

ICT を活用した大水深での魚礁据付精度の向上および据付時間の短縮

東洋建設(株) 正会員 ○久富 真悟
水産庁 漁港漁場整備部 木村 智也
東洋建設(株) 吉田 涼

1. はじめに

我が国の沖合域における水産資源の回復と生産力向上のために、水産庁では平成 19 年度から国直轄の「フロンティア漁場整備事業」が実施されている。この度、本事業における日本海西部地区の保護育成礁の整備において大水深(500m)にて魚礁の据付を行った。海流による流れがある中での大水深への魚礁据付は、アンカー係留による据付が難しく、かつ魚礁が流されることにより短時間で精度よく据付けることが難しい。これらの課題に対し、我々は DPS (Dynamic Positioning System: 自動定点保持機能) を持つ自航式起重機船にて定点保持し、高性能な水中音響測位システムと魚礁沈設管理システムによる ICT の活用により魚礁を目標位置へビジュアル誘導することで高い位置精度でかつ短時間で据付けた。本稿ではこれらの課題に対する策とその結果について報告する。

2. 工事概要

(1) 日本海西部地区の保護育成礁

日本海西部の海域は本州沿岸域と平行する水深 200m 以浅の広い陸棚や、対馬海盆、大和海盆に至る水深 1,000m 以上の急峻な地形など変化に富んだ地形を有し、日本列島沿いに北上する対馬暖流の影響により、アカガレイ・ズワイガニをはじめとした様々な魚種の好漁場となっている。一方で日本海西部におけるズワイガニの漁獲量は、近年減少傾向にあることから、更なる資源の回復が求められている状況にある。また、アカガレイについても、より高位で安定した水準へ回復させる必要がある。日本海西部地区では図-1 に示すとおり、一箇所あたり複数(総数 100 個程度)のコンクリート製魚礁や鋼製魚礁で構成されている保護育成礁を 32 箇所整備することとしている。¹⁾

図-2 に保護育成礁における魚礁の配置の一例を示す。

(2) 工事概要

件名:平成 30 年度日本海西部地区魚礁据付(その 2)工事

施工場所:兵庫・鳥取・島根沖合の EEZ(水深 217m~497m)

