

大水深における魚礁ブロック検出・誘導システムの開発

Development of the fish reef block detection and the guidance system in large depth of water

稲田 勉*・岡 貞行**・中村 隆**
柳瀬 知之**・竹内 克昌*・吉田 涼*

Tsutomu INADA, Sadayuki OKA, Takashi NAKAMURA,
Tomoyuki YANASE, Katsumasa TAKEUCHI, Ryo YOSHIDA

要旨: 水産庁は、日本海西部の排他的経済水域において、ズワイガニ及びアカガレイの保護育成礁を整備する直轄漁場整備事業をスタートさせた。底びき網漁船から保護区域内の対象生物を保護する観点から、保護育成礁を構成している魚礁ブロックの設置間隔を一定間隔以下に抑えるため、その据付位置精度を±30m以内とすることが求められた。この課題を解決するため、リアルタイムに魚礁ブロックの位置を検出しながら、所定の位置に誘導し、高精度に据え付けるシステムを開発し、但馬沖において実証した。当該システムは、起重機船クレーンの頂部と船体に取り付けたGPSの位置情報と、船体側部並びに吊下げワイヤー先端部の魚礁吊枠に取り付けたトランスポンダー送受信器からの位置情報及び深度情報に基づいて、モニター画面でリアルタイムに魚礁ブロックの位置、深度及び沈設速度を確認しながら、所定の位置まで誘導するものである。結果、全ての魚礁ブロックにおいて出来形管理値（今回使用した機器による計測値）で±30m以内を確保することができた。

本稿は、魚礁ブロック検出・誘導システムの概要と検証事例について報告するものである。

キーワード: 大水深, リアルタイム, 魚礁ブロック, 位置検出, 誘導

1. はじめに

昨今の水産業を取り巻く現状は、水産資源の悪化、世界的な水産物需要の逼迫等厳しい状況にあり、特に、沖合漁業の生産量の減少は著しい。このような状況の中、我が国排他的経済水域を最大限活用し、積極的な水産資源の回復・増大を図るなど沖合海域の展開が求められている。

水産庁¹⁾では、平成19年度に資源の減少の著しいズワイガニ及びアカガレイの保護・増殖を図るため、日本海西部（兵庫県、鳥取県、島根県の沖合）の排他的経済水域において、保護育成礁を

整備する日本海西部地区直轄漁場整備事業の計画を策定した。本計画は、ズワイガニとアカガレイの分布状況や漁業の操業状況を踏まえ、水深約200~300mの場所に21箇所の保護育成礁を整備するものであり、計画期間は平成19年度から平成26年度の8年間、計画事業費65億円を予定しているものである。

具体的には、水深約200m以上の大水深の海底に、1箇所あたり2km四方の範囲に、大型魚礁ブロックを据え付け、保護育成礁を造成することとしており、それによってズワイガニ及びアカガレ

* 正会員 東洋建設 株式会社, ** 非会員 水産庁漁港漁場整備部

イを保護・増殖し、そこから滲みだしたズワイガニ等を漁獲することで、資源の回復・増大、漁獲量の増加を期待するものである。

保護育成礁を構成する魚礁ブロック（高さ：4～5m，重量：約20～43トン／個）を、排他的経済水域に位置する漁場まで運搬し、2km四方（400ha）の区域内に、内側のブロックは200m間隔、外周のブロックは100m間隔で据え付けるものである。

魚礁ブロック据え付け後、底びき網漁船が保護区域内で操業することができないように、ブロックを一定間隔以下に抑える必要があり、据付位置精度を±30m以内に施工することが条件である。

この条件に対応するため、今回、リアルタイムに魚礁ブロックの位置を検出しながら、所定の位置に誘導し、高精度に据え付けることのできる技術を用いることとした。

2. 従来の技術

2.1 地方自治体による魚礁ブロック据付事例

大水深（200～300m）に生息するズワイガニ等の保護育成礁として魚礁ブロックを据え付ける技術はすでに20年ほど前から実用化されている。

例えば、昭和57年～平成19年度の間、補助事業によってズワイガニ増殖場（保護育成礁）の施工を行った地方自治体は、石川県、福井県、京都府、兵庫県、鳥取県である。その中から、鳥取県と福井県の施工事例を表-1に示す。

補助事業における魚礁ブロックの据え付け方法は、ワイヤーに直吊りしたブロックを、起重機船のクレーン頂部に取り付けたGPSによって位置

表-1 補助事業での魚礁ブロック施工事例¹⁾

地区名	新日本海	新日本海
事業名	広域型増殖場造成事業	広域型増殖場造成事業
事業主体	鳥取県	福井県
期間	平成9年度	平成9年～12年
設置水深	250m	200～250m
形状	FP3.25型	FP3.25型
重量	13t／個	13t／個
配置間隔	250m(最も狭い間隔)	250m(最も狭い間隔)
数量	69個	240個
施工位置確認方法	起重機船クレーントップに取り付けたGPSで位置確認	起重機船クレーントップに取り付けたGPSで位置確認
沈設状況確認方法	据付後、音響測深機によるブロック設置状況の位置確認	据付後、音響測深機によるブロック設置状況の位置確認

