

鉄骨工事における自動化技術に関する開発

DEVELOPMENT OF AUTOMATION ON TECHNOLOGY IN STEEL WORK

三輪 明広*¹, 鈴木 信也*¹, 中村 淑子*¹

Akihiro MIWA, Shinya SUZUKI and Yoshiko NAKAMURA

It is desirable to get out of labor-intensive industries at an early stage. The authors recognize building the building by assembling various members on site at the site, aiming at productivity improvement at the construction site, that is, "building is a lump of joints" Simplifying such various site work using new construction method · automated construction etc. We have developed a rational joining method for positioning devices and members of lifting construction members. In this paper, as a technique relating to joining work and joining work in steel work, technical development on the effectiveness of Load Rotation control device, Automatic measurement of steel columns and Temporary bolt unnecessary construction will be carried out and the results verified on the field will be reported.

Keywords : Load Rotation control device, Automatic measurement of steel columns, Automatic building controller, Temporary bolt unnecessary construction

吊荷旋回制御装置, 鉄骨柱自動建入計測・自動建入れ制御装置, 仮ボルト不要工法

1. 序論

建設業の労働生産性は、製造業における労働生産性が年々増加していることに反して 1990 年以降低下傾向にあり、近年では製造業の半分以下になっている。この要因として、バブル経済崩壊後に始まった過当競争による建築受注金額の低下と、建築現場における作業省力化・機械化の遅れに伴い、建設業が労働集約型産業のまま停滞していることが考えられる。さらに、建設業に従事する就業者は他産業に比して高齢化が進んでおり、また、熟練工不足が建築生産の制約となっていることから、労働集約型産業からの早期脱却が望まれる。

筆者らは、建設現場の生産性向上を目指し、建物がさまざまな部材を現場で組み立てることで建てられること、即ち「建物は接合部のかたまりである」ことに着目して、接合作業と接合に係るさまざまな現場作業に、新たな構工法・自動化技術などを用いて生産性を向上させる取り組みを行っている。

本論文では、鉄骨工事における接合作業や接合に係る部材に関する技術として、吊荷旋回制御装置、鉄骨柱の建入れ自動計測・建入れ制御装置および鉄骨梁の仮ボルト不要工法の有効性について技術開発を行い、久留米大学基礎 3 号病院北作業所において在来工法との比較検証を行った結果について報告する。

2. 鉄骨柱の自動計測・建入れ制御システム概要

2.1 鉄骨柱の自動計測・建入れ制御システムの機構

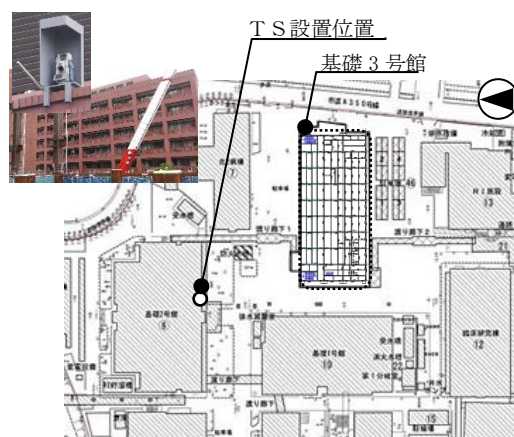


図-1 現場全体図

一般的に鉄骨の建入れ計測は、従来のトランシットを使用した 2 方向からの計測(以下「在来工法」)や鉄骨柱にターゲットを貼りトータルステーション(以下「TS」)を使用した計測方法が多く活用されているが、いずれも計測機器は建方階に設置しており、吊足場や安全ネットなどからの視認性の悪さや盛替え作業が発生する。「鉄骨柱の自動計測・建入れ制御システム」は、視認性の悪さや盛替え作業の発生を回避するため、「見下げ計測」としている。鉄骨機器に鉄骨図の 3 次元データを搭載した自動視準 TS により、設計データと実際に計測した建入れデータとの差分に基づき、鉄骨接合部に取り付けられた装置を自動制御する建入れ制御システムである。(図-2)また、鉄

*1 戸田建設備技術開発センター

Research and Development Center, TODA CORPORATION,

骨柱に建入れ制御治具と自動建入れ制御装置(以下「本装置」)を取り付け、自動建入れ計測システムにより計測した鉄骨柱頂部の位置情報から、自動で鉄骨柱を設計位置に建起こすシステムである。自動建入れシステムの機構を図-3 に示す。建入れ制御治具の上部に台座を介して本装置を設置し、倒れ制御ボルトを自動で回し 98kN(10t)までの鉄骨柱の建入れ制御を自動で行うものである。倒れ制御ボルトの上部にモーター、減速機、シャフトを連続配置することで、最小限の重量になるように構成されている。本装置の重量は約 10kg である。

