

鉄骨工事における情報化施工技術

戸田建設(株)

1. 業務内容

バブル崩壊後、建設投資が労働者の減少を上回り、労働力過剰となり、省力化につながる建設現場の生産性向上が見送られてきた。近年では、労働力過剰時代から労働力不足時代とりわけ熟練工不足時代への変化が起きている。そこで、ICT技術の活用による建設現場の生産性向上を目的とした“i-Construction”が提唱されている。“i-Construction”の具体的な事例としては、トータルステーションやGNSS技術による3Dマシンコントロールや3Dマシンガイダンスなどを用いたICT建設機械などがあげられ、建設現場における活用事例が増えつつある。その中で我々は「建物は接合部の塊である」事に着目し、接合に係る作業を、ロボットや自動化技術で簡略化すれば、労働集約型から脱却でき、接合作業に係る工数を削減、労働生産性を高める事が可能となると考えた。そこで、接合作業に必要な作業員の人工削減と高所作業の軽減につながる、『複数柱の自動計測建入れ調整システム』『歪み直しシステム』『仮ボルト不要接合法』やクレーンのジブ先端と基部に衛星測位システムのアンテナを設置し、モバイルパソコンに表示された現場平面図上でリアルタイムで吊荷の位置を把握し、熟練したオペレーターでなくても、荷取位置と取付け位置を選択するだけでタワークレーンの能力を最大限に発揮できる『タワークレーンの2次元自動誘導』、その他に、接合に係る取り付け位置決めに有効な『吊荷旋回制御装置』を開発した(図-1)。

これらの技術を使用して鉄骨建方を行う事で、作業人員

は5割減、柱2本・梁1本の取り付けにかかる時間を1/3に削減した(当社比)。以下に各システムを紹介する。

(1) 柱の建入れ

まず、柱の建入れに使用するのは、『複数柱の自動計測建入れ調整システム』である(図-2)。「複数柱の自動計測建入れ調整システム」については、三次元計測において汎用的に使用されているトータルステーションを用いる。トータルステーションは計測する鉄骨柱頂部に設置した反射プリズムよりも高い位置に設置する。トータルステーションの自己位置計測指示、鉄骨柱の建方精度計測開始や設計データと計測結果の差分から建入れ精度を±1mm以内に誘導する自動制御開始指示などの送受信は、モバイルパソコンを用いる。計測結果の差分データはモバイルパソ

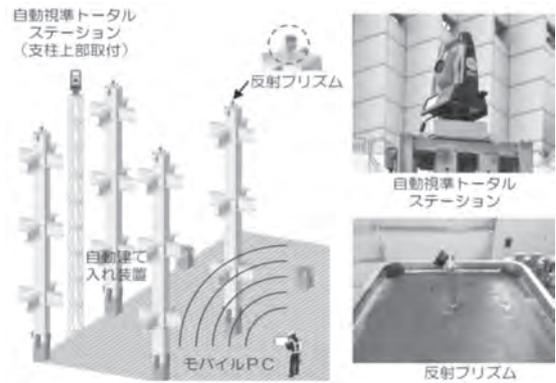


図-2 「複数柱の自動計測建入れ調整システム」の概要図

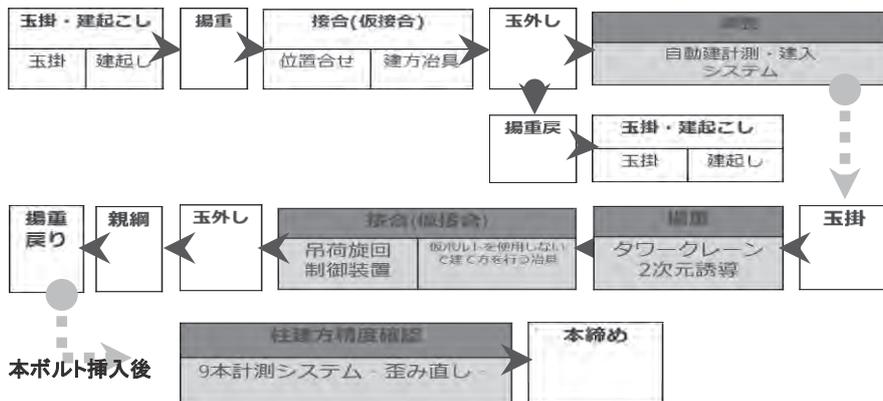
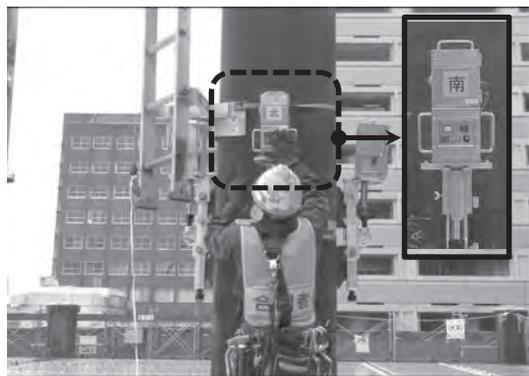


