

論文・報告

フロントローディングを強化する BIM/CIM 3D モデルを用いた新しい業務フローの構築

～津田高架橋における BIM/CIM 3D モデルを活用した新しい業務フロー～

Utilization of BIM/CIM 3D Bridge Model ~Construction of a New Manufacturing Flow~

水野 浩 ^{*1}
MIZUNO Hiroshi

佐藤 真也 ^{*2}
SATO Shinya

竹田 知樹 ^{*3}
TAKEDA Tomoki

栗林 優喜 ^{*4}
KURIBAYASHI Yuki

大塚 貴恵 ^{*5}
OTSUKA Kie

坂田 大樹 ^{*6}
SAKATA Daiki

近年、コンサルタントが自動設計システムで作成した詳細設計のデータを、製作（原寸）に連携するため、国土交通省、日本橋梁建設協会、建設コンサルタント協会が共同で中間ファイルの標準フォーマットを整備し、国土交通省発注物件において、これを用いた試行工事が実施されている。この中間ファイルである設計情報属性ファイルから BIM/CIM 3D モデルを構築し、工事全体の効率化を図るためのフロントローディング時に利用する。そのデータを後工程の製作・現場施工に利用可能な川田工業独自の業務フローの検討を行った。本報告では、BIM/CIM 3D モデルを軸とした新しい業務フローの検討内容や、データ連携試行工事として発注された津田高架橋（四国地方整備局）で実施した試行内容及び課題について報告する。

キーワード：BIM/CIM、フロントローディング、設計情報属性ファイル、データ連携、製作施工の効率化

1. はじめに

令和 5 年度(2023 年度)より国土交通省では BIM/CIM 原則適用が実施されており、鋼橋工事においては、コンサルタントでの設計段階と鋼橋メーカーでの施工段階のデータ連携をより一層推進するため、国土交通省が立合のもと、(一社)建設コンサルタンツ協会（以下、建コン協）と、(一社)日本橋梁建設協会（以下、橋建協）で「橋梁技術のデータ連携実装に向けた共同宣言」に署名している。鋼橋工事のデータ連携では、コンサルタントが自動設計システムで作成した詳細設計のデータを利用して、製作（原寸）に連携するための中間ファイルの標準フォーマットが整備され、国土交通省発注物件においてデータ連携試行工事（以下試行工事）が実施されている。この中間ファイルである設計情報属性ファイル¹⁾（以下、XML ファイル）を利用して、BIM/CIM 3D モデル（以下 3D モデル）を構築し、工事全体の効率化を図るためのフロントローディング時に利用する。そのデータを後工程の製作・現場施工に利用できる川田工業独自の業務フローの検討を行った。

設計段階から製作・現場施工までの作業量について、現状、過渡期及び将来のイメージを図 1 に示す。過渡期

は 2D 図面と 3D モデルを併用するため、設計部門の作業量は増加するものの、製作部門及び工事部門では 3D モデルの有効利用や手戻りの防止などで効率化が図られる。今後、XML ファイルが拡張されて 3D モデルのみで発注が行われた場合を将来像としており、工事全体で効率化を図ることが可能と考えられる。本報告では、3D モデルを軸とした新しい業務フローの検討内容や試行工事として発注された津田高架橋（四国地方整備局）で実施した試行内容、課題及び今後の展望について報告する。

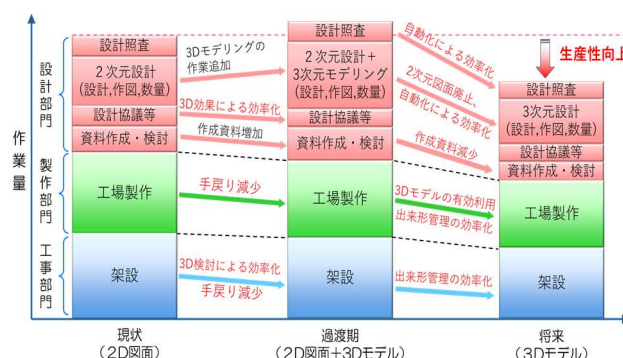


図 1 作業量のイメージ

*1 川田工業(株)橋梁事業部技術統括部大阪技術部 担当部長

*2 川田工業(株)橋梁事業部開発部 主幹

*3 川田工業(株)橋梁事業部技術統括部東京技術部東京技術課 主任

*4 川田工業(株)橋梁事業部工事統括部工務部 DX プロジェクト

*5 川田工業(株)橋梁事業部技術統括部東京技術部東京技術課

*6 川田工業(株)橋梁事業部技術統括部大阪技術部大阪技術課 主任

2. 3D モデルを軸とした業務フロー

3D モデルを軸とした業務フローを図 2 に示す。本業務フローは、フロントローディングを強化する目的で 3D モデルを活用するフローとしている。フロントローディングは、工事契約初期に作業の負荷をかけ、個別工事における課題への対応方針、構造や仕様等を早い段階で決定し、製作、施工段階の作業量を減少させるものである。

