする3次元データはより進んだ多自然川づくりを進める上で必須の技術となりつつある。3次元データを河川管理に応用する3次元管内図の開発も進んでおり、河川のデジタルツインを活用した治水と環境の両立した河道管理の時代を迎えようとしている。

■Answer の詳細

川づくりは一般的に調査、設計、施工、維持管理という4つの段階で進むここでは、これら4つの段階にそって現状を紹介する。

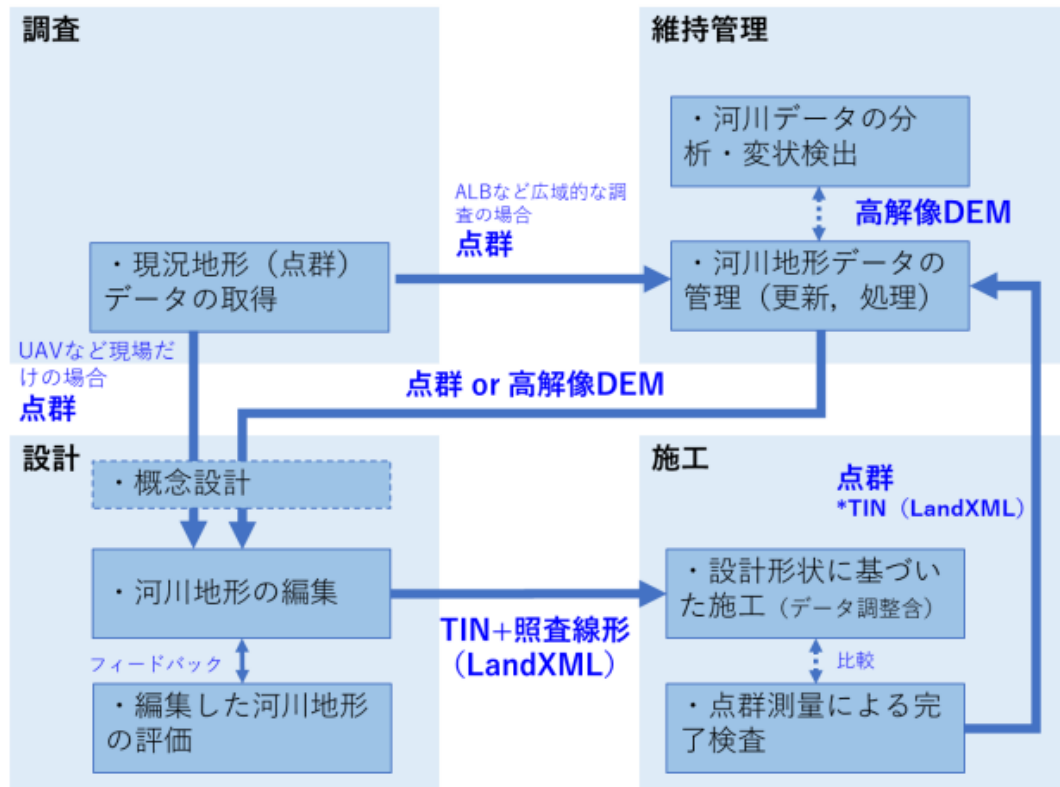


図 1 4つの段階と3次元地形データのフロー¹⁾
(河川 CIM 成果報告書：P17 図3－2－1より)

(1) 調査

現況地形の測量は、直轄河川においてはグリーンレーザ（ALB）による測量^{2), 3), 4)}が一般的となっており、透明度が高く全川にわたってグリーンレーザで測深できる場合はあまり問題がない。濁りや水深の問題などでグリーンレーザが使用できない、あるいは部分的にしか使用できない場合は、音響測深（ソナー）や実測による補足的な測量（補測）が必要であり、コストの上昇やデータの統合の最適化などの問題を検討する必要がある。

運用するデータとしては、目的によって異なってくるが、おおむね DEM（グリッドデータ）1m で整備すれば問題ないと言われており、本省のマニュアル(p. 3-17)5) も 1m を標準としている。活用するデータとしては XYZ の点群データが中心となる。DEM の元となるグラウンドデータやオリジナルデータでは RGB（色の情報）や反射強度を記録することも可能な LAS 形式で保存しておく、応用的な活用ができる可能性がある。

