

FRP 沈船魚礁化ガイドライン

平成 26 年 3 月

水産庁 漁港漁場整備部
一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所

1. 目的

本ガイドラインは、廃船となった FRP 製漁船を魚礁として適切に活用するために必要な技術的項目、手順、配慮事項等を取りまとめたものである。

【解説】

我が国の漁船隻数内訳は図-1.1 に示すとおり、特に小型船舶において圧倒的に繊維強化プラスチック (FRP) 製の漁船 (以下、FRP 漁船) が多い。しかし、FRP 漁船は鋼船や木船より比較的リサイクルが難しく、専門業者も少ないことから、放置艇等の問題が生じている。

循環型社会の形成や魚礁資材の多様化が求められている中、離島等の漁業地域において廃船となった FRP 漁船のより一層効率的な処理体制の構築とともに、その魚礁等への適切な有効活用が注目を浴びている。しかしながら、FRP 漁船の魚礁への有効活用については、その有効性、経済性、耐久性、環境への影響等が確認されておらず、それらを明らかにし、適切な手法を確立することが、特に離島等の漁業地域において必要となっている。

このため、FRP 漁船を人工魚礁資材として魚礁として適切に活用するために必要な技術的項目、手順、配慮事項等を取りまとめた「FRP 沈船魚礁ガイドライン」の策定に至ったところである。

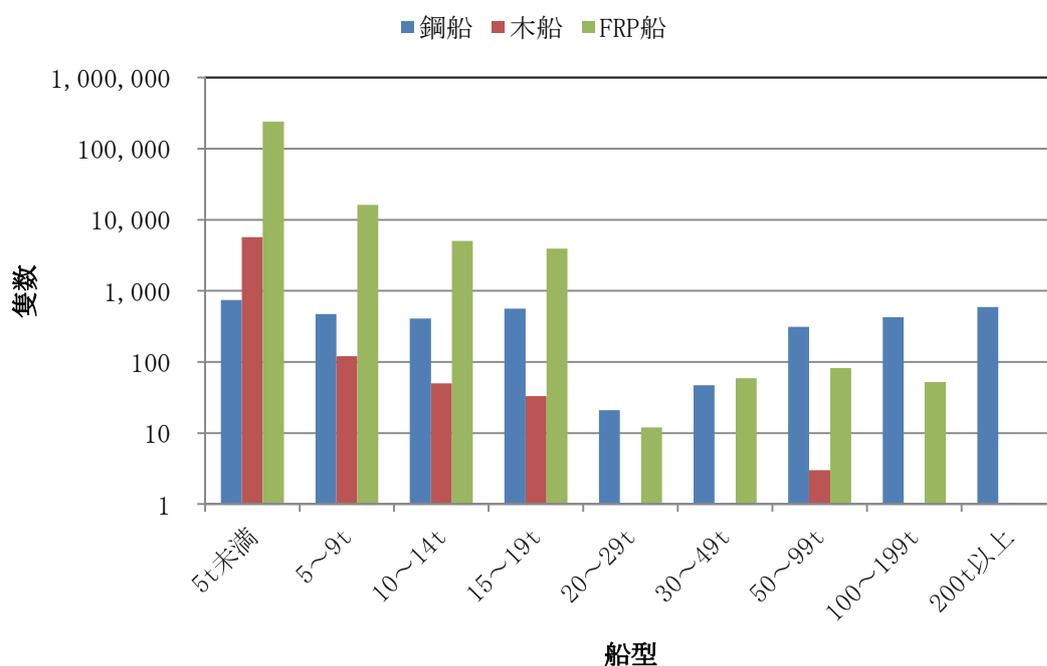


図-1.1 船質・船型別漁船隻数(漁船統計表総合報告第63号、水産庁、平成22年)

2. 魚礁へ転用する FRP 漁船の取り扱い

FRP 漁船を素材とする人工魚礁は有用物であり「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」(廃棄物処理法)や「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」(海洋汚染防止法)における「廃棄物」には当たらない。ただし、事業の実施にあたっては、海洋汚染や船舶の航行上の障害が無いよう努めねばならない。

【解説】

FRP 漁船を活用した人工魚礁(以下、FRP 沈船魚礁)漁場造成事業は、FRP 漁船の有用性を生かした事業である。ただし、不要物ではないという確認のため、FRP 漁船は事業者が所有者の了承を得た上で寄付を受けるか有償で譲り受け、有用物としての取り扱いを行った上で活用せねばならない。その範囲において、FRP 沈船魚礁事業は、廃棄物の処理には当たらない。ただし、事業の実施においては、通常の海上工事と同様に海洋汚染や海上災害が発生しないよう必要な措置を講じねばならない。また、不測の破壊、打上げ等により船舶航行に障害が発生した場合は回収することが前提条件になる。

【参考】 廃棄物処理法 第二条(定義)

この法律において「廃棄物」とは、ごみ、粗大ごみ、燃え殻、汚泥、ふん尿、廃油、廃酸、廃アルカリ、動物の死体その他の汚物又は不要物であつて、固形状又は液状のもの(放射性物質及びこれによつて汚染された物を除く。)をいう。