自動建入れ計測システムは、3 次元計測において汎用的に使用されている TS を用い、TS は計測する鉄骨柱の頂部に設置した反射プリズムより高い位置に設置する。TS の自己位置計測指示や、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 ± 1 mm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 PC を用いる。モバイル PC のディスプレイを写真-1 に示す。計測結果の差分データはモバイル PC から無線 LAN で自動建入れ制御装置へ送られ、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、モーター及び減速機から構成され、モバイル PC から送られた制御量をカムアーム機構からなる建入れ制御治具の押上げボルトを回転させる事で自動建方制御が可能となる。

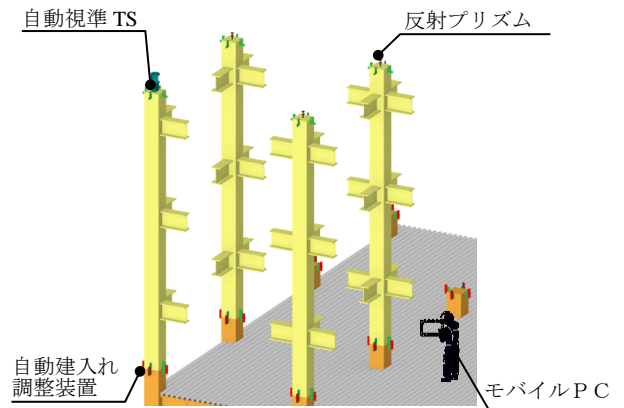


図-2 建入れ制御システム全体イメージ図

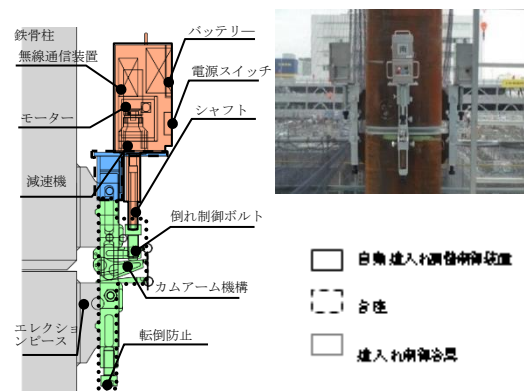


図-3 自動建入れシステムの機構現場全体図

2.2 TS の設置箇所の検討

計測する反射プリズムよりも高い位置に設置する TS の設置箇所は、近隣建物屋上、鉄骨柱頂部もしくは TS 専用の支柱が考えられる。鉄骨柱頂部に設置する TS は仮置きされた鉄骨柱に地上で設置するため、写真-3 の常時鉛直を保つ機構の治具に取り付けて揚重する。TS 専用の支柱への設置は支柱内を自昇降するテーブルに設置する。いずれの設置方法も高所作業が不要であり、計測作業の安全性が向上する。

2.3 柱頂部や専用支柱の振動

柱頂部や TS 専用の支柱への設置は、鉄骨建方階の作業による振動や風速により、計測精度に悪影響を及ぼす事を避けなければならない。そこで、当該作業時の柱頂部や専用支柱頂部の振動を計測した。いずれも変位は加速度時刻歴の 2 階積分から求めた。

柱建方直後の最大変位は、X 方向で 0.4mm であり、TS の斜距離精度である ± 1 mm 以下である事が確認できた。また、デッキ仮置き時の最大変位は、Y 方向で 1.2mm と斜距離精度とほぼ同程度であり、柱の歪直し時の計測等に大きな影響を与えるものではないと判断できた。ただし、梁取り付け時では、衝撃により Y 方向の最大変位が 1mm を大きく超える瞬間があり当該作業時は、計測精度に悪影響を及ぼす可能性が示唆された。一方、TS 専用支柱頂部の最大変位は 1mm 以下推測され、計測結果に大きな影響を与えるものではないと判断できた。

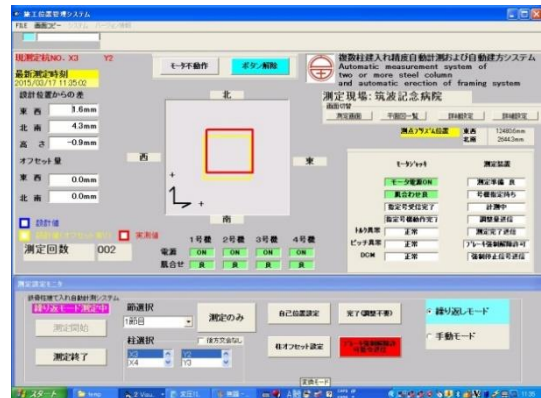


写真-1 モバイル PC ディスプレー



写真-2 TS 専用支柱

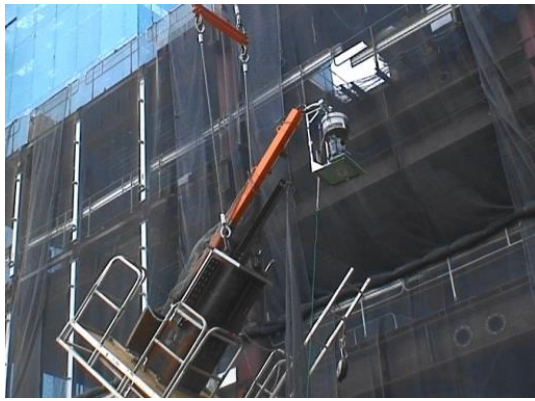


写真-3 レーザー鉛直器設置状況

2.4 建入れ制御量算出方法

柱の倒れが θ° である場合、本装置の制御量は下式で求めることができる。

$$H = X \times D \div L1 (\text{mm})$$

H: 建入れ制御量 (mm) X: 柱のずれ量 (mm)