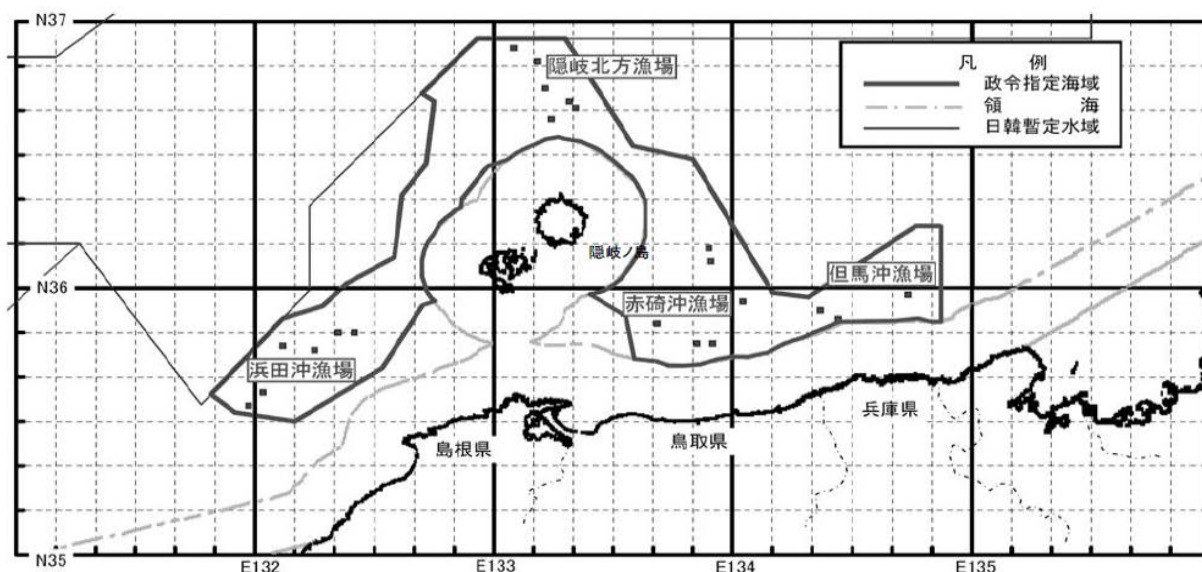


図-1 日本海西部地区直轄漁場整備事業の概要¹⁾

を確認しながら、海底まで吊り下ろし、オートリリースフック等を使用して着底させるものであり、トランスポンダーは用いられていない。

2.2 地殻変動観測のための位置測定技術事例

トランスポンダーと GPS の組合技術は既に 10 年ほど前から、海底地殻変動観測等で実用化されている。その観測手法²⁾は、図-2 に示すように、GPS 衛星を用いて正確な船位を決定するためのキネマティック測位観測と、海底に設置した海底基地局と船との距離を正確に求めるための音響測距観の 2 つの観測手法を組み合わせたものである。この場合の GPS とトランスポンダーの用途は、主に海底における地殻変動の観測である。

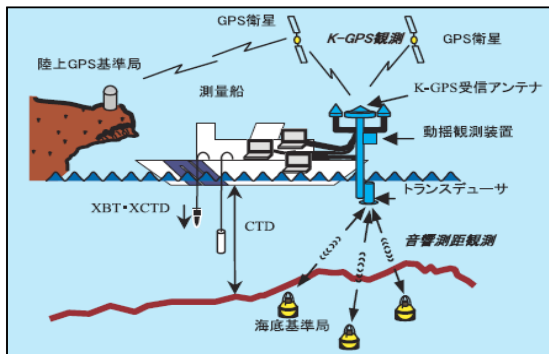


図-2 海底地殻変動観測概念図²⁾

2.3 海洋深層水取水口の位置測定技術の事例

トランスポンダーと GPS の組み合わせによる海洋深層水取水口位置の測定事例³⁾を表-2 に示す。

表-2 海洋深層水の施工事例³⁾

年度	場所	用途	水深
2005年度	三重県尾鷲沖	海洋深層水・取水口位置測定	410m
2006年度	中華民国・花蓮沖	海洋深層水・取水口位置測定	610m

その施工法は、陸上または海上で製作した長管を海上に浮かせた状態で曳航し、先に敷設した海

底管を浮上させて台船上で接合し沈設する方法や、継ぎ目のない取水管を台船上のリールに巻き取って搭載し、敷設地まで曳航した後、沈設する方法がある。取水管を所定の長さ分ずつ送り出しながら、最後に、トランスポンダーで取水口の位置を測定しながら、所定の位置を確認後切り離し、終了となる。

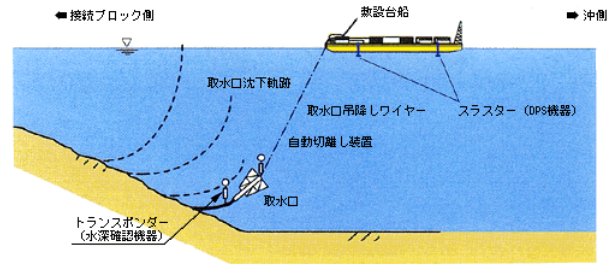


図-3 取水口施工のイメージ³⁾

据え付ける取水口施設は通常 1 基である。したがって、吊り下ろし中の取水口の位置データを収集し、それを次の据え付け時に活用することはないため、取水口に取り付けたトランスポンダーによって着底時の位置の測定を行うのみである。