工 期:平成 31 年 3 月 19 日~令和元年 9 月 3 日

発注者:水産庁

施工数量:コンクリート製魚礁(43t/個) 76 個

コンクリート製魚礁(20t/個) 17 個

鋼製魚礁(27t/基) 24 基

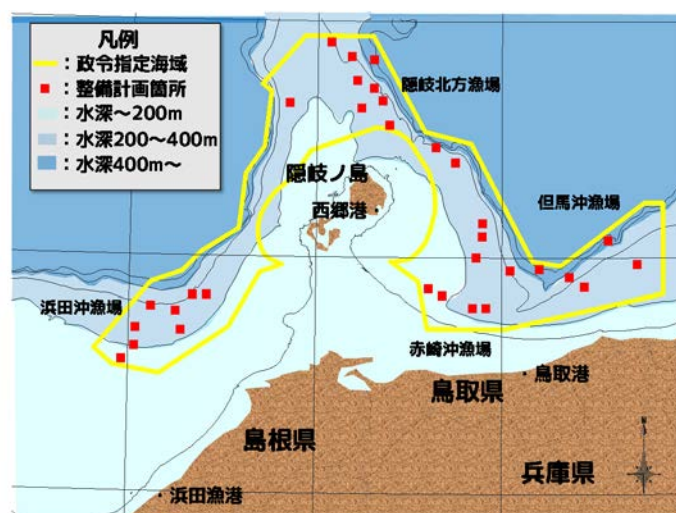


図-1 日本海西部地区の保護育成礁

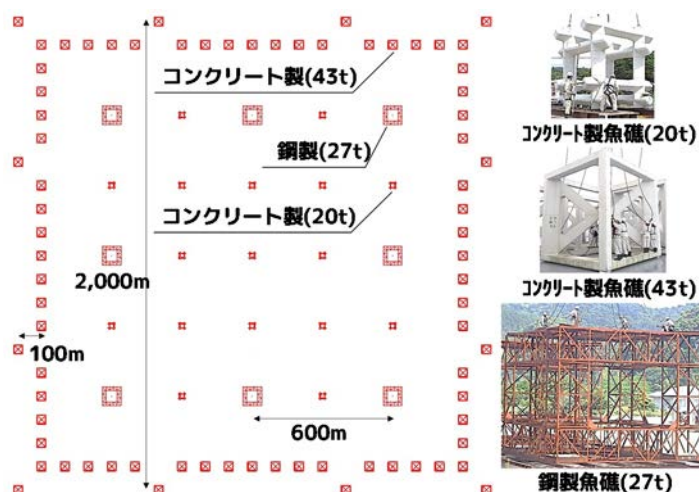


図-2 保護育成礁の魚礁の配置と種類の一例

キーワード 魚礁据付, 大水深, DPS, 水中音響測位システム

連絡先 〒101-0051 東京都千代田区神田神保町一丁目 105 番地 東洋建設株式会社 海洋開発部 TEL 03-6361-5462

3. 大水深における魚礁据付の課題

(1) 位置精度の課題

日本海西部地区は対馬暖流の通り道であり、かつ、本工事での魚礁据付は最大約 500m と大水深帯での施工となるため、潮流により吊り荷（魚礁）が流され、クレーンジブ頂部の位置と水中での魚礁の位置が大きくずれる可能性があった。図-3 は本工事の魚礁据付深度（約 500m）でのクレーンジブ頂部と水中音響測位システムによる魚礁位置の差、すなわち魚礁の流され度合を示しているが、平均 2.5m、最大 6m 流されていることが分かる。

図-4 には本工事でのクレーンジブ頂部の位置と水中音響測位システムによる深さ方向の魚礁位置の差の一例を示しているが、各深さによって流される方向や度合いが違ってくる。また、大深度ではアンカー係留による起重機船の定点保持が困難なことから、安定して精度良い魚礁の据付ができない懸念があった。

(2) 施工時間の課題

本工事の大水深での魚礁据付場所は港から 41 海里（約 71km）離れており、片道約 6 時間掛かる。海上での作業は海象状況が常に変わり、出港時に海象予報が悪くなくても現地到着時までには海象が悪くなることもあり、また、据付中に海象状況が悪くなり、施工を中止せざるを得ない場合もある。したがって現地到着後は出来るだけ作業時間を短縮することが求められる。

4. 大水深における魚礁据付技術

(1) DPS 搭載の自航式起重機船の活用

一般的なアンカー係留による定点保持は水深が深くなるほど据付、回収および転錨作業に時間を要す。また、一般的な起重機船に設置されている係留索を巻くドラム容量に限界があり、350m を超える水深帯に対応する起重機船の手配が困難である。そこで本工事では DPS 方式の 500t 吊自航式起重機船を使用しこの課題に対応した。DPS による定点保持を行うことで、アンカー係留することなく、強い潮流や強風の時でも定点保持を可能にしている。この起重機船は GNSS による船体測位により潮流や風速の影響を計算し、5 基のスラスターを制御することで船体の向きや位置の自動定点保持や目標座標入力による自動転船を可能としている。DPS により定点保持した起重機船による魚礁据付状況を写真-1 に示す。

