

高性能水中位置管理機能搭載ブロック据付支援システム

WIT B-Fix Neo

土 屋 洋

起重機船を用いた水中ブロック据付に用いられるブロック据付システムは、港湾工事において比較的実績の長い ICT 活用システムと言える。しかし、吊荷の位置管理にクレーンブームトップを基準とするものが多く、ワイヤーの振れ等の影響により高精度な据付位置管理に向かない。この課題に対して弊社では、港湾工事に最適化された高精度な水中位置検知装置を用いて水中の吊荷の位置を直接測位することで高精度な位置管理が可能なブロック据付支援システムを開発した。本稿は、本システムで用いられる高性能な水中位置検知装置と管理ソフトの概要および活用例について報告するものである。

キーワード：港湾工事，ICT，施工支援システム，水中ブロック据付，水中位置検知装置

1. はじめに

国土交通省は、港湾事業において ICT を全面的に活用する工種のひとつとして、ブロック据付工を挙げている¹⁾。水中におけるブロック据付工事を支援するための ICT 活用システムは、現場導入開始より既に 10 年以上の実績を持っており、信頼性の高いものが運用されている。しかし、ICT 活用工事で求められる機能に加え、技術提案できる高度な技術が求められる近年では、これに十分に対応できるように、要素技術の追加や既存の機能の改善が課題となっている。

港湾工事に用いられる ICT 活用システムであるブロック据付支援システムは、主に起重機船を用いた水中ブロック据付に活用されており、吊荷の位置をクレーンブームトップの位置で管理するものが主流である。この方式は、ワイヤーの振れ等により、ブームトップの位置は正確に把握できても、吊荷の位置は正確に把握できない場合がある。そこで弊社では、吊荷の位置を高性能水中位置検知装置によって直接測位する機能を持つブロック据付支援システム「WIT B-Fix Neo (Wakachiku Information Technology Block Fixation System Neo)」(NETIS: KTK-210007-A)²⁾を開発した。本稿は、高性能水中位置検知装置をはじめとした構成技術を含め、WIT B-Fix Neo についてその概要を報告するものである。

2. 水中位置検知装置

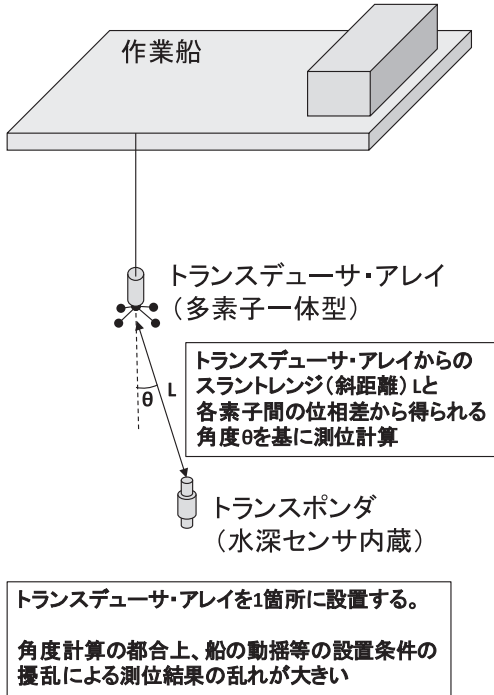
電波、電磁波が拡散しやすい水中では、音響を用いた測位技術が使用される。水中位置検知装置は音響を利用するアクティブソナーの一種で、船上の「トランスデューサ」と対象物に設置した「トランスポンダ」が音響信号をやり取りすることによってトランスポンダ位置の測位を行うものである。水中位置検知装置を用いて水中の物体の位置を特定するための手法はいくつか存在しており³⁾、それぞれの手法に一長一短がある。本システムでは、作業船への艀装を想定した「SSBL方式」または「SBL方式」と呼ばれる測位方式を採用し、対象や条件に応じて使い分けができるようにしている。

(1) SSBL 方式による水中測位

SSBL方式は、Super Short Base Line方式の略称で、USBL(Ultra Short Base Line)方式とも呼ばれる。発信する音波の波長を基準にした複数の振動子を正確かつ規則的に配列した「トランスデューサ・アレイ」を用いる測位方式である。図1にSSBL方式の水中位置検知装置の概略説明図を示す。

