

FM搭載接触式 3次元座標計測器による部材計測 (仮組シミュレーション用計測システムの開発)

Measurement of Members by a Contact, Three-Dimensional Measuring Device —Development of a measuring system for temporary assembly simulation—

辻 幸 佐*¹ 小 出 勝 雄*² 高 橋 秀 幸*³ 岩 澤 彰 洋*⁴
Kousuke TSUJI Katsuo KOIDE Hideyuki TAKAHASHI Akihiro IWASAWA

Summary

To better control the accuracy of bridge members during bridge construction by simulating the temporary assembly of the members, we developed a measuring system that combines a facing machine and a three-dimensional coordinate measurement device (METRECOM). The system was equipped with the ability to measure members up to 15-m long by mounting the METRECOM to the facing machine that could only measure single members up to 3.7-m diameter. In the development of the system, however, there was the problem of coming up with a common coordinate system as both the facing machine and the METRECOM had their own coordinate systems.

This paper reports on the performances of the facing machine, the METRECOM, and the method of combining them; also the coordinate synthesizing method, the simulation by three-dimensional CAD, and the resulting control of accuracy.

キーワード：仮組立シミュレーション，3次元座標計測，座標合成

1. まえがき

仮組立検査では、製作した部材を実際に連結することによって以下の確認および調整を行っている

- ① 部材継ぎ手部の精度（部材断面寸法の相対差による目違い、ボルト孔のズレ、部材間の隙間 等）
- ② 橋体の精度（長さ、幅、キャンバー、曲がり 等）
- ③ 仮組形状を架設で再現するための加工（パイロットホール、合わせ線 等）

仮組立を省略する場合は、何らかの方法で上記項目について保証する必要があると考えられ、当社では次のような工法に取り組んできた。

- ① パネル連続組立工法（フランジ・ウェブを組み合わせる工程で隣接部材も連続して組立てて精度を確保する）；宮地技報「箱桁製作の省力化工法」¹⁾
- ② スプライス調整工法（部材計測データをもとにシミュレーションを行い、ボルト孔間隔を調整して精度を確保する）；宮地技報「鉸桁製作の省力化工法」²⁾

その他隣接する2部材ごとに仮組立を行う仮組立の省力化を試行しており、現在までの実績を次章に示す。

パネル連続組立工法では、実際に連結して継ぎ手部の精度を確認しており、計測は橋体形状の精度推定を目的

とした横桁位置など格点のみでよいが、スプライス調整工法ではさらに部材ボルト孔の正確な3次元座標データが必要となる。当社ではNC罫線・孔明け機（NCガントリー）あるいはCNCフライス汎用機（以下FMと称す）にて計測を行ってきたが、軸の移動方向が固定される装置での計測は、計測ポイントと計測器を一致させる微調整に時間を費やされていた。そこで、FMのラムに米国FARO社製の接触式アーム型3次元計測器（以下メトレコムと称す）を搭載し、メトレコム計測範囲を超える計測点はFMを移動させ、双方のデータを合成して部材の3次元座標データを求める方法を開発した。また、合成には3次元CADソフト（CAD KEY）を用いており、設計値と計測値をリアルタイムに照合し、計測漏れや計測ミスを表示するようにしたので報告する。

