

(11) 業務プロセスを通じた橋梁の3次元データの流通と利用

Circulation and Use of 3D Data of Bridge Through Business Process

井星雄貴¹・青山憲明²・重高浩一²

Yuki IBOSHI, Noriaki AOYAMA, and Koichi SIGETAKA

抄録：本研究では、3次元データの利用が進んでいる橋梁分野を対象として、設計、施工、維持管理において、どのような3次元データをどのように流通・利用させれば業務の効率化・高度化につながるのか検討している。平成22年度は、「設計ミスの防止」、「工程上の安全性向上」、「維持管理性の向上」の観点から、構造物の基本的な位置情報であるコントロールポイントの座標や外形形状の3次元モデルを実工事で利用する現場試行を実施した。今回、現場試行の実施内容と、明らかとなった3次元データの流通・利用の効果と課題を紹介する。

キーワード：3次元, CAD, 橋梁, CALS

Keywords : 3D, CAD, Bridge, CALS

1. はじめに

国土交通省は、公共工事の調査、設計、施工、維持管理の各段階で発生する各種情報を標準化および電子化し、建設生産システムの全フェーズにおいて共通に利活用が図られるような電子データシステムの構築を目標に掲げている。国土技術政策総合研究所では、この目標を実現するために、2次元CADデータの円滑な流通やデータ利用のための技術、情報化施工や維持管理で利用する3次元データの標準化技術、3次元データ可視化技術の開発等に取り組んでいる。

本研究では、3次元データの利用が進んでいる橋梁分野を対象として、設計、施工、維持管理において、どのような3次元データをどのように流通・利用させれば業務の効率化・高度化につながるのか検討している。

平成22年度は、「設計ミスの防止」、「工程上の安全性向上」、「維持管理性の向上(被災や損傷の早期把握、早期復旧)」の観点から、構造物の基本的な位置情報であるコントロールポイントの座標や外形形状の3次元モデルを実工事で利用する現場試行を実施した。

2. 3次元データ利用の実態とニーズ

橋梁での3次元データ利用の実態については、設計段階での動的解析(FEM解析)、鋼橋の製作や仮組立検査等、一部において3次元データの利用が行われているが、

全体としては3次元データの利用は進んでいないことが判明した。また、施工に必要な3次元座標データや鋼橋製作に必要な3次元設計データ(線形データ)の流通、PC橋の過密鉄筋の干渉チェック、施工計画等の3次元モデルでの可視化・共有化等に3次元データ利用のニーズがあることが判明した¹⁾。

これらの現状と、受発注者ともに3次元CADが利用できる環境でないこと、3次元データ作成に要するコストが高いことを考慮して、無理のない範囲で3次元データの流通・利用を図る現実的な方針を次のとおり考案した。

- ① 設計から施工にコントロールとなるポイント(構造物設置基準点)の3次元座標図を流通させ、施工位置の間違いを防止する。
- ② 設計で外形形状の簡易な3次元モデルを作成し、部材の干渉等の間違いの防止や施工の安全性確認等に利用する。
- ③ 施工から維持管理への監視基準点の3次元座標を流通させ、災害時の変状の監視等に利用する。

3. 3次元データを利用した工事の試行

(1) 実施方法

上記の方針に基づいて、現場で3次元データの流通・利用効果が高く、現場のデータ利用環境で実現可能な試行シナリオを策定し、実際の工事で流通・利用の現場試行を行った。

1： 非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター 情報基盤研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地, Tel :029-864-4916, E-mail : iboshi-y8910@nilim.go.jp)

2： 正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター 情報基盤研究室

具体的には、予め事務所より詳細設計の2次元図面や設計業務報告書等入手し、これをもとに3次元データを作成し、作製過程での効果検証とともに、事務所職員や施工業者に作成した3次元データを見てもらい、利用効果や課題、新たな活用方法をヒアリングした。