2.4 まとめ

以上、従来の技術として、地方自治体による魚礁ブロック据付事例、地殻変動観測のための位置測定技術事例、海洋深層水取水口の位置測定技術の事例を紹介した。しかしながら、今回のような排他的経済水域の大水深において、大型魚礁ブロックを 100m~200mの間隔という近接した距離で複数設置するという特殊条件で、据付位置精度を±30m以内に施工するためには、前述した従来技術の適用では難しいと判断した。

3. 魚礁ブロック検出・誘導システムの開発

排他的経済水域の大水深において、大型の魚礁ブロックを据付位置精度±30m以内に効率的に施工するという課題を解決し、事業を遂行するた

め、「大水深における魚礁ブロック検出・誘導システム」を開発した。

3.1 魚礁ブロック位置検出・誘導システム

魚礁ブロックが海面に着水し、海底に着底するまでの時間は 10 分程度を要する。魚礁ブロックは、吊り枠を介し、ワイヤーロープで吊られた状態で海中を降下するため、潮流等外的な影響を受けやすく、その制御が難しい。これに対処するためには、リアルタイムに、船体位置、クレーンブーム位置、魚礁ブロックの位置を計測し、それらの情報に基づき、即座に対応ができるようなシステムの構築が必要と考えた。

以上の観点から、開発した技術の概要は、起重機船クレーンの頂部及び船体に取り付けた GPS の位置情報と、船体側部並びに吊下げワイヤー先端部の魚礁吊枠に取り付けたトランスポンダー送受信器からの位置情報及び深度情報を利用し、モニター画面でリアルタイムに魚礁ブロックの位置、深度及び沈設速度を確認しながら、所定の位置まで誘導し、精度良く据え付けるシステムである。

具体的には、GPS で起重機船の船体位置を計測し、船体に取り付けたトランスポンダー発信器の座標を計算する。その座標から魚礁ブロックの吊枠に取り付けられたトランスポンダーの位置を計算させるもので、クレーンのブーム頂部の位置や船体方位、魚礁ブロック吊枠の水中位置を平面、断面でリアルタイムに一括表示する。モニターはクレーン操作室と計測室に装備し、リアルタイムで情報交換を行いながら、魚礁ブロックの沈設速度と位置調整を行うものである。

GPS は、起重機船の右舷、左舷、クレーンのブーム頂部の 3 箇所に GPS を取り付け、トランスポンダーは、起重機船の右舷に受信機、吊下げワイヤー先端部の魚礁吊枠に発信器を取り付ける。

本システムは、トランスポンダーや GPS から得られた情報をリアルタイムで計算し、モニター上にクレーン位置誘導情報、船体位置誘導情報、水中位置誘導情報がパソコン上に表示されるようになっている。

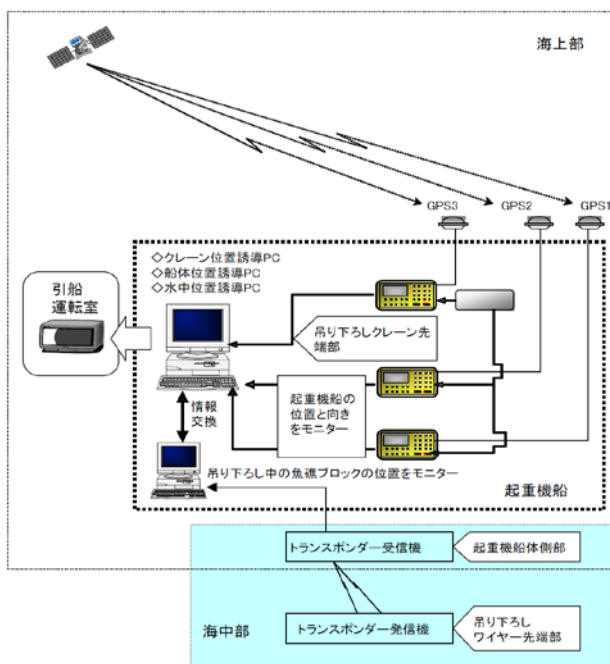


図-4 システムの系統イメージ

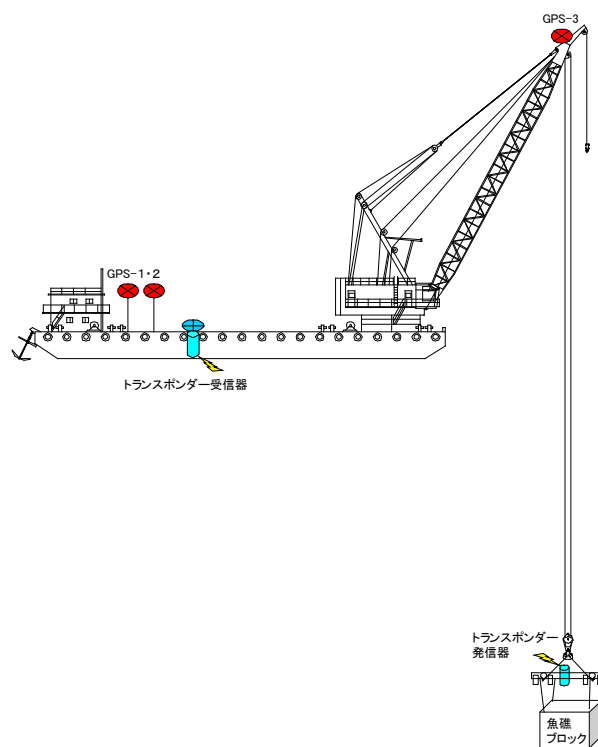


図-5 GPS とトランスポンダーの取り付け位置

表-3 モニター上に表示される情報

	表示情報
クレーン位置 誘導情報	GPS データ, 荷重データ (着底判断に使用)
船体位置誘導 情報	トランスポンダー受信器座標, 船体方位角, GPS時刻(演算時刻)
水中位置誘導 情報	トランスポンダー相対座標 (受信器と発信器の相対), トランスポンダーまでの直線距離 (受信器と発信器の斜距離), トランスポンダーまでの水平距離 (受信器とワイヤーとの距離), 相対角度, 深度, GPS 時刻 (演算時刻)

