DX を活用した蛇行河川における橋梁詳細設計

池田 美由起[1]・大宅 克幸[1]・松田 一史[1]・雨宮 佑弥[1]

[1]パシフィックコンサルタンツ（株）（〒101-8462 東京都千代田区神田錦町 3－22）

現国道 7 号は災害や積雪による通行止めが多く，代替路として機能する朝日温海道路の整備が急務である．勝木川 3 号橋は蛇行河川を横断し河川協議の難易度が高い条件下で，DX 技術を設計初期段階から活用した点に独自性がある．洪水時の影響を踏まえた河川管理者への定量的・視覚的な説明が必要であり，従来手法では 3 次元的な状況伝達に限界があった．そこで UAV グリーンレーザー測量や流況解析，3D プリンタ作成の模型，CIM モデルと連携した VR 技術等を設計・協議へ活用した．

結果として，3 次元による視認性の向上だけでなく，洪水予測や橋脚防護等の定量的評価に対しても DX 技術を戦略的に活用し，設計の高度化と関係機関協議の円滑化，迅速な合意形成を実現した．頻発する自然災害への対応という社会的なニーズに対する DX 活用の有効性を示した業務となった．

Key Words: *橋梁，BIM/CIM，AR，VR，DX活用*

1. はじめに

(1) 背景・目的

現国道 7 号は大雨・土砂崩れや越波等の災害，積雪による立ち往生車両で通行止めが頻繁に発生している．本橋（（仮称）勝木川 3 号橋）が位置する朝日温海道路は，災害に強く信頼性・速達性の向上が期待される高規格幹線道路で，災害時には国道 7 号の代替路としても機能する（**図-1** 参照）．勝木川 3 号橋は蛇行する勝木川に縦断的に橋梁が計画されており，複数の橋脚がその範囲に設置されることから，本業務では，河川管理者が理解し，納得する協議を実施し，合理的かつ安全性を確保した橋梁設計が求められた．

図-1 （仮称）勝木川 3 号橋位置図

また，令和 5 年度より原則化された BIM/CIM 適用[1)]は本業務も対象であり，本業務においては河川協議の難易度が高い特徴を踏まえ，DX による「視覚化による効果」やグリーンレーザー測量を反映した「流況解析」などを活用した．これらの DX 活用により，橋梁詳細設計業務へどのような効果がもたらされたか，また今後の展望について本稿に示す．

(2) 橋梁概要

（仮称）勝木川 3 号橋は，橋長 338m，道路幅員 12.0m，7 径間の鋼鈑桁橋である（**図-2** 参照）．下部工は張出式 RC 橋脚であるが，流下方向が定まらない蛇行河川への影響に配慮し円柱として計画した．基礎は花崗岩を支持層とする直接基礎としたが，A2 橋台は追加地質調査にて支持層が深い位置にあることが判明したため，杭基礎を採用した．

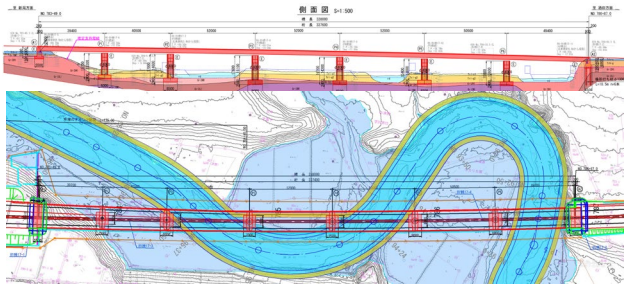


図-2 （仮称）勝木川 3 号橋 側面図・平面図

(3)　架橋位置の状況

本橋の架橋位置は，２級河川勝木川の蛇行区間に位置しており，河岸段丘の河川内に橋脚が計画されている．右岸側に現国道７号が近接しており，橋台や橋脚の掘削影響範囲が斜面に影響する懸念がある．流量については，非出水期においても比較的流量が多い．また，現地踏査では，既設護岸が残置されていたが，令和４年８月の大雨などにより損傷したと伺える箇所もあり，斜面崩壊跡や流木跡などが確認された．（図-3 参照）

図-3　架橋位置の状況

2.　本業務における DX の活用と利点

蛇行河川特有の課題に対し，以下の DX 技術を戦略的に活用し，設計の高度化と関係機関協議の円滑化を図った．

(1)　UAV グリーンレーザー測量

現場は蛇行する河川内であり，令和４年８月の大雨による地形の改変が想定された．そこで，水や木に影響されず河床までの地形把握が可能である UAV グリーンレーザーを用いた測量を実施し，最新かつ正確な地形の点群データを取得した（図-4 参照）．これにより後述する流況解析や橋梁計画，施工計画へ高精度な河床地形データの反映が可能となった．また，UAV を用いることで斜面崩落箇所も安全な位置から作業でき，従来より安全性を確保した測量を実施した．