(2) 設計

3 次元データを活用した設計は図に示すように地形編集と評価（定量・定性）に分かれる。ここでは地形編集、定量的評価（主として水理、環境）、定性的評価（主として景観評価）に分けて説明する。活用できるソフトウェア等はさまざまであるが、ここでは多自然川づくりに関連して整理されている事例として「河川 CIM 標準検討小委員会成果報告書」1)（河川 CIM 標準化検討小委員会）の例を用いて紹介する。

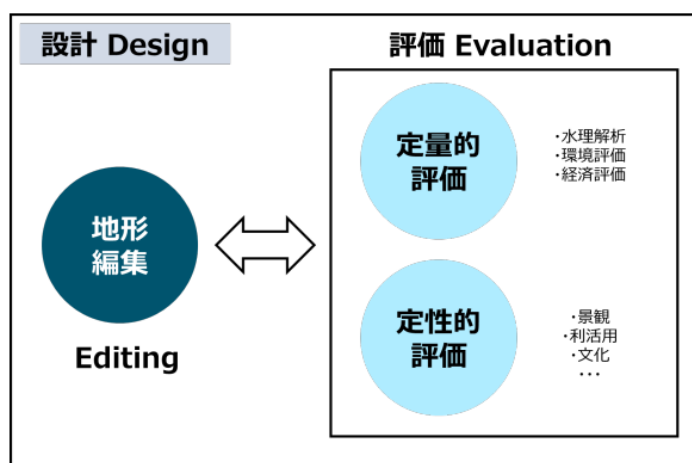


図2 設計における「編集」と「評価」¹⁾
(河川 CIM 成果報告書：P20 図3-4-1より)

1) 地形編集

3次元設計のうち地形編集の考え方としては大きく2つあり、ひとつは「従来の2次元設計の手法を活かし、結果として3次元設計となる手法」、もうひとつは「3次元のまま設計する手法」である。前者は、これまでの設計技術の経験が生かせる方法で、後者は新しいタイプの設計技術や経験が必要と考えられる。前者として iRIC (RiTER Xsec)⁶⁾、後者として3次元CADやゲームエンジンを用いた手法がある。ここでは一例として iRIC ソフトウェアをベースとした RiTER Xsec (土木研究所・自然共生研究センター開発) を紹介する。なお、RiTER Xsec の機能は iRIC 本体に実装されているので RiTER Xsec というソフトウェアは外向けには存在しない。

iRIC ソフトウェアは無料で高性能な水理計算プラットフォームとして広く活用されているが、基本的に現象再現のためのソフトウェアであり、実務的に河道設計に用いるためには、いくらか改良が必要であった。そこで、土木研究所は iRIC 研究会と連携し、本ソフトウェア上での地形編集機能 (RiTER Xsec) を開発し、より実践的に河道設計に活用できるように改良した。先ほどの「従来の2次元設計の手法を活かし、結果として3次元設計となる手法」をコンセプトに、横断形作成の操作性の改善、官民境界の旗揚げ、既存の図面の重ね合わせ機能、データコンバート機能、DEM から任意間隔で断面図を切り出す機能などの追加を行った。横断の改良が平面図に連動するため分かりやすく、これまでの図面による設計の感覚で川を設計することにより、結果として3次元設計を行うのが RiTER Xsec の特長である。

3次元CADは、土木分野において最も一般的に使われている3次元データ作成するソフトウェアであり、後段の施工との相性もよい。欠点としては、導入コストや河川のような3次元的に複雑な地形を編集するにはスキルや工夫がいる点である。

ゲームエンジンは、土木分野での活用は増えてきているもののまだ一般的ではない。しかしながら美しい描画力と複雑な形状の修正が比較的容易である点 (九州地整の動画参照⁷⁾) が魅力的である。ただし、そもそもゲームを作るためのソフトであるので、施工など後段とのデータのやり取りに課題があったが、現在は河川 CIM 標準検討小委員会や関連する九州地方整備局の成果⁸⁾ によりデータのやり取りも容易になっている。

