

40 その他

鋼橋出来形管理省力化システムの開発と有効性の検証

日本橋梁建設土木施工管理技士会

宮地エンジニアリング株式会社

監理技術者

西田 正人○

主任技術者

木村 光宏

品質保証 GL

松元 健一郎

1. はじめに

近年、働き方改革や建設DX推進の流れを受け、建設現場では省力化と少人化が強く求められている。鋼橋工事においても、従来の品質基準を維持しつつ、効率的な出来形管理を実現することが重要である。しかし、従来の管理手法では多くの工程で人手を要し、労働力不足が顕在化している。

この課題に対応するため、筆者らは鋼橋の出来形管理作業の省力化を目的に、「建設DXに資する鋼橋出来形管理省力化システム（以下、本システム）」を開発した。

本稿では、本システムの概要と、図-1に示す実工事での実証実験を通じた検証結果について、概説する。

工事概要

- (1) 工事名：R4東関道JR鹿島線橋上部工事
- (2) 発注者：国土交通省 関東地方整備局
- (3) 工事場所：茨城県潮来市小泉地先
- (4) 工期：令和4年11月29日

～令和7年3月31日



図-1 JR鹿島線橋上部工事全景

(5) 橋梁形式：鋼7径間連続2主鉄桁（橋長304m）

2. 出来形管理作業の課題

鋼橋における出来形管理の主な目的は、規定値と実測値を比較し、その差が許容値内であることを確認するとともに、管理帳票を作成して記録に残すことである。

鋼橋では、図-2に示すように、施工段階に応じて出来形形状が製作系、架設系、完成系と変化するため、各段階における管理値（規定値）をそれぞれ算出する必要がある。従来の作業では、この規定値を設計図から管理寸法として読み取り、工場では仮組立の値（全死荷重キャンバー、支点の回転、縦断の倒れを考慮）や、現場では架設ステップに応じた値（後死荷重キャンバーなど）を算出し、手作業で管理帳票に記録している。

一方、実測値はレベルやセオドライブ、トータルステーション（以下、TS）を用いて計測し、手書きで記録した後、管理帳票にデータ入力を行っていた。この一連のプロセスには、多大な労

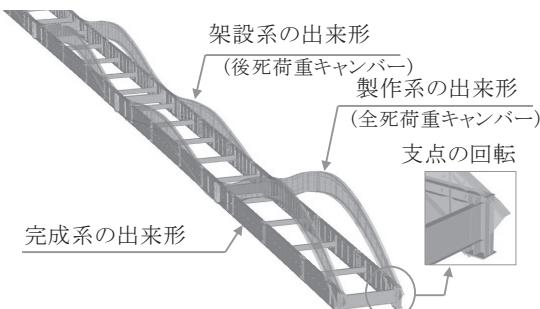


図-2 鋼橋の出来形形状の変化

力と時間を要し、出来形管理作業の効率化を阻む大きな課題となっている。

3. 工夫・改善点

3-1 システム開発

従来の作業では、出来形管理帳票に規定値、許容値、測定値をすべて手作業で入力している（図-3）。

この入力作業をすべて自動化することができれば、大幅な少人化と省力化が実現できると考えた（図-4）。

そこで、既に工場製作で使用されている自動原寸システムの3次元データを基に、仮組立の出来形管理帳票を作成する「仮組立情報処理システム（A-sys）」の活用を検討した。このシステムを架設現場向けに拡張し、3次元計測データを管理帳票に自動記入する機能を追加することで、設計から工場製作、架設現場まで一貫した出来形管理を可能にするシステムの開発を目指した（図-5）。本システムの作業手順は以下の通りである。

- ①自動原寸システムから出力される、キャンバー（製作系や架設系）を付与した3次元出来形標準フォーマット（XML形式のABIファイル）を本システムに読み込む。これに支間長やそりなどの測定位置を追加し、計測指示データ（CSV形式）を出力する。
- ②TSから取得した計測データ（CSV形式）を、計測データ変換プログラムを用いて座標照合プログラム用の中間ファイル（MDI形式）に変換し、出力する。
- ③座標照合プログラムを使用して、設計データと計測データのデータ照合（突合処理）を行う。
- ④手順③で作成されたExcelデータを本システムに読み込み、出来形管理帳票（Excel形式）を出力する。