図-4　UAV グリーンレーザー測量

(2)　流況解析の活用

架橋位置は蛇行河川であるため，河川方向が定まらない状況であった．流況解析を実施することで，橋脚や仮締切堤に作用する流速の把握が可能となり，橋脚防護の必要性や対策等を定量的に評価できる．流況解析に使用する地形モデルは，UAV グリーンレーザー測量によって取得した点群データを用いてモデル化を実施した（図-5 参照）．

流況解析は主に施工時や完成時の流速および水位増加の影響や，仮締切堤計画の妥当性を確認するために活用した．工期短縮の観点から出水期にも仮締切堤を残置するため，かごマットの耐流速（6.5m/s）に着目した．仮締切堤のままでは仮締切水路内に流れが集中し，水路内の流速が 7m/s を超える箇所が発生する．（図-6 参照）そのため，出水期における流下能力確保策として右岸仮締切堤の一部を 0.5m 下げる対策を実施した．その結果，高水敷に流れが分担され，仮締切低水路内の流速が低減され，かごマットの耐流速 6.5m/s 以下で流下可能となった（図-7 参照）．

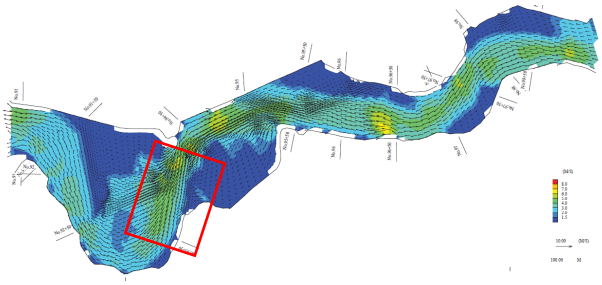


図-5　流況解析（現況）

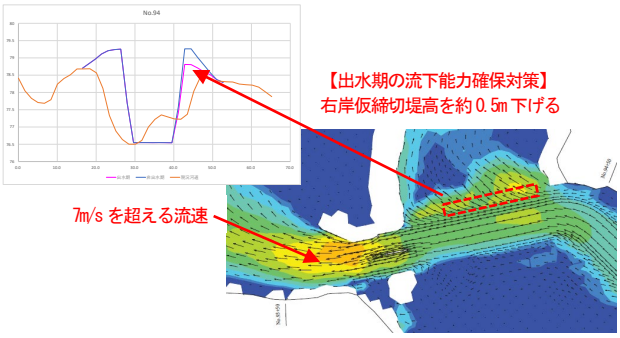


図-6　流況解析（対策前）

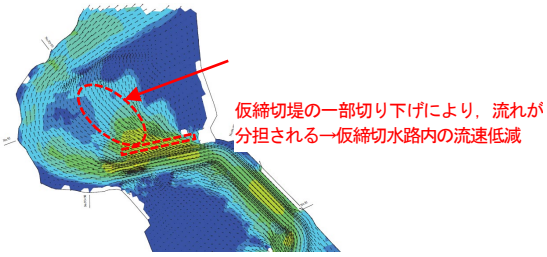


図-7　流況解析（対策後）

(3)　合同現地踏査での AR 活用（現場条件の確認）

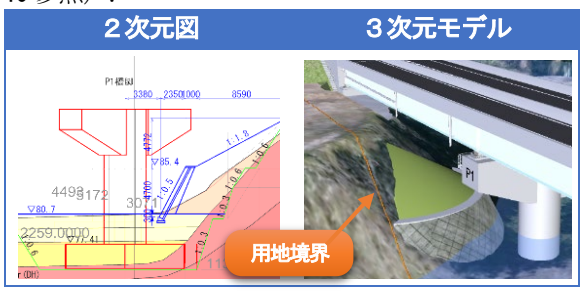
合同現地踏査において，AR 技術「Site Vision」を活用した．「Site Vision」は，完成形橋梁の BIM/CIM モデルを現地にスマートフォンの画面に表示する AR 技術である（図-8 参照）．これにより，完成後の状況を可視化し，受発注者間でのイメージの共有を図った．また，設計終盤では AR 技術「mixpace」を活用し，施工時の仮締切堤や橋梁の完成系モデルを現地と重ね合わせて整合性を確認し，理解促進を図った（図-9 参照）．