L1: 柱長 (mm) D: 建入れ制御器具間距離 (mm)

自動建入れ計測システムにより計測した柱のずれ量と設計情報(柱長、柱幅)から建入れ装置の制御量を自動算出する事ができる。

2.5 必要トルクの算出方法

倒れ制御ボルトの必要トルク T は下式により求めた。

$$T = N \times d \times K = 87.3 (\text{Nm})$$

N: ボルト軸力 (kN) = 29.4

d: ボルト軸径 (m) = 0.033m

K: トルク係数 = 0.09

1/100 減速機(トルクロス 5%を想定)を用いたモーターの必要トルクは、約 0.92Nm となる。モーターは、ピークトルク 1.07Nm, 定格トルク 0.48Nm のモーターを選定した。

2.6 制御の検討

自動計測システムによる柱位置の計測結果から、建入れ制御量を自動計算し、無線 LAN によりモバイル PC から本装置に動作信号が送信され、X 方向と Y 方向の自動制御が始まる。汎用的に使用されている自動視準 TS を用いて計測を行っているため、一回の自動視準計測に 20 秒程度かかる。一方向制御毎に計測を行うと制御回数分の計測時間がかかるため、一回の計測で二方向同時に制御をして、計測時間の短縮を図っている。自動建入れ制御は、柱の建入れ精度が $\pm 1\text{mm}$ 以下になった時点で自動停止する。本装置の設置状況を写真-4 に示す。

本装置は、モーターの温度、電圧、トルクを監視しており、許容値を超えた場合、異常信号をモバイル PC に送信し、動作が止まる安全装置が組み込まれている。

2.7 制御装置の検討

建入れ制御器具は鋳物あるいは鍛造のため、大きさにばらつきがある。そのため、台座と本装置の間で遊びを設ける必要がある。台座と本装置との間に前後方向長穴を設け、倒れ制御ボルトの位置に合わせて本装置の位置制御ができるようにして、本装置と建入れ制御器具の芯ずれに対応できるようにした。

本装置と建入れ制御器具を連結するシャフトは、倒れ制御ボルトの六角凹型に合わせ、押付けバネ内蔵の六角ボルトで計画したが、倒れ制御ボルトは、カムアームに取り付いているため、シャフトが本装置から垂直になるとは限らない問題が発生した。そこで、押し込みに合わせて角度が変化するように、シャフト上下端部をボールポイント形状にして、建入れ制御ボルトの角度の変化に追従可能とする事で、スムーズにモーター回転を制御器具に伝達できる機構としている。

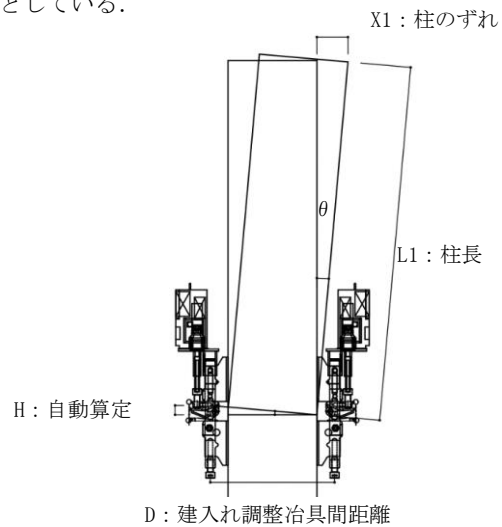


図-4 柱の倒れ模式図



写真-4 自動建入れ制御機



写真-5 自動建入れ機の台座

3. 仮ボルト不要接合法の概要

3.1 概要

仮ボルトの締め付けは、鉄骨工事標準仕様書「JASS6 鉄骨工事」10.4 建方 g(1)に「一般的な高力ボルト継手では、仮ボルトは中ボルトなどを用い、ボルト 1 群に対して1/3程度かつ2本以上をウェブとフランジにバランスよく配置して締め付ける。」とに規定されており、梁建方後のボルト入れ作業手間がかかり、鉄骨工事の生産性が低下する問題がある。そのため、10.4 建方 g(4)「仮ボルトの締め付けを行わない場合は、風荷重、地震荷重及び積雪荷重等に対して接合部の安全性の確認を行い、その検討結果に応じた処置を施す。」に準拠し、構造体を変更せずに、風荷重、地震荷重及び、衝撃荷重が発生しても脱落しない仮ボルト不要接合法を開発した。