工事受注時に、発注者より受領した XML ファイルを元に設計部門で 3D モデルを作成する。主構造の情報は XML ファイルを用いて後工程である製作（原寸）、現場施工に情報を引き継ぐ。付属物に関して、現状は XML ファイルが整備されていないため、モデル化が比較的容易な鋼橋 CIM システムの CIM-GIRDER 及び CIM-KABUKO でモデル化を行う。

また、現場の地形や障害物等の状況を 3D スキャンし、それらのデータを 3D モデル共有クラウドサービスである Kolc+上に集約し、各部門の問題点を共有して課題解決を図る。さらに発注時モデル（以下、C0 モデル）の問題点を抽出し、改善策を XML ファイルに反映する。その情報を元に 3D モデル（以下、統合ドラフトモデル）を作成する。修正を行った XML ファイルを、製作（原寸）、現場施工に引継ぎ、工事全体の効率化を図るものである。以降、各フェーズにおける詳細な内容を記述する。

(1) C0 モデル作成

(a) C0 モデル作成

C0 モデルの作成フローを図 2(a) に示す。C0 モデルは、発注者より受領した設計図面を再現したモデルである。主構造は、発注者より受領の XML ファイルを照査し、その XML ファイルを Symphony にて変換してモデル化を行う。検査路や排水装置などの付属物は、鋼橋 CIM システムでモデル化を行う。鋼橋 CIM システムで定義されていない伸縮装置や支承などの部材は、AutoCAD でモデルを作成する。その際、モデルに反映が漏れている部材がないか、部材毎の作成有無を示す星取表と 2D の図

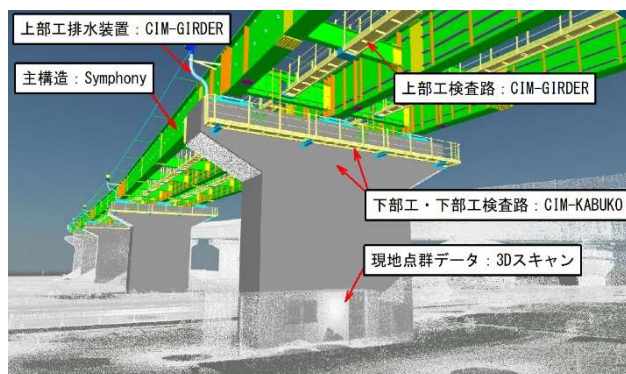


図 3 C0 モデルの作成

面を突合せして確認する。最後に、それぞれのソフトで作成したモデルと現場の 3D スキャンの点群データを Navisworks 上で統合し、取り合いを確認する。部材の干渉チェックは、Navisworks の干渉検出機能で行う。以上の手順で作成した C0 モデルを図 3 に示す。

(b) XML ファイルの照査

2D の図面・設計計算書と XML ファイルの各断面の寸法、横桁配置、補剛材間隔及びボルト配置などが合致しているか確認する。XML ファイルは機械的に認識可能なデータ形式であるものの、人の目では確認し難いデータとなっている。これを設計情報属性ファイル交換標準(案)¹⁾に従い、エクセルデータに変換して整理するツールを作成し、効率的にチェックできるようにした。

(2) フロントローディング

フロントローディングの実施フローを図 2(b) に示す。発注図面の主構造や付属物等を再現した C0 構造モデル、架設計画を再現した C0 施工検討モデル及び現地点群データを Kolc+上において関係部門で共有し、製作や施工に関する仕様決定を行う。その際、フロントローディングの着目点をあらかじめリスト化し、それに沿って各部門で確認を行う。各部門において発注図書の問題点や製作、施工における合理化可能な点について検討する。図 4 に示すように、各部門で抽出した変更必要な個所を Kolc+上にてコメントを追加することにより、各部門で問題点を共有する。フロントローディング強化により、リスク低減、生産性向上、不適合の予防、安全性向上といったメリットが挙げられる。