図-8　SiteVision の活用

図-9　mixpace の活用

(4)　特定部の確認

橋台および橋脚周辺の掘削・埋戻しについて 3D モデルを作成し，現地形との整合性を検討した．P1 橋脚は斜面に近接しているため，掘削に伴う埋戻しを用地境界内に収めることが課題であった．2 次元図だけでは埋戻しと用地境界との位置関係の把握が困難であったため，3D モデルを用いてブロック積擁壁を曲線形状で計画することで，用地境界内での埋戻しが可能となった（図–10 参照）．



図–10　P1 橋脚周りの修景

このように 3 次元モデルは，2 次元図面では複数の図面を用いて示される情報を一画面上に表現できるため，複雑な条件下においても合理的な設計を実現することが可能である．

(5)　鉄筋の干渉チェック

橋脚の柱が円形であるため，柱鉄筋と梁鉄筋の干渉が懸念された．そこで，配筋図作成時に柱と梁の鉄筋の干渉チェックを実施し，鉄筋を干渉しない配置に変更した．設計段階から干渉チェックを実施することで，設計成果の品質向上および施工時の手戻り防止を図ることができる（図–11 参照）．

また，作成する配筋モデルを該当箇所に限定することで省力化し，配筋モデルに対し，ソフト内の干渉チェック機能を用いてワンクリックで干渉部分を特定することで，作業の効率化を図った．

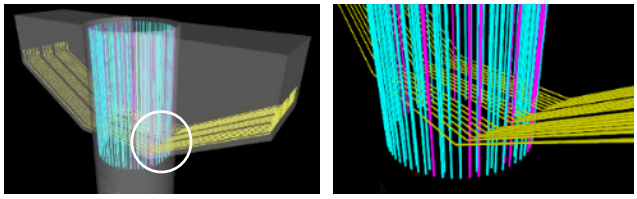


図-11　鉄筋の干渉チェック

(6)　施工計画への活用

河川内への橋脚の設置等の施工は，仮締切堤の設置，施工時流量確保のための河床掘削等，施工順序が複雑であった．そこで，施工ステップを 3 次元化し，3D モデルを用いてその妥当性の確認を実施した．立体的に可視化することで，施工手順や施工の規模感等が分かりやすくなった．また，着工から竣工までの一連の施工手順をまとめた 4 分程度の動画を作成し，施工の流れを表現することで，時間軸も含めた完成形までのイメージをより明確に関係者に共有できた（図–12 参照）．

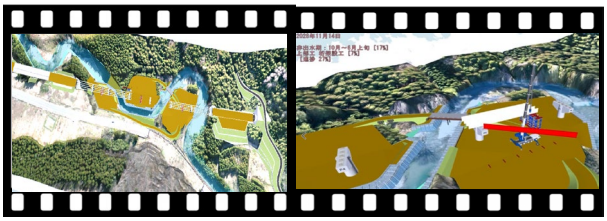


図-12　施工ステップ（動画作成）

(7)　3D プリンタの活用

BIM/CIM モデルは，時に機材や環境に左右され，表示がままならないことがデメリットとして挙げられる．今回，河川協議にてその課題に直面し，持参した小型ディスプレイと 2 次元図面中心の説明となり，複雑な現地状況に対する視覚的かつ直感的な理解の促進が急務であった．そこで，3D プリンタを使用し，勝木川 3 号橋とその周辺地形の模型を作成した．蛇行区間の橋脚位置を実物に近い立体物として提示・表現することで，2 次元図面では伝わりにくい現地地形との関係を示し，関係者間で共有することができた．3D プリンタ模型は，実物が手元にあることで手に持って回したり，指差しで説明ができるため，複数人が集う対面協議にて理解促進だけでなく議論の活性化にも非常に役立った（図–13 参照）．

図-13　協議で使用した模型

また，河川協議では橋脚を設置することによる洪水時の周囲への影響が河川協議の課題となっていたが，H.W.L.（計画高水位）を透明な素材で再現した水面で表現することで，橋梁完成後の洪水状況を模型上で可視化でき，河川管理者による理解促進に貢献した（図-14 参照）．

図-14　模型（水面）

(8)　VR 活用

作成した BIM/CIM モデルを活用し，VR ゴーグルを用いて実際の橋の下にいるような疑似体験が可能となった（図–15，16 参照）．実施者の視点は，モニターに接続することで周囲の人も確認することができる．