仮ボルト不要接合法は、梁の上フランジを固定するとともに、柱のブラケット梁のボルト穴にピンを差し込むことにより、ピンのせん断力で風荷重・地震荷重の水平力に対して抵抗する。水平力が作用すると片側のピンが抜け出すおそれがあるため、フェイルセーフとして、外れ止め治具を設けている。

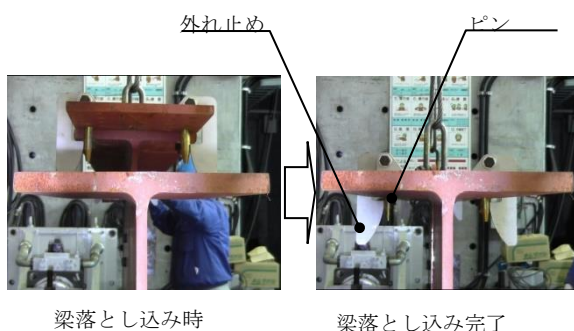


写真-6 仮ボルト不要接合法

3.2 仮ボルト不要接合法の加力実験

仮ボルト不要接合法の水平加力実験を行い、風荷重、地震荷重による水平力が生じてもピンと外れ止めが抵抗し、梁落下しないことを確認した。(図-7)

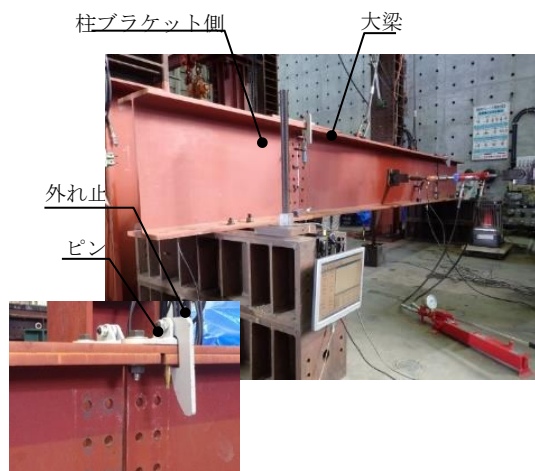


写真-7 加力実験状況

4. 吊荷旋回制御装置の概要

4.1 制御の検討

一般に、建設工事では鉄骨やカーテンウォールなど様々な資材をタワークレーンを用いて揚重し、取り付ける作業が行われている。しかし、風の影響やクレーンの動きに伴う慣性力によって吊荷が旋回することが多くあり、安全面や作業効率の改善が求められている。この様な課題の克服に向け、タワークレーン作業の更なる効率化と工期の短縮、及び安全性の向上を目指して様々な技術開発が行われ、ジャイロトルクにより吊荷の方向制御などを行うコントロールモーメントジャイロ技術などの高度な制御技術の導入も試みられている。

ジャイロトルクによる吊荷の方向制御の能動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旋回制御装置を開発した。

4.2 ジャイロ機構を用いた吊荷旋回制御装置

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、外力吊荷が外力によりz軸回り回転した場合、ジンバル軸(y軸)を回転し、吊荷の旋回を抑制する。それに対し、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ことができる。

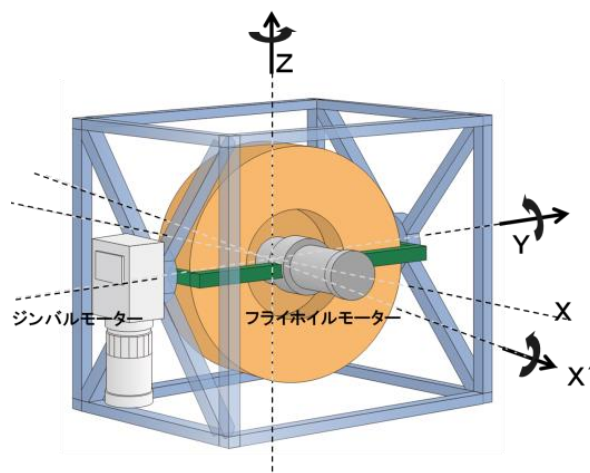


図-5 ジャイロ機構

4.3 カラートラッキング手法を用いた能動制御

開発にあたっては、吊荷位置と部材取付け位置の角度の把握が重要となる。そこで、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マウスなどを用いて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の演算し、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-6)。開発した吊荷の自動旋回制御手法は、ジャイロ機構を用いた装置とカラートラッキング技術を活用した手法であり、アルゴリズムに大きな特徴がある。

4.4 カラー-tracking手法を用いた能動制御

(1) タワークレーンジブトップのカメラ画像上で、部材取付け位置の両端を指定する。

(2) 部材取付け角度を算定

部材設置場所の両端の座標を(x1, y1), (x2, y2)とすると、部材設置場所の角度 θ を $\theta = \tan^{-1}((y2 - y1)/(x2 - x1))$ として算定する。