(3) 統合ドラフトモデル作成

統合ドラフトモデルは、フロントローディングにより発注構造の問題点を全て解決し、これ以上構造変更のないモデルと定義している。各部門よりフロントローディングで抽出された問題点を確認し、XML ファイルの修正を行い、そのデータを元に 3D モデルを更新する。位置を変更した部材や追加部材と付属物の干渉が無い Navisworks で干渉チェックを行い、問題点を解決した 3D モデルを統合ドラフトモデルとする。この統合ドラフ

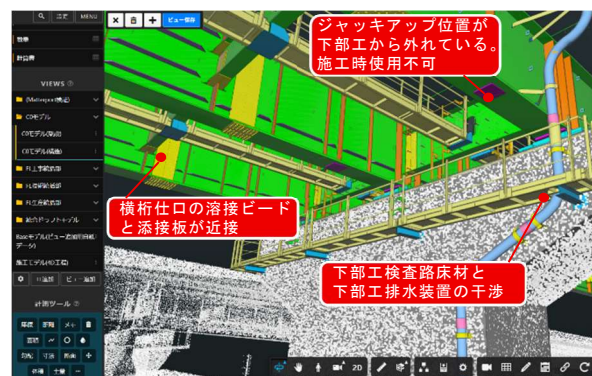


図 4 Kolc+上で問題点の共有

トモデルを、製作（原寸）、現場施工に引き継ぐことで、手戻りや不具合の生じない効率的な施工を可能とする。

(4) 製作モデル作成

従来の業務フローでは、完成形状を示す 2D 図面に基づき、製作部門にてキャンバーを付加した製作モデルを作成している。キャンバーとは、橋梁の自重によって生じるたわみを補正するため、あらかじめ設計段階で上向きの反りを設けることであり、製作（原寸）段階で橋桁形状に反映する。したがって、設計段階で完成形状の詳細な 3D モデルを作成しても、製作モデルとして利用することができず、製作部門においては 2 次元の図面から各種パラメータを読み取り、3D 原寸システムに入力する必要がある、非効率であるとともに、多大な労力を要する作業が必要であった。

この課題については、過去に完成形状の 3D モデルからキャンバーを付加し変形させ、製作モデルとする検討を行っている²⁾。しかし、当時の PC の性能では処理に膨大な時間を要したことや、橋の形状によっては変換が正常に行えないこともあったため、本格導入には至らなかった。

3D モデルを軸とした業務フローでは、XML ファイルを 3D 原寸システムに連携させることにより、キャンバーを付加した製作モデルを効率的に作成できることを確認した。後述する、業務フローの試行を行った津田高架橋の主桁上フランジ、ウェブ、及び下フランジにキャンバーを付加した製作モデルを図 5 に示す。この規模の橋梁であれば、主部材に加え、補剛材の端部形状や連結板の孔情報を含んだ製作モデルを約 2 時間で作成することが可能であった。同等のモデルを従来手法で作成するのであれば、80 時間程度の作業時間が必要となる。XML ファイルに定義されている部材の配置や各種パラメータの数値は、フロントローディング時に確認されているため、製作モデル作成後の作業量が少なくなっている。現状、XML ファイルにより連携できる部材や詳細が限られているため、3D 原寸システムで自動的にモデル作成した後に CAD 作業による追加・編集作業が生じるものの、XML ファイルによる製作連携は、従来のフローと比

較して、作業効率を高められることが分かった。

(5) 施工モデル作成

3D モデルを軸とした業務フローでは、架設現場の施工検討に対しても XML ファイルや 3D モデルを活用し、フロントローディングを実施する。施工モデルは、発注時の架設計画図を再現したモデル（以下、C0 施工検討モデル）と、変更案施工モデル（以下、施工モデル）の 2 段階に分けて行う。すなわち、発注時の架設計画を 3D モデルで再現し、架設重機とその周囲の建物との近接状況や、地下埋設物との干渉など、問題点を徹底的に洗い出したうえで変更施工計画を立案する。これにより現場施工段階における計画不備、手戻りのリスクを最小化する。