なお、FMの精度については、宮地技報「橋梁製作における大型CNCフライス汎用機と端面切削等の精密加工」³⁾に報告している。

2. 仮組立省略工事の実績

1994年に製作した八木沢高架橋を皮切りに仮組省略を過去15工事について行ってきたので、その実績を（表1）に示す。

*1 千葉工場生産技術研究所

*2 千葉工場設計部設計開発資料課長

*3 千葉工場製造部製造一課

*4 千葉工場製造部製造二課

表-1

No.	工事名称	橋梁形式	省力化概要	計測機器	備考
1	八木沢高架橋	箱桁(曲) 58台	・連続組立工法	マンモス	・6~7部材の連続組合せ
2	日高川橋	箱桁(曲) 56台	・主桁部材完成後組合せ治具で初回3台、他2台組合せ	マンモス	
		鋸桁(折) 35台	・スプライス調整工法	NCガントリー	・横構に拡大孔採用
3	切山川橋上部工事	箱桁(直) 110台	・スプライス調整工法	NCガントリー	・横構に拡大孔採用
4	油坂2号橋	鋸桁(折) 90台	・スプライス調整工法	NCガントリー	・主桁を含め全拡大孔採用
5	新宝高架橋	箱桁(曲) 57台	・スプライス調整工法	FM	・省力化を目指し板厚差フィラー方式 ・添接版は本体より狭い控え方式
6	名和高架橋西工事	鋸桁(直) 156台	・エレクションピーススプライス調整工法	FM	・少主桁の合理化設計 ・現場溶接継手 ・ゴム支承
7	好間高架橋北工事	鋸桁(折) 92台	・スプライス調整工法	NCガントリー	
8	山ノ田高架橋	鋸桁(折) 35台	・スプライス調整工法	NCガントリー	
9	山田川	箱桁(曲) 45台	・スプライス調整工法	FMメトレコム	
10	飛鳥高架橋	鋸桁(折) 281台	・エレクションピーススプライス調整工法	FMメトレコム	・少主桁の合理化設計 ・現場溶接継手 ・ゴム支承
11	殿台高架橋	鋸桁(折) 33台	・スプライス調整工法	NCガントリー	
12	水月橋	鋸桁(直) 35台	・スプライス調整工法	FMメトレコムとNCガントリー	
13	饒波高架橋	鋸桁(直) 21台	・スプライス調整工法	FMメトレコムとNCガントリー	・横構に拡大孔採用
14	新黒部	箱桁(直) 58台	・スプライス調整工法	FMメトレコム	
15	共栄跨線橋	鋸桁(折) 20台	・エレクションピーススプライス調整工法	FMメトレコム	・少主桁の合理化設計 ・現場溶接継手 ・ゴム支承

3. メトレコムとFMによる計測

(1) メトレコム

メトレコムとは、アメリカ FARO Technologies社の3次元計測器の名称で、パソコンと接続することにより(X,Y,Z)座標値を取込むことができる。660°回転する関節を6個持ち直径3.7mの範囲で計測可能である。(写真-1,2)