(3) 取付け部材両端をカラー-trackingによる認識部材の両端に異なるカラーマーカー(tracking対象物)を設置する。

(4) 取付け部材の角度を算定

部材両端の座標を(u1, v1), (u2, v2)とすると、部材取付け場所の角度 θ' を

$\theta' = \tan^{-1}((v2 - v1)/(u2 - u1))$ として算定する。

部材取付け場所の角度 θ と取り付け部材の角度 θ' の差を算定し、誤差範囲内かどうかを確認する。

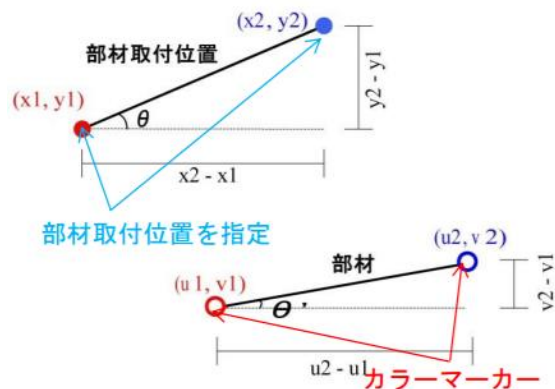


図-6 旋回制御装置角度

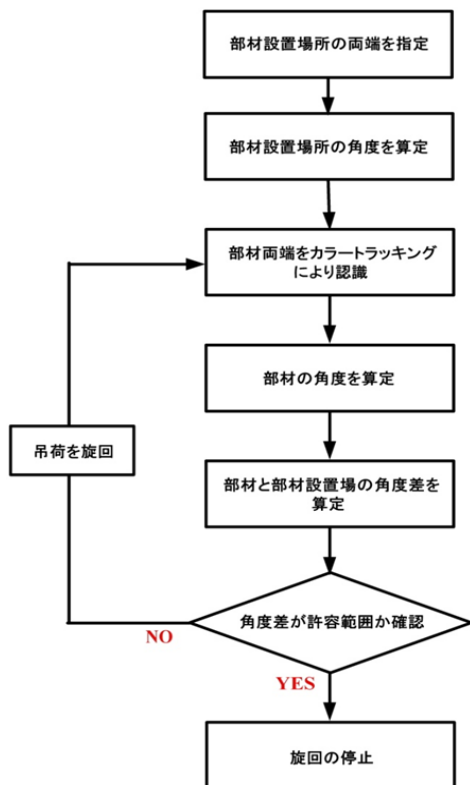


図-7 吊荷旋回のアプローチ

4.5 吊荷旋回制御装置の機構

吊り荷旋回制御装置の構成を図-8 に示す。前記のカラー-trackingの角度差によりジンバル用減速機を用い、ジンバルフレームを傾ける事により、吊荷を旋回させることができる。ジンバル回転角検出用エンコーダは、ジンバルフレームの角度を監視し、旋回制御が可能であることを確認する。

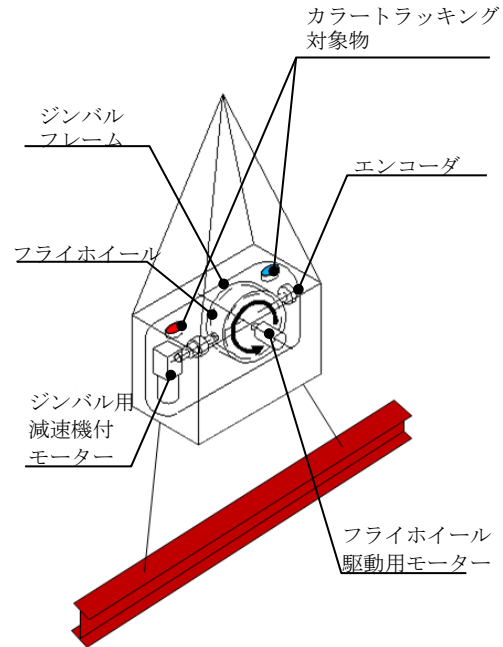


図-8 吊荷旋回制御装置概略図

4.6 能動制御

カラー-trackingで③方向に旋回させる場合、フライホイールが②方向に回転している時、ジンバル減速機を用いて、ジンバルフレームを①方向に傾けることによりフライホイール回転慣性力の反力で吊荷を③方向に旋回させることができる。(図-9) カラー-trackingによる旋回角度が一致した時点で、ジンバルフレームの傾きを止め、ジンバル用の減速機付モーターのブレーキを開放すると、ジャイロ効果によりフライホイールは①と逆の方向に傾き、吊荷の旋回③を吊荷の取付け角度で停止する。

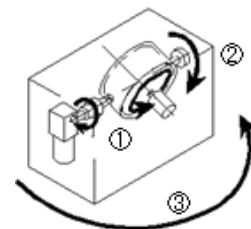


図-9 旋回制御方向概略図

4.7 受動制御

ジンバル用の減速機付きモーターのブレーキの開放を続ければ、外力に対しての抵抗として働き、吊荷の旋回位置を保持することになる。能動制御を開始する際に吊荷の旋回が静止した状態で機械抵抗を

