

# レーザートラッカーを用いた部材計測について 【第1報：平面度の管理】

## Member Measurement Using a Laser Tracker (1st report: Flatness management)



佐々木 隆太\*<sup>1</sup>  
Ryuta SASAKI



三吉 隆博\*<sup>2</sup>  
Takahiro MIYOSHI

### 要 旨

i-Constructionの一環で部材や実仮組立の計測に関する作業時間の短縮、及び高精度化、ならびに製作過程における精度管理手法について検討を行った。

本稿では、レーザートラッカーを用いた製作過程における部材の平面度管理を行った結果について報告する。

キーワード：3次元計測，平面度，レーザートラッカー，ハンディスキャナー

### 1. はじめに

銅橋の組立精度の確認の手法としてシミュレーション仮組立があり、部材計測を3次元計測により行い、その計測データを用いて机上で仮組立を行う。3次元計測と方法としては、トータルステーションやCCDカメラ、デジタルカメラがある。当社では、2011年に3次元計測デジタルカメラ計測システム（PIXXIS）を導入しており<sup>1)</sup>、製作時の部材3次元計測だけでなく、既設桁の現場実測やアンカーボルト位置の計測などに適用している。

現在、i-Constructionの一環で部材や実仮組立の計測について計測作業時間の短縮及び高精度化、ならびに部材製作後だけでなく製作過程における精度管理手法について検討している。これらのことが実現できる新しい計測システムとしてレーザートラッカーが考えられ、生産性向上及び品質向上となるシステムの開発を進めている。

本稿では、レーザートラッカーを用いて製作過程における部材の平面度管理を行ったので、その結果について報告する。

### 2. レーザートラッカーのスキヤニングシステム

導入したレーザートラッカーは、Laser Tracker Scanner ATS600システムで、主な国内導入先は重工メーカー（航空・宇宙・原子力関連）や自動車メーカーなどであり、多数の導入実績がある。特徴として、リフレクタ計測だけでなく、ハンディスキャナーによる3次元形状計測やワイヤレスプローブによる3次元寸法計測が可能である。ハンディスキャナーは片手で持ち運べる非接触型で、測



図-1 レーザートラッカーによるスキヤニング例

\*<sup>1</sup> 千葉工場製造部製造第1グループサブリーダー

\*<sup>2</sup> 技術本部設計部設計第3グループ主任

定範囲は最大直径60mであり、大型の部材でも非接触測定が可能なスキャニングシステムである。

スキャニングシステムは、水平・垂直の2方向に自由回転するヘッドユニット本体から、レーザーをハンディスキャナー（**写真-1**）に向かって正確に照射しており、ハンディスキャナーを計測したい箇所に向けることで、部材の3次元座標を点群データとして計測することができる。スキャニングシステムの計測精度は、2点間距離で $\pm 150\mu\text{m}$ であり、スキャン時の点群の最小点間ピッチも $0.045\text{mm}$ であることから、高精度な部材計測が可能となる。

スキャンデータは、3次元点群データとしてパソコンに取り込み、3次元測定ソフトウェアのPolyWorksInspectorで編集することができる。ソフトにはCADのigesデータやstepデータであれば取り込むことができるため、計測した3次元点群データと3DCADデータとの比較・編集することが可能である。ただし、一般的に使用しているdwgデータやdxfデータではPolyWorksInspector内へのデータの取り込みが行えないため、ファイルの変換が必要である。

### 3. 部材の平面度管理

箱断面の部材組立後の溶接によるひずみの程度が著しく、部材の平面度が許容値を超える場合、現場組立時に支障をきたす場合及び外観を著しく損なう場合は、ガス炎加熱法による線状加熱でひずみ矯正を行っている。この線状加熱によるひずみ矯正は、直線定規によりひずみ量（変形量）を目視で確認しているため、やせ馬と呼ばれる縦リブや補剛材間のひずみが平面度の許容値内であっても、直線定規（**写真-1**）で確認しやすいように“0”目標で矯正することが多い。また、複雑な部材形状の場合、加熱する位置は作業者の経験と勘に頼るところが多い。

