

3次元デジタルカメラ計測システム (PIXXIS) の紹介

Introduction of Three-dimensional Measurement System with a Digital Camera (PIXXIS)

松元 健一郎*¹ 吉元 大介*² 山越 信也*³
 Kenichiro MATSUMOTO Daisuke YOSHIMOTO Nobuya YAMAKOSHI
 小笠原 隆幸*⁴ 大塚 恵*⁵ 加藤 徹*⁶
 Takayuki OGASAWARA Megumi OTUKA Toru KATO

Summary

We have achieved good results for 17 years in computer simulated assembling as an alternative to actual shop assembling. In the past, we used the Super Brahm's system (contactless laser three-dimensional measurement equipment) to measure members. However, the measurement equipment became older and there were more bridges with fewer main girders, so the actual shop assembling process was skipped. We therefore introduced a new system (PIXXIS) which can easily perform three-dimensional measurement anywhere using commercial digital cameras. This article introduces the history, system overview and measurement examples of three-dimensional measurement.

キーワード：数値仮組立，3次元計測，デジタルカメラ

1. まえがき

当社における数値仮組立シミュレーションは実仮組に変わる代替工法として、約17年に亘り実績を重ねてきた。これまでは部材を計測するシステムとしてスーパーブラームス（非接触型レーザー3次元計測器）を使用していた。しかし、老朽化や実仮組を省略した少数主桁橋梁の増加に伴い、今回市販のデジタルカメラを用いて計測場所を選ばず、比較的容易に3次元計測が行えるシ

テム（以下、PIXXIS）を導入した。以下に3次元計測の歴史、システム概要、計測精度、計測事例を紹介する。

2. 3次元計測の歴史

部材計測システムの計測方式は図-2のように様々な方式がある。

当社では3次元計測機器として、メトレコム（3次元接触型計測器）+FM（表面研削器）の組合せによる計測を行っていた。その後2001年6月にスーパーブラームス（非接触型3次元計測器）の導入を契機に、MASSCOTとの連携で多くの仮組立シミュレーションを実施（表-1参照）してきた。

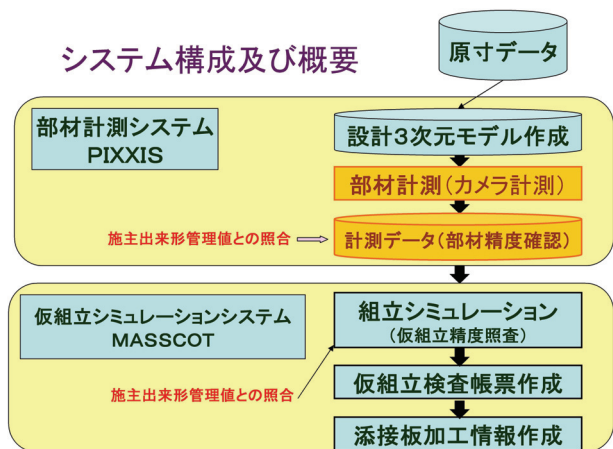


図-1 システム構成及び概要

①	トータルステーション	測定点から視準点までの距離・水平度・鉛直角を同時に計測
②	CCDカメラ	数台のCCDカメラでステレオ写真を撮影、写真測量の原理
③	3次元視覚センサー（ブラームス）	コードパターンのレーザー光を照射しCDカメラで撮影
④	タッチセンサー（メトレコム）	タッチセンサーを持ったロボットでタッチして計測
⑤	デジタルカメラ（PIXXIS）	デジタルカメラで複数枚の写真を撮影、写真測量の原理