(a) 現地点群データの取得

現地状況を正確に施工モデルに反映するためには点群スキャンの取得が有効である。一方、必要以上に高精細の点群を取得すると、その後の閲覧や編集に支障をきたす場面が生じる。そこで点群データの使用目的や要求精度に応じてスキャナーを選択する事とし、作業効率化とコスト圧縮を図っている。

(b) 3D モデルによる架設検討

前述の点群データと 3D モデルを統合し、3 次元空間上に現地状況を再現したうえで、架設計画シミュレーションソフトである Sim-BRANE を用いて架設検討を実施する。本ソフトは重機の配置及び桁の位置、重量等から作業半径や負荷率を自動的にピックアップする事が可能であり、従来手作業により行っていた計画照査の効率化を図るものである。また、ベント等の仮設備を構成する仮設備の 3D データには属性情報を付与することで、数量等データ拾い出しの効率化と正確さの向上を図っている。

(c) 動的な干渉確認

施工時には重機や架設桁が動作、移動するため、施工検討においては動的な干渉確認が必要となる。この動的確認には、Sim-BRANE で作成した重機データに加えて地形データや仮設備データ等を Navisworks で統合し、主桁架設時のアニメーションを作成、干渉チェックを行うことで対応する。施工検討モデルを図 6 に示す。

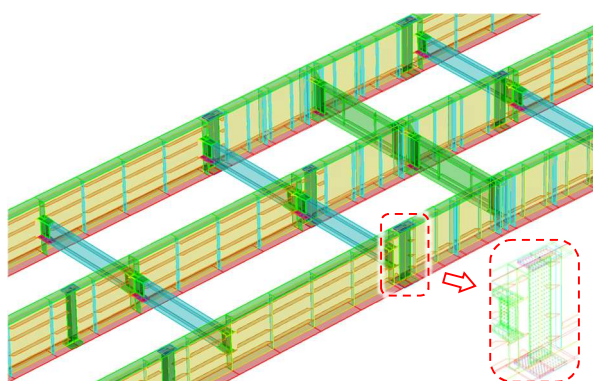


図 5 製作モデル



図 6 施工検討モデル

3. 業務フローの試行について

(1) 橋梁の概要

1) 橋梁諸元

発注者：国土交通省四国地方整備局徳島河川国道事務所
 工事名：令和 5-7 年度 横断道津田高架橋上部 P7-P12 工事
 工事場所：徳島県徳島市津田海岸町地先
 工期：2024 年 1 月 22 日～2026 年 3 月 24 日
 橋梁形式：鋼 5 径間連続合成少数鈹桁橋 (3 主桁)
 床版形式：合成床版 (S C デッキ・スタッドレス)
 橋長：235.0m
 支間長：46.1m+3@47.0m+46.1m
 総幅員：14.807～18.927m
 架設方法：トラッククレーン・ベント架設
 鋼重：660t

2) 本橋の特徴

- ・橋梁区間の中央付近から終点側にかけてランプ橋に分岐する線形を有しており、図 7 に示すように、中間支点 P10 より P12 側の主桁間隔が広がっている。
- ・隣接橋と桁高を合わせるため、図 8 に示すように起点側の P7 付近で桁高を変化させている。
- ・中間支点の支点条件が多点固定であるため、クリープ、乾燥収縮及び温度差による軸力の影響を考慮し、主桁腹板の水平補剛材は 4 段の多段配置としている。
- ・図 9 に示す通り、P7 側端支点は隣接橋との架け違いになっている。また P12 側も同様であり、付属物の取り扱いに注意する必要がある。