以上のことから、部材全体の平面度を早く正確に数値で把握し、必要な部分だけを線状加熱で矯正し、矯正後の良否も数値で判断できるように、レーザートラッカーのスキャニングシステムを適用した。

### 4. 計測内容

計測部材は、中路式アーチ橋（中路式ローゼ橋）の隅角ブロックとした。隅角ブロックを**写真-2**、**3**に示す。

写真を見てわかるように、隅角ブロックはアーチ部と補剛桁の交差部となっており、さらに隅角ブロック自体が現場溶接継手で上下に分割された構造となっている。複



写真-1 直線定規による計測



写真-2 中路式アーチ橋の隅角ブロック（L面側）



写真-3 中路式アーチ橋の隅角ブロック（R面側）

雑な形状であるため、部材全体形状と平面度の管理にレーザートラッカーのスキニングシステムが適していると考えた。隅角ブロックを一体組したときの大きさは約2.1m×9.6mで、ウェブR面側に横桁仕口がある構造となっている。

今回の隅角ブロックの計測位置はウェブ面とした。計測状況を写真-4及び写真-5に示す。

写真-5で示した横桁仕口内部をスキニング中のパソコン画面を写真-6に示す。画面で緑色に表示されている箇所が、計測しているマンホールのダブリングを3次元点群データとしてパソコンに取り込んでいる最中のデータであり、点群データがパソコンに取り込まれると灰色に変わってパソコンの画面に表示される。箱断面の横桁仕口の中での計測でも、レーザートラッカーから照射されるレーザーがハンデイスキャナーを捉えることができれば計測を行うことが可能である。

計測時の注意点としては、ハンデイスキャナーは計測部材から一定の距離を保って計測を行う必要があり、また、計測時間を短縮するためにハンデイスキャナーを早く



写真-4 隅角ブロックのスキニング



写真-5 横桁仕口内部のスキニング

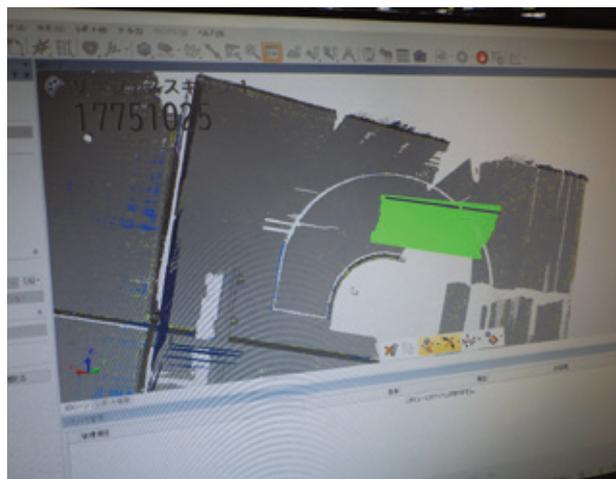


写真-6 スキニング中のパソコン画面

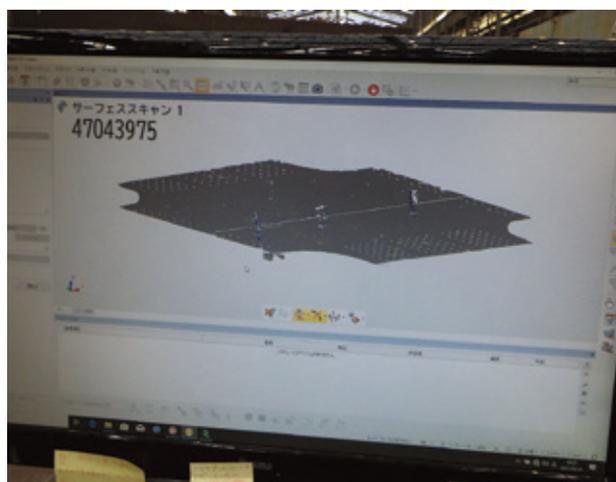


写真-7 スキャン終了時のパソコン画面

動かしてしまうと点群データを読み込むことができない。

ウェブL面の計測後のパソコン画面を写真-7に示す。ウェブL面の計測に要した時間は約1時間であった。また、3次元点群データの数は約4700万個であり、写真-7の左上に表示されている数値が点群データ数である。点群データ数は、2点間距離の計測精度を粗くすることによって減らすことは可能であり、点群データ数を減らすことで計測時間を短縮することができる。