無視すると、ジンバルフレームを傾けて旋回を行い、ブレーキを開放すると旋回は止まり、ジンバルフレームは旋回時の角度に戻る。受動制御は、有風時の旋回制御として有用な制御となる。

4.8 カメラ画像補正

カラー-trackingによる色情報は環境変化に脆弱である。しかし色情報を使った応用事例では色を効果的に利用できることが証明されている。つまり環境を限定すれば十分に利用できることを示唆している。我々は、生活環境に施された色情報を昼間や夕方と違ったものとして見ることはなく、色についても本来の色を知ることができる。光源環境によって変化する見え方を体験しているから、変化した環境においても本来の状態を推し量ることができる。このように、環境に応じた色の扱い方を使い分けることでカラー-trackingターゲット(以下、ターゲット)を認識する知覚方法をコンピュータビジョンに応用することを考える。

カメラから観測される色情報は、屋外環境の変動や物体の移動により変化する。細かく言えば屋外環境の光によるホワイトバランスによる影響も考慮に入れるべきであるが、ここでは昼間の太陽光の下での影響に特化して考察する。太陽光のもとでの物体の色情報は、炎天下と曇りでは大きな違いが出る。炎天下の場合は太陽光の強い日差しが物体に反射し、カメラのオートアイリス機能でもそのターゲット以外の情景を含めて撮影する為にはその閾値を下げ過ぎることは出来ない。曇りの場合は全体の明るさを確保する動作を行う。アイリスが変化すると照明変動がなくても出力されるRGB値に変化が生じる。そこで筆者らは、電子装置が人間の目で見たままの状態に近いイメージを表現することが出来る技術であるRetina-Morphic Processing(網膜模倣原理)に着目した。一般的にカメラのCCDなどはディスプレイやプリンタなどよりはるかに高いダイナミックレンジを持っており、ガンマ補正などのテクニックは特に暗い領域でのディスプレイ表示において詳細情報を失うことがある。我々の目がイメージを我々の脳に送るとき、強力なダイナミックレンジ圧縮が網膜のセルによって行われる。Retina-Morphic Processingは人間の目や脳がダイナミックレンジを圧縮する方法をまねているため、イメージを加工することなしにバランスのよいコントラストを保つことが可能となる。

4.9 輝度補正空間保持モデルの確立

カラー-trackingに適した色情報の位置が決定したとしても、その色情報位置を保持する方法を決定することが難しい。前述の通り、屋外での作業の場合、カメラの撮影の明るさを一定に保つ方式には限界がある。また、trackingを行う対象物が単純な反射光による色情報ではなく、LEDなどの発光体の場合はその色が薄くなる現象や色相の変化が見られるのではと考察される。

筆者らが着目したRetina-Morphic Processing(網膜模倣原理)の応用した場合の可能性について以下考察する。

考察1: カメラから得た映像に対し、網膜模倣原理にて各画素単位に異なった輝度補正を行うことで、それぞれの物体のコントラスト比が上がり、ターゲットとなる物体が認識しやすくなる。

考察2: 輝度補正を行うことで明度が一定化され、色情報が変化しにくくなる。

考察3: カメラの特性に対応する為、色相・彩度をあらかじめ決定することで、trackingに適した色情報が保たれる。

4.10 評価実験

カメラ位置を地上より20mの高さに設置し、真下に向けて撮影した。この撮影方法は太陽光が地面とターゲットに直接反射するカメラにとって好ましくない状況と仮定し、評価実験は晴れた午後の日差しの強い日に行った。

ターゲットを目視した場合、左のターゲットは黄色、右は水色と判断する(図-10)。実際のターゲットは左が赤のLED、右が緑のLEDである。結果として太陽光の光により赤のLEDは彩度が高いことから反射光と交わることで明度が高くなり、結果的に黄色に見え、緑のLEDも同様に水色に見えたと考えられる。

ターゲットの色相の変化を抑えるために行った実験は、画素単位輝度圧縮補正による「コントラスト強調」、色情報を保つ目的とした「彩度強調」、補正を行った場合に強調されるカメラの色ずれ補正の為の色相補正を行うことで期待している元のターゲットの色情報に近づけることが可能かどうかを実証した。

「コントラスト強調」を行った場合、ターゲットをはっきりと認識できるようになるが、カメラのカラーノイズも強調されてしまう結果となった(図-11)。この結果に「色相補正」を行い、元の色情報に近づけてみた(図-12)。ターゲットの色は期待した元の色を保ちつつ、まわりの物体の色も若干のカラーノイズを除けば元々の固有の色を保っていることが確認できる。また、ズームすることでカメラがとらえる明るさが変化し、暗くなった場合でも、色の明度は変化するものの色情報は保たれることを実証している(図-13)。