3. FRP 沈船魚礁に要求される諸条件

魚礁に要求される諸条件のほかに、FRP 沈船魚礁に要求される条件は以下のとおりである。

- ①使用履歴が明らかな FRP 漁船を有用物として入手されている。
- ②海洋汚染をおこさないよう適切な前処理を行う。

【解説】

前述のとおり FRP 沈船魚礁は、その材料である FRP 漁船について使用履歴が明確化されており、廃棄物ではなく有用物として取引され入手されることが前提である。また、海洋汚染防止法に準拠して、海洋汚染を引き起こさないよう油類や付属物を除去するなど適切な前処理を行わねばならない。

なお、魚礁としての効果については、五島列島奈留島葛島近傍に実験礁として、FRP 沈船魚礁を平成 24 年 1 月に沈設し、その上で近隣の既存のコンクリート魚礁との比較を併せた効果調査で確認した。調査結果は「資料編-5 FRP 沈船魚礁の魚礁効果」に示すが、既往のコンクリート製魚礁と比して同等の魚礁効果を持つと共に、油分の溶出は見られなかった

4. FRP 漁船の魚礁化計画の策定

FRP 漁船の魚礁化計画策定に当たっては、計画の考案から沈設及びモニタリングに至るまで、一連の流れを構築する。

【解説】

FRP 漁船の魚礁化の事業を行う者及び FRP 沈船魚礁漁場を管理する者、それぞれが適切な処置を講じる。

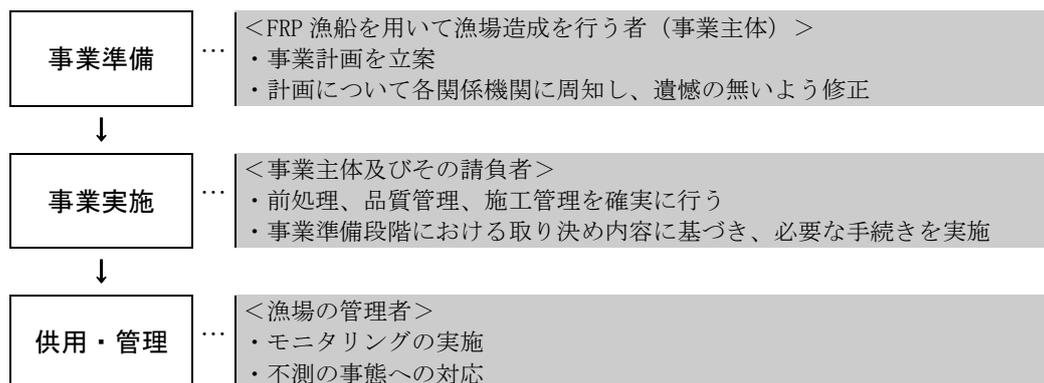


図-4.1 FRP 漁船の魚礁化計画策定の流れ

(1) 事業準備

FRP 漁船の魚礁化計画策定に当たっては、関係機関と連携し、遺憾の無いよう努める。

FRP 漁船を魚礁化しようとする事業主体は、その計画案について都道府県の水産部局に相談して指導を受ける。計画案には、当該 FRP 廃船が FRP 沈船魚礁に要求される諸条件を満たしていること（①有用物として入手されている、②海洋汚染をおこさないよう適切な前処理を行う）を明記する。都道府県の水産部局は、計画案について必要に応じて水産庁および都道府県の環境部局と協議を行い、事業主体に対して適切な助言を行う。一方、工事の請負者は、当該海域を管轄する海上保安庁の出先機関に海上作業届を提出する。

また、FRP 沈船魚礁はその構造上網掛りしやすいが、その除去はダイバー潜水による作業が最も確実である。その観点から、設置水深はダイバー潜水可能な範囲とすることが望ましい。

なお、工事計画策定にあたっては、「資料編-1 沈設工事事例」と「資料編-2 工事歩掛」を参考にしても良い

(2) 事業実施

FRP 沈船魚礁の設計、施工にあたっては通常の漁場整備と同様の検討を行うことに加えて、適切な前処理を行う。

FRP 沈船魚礁は、材料が FRP 廃船であること以外は通常の人工魚礁と変わらない。そのため、設計・施工に関しては、基本的に人工魚礁と同様に行えばよい。ただし、油濁等が懸念されることもあり、施工にあたっては前項に示した計画に準拠して適切な前処理を行わねばならない。前処理については、本ガイドライン「6. FRP 漁船の魚礁化の前処理」を参考にしても良い。設計に当たっては本マニュアルの「7. 安定計算」を参考にしても良い。

(3)FRP 沈船魚礁漁場供用・維持管理

FRP 沈船魚礁漁場の供用にあたっては管理者を明確にし、管理者は管理計画を策定の上で、利用及び維持管理を行う。

FRP 沈船魚礁漁場の供用にあたっては、管理者を明確にする。その上で管理計画を策定し、日常的な利用管理のほか、異常気象や環境の変化、不適切な行為の発覚、網がかり、耐用年数満了などの要因により、漁場施設の機能の低下などの不測の事態が生じた場合には、管理者が適切な対応を行う必要がある。管理の内容については「資料編-3 利用・維持管理」を参考にしても良い。

5. FRP 漁船の魚礁化の前処理

FRP 漁船の魚礁化にあたっては、油類発生個所の清掃、浮遊物発生防止措置、突出物の撤去等適切な前処理を行う。

【解説】

油濁による魚介藻類や海洋環境への被害発生を未然に防止するため、FRP 漁船については廃油やガスを全て回収すると共に、洗浄器や中和剤等を用いて十分な油類除去清掃処理を行わねばならない。回収した廃油や清掃にて発生した廃棄物は、産業廃棄物として適切に処理せねばならない。