2) 定量的評価（土砂水理・河川環境など）

土砂・水理現象を定量的に評価する手法は様々であるがソフトウェアが無料であるという点や使いやすさ、可視化の美しさなどの観点から iRIC が計算プラットフォームとしては広く活用されている。3 次元データを活用すれば、iRIC の平面二次元ソルバ(iRIC 上で動くソフトウェア)である Nays2DH を用いて、平面的な流速分布や河床変動を把握することができるため、リーチスケールの定量評価によく活用されている。

河川環境の定量的評価ツールとしては土木研究所が EvaTRiP⁹⁾を iRIC ソフトウェアのソルバとして平成 26 年度に開発し、その改良版として令和 2 年度末に EvaTRiP Pro をリリースしている。もともとは改良復旧などの中小河川の災害復旧工事による影響を簡易に評価するツールとして開発しており、特定の魚種の生息場の変化や、瀬や淵の位置や面積の変化を iRIC ソフトウェアの水理・河床変動計算ソルバ（Nays2DH）などと組み合わせて評価する(図-3)。このソフトウェアを活用して、改修前後に河川の生息場（例えば瀬や淵）の分布などが大きく変化していないか、あるいは環境目標となっている生息場が増えているかどうか、などを確認することが可能である。EvaTRiP Pro では、瀬淵分布を容易に表示する機能や計算の自由度を増した開発となっている（下記の雲出川の参考事例参照¹⁰⁾）。なかでも世界中で利用されるプログラム言語である Python に対応したことも大きい。

これらの機能を活用して、時間制約のある災害復旧時においても、図-4 に示すようなプロセスで、3 次元的に複雑な本来の河川地形をベースとして治水・環境面からより良い川づくりを目指すことが可能である（図-4）。

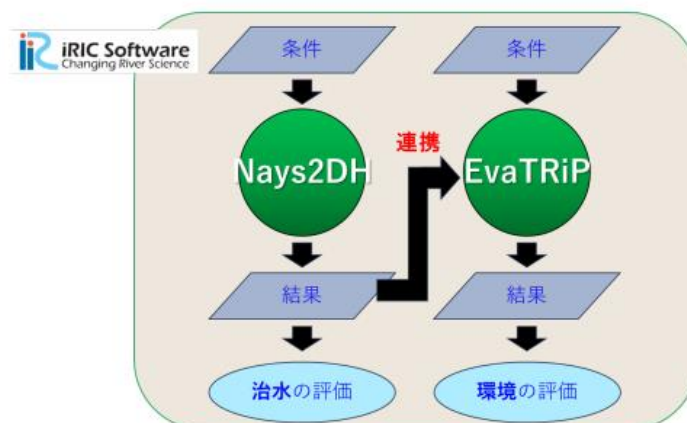


図 3 治水と環境の定量評価¹⁾
(河川 CIM 成果報告書：P37 図 4-2-7 より)

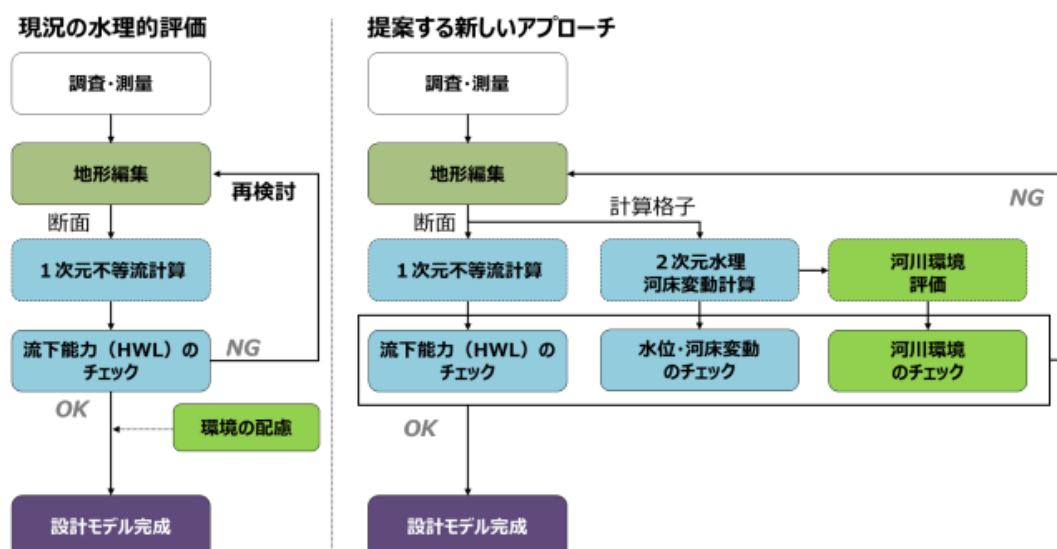


図 4 地形モデルの水理的評価・河川環境評価に対する新しいアプローチ¹⁾
(河川 CIM 成果報告書：P37 図 4－2－7 より)