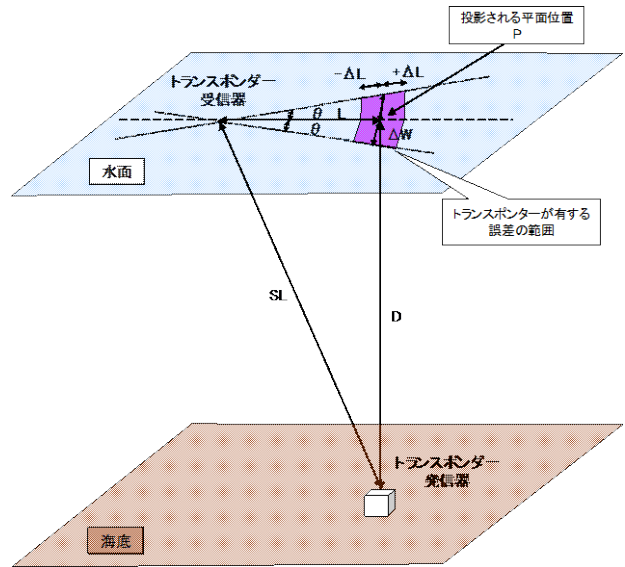


図-6 トランスポンダーの誤差の範囲

3.2 トランスポンダーによる測定精度

当該システムを構成する主要な機器は、地殻変動の観測や海洋深層水取水口の位置測定に実績のあるトランスポンダーと GPS である。以下に、トランスポンダーの原理と精度について整理する。

トランスポンダーは発信器と受信器で次の3種類の情報を検出し、位置情報を得ている。

- ・発信器-受信機間の距離情報
- ・受信器からみた発信器の方位情報
- ・受信機の深度情報 (水圧)

これらの3つの情報を船上の制御ユニットで演算することで、受信器からみた相対的な発信器の位置情報を得ることができる。

使用するトランスポンダー (型式: ALS-20TOR) は、表-4 のような精度を有している。

起重機船の側部にトランスポンダーの受信機を取り付け、魚礁ブロックに発信機を付けた場合の精度を試算してみると、トランスポンダーの機器

表-4 トランスポンダーの精度⁴⁾

	距離測定	圧力測定	方位測定
平均 (稼働時)	-1m	-0.29%	0.94°
規格値 (メーカー)	±1m	±3%	±3°

※距離測定の誤差: 分解能を示す 1m であり、校正した器械の場合、測定する距離に関わらず 0~-1m の誤差を生じる。

精度 (誤差)は、今回の施工条件である 270m の水深下において、半径 5m 程度以内となり、大水深下での位置計測としては十分な精度を有するものと考えた。

4. 但馬沖フロンティア漁場整備工事での実証

4.1 工事の概要

水産庁では、上記の日本海西部地区直轄漁場整備事業について、平成 20 年度から本格的な工事を開始し、その第 1 号工事として、但馬沖漁場第 2 保護育成礁について全 161 個の魚礁ブロックのうち 89 個の製作・据付を行うこととした。

製作場所は兵庫県の浜坂漁港、据付場所は浜坂漁港から沖合約 30km、水深約 270m という大水深域であり、工期は 6 月から 10 月のズワイガニの禁漁期間にあわせて設定された。

4.2 魚礁ブロック

製作・据付した 4 種類のブロックは、漁業者が魚群探知機で認識できる大きさとし、高さが 4~5 m、1 個あたり 20~43 トンの大型の魚礁ブロックである。

表-5 魚礁ブロックの個数と重量

名称	FP 魚礁 5.00 型	テトラーフ TR-4(N) 型	コーケン 魚礁ブロッ クⅢ型	4m角型 魚礁
個数	26 個	21 個	21 個	21 個
高さ	5.0m	4.0m	3.9m	4.0m
重量	43.1 t/個	19.9 t/個	20.3 t/個	20.7 t/個

