

I-159

非線形最適移動回転による立体仮組シミュレーションについて

住友重機械工業 正員 ○谷本 健 住友重機械工業 中西芳郎
住友重機械工業 川元則夫 住友重機械工業 岡田 敏

1. はじめに

現在、仮組立て省略に向けて立体部材計測による、計測時間の短縮が行われている¹⁾。しかし、現場架設前に橋梁として組み上げ、所定のキャンバーや橋長に納まることを検証するためには、立体部材計測値を用いたビジュアルシミュレーションを行う必要が生ずる。当社では、この仮組シミュレーションを橋梁CAT(電算支援検査)と位置付けて開発してきた。本報では、立体大回転による非線形性を考慮した最適移動回転方法を紹介し、その箱桁橋梁への適用結果を示す。

2. ブロック計測

計測においては、図-1に示すMONMOSシステムを使用した。工場の生産システムを尊重し、経済性を追求するために、この部材計測法を採用した。尚、本方法の代わりにCCDによる計測方法²⁾もある。PCノートに計測結果の3次元座標を取り込む。この時、計測時間は3.9秒/1点である。誤差要因を検討した所、計測現場の明るさや人的ミスの要因が大きいことが判明したので、ターゲットにライトを当て、1ターゲット2点の計測を行い、計測精度向上を図った。

3. 立体ビジュアルシミュレーション方法

図-2は、3次元CADのAUTOCADを用いて描画した箱桁橋梁のモデル図である。計測データを元に各ブロックを再構成し、各ブロックを実際の仮組と同様に、移動させて原寸情報を含んだ設計座標に合わせ、ビジュアルシミュレーションする方法を示している。開発に当たって下記の諸点に注意した。

- ① 工場で使用するため、PCで稼働可能
- ② キャンバー・桁の曲りを正確に表現可能
- ③ ボルト穴・ターゲットも正確に表現可能
- ④ 板は板厚のある立体のポリゴンで表示
- ⑤ 板間の食い込み・離れが起きない

このため、座標生成や要素生成機能を持ち、DXFファイルを作成する汎用描画ソフトを開発した。

4. 非線形最適移動回転

4. 1) 立体移動回転法の検討

計測ブロックは無応力であるから各点の距離が一定であるような剛体を仮定する必要がある。立体の最適移動回転において最小自乗法が使用されることが多い。ここで問題点を整理すると、①最小自乗法の変数は全て1次独立で、正規分布を仮定、②立体大回転における回転成分は1次独立でなく、ある軸を回転すると、他の軸の回転が影響を受ける、③剛体仮定を用いると最終的に6自由度に縮小できる、④しかし縮小した6自由度を単純に用いると通し基線の他に1~2点をもとに座標変換行列を決めざるを得ない、⑤全自由度を採用すると3*節点数の行列を解かねばならない、などである。そこで解法として赤池法、ファジー法、条件付き線形計画法、条件付き非線形計画法、幾何学的非線形構造解析法など各種の方法を検討した。最終的に選択した方法は、幾何学的非線形問題を6自由度の剛体バネモデルに適用して、非常に高速に最適解を得る方法である。

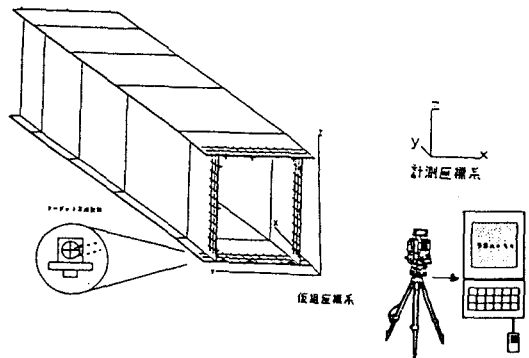


図-1 MONMOSによるターゲット2点計測

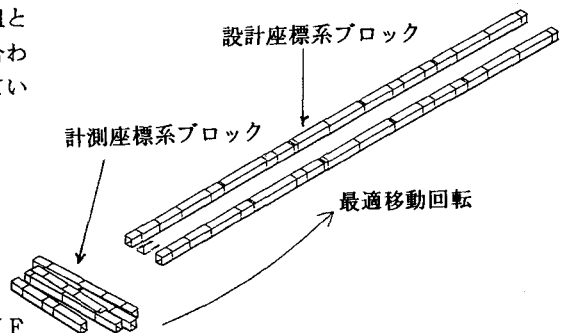


図-2 シミュレーション概要

4. 2) 非線形最適移動回転のアルゴリズム

計測座標と設計座標は図-1に示す様に、座標系が異なるので非常に大きな立体回転や移動をして初めて線形領域に入る。計測座標と設計座標の間をバネで結び、移動回転できるのは剛体の計測座標であるとするアイデアを採用すると、収束時にバネに蓄積される歪エネルギーが最小と言う意味で最適解が求まる。