3) 定性的評価（景観など）

定性的評価の例として、治水と環境の両面から定量的にチェックした河道に、さらにワンドや細流、あるいは水際設計などのディテールや周辺も含めた景観設計を行うことを考えてみたい。景観設計などの定性的評価はすべての河川設計においてかならずしも実施されていない。河川の重要度によっては実施せずに、一次検討から施工段階に行く場合もあるであろう。ただし、その場合にこれまで施工段階で“現場合わせ”として、実施してきたワンドや瀬淵の創出、寄せ石などの工夫を 3 次元の図面にどう反映させるか、完成検査はどうするかなど、実務的には制度設計上の工夫がさらに必要である。3 次元設計はすべての形状を定量的に決めているため、横断ベースの設計と比較して現場での融通が利かないところがある。

景観設計については、九州技術事務所・九州地方整備局を中心に土研とも連携しながら技術開発を行っている。これはゲームのソフトウェアに用いられるゲームエンジンを河川の設計に用いようとするもので、前段で作成された 3 次元データを読み込み、その表面に様々な素材のテクスチャーなどを張り込むことにより、比較的簡易にリアリティの有る仮想現実 (VR: Virtual Reality) 空間を作成できるものである (図－5)。VR 空間化することのメリットは、単に施工後の地形や景観が分かりやすくなるということだけではない。ヘッドセットを用いれば、その場に立ったときの奥行き感、高さ感、景色の移り変わりといった、図面だけでは困難だった部分までも認識を共有でき、地域住民などの利害関係者

や有識者等との合意形成の場面では強力なツールになりうる（※実際に九州地整では山国川のかまちづくりの合意形成に活用しており、効果を確認している）。このソフトウェアには、粘土模型のような直感的な操作で、掘削・盛土も行う機能が備わっており 7)、ヘッドセットで見ながら地形を変えて合意形成といったことも可能である。既存データを読み込み背後の地形や画像を活用することで、さらに広域の景観設計に活用することも出来る。この詳細段階では、川づくりの設計者のニーズを満たし、施工に直接データ移行ができる VR ソフトの早急な開発が望まれる。ゲームエンジンについては、九州地方整備局がマニュアルや講義動画を公開している ^{8), 11)}。また、有志企業を中心とする「川づくりデジタルフォーラム」も結成されており、技術者間の相互支援を行う体制も構築されている ¹²⁾。



図 5 ゲームエンジンを用いた設計例（河川 CIM 標準化検討小委員会より）

（３）施工

設計で得られた地形（座標）データは、一般にそのままでは ICT 建機にインプットできない。また、３次元設計を行っているとしても、既往の各種図面は施工から検査までの各段階で必要となるため、3D CAD ソフトウェアを利用した施工用のデータ処理・作成、図面化が現状では必要である。ICT 建機で利用できるのは主として LandXML 形式の TIN（不整三角形網）データであり、単純には詳細検討段階の地形データを LandXML 形式で出力すればよいようにも思われる。しかしながら、例えば ICT 建機が受け取れるデータ量に制限があることや建機のバケット幅よりも小さい TIN が認識されると施工速度の低下や動作エラーを生じるなど、建機特性によって細かな課題が存在し、現状では 3D CAD を用いて施工段階のファイルを微調整したものを利用するのが現実的であると考えられる。これらの課題は今後、i-Construction に携わる関係者間で課題やノウハウを共有し、解決することが必要であると考えられる。

（４）維持管理（３次元管内図）

３次元データの活用は河川の維持管理にも影響を及ぼす。３次元管内図と呼ばれる河川管理ツールが、その中心となっていく。これまで管理のベースマップである２次元の紙の管内図がデジタル化され、３次元になったものである。表示においては２次元をベースとして、必要に応じて３次元データも活用することも考えられる。３次元管内図は各地で作られ始めており、今後、そのフォーマットが固まっていくものと考えられる。

