

# 鋼上部工への情報化施工の適用について

## — 十九洲高架橋への試行 —

### REPORT ON MEASURING DEVICE (TOTAL STATION) AND COMPUTERIZED CONSTRUCTION METHOD OF STEEL PLATE GIRDER BRIDGE

田村 有治<sup>1)</sup> 江頭 慶三<sup>2)</sup>  
Yuji Tamura Keizo Egashira

近年国土交通省が推奨している情報化施工技術は土工や舗装工事において、試行的な段階から一般化、実用化技術として推進されている状況である。その技術の中の一つであるトータルステーションを活用した出来形管理技術は、高さの計測誤差がレベル測量と比べて大きく、ミリ単位の高さ管理が求められる鋼橋上部工には適用できなかった。しかしながら、測角精度 0.5" (従来タイプの4倍以上の精度向上) の高精度のトータルステーションが開発されたことから、昨年度よりこれを用いた鋼上部工用出来形管理システムを開発し、実橋への適用を行ったので、その実用性と出来形精度向上について紹介する。

#### 1. まえがき

平成 20 年に国土交通省、大学などの研究機関、および民間が協力して「情報化施工推進会議」が設置され、それ以降に策定された「情報化施工推進戦略」により、国内の建設工事に情報化施工が積極的に推進されている<sup>1)</sup>。これは建設産業における様々な課題に対して施工の合理化・迅速化や安全性向上、および建設技術の高度化による国際的な競争力の向上を目的としている。

その技術の中でトータルステーション (以下、TS とする) を活用した出来形管理技術は土工や舗装工事を中心に発展しているが、鋼橋上部工に適用された事例はなく、これを活用して品質や安全性の向上、および施工の合理化に向けて取り組むことが、鋼橋施工技術の向上に繋がると考えられる。そこで TS の機器の持つ性能を最大限活用した出来形管理および現場応用技術を含むシステムの開発と実工事での試行を実施したので、本技術の効果とその中で抽出された課題について述べる。

#### 2. 鋼橋上部工用情報化施工技術の概要

##### 2.1 TS の性能について

土工工事における TS 出来形管理技術で使用される器機は国土地理院が定める 2 級または 3 級相当の精度のものであり、鋼橋上部工に用いた場合、誤差が大きいため不向きである。これは TS の測角誤差が 3 級精度のもので 7" 程度であることが要因である。つまり、3 級精度の器機では測距誤差は小さいものの、測角機能を用いる高さ計測では 100m の距離に対して 3mm 以上の誤差を有し、さらに計測者誤差が加わるため、一般のレベル測量より大きな誤差が生じる可能性があった。その後、1 級水準

表-1 TS の性能比較

性能比較	鋼橋上部工出来形精度	土工・舗装工事出来形精度
国土地理院 級別性能基準	1級TS	3級TS
測角部 精度	0.5"	7"
測角部 2軸自動補正機構	有り	有り
測距部 測定可能範囲	1.3~3,500m	1.3~4,000m
測距部 最小表示	0.00001m	0.001m
測距部 精度	(0.8+1ppm×測定距離)mm 例えば100mで0.9mmの誤差	(2+2ppm×測定距離)mm 例えば100mで2.2mmの誤差
自動視準機能性能	1" (1mm@200m)	機能無し

当社が保有する1級TSを使用した場合

※1秒の精度とは  
3600分の1度のことである。  
1度=60分 1分=60秒

0.5秒

鉛直角

水平角

0.5秒精度とは  
100m先で  
約0.25mm

本機には2軸自動水平補正機構が内蔵されており、±6°まで傾斜した場合でも自動で補正し、常に高精度の測角が可能。

の高精度 TS が開発され (測角誤差 0.5" となり 3 級の 1/14 に向上), さらに計測点の自動視準化とその精度向上により計測者誤差が加算されないことで、高さの計測誤差が極めて小さくなり、レベル測量以上の精度確保ができるようになった。したがって、この TS の活用により、新たな出来形管理システムの開発が可能となった (表-1)。