また、その配置については、外周を 100m 間隔で囲み、内側は 200m 間隔の格子状である。

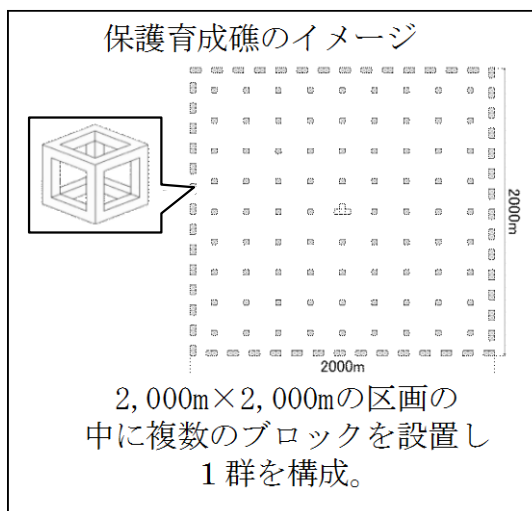


図-7 魚礁ブロックの配置

4.3 施工海域及び施工時期

施工場所は、図-7 に示すように、陸から 30km 離れた水深約 270m の但馬沖である。

但馬沖周辺は 6 月、7 月までは比較的風状態⁵⁾ であるが、8 月から 9 月の間は、多数の台風が襲

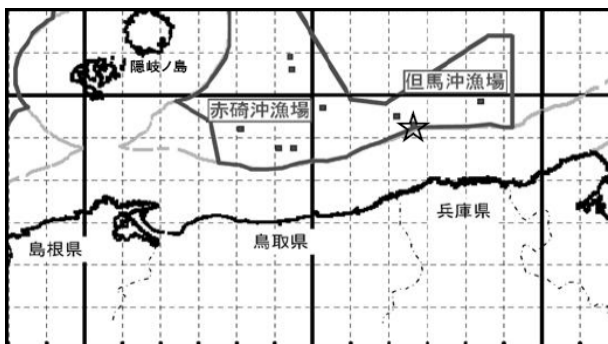


図-8 施工位置¹⁾

来する海域であり、荒天が続く。10 月末頃になると大陸から寒気が上空に入り、時雨や霰が降るようになると海は荒れ、作業ができなくなる。今回の据え付け時期は、8 月から 10 月の間であり、上述のように据え付け作業には厳しい状態となる。

表-6 鳥取県に接近した台風の月別回数⁵⁾

年/月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
1975 年 ～ 2004 年	10	12	27	24	6	1
平均	0.3	0.4	0.9	0.8	0.2	0.0

出典：鳥取県地域防災計画 風水害等対策編（平成 17 年度修正）、鳥取県防災会議

4.4 据付作業の海象・気象条件

気象情報に注意し、下記作業中止基準に準じて、作業を中止することにした。気象情報は、テレビ・ラジオ等より入手する。波高や視程は目視観測によるが、風速は、吹流しを設置し判断するとともに、簡易風速計により、データを数値的に捕らえ、作業中止の判断及び中止を決定する。

表-7 作業中止基準一覧

	作業中止基準
風速(10 分間平均)	10m/sec 以上
降雨量	1 回の降雨量が 50mm 以上の雨
地震	震度 3 以上（作業中断し、情報収集、現場点検後安全が確認された後再開する）
波高（有義波）	1.5m 以上
視程	1,000m 以下
雷	落雷の恐れがある場合は作業中断し待機

工期は、平成 20 年 6 月 10 日から 10 月 30 日であったが、魚礁ブロック製作に時間を要したため、据え付けをスタートできたのは平成 20 年 8 月 8 日であり、最終 89 個目の魚礁ブロックの据え付けが完了したのは 10 月 14 日であった。

前述したように、過去のデータからみると、8 月から 9 月の間は多数の台風が襲来することが懸

念されたが、本工事中は1つの台風の来襲もなく、天候に恵まれた。

据え付け作業中の風速（10分間平均）は、最大でも7m/secであり、80%以上が5m/sec以下であった。また、目視によると波高は最大で1m、80%以上が0.8m以下であった。

4.5 当該システムを用いた魚礁ブロック据付

工事に使用したトランスポンダーは型式：ALS-20TOR（海洋電子製）⁴⁾、GPS(D-GPS 受信機)は型番：DSM232（ニコン・トリプル製）である。

据え付け手順とその状況の概要を次に示す。

- ①位置決め装置のモニターを見ながら、起重機船を所定の範囲に操船ウィンチで移動し、保持する。
- ②次に、魚礁吊枠及びブロックを吊り下ろしながら起重機の位置と吊枠のトランスポンダーでブロックの相対位置をリアルタイムに計測することによって、魚礁ブロックの座標位置を確認する。
- ③トランスポンダーの深度情報から沈降速度を検出し、ウィンチ速度を調整しながら、魚礁ブロックの沈設速度を一定にする。④起重機船の荷重計により着底が確認できたら、所定の位置を再確認後、魚礁の切り離しを行い、損傷を与えずに設置させる。

4.6 据え付け時の魚礁ブロックの軌跡

着水し、海底に着底するまでの時間は7分～15分程度を要した。当該システムにより、吊下げワ



写真-1 魚礁ブロックとトランスポンダー



写真-2 位置決め装置のモニターを見ながら、ウィンチ速度を調整し、魚礁ブロックを沈設中

イヤー先端部の魚礁吊枠に設置したトランスポンダーからの位置情報及び深度情報をもとに、モニター画面でリアルタイムに魚礁ブロックの位置、深度及び沈設速度を確認しながら、クレーンブーム操作した。

図-9に据付管理状況のイメージを示す。

全89個の据付事例の中から代表的な魚礁ブロックの据え付け時の軌跡を図-10～11に示す。

図は下記のような軌跡データである。

- ・据付開始から着底までの間にトランスポンダーによってリアルタイムに検出されたブロックの位置情報の軌跡（上段右）
- ・ブロックの位置を誘導するために操作したクレーンブーム頂部の平面軌跡（上段左）