点精度は公称値で $\pm 0.18\text{mm}$ (2σ)。

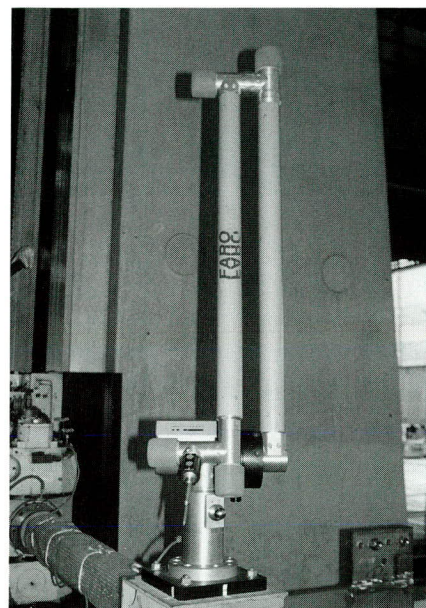


写真-1

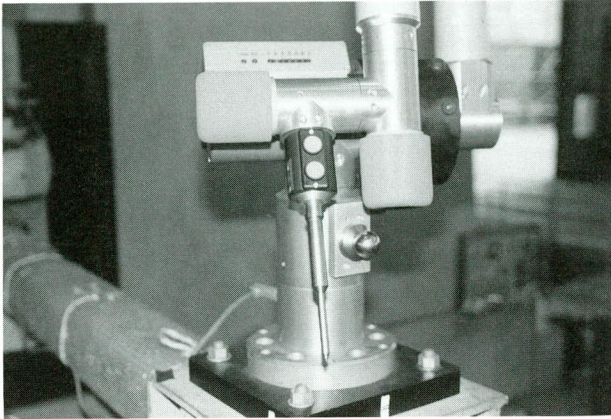


写真-2

(2) 3次元CADソフト

部材計測を行う場合は、パソコンを使用し3次元CADソフト上で動く計測ソフト“Met2fm.cde”(株ITTが作成したプログラムで、言語はC++)を実行する。

本ソフトの特徴を下記に示す。

- ① メトレコムが計測した3次元座標を読み込み、FMの3次元座標と座標軸の合成を行う。
- ② 設計値のポイントはCAD画面上の図に表示され、1ポイントずつ計測が終わると色が変わり識別できる。
- ③ 計測ポイントが、設計値とどれくらいのズレがあるかは、3次元座標(X,Y,Z)で表示される。
- ④ 計測ポイントが、設計値に対して許容値以内であればデータ保存をする。許容値オーバーの場合は、再計測を行いポイントの確認を行う。

(3) メトレコムのキャリブレーション

キャリブレーションを行う時は、キャリブレーション用のソフト“Caliper3D”を実行する。次にメトレコムを中心にある鉄のボールを、上下左右いろいろな方向からプローブ先端を接触させ27回の計測を行う。このソフトは、関節の角度とアームの長さから、自動的に補正量を求めるようになっている。なお、補正量をもとに27回のデータを再計算し、 2σ の値が表示され0.18mm以内を許容値としており、それを越えた場合は再度キャリブレーションを行う。

(4) FMとメトレコムの連動

FMとメトレコムは、パソコンを介して接続されており連動して座標が読み込めるようになっている。

1) FMとパソコン

FMとパソコンが、中継BOX (LEVEL CONVERTER: FMとメトレコムとの間に位置し、FMの持つ位置情報(X,Y,Z)の読み込みを自動的に行うための補助装置)を使用し、RS-232Cケーブルで接続する場合は、ストレートケーブル(中継BOX内でクロスしているため)を使用する。FMのプログラム“O 200”でパソコンからの命令によりデータの自動読み込みができる。