視覚的な把握だけではなく，イメージ共有や，臨場感あふれる映像でより一層，橋梁への理解を深めることができた．本業務においては，点検経路として橋台脇の階段から下り，上部工検査路に移動する経路の確認に活用することができた．

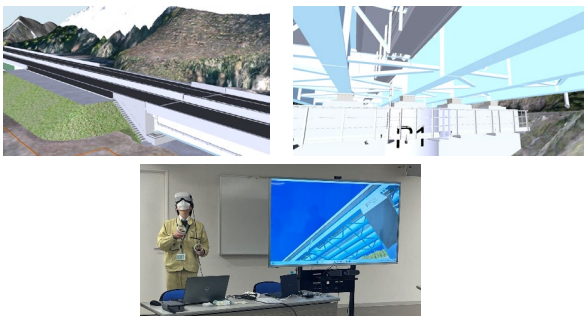


図-15　VR 活用

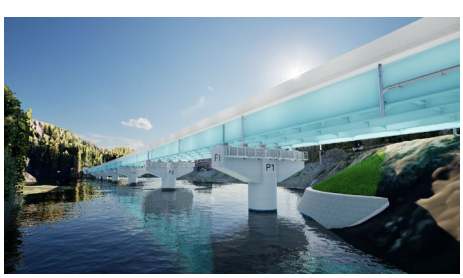


図-16　VR 上で表示される BIM/CIM モデル

(9)　業務中の 3D モデル共有

一般に 3 次元モデルは，そのデータ容量が大きいことでデータのやり取りや閲覧等に，閲覧者側のネット環境や使用機材に制限があることが課題として挙げられている．本業務では，高精度点群データを活用していることで，データ容量が非常に重く，上記課題の解決が求められた．

そこで，情報共有システム「KOLC+」の統合アプリを活用し，クラウド上へ地形モデルや橋梁モデル，護岸モデル等をそれぞれアップロードし，統合システム上で統合することで，環境や機材の制限をクリアした．これにより特定のソフトやモデルデータのダウンロードもなく，ブラウザ上にて受発注者がいつでも，容易に統合モデルを閲覧できる環境が整えられた．（図-17 参照）

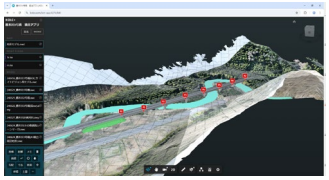


図-17　統合アプリ（勝木川 3 号橋）

(10)　後段階への情報伝達手法

施工および維持管理計画において，後段階での配慮事項等を確実に伝達するために，BIM/CIM 統合モデルに申送り事項の位置と内容を反映したモデルを構築した（図-18 参照）．

図-18　後段階への情報伝達

従来は図面と報告書それぞれに記載されていた配慮事項等の伝達事項を，BIM/CIM 統合モデルに一括化することで情報伝達の抜けを防止するとともに，複数資料を確認することによるタイムロスを省くこともできるため，情報把握の円滑化を図った．

3.　まとめと今後の展望

(1)　まとめ

本業務は蛇行河川という複雑な地形条件下において，設計初期段階から 3 次元モデルを一貫して導入した．これにより，2 次元図面では困難であった立体的形状把握を実現し，関係機関との円滑な協議や合意形成，迅速な設計判断，手戻りの防止に効果を発揮した．特に，河川協議における流況解析結果の可視化や，3D プリンタ模型による実物的な情報共有，AR・VR 技術を用いた臨場感のある情報共有が，関係機関管理者の理解促進に有効であった．

(2)　今後の展望

DX 技術の活用は，複雑な地形下の橋梁設計において，関係者間の情報共有を円滑化し，合意形成を促進するとともに，高度な解析による安全性向上に大きく寄与することを示した．また，BIM/CIM モデルの画面での共有だけではなく，場合によっては実物モデルの活用も非常に有効であることを実感した業務であった．

今後，本業務で得られた知見に基づき，さらなる DX 技術の導入と活用を推進することで，より安全で効率的な社会インフラ整備に繋がるものと考える．

謝辞：本稿で記載した内容は，国土交通省　北陸地方整備局　新潟国道事務所からの業務委託により令和 5 年度に実施しました．業務内では，新潟国道事務所工務第一課の皆様より多くのご指導・ご鞭撻をいただきました．関係者の皆様に厚く御礼申し上げます．

参考文献

1)　国土交通省：直轄土木業務・工事における BIM/CIM 適用に関する実施方針，令和 5 年 3 月