図-3は本アルゴリズムの流れ図である。仮想重心を求めて計測座標を移動し、この重心周りに立体回転を行う。立体回転ではどの軸を回転させるかを外積により判別し、計測座標を設計座標に近づくように内積／外積を用いて回転（正規直交変換）する。同時に、計測座標と設計座標の距離の自乗和を求め収束を判定する。尚、重み関数により仮想重心は変えられる。

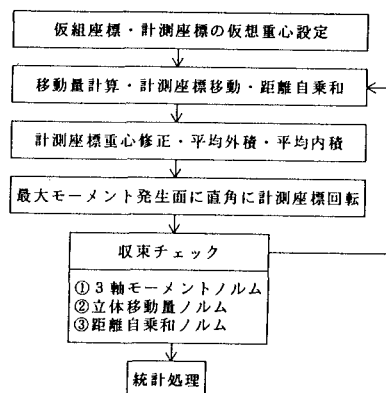


図-3 最適移動回転アルゴリズム概要

5. 箱桁仮組シミュレーションへの適用

図-4はホーム桁橋に適用した結果の仕口部分の拡大図である。破線は設計座標値を元に描画し、実線は計測座標に非線形最適移動回転を施し、重ね描画したものである。パイロットホールにターゲットを付け、更に、所定の添接板を付けた上フランジの様子を描いている。ボルト穴は非常に良く一致している。尚、計測ブロックを最適移動回転する時間は、64点で0.2秒であり、多くの部材を最適移動回転しても全く問題とならない。

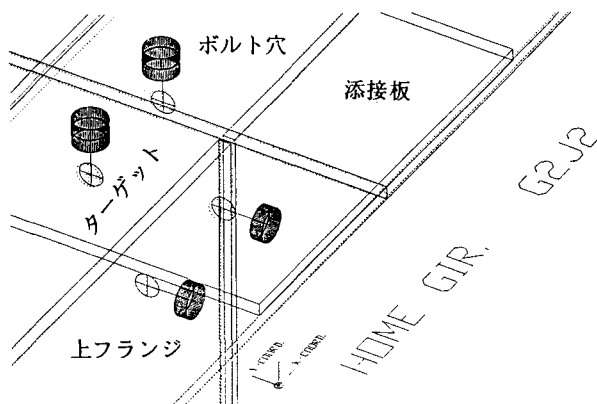


図-4 箱桁仮組シミュレーションの仕口部詳細

6. 結果の考察と今後の課題

箱桁仮組シミュレーションへの適用を終了した時点で、以下のことが分かった。

- ① 高速な最適移動回転方法により、計測した時点で即座に製品検査・計測値検査が可能である
- ② 添接板などの小物の最適移動回転を行っても高精度に位置合わせすることが出来る
- ③ 箱桁仮組シミュレーションでは、仕口の食い込み・離れすぎも無く修正移動が不用であった
- ④ 以上より、箱桁仮組シミュレーションによる実際の仮組の代替が可能であるとの判断が出来る

一方、今後の課題として以下の点が考えられる。

- ① MONMOSのターゲット探索方法の自動化、または、2点計測に適したターゲットの開発
- ② 鉋桁・トラス・主塔・バスケットニールセン等の立体仮組シミュレーションの実施と効果の確認
- ③ 設計座標と計測座標の立体ブロックを重ね描画すると分かりにくいので、CGによる半透明描画をする
- ④ 橋梁CATの確立により、検査結果を早く製作現場にフィードバックし、部材精度向上に資する

7. おわりに

今後、仮組シミュレーションに関して、実橋データを積み上げ本システムの有効性を検証しつつ、効率を上げて行く予定であります。尚、本開発に協力して頂いた当社追浜橋梁工場、東予工場の皆様、及び、SKI社の西尾様に御礼の言葉を持って結ばせて頂きます。

参考文献)

- 1) 林, 西園, 大江, 井上: 鋼橋の3次元計測に関する基礎的研究, 橋梁と基礎, 93. 7月
- 2) 小桜, 片山, 藤原, 深谷, 佐々木: 鋼橋の完成検査システムに関する検証実験報告, 横河技報, NO. 18, 1980
- 3) 大型構造物のための3次元解析ソフトCAL S / 3D, CAD KEY講演会資料, 株式会社クボタ, 94. 04. 05