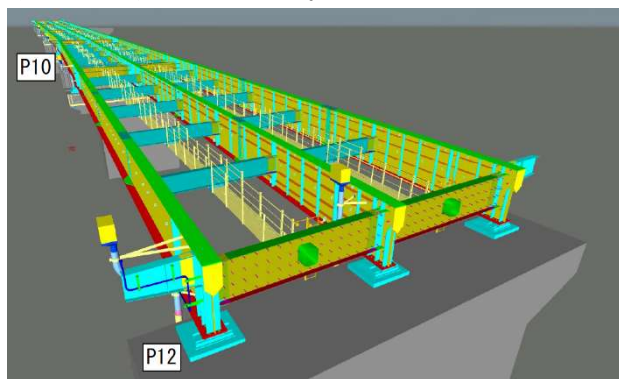


図 7 拡張する主桁配置

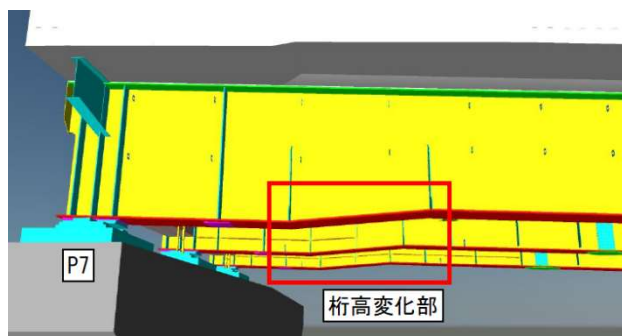


図 8 P7 付近の桁高変化要領

(2) 試行工事の概要

試行工事は、国土交通省の取り組みであり、コンサルタントが保有する鋼橋自動設計システムの入力データを、コンサルタントで XML ファイルに変換し、これを工場の自動原寸システムに連携させることで、3D モデル化した工場製作データを作成し、効率化を図るものである。本工事の詳細設計で使用した自動設計システムは Hy-Bridge で、コンサルタントでの入力データ変換は BeCIM-MBplus で行われた。この際、スタッド配置、ジャッキアップ補剛材、排水管支持金具や端ブラケット等は、XML ファイルで定義されていないため、反映することができなかった。この事象に対しては、3D モデル化する前の工場製作データに追加することで対応した。なお、完成した工場製作データの妥当性は、2D 図面との比較により確認した。原寸作業完了後、従来の原寸作業と今回のデータ連携原寸を比較して、原寸工数の削減効果を検証した。

(3) 効果

従来の原寸作業と今回のデータ連携原寸、将来の見込みにおける原寸の工数を図 10 に示す。現時点では XML ファイルとして定義されない部材が多く存在し、今回のデータ連携試行では、これらの修正作業に時間を要したため、試行工事では大きな時間短縮効果は得られなかった。将来は、中間ファイルで未定義となっている部材がシステムで対応すること、Symphony による作業方法を改善することで、従来の原寸作業と比較して、原寸工数を最大 30%まで低減することを見込んでいる。

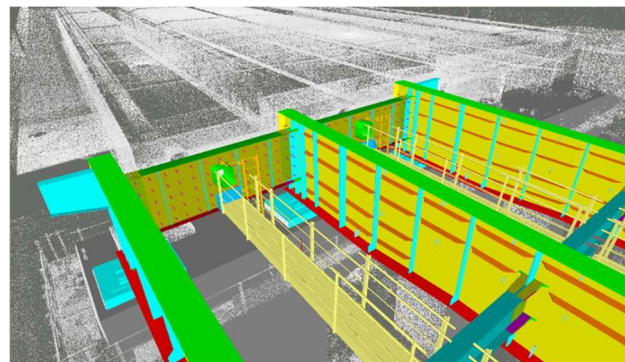


図 9 P7 側架け違い部の取り扱い

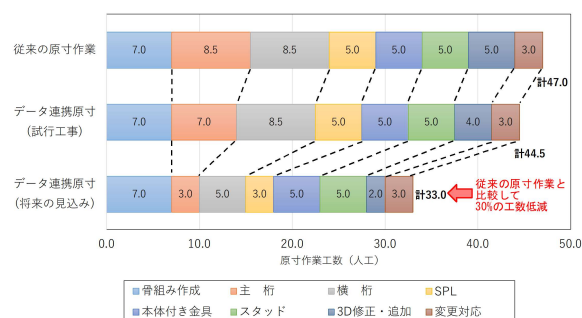


図 10 従来原寸とデータ連携原寸の作業時間

4. 課題

(1) XML ファイルの照査

今回は、エクセルデータに変換するツールを作成したことで、チェック作業を効率化することができたが、さらに、設計図書との整合確認を自動で行うツールを開発できれば、より一層時間短縮に繋がるものと考えられる。

(2) C0 モデル作成

XML ファイルで定義されていない構造詳細や CIM-GIRDER 及び CIM-KABUKO で定義されていない付属構造部材が多数あったため、これらを、AutoCAD で 3D モデルに反映することに多大なる時間を要した。今後は、構造の標準化や、定義されない部材を減らすことにより、モデルの作成時間を短縮できるものと考えられる。