船体構造物には、木材・合板等浮遊物となり得る材料が多く使用されているほか、突起物や電子機器も多い。そのため、波浪等で離脱して、浮遊および落下するものや、他の船舶の航行や漁業操業上の障害となるような突出物は、あらかじめ撤去せねばならない。撤去物もまた廃油等と同様に産業廃棄物として適切に処理せねばならない。表-5.1 には、沈設時に撤去することが望ましい物の一覧を示す。

表-5.1 沈設時に撤去することが望ましいもの

(「FRP 漁船沈設魚礁化処理活用ガイドライン」平成3年3月、全国漁業協同組合連合会)

項目 \ 魚種	カツオ一本釣	まぐろ	沖合底曳	さけます兼業	まき網本船	たいイカ兼業	いか専用	調査船	小型運搬船	沿岸小型船
船首マスト	○	○	○	○	○	○	○		○	
ビット(木材)	○		○	○				○	○	○
船首ストア上機器		○		○	○	○	○	○	○	
甲板上漁労上機器		L.H ○		L.H ○	ローラー ○	L.H ○				
魚倉ハッチのフタ	○		○	○	○	○	○	○	○	○
ブーム			○	○	○	○	○	○	○	
レーダー	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
探魚灯		○			○	○	ランプ ○			
作業灯	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
救命ブイ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
主機関	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
補機関	○	○	○	○	○	○	○	○		
その他機関	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
シャフト	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
プロペラ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
舵	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
漁労機械		ニンヘラー ○	大型リール ○		ネットホラ ○		スパンカー ○	ギャロス ○		
操舵機	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ロープ類	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
漁網類	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
漁具類	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
その他木材類 (スノコ、差し板、手スリ etc)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

6. 安定計算

FRP 沈船魚礁の安定計算は通常の人工魚礁と同様に、直近の漁港・漁場の施設の設計の手引に準拠するが、「資料編-4 安定・構造計算例」に示す事例を参考にしても良い。

