

34. 水中作業におけるコンクリートブロック据付支援システムの開発

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 道北支所 ○平 伴齊
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム 山口 和哉
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム 岸 寛人

1. はじめに

積雪寒冷地である北海道の港湾におけるコンクリートブロック据付工事は、波浪や海水温の低下などの影響により、施工可能期間が短い。

また、少子高齢化などによる起重機船の船員や潜水従事者の不足、さらにクレーン作業中における潜水士の事故が問題となっている。

このため、施工の効率化・省人化・安全性向上を目的に、GNSS(グローバル衛星測位システム)を活用した据付位置誘導と、サイドスキャン機能付魚群探知機を活用した水中可視化による、コンクリートブロック据付支援システムを開発した。

本稿では、システムの開発経緯、コンクリートブロックの誘導試験、消波ブロック据付作業の水中部可視化試験について述べる。

2. システム開発要件

上記の課題の対応策を検討するため、コンクリートブロック据付作業を行っている潜水士、クレーンオペレータ、現場代理人を対象にヒアリングを行った。結果を以下に示す。

- ①直轄港湾・漁港工事の消波ブロック据付工事は、乱積みである。
- ②水面付近と法尻の位置合わせに時間がかかる。
- ③水中ブロックの据付位置は、潜水士からクレーンオペレータに有線電話を用いて伝えるが、水中の視界が不良の場合には待機時間の発生もしくは作業中止となる。
- ④水中施工状況写真は撮影するが、透明度の低い海域では、施工状態の確認ができない。
- ⑤危険であるため、潜水士は大きなブロックに近づけない。

この結果をもとに、システム開発要件を以下のとおり整理した。

1) ①より、消波ブロック据付工事は乱積みであり、正積みのような高精度システムは必要ないため、簡易的なシステムを構築する。

2) ②より、マシンガイダンスによってブロッ

クを誘導する機能が必要である。マシンガイダンスとは、GNSSなどの位置情報を用いて、次に設置する位置情報などの情報をオペレータに提供し、ブロック据付をサポートする技術である。

3) ③④⑤より、透明度の低い水中での施工状況確認のため、音響計測技術等を用いた水中の可視化が必要である。

以上より、消波ブロック据付位置をマシンガイダンス機能によって誘導し、水中部の施工状況を可視化できるシステムについて検討することとした。

3. システムの概要

システムは、図-1の構成とした。GNSS基準局より補正信号を受けて、ブームトップに設置されたアンテナ位置の補正を行い、正確なクレーンブームトップの位置を決定するものとした。また、ブロックの高さ位置はワイヤーロープを巻き取るドラム等に取り付けたポテンショメータの電圧値より算出したワイヤー移動量から求めるものとした。

クレーンジブ角度は、起重機船のジブ角度が変動式のものもあることから、傾斜計を用いた自動入力とした。

水中部可視化装置はサイドスキャン機能付魚群探知機と回転計測送受波器を選定した。選定理由は、超音波を用いた水中計測機器の多くが2000万円以上と高額であるのに対し、サイドスキャン機能付魚群探知機は面的な画像での可視化に必要な回転計測送受波器を含めても70万円程度と安価なためである。