また図-5 にアンカー係留による定点保持と DPS による定点保持の違いを示す。

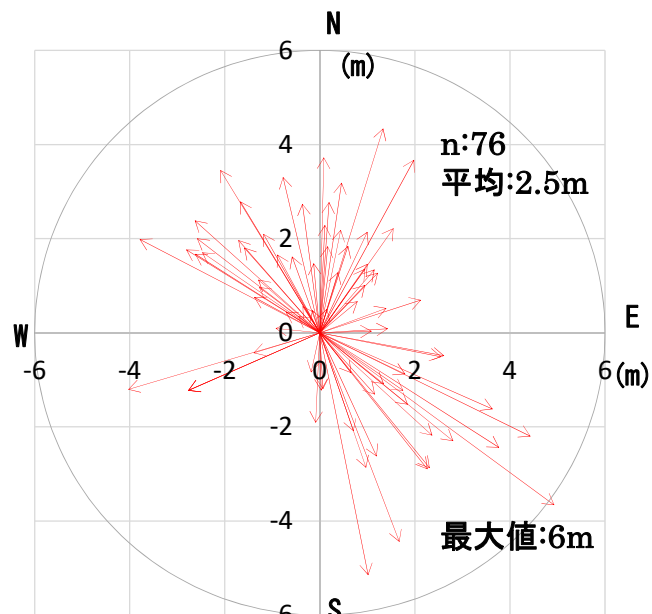


図-3 魚礁設置深さでの魚礁の流され度合

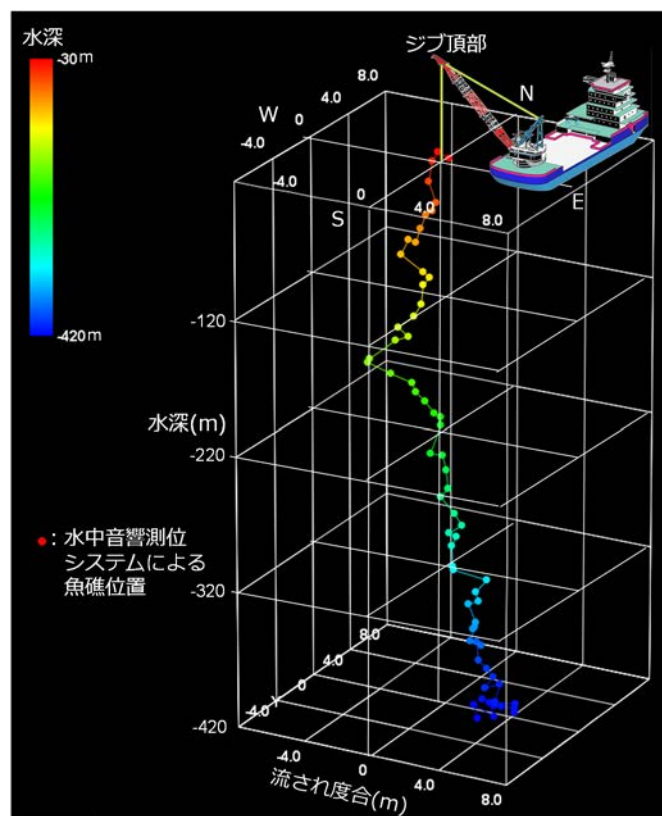


図-4 深さ方向での魚礁の流され度合



写真-1 DPS 起重機船による魚礁据付状況

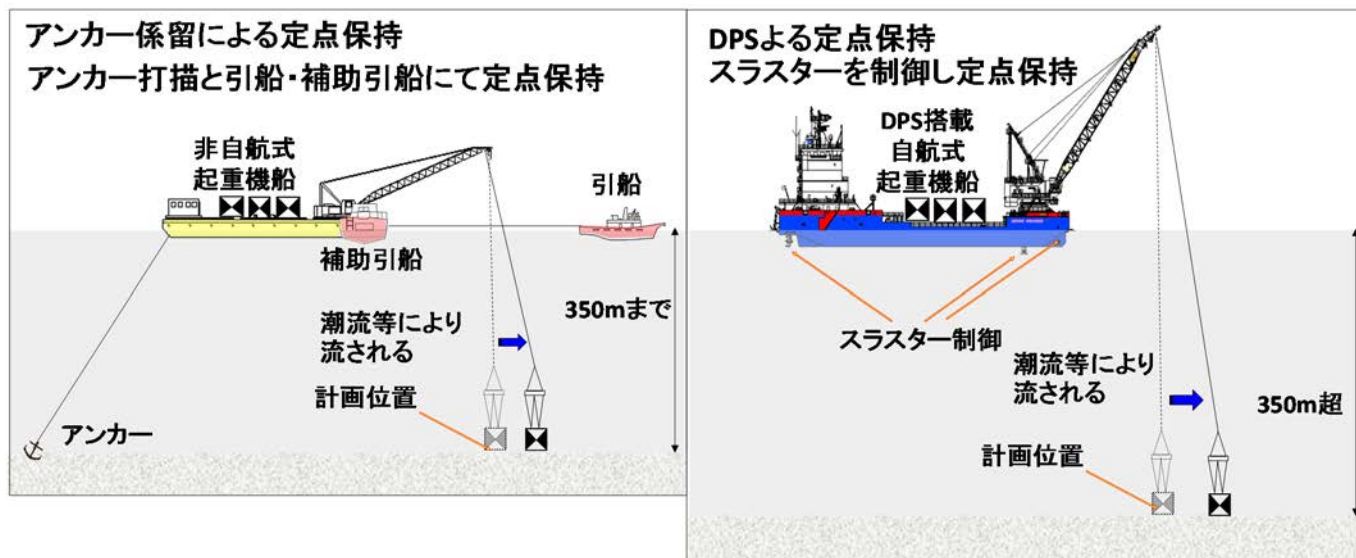


図-5 アンカー係留による定点保持と DPS による定点保持の違い

(2) 高性能な水中音響測位システムの使用

これまでの事業で多く行われていた魚礁据付位置の管理方法は、起重機船のクレーンジブ頂部へ設置した GNSS のみで据付位置を管理する方法であったが、大水深帯においては潮流の影響が大きいため魚礁の水中位置とのズレが大きくなることが懸念される。そこで本工事では水中での魚礁の動きをリアルタイムで把握しながら正確な位置に据付けるために高性能の水中音響測位システムを使用し水中位置を計測した(図-6)。今回使用した高性能水中音響測位システムは、従来製品にないビームフォーミング(所定の方に音波の指向性を高める技術)及び動揺センサー(ロール・ピッチ)内蔵しているため、自動補正を行い確実な水中位置計測を行うことができる。また、従来製品の計測インターバル(位置を計測する間隔)は4秒となっており、躍層等により音波損失が1回発生すると次回計測までの7秒間は計測できていない状況となるため、連続で音波損失が発生した場合は沈設を一時中断する必要がある。それに対し、今回使用した高性能水中音響測位システムの計測インターバルは1秒のため、音波損失が発生した場合でも迅速に音波の再捕捉が可能であり、リアルタイムな測位情報を用いて魚礁位置の微調整ができるため沈設精度や作業時間が向上する(表-1)。表-2 に従来システムと今回システムのスペックを示す。