## 5. 計測結果

スキャンした3次元点群データを用いてウェブ面の平面度の確認を行うために、設計図に使用している3DCADのigesデータをPolyWorksInspector内に取り込んで、基準面として設定を行い計測結果の確認を行った。写真-8はPolyWorksInspector内での基準面と実測面の位

位置合わせを行う前の画面である。画面の左側が3DCADから取り込んだ設計図のデータであり、基準面として設定している。画面の右側がレーザートラッカーのスキャニングシステムで計測した3次元点群データである。左側の基準面に計測した点群データの位置を合わせて、基準面から計測した3次元点群データがどれだけの誤差を有しているかを確認することによって部材のひずみ量がわかる。位置合わせの手順として、まず、左側の基準面の画面で位置合わせを行うための基準点を設定する。次に、右側の実測面の画面でも同じ位置の基準点を設定して、基準面と実測面の画面で基準点の位置に差異がないことを確認する。それぞれの基準点が設定できたらPolyWorksInspector内で自動的に位置合わせを行う。位置合わせした結果を写真-9に示す。

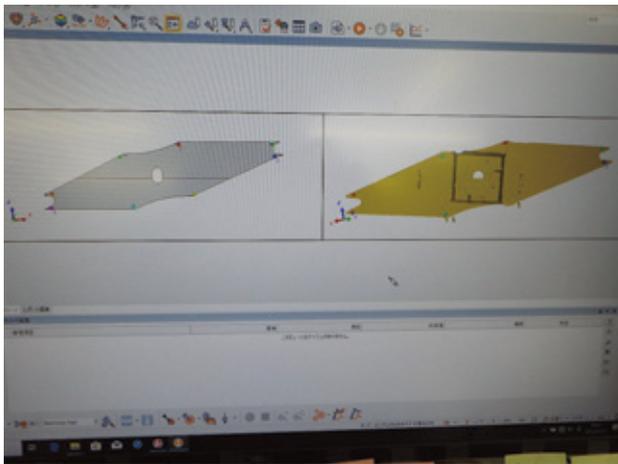


写真-8 基準面と実測面の位置合わせ前の画面

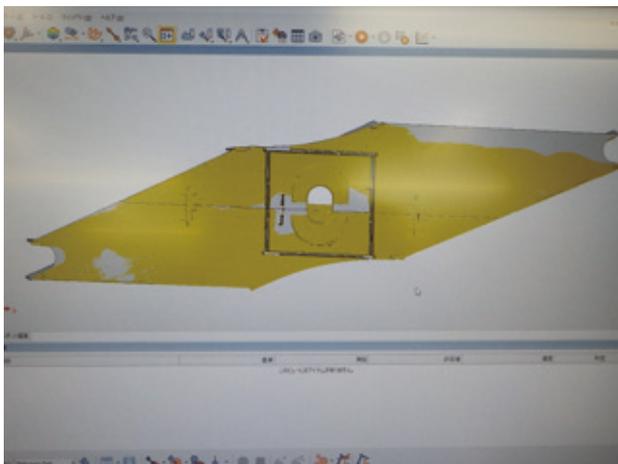


写真-9 基準面と実測面の位置合わせ後の画面

位置合わせを行った結果は、部材全体での基準面と実

測面との誤差を画面上で把握しやすくするために、カラーマップで表示させている。基準面に対して膨らんでいる場合はプラスの値となるように、凹んでいる場合はマイナスの値となるようにカラーマップを表示している。ウェブL面側の矯正前後のカラーマップを図-2及び図-3に、同様にウェブR面側を図-4及び図-5に示す。