図-2 部材計測システムの計測方式

*¹ 橋梁事業本部 千葉工場安全品質保証部品品質保証グループ係長

*² 橋梁事業本部 千葉工場生産管理部計画グループ課長代理

*³ 橋梁事業本部 千葉工場生産管理部担当課長

*⁴ 橋梁事業本部 千葉工場製造部製造グループ係長

*⁵ 橋梁事業本部 千葉工場生産管理部計画グループ

*⁶ 橋梁事業本部 技術本部橋梁工事部大阪工事グループ係長

そして2011年7月からPIXXIS（非接触型3次元計測器）を導入し精度検証及び試験運用を開始した。

表-1 シミュレーション実績（抜粋）

工事名称	橋梁形式	計測機器	施工年月日	備考
山田川橋	5径間連続鋼箱桁橋	トレコム+ FM	1997年7月	
飛鳥高架橋	10径間連続鋼箱桁橋（少数主桁）	トレコム+ FM	1997年2月	現場溶接継手
新黒部大橋	5径間連続鋼箱桁橋	トレコム+ FM	1998年12月	
共栄跨線橋	10連4主桁（少数主桁）	トレコム+ FM	1998年8月	現場溶接継手
中田高架橋	15連鋼桁（少数主桁）	スーパースペース	2000年6月	現場溶接継手
安里高架橋	5径間連続鋼箱桁橋	スーパースペース	2001年7月	
花園高架橋東	6連鋼桁（少数主桁）	スーパースペース	2001年1月	現場溶接継手
檀紙北高架橋	3径間連続非合成鋼桁	スーパースペース	2001年8月	
牛津川橋	3径間連続非合成鋼桁	スーパースペース	2003年12月	
十六面高架橋	6径間連続合成鋼桁	スーパースペース	2004年3月	
新片山橋	8連鋼桁（少数主桁）	スーパースペース	2005年5月	

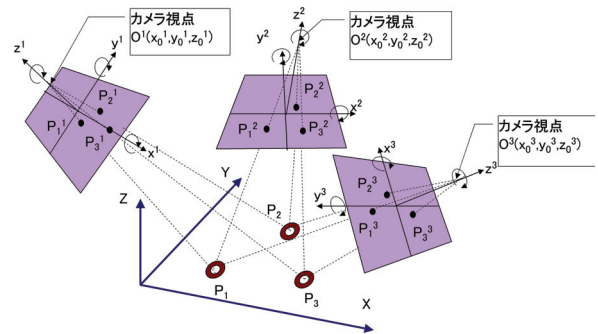


図-4 エピポーラ方程式

3. システム概要

(1) 計測機器 図-3参照

- ・ Nikonデジタルカメラ
- ・ 高性能ノートパソコン（Corei7）
- ・ 基準バー（精度±0.013mm）
- ・ コードターゲット
- ・ シールターゲット
- ・ ボルト孔ターゲット

■ 計測機器

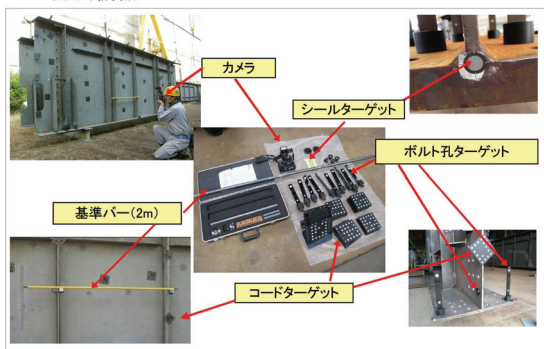


図-3 計測機器

(2) デジカメ計測の原理

1) コードターゲットによる写真の繋ぎ合せ

- ・ 写真同士を繋ぎ合わせるためコードターゲットを使用
- ・ コードターゲットは1枚1枚異なっている
- ・ 複数の写真から同一のコードターゲットを見つけ立体形状を再現する