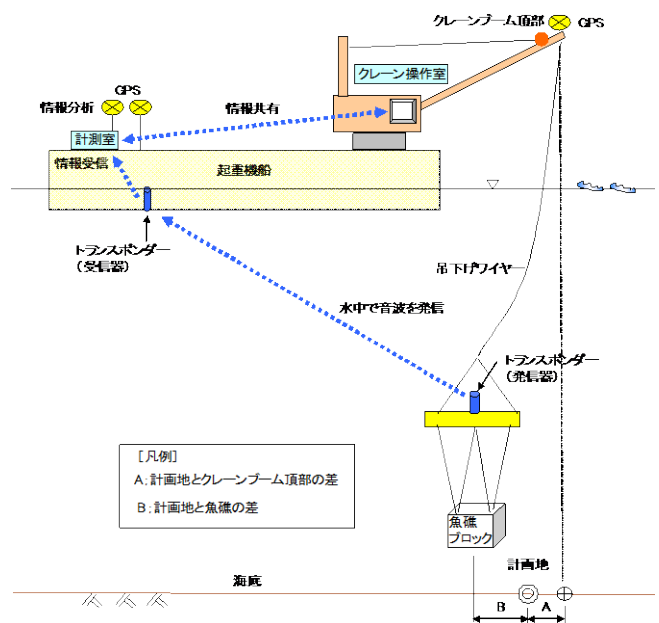


図-9 魚礁ブロック据付管理状況のイメージ

・ブロックの深さ方向（X方向）の位置の軌跡
（下段左）

・ブロックの深さ方向（Y方向）の位置の軌跡
（下段右）

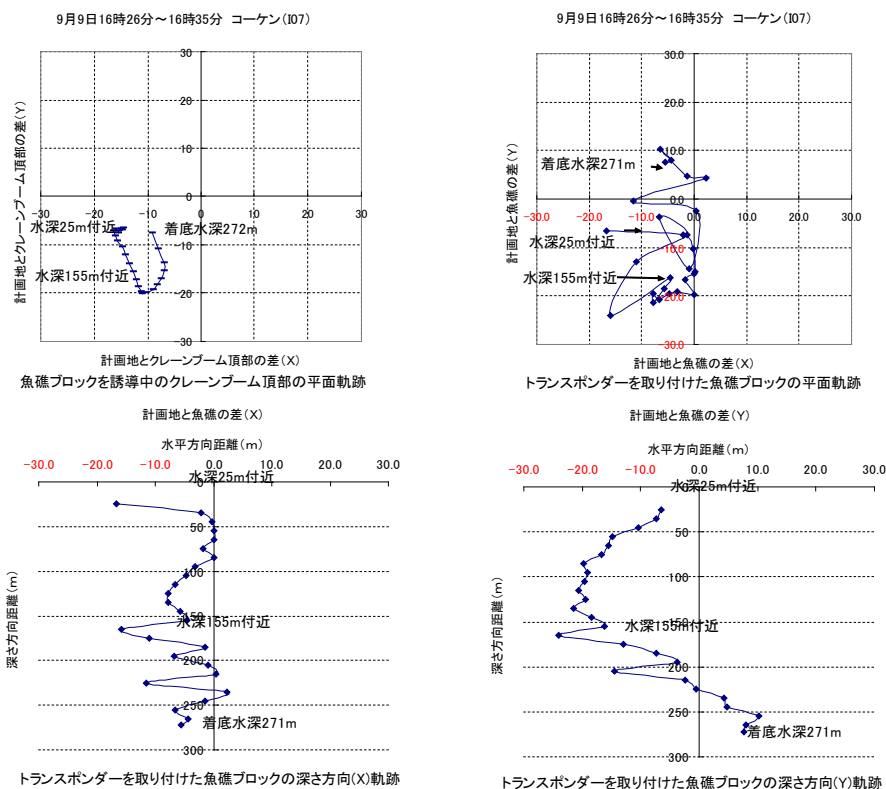


図-10 コークン魚礁ブロックⅢ型(20.3t/個)の据付事例

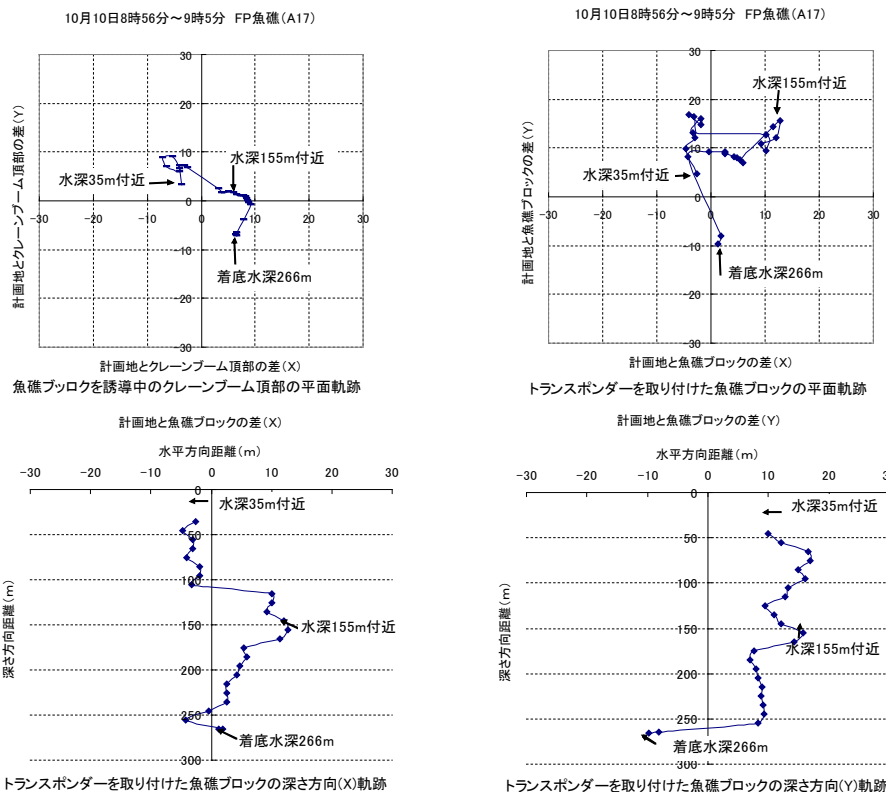


図-11 FP魚礁5.00型(43.1t/個)の据付事例

4.7 魚礁ブロックの軌跡

①クレーンブーム頂部と魚礁ブロックの平面軌跡に関する特徴

- ・コーケン魚礁ブロック，FP魚礁とも，クレーンブーム頂部の動く範囲より魚礁ブロックの動く範囲が大きくなっており，魚礁ブロックは潮流等外的要因の影響をかなり受けていることが伺える。
- ・コーケン魚礁ブロック，FP魚礁とも，魚礁ブロックの位置が計画地を外れようとする度に，計画地を目指したクレーン操作が行われているようである。
- ・コーケン魚礁ブロック，FP魚礁とも，魚礁ブロックの動きは不規則であり，魚礁ブロックを誘導するシステムがない場合は，短時間で計画地点に据え付けることは難しいようである。

②魚礁ブロックの深さ方向の軌跡