(2) 試行対象工事

表-1 に示す着工前3 工事, 施工中2 工事を対象とし、現場試行を実施した。

(3) 実施内容

橋梁の3次元データ流通・利用のシナリオとしてa)座標図の作成, b)3次元モデルの作成, c)工事設計図書の照査, d)工事の施工性・安全性の照査, e)監視基準点の設置を設定した。試行のフローを図-1 に示す。

a) 座標図の作成【着工前工事】

橋梁の設計図面では、設計者によって座標の記載方法が違う(座標を記載する図面が違う、Z座標の記載がない等)、上部工の図面では小座標で記載されるため線形計算書を参照しなければ大座標(測地座標系)が分からないといった課題があり、現状として後の工程で座標が適切に活用されにくい。これら課題を踏まえ、座標の記載方法を統一した「座標図」を作成した(図-2)。

座標図は、以下の位置の座標を整理することを基本として、座標系は上部工, 下部工ともに大座標に統一するとともに、標高を加えた3次元座標で表示する。

表-1 試行対象工事の概要

| | 地整 | 工事内容 | 橋梁形式 |
|-----|---------|---------|-------------------|
| 着工前 | 北海道開発局 | 鋼橋上部工 | 3 径間連続非合成鋼桁橋 |
| | 中部地方整備局 | 鋼橋下部工 | 4 径間連続鋼床版箱桁橋 |
| | 中国地方整備局 | PC 橋上部工 | PC3 径間連結ポステン T 桁橋 |
| 施工中 | 関東地方整備局 | 鋼橋上部工 | 鋼 3 径間連続箱桁橋 |
| | 近畿地方整備局 | PC 橋上部工 | PC 3 径間連続箱桁橋 |

下部工:道路線形、底版中心点、底版側面・前面中心点、梁中心点、梁側面・前面中心点、支承中心点等
 上部工:道路線形、支承中心点等

b) 3次元モデルの作成【着工前・施工中工事】

試行対象工事の発注図面(設計変更があった場合は変更図面)に基づき3次元モデルを作成した(図-3)。3次元モデルの作成範囲は、上部工、下部工の外形状にコントロールポイントを付加した必要最低限の範囲とした。詳細構造部分のモデル化箇所を限定することは費用対効果やデータサイズの面からも得策であることから、後の設計図書の照査や施工時での活用等を想定して重点箇所を選定(上部工と下部工の取り合い部分である支承、落橋防止装置等)し、その部分を詳細に作成した。

また、施工工程の確認や現場での安全教育等で活用できるよう、必要に応じて施工ステップや重機の配置計画を反映させた3次元モデルを作成した。

なお、3次元モデルの作成においては、Autodesk 社の AutoCAD Civil3D 2011 及びNavisworks 2011を用いた。

P1橋脚座標値表

| | | X | | Y | Z |
|----|------|---|--------------|-------------|--------|
| | | | | | |
| 底版 | P1F1 | U | -138490.9052 | -36949.4213 | 6.640 |
| | | L | -138490.9052 | -36949.4213 | 4.940 |
| | P1F2 | U | -138478.2018 | -36953.9872 | 6.640 |
| | | L | -138478.2018 | -36953.9872 | 4.940 |
| | P1F3 | U | -138479.7237 | -36958.2221 | 6.640 |
| | | L | -138479.7237 | -36958.2221 | 4.940 |
| | P1F4 | U | -138492.4282 | -36953.6561 | 6.640 |
| | | L | -138492.4282 | -36953.6561 | 4.940 |
| | P1F5 | U | -138484.5540 | -36951.7043 | 6.640 |
| | | L | -138484.5540 | -36951.7043 | 4.940 |
| | P1F6 | U | -138486.0760 | -36955.9391 | 6.640 |
| | | L | -138486.0760 | -36955.9391 | 4.940 |
| | P1F7 | U | -138491.6572 | -36951.5387 | 6.640 |
| | | L | -138491.6572 | -36951.5387 | 4.940 |
| | P1F8 | U | -138478.9528 | -36956.1047 | 6.640 |
| | | L | -138478.9528 | -36956.1047 | 4.940 |
| | P1F9 | U | -138485.3150 | -36953.8217 | 6.640 |
| | | L | -138485.3150 | -36953.8217 | 4.940 |
| 柱 | P1H1 | - | -138491.4319 | -36951.8233 | 14.250 |
| | P1H2 | - | -138485.3150 | -36953.8217 | 14.340 |
| | P1H3 | - | -138479.1990 | -36956.0201 | 14.290 |
| 支承 | P1G1 | - | -138489.9788 | -36952.1462 | 14.250 |
| | P1G2 | - | -138486.7983 | -36953.2896 | 14.300 |
| | P1G3 | - | -138483.6197 | -36954.4309 | 14.340 |
| | P1G4 | - | -138480.4412 | -36955.5733 | 14.290 |
| 中心 | P1 | - | -138484.3614 | -36954.1644 | 14.340 |