この魚群探知機の信号をビデオ信号として出力して、クレーンオペレータ室のPCに表示するものとした。

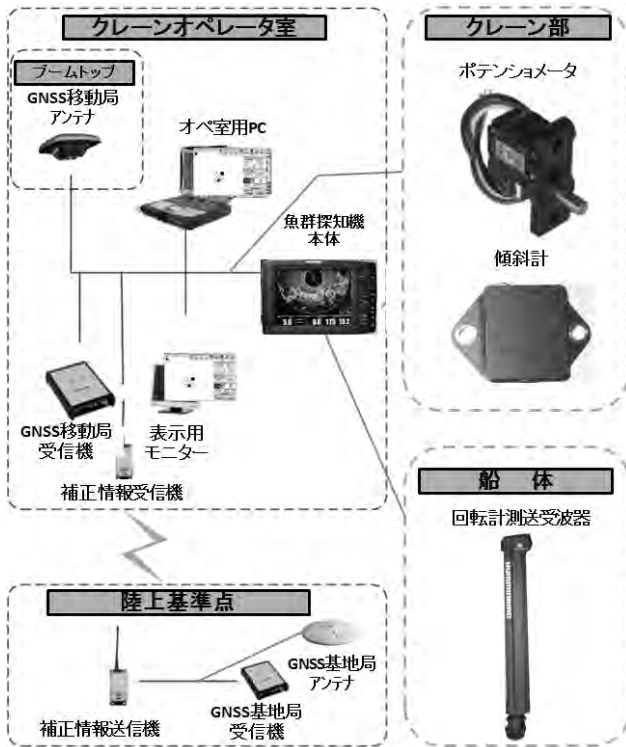


図-1 システム系統図

4. システムの機能

システムの機能は、以下のとおりである。

4.1 コンクリートブロック規格登録機能

消波ブロックの縦幅、横幅、高さ、ブロックの名称などを入力する機能である。これにより、システム上に消波ブロックの大きさを登録できるものとした。

4.2 配置計画機能

配置計画機能は、基点の座標より縦横に任意のブロック設置個数、ブロックの設置間隔、深度などを入力する機能である。

4.3 コンクリートブロック誘導機能

コンクリートブロックの誘導機能は、ブロック配置計画機能で登録したデータを読み出し、据付誘導を行う機能である（図-2）。

図中央の赤い円が据付目標位置であり、青丸はクレーンブームトップの現在位置を表している。コンクリートブロック誘導の画面左下の「一覧から選択」ボタンまたは「マウス選択」ボタンを押して次の誘導ブロックを選択すると、画面左のシステム情報欄にブームトップの現在位置よりどちらの方角へ移動するのが表示される。

図の表示例ではブームトップ位置（青丸）より↑（前方）へ1.05m、←（左方）へ2.42m移動した位置が、予定の据付位置であることを示している。また、現在の衛星捕捉数や測位状態も表示しており、位置データ精度を常時確認することができる。画面右の鉛直表示機能は、ポテンシオメータに

より得られた電圧値を深度に換算し表示する。

さらに、コンクリートブロック誘導画面上に水中部可視化装置より送られてきた水中の画像を表示する（図-2中央下）。この画像は画面上の任意の位置に表示が可能で、必要に応じて拡大も出来る。

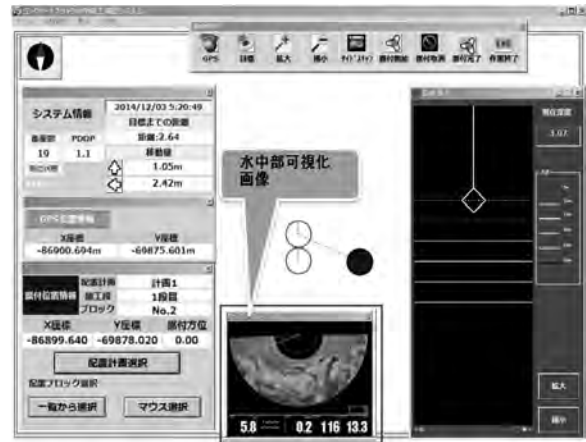


図-2 コンクリートブロック誘導画面例

5. コンクリートブロック誘導試験

5.1 試験概要

マシンガイダンスによる誘導機能を検証するため、陸上においてコンクリートブロック誘導試験を実施した。本試験では模擬クレーンとしてクレーン付きトラックを使用した。

コンクリートブロック（W1000×D1000×H200）を地上2mまで吊り上げ、任意の場所まで誘導後、地上0mまで降下させ、表示される深度（鉛直方向位置）や水平方向位置を記録し、誤差を算出した。

センサー等の設置方法は以下のとおりとした（写真-1）。

- ・クレーンブーム先端にGNSS移動局アンテナ、クレーン第一ブームにポテンシオメータ、アウトリガーにオペレータに誘導画面を表示するモニターを設置した。
- ・GNSS基準局を設置し、RTK-GNSSにて計測した。
- ・クレーンブーム角度は30°固定とした。



写真-1 コンクリートブロック誘導試験

5.2 鉛直方向精度

鉛直方向は、ポテンショメータの電圧値によって算出する。このポテンショメータにφ150のローラーをセットし、回転角度とローラー径からワイヤー移動量を算出する。例えば、2回転する場合のワイヤー移動量は942mmとなる。