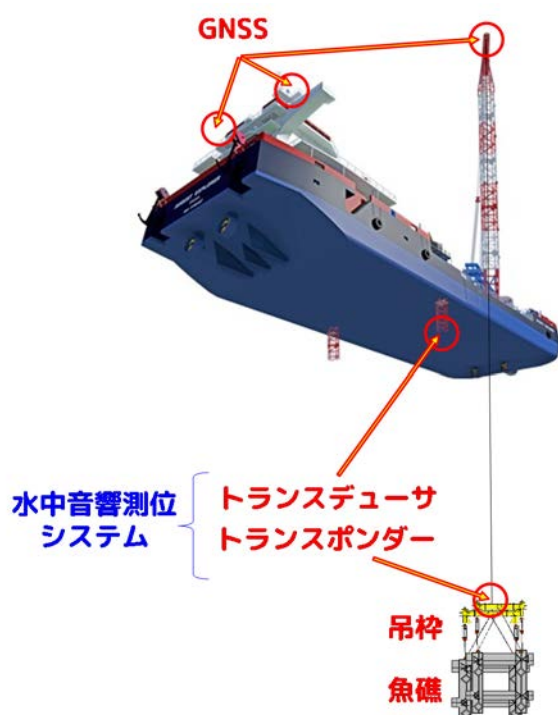


図-6 水中音響測位システム

表-1 水中音響測位システムの計測データ例

経過時間(s)	位置・深度の計測結果			
	従来システム (計測インターバル4s)		今回システム (計測インターバル1s)	
1	計測1回目	正常	計測1回目	正常
2			計測2回目	正常
3			計測3回目	正常
4			計測4回目	正常
5	計測2回目	音波損失	計測5回目	正常
6			計測6回目	正常
7			計測7回目	正常
8		7s間の損失	計測8回目	正常
9	計測3回目	正常	計測9回目	正常
10			計測10回目	正常
11			計測11回目	正常
12			計測12回目	正常

表-2 水中音響測位システムの仕様

種別	方式	計測インターバル	測定深度	ビームフォーミング	動揺センサー
従来システム	SBL	4s	600m	なし	なし
今回システム	SSBL	1s	4,000m	あり	あり

(3) 魚礁沈設管理システムの使用

一般的な水中音響測位システムは船体に設置したトランスデューサーからの距離・方向・水深の数値のみがモニターに表示される．そのため水中にある魚礁位置と起重機船との相対位置が分かり難く，魚礁位置調整に時間を要する．本工事では，起重機船の位置・クレーンジブ頂部の位置・沈設中の魚礁の位置・目標位置を統括管理して，クレーンオペレーターがモニター画面で確認できるようにデータをビジュアル化した魚礁沈設管理システムを使用した．これによりクレーンオペレーターはリアルタイムで水中にある魚礁位置を検出し，モニター画面を基に計画位置へ誘導・据付を行なった．まず，潮流計により計測した流向・流速を基に船体位置を決定し，目標船体位置をモニター上に表示させ船体を誘導する．目標位置に到達すると画面を魚礁据付の画面に切り替える．クレーンオペレーターはモニター画面を確認し，目標の水深まで沈設しながら魚礁の位置も目標に近づけていく．目標の水深に到達すると，最後に魚礁位置の微調整を行い切り離す．図-7に船体誘導時，図-8に魚礁据付時の魚礁沈設管理システムのモニター画面を示す．

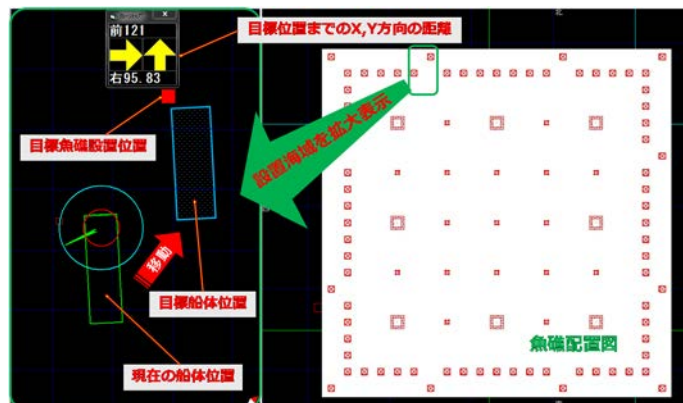


図-7 魚礁沈設管理システム(船体誘導時)