矯正前の計測結果より、隅角ブロックのウェブL面側が大きく溶接変形していることがわかった(図-2)。道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編の部材精度の規定より、ウェブの平面度は $h/250\text{mm}$ 以下( $h$ :腹板高)となるため、隅角ブロックのウェブの高さは $1567.5\text{mm}$ であることから、ウェブ面の平面度の許容値は $1567.5/250=6.27\text{mm}$ となる。許容値の80%である $5\text{mm}$ を社内管理値としたとき、図-2のインデックス3の部分について、基準面に対して実測面の誤差が $-9.673\text{mm}$ あり管理値を超えていることから、この管理値を超える箇所については線状加熱によるひずみ矯正を行った。ただし、現場継手部は相対誤差による現場組立への影響を考慮し、社内管理値をさらに厳しくした。ウェブ面R側についてはひずみ量が小さく、管理値を超えた箇所が計測結果から見られなかったため、現場継手部周辺のみ矯正を行った。

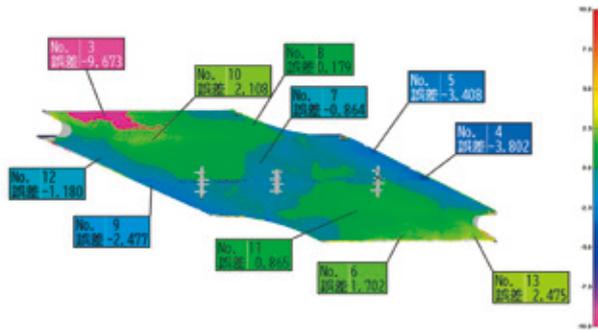
## 6. 課題

### (1) 設計図と計測データの違いによる課題

平面度の計測では、基準面となるデータが必要となり、現状、設計図を基に作成した3DCADデータを使用することになる。しかし、部材には製作の段階で設計図には反映されることがない製作キャンバーや現場溶接收縮量、後切断の延長などが付加されていることから、設計図の3DCADのデータでは計測したデータとの値に誤差が生じてしまう。また、3DCADは面の情報しかないのであるため、ボルト孔、面取り形状、溶接ビード、現場溶接継手の開先といった製作するなかで必要な情報が反映されていないデータもある。よって、部材の種類によっては平面度計測としての基準面データを作成しておく必要がある。

### (2) 基準点の設定について

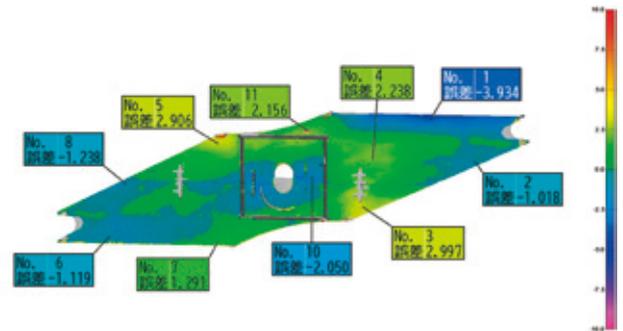
計測部材の基準点が必要となるが、部材の溶接收縮や製作誤差によって基準点の値が移動することが想定されるため、基準となる点は不動点であることが望ましい。



表タイプ カラーマップポイント(データ偏差)

単位	ミリメートル						
座標系	ワールド						
インデックス	測定 (x)	測定 (y)	測定 (z)	偏差(x)	偏差(y)	偏差(z)	誤差
3	41582.259	5606.327	353904.175	0.000	-9.673	0.000	-9.673
4	35125.983	5600.198	352805.764	0.000	-3.802	0.000	-3.802
5	36165.303	5600.592	353305.281	0.000	-3.408	0.000	-3.408
6	35561.218	5605.702	351629.911	0.000	1.702	0.000	1.702
7	38417.997	5603.136	353036.555	0.000	-0.864	0.000	-0.864
8	38596.009	5604.179	353774.741	0.000	0.179	0.000	0.179
9	40612.306	5601.523	352499.536	0.000	-2.477	0.000	-2.477
10	40599.729	5606.108	353438.550	0.000	2.108	0.000	2.108
11	36463.044	5604.865	352102.505	0.000	0.865	0.000	0.865
12	41659.424	5602.820	353038.072	0.000	-1.180	0.000	-1.180
13	34081.282	5606.475	351638.009	0.000	2.475	0.000	2.475