図-3に鉛直方向表示結果例を示す。図中の現在深度は数値が大きいほど深い（低い）位置にあることを表す。

図の例では地上2mにおける現在深度の表示が5.16m、地上0mへ降下したときの表示は12.94mとなっているが、これはクレーンフックのワイヤーロープが4条掛けとなっているため、ワイヤーの移動量が4倍となったものである。故に深度差の1/4が実際の鉛直方向移動量となる。

計測の結果、鉛直方向移動量の誤差は3回の平均で0.05mとなった（図-4）。

なお、その後、システムを改良し、ワイヤーロープの掛数を考慮した鉛直方向移動量の表示を可能とした。

5.3 水平方向精度

任意の点にブロックを設置するときの目標位置と実際の設置位置のずれを計測した（表-1）。

東西方向の+は目標位置の中心より東方向、-は西を表し、南北方向の+は目標位置の中心より北、-は南を表す。3回の計測のうち、東西方向には平均で西に0.02m、南北方向には北に0.20mの誤差があることがわかった。これは消波ブロック乱積み据付作業の誘導に使用可能な精度であると考えられる。

さらに、クレーンオペレータにヒアリングを行ったところ、大まかな移動は、ブロックを見ながら行っているが、最後の位置合わせはシステムの画面を見ながら行っていることがわかった。実際の消波ブロック据付作業現場において、クレーンオペレータは水上の消波ブロックを目視によって大まかな位置までブロックを移動する。その後、水中の位置合わせは誘導員または潜水士の指示に従っている。

これらのことから本システムの誘導機能が実際の据付作業における誘導作業を補完できると考える。さらに、水中の施工状況をクレーンオペレータが画面上で確認できることにより、効率的な据付が期待される。

表-1 設置位置試験結果

	東西方向	南北方向
1回目	-0.02m	0.19m
2回目	-0.06m	0.19m
3回目	0.02m	0.21m
平均	-0.02m	-0.20m

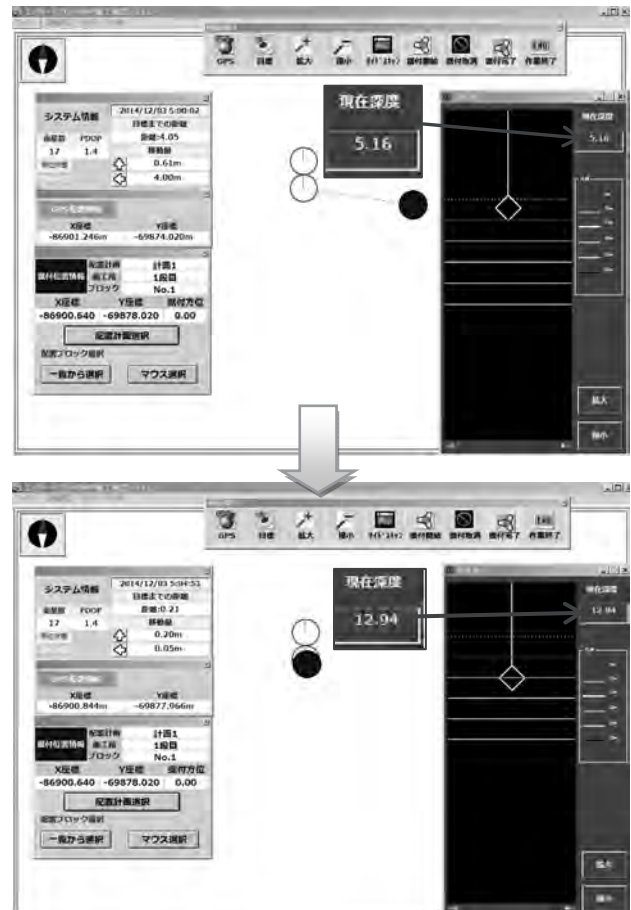


図-3 コンクリートブロック誘導画面例
(上：ブロック位置地上2m、下：ブロック位置地上0m)