中継BOXを使用しない直結の場合は、RS-232Cのクロスケーブルを用い、FMの“O 005”プログラムで手動による読み込みができる。

FM側の送信パラメータは(表-2)の通りであり、パソコンをこのように設定する。

表-2 FM送信パラメーター

通信スピード	4800bps (ビット/秒)
データビット	8ビット (JIS)
パリティ	偶数
ストップビット	2ビット
フロー制御	なし

2) メトレコムとパソコン

メトレコムとパソコンは、RS-232Cで接続する。

メトレコムの送信パラメーターを(表-3)に示す。

表-3 メトレコム送信パラメーター

通信スピード	Baud Rate 19200bps(ビット/秒)
パリティ	Parameters n,8,1

計測システムの全体写真を(写真-3)に、概略図を(図-1)に示す。

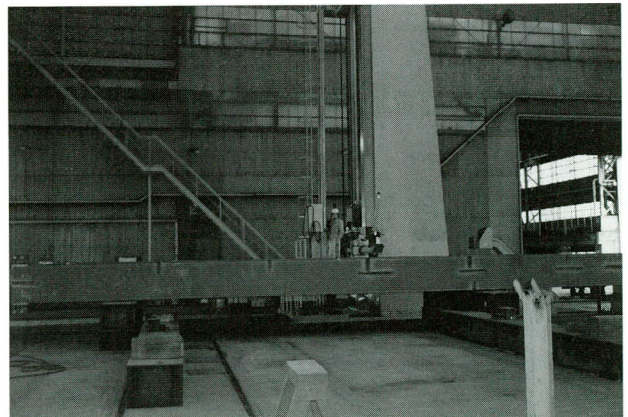


写真-3

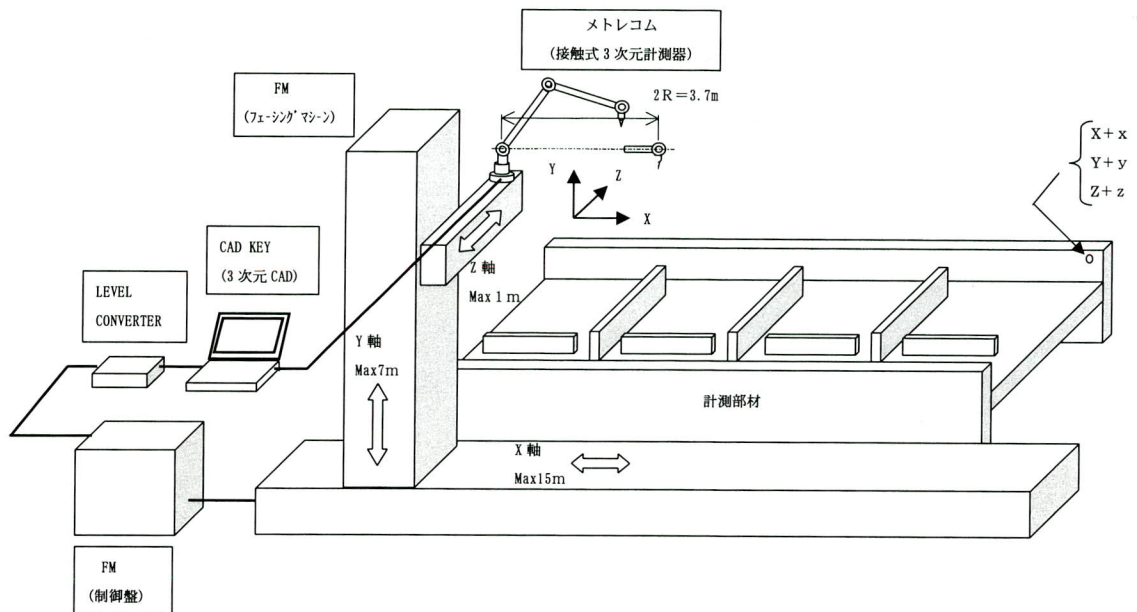


図-1 3次元座標計測システム

(5) 座標軸の合成

メトレコムおよびFMは独自の座標軸を持っているため、部材を計測するためには2つの座標軸を合成する必要がある。この座標軸の合成の方法はいろいろ考えられるが、今回行った座標軸の合成は次の通りである。

1つの固定した計測点を、各方向に移動するごとにFMに搭載したメトレコムで計3回計測することにより1つのFMに平行な面をつくり、メトレコムの座標軸をFMに一致させる。つまり、1点目を計測→FMのX軸のみ移動して1点目と同じ点を計測→FMのY軸のみ移動して1点目と同じ点を計測する(図-2参照)。これは、FMを固定してFMと平行な面の3点を計測することと同じではあるが、FMとまったく平行な面を作ることが精度的に難しい為このような方法で行っている。

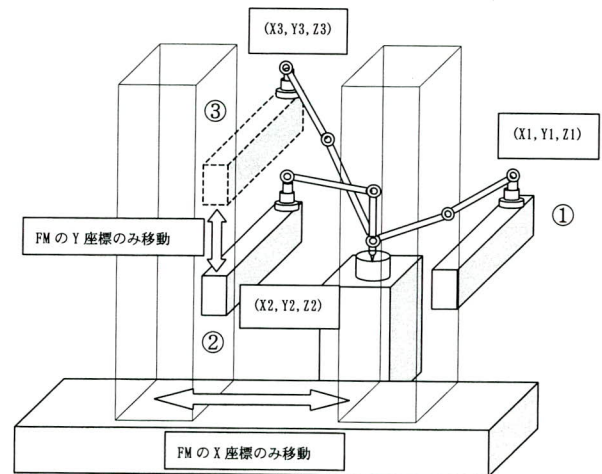


図-2 座標合成

(6) 計測座標と設計座標の変換

座標軸の合成が完了すると、計測する部材の座標軸を設計値の座標軸へ変換を行うために、部材の基準となる3点を計測する。

例えば、鉸桁をねかせて置いた場合は、部材端の四隅の内3点を計測し部材の基準面を作成する。基準面をもとに設計値座標に変換する。部材端の四隅を使って面を作るのは、狭い範囲であればある程、実際の部材の面との誤差が生じるからである。