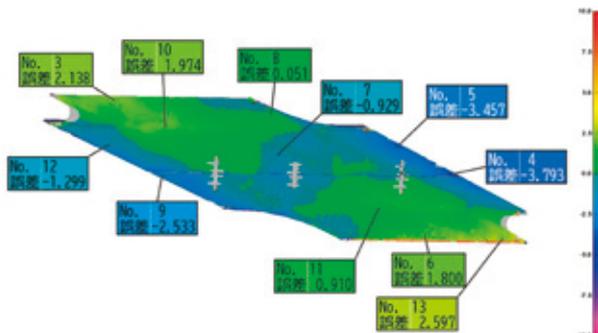
図-2 隅角ブロックのウェブL面側 (矯正前)



表タイプ カラーマップポイント(データ偏差)

単位	ミリメートル						
座標系	ワールド						
インデックス	測定 (x)	測定 (y)	測定 (z)	偏差(x)	偏差(y)	偏差(z)	誤差
1	41039.073	4300.184	353940.137	0.000	3.934	0.000	-3.934
2	41884.276	4297.268	353077.951	0.000	1.018	0.000	-1.018
3	39678.474	4293.253	352204.622	0.000	-2.997	0.000	2.997
4	39888.489	4294.012	353145.051	0.000	-2.238	0.000	2.238
5	36835.889	4293.344	353489.126	0.000	-2.906	0.000	2.906
6	34679.890	4297.369	351658.337	0.000	1.119	0.000	-1.119
7	36815.631	4294.959	351536.458	0.000	-1.291	0.000	1.291
8	35009.574	4297.488	352721.274	0.000	1.238	0.000	-1.238
9	37607.427	4295.918	353204.786	0.000	-0.332	0.000	0.332
10	38683.397	4298.300	352805.474	0.000	2.050	0.000	-2.050
11	38607.041	4294.094	353720.156	0.000	-2.156	0.000	2.156

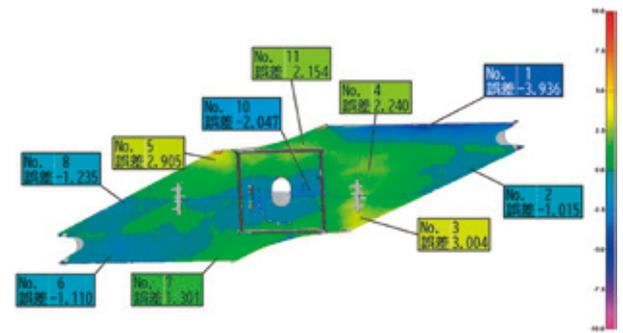
図-4 隅角ブロックのウェブR面側 (矯正前)



表タイプ カラーマップポイント(データ偏差)

単位	ミリメートル						
座標系	ワールド						
インデックス	測定 (x)	測定 (y)	測定 (z)	偏差(x)	偏差(y)	偏差(z)	誤差
3	41602.947	5602.138	353916.192	0.000	2.138	0.000	2.138
4	35139.448	5596.207	352801.555	0.000	-3.793	0.000	-3.793
5	36177.511	5596.543	353303.679	0.000	-3.457	0.000	-3.457
6	35577.633	5601.800	351626.799	0.000	1.800	0.000	1.800
7	38430.872	5599.071	353040.608	0.000	-0.929	0.000	-0.929
8	38607.031	5600.051	353779.238	0.000	0.051	0.000	0.051
9	40626.522	5597.467	352509.098	0.000	-2.533	0.000	-2.533
10	40611.589	5601.974	353448.077	0.000	1.974	0.000	1.974
11	36478.270	5600.910	352101.655	0.000	0.910	0.000	0.910
12	41672.286	5598.701	353050.259	0.000	-1.299	0.000	-1.299
13	34097.681	5602.597	351631.183	0.000	2.597	0.000	2.597

図-3 隅角ブロックのウェブL面側 (矯正後)



表タイプ カラーマップポイント(データ偏差)