- ・コーケン魚礁ブロックは着水し，しばらくする

と潮流等の外的要因を受け，横方向に振られているようである。一方，FP魚礁は着水後100m程度の水深まで潮流等外的要因の影響はあまり受けていないようである。その原因としては，FP魚礁は43.1t/個，コーケン魚礁ブロックは19.9t/個であり，重い魚礁ブロックほど潮流等の外的要因の影響は少ない物と推察される。

- ・コーケン魚礁ブロック，FP魚礁とも，250m程度の水深に到った時点で，据付位置精度±30m以内を確保するための最終クレーン操作を行っているようである。

③まとめ

以上より，据付開始から着底までの間，リアルタイムに魚礁ブロックの位置を検出し，その情報をもとに計画地点まで誘導できるシステムの必要性が再確認できた。

出来形度数分布(据え付けた魚礁ブロックの位置)

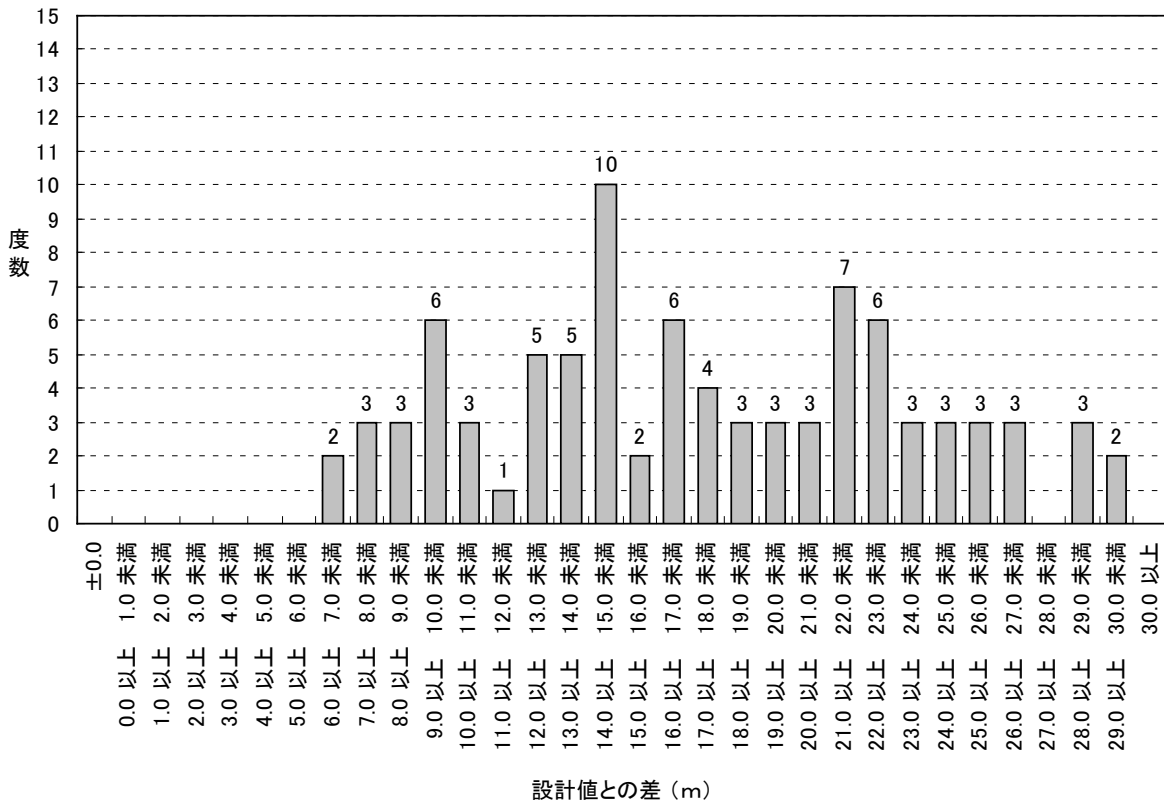


図-13 計画位置と据付位置の差のヒストグラム

4.8 据付精度

89 個の魚礁ブロックについて、計画位置と据付位置（トランスポンダーの位置）の差をヒストグラムで表した結果を図-13 に示す。度数の最も多かった魚礁ブロック数は 10 個であり、その差は 14.0m 以上 15.0m 未満であった。平均値は 17.4m、最大値は 29.5m、最小値は 6.7m であった。