図-1 鉄骨建方フロー図内の開発技術

コンから無線 LAN で自動建入れ調整装置へ送られ、一連の計測作業が終わるまで計測者は一切の操作が不要となる。自動建入れ装置は、モーター減速機から構成され、モバイルパソコンから送られた調整量をカムアーム機構からなる建方調整治具の押し上げボルトを回転させることで自動建方調整が可能となる（写真—1、表—1、図—3）。

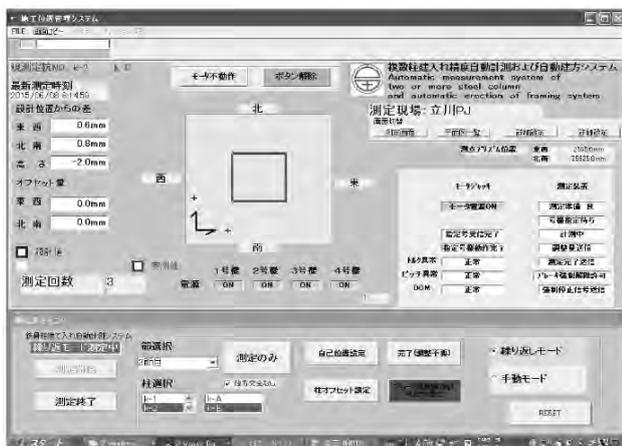


写真—1 調整システムを薦工 1 名で取り付けている状況

表—1 「複数柱の自動計測建入れ調整システム」の従来システムとの比較表

従来システムとの比較			
	在 来	建て方治具 (手動調整)	本システム
概 要			
計測方法	トランシット	トランシット	トータルステーション
建入直し	ワイヤー チェーンブロック	建て方治具	建て入れ調整装置
計測工	2名	2名	1名(オペ)
薦 工	2名	2名	1名

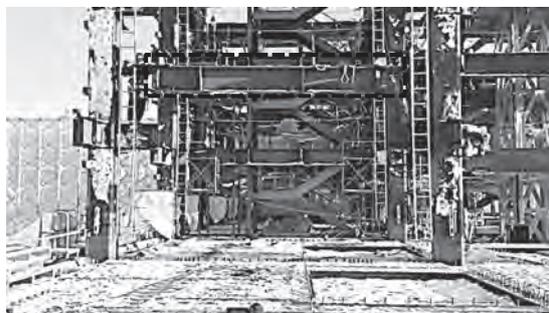
(当社比)



図—3 「複数柱の自動計測建入れ調整システム」の操作画面

(2) 梁の建込み

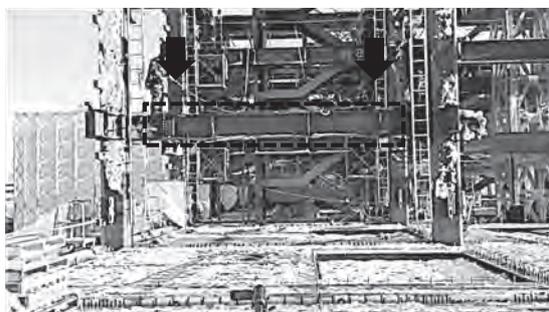
柱の建入れ完了後、『仮ボルト不要接合法』を用いて、梁の建方を行う（図—4）。JASS6 に準じ、予め現場毎に仮固定時の風荷重、地震荷重、積雪荷重、積載荷重に対して、強度検討後施工を開始する。