■参考事例― 雲出川の3次元河道設計ツールを用いた治水・環境の一体的検討の試行

雲出川では、グリーンレーザの測量結果を活用して、河川整備計画の暫定対応河道の評価を実施している。治水評価においては、iRICを用いて、河床変動計算を行い河道の安定性を確認している。河川環境については、EvaTRiP Proを用いて原稿の河道と比べて瀬淵分布に大きな差はないか、アユの産卵環境は保全できているかなどを確認している。また、維持管理の観点から樹林化をWOIという指標を用いて予測し、河道が樹林化しないか、つまり時間経過とともに樹林化が治水上の課題とならないか、といった観点からの解析を実施している。詳細は参考文献¹⁰⁾を一読いただきたい。

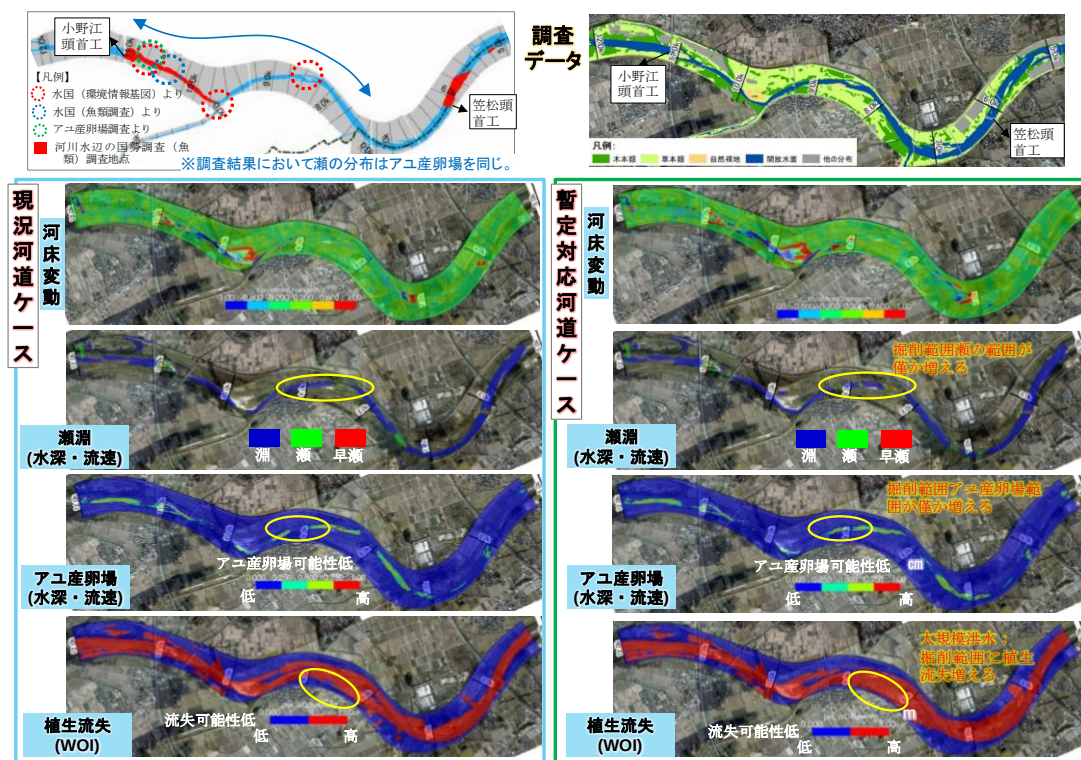


図 6 雲出川（三重河川国道事務所）における3次元データを用いた川づくり検討

■参考事例一 九頭竜川水系日野川における3次元の川づくりによる施工例

福井河川国道事務所の九頭竜川水系日野川では実務において、測量から設計、施工、さらに維持管理のベースマップまで渡す、一連の流れをパイロット的に構築している。測量はグリーンレーザで、設計は三次元CADで、施工はi-Constructionで実施し、さらに施工の出来形を3次元で取得することにより、当所の測量データを置き換え、3次元地形データの更新まで試行している。3次元データで一連のプロセスを河川実務で実施した国内の嚆矢となる事例である（図－7）¹⁾。