単位	ミリメートル						
座標系	ワールド						
インデックス	測定 (x)	測定 (y)	測定 (z)	偏差(x)	偏差(y)	偏差(z)	誤差
1	41036.636	4303.936	353942.347	0.000	3.936	0.000	-3.936
2	41881.805	4301.015	353080.128	0.000	1.015	0.000	-1.015
3	39675.970	4296.996	352206.885	0.000	-3.004	0.000	3.004
4	39886.021	4297.760	353147.306	0.000	-2.240	0.000	2.240
5	36833.435	4297.095	353491.499	0.000	-2.905	0.000	2.905
6	34677.364	4301.110	351660.793	0.000	1.110	0.000	-1.110
7	36813.101	4298.699	351538.831	0.000	-1.301	0.000	1.301
8	35007.090	4301.235	352723.717	0.000	1.235	0.000	-1.235
9	37604.961	4299.667	353207.129	0.000	-0.333	0.000	0.333
10	38680.916	4302.047	352807.775	0.000	2.047	0.000	-2.047
11	38604.596	4297.846	353722.460	0.000	-2.154	0.000	2.154

図-5 隅角ブロックのウェブR面側 (矯正後)

## 7. おわりに

鋼橋のi-Constructionとして、計測についても生産性向上及び品質向上を目指し、その中で、高精度な計測が可能なレーザートラッカーが製作過程の品質管理や製作後の品質保証の計測に幅広く適用できるように研究・開発に取り組んでいる。本稿では、製作過程における部材の平面度計測について報告したが、まだまだ課題はある。引き続き、BIM/CIMとの連携を踏まえて検討していきたい。

## <参考文献>

- 1) 松元健一郎, 吉元大介, 山越信也, 小笠原隆幸, 大塚恵, 加藤徹: 3次元計測デジタルカメラ計測システム (PIXXIS) の紹介, 宮地技報No.26, pp106-109, 2011.11.

2022.2.1 受付

## グラビア写真説明

### 新東名高速道路 上粕屋高架橋他5橋 (鋼上部工) 工事

新東名高速道路は、海老名南JCT (神奈川県海老名市門沢橋) ~豊田東JCT (愛知県豊田市岩倉町) 間、約253kmを結ぶ高速道路です。

本工事は中日本高速道路株式会社より発注され、厚木工事事務所の管轄で、川田工業株式会社、宮地エンジニアリング株式会社の特定建設工事共同企業体にて施工致しました。本橋は、上粕屋高架橋 (上下線)、鈴川橋 (上下線)、伊勢原北IC Aランプ、Bランプ、Cランプ、Dランプで構成されており、上粕屋高架橋および鈴川橋の上下線は、将来拡幅が計画されているため拡幅時の施工性に優れた合理化合成床版を採用しました。また県道・農道上の架設時には夜間通行止めを実施して架設を行いました。2022年4月16日に本工事区間である、伊勢原大山IC~新秦野ICが無事開通されました。59ヶ月に渡る工期でしたが、発注者及び関係者皆様のご協力により無事に完工出来ました事を深く御礼申し上げます。

(前山 裕人)

### 北海道横断自動車道 釧路市 舌辛橋上部工事

北海道横断自動車道 (本別~釧路) (道東自動車道) 延長65kmの高速自動車道で未開通区間である阿寒IC~釧路西IC区間17km部分最西端の阿寒川を跨ぐ橋梁整備工事です。

2024年度 (令和6年度) 開通予定となっています。

釧路湿原の軟弱地盤対策を行いながらBIM/CIM活用、新技術活用、週休2日実施にて施工しました。

旅する Scenic Byway 北海道を。

(斎木 敦)

### 国道106号 腹帯橋上部工工事

宮古盛岡横断道路は、岩手県沿岸北部の宮古市と県庁所在地の盛岡市を結ぶ全長66kmの地域高規格道路です。東日本大震災の復興支援道路として沿岸部と内陸主要都市のアクセス向上を目的に建設されました。本橋を含む3工区が令和3年3月に供用を開始し、これまで100分以上であった宮古・盛岡間の所要時間が、約80分に短縮されました。「宮古箱石道路」は宮古市藤原から箱石間の約33km区間のバイパス道路となり、旧106号の線形不良や狭隘道路の問題を解消し、より安全でスムーズな通行を可能としました。本橋は、宮古市腹帯地区で二級河川の閉伊川とJR東日本山田線を旧106号の道路と並行して跨ぐ暮目~腹帯区間で最大の橋梁です。完成後に「腹帯大橋」という橋名になりました。

(久留宮 航)