梁を所定の向きに調整



梁を下していく



梁セット完了

図—4 「仮ボルト不要接合法」を用いた梁セットフロー図

(3) 歪み直し

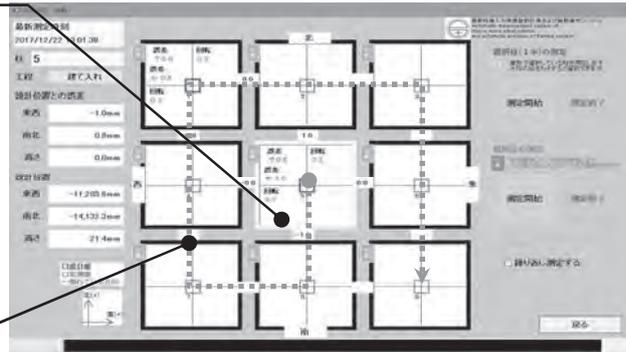
次に、梁の建方完了後『歪み直しシステム』を使用して、歪み直しを行う。

柱の建入れ調整に用いた『複数柱の自動計測建入れ調整システム』と同じ資機材を使用する。トータルステーションにより計測された計測結果をモバイルパソコン上に表示する。選択した柱を中心とする9本の柱を同時に液晶画面上に表示する。歪み直し調整中の柱の自動視準を繰返し、計測結果をリアルタイムで表示する。調整後、調整する柱に伴って動く周囲の柱を自動で、順番に自動視準を行う（図—5）。

ここからは、それぞれの部材を誘導する開発技術につい

計測中の柱 黄色点灯

『の』の字に順番に計測



図一五 歪み直しシステムの液晶画面



タワークレーンの2次元自動誘導操作状況

2次元自動誘導タッチパネル画面

写真一 2 次元自動誘導搭載クレーン

て説明する。

『タワークレーンの2次元自動誘導』については、GNSSアンテナをブームの先端と基部に設置する事で吊荷の位置を把握する。また、モバイルパソコンのタッチパネル上に表示された現場平面図の荷取り位置と取り付け位置(目的位置)を選択するだけで、起伏・旋回 of 角度・速度を自動で演算し、最短ルートで取り付け位置に到達する。また、取り付け位置から指定した範囲内は減速を行い、荷ブレする事なく、吊荷を目的位置に誘導する事が可能である(写真一2)。

『吊荷旋回制御装置』については、ジャイロトルクによる吊荷の方向制御にカラートラッキング手法を用いて、吊荷を目的の位置で正確に静止させられる装置である。ジャイロ機構を用いた旋回制御方法に、受動制御と能動制御がある。受動制御は、外力で吊荷がz軸回りに回転させられると、ジンバル軸(y軸)が回転し、吊荷の旋回を抑制する。能動制御は、ジンバル軸(y軸)を回転させることで、吊荷をz軸方向に旋回させる事ができる。部材取付け位置の角度については、タワークレーンジブトップのカメラ画像をもとにタッチパネル上で、部材取付け位置の両端をマーキングし、吊荷位置については、吊荷旋回制御装置に

マーカーを設置し、カラートラッキング手法を用いることにより把握する。吊荷の自己位置は、カラートラッキング手法を用いて設計座標と実測位置から吊荷旋回角を演算し、演算結果からジンバル軸を傾斜させ、吊荷を取付位置と平行に旋回制御を行う(図一6)。

2. 技術効果

従来の計測作業は、高所での危険作業を伴うとともに作業場所の頻繁な移動が必要だったが、『複数柱の自動計測建入れ調整システム』については、同じ位置からのすべての柱の計測が可能となり、安全性と作業性が向上する。また、誰でも簡単に操作が出来るため、計測工の熟練度・計測姿勢によって生じる計測精度のバラツキをなくす事が可能となり、計測結果の信頼性が向上する。また、帳票出力機能も備わっており、計測と同時に記録し、データを後日まとめる手間が省ける。誰でも簡単に±1mm以内に建入れ精度を確保する事が可能である。『歪み直しシステム』については、調整中の柱の計測結果をリアルタイムでモバイルパソコンで確認する事が可能となる。また、調整中の柱に伴い移動する可能性のある周辺の柱9本を、同時に表示し、自動で順番に計測を行い、歪み直し工区全体を把握