実際の設計プロセス（図－8）では、CADによるイメージモデルの作成から、受発注者間の設計協議を実施し、イメージモデルを修正し、その後、河道技術部会と呼ばれる有識者委員会での議論を経て、掘削形状を決定し、3次元CADにより設計データを作成し、その後のMC建設機械で施工を実施している。現場では、河川改修に合わせて図－9のような複雑な形状の湿地が創出されている。この複雑な形状は2次元図面では把握しづらいが、3次元モデルがあったことで現場の施工者らの理解も容易であったようだ。

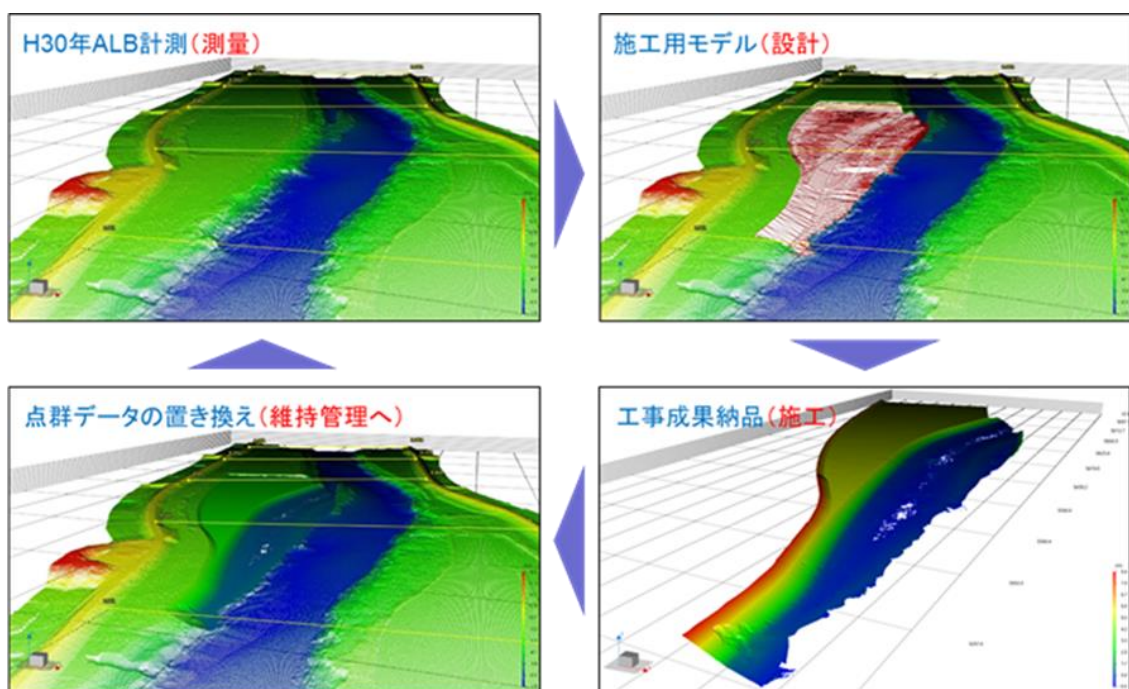


図 7 日野川（九頭竜川水系）：3次元データによる測量、設計、施工、維持管理に向けたデータの置き換えの例（福井河川国道事務所提供）

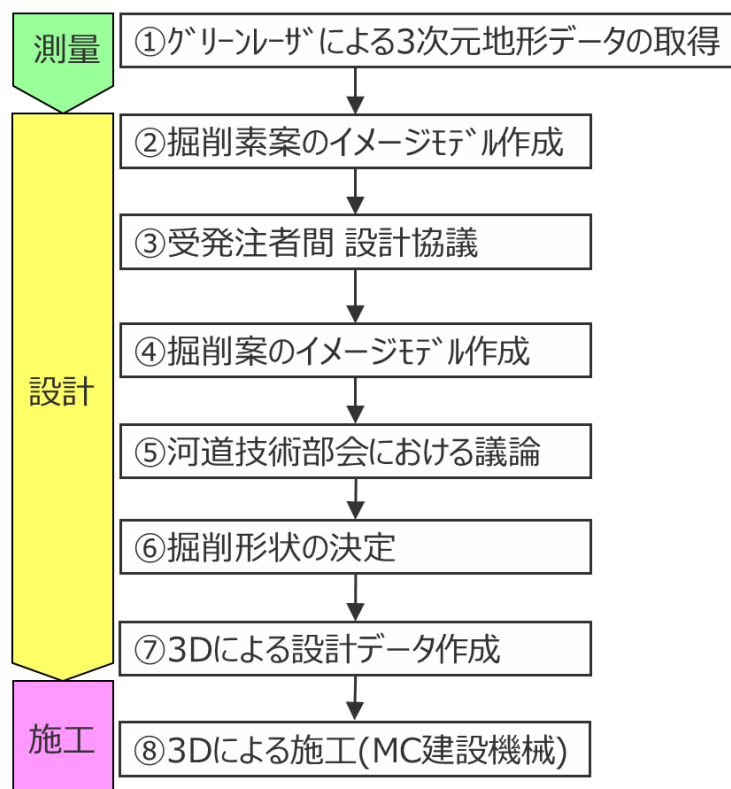


図 8 測量から設計、施工に至る実務プロセス (八千代エンジニアリング・山本一浩氏提供)



図 9 河川改修に合わせて創出された湿地

■より深く知りたい技術者のための参考図書等

- CAD はもういない！？ ～河川 CIM の最新技術セミナー～, <https://youtu.be/sNU9DT6ZLvg>
- 河川 CIM 標準化検討小委員会 最終報告セミナー, https://youtu.be/vUx62nA_Xx8
- メタバース（仮想世界）を用いた川づくりセミナー, <https://youtu.be/cFUle2kcwiU>
- 中村圭吾、林田寿文、大槻順朗、小林一郎（2020）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(3)、pp. 41-45.

■参考文献

- 1) 河川 CIM 標準化検討小委員会 成果報告書,
<https://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/downloads/houkoku20210630.pdf>
- 2) 中村圭吾、福岡浩史、小川善史、山本一浩：グリーンレーザ（ALB）による河川測量とその活用、RIVER FRONT 84、pp.16-19、2017、http://www.rfc.or.jp/pdf/vol_84/p016.pdf
- 3) 山本一浩、中村圭吾、福岡浩史、戸村健太、金田真一：グリーンレーザ（ALB）を用いた河川測量の試み、河川技術論文集 23、pp. 293-298、2017.