■ : 道路線形
 ■ : 底版中心点
 ■ : 底版側面・前面中心点
 ■ : 支承中心点

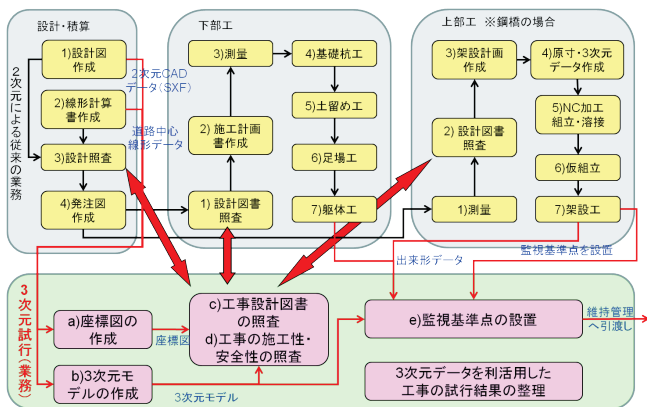


図-1 試行フロー

図-2 座標図 (北海道開発局)

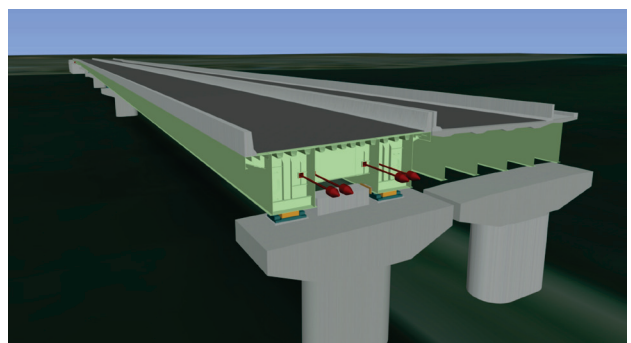


図-3 3次元モデル (中部地方整備局)

c) 工事設計図書の照査【着工前工事】

作成した3次元データを用いて工事設計図書の照査を行った。具体的には、座標図を活用した照査、3次元モデルの作成過程での照査、工事の施工性・安全性の照査を行った。

座標図を活用した照査では、座標図を上・下部工ともZ座標を入れた大座標で作成することで、上部工と下部工の取り合いの不整合がないかを照査する。

3次元モデルを用いた工事設計図書の照査では、座標図や2次元図面だけでは確認しづらい箇所(平面図, 正面図, 側面図間の不整合等)を照査した。たとえば、正面図と側面図で寸法形状が整合していないといった設計ミスは、2次元図面から3次元モデルを作成する過程で発見できる(図-4)。また、上部工と下部工の取り合いの確認は、座標図を用いても可能であるが、数値のチェックを前提としていることから、照査漏れのリスクを完全に排除することは難しい。このため、3次元モデルを活用し、上部工モデルと下部工モデルを重ね合わせることで、たとえば支承中心点が上部工で計算した座標と下部工で計算した座標とで一致するかを照査できる(図-5)。

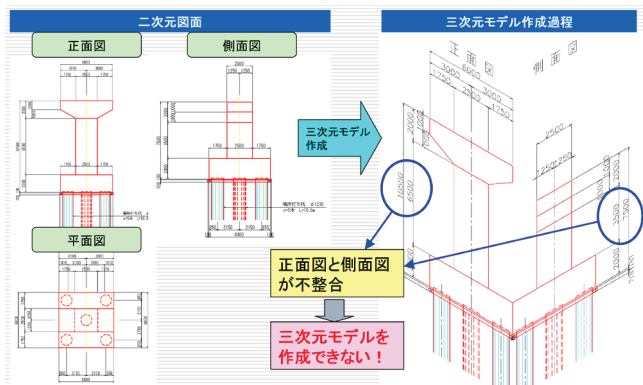


図-4 図面間の整合性照査のイメージ

d) 工事の施工性・安全性の照査

3次元モデルにより構造物の形状や施工手順を視覚的にイメージしやすくなる。このため、2次元図面ではわかりにくかった施工性・安全性を確認することにより作業員の安全教育がやりやすくなり、事故防止にもつながるものと期待される。そこで、施工ステップ図や重機配置計画の3次元モデルを作成し(図-6)、工事の施工性・安全性についても照査した。