2) 大きさを認識する基準バー

- ・ 写真上の長さを認識
- ・ 撮影範囲内の任意の場所に配置

3) 写真上の位置とカメラ視点から方程式を作成

- ・ 詳細はエピポーラ方程式（幾何）で検索（図-4）

(3) システムの特徴

1) NETIS登録

登録番号：KT-070053-V

2) 市販のカメラを使用

- ・ 計測システムとセットでキャリブレーションしたもの

3) 手軽に計測

- ・ 計測場所を選ばない（屋外や夜間いつでも使用可能）
- ・ 光波系測距器に比べ取扱いが簡単（器械の据付がないので操作教育をすれば誰でも計測可能）

4) デジタルカメラ計測機器としては大型構造物に対応

- ・ 計測対象構造物サイズ～30m程度まで測定可能
- ・ コードターゲットの大型化と長尺基準バーで対応

5) 状況写真と計測データが連動

- ・ 撮影写真上で寸法を確認（任意ターゲット間の立体直線長）

(4) 作業手順（図-5）

- ①計測ターゲットの貼付け、②撮影、③画像データ取込、④3次元座標値計算処理
- そして計算結果の確認となる。
作業時間は標準的な鋼桁で1台約1時間かかる。

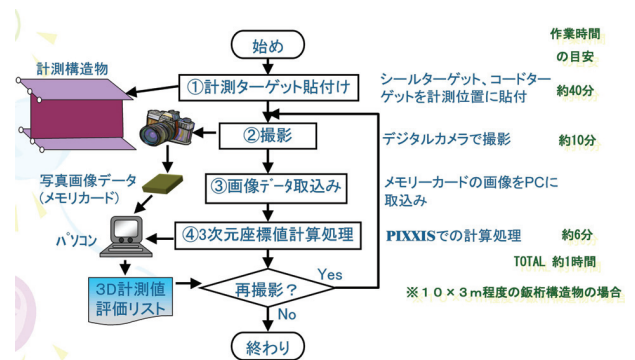


図-5 作業手順

4. 計測精度

(1) PIXXIS基本計測精度

- ・ 1/35000の計測精度 (10mの場合 1σ 約±0.29mm)
- ・ 他の計測機器の精度

スーパーブラームス 1σ 約±1mm

トータルステーション 1σ 約±0.05mm

なお、トータルステーションでの部材計測においては、盛換えを行ったり、視準距離が10m以下と短くなる為、PIXXISと同等の精度となる。

(2) スーパーブラームスとの比較

長さ12,807mm、ウェブ高2,300、フランジ幅500mmの鋳桁をPIXXIS及びスーパーブラームスで計測を行い比較検証を行った。表-2の結果を見ると、相対差は概ね2mm以内に入っており両者とも測定精度に大きな問題はないと思われる。但し、PIXXISの場合シールターゲットの貼付け誤差が計測精度に大きく影響してくるので注意が必要である。

表-2 PIXXISとスーパーブラームス測定値比較

測定項目	位置	規定値	許容値	①SuperBrahms		②PIXXIS		相対差 ①-②
				測定値	誤差	測定値	誤差	
ウェブ部材長	ウェブ上縁	12,807.6	±4.0	12,810.1	2.5	12,809.2	1.6	0.9
	ウェブ下縁	12,807.6	±4.0	12,810.3	2.7	12,808.8	1.2	1.5
ウェブ部材対角長	ウェブ対角 D1	12,974.8	±11.0	12,977.4	2.6	12,975.6	0.8	1.8
	ウェブ対角 D2	12,982.5	±11.0	12,985.0	2.5	12,984.1	1.6	0.9
フランジ部材長	上フランジ	12,807.6	±4.0	12,810.8	3.2	12,809.2	1.6	1.6
	下フランジ	12,807.6	±4.0	12,809.9	2.3	12,808.3	0.7	1.6
平面曲り	上フランジ(C3位置)	0.0	±7.0	-1.4	-1.4	0.5	0.5	-1.9
	下フランジ(C2位置)	0.0	±7.0	-1.4	-1.4	-2.1	-2.1	0.7
側面曲り	ウェブ上縁(C3位置)	5.2	±5.0	5.5	0.3	5.9	0.7	-0.4
	ウェブ下縁(C3位置)	5.2	±5.0	5.0	-0.2	5.9	0.7	-0.9
上フランジ幅	J1	500.0	±2.0	499.2	-0.5	498.8	-1.2	0.7
	C2	500.0	±2.0	500.0	0.0	501.0	1.0	-1.0
	C3	500.0	±2.0	500.0	0.0	500.4	0.4	-0.4
	J2	500.0	±2.0	500.5	0.5	499.3	-0.7	1.2
	J1	500.0	±2.0	499.1	-0.9	498.9	-3.1	2.2
	C2	500.0	±2.0	500.0	0.0	498.5	-1.5	1.5
下フランジ幅	C3	500.0	±2.0	500.0	0.0	499.4	-0.6	0.6
	J2	500.0	±2.0	499.2	-0.8	500.8	-1.0	0.2
	J1	2,300.0	±4.0	2,302.2	2.2	2,301.8	1.8	0.4
腹板高さ	C2	2,300.0	±4.0	2,302.3	2.3	2,301.5	1.5	0.8
	C3	2,300.0	±4.0	2,302.6	2.6	2,301.1	1.1	1.5
	J2	2,300.0	±4.0	2,300.8	0.8	2,300.8	0.8	0.0
上フランジ直角度	J1	0.0	±2.0	-0.2	-0.2	0.1	0.1	-0.3
	C2	0.0	±2.0	0.0	0.0	0.4	0.4	-0.4
	C3	0.0	±2.0	0.0	0.0	0.1	0.1	-0.1
下フランジ直角度	J2	0.0	±2.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
	J1	0.0	±2.0	0.1	0.1	0.3	0.3	-0.2
	C2	0.0	±2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	C3	0.0	±2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
J2	0.0	±2.0	-0.1	-0.1	0.3	0.3	-0.4	