- 4) 中村圭吾：グリーンレーザを用いた航空レーザ測深（ALB）による河川調査の現状と可能性、水環境学会誌 42(A) (5)、pp. 174-178、2019.
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課河川保全企画室：河川管理用三次元データ活用マニュアル（案）、2020.
- 6) 林田寿文、大槻順朗、中村圭吾、萱場祐一：新しい河道計画プロセスを念頭に置いた多自然川づくり支援ツールの開発、II-22、令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会、2019.
- 7) 国土交通省九州技術事務所、VR を使った水辺空間構築、<https://youtu.be/mjr7sXTRAcw>
- 8) 国土交通省九州地方整備局：ゲームエンジンを用いたメタバース（仮想空間）での川づくりツールの操作マニュアル（案）を公開しました、
https://www.qsr.mlit.go.jp/kyugi/tech_improve/dx/gameengine.html
- 9) 自然共生研究センター、簡易河川環境評価ツール EvaTRiP を用いた治水と環境を両立させる川づくり、土木研究所 Web マガジン、Vol. 53、2018、
<https://www.pwri.go.jp/jpn/about/pr/mail-mag/webmag/wm053/kenkyu.html#01>
- 10) 周 月霞、吉武 央気、東海林 太郎、森下 祐、小河 健一郎、堀江 隆生、関谷 雄大、中村 洋平、河野 誉仁、林田 寿文（2022）3次元河道設計ツールを用いた治水・環境の一体的検討の試行～雲出川直轄区間を例として～、河川技術論文集第 28 巻、p. 205-210.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/river/28/0/28_205/_article/-char/ja/
- 11) 国土交通省九州地方整備局：メタバースを用いた川づくりセミナー（5/12）の動画を公開、
<http://www.qsr.mlit.go.jp/infradx/index220512seminar.html>
- 12) 川づくりデジタル研究フォーラム、<https://www.facebook.com/100088105993529>