4.11 tracking検証実験

ターゲットを撮影した画像を用いて、trackingの検証実験を実施した。図-14にターゲットの撮影画像を示す。撮影画像のターゲット(青色LED)を選択し、RGB情報を取得した。R=86, G=171, B=255であり、Bの数値が高いため青色に見える。RGB値の許容範囲を ± 10 とし、最小値は0、最大値は255と制限した。Rの許容範囲は $76 \leq R \leq 96$ 、Gの許容範囲は $161 \leq G \leq 181$ 、Bの許容範囲は $245 \leq B \leq 255$ となる。

RGB の許容範囲内の部分と許容範囲外の部分で 2 値化した画像を図-15~17 に示す。白で表示されている部分が許容範囲内の領域を表している。図-18 に図-15~17 で抽出された領域の重なり合わさる部分を画像 RGB に示す。最初に選択した青色部分が検出できていることが分かる。ターゲットの位置は検出領域の重心座標を算出することにより求めることができる。屋外環境に合わせて許容範囲を設定し、一連の処理を連続的に繰り返すことにより、ターゲットの位置を連続して自動算出することが可能であることを確認した。

屋外環境でターゲット(青色 LED, 赤色 LED)をカメラ撮影し、自動検出の可能性を検証した。赤色部分と青色部分の LED の RGB 値を取得し、RGB の許容範囲を±10 とした結果、ターゲットの水平移動に追従して自動追尾できることを確認した。

5. 現場検証実験

2017 年 4 月から久留米大学基礎 3 号病院北作業所において、鉄骨建入れ時の保有技術である鉄骨柱の自動計測・建入れ制御システム、仮ボルト不要接合法、吊荷旋回制御装置の 3 つの工法を用いて鉄骨建方を行った北工区(Y3-4 間)と、在来工法によって鉄骨建方を行った南工区(Y1-3 間)との比較検証実験を行った。

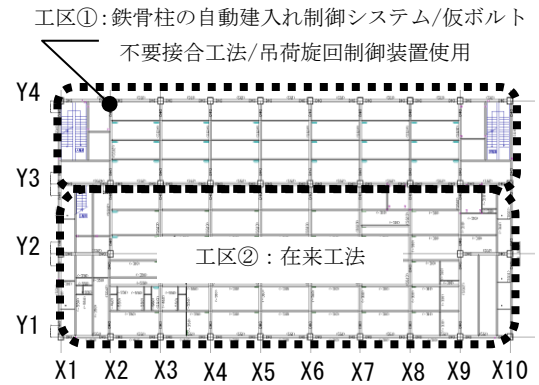


図-10 工区分けキープラン

5.1 柱の建方について

北工区については「鉄骨柱の自動計測・建入れ制御システム」を使用し、柱 1 本を揚重から所定の位置にセット完了するまでに要した作業時間の測定を行い、作業時間のうち接合部に占める割合を調査した。また柱の接合からセット完了までに要した作業員の人工の調査も同時に行った。評価対象は、北工区については 2 階の柱 10 ピースとした。

南工区についても同様の測定を行ったが、対象本



写真-8 標準撮影

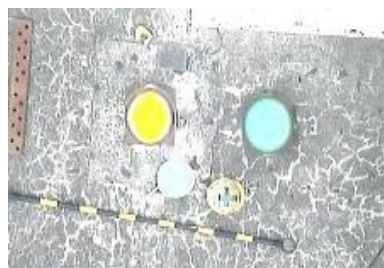


写真-9 輝度補正撮影



写真-10 輝度色相補正後撮影



写真-11 輝度色相補正後ズーム撮影



写真-12 ターゲットの画像映像

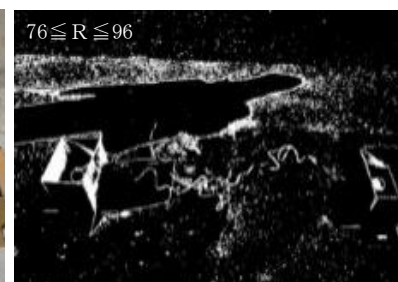


写真-13 画像 R



写真-14 画像 G



写真-15 画像 B

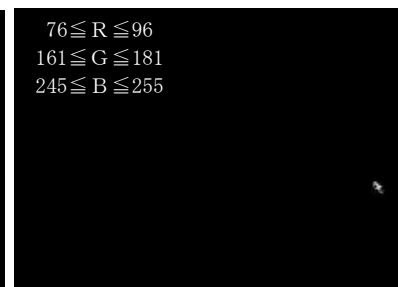


写真-16 画像 RGB

数については、構造上柱の本数が北工区より少ないため、2階の柱7ピースを評価対象とした。

作業時間のうち接合部に占める割合は、柱1本あたり在来工法で66%であったのに対し、自動建入れ制御システムを使用した場合は46%と、接合部に占める割合が20%減少した。また柱1本あたりの建入れ時間については、南工区では25.40分/本、北工区では14.40分/本となり、在来工法にかかる時間の約1/2なる検証結果が得られた。作業人員についても南工区では、柱を建入れする鳶工2名、X方向Y方向からそれぞれトランシットにより計測を行う計測工2名の計4名であったのに対し、北工区では、建入れする鳶工1名、計測システムを操作する計測工1名となり1/2に削減した。