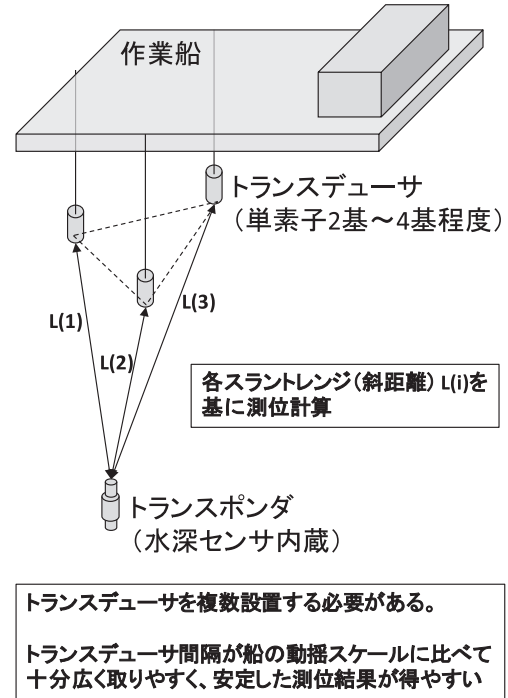
この測位方式では、トランスデューサ・アレイを船艀の1箇所に艀装し、測位対象となるトランスポンダへのスラントレンジ(斜距離)と方向角を用いて測位する。ここでトランスデューサ・アレイとは、複数の音響素子を高精度に配置した一体型のトランスデューサである。SSBL方式は、トランスデューサの艀装が

SSBL(SuperShortBaseLine)方式



図一 1 SSBL方式水中位置検知装置

SBL(ShortBaseLine)方式



図一 2 SBL方式水中位置検知装置

1箇所で済むことから、船舶艤装の際に配置計画が複雑にならず、比較的広く普及している方式である。港湾工事で用いられるICT施工支援システムにおいても導入が進んでおり、主に作業潜水士の位置管理に用いられることが多い。十分な精度を持つ測位方式であるが、測位計算に方向角を用いることから、艤装精度や、艤装した船舶の動揺状況によっては測位が不安定になりやすいこともある。

(2) SBL方式による水中測位

SBL方式は、Short Base Line方式の略称である。単素子のトランスデューサを船上の複数個所に艤装し、測位対象のトランスポンダまでのスラントレンジ(斜距離)を複数取得し、これを用いた幾何学計算によりトランスポンダの位置を決定する。図一2にSBL方式の水中位置検知装置の概略説明図を示す。

SBL方式では、測位計算の都合上、トランスデューサどうしの距離(Base Line)を比較的長くとる必要がある。必要な距離は、測位対象水深によるが、10m～40m程度をターゲットとした港湾工事では、短くても10m以上が望ましい。SBL方式では、複数個所にトランスデューサを設置する必要性から船舶艤装時の配置計画に注意する必要がある。その一方、測位計算において角度を使わず、距離を用いる(三角測量のイメージ)ので、測位安定性が高く、安定した高精度測位が比較的容易である。

3. 施工支援システム「WIT B-Fix Neo」

「WIT B-Fix Neo」は、水中位置検知装置、GNSS等を組み合わせ、ブロック据付工をはじめとした水中構造物の据付に適用できる施工支援システムである。本システムは、SSBL方式、SBL方式の両方式に対応しており、測位対象、管理目的、使用船舶等の条件に合わせて適切に使い分けることができる。また、本システムで用いる水中位置検知装置は、港湾工事で用いることを想定していることから、同形式の一般的な汎用水中位置検知装置とは一部異なる仕様としている。

まず、港湾工事で対象となることの多い浅海域を対象とするため、測位対象とする水深は60mとした。次に、平面距離はクレーンの旋回半径や起重機船のサイズ、作業潜水士の送気ホース長等を考慮し、半径300m程度に検知範囲を絞った。これに基づいて、音響出力や通信データフォーマットの最適化を行うことで、複雑な音響条件である浅海域における測位安定性や精度の向上を図っている。