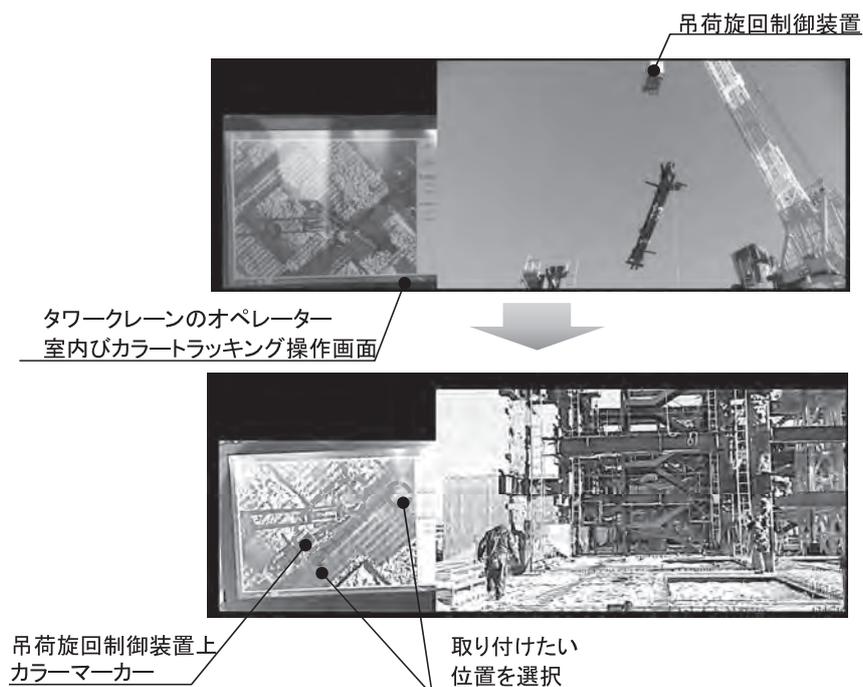


図-6 吊荷旋回制御装置

しながらの作業が可能となる。

『タワークレーンの2次元自動誘導』については、技量の高い熟練オペレーターでなくても、有資格者であれば誰でも安全かつ簡単に操作が可能である。目的位置に最短ルート・最短時間で誘導を行う為、タワークレーンの能力を最大限に発揮する事が可能である。

『吊荷旋回制御装置』を採用する事で、風やクレーンの動きに伴う慣性力等外力により吊荷が旋回し、吊荷の衝突や破損等防止する事が出来るため、揚重作業の安全性と作業効率が向上する。また、取り付け位置付近に吊荷が到着後旋回を行うのではなく、揚重中に旋回し、屋外の状況にかかわらずカラートラッキング手法を用いて、最終位置の調整、姿勢保持を行いながら梁の取り付けを行う事が可能であり、作業時間の短縮が可能である。吊荷定格慣性モーメントは $75\text{t}\cdot\text{m}^2$ を有しているため、15秒で10tの部材を 90° 旋回させる事が可能である。

『仮ボルト不要接合法』を使用する事により、玉外しままでの時間が短縮でき、1日の揚重回数が増加する。また、

梁上を移動する回数も削減でき、安全性も向上する。

3. 経済的効果

これらの開発技術を使用する事で、建入れ調整について、鳶工2名、測量工2名で行っていた作業を、鳶工1名、測量工1名で作業可能となり、作業人員は5割低減できる。また、柱2本、梁1本取り付けにかかる時間は、在来工法の約 $1/3$ となる（当社作業所での検証結果）。

4. 施工実績

『複数柱の自動計測・建入れ制御システム』については、当社建設現場では、既に8件の実績がある。『歪み直しシステム』については開発が完了、現在当社作業所において、採用中である。『仮ボルト不要接合法』については18件、『吊荷旋回制御装置』については4件、『タワークレーンの2次元自動誘導』については、現在稼働中の当社建設現場のタワークレーンに搭載し使用している。

お断り

このJCMA報告は、受賞した原文とは一部異なる表現をしています。