資料編-1 沈設工事事例

I 事例 1 : 5t 船

II 事例 2 : 60t 船

I 事例 1 : 5t 船

1. 工事概要

本工事は FRP 漁船(2 隻)を有効活用した FRP 沈船魚礁の製作、沈設を行ったものである。

図-1.1 に施工フローを示す。

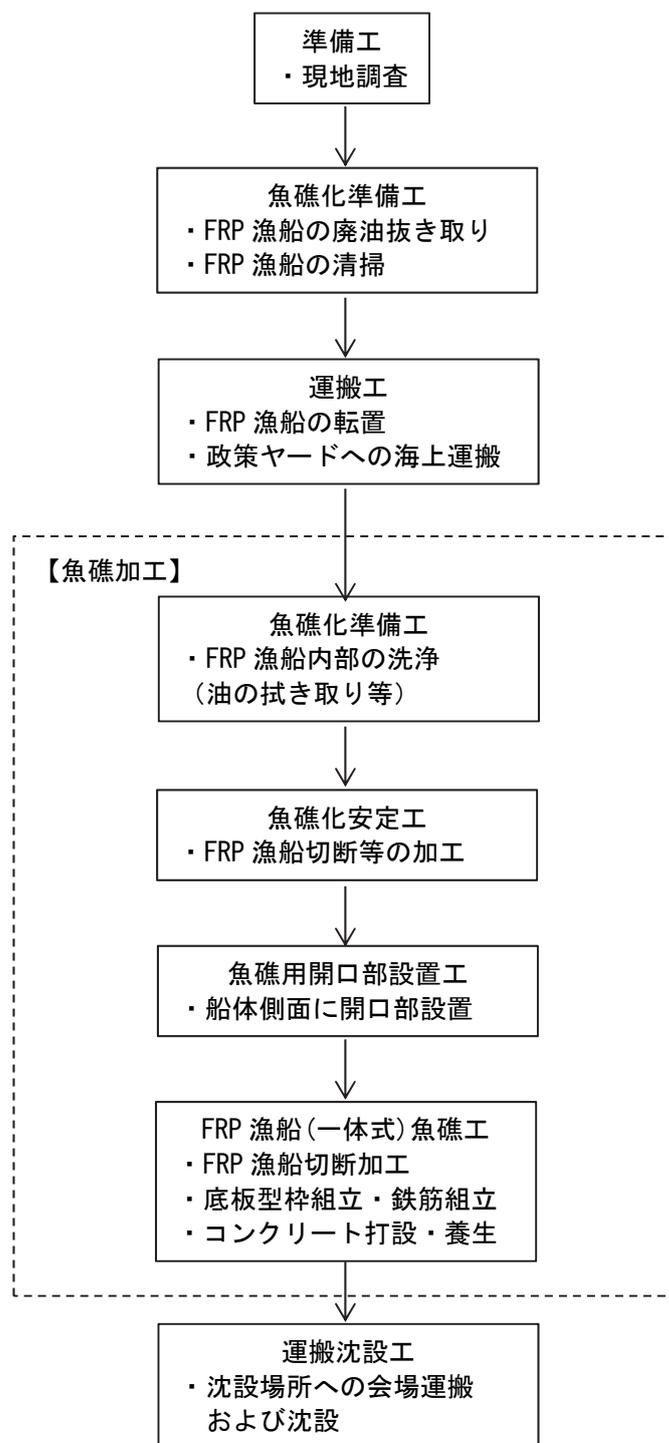


図-1.1 施工フロー

2. 工事場所

FRP 漁船 2 隻(第二南海丸、幸洋丸)の置場は、長崎県五島市富江町の富江地区および女亀地区であり、FRP 沈船魚礁の製作は長崎県五島市奈留町の相の浦港で行った。また、FRP 沈船魚礁は奈留島の北にある葛島海域に沈設した。FRP 漁船置場、製作ヤード場所、および沈設場所を図-2.1 に示す。図-2.1 には FRP 漁船置場から製作ヤードまでの海上運搬経路と概算距離、および FRP 沈船魚礁の製作ヤードから沈設場所までの海上運搬経路および概算距離も示す。



図-2.1 工事場所 (FRP 漁船置場・製作ヤード・沈設場所) および海上運搬経路

3. 実施工程

準備工から沈設までの工事期間は、平成 26 年 9 月 18 日～11 月 8 日である。実施工程表を表-3.1 に示す。

4. 使用 FRP 漁船および FRP 沈船魚礁

工事に使用した FRP 漁船 2 隻(第二南海丸、幸洋丸)の写真を写真-4.1 および写真-4.2 に示す。FRP 漁船 2 隻の船首と船尾をそれぞれ切断し、残る漁船の中央部にコンクリート底板を付加して FRP 沈船魚礁を製作した。完成写真を写真-4.3 および写真-4.4 に、FRP 沈船魚礁 2 基の形状寸法図を図-4.1、図-4.2 に示す。



写真-4.1 使用 FRP 漁船(第二南海丸)



写真-4.2 使用 FRP 漁船(幸洋丸)



写真-4.3 FRP 沈船魚礁(第二南海丸)



写真-4.4 FRP 沈船魚礁(幸洋丸)

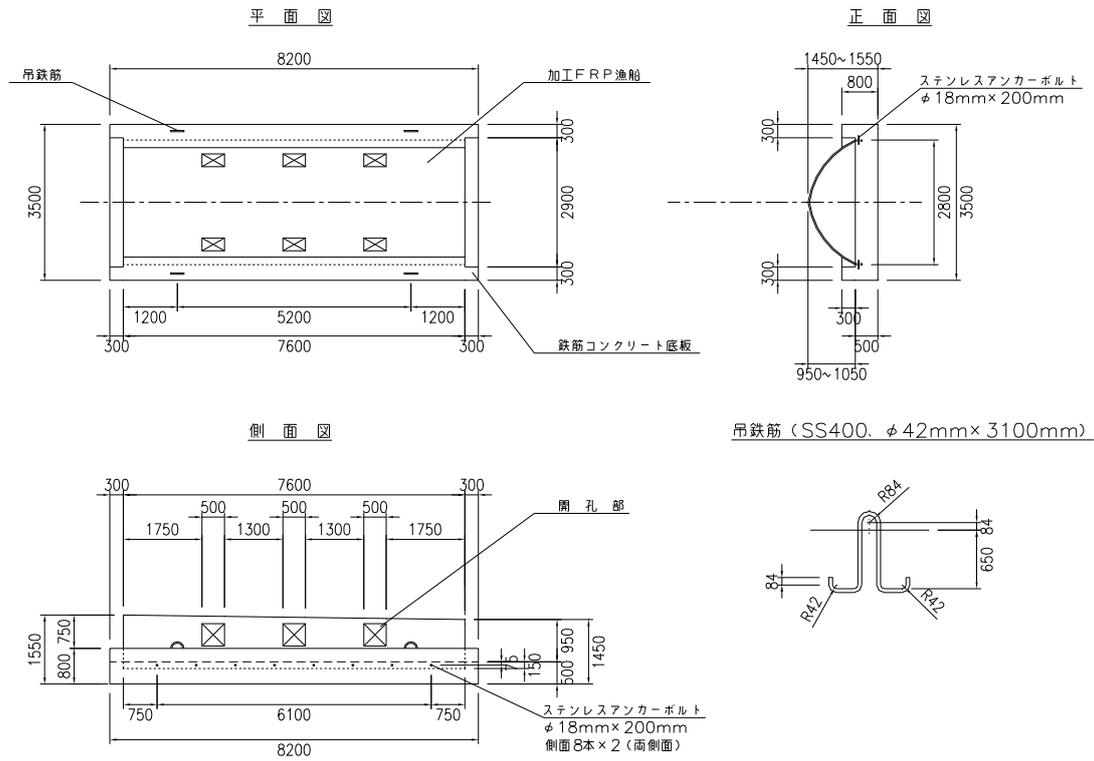


図-4.1 廃船FRP魚礁(第二南海丸)

