

大型プレキャストブロック自動据付システムの開発

鹿島建設(株) 正会員 ○堂本聖司

鹿島建設(株) 青野 隆 増村浩一 土井原美桜

1. はじめに

災害現場では、二次災害が懸念される中で作業員の安全を確保する観点から、重機の遠隔操作施工を採用するケースが多い。遠隔操作施工は、固定式カメラや重機搭載カメラの映像を元に、施工場所と離れた操作室から特殊仕様の重機をリモコンによって遠隔操作し実施する。しかし、カメラ映像を見ながらの細かい作業は、通常の操作に比べて時間を要することに加え作業員の疲労による効率低下および作業ミスを生じやすいことから、生産性の向上が課題となる。そこで、遠隔操作施工における生産性向上のため、繰り返し作業となるプレキャストブロック据付作業の自動化施工システムを開発し、国土交通省近畿地方整備局 赤谷3号砂防堰堤工事に導入した。

2. ブロック自動据付システムの概要

自動据付システムは、写真-1のように、専用アタッチメントを装着したバックホウによりプレキャストブロックを把持し、所定の位置に据え付けるもので、これにより一連の動作を自動運転によって行った。ブロックの据付位置は、図-1に示すように、直前に据え付けたブロックを基準とした。位置計測にはブロックに設けたARマーカをカメラで認識する手法（「AR測量」と呼称）を採用した。また、プレキャストブロックは遠隔操作クローラダンプトラックによってバックホウ付近の任意の位置に搬入することから、把持対象ブロックの位置を検知する必要があり、これにもAR測量を用いた。



写真-1 ブロック自動据付状況

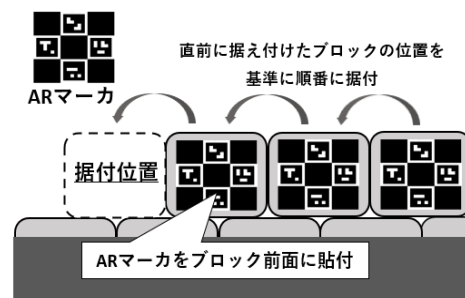


図-1 自動据付の位置決め

3. 自動化施工技術の内容

自動据付システムは、AR測量により求めたブロック位置を、重機旋回中心を原点とする重機座標に変換して目標設置位置を割り出し、これらの位置情報を元に重機のブーム、アーム、旋回の移動量を演算して制御した。自動化施工を構成する要素技術について以下に述べる。

3.1 AR測量

AR測量は、AR（拡張現実）技術におけるカメラ画像上に、CG画像を重ねるときに表示する位置と向きを検出する機能を測量に応用したものである。ARマーカ中心の3次元座標（X,Y,Z）と面の向き（yaw, roll, pitch）を計測することができる。ARマーカの画像認識には、オープンソースソフトウェアのOpenCVを使用した。

AR測量におけるマーカ認識性能は、カメラの解像度とマーカの大きさに依存する。本システムでは、想定された最大作業半径である約10m先のマーカを安定して測量できる組み合わせとして、4KカメラとA1サイズのマーカを採用し、撮影距離に対して約0.2%の精度を確認した。

3.2 キャビン搭載ロボット

本システムでは、キャビン搭載型ロボット（写真-2）を導入し、ロボットで汎用バックホウのレバーを操作することにより、自動運転を行った。ロボットは、自動運転の指令を



写真-2

キャビン搭載型ロボット

キーワード 自動化施工, 砂防堰堤, プレキャストブロック, バックホウ, AR

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設(株) 土木管理本部 土木工務部 TEL 03-5544-1111

受けるとエアでゴムチューブを伸縮させることにより操作アームを動作させ、重機レバーを操作した。汎用機械の活用により、専用に改造した重機を使用する方式よりも簡単に迅速な適用が可能である。