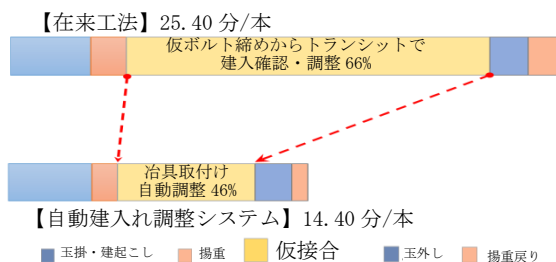


図-11 柱建入れ作業の所要時間構成比

5.2 梁接合部について

梁の接合部について、北工区は吊荷旋回制御装置により梁を所定の向きに旋回させ、仮ボルト不要接合治具を使用して建方を行った。南工区は在来工法のため、旋回は親綱により梁を所定の向きに旋回させ、仮ボルトを所定の本数架設し、建方を行った。作業時間の比較は、梁揚重から梁セット完了まで要した作業時間を測定し、梁1本をセットする作業時間のうち接合部に占める割合を算出した。また、接合部に要する作業員の人工の調査も同時に行った。接合部に占める作業時間とは、ブラケット上部で所定の向きに旋回させ、梁セット完了後、仮ボルトを所定の本数架設する仮接合の作業時間の事を指す。

接合部に占める割合は、梁1本あたり南工区(在来工法)では78%であったのに対し、北工区では46%であり、仮接合に要する割合は約30%削減した。吊荷が風等の影響を受ける事なく旋回出来た点と、仮ボルト不要接合治具を使用することにより、接合部に少なくとも20本架設していた仮ボルトの省略が、作業効率に大きく影響している。また、作業時間のうち接合部に占める割合の減少とともに、梁1本のセット完了までの時間にも大きく差が生じた。在来工法では18.4分/本であったのに対し、仮ボルト不要接合法では5.1分/本と約1/3に削減した結果が得られた。仮接合に要する作業員の人工については、在来工法では、親綱により旋回に鳶工1人、柱ブラケット端部上の鳶工2人により梁セット、その後仮ボルトを所定の本数セットまでに鳶工2人、計5人要用していた。一方、北工区については、吊荷旋回制御装置のリモコン操作を行う鳶工1人と、梁をセットする鳶

工1人で計2人であった。70人・分から1.9人・分に削減出来、大幅に生産性が向上した結果が得られた。

今回揚重機が油圧クレーンであったため実現できなかったが、タワークレーン自動誘導システムと吊荷旋回制御装置を同時に使用することで、吊荷の位置を正確に一致させることが可能となる。また、仮ボルト不要接合法を合わせて使用することで、梁上の鳶工の作業を削減し、自動化施工が実現するとともに、作業員の高所作業も減らすことが出来、安全性の向上につなげることが可能となる。

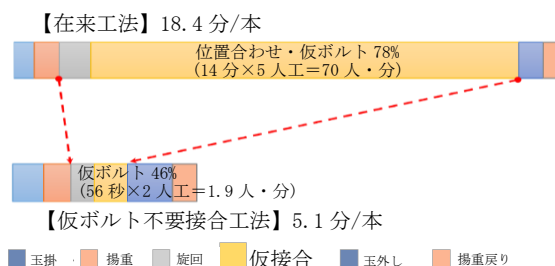


図-12 梁接合作業の所要時間の構成



LED付き仮ボルト



写真-17 吊荷旋回制御装置使用状況

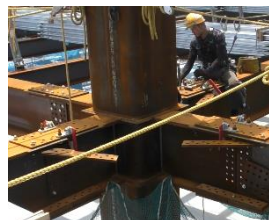


写真-18 仮ボルト不要接合治具使用状況



6. 結論

本検証では、鉄骨柱の建入れ自動計測・建入れ制御装置、及び仮ボルト不要接合法、吊荷旋回制御装置を用いる事により、接合作業時間を約1/3、作業人員を約68人・分に削減し、生産性の向上と言う点で有効性を示す事が出来た。鉄骨歪直し時のリアルタイム計測やタワークレーンの3次元誘導等の要請が多い。今後の課題として取り組みたい。

参考文献

- 井上文宏, 小泉達也, 小野佳之, 矢田和也, 椎名肖一: 「ジャイロモーメントを利用した高出力吊荷旋回制御装置の開発」第19回建築の自動化技術シンポジウム pp37-42, 2012.
- 鈴木護眞: 「画像線メカ処理装置で用いられる超解像技術」画像電子学会誌 Vol144 No.4pp704-711, 2015