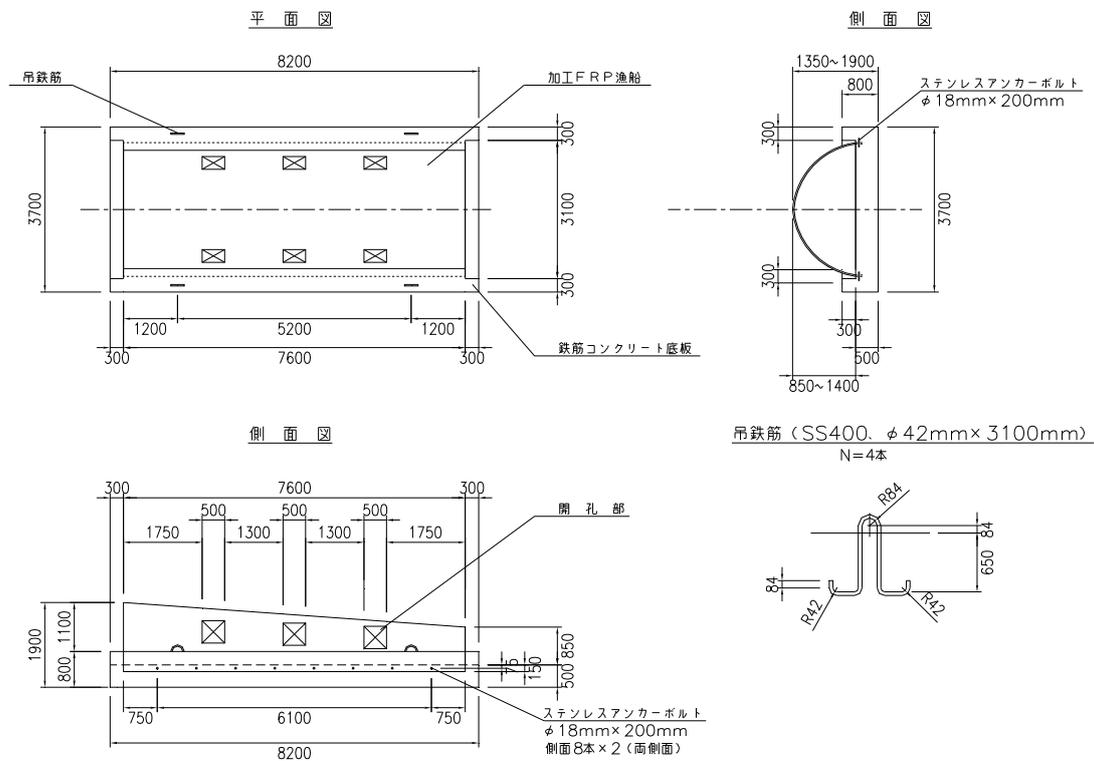


図-4.2 廃船FRP魚礁(幸洋丸)

5. 各工種の概要

5.1 準備工

施工にあたり、事前に製作ヤードの不陸、製作ヤード前の岸壁の状況等を調査し、問題の無い事を確認した。また、使用する FRP 漁船を漁業協同組合の立会いのもと確認し、漁協協同組合の了解を得た。

5.2 魚礁化準備工、運搬工

運搬に先立ち、FRP 漁船の甲板上を清掃した。また、船底に溜まっていた油を水中ポンプによりドラム缶に抜き取った。FRP 漁船はラフタクレーン(25t 吊)により、置場から岸壁に転置し、起重機船(160t 吊)に積込み、製作ヤードまで海上運搬した。

FRP 漁船の転置状況を写真-5.1 に、海上運搬状況を写真-5.2 に、製作ヤードへの陸揚げ状況を写真-5.3 に示す。



写真-5.1 FRP 漁船転置状況写真



写真-5.2 FRP 漁船海上運搬状況



写真-5.3 FRP 漁船の製作ヤード陸揚げ状況

5.3 魚礁化工

(1) 魚礁化準備工

FRP 漁船の使用にあたり、漁船内部や甲板等の表面に付着していた油や汚れを洗浄した。油処理剤を船舶に散布し、ブラシ等で汚れを落とし、ウェスにより拭き取りを行った。写真-5.4、5.5に洗浄状況を示す。



写真-5.4 洗浄状況(油処理剤散布)



写真-5.5 洗浄状況

(2) 魚礁化安定工

FRP 漁船のキャビン、船首、船尾等を、電動鋸等により切断して除去した。また、コンクリート底板と一体化させるためのアンカーボルト(SUS304、φ18mm×L200mm)用の孔を電動ドリルにより削孔し、アンカーボルトを設置した(8箇所/1側面×2側面)。切断状況を写真-5.6、5.7に、設置したアンカーボルトの状況を写真-5.8に示す。



写真-5.6 切断状況(キャビン)



写真-5.7 切断状況(船首)



写真-5.8 アンカーボルト(SUS304、φ18mm×L200mm、8箇所/1側面×2側面)

(3) 魚礁用開口部設置工

FRP 漁船の側面をディスクグラインダーにより切断し、開口部(50cm×50cm、3か所/1側面×2側面)を設けた。開口部の切断状況を写真-5.9に示す。



写真-5.9 開口部の切断状況

(4) FRP 漁船(一体式)魚礁工

加工したFRP 漁船は、コンクリート底板のコンクリート打設時に設置し、コンクリート底板と一体化させた。

コンクリート底板の製作に先立ち、バックホウ(0.7m³、クレーン仕様)により、ヤードの不陸整正を行った。また、敷砂および合板を敷設し、さらにアスファルトルーフィングを敷設した。アスファルトルーフィング敷設状況を写真-5.10 に示す。