(3) フロントローディング

現状は過渡期であり、2D 図面と 3D モデル両方を作成するため、初動段階での設計部門の負担が大きくなる。また、全て 3D モデルで設計照査や施工シミュレーションを行うと非効率となる懸念があり、2D 図面と 3D モデルを併用し、効率的な照査方法や作業手順を検討する必要がある。また、限られた時間内で細部まで問題点を抽出する必要があるため、各部門のチェック体制、部門間にまたがる課題解決の連携方法を検討する必要がある。

(4) 製作モデル作成

XML ファイルを製作モデルに連携することで、飛躍的に効率化を図れることは前述した通りであるが、製作モデル作成時の課題として、現状の XML の仕様には、足場吊金具やスタッドなど数量の多い付属物、及び大半の橋梁に配置される排水金具や検査路などの付属物が定義されていない。これらは部材数が多いため、CAD 作業による追加には時間を要する。戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) にて、付属物の桁付き金具などの部材を XML に定義化されたが、それ以外の部材は独自に定義し、さらなる効率化を図る必要がある。

(5) 施工モデル作成

これまで経験と勘を頼りに 2D 図面で行っていた、旋回する重機と、下部工や隣接橋梁、近接する建物等との干渉確認は、3D モデルで動的に行うことにより精度が大幅に向上した。一方で、汎用ソフトにて重機の旋回、起伏動作を正確に再現し、反復検討することは大きな労力と工数を要する状況であり、今後最優先で改善が必要な項目である。

また、施工検討のためには主桁であれば架設ブロック毎、床版であれば打設ステップ毎にモデルが分割されている必要があり、施工単位に即した 3D モデルの作成効率化も課題である。加えて、現状施工検討作業を全て網羅できるシステムは存在しないため、様々な施工検討ソフトを使い分ける必要があり、これらのデータ互換性の

確保も今後大きな課題となる事が予想される。

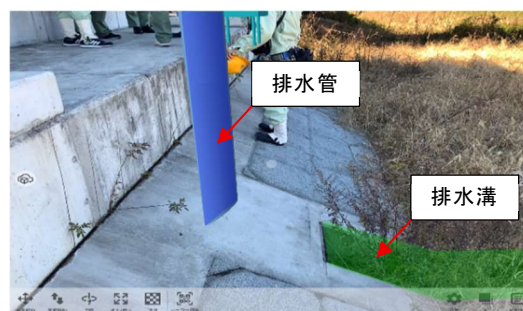


図 11 MR による付属物の取り合い確認例

5. 今後の展望

フロントローディング強化に向けて、受注後の初動対応及び 3D データ作成を円滑かつ効率的に行う必要があり、その方策について今後検討を行う。また意思決定や情報共有をタイムリーに行う社内体制の構築、3D データや AI を含む DX 活用による効率的かつ効果的な作業手順について検討を行う。

これまで XML ファイルに定義されていなかった端ブラケット、支点上補強材やジャッキアップ補剛材、付属物（排水、検査路）の本体付き金具など、設計情報属性ファイル交換標準（案）ver.2.0¹⁾で定義化され、先般、日本橋梁建設協会のホームページで公開された。今後この定義化された情報等を活用し 3D モデルを効率的に作成するなど更なる効率化を検討する。また、業務フローで作成した 3D モデルを更に活用するため、位置精度の高い MR (MixedReality: 図 11 参照) 技術で、工場出荷時における付属物の取り付け間違い防止や、現場施工における下部工検査路のアンカー位置の罫書間違い防止など、不具合防止に繋がる活用方法を検討する。

6. おわりに

今回、フロントローディングを強化し、工場製作や現場施工に連携し効率化することができる新しい業務フローを検討し、試行工事のなかで効果を確認した。その中で課題も多く見えてきている。業務へ本格的に適用するため、今後、抽出した課題を継続的に解決する取り組みを行う予定である。

津田高架橋の試行工事では、四国地方整備局徳島河川国道事務所の担当者に多くの助言をいただいた。ここに心より謝意を示す。

参考文献

- 1) 設計情報属性ファイル交換標準（案）ver1.2（2023 年 5 月）、ver1.3（2024 年 11 月）、ver2.0（2025 年 5 月）、日本橋梁建設協会
- 2) 本摩、松原ほか：橋梁 3D モデルのキャンバー自動変形処理、川田技報、Vol.19, pp17-22, 2000 年 1 月。