3-2 出来形管理の効率化

(1) 架設系出来形管理値の算出

工場仮組立（製作系）での管理値は、全死荷重キャンバー（多点支持無応力状態での仮組立形状）の値を用いている。このため、本システムを用い

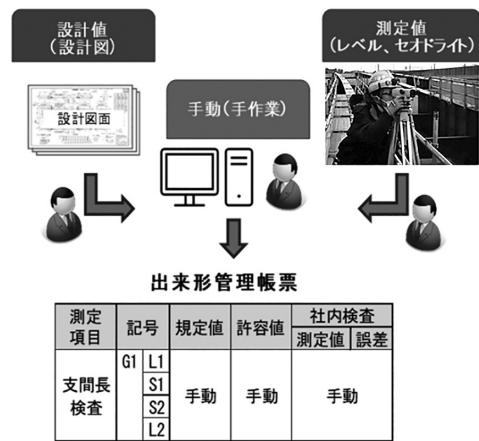


図-3 従来作業

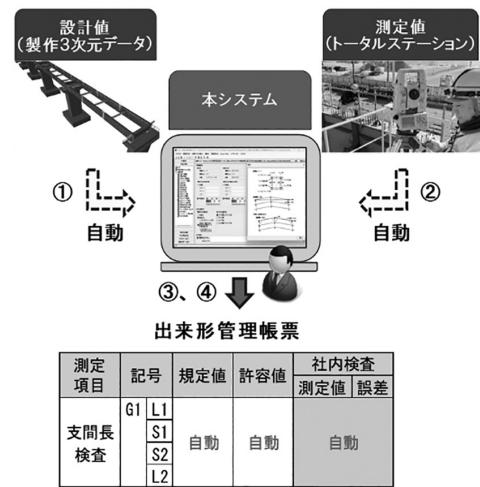


図-4 本システム

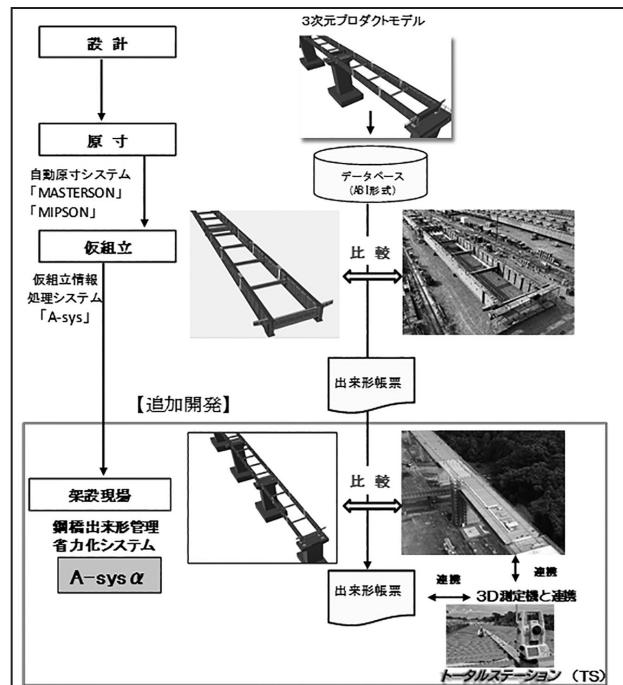


図-5 本システムのフロー

て現場架設用の管理値（架設系）を作成するためには、架設ステップに応じた管理値（後死荷重キャンバー考慮した3次元データ）が必要である。

そこで、3次元データを作成できる自動原寸システムのキャンバー入力データを、現場架設用に変更することで、製作系と同じ手順で架設系管理値の算出を可能にする。

3-3 計測作業の工夫

(1) オフセット計測

現場での計測は、架設用吊り金具など、計測上の障害物の影響で主桁中心などの必要なポイントを直接計測できない場合が多い（図-6）。そこで、事前に障害物を特定し、本システムのオフセット機能を使用することで、計測可能な位置にずらした管理値を算出して対応した。