基準3点の計測が終了すれば、どのポイントからでも計測を行うことができるようにした。設計値の中から計測値に最も近いものを選択しデータを書込むソフトとしており、計測点は計測順序に関わらず、また計測点位置を入力する必要のないものとした。部材計測の写真(写真-4,5)に示す。



写真-4

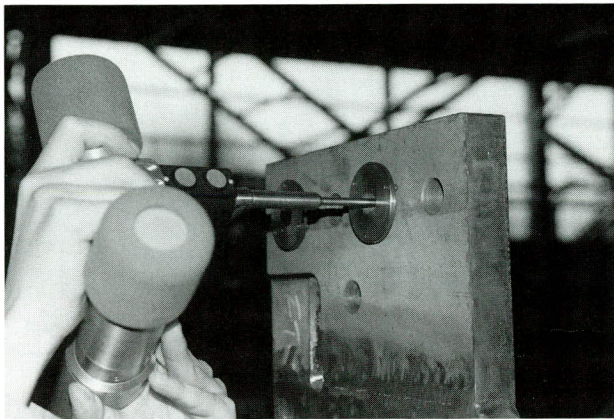


写真-5

計測範囲は、FM移動量リミット(機械座標)+3.7mである。

X軸： 0 ~ +15100

Y軸： -428 ~ +6470

Z軸： -75 ~ +1065

(7) 誤動作による計測モレや測り間違いをなくす工夫

実際に部材を計測することを考えた時に、どうすれば測りたい点を間違いなく計測できるかといろいろなケースを想定した。

実部材には、製作上の誤差の他ねじれやたわみが生じるが、各ポイントに(X,Y,Z)の各成分の想定される誤差に応じた許容値を設定するものとした。計測値と設計値の差が許容値以内であれば、そのポイントは正しく計測できたと判断し、CAD画面上の設計値白色が緑色に変化する。もし、許容値オーバーであれば白色が赤色に変

化し、再計測もしくはポイント確認を作業者に促すようになっている。

再計測を行なうと設計値に対する計測ポイントを1回目と2回目を比較し設計値により近い値を最終的なデータとするようにした。また、計測モレを防止するため計測データの有無によるCAD画面のポイントの色分け、および残りの計測点数を表示するようにした。