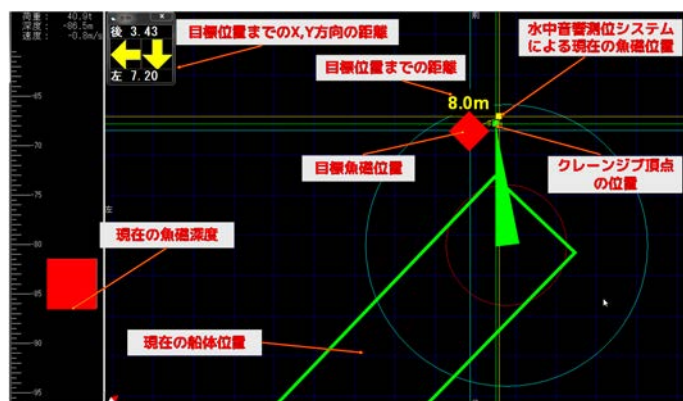


図-8 魚礁沈設管理システム(魚礁据付時)

5. 魚礁据付結果

魚礁据付結果に対する水中音響測位システムの違いや起重機船の係留方法の違いによる効果を確認するために本工事の魚礁据付精度および作業時間を H29 年度工事と H30 年度工事の結果と比較した．各工事の水中音響測位システムと起重機船の係留方法を表-3 に示す．

(1) 位置精度

a) 本工事の魚礁据付位置精度

図-9 は本工事のコンクリート魚礁 (43t/個) 全 76 個の魚礁据付位置精度を示している．本工事の品質管理基準は計画位置から半径 30m 以内となっているが，社内基準としてはその半分の半径 15m 以内としている．結果は平均 μ : 1.64m, 95%信頼区間 ($\mu + 2\sigma$) : 3.33m (※ σ : 標準偏差) となり高い位置精度で据え付けることができた²⁾．

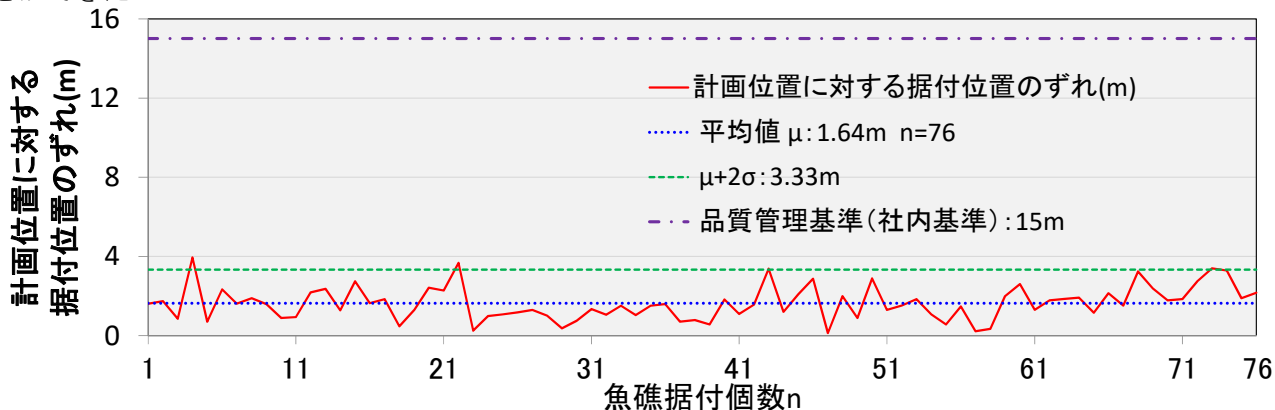


図-9 本工事の魚礁据付位置精度

表-3 各工事の水中音響システムと係留方法

工事 年度	水中音響測位システム				起重機船 係留方法	比較 内容
	種別	計測イン ターバル	ビーミング	動揺セ ンサー		
H29	従来シ ステム	4s	なし	なし	アンカー	作業時間
H30	従来シ ステム	4s	なし	なし	DPS	作業時間 位置精度
R1 (本工事)	今回シ ステム	1s	あり	あり	DPS	作業時間 位置精度

b) 水中音響測位システムの違いによる位置精度

図-10 は H30 年度に行った魚礁据付工事と本工事の魚礁据付位置精度の違いを示している。H30 年度は水中音響測位システムを使用しているものの、ビームフォーミング及び動揺センサーが搭載されておらず、また計測インターバルも 4 秒となっている。結果は従来の水中音響測位システムを用いた H30 年度が $\mu + 2\sigma : 6.13\text{m}$ だったのに対し、本工事では $\mu + 2\sigma : 3.33\text{m}$ であり、高性能な水中音響測位システムにより位置精度が上がったことがわかった。