コンクリート底板の鉄筋の加工(切断および曲げ)は工場で行い、製作ヤードに搬入した。鉄筋組立は、函台上に鉄筋(SD295A、D16)を配し、鉄筋の交差する箇所を結束線により緊結した。鉄筋組立状況を写真-5.11 に示す。

鉄筋組立の完了後、直ちに型枠(木製)の組立を行った。型枠内部にはセパレーターを通し、外周部には角型鋼管を配して、型枠を固定した。型枠組立状況写真を写真-5.12 に示す。

型枠組立完了後に、バックホウ(0.7m³、クレーン仕様)により吊鉄筋(SS400、φ42mm×L3200mm)を型枠内の4箇所配置した。写真-5.13 に吊鉄筋の配置状況を示す。



写真-5.10 アスファルトルーフィング敷設状況



写真-5.11 鉄筋組立状況



写真-5.12 型枠組立状況

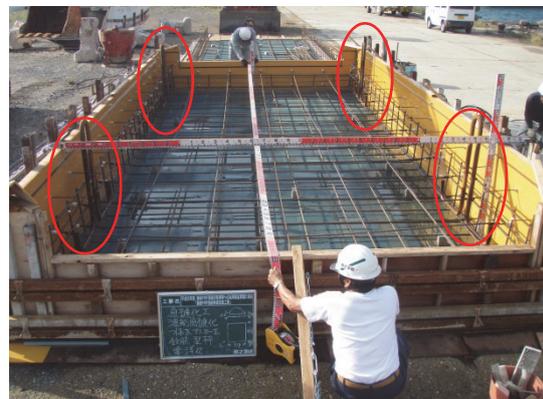


写真-5.13 吊鉄筋配置状況

型枠組立完了後に、コンクリート(24-8-20BB)の打設を行った。打設はラフタクレーン(25t吊)とコンクリートバケットを使用し、高周波バイブレータでコンクリートの締固めを行った。また、底板コンクリートの天端面は、金ゴテにより均した。写真-5.14にコンクリート打設状況を示す。

コンクリート底板の天端面を均した直後に、FRP 漁船をラフタクレーン(25t 吊)によりコンクリート底板に設置して埋め込み、さらにコンクリート底板の側壁部の打設を行い、コンクリート底板と FRP 漁船を一体化させた。写真-5.15 に FRP 漁船の設置状況、写真-5.16 に FRP 漁船の埋込み状況を示す。

底板コンクリート打設完了後に、脱型を行い、養生材(ポールケア W、竹本油脂株式会社)を底板コンクリート表面に散布し、被膜養生を行った。写真-5.17 に養生材散布状況を示す。



写真-5.14 コンクリート打設状況



写真-5.15 FRP 漁船設置状況



写真-5.16 FRP 漁船の埋め込み状況



写真-5.17 コンクリート養生材の散布状況

5.4 運搬沈設工

沈設に先立ち、沈設場所を目印ブイを設置した。起重機船(160t 吊)により FRP 沈船魚礁(2基)を自船に積込し、沈設場所まで海上運搬し、GPS にて沈設場所の座標を確認しながら沈設を行った。また、沈設完了直後にダイバーの目視により、FRP 沈船魚礁の状況を確認した。

写真-5.18 に目印ブイの設置状況、写真-5.19 に積込状況、写真-5.20 に沈設状況、写真-5.21 に沈設直後の FRP 沈船魚礁を示す。



写真-5.18 目印ブイ設置状況



写真-5.19 FRP 沈船魚礁の積込状況



写真-5.20 沈設状況



写真-5.21 沈設直後の FRP 沈船魚礁

5.5 廃棄物処理工

FRP 漁船置場で FRP 漁船の船底から抜き取った油、甲板上の不要資材等、および製作ヤードで FRP 漁船の洗浄と切断加工により生じた FRP 漁船の不要部材、油を拭き取ったウェス等は廃棄物として、長崎県五島市上大津町の間処理施設へ搬出した。