##### 2.2 鋼橋上部工用システム開発の概要と特徴

従来、架設現場における鋼橋上部工の出来形精度管理の方法として、例えば全長や桁の通りなどの平面寸法は

1) 工事本部 橋梁工事事務 工事 2 課

2) 橋梁営業本部 橋梁技術研究室

トランシットにより行い、主桁のそり（キャンパー）はレベル計測により行ってきた。このような出来形管理方法は平面情報(X,Y)と高さ情報(Z)を別々に管理するもので、鋼桁の形状を一元管理するものではない。また、工場製作時に用いた3次元座標は、必ずしも現場で有効に活用されている状況ではなく、時には仮組立時の精度が現場での様々な制約条件により確保できないケースもある。そこで鋼桁の設計、製作で使用した3次元座標を現場での出来形管理にも活用し、さらに施工ステップ毎の形状の変化（キャンパー管理）も一元化することで、効率的に出来形精度を向上させることが可能と考えられる。

以上のことから、鋼桁の出来形に関する情報データの共有化と精度管理のシステム化を検討し、その実現には従来の計測機・管理手法では限界があり、以下のような計測と応用技術を有する器機（TS）を利用することが効果的である。

- ・測距・測角精度が高いこと
- ・得られたデータの蓄積と活用が容易であること
- ・得られたデータの形式が統一化され汎用性があること
- ・計測と同時に、リアルタイムで設計値との比較や誤差の確認ができるプログラムを組み込んで出来形管理システムとして発展させることができること

このような条件を満足する器機として、高精度 TS：TOPCON-MS series を選定し、鋼橋上部工の出来形管理システムとして本機の制御とデータ整理や出来形の帳票作成までを自動化するプログラムの開発を行い、並行で出来形精度の実証を行うため、現場試験を実施することとした。

なお、本機は精度に優れるだけでなく、Bluetooth 機能<sup>2)</sup>を内蔵し、パソコンやタブレットを用いて遠隔操作が可能である。さらに Windows7 の OS 上で3次元座標を自在に加工することが容易で汎用性が高いことも選定の理由である。

### 3. 十九洲高架橋での出来形精度の確認試験

開発したシステムを用いて下記の工事にて、試験的に工場の仮組立時と現場架設後に計測を行った（図-1）。

- 工事名：近畿自動車道紀勢線十九洲高架橋上部工事
- 工事箇所：和歌山県西牟婁郡白浜町十九洲地先
- 発注者：国土交通省近畿地方整備局  
紀南河川国道事務所
- 計測日：平成25年7月1日～平成25年10月1日
- 構造形式：鋼4径間連続合成少数I桁橋1連
- 橋長：143.0m（支間長：27.85m+2@38.0m+36.85m）
- 総幅員：9.26m～10.15m

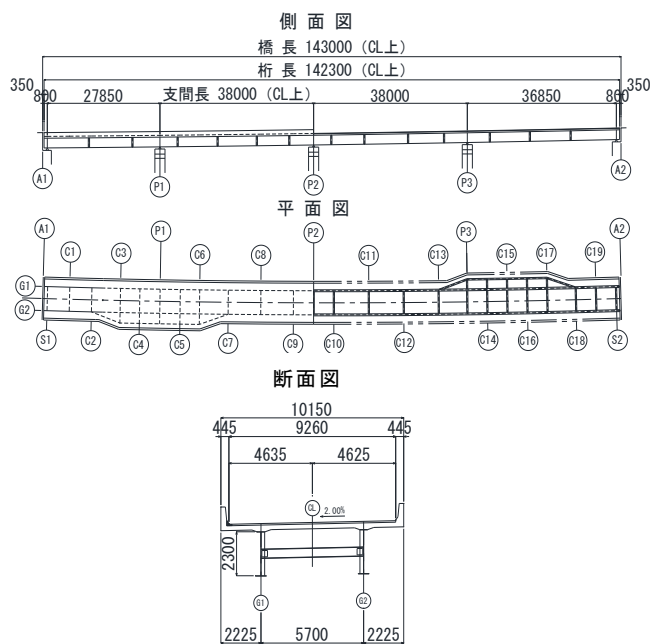


図-1 一般図



写真-1 TSによる自動計測状況

#### 3.1 工場計測（鋼桁仮組立時での計測）

工場仮組立時に主桁と横桁の交差部（格点部）にピンミラー（ピンポールプリズムとも呼ぶ）を鉛直に固定し、A1側に計測架台とTSを設置し、自動視準機能を用いて格点位置の3次元座標を取り込んだ（写真-1）。なお、仮組立では多点支持状態での精度管理が基本であるが、本橋では現場でのベント配置が不均等かつ箇所数が少ないといった制約があるため、現場架設時のベント支持状態も工場再現し、多点支持状態とベント支持状態の2種類の計測を行った。