(2) TS（自動追尾型）の活用

現場における主な計測項目は、以下の3項目（道路橋示方書の出来形管理組立精度）である。

- ・支間長（全長）： $\pm (20 + L/5)$ mm
- ・そり（キャンバー）： $\pm (25 + L/2)$ mm
- ・通り： $\pm (10 + 2L/5)$ mm

※Lは支間長（m）

従来の計測作業では、支間長（全長）および通りをTS（手動）で、そりをレベルで計測していた。

しかし、そりの計測をTSで行うことで、これら3項目の出来形管理を一度の計測で行うことが可能となる。また、TS（自動追尾型）を使用することで、通常は2人で行う計測作業を1人で実施できるようになり、作業効率の向上と省力化が図れる。そこで、レベルとTSの鉛直（高さ）方向の計測精度を、使用した機器のカタログスペック（表-1）に基づいて比較する。

そりの計測で使用するレベルの最大視準距離は、カタログスペックで約100mとされている。一方、TSで100m先の高さを計測した場合の誤差は次の式で算出される：誤差 = $\tan(1') \times 100m = \pm 0.5mm$ 。さらに、後視と前視を考慮すると、誤差は次のようになる： $0.5 \times 2 = 1.0mm$ 。

これにより、TSはレベルと同等以上の精度を

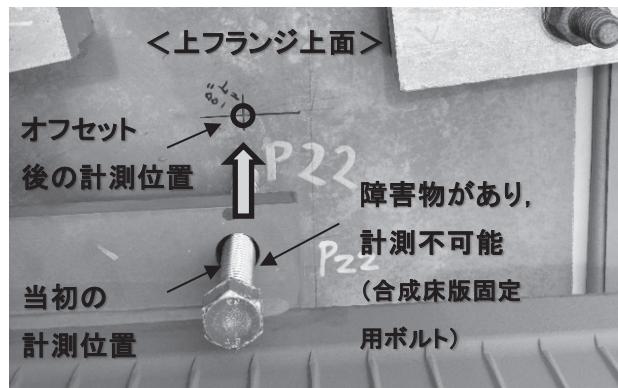


図-6 計測位置のオフセット機能

表-1 鉛直（高さ）方向の計測精度

	測定機名称		
	TS（1級）NET1AX II	電子レベル（2級）SDL30	アナログレベル（3級）参考
鉛直角精度（高さ）	1°以下	—	—
カタログスペック	※1 ± 0.5mm	※2 ± 1.2mm	※3 ± 2.0mm
100m先の誤差			

※1 1°は、100m先で0.5mmの誤差

※2 3.1km区間の往復計測をした場合に1.2、2.0mmの誤差

持つため、そりを計測する機器として十分実用に耐える精度であると考えている。

4. 検証結果

本工事で実施した工夫や改善項目について、従来方法と比較した結果は以下とおりである。

4-1 作業時間の比較（現場）

<従来方法>

- ①計測指示用出来形帳票の作成 ··· 1人 × 8時間
 - ②計測時間：支間長・通り(TS) ··· 2人 × 1.5時間
 - ③計測時間：そり（レベル） ··· 2人 × 2.5時間
 - ④データ整理・入力 ··· 1人 × 2時間
- 合計作業時間 ··· 18時間

<本システム>

- ①計測指示用出来形帳票の作成 ··· 1人 × 1時間
 - ②計測時間：支間長・通り(TS) ··· 2人 × 1時間
 - ③計測時間：そり(TS) ··· 1人 × 2時間
 - ④データ整理・入力 ··· 1人 × 1時間
 - ⑤準備作業(架設時3次元データ) ··· 1人 × 1時間
- 合計作業時間 ··· 7時間