5. 計測事例

(1) 大寒沢橋上部工工事 (東北地方整備局)

単純合成鋳桁橋 (従来鋳桁) の主桁部材をPIXXISで計測し仮組立シミュレーションと実仮組立でそれぞれ橋全体の形状比較を行った。結果は図-6のとおり、主桁

の通りにおいて若干傾向の差はあるものの、いずれも規格値80%以内を十分満足した値であり、仮組立シミュレーション工事における計測機器として精度的に問題ないことが判明した。

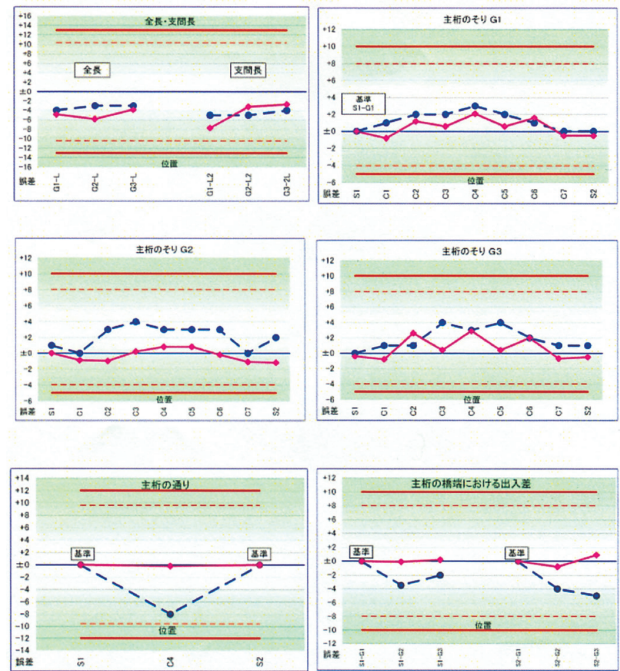
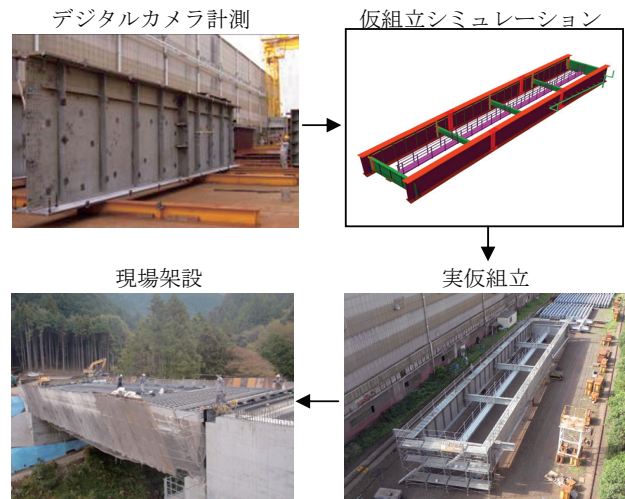


図-6 仮組立形状誤差比較

(2) 塩沢川橋上部工事 (関東地方整備局)