図-2に多点支持状態での製作そりの計測結果（設計値との誤差）を示す。TSとレベル測量との差は最大で3mm程度であり、視準誤差や機械誤差を考慮しても両者の差は僅かであることが分かった。したがって本システムを用いた計測方法は十分に実用化出来ることが確認出来た。

次に、工場でペント支持状態を再現した状態での製作そのの計測結果を図-3 に示す。誤差は概ね工事共通仕様書に示される規格値の 50%の範囲内に収っており、高い精度で鋼桁が製作されていることが確認出来た。

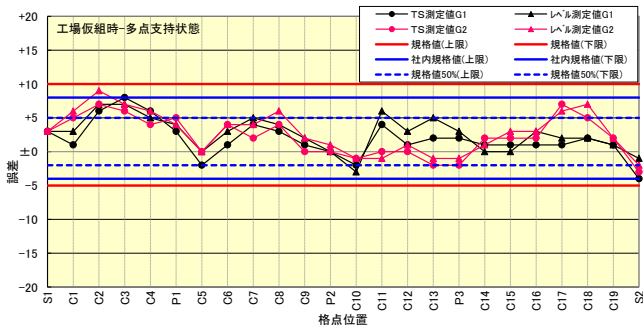


図-2 工場仮組時-多点支持状態計測結果

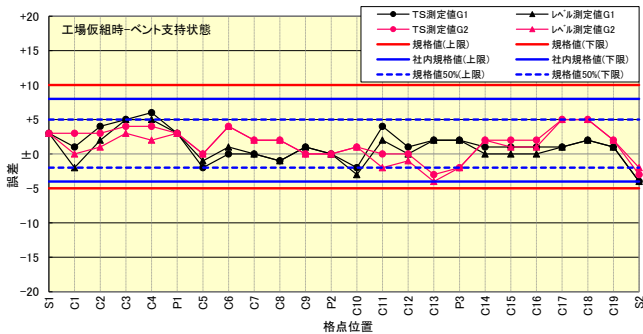


図-3 工場仮組時-ペント支持状態計測結果

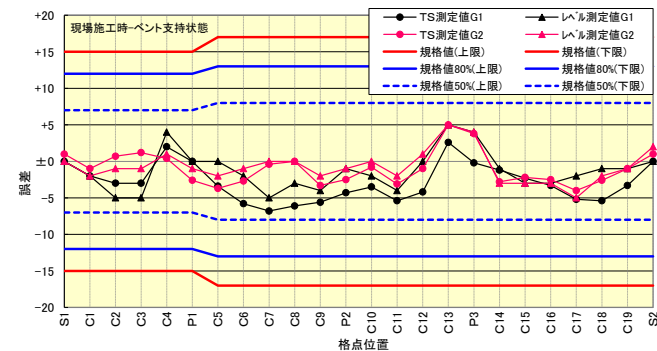


図-4 現場施工時-ペント支持状態計測結果

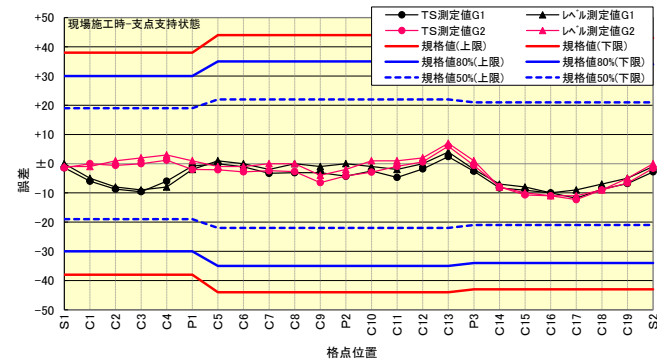


図-5 現場施工時-支点支持状態計測結果

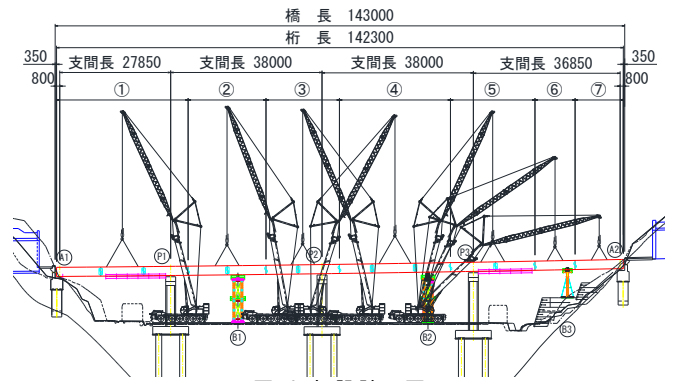


図-6 架設計画図



写真-2 高精度 TS による自動計測状況