吊荷対象物に設置するトランスポンダには水深センサを内蔵している。水深センサ情報を用いることで、測位に用いられる幾何学計算の解の補正に有用な追加情報を得ることができる。特に、浅海域での工事に見られる平面距離と鉛直距離に大きな差が生じるような幾何学的に歪な測位条件においては、水深方向の誤差が大きくなりやすく、有効な補正情報となる。また、

潜水士が装備する際には、無線通信式の深度計として、潜水士の減圧管理に応用することも可能である。

(1) システム構成

本システムの構成を図-3に示す。基本的な構成は、以下の通りである。

(a) 船位およびクレーンの吊点位置を測位するためのGNSS機器

水中位置検知装置の測位における基点となる位置を、船体に艀装したGNSS（コンパス）を用いて取得する。また、クレーンの動きは施工管理において重要な情報であるので、クレーンブームトップにもGNSSアンテナを設置する。

(b) 吊荷、潜水士の位置を測位するための水中位置検知装置

水中位置検知装置は、測位方式によって適切な位置に艀装される。トランスデューサは、音響的な見通しを確保するため、船底より低い位置に設置する必要があることに注意する必要がある。

(c) これらの機器の取得データを送受信するためのネットワーク（一部無線）

GNSSや水中位置検知装置の計測データや管理ソフトウェアの情報は、有線LAN、無線LAN等を用いたネットワークを用いて配信される。

従来、ICTを用いたブロック据付管理システムでは、クレーンブームトップのGNSSを用いて吊荷の

位置を管理する方法が多くとられていた。しかし、風や潮流等により吊荷が動揺する場合には、お互いの位置は必ずしも一致しない。

これに対して、本システムでは吊荷に取り付けたトランスポンダを用いて吊荷の位置を直接測位することにより、正確な吊荷の位置管理が可能となる。長尺の吊荷等、方向管理が必要なものに関しては、図-4に示すように、複数のトランスポンダを用いることで位置、方向の同時管理も可能である。