バラツキはあるものの全ての魚礁ブロックにおいて出来形管理値（今回使用したトランスポンダーによる計測値）で±30m 以内を確保することができた。

5. まとめ

但馬沖フロンティア漁場整備工事において、今回開発した「魚礁ブロック位置検出・誘導システム」を用い、その適用性について実証したものである。

前述したように、工期限内に、全ての魚礁ブロックを出来形管理値で±30m 以内に据え付けることができたことより、当該システムの大水深での適用性が十分に把握できた。

①新規性

地方自治体による魚礁ブロック据付技術、地殻変動観測のための位置測定技術、海洋深層水取水口の位置測定技術では、今回のような排他的経済水域の大水深において、大型魚礁ブロックを 100m～200m の間隔という近接した距離で複数設置するという特殊条件で、据付位置精度を±30m 以内に施工することは難しい。

開発した魚礁ブロック位置検出・誘導システムは、排他的経済水域の特殊条件下で、据付位置精度を±30m 以内に施工することのできる技術であり、従来にないものである。

当該システムは、沖合海域での構造物設置技術へのさらなる応用が期待されるものである。

②有用性

今回開発した技術を用いて但馬沖において検証した結果、全ての魚礁ブロックにおいて出来形管理値で±30m 以内を確保することができた。当該システムは、今後の沖合大水深海域を対象とした事業遂行に有用な情報を提供するものである。

6. おわりに

今回の海象・気象情報については、作業の中止判断に使用するためのデータ収集であり、目視観測による波高観測や吹き流し設置や簡易風速計による風速データの取得であった。

前述したように、ワイヤーに直吊りした魚礁ブロックに潮流等の外的要因が作用し、それによって動揺したものと推察されるが、今後、より効率的かつ確実に施工を可能にするためには、さらに、据え付け海域における潮流等の気象・海象に係わるリアルタイムのデータの観測及びそれらのデータとの相関関係について検討することが必要であると考えられる。

さらにまた、直轄漁場整備事業を推進していく上で、沖合大水深域における施工技術の確立、設計手法の検討等一層の技術開発への応用が期待される場所である。

引用・参考文献

- 1) 水産庁漁港漁場整備部整備課資料、2008
- 2) 成田誉孝・望月将志：海底地殻変動観測における機器の現状とその運用について、海上保安庁海洋情報部技報、p.100, Vol.23.2005
- 3) 清水建設ホームページ、前田建設ホームページ海洋電子株式会社実績データ、2005・2006
- 4) 海洋電子株式会社：位置検知装置（トランスポンダー）の仕様と精度、2008
- 5) 鳥取県地域防災計画 風水害等対策編（平成17年度修正）、鳥取県防災会議、p.10, 2009

著者紹介



稲田 勉 (正会員)
東洋建設株式会社 土木事業本部土
木技術部 (東京都江東区青海 2-43)
昭和 54 年 3 月徳島大学大学院修士課
程卒業
環境カウンセラー, 土木学会会員



岡 貞行 (非会員)
水産庁漁港漁場整備部整備課 (東京
都千代田区霞が関 1-2-1)
昭和 59 年 3 月名古屋工業大学土木工
学科卒業, 同年 4 月農林水産省入省,
平成 20 年 4 月水産庁漁港漁場整備部
整備課上席漁港漁場専門官
土木学会会員



中村 隆 (非会員)
水産庁漁港漁場整備部整備課 (東京
都千代田区霞が関 1-2-1)
平成 5 年 3 月広島大学大学院環境工
学専攻修了, 平成 6 年 4 月農林水産
省入省, 平成 19 年 4 月水産庁漁港漁
場整備部整備課課長補佐



柳瀬知之 (非会員)
水産庁漁港漁場整備部整備課 (東京
都千代田区霞が関 1-2-1)
昭和 63 年 3 月北見工業大学土木工学
科卒業, 同年 4 月総理府入省
平成 20 年 4 月水産庁漁港漁場整備部
整備課漁港漁場専門官
土木学会会員



竹内克昌 (正会員)
東洋建設株式会社 土木事業本部機
械部 (東京都江東区青海 2-43)
昭和 61 年 3 月神戸市立工業高等専門
学校 電気工学科卒業



吉田 涼 (正会員)
東洋建設株式会社 中国支店 (広島
市東区光町 2-6-24 光町三上ビル 3F),
平成 5 年 3 月松江工業高等専門学校
土木学科卒業

Development of the fish reef block detection and the guidance system in large depth of water

Tsutomu INADA, Sadayuki OKA, Takashi NAKAMURA,
Tomoyuki YANASE, Katsumasa TAKEUCHI, Ryo YOSHIDA

ABSTRACT : It induces to the position while in real time detecting the position of the fishing bank block, and the system that installs it in high accuracy is developed. and it proved in the Tajima offing.

It was able to secure within $\pm 30\text{m}$ by the type it was possible to do management value in all the result, the fishing bank blocks.

Keyword : *Large depth of water, real time, a fish reef block, position detection, guidance*