### 3.2 現場計測(鋼桁架設完了時での計測)

鋼桁架設完了後のペント支持状態ならびにペント解放後の支点支持状態での計測結果を図-4,5 に示す。ペントの位置は図-6 の架設計画図に示すとおり、設置する箇所が制限され、不均等な配置であるが、すべての測点で規格値の 50%内に収まっており、本システムの利用によって精度の高い出来形管理が行えたと考えられる。

なお、現場における TS の設置箇所は写真-2 に示すとおり、A2 側のトンネル杭口上部に配置し、1 箇所から全格点を自動視準により行った。

### 3.3 橋面工の出来形管理

床版および壁高欄のコンクリートの施工が完了した後に、橋面上の出来形計測にも TS を活用し、従来から行っている以下の計測方法も加えて比較を行った(写真-3)。

- ・レベルを用いた床版上面高さ
- ・計測器具(鋼製テープ・定規・水平器)を用いた有効幅員、地覆幅、高欄高さ
- ・トランシットを用いた全長、支間長、桁の通り確認

図-7 に床版上面高さの出来形計測結果について示す。全ての格点において規格値の 80%以内に収まっており精度良く橋面上が仕上がっていることが確認出来た。



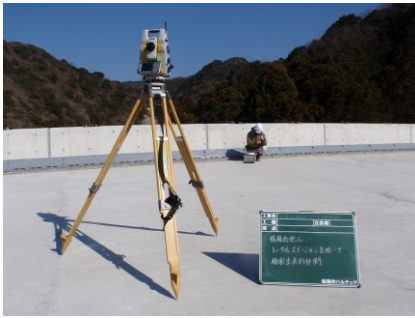


写真-3 TSによる橋面出来形計測

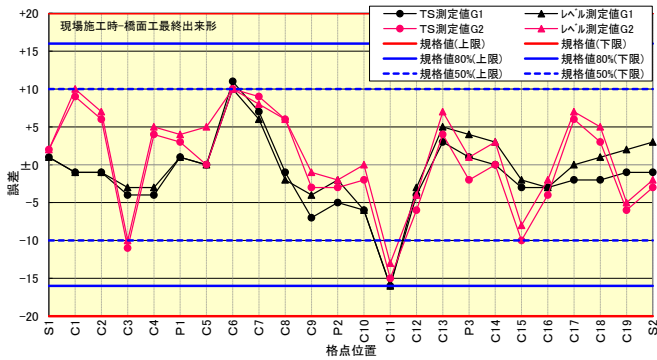


図-7 主桁上床版高さ

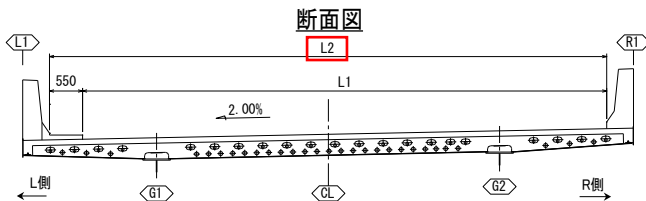


図-8 有効幅員計測位置

表-2 有効幅員計測値一覧 (抜粋)