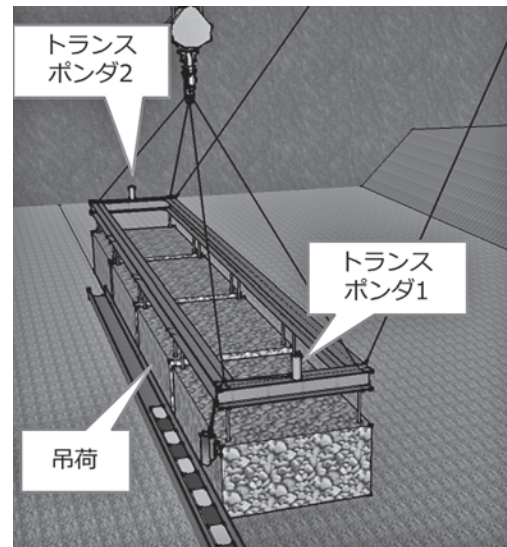


図-4 トランスポンダを複数設置した吊荷

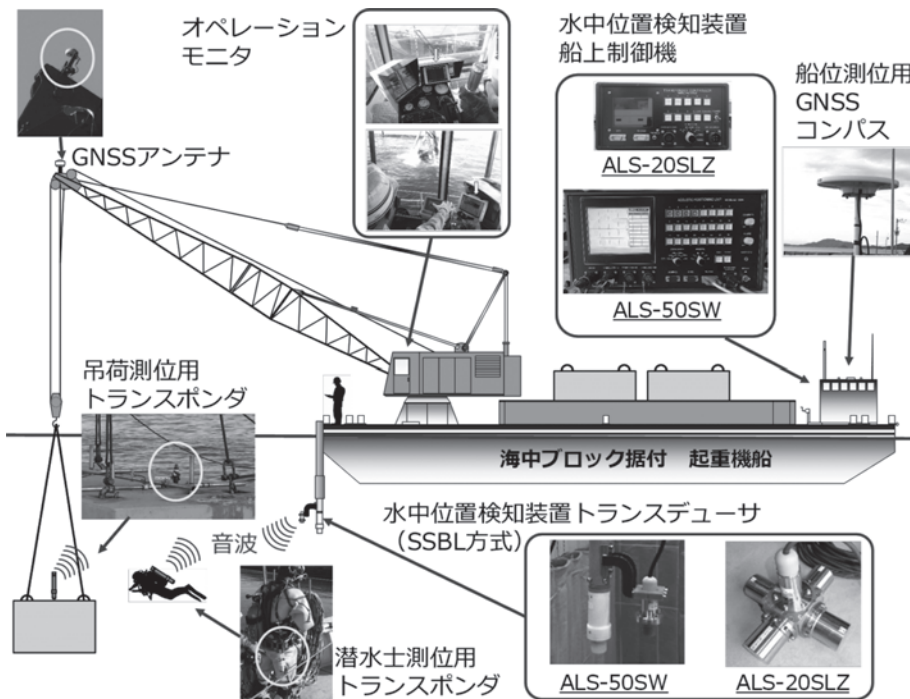


図-3 WIT B-Fix Neo のシステム構成

(2) 施工管理ソフトウェア

各測定機器の情報は無線、有線のネットワークによりやり取りされ、施工管理ソフトウェアの入力データとして、船上の任意の場所において取得可能である。また、管理ソフトウェアの画面は必要に応じてリモート共有され、管理者、作業員の持つ端末を用いて情報を共有できる。この管理システムは、主とするブロック据付誘導機能に加えて、安全管理機能、船位誘導機能、進捗管理機能等、施工管理に有用な機能を備えており、2008年に現場導入されて以来、様々な改良を重ねてきた。以下、本システムの活用例として、被覆ブロック、大型ブロックの据付について紹介する。

(a) 被覆ブロック据付

被覆ブロックの据付においては、クレーンの機動性の高い小型の起重機船を用いることが多いことから、SSBLの水中位置検知装置を用いた図-3のような機器構成によって施工を行うことが多い。被覆ブロック据付において吊荷と潜水士の位置を管理する場合の管理画面例を図-5に示す。潜水士はアイコンで、吊荷位置はクロスヘアラインの中心として表示され、互いの位置関係が視覚的に把握できる。トランスポンダの深度は画面下部に時系列表示されており、平面位置と併せて3次元的位置管理が可能である。

また本システムは、水中位置検知装置の計測データを用いて管理画面の左上に表示されている「潜水士①接近」のように、吊荷と潜水士の接近警報機能を備えている。本機能は、直接目視管理することの難しい水中作業における吊荷と潜水士の激突、挟まれ事故等の安全管理に有用である。施工管理については、画面上の色付けとリスト表示による進捗管理機能を備えており、効率的な管理が可能である。画面右上のリストに

表示される「済」マークは、画面上のボタンをクリックする、またはキーボードのファンクションキーを押下することによってつけることができる。「済」の付いたブロックは据付座標、時刻が記録されており、サイクルタイムの評価に役立つ。

(b) 大型構造物の据付

大型の水中構造物（例えば、1,500tクラスの大型ブロック）を据付ける場合の管理画面例を図-6に示す。ブロック据付位置を高精度に管理するために、図-7に示すようにSBL方式の水中位置検知装置を用いており、据付対象のブロックには、方向管理のために2本のトランスポンダを設置している。図-6に示す管理画面では、トランスポンダ基準の位置とGNSS管理の位置が、画面上下方向にずれていることがわかる。これは、ワイヤーが前後に振れていることから、GNSSの測位情報を用いて算出したブロック位置と水中位置検知装置を用いて直接測位したブロック位置にずれがあることを示している。

実際の施工状況においては、このような大型の構造物であっても、うねりによる船体の動揺や風によるワイヤーの振れが見られることは多く、クレーン吊り点直下で安定していることは少ない。加えて、大型構造