(2) 魚礁据付時間

図-11 は魚礁据付時間（船体移動＋据付）を各方法別に表したものである。据付深さは様々であるため、全て水深 500m に換算した時間としている。本工事（R1 年度）は DPS 搭載の自航式起重機船および高性能水中音響測位システムを使用したもの、H30 年度は DPS 搭載の自航式船および従来の水中音響測位システムを使用したもの、H29 年度はアンカー係留による定点保持および従来の音響測位システムを使用したものである。H29 年度と H30 年度の工事を比較した場合、それぞれ魚礁据付時間の平均は 41 分 11 秒、32 分 15 秒となり、DPS 搭載の自航式船の方が平均約 9 分、20%以上短縮できている。また、H30 年度と本工事（R1 年度）を比較した場合、それぞれ魚礁据付時間の平均は 32 分 15 秒、27 分 1 秒となり、高性能な水中音響測位システムを使用した方が約 5 分、15%以上短縮できている。以上により、魚礁据付時間短縮には DPS 搭載の自航式船および高性能な水中音響測位システムの効果があることが分かった。

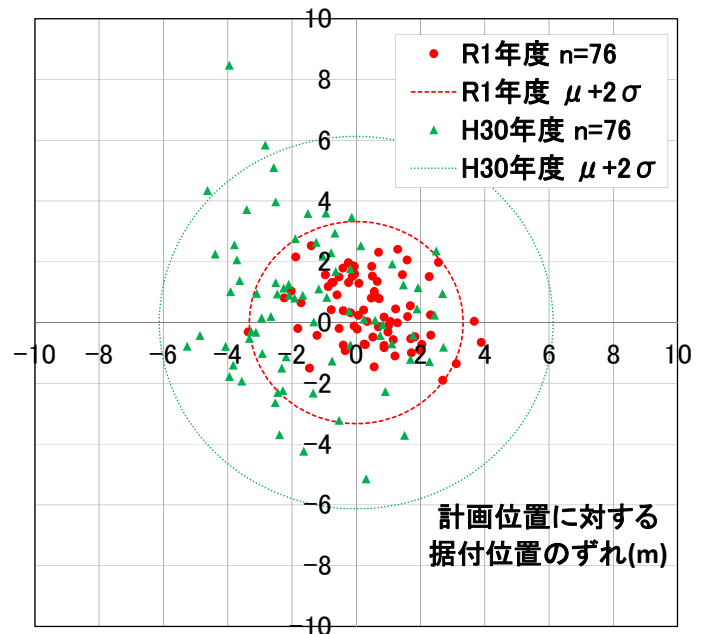