有効幅員		計測器具使用		TS使用	
		L2	L2	L2	L2
S1	設計値	9,260	9,260	9,260	9,260
	測定値	9,274	9,273	9,273	9,273
	差	+14	+13	+13	+13
C1	設計値	9,260	9,260	9,260	9,260
	測定値	9,280	9,278	9,278	9,278
	差	+20	+18	+18	+18
C4	設計値	11,010	11,010	11,010	11,010
	測定値	11,025	11,026	11,026	11,026
	差	+15	+16	+16	+16
P1	設計値	11,010	11,010	11,010	11,010
	測定値	11,023	11,021	11,021	11,021
	差	+13	+11	+11	+11
C5	設計値	11,010	11,010	11,010	11,010
	測定値	11,025	11,024	11,024	11,024
	差	+15	+14	+14	+14
C7	設計値	9,260	9,260	9,260	9,260
	測定値	9,278	9,277	9,277	9,277
	差	+18	+17	+17	+17
C9	設計値	9,260	9,260	9,260	9,260
	測定値	9,281	9,280	9,280	9,280
	差	+21	+20	+20	+20
P2	設計値	9,260	9,260	9,260	9,260
	測定値	9,280	9,279	9,279	9,279
	差	+20	+19	+19	+19
C10	設計値	9,260	9,260	9,260	9,260
	測定値	9,279	9,280	9,280	9,280
	差	+19	+20	+20	+20
C13	設計値	9,260	9,260	9,260	9,260
	測定値	9,279	9,278	9,278	9,278
	差	+19	+18	+18	+18
P3	設計値	11,000	11,000	11,000	11,000
	測定値	11,016	11,014	11,014	11,014
	差	+16	+14	+14	+14
C14	設計値	11,000	11,000	11,000	11,000
	測定値	11,017	11,018	11,018	11,018
	差	+17	+18	+18	+18
C18	設計値	9,260	9,260	9,260	9,260
	測定値	9,280	9,279	9,279	9,279
	差	+20	+19	+19	+19
S2	設計値	9,260	9,260	9,260	9,260
	測定値	9,282	9,280	9,280	9,280
	差	+22	+20	+20	+20

次に有効幅員の計測結果を図-8、表-2に、壁高欄の出来形寸法の計測結果を図-9、表-3に、加えて桁長・支間長の計測結果を図-10、表-4に示す。TSとレベル計測の差については工場での計測結果と同様に、最大で3mm以内に収まっているため、精度および計測方法に問題は無く、かつ出来形精度が確保されていることが確認出来た。

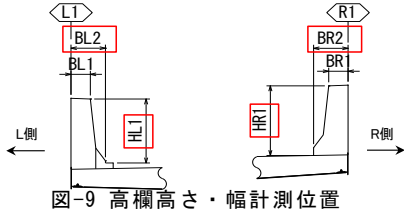


表-3 高欄高さ・幅計測値一覧 (抜粋)

構造物名	計測器具使用				TS使用				
	L側高欄		R側高欄		L側高欄		R側高欄		
箇所	高さ	幅	高さ	幅	高さ	幅	高さ	幅	
S1	測点	HL1	BL2	HR1	BR2	HL1	BL2	HR1	BR2
	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	905	447	996	448	906	448	997	448
C1	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	911	450	999	451	910	450	998	451
	差	+1	+5	+9	+6	+0	+5	+8	+6
C4	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	910	451	984	451	911	452	986	452
	差	+0	+6	-6	+6	+1	+7	-4	+7
P1	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	906	447	983	448	908	446	984	447
	差	-4	+2	-7	+3	-2	+1	-6	+2
C5	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	914	450	999	448	915	451	998	448
	差	+4	+5	+9	+3	+5	+6	+8	+3
C7	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	907	452	986	449	908	453	988	449
	差	-3	+7	-4	+4	-2	+8	-2	+4
C9	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	914	452	998	451	915	452	996	452
	差	+4	+7	+8	+6	+5	+7	+6	+7
P2	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	911	446	982	450	911	446	984	447
	差	+1	+1	-8	+5	+1	+1	-6	+2
C10	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	912	453	997	448	911	451	994	450
	差	+2	+8	+7	+3	+1	+6	+4	+5
C13	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	913	453	981	450	912	452	985	452
	差	+3	+8	-9	+5	+2	+7	-5	+7
P3	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	912	446	997	451	911	447	996	452
	差	+2	+1	+7	+6	+1	+2	+6	+7
C14	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	916	453	985	452	915	454	987	453
	差	+6	+8	-5	+7	+5	+9	-3	+8
C18	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	907	451	994	446	909	452	995	445
	差	-3	+6	+4	+1	-1	+7	+5	+0
S2	設計値	910	445	990	445	910	445	990	445
	測定値	908	445	998	451	910	445	999	448
	差	-2	+0	+8	+6	+0	+0	+9	+3