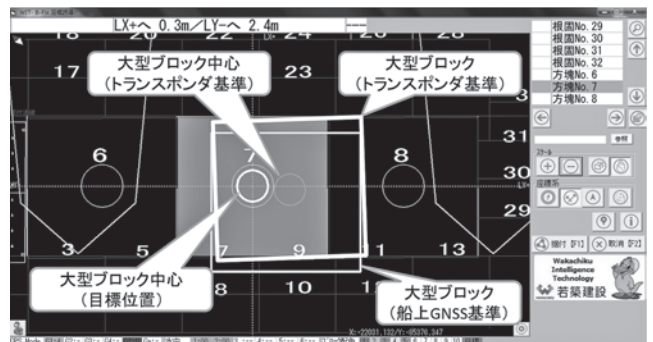


図-6 大型ブロック据付管理画面

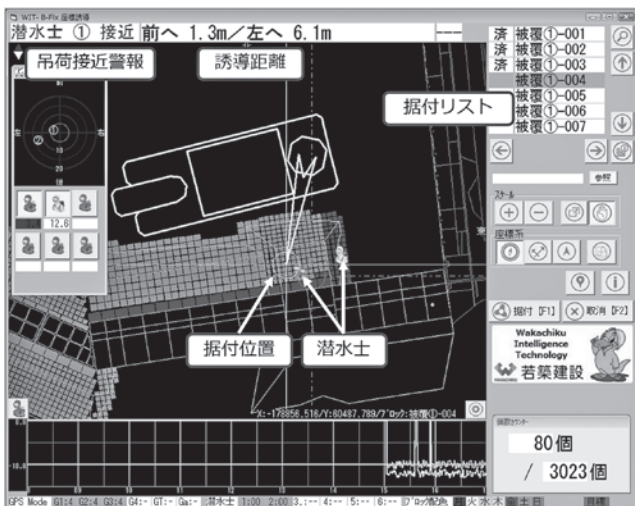


図-5 被覆ブロック据付管理画面例

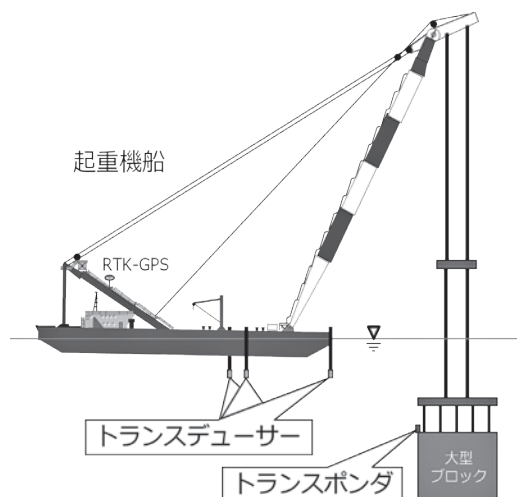


図-7 大型ブロック据付時の機材配置

物の据付においては高精度な位置管理を求められる。これらの条件下で要求される施工精度を効率的に満足するために、水中の吊荷位置を高精度に直接測位できる機能が有効である。半面、測位精度を出すには艀装精度や船体のロール、ピッチ補正の精度が重要であり、艀装や事前キャリブレーションに労力を割く必要がある。

4. おわりに

高性能な水中位置検知装置を備え、水中の吊荷位置を直接測位できるブロック据付管理システム「WIT B-Fix Neo」について、その構成機器と施工管理ソフトウェア、および活用事例を紹介した。本システムは10年以上にわたり改良を継続し、現場の需要に応えた有用な機能を実装してきた。SBL方式の高性能水中位置検知装置への対応と、水中の吊荷位置の直接管理機能はそのひとつである。さらに、2021年には、ソフトウェアと併せて機能を再整理し、新たなICT活用施工管理システムとして現場への導入を進めている。

各業界において担い手不足が問題となっている我が

国の現状を鑑みると、港湾工事においても現場の機械化、自動化を推進していく必要がある。本システムの備える計測技術、可視化技術は、水中施工を伴う港湾工事の自動化に向けた基礎的な要素技術であると言える。まずは、水中の作業状況を直接俯瞰できる3Dソナー等の高度な新技術と併せて、正確な座標管理に本システムを活かす等、様々な要素技術を組み合わせ、適材適所で運用していくことが肝要であると考ええる。

JCMA

《参考文献》

- 1) 港湾におけるi-Construction, (https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr5_000061.html)
- 2) 「高精度水中ブロック・潜水士位置検知機能搭載据付支援システム WIT B-Fix Neo」, 新技術情報提供システム NETIS, (<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=KTK-210007>)
- 3) 「海洋音響の基礎と応用」, 海洋音響学会, 2004年

【筆者紹介】

土屋 洋 (つちや ひろし)
若築建設(株)
建設事業部門 技術部 技術研究所
施工技術開発グループ
課長