写真-5.22、写真-5.23 に油抜き取り状況、写真-5.24 に不要資材の搬出状況、写真-5.25 に産業廃棄物の中間処理施設への搬入状況を示す。



写真-5.22 油抜き取り状況



写真-5.23 油抜き取り状況



写真-5.24 不要資材等の搬出状況



写真-5.25 産業廃棄物の中間処理施設搬入状況

Ⅱ 事例 2 : 60t 船

1. 工事概要

本工事は 60t の FRP 漁船を有効活用した FRP 沈船魚礁の製作、沈設を行ったものである。

図-1.1 に施工フローを示す。

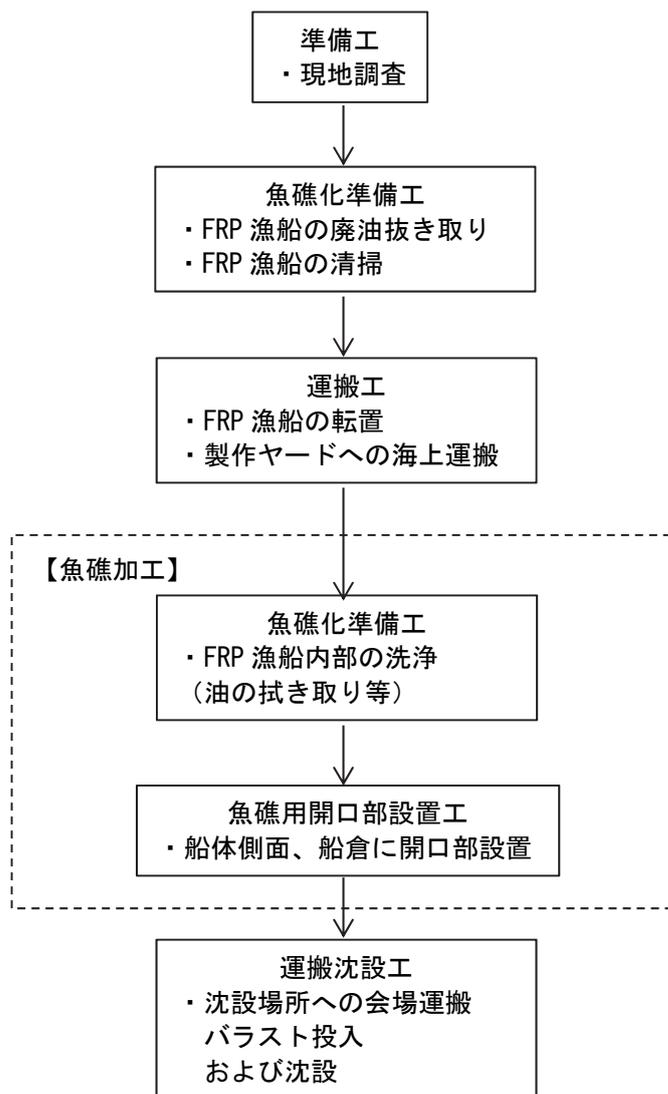


図-1.1 施工フロー

2. 工事場所

FRP 漁船(順風丸)の置場は、長崎県五島市奈留町船廻漁港であり、FRP 沈船魚礁の製作ヤードは同町南部の相浦港に設けた。FRP 沈船魚礁は奈留島の北にある葛島海域に沈設した。FRP 漁船置場、製作ヤード場所、および沈設位置を図-2.1 に示す。