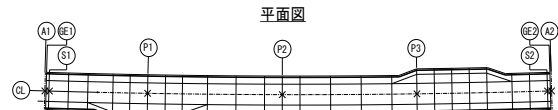


表-4 桁長・支間長計測値一覧

桁長・支間長計測		S1~P1間	P1~P2間	P2~P3間	P3~S2間	S1~S2間	桁温
CL	規定値 (標準温度)	27,850	38,000	38,000	36,850	140,700	
	実測値 (桁温) =12℃	27,852	38,000	37,997	36,847	140,696	12℃
	標準温度換算実測値	27,855	38,004	38,001	36,851	140,710	20℃
	標準温度換算差	+5	+4	+1	+1	+10	20℃
TS使用	測定値	27,848	38,002	37,997	36,847	140,694	14℃
	標準温度換算実測値	27,850	38,005	38,000	36,850	140,704	20℃
	標準温度換算差	0	+5	0	0	+4	20℃

さらに写真-3 のとおり、今回開発したシステムを用いると、橋面工の出来形計測は一人で TS を遠隔操作して行うことができる。この時、図-11 に示す TS 操作および計測用 PC の画面上で、事前に入力された設計値との比較や帳票作成をリアルタイムで行い、その場で確認することができるため、計測ミスなどによる再計測などの手戻りを未然に防ぐとともに、帳票作成の手間が省け、作業の大幅な合理化が可能である。

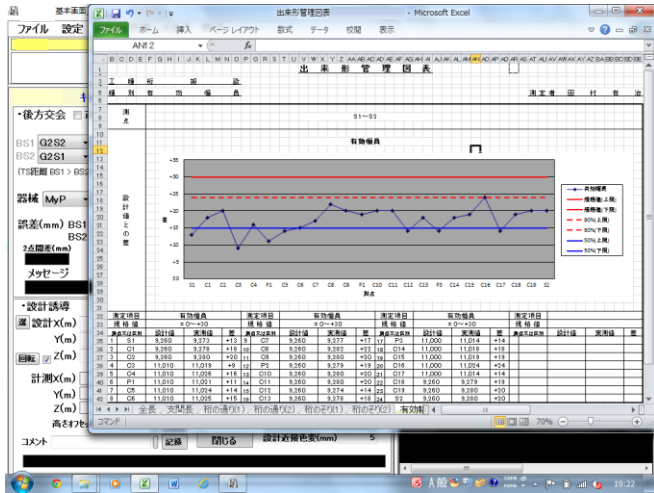


図-11 現場でのリアルタイムの帳票作成と精度確認画面

3.4 実橋での適用性について

3.3 で述べたとおり、橋面工施工完了後は鋼製テープ、水平器、鋼巻尺を用いて出来形を計測するのが一般的である。また、桁長や支間長計測では、従来の TS を用いた距離計測によることが多い。このような方法で計測する場合の誤差の要因を以下に示す。

- ・計測機器、計測方法が異なるため、全ての項目を計測するのに時間を要し、計測時間の中で鋼桁やコンクリート部材の温度変化による伸縮の影響を受ける。
- ・計測は、複数人を要し、長時間拘束される。計測者が複数となることで個人差の誤差も生じる。
- ・計測後のデータまとめは人間が行うため、計測時の読み間違い、記入間違い、計測データまとめ時の入力間違いなどのヒューマンエラーが生じる可能性がある。以上の誤差要因に着目して、本システムを用いた場合の優位性について、以下に列挙する。
- ・計測は測点の 3 次元座標を取り込むため計測工程は 1 度で済み、大幅な時間短縮が図れる。本橋では早朝に 1 主桁(約 30 格点)を約 20 分で計測完了した。したがって、計測中の温度変化による部材の伸縮の影響はほぼ無かったと考えている。
- ・計測を 1 人で行えば工数の削減にも繋がり、合理化と

計測誤差の低減が期待できる。

- ・計測値と予め入力された座標値との比較を器機内部で行うので、リアルタイムに設計座標と誤差を確認することが可能なため、現場での早期修正や検査立会い時の精度確認に有効である。
- ・計測した結果は器機本体に自動的に取り込まれ、データ処理に人間が介在しないので、ヒューマンエラーが発生しない。