大寒沢橋に続き、単純合成鋳桁橋 (少数鋳桁) をPIXXISで計測を行った。本工事では仮組立シミュレーションと実仮組立の比較だけではなく、現場架設までの形状比較を行った。仮組立シミュレーション結果で添接板を製作し実仮組立を行った為、実仮組立及び現場架設共に添接板の孔ずれが少なく (0~1mm)、実仮組立と



現場架設時の継手部隙間の相対差は1mm以内に収まっていた。支間長・そり・桁間隔においても施主出来形管理値に対して良い精度（管理値の80%以内）で納めることが出来た。但し、現場架設時支間長においては、計測位置が仮組立シミュレーションと違っていた為傾向の差が生じている。表-3参照

表-3 出来形管理表

■ 出来形管理表		(mm)				
		S1	C1	C2	C3	S2
① 規定値 (設計寸法+製作キャンバー)	支間長	G1	36,535			
		G2	36,433			
	対角長	G1(D1)	38,153			
		G2(D2)	35,930			
	主桁間隔	G1	6,499	-	6,499	6,498
		G2	-	-	-70	-
	主桁の通り	G1	-	-	-	-
		G2	-	-	-	-
② 仮組立シミュレーション (規定との差)	支間長	G1	+2.8			
		G2	+1.0			
	対角長	G1(D1)	-0.6			
		G2(D2)	+3.6			
	主桁間隔	G1	+0.9	-	+3.3	-1.7
		G2	-	-	-1.9	-
	主桁の通り	G1	0	-	-	0
		G2	-	-	-	-
③ 実仮組立 (規定との差)	支間長	G1	1.8			
		G2	-5.0			
	対角長	G1(D1)	+4.1			
		G2(D2)	-3			
	主桁間隔	G1	-3	-	+3	-3
		G2	-	-	-2	-
	主桁の通り	G1	0	-	-	0
		G2	-	-	-	-
④ 現場架設 (規定との差)	支間長	G1	+13			
		G2	+13			
	主桁間隔	G1	±0	-	±0	±0
		G2	0	-3	-2	-2
	主桁の通り	G1	0	-3	-2	-2
		G2	-1	-1	-1	-2
	主桁のそり	G1	0	-3	-2	0
		G2	-1	-1	-1	3

6. まとめ

これまで仮組立3件で、仮組立シミュレーションの計測器としてPIXXIS計測し、精度的に問題ないことが判明してきた。

但し、以下のような課題も分かってきたので、今後の実工事を通じて精度を確保しつつ、効率的に活用していく方法を模索していきたい。

- ・ 効率の良い計測用ターゲット治具の作成（作業効率と計測精度の向上）
- ・ PIXXISによる付属物の干渉チェック方法
- ・ 仮組シミュレーション実績の少ない箱桁への適用
- ・ トータルステーションとの連携で工区境形状管理
- ・ 既設桁取り合いや橋脚剛結部断面等の測定

大宮川橋（NEXCOの少数仮組立）で本格的な運用を実施予定だが、今後も工程短縮や実仮組立費用削減の為、PIXXIS計測及び仮組立シミュレーションが適用可能な工事は積極的に適用していきたい。

<参考文献>

- 1) JIPテクノサイエンス：デジタルカメラ計測紹介，2010.7.
- 2) 菱日エンジニアリング，JIPテクノサイエンス：鋼橋梁ブロック計測報告書，2007.3.

2012.1.4 受付

グラビア写真説明

町田立体

本橋は既に共用している横浜町田立体（保土ヶ谷バイパス）と直結する自動車専用道路を国道16号の中央部に高架構造として設ける工事のうち東名高速道路横浜町田インターチェンジを跨ぐ橋長633mの8径間連続ラーメン鋼床版箱桁橋です。施工範囲は、製作8径間連続箱桁全量、架設はP1～P7間の6径間分の鋼床版箱桁（P7～P9間は施工外）とP1脚～P6脚の横梁（支柱部は施工済）及びP7脚の支柱、横梁です。上下部工の剛結部は全てヒンジ架設としており、上り線桁の架設は横取り一括架設工法を採用しました。下り線桁はトラッククレーンベント架設で行いました。

(清水 康史)