3.3 重機リアルタイム姿勢計測

本システムでは、重機の姿勢をリアルタイムに把握しながら制御を行った。ブームとアームの角度計測には傾斜計、旋回角度の計測には磁気スケールを使用した。

4. システム構成

図-2 に自動据付システムの構成図を示す。自動運転の手順は下記のとおりである。

- ①重機に取付けた 4K カメラで AR マーカを撮影
- ②搭載 PC で画像処理し目標ブロック位置を計測
- ③目標位置を自動動作の目標重機姿勢に変換
- ④重機搭載 PC で、重機姿勢の目標値からロボットへの動作指令を生成

- ⑤ロボットが動作指令に基づいて重機を自動操作

自動運転に関わるセンサや PC、ロボットは重機内で有線接続し、通信遅れの影響がない構成とした。操作室と重機間の通信は無線 LAN を用い、操作室の操作用 PC と重機搭載 PC をリモートデスクトップにより接続した。自動運転のオペレータは操作 PC に表示した操作画面（写真-3）上で、自動運転の開始や、表示される次動作の承認などをマウスのクリック操作により行った。

5. 自動化施工の実績

本システムでは、導入現場の施工工程に合わせて、ブロック 2 個分の把持と据付を連続して行う仕様とした。

また、自動動作中に把持対象ブロックまたは据付目標位置から約 0.5m 離れた位置で一時停止する「サブゴール」という考え方を取り入れた。サブゴールでは、停止中に再度 AR 測量を行って修正動作の要否を自動判断し、必要であれば修正動作を行うことで高精度を確保した。加えて、サブゴールまではサイクルタイム重視の自動動作とし、サブゴール以降は精度重視の低速動作とすることによって、サイクルタイムと精度の両立を図った。

また、精度よく据付を行うためには、既設ブロックと把持中ブロックの向きを精密に合わせる必要があるため、回転角度の調整動作を自動で行った。

直前に設置した既設ブロックと次に据え付けるブロックの間隔は 10mm 以下とする必要があり、この精度を確保できていることを試験施工で確認の上、本施工に臨んだ。把持動作も $\phi 270\text{mm}$ の把持孔にアタッチメントを挿入するのに十分な精度を実現し、挿入動作の成功率は 100% となった。

6. まとめ

バックホウを用いたプレキャストブロック据付の自動運転システムを開発して実施工に導入し、合計 824 個のプレキャストブロックの自動据付作業を完了した。実施工においてオペレータによる遠隔操作と自動運転の 1 サイクルを比較したところ、約 20% のサイクルタイム短縮を確認した。遠隔操作の長時間連続作業による効率低下を考慮すれば、約 25% 以上の作業効率向上を実現すると考えられる。

また、今回用いた AR マーカとキャビン搭載ロボットによる自動運転は、プレキャストブロックの据付だけでなく、多種多様な作業の自動運転に応用できる。本システムの開発で得られた知見をもとに、重機の自動運転技術のさらなる展開と高度化が期待される。

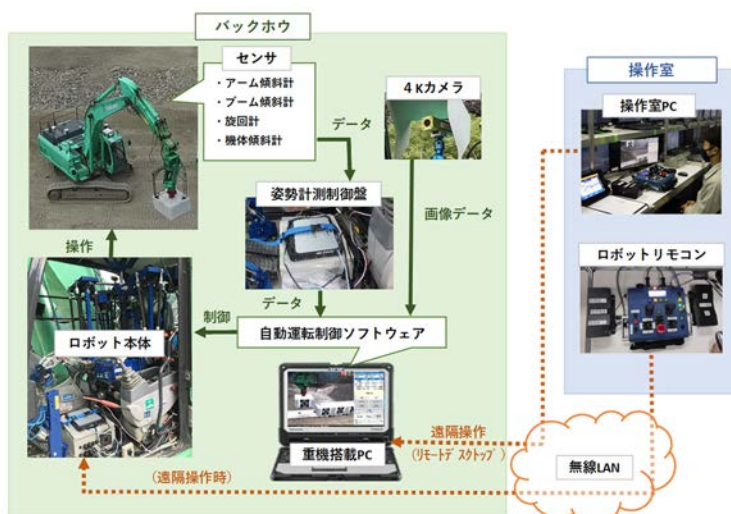


図-2 システム構成図



写真-3 自動運転操作画面（据付サブゴール位置）