e) 監視基準点の設置【施工中工事】

後の維持管理段階で監視すべき位置(監視基準点)を設置し、その3次元座標値を3次元モデルに明示(旗上げ)した。監視基準点は構造物の変位が把握できるように4面(橋台は3面)に設置することを基本とし、維持管理段階で測量できることを現地で確認した上で設定した。

設置方法については、風雨にさらされる環境条件を考えると、マーキング等では消失する恐れがあることから、監視基準点は堅固なものが望ましいため、測量鉾(かさ付)を設置することとした(図-7)。

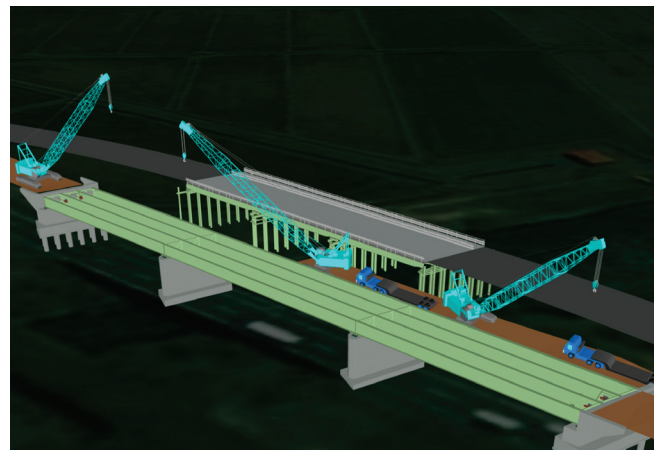


図-6 重機配置計画の3次元モデル(北海道開発局)

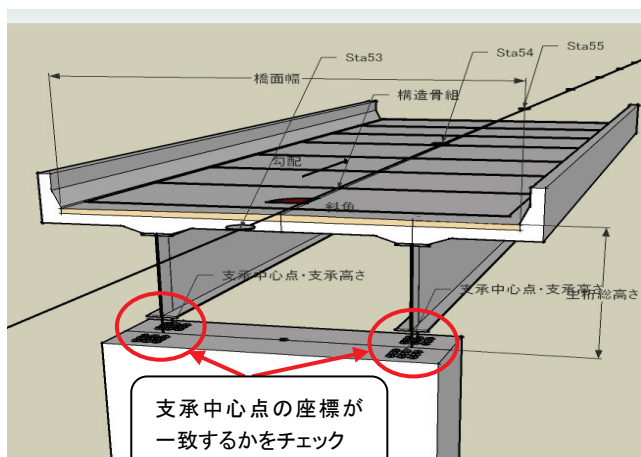


図-5 上・下部の取り合い照査のイメージ

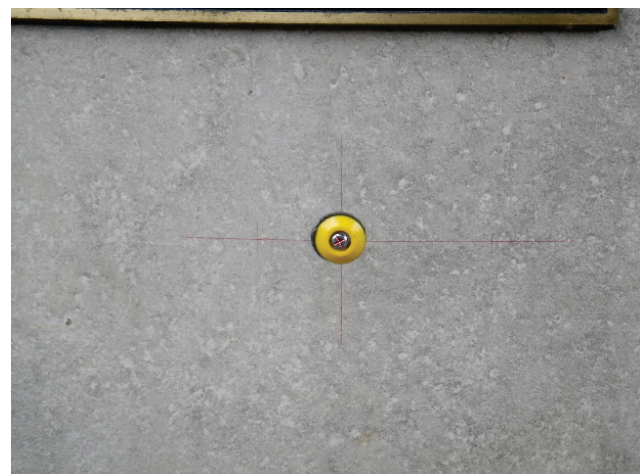


図-7 監視基準点(関東地方整備局)