4. まとめ

実橋での高精度 TS を用いた鋼橋上部工出来形精度管理システムの確認試験の結果から以下の結論を得た。

- (1)工場仮組立から現場まで一貫した本システムによる計測により、以下の誤差を防ぐことができ、橋梁上部工全体の出来形精度を向上させた。
  - ・異なる計測機器を組み合わせた場合の計測誤差
  - ・異なる測定者による計測（読み取り）誤差
  - ・計測時の気温変化による部材の伸縮による誤差
- (2)現場計測地点でのリアルタイムな設計値と計測結果の比較による架設精度の確認と調整作業への反映、および帳票の表示による発注者への出来形状況の説明などが可能となった。本工事ではこの点が特に精度向上に寄与したものと考えられる。
- (3)本 TS を用いた計測は 300m 程度の橋長であれば、器機の移動（盛り替え）をしないで計測可能であるので、これに伴う誤差が生じない。通常のレベル測量は精度を維持するには 50m 程度が限度であることから、移動する度に誤差が累積することとなる。
- (4)床版の無い鋼桁だけの状態では、ピンミラーを格点位置に一度セットしておけば、出来形計測の際、主桁上を作業者が移動する必要がなく、高所作業の抑制による安全性の向上にも寄与できると考えられる。

5. 今後の課題

鋼桁は日照などの影響で変形しやすい特徴を持っている。本システムにより高精度に出来形を計測しても、橋長が大きい場合は温度伸縮による誤差によって計測値の信頼性が確保できなくなることが想定される。そこで鋼桁の温度伸縮量を算出し、鋼桁の出来形管理時に自動的に補正できるよう、以下の点に着目してシステムの改良が必要と考えている。

- ・各支点条件または、橋体の温度伸縮の基準となる不動点の入力
- ・伸縮量を測定位置座標へ一括補正
- ・曲率半径が小さい場合の XY 座標の温度補正

今後、さらに多くの異なる条件の現場で確認試験を行い、計測結果データを蓄積・改善を図る事により、信頼性の高いシステムへ発展することが必要であると考えている。さらに、本システムには自動視準の機能だけでなく、TS による指定座標位置への誘導機能も有している。この機能を活用すれば、架設前に必要な主要点を迅速に現地に落とすことができるので、様々な応用が可能である。

また、得られた 3 次元座標は図-12 に示すように 3 次元モデルに容易に変換することができる。このモデルを活用することで、将来の維持管理や付帯設備の設置時には実際の出来形寸法を図面上で得ることができる。このような様々な活用事例が期待されることから、CIM (Construction Information Modeling) への連携も今後の検討課題と考えている。

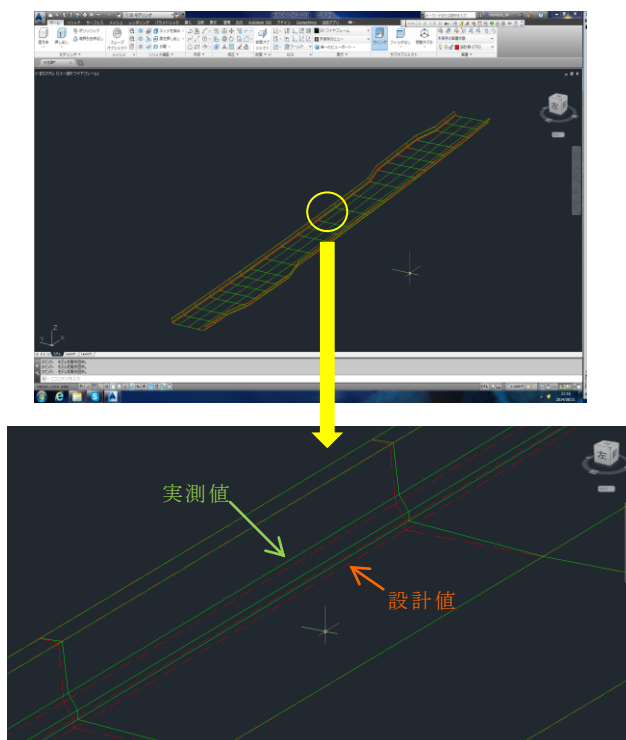


図-12 設計値と計測値の 3 次元化

#### 参考文献

- 1) 藤島 崇: TS (トータルステーション) を用いた出来形管理の活用に向けて, 建設物価, 記事 pp19-24, 2013.10.
- 2) Bluetooth 用語解説: <http://ja.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>