作業手順を(図-3)に示す。

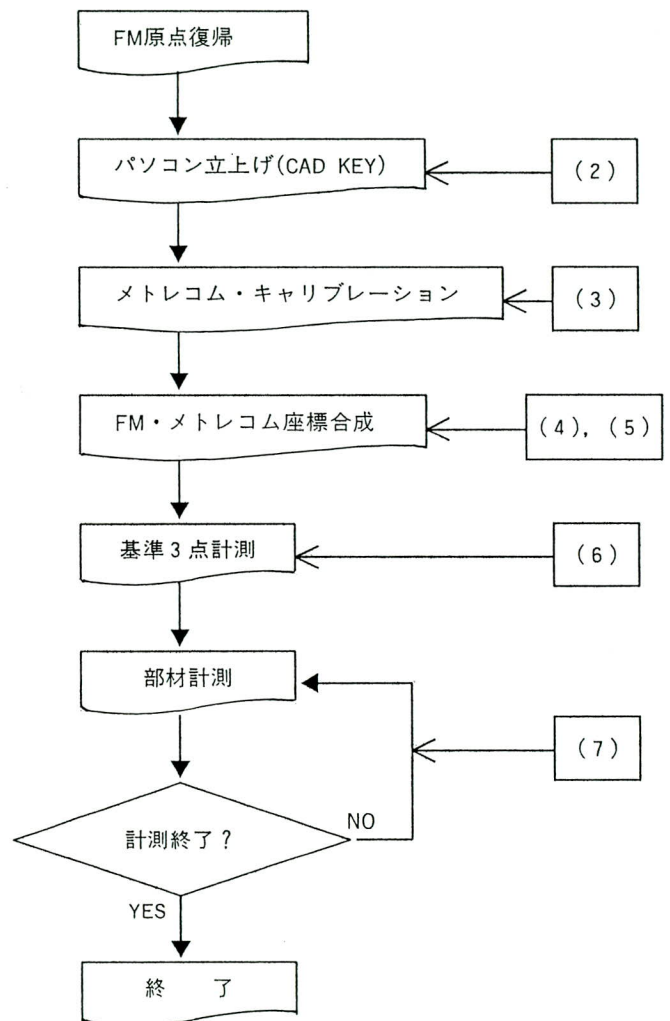


図-3 計測作業フローチャート

4. 精度確認

(1) 目的

実際の部材の計測精度と、座標合成が正しく行われているかを確認するために、原寸基準尺と校正したシナイを用いて、下記のことを計測した。(気温16℃)

(2) 方法

- ① シナイ (10m) を原寸基準尺 (張力4.75kg) で計測 (スケールルーペで目視) し、これを基準とする。
- ② FM+メトレコムでシナイ (10m) を計測する。
(最小読取り値 1/1000mm)
 - ②-1) FMの移動量 (10000、 0、 0)
 - ②-2) " (10000、 1000、 0)
 - ②-3) " (10000、 500、 500)

(3) 計測結果

- ①) 10000.0
- ②-1) 9999.941
- ②-2) 10000.557
- ②-3) 10000.418

よって、シナイを基準とすると

- 1) FMとメトレコムの合成座標によるX方向の精度
-0.1mm
- 2) FMとメトレコムの合成座標によるY方向 (1m) の精度
+0.6mm
- 3) FMとメトレコムの合成座標によるZ方向 (0.5m) の精度
+0.1mm

以上の結果を得た。

(4) 考察

基準長さの計測精度 (最小読取り値 1/10mm) に問題はあがあるが、工場製作における基準である原寸基準尺を正とした場合の計測結果では、最大でも0.6mm程度の誤差と考えられ、スプライス調整工法に十分適用できる精度と思われる。なお、FMの移動はなるべくX方向1軸のみとする。YおよびZ軸を移動する場合も常に同じ移動量とすることがさらに誤差を少なくする方法ではないかと考えられる。また、部材の位置をさまざまに変化させて計測し、データのバラツキ精度の確認を進めている。

5. あとがき

メトレコムは、接触式であるため信頼度の高い計測が実現でき、FMに搭載することで15mまでの部材長計測を可能にした。また、1部材50測点程度の計測を6~7台/日の効率で処理している。一方、仕口などの障害物によって計測できないポイントが生じるという「とりまわし」の問題も同時に含んでいることは避けられない(ポイントをシフトして計測する必要がある)。また、FMに搭載することでFM本来の切削作業が出来ないため、切削と計測が重なる時は工程をしっかりと管理しなければならない。

これらの問題は、新たにメトレコム専用の移動台を設置し、タンデム (2台) で計測することによって解決できると思われる。メトレコム専用の移動台と計測専用のスペースがあればメトレコムも今以上に活躍することであろう。

最後になりましたが、本システムに開発にあたり(株)ITT、(株)溝口機械製作所の関係者の方々、そして我々と一緒に問題解決に頭を悩ませた作業の方々には、多大なるご協力を頂き、紙上をお借りして厚く御礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 小塚毅, 森下統一, 小出勝雄, 伊東孝, 中塚勲, 茂木輝幸: 連続組立工法を用いた箱桁の仮組立省略システム, 宮地技報No.11, pp.160-171, 1995
- 2) 青木清, 小出勝雄, 堀井猛: NC機を部材計測に活用した鉄桁の仮組立省力化工法, 宮地技報No.11, pp.172-179, 1995
- 3) 矢崎満: 橋梁製作における大型CNCフライス汎用機と端面切削等の精密加工, 宮地技報No.10, pp.139-148, 1994

1999.11.1 受付