4. 効果と課題の整理

(1) 効果

座標図や3次元モデルを利用した工事設計図書の照査結果の内、代表的なものを表-2に示す。図面間の不整合や空間的な把握不足による部材間の干渉等、従来の2次元図面の照査では気づきにくかった多くの不具合を、3次元データを利用することで容易に照査できることを確認した。これにより、これまで2次元図面において必要であった照査項目のうち、多くの項目は3次元データにより照査の手間が軽減されると考えられる。例えば、各地方整備局で整備している詳細設計照査要領で定めてある各照査の負担は、各設計により異なるが、約2～4割程度軽減でき、照査に要する手間（人件費）が軽減されると期待できる。

また、試行現場の事務所職員、施工業者に対し、3次元モデルを利用した照査結果を確認してもらったところ、3次元モデルを用いた照査の有効性が高いとの意見が多く、その効果が確認できた。特に、発注者の立場として、これまで詳細に確認しないと判明しなかった不整合が3次元モデルで容易に確認できること、設計段階で施工性、安全性を検証し、予め問題点を抽出できることから、発注者の照査が効率化できるといった意見があった。

3次元モデルの施工での利用についても、構造物の築造位置が明確になり施工しやすい、視覚化により施工性・安全性を照査できる、施工計画を作成しやすくなる等、間違いの防止や安全性向上に役立つといった意見が多く寄せられた。

監視基準点の設置に関しては、地山の変位が懸念される箇所に構築する橋梁では、監視基準点の活用により構造物の動きを知ることができる、といった意見があり、監視基準点を設置し3次元座標で管理することに対する必要性を確認した。

(2) 課題

3次元化利活用の標準化に向けた課題を以下のとおりまとめた。

表-2 代表的な照査結果

| 照査の観点 | 照査結果 |
|--------|---------------------------------|
| 図面間の整合 | 橋台の高さが図面間で不整合 |
| 図面間の整合 | 反力壁と主桁の離隔が上部工構造一般図と支承詳細図で不整合 |
| 図面間の整合 | 高欄の支柱の位置が高欄詳細図と橋台一般図で不整合 |
| 取り合い | 支承の寸法値が不足しておりサイドブロックの取り合いが照査不可能 |
| 干渉 | 点検口と下床版ハンチが干渉 |

座標図作成では、線形計算書にない位置の座標はCAD計算で求めたが、精度に問題があると考えられる。このため、必要な精度を検討して座標計算の方法を確立する必要がある。また、上部工では大座標で統一した座標図を作成したが、小座標の方がわかりやすいという意見もあることから、大座標と小座標の両方の座標図を作成する必要がある。

3次元モデルの作成では、外形形状のみを作成したが、それでも作成に1工事あたり15～25人日の工数がかかった。費用対効果を考えて、利用目的を明確にしたうえで、3次元モデルを作り込むレベルを検討する必要がある。

監視基準点の設置では、測定精度の良い光波測距測角儀で座標を計測したが、橋台・橋脚の高い位置（変状が計測しやすい位置）に設置した場合は足場が必要であるため、現場条件（検査路があるか、見通しが利くか等）十分に考慮して、設置位置や測量方法を検討する必要がある。また、ノンプリズム方式で計測する場合は、測定精度の検討も必要である。

その他にも、3次元CADソフトの導入費用が高いこと、設計変更等で外形形状に変更があった場合、3次元モデルの修正が必要なこと等の課題もあり、利用目的に応じた安価の閲覧ソフトの導入、設計変更時の3次元モデル修正の方法の検討等の対応が必要である。

5. おわりに

本研究では、3次元データ利用の実態とニーズ、3次元データの利用環境の調査等から、現時点で実現可能な3次元データの流通・利用のシナリオを策定し、実際の工事では試行し、効果と課題を整理した。効果も多々あったが、3次元モデル作成のコスト、現場での利用に必要な技術者の育成、利用環境の整備等、本格導入に向けて対応が必要な課題も多い。

これらの問題について引き続き検討を行い、実現可能で効果が高いところから、設計、施工、維持管理での3次元データの流通・利用を図ることとしている。

謝辞：ご協力頂いた関係各位に対して心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 遠藤和重, 青山憲明, 井星雄貴: 設計, 施工, 維持管理にわたる橋梁の3次元データ利活用の検討, 土木情報利用技術講演集, Vol.35, II-9, pp.33-36, 2010.