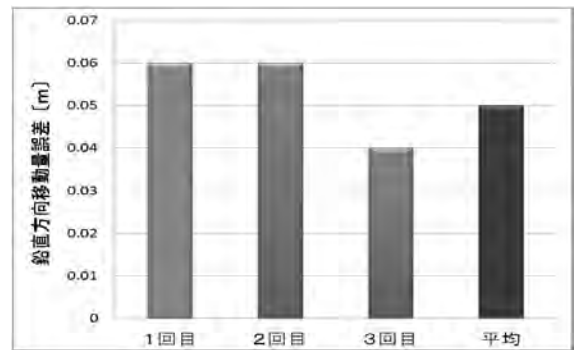


図-4 鉛直方向移動量計測誤差

6. 水中部可視化試験

6.1 試験概要

水中部可視化装置（魚群探知機本体+回転計測送受波器）による可視化機能を確認するため、実海域における消波ブロック据付工事で試験を行った。工事に使用された消波ブロックは50t型、据付方法は乱積みであった（写真-2）。

回転計測送受波器を船側に架装し、船上にてモニタリングした（写真-3）。

水中部可視化装置は、扇状の超音波ビームを回転しながら発射し、戻ってきた超音波の強弱によ

り、明暗の画像として表示する装置である。

計測範囲は任意の回転角度に変更することができる。

今回の試験では、起重機船より岸壁側のみ可視化するため、計測範囲を岸壁側の180°とした。



写真-2 試験海域・使用船舶・据付作業



写真-3 水中部可視化装置

6.2 可視化試験結果

水中部可視化装置を用いて、消波ブロック据付作業中の状況を計測した結果を図-5に示す。

中央上部の■(船)マークが回転計測送受波器の位置である。そこを中心に伸びている白い線が水中を走査している超音波ビームを表している。受信した超音波が強い部分は明るく、弱い部分は暗く表示される。

図-5上は消波ブロック据付前であり、赤枠の位置にブロックはないが、図-5下のブロック据付後ではブロックが確認できる。ただし、波浪や船体の荷重移動などによって送受器が動揺したため、画像が若干引き延ばされて見える。

現状の誘導員による作業では、クレーンオペレータは、ブロックを水中に投下するまでしか確認できていないが、本システムを使用することにより水中の様子を確認できる。

以上より、画像の見方に慣れが必要ではあるが、

水中部可視化装置を用いることにより水中部の施工状況確認が可能である。

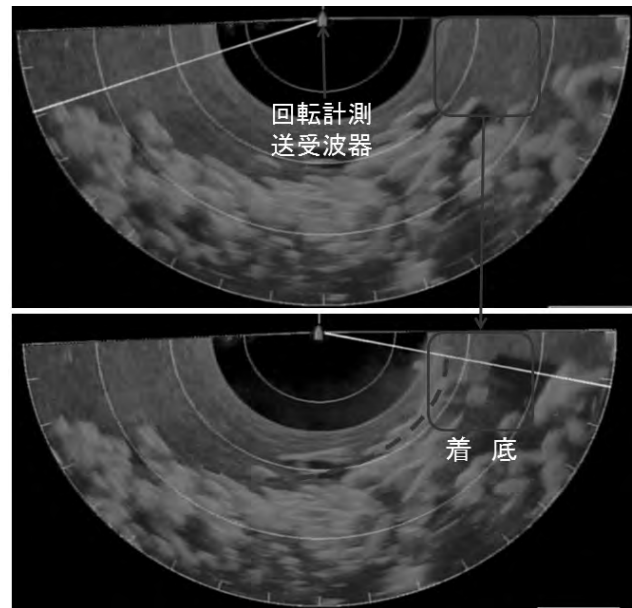


図-5 消波ブロックの可視化試験結果
(上：消波ブロック据付前、下：消波ブロック据付後)

7. まとめ

据付位置の誘導及び水中部の可視化が可能なコンクリートブロック据付支援システムを開発し、試験を行った結果、以下のことがわかった。

- 1) 陸上におけるコンクリートブロック誘導試験において、本システムを用いた場合の設置目標地点と実際の設置位置のずれは、水平方向で最大0.2m程度、鉛直方向で最大0.05m程度であった。これは消波ブロック乱積み据付作業の誘導に使用可能な精度である。
- 2) 画像の見方に慣れが必要ではあるが、水中部可視化装置を用いることにより水中部の施工状況確認が可能である。

今後、本システムを実際の工事で試行し、作業効率などを検証する必要があるが、本システムの使用により、潜水士によって行われている水中施工状況確認を補助あるいは代替することで、作業の負担軽減や安全性向上が図られる。

また、水中部の可視化データにより、監督員が水中施工状況を画像確認するなど、今までできなかった水中施工状況の施工管理にも寄与できる。