- (1) 出来形帳票の作成においては、架設ステップごとの3次元データを準備しておくことで、

帳票作成が大幅に効率化される。ただし、視認性の高い計測位置図などは、必要に応じて手作業での対応が必要となる。

- (2) 計測作業においては、TSを使用したそりの計測やワンマン計測を行うことで、作業時間を5時間程度短縮できる(図-7)。ただし、合成床版およびスタッドを回避するため、ターゲット(360°プリズム)の高さを桁上面からに400mmに設定した。この際、気泡管を用いてターゲットを鉛直に保つ必要があるため、支間長および通りの計測精度を確保する目的で2人計測を実施した。
- (3) データ入力・整理作業においては、データ入力や整理作業の効率化により、作業時間を1時間程度短縮できる。しかし、図-5本システムのフローに示すように、本システムでは3つのプログラムを使用する必要があり、作業手順がやや複雑である。そのため、更なる効率化を図るために、プログラム間の連携を改善する必要があることが判明した。

4-2 そり計測精度の検証

同日同箇所において主桁のそりを電子レベルとTSで計測し、規定値との誤差を比較した(表-2)。

レベルとTSの差は最大で3.6mmであり、標準偏差は1.4mmであった。この結果、1級のTSを用いることで、架設時の管理値の許容誤差である±46mmや仮組立検査の管理値-5~+15mmでの出来形管理も可能である。

4-3 計測における課題と更なる検討

実証実験を通じて計測における課題も判明した。現場では手摺等の作業用安全設備が設置されているため、場所によってはTSから視準できる高さまでターゲットを鉛直方向に上げる必要がある。

ターゲットを高くした場合、支間長・通りの計測誤差が大きくなることが懸念される。今後、最大400mmで使用しているターゲットの高さを1200mmに高くした場合などで、計測精度に問題ないか検討していく。



図-7 支間長・通り・そり計測 (TS)

表-2 そり計測結果の誤差比較

	主桁そり G1			主桁そり G2		
	TS誤差	レベル誤差	差	TS誤差	レベル誤差	差
P21	-1.1	-2.5	+1	-3.1	-2.3	-1
C20	-0.3	-1.4	+1	-1.9	-1.7	±0
C21	-0.7	-1.8	+1	-3.6	-3.8	±0
C22	-2.8	-2.7	±0	-3.7	-4.3	+1
C23	-5.0	-3	-2	-2.7	-1.8	-1
C24	0.9	-1.8	+2.7	-1.8	-1.6	±0
P22	-3.7	-4.5	+1	-1.7	-2.9	+1
C25	-4.4	-3	-1	-1.7	-0.1	-2
C26	-5.9	-6.8	+1	-3	-2.3	-1
C27	-6.3	-6.9	+1	-3.8	-3.5	±0
C28	-2.0	-2.2	±0	-2.1	-1.8	±0
C29	2.5	3.1	-1	0.9	1.6	-1
P23	0.2	0	±0	1.2	-0.6	+2
C30	1.3	1.9	-1	-1.1	0.1	-1
C31	-3.0	-2.3	-1	-6	-4.7	-1
C32	-5.0	-3.6	-1	-7.7	-5.7	-2
C33	0.1	1.8	-2	-5.2	-1.6	-3.6
S2	3.5	2	+2	0	0	±0
差 = TS誤差 - レベル誤差			差の標準偏差 S = 1.4			

5. おわりに

本論文で検証した「鋼橋出来形管理省力化システム」とTSを使用した出来形管理は、現場作業時間の大幅な削減を実現し、省力化・省人化に有効であることが確認された。また、手作業による測定値の記録ミスや出来形帳票への入力ミスを防止する効果も明らかとなった。一方で、幾つかの課題も判明したため、更なる改善に努めていきたいと考えている。

今後、国土交通省の「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」の適用工種に、鋼橋の仮組立検査および現場架設完了組立検査が追加され、さらに、設計情報属性ファイル等の情報連携が進めば、BIM/CIM導入の効果が一層拡大することが期待される。最後に、現場検証を実施する場をご提供いただいた国土交通省 関東地方整備局 常総国道事務所はじめ、関係者の皆様に深く感謝申し上げます。