図-10 H30 年度と本工事（R1）の魚礁据付位置精度

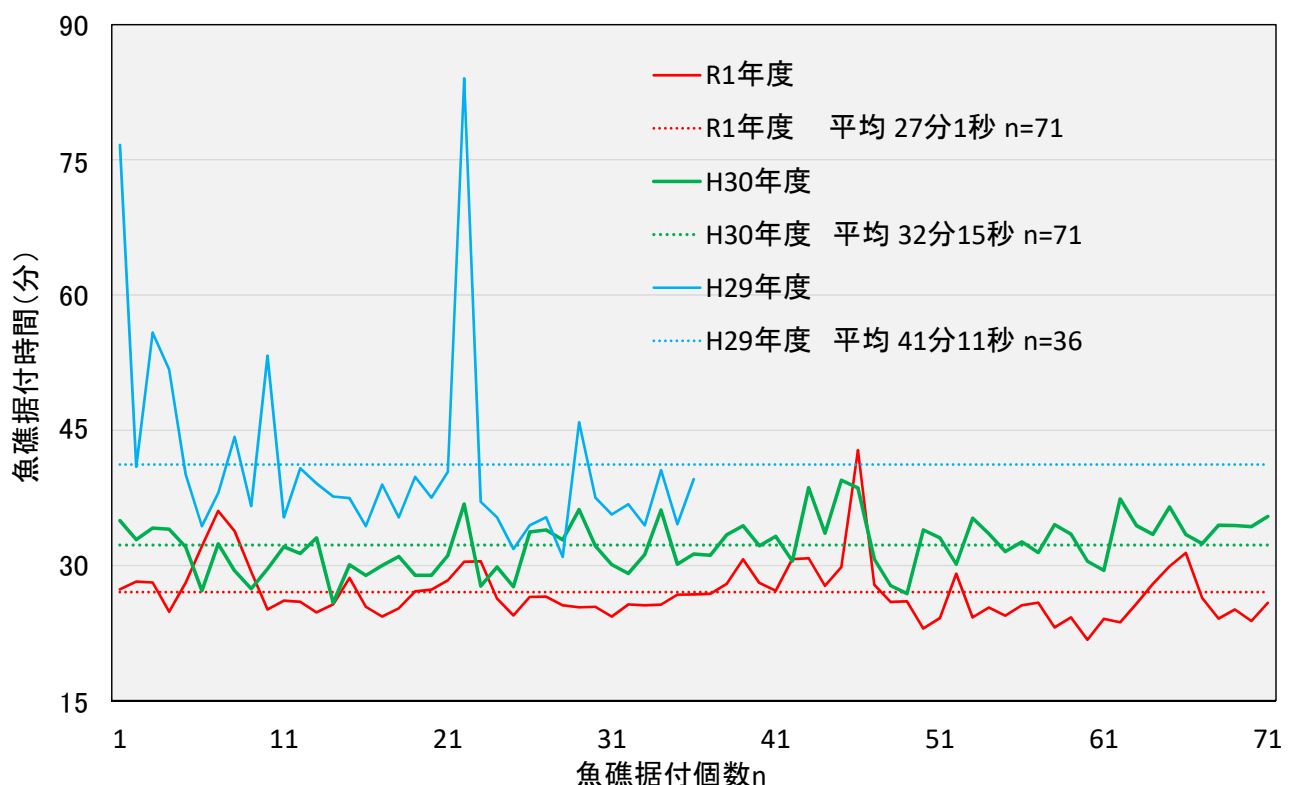


図-11 各年度工事での魚礁据付時間

6. まとめ

本工事では水深約500mの大水深帯において魚礁の据付を行った。DPS搭載の自航式起重機船により定点保持し、高性能な水中音響測位システム、魚礁沈設管理システム等のICTを活用することにより、大水深にもかかわらず計画位置からの半径で95%信頼区間 ($\mu + 2\sigma$) が3.3m (品質管理基準: 30m 社内基準15m) と精度の良い据付ができた。過年度の工事と比較することで、高性能な水中音響測位システムを使用することにより位置精度があがり、作業時間が短縮できることが確認できた。また、DPS搭載の自航式起重機船での定点保持による魚礁据付はアンカー係留による定点保持に比べ作業時間が短縮できることが確認できた。

参考文献

- 1) 宮地健司, 木村智也, 久富真悟, 吉田涼: 排他的経済水域の500m水深帯における魚礁設置技術, 第17回 全国漁港漁場整備技術研究発表会
- 2) 久富真悟, 吉田涼: 大水深における魚礁設置と見える化への取組み, 令和元年度 中国地方建設技術開発交流会