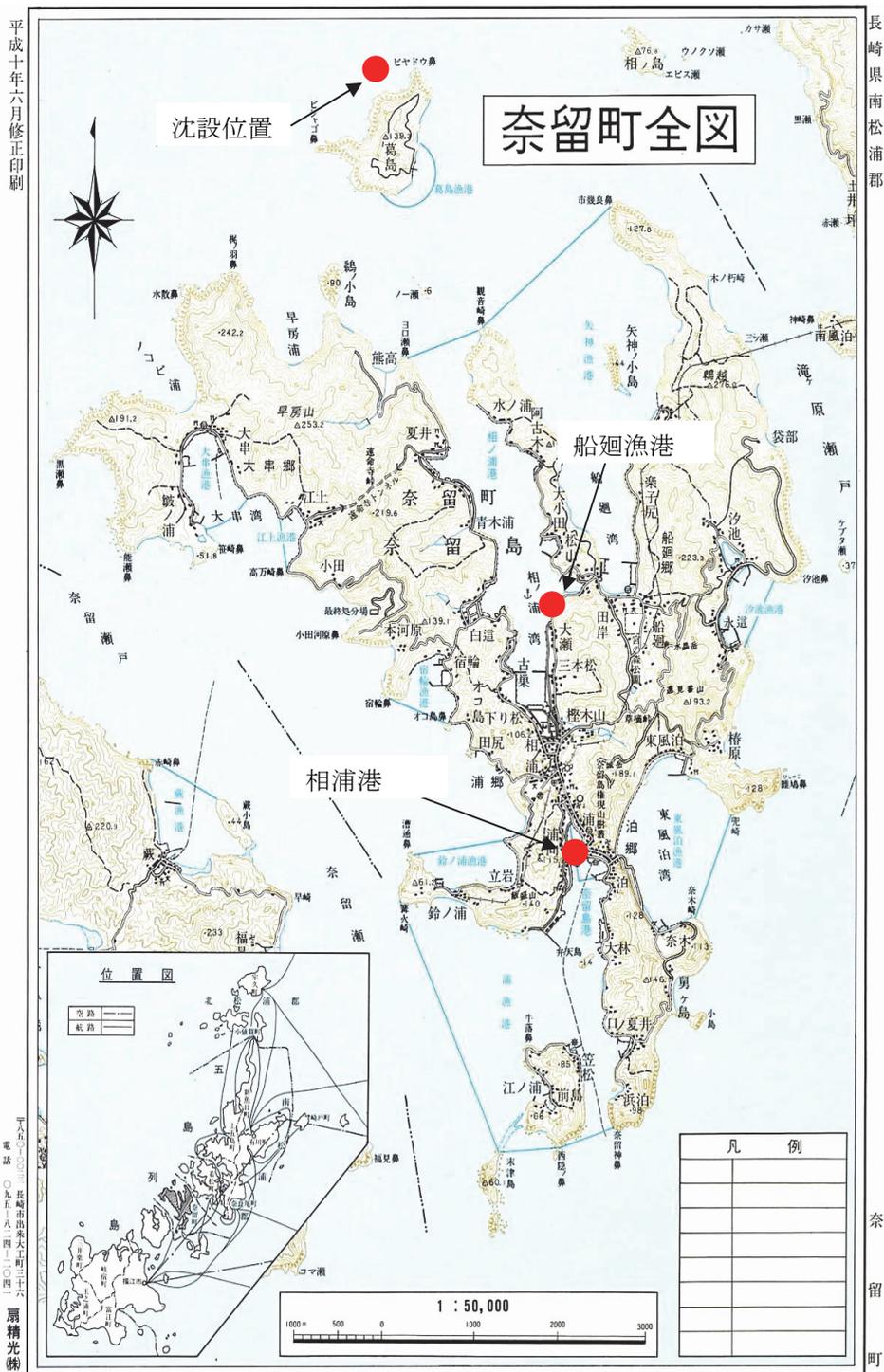


図-2.1 工事場所

3. 実施工程

準備工から沈設までの工事期間は、平成 24 年 11 月 22 日～平成 24 年 1 月 14 日である。
実施工程表を表-3.1 に示す。

4. 使用 FRP 漁船および FRP 沈船魚礁

工事に使用した FRP 漁船 2 隻(第二南海丸、幸洋丸)の写真を写真-4.1 に示す。FRP 漁船の油分除去、付属物除去、側面・船倉の切明、架台の設置等を実施して FRP 沈船魚礁を製作した。完成写真を写真-4.2 に、サイズと加工の概要を図-4.1 に示す。



写真-4.1 使用 FRP 漁船(順風丸、写真右側)



写真-4.2 FRP 沈船魚礁(順風丸)

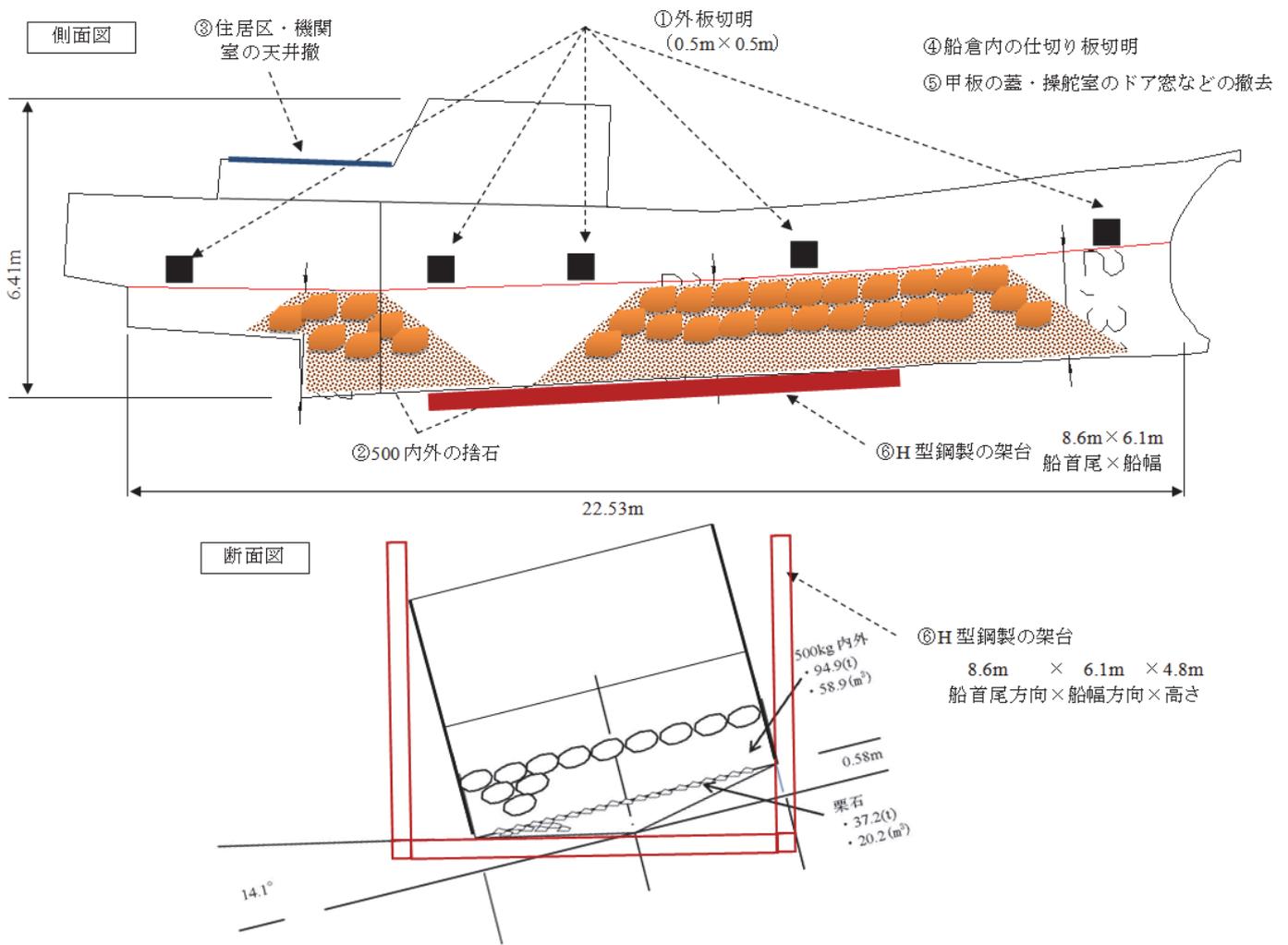


図-4.1 魚礁化加工の概要

5. 各工種の概要

5.1 準備工

施工にあたり、事前に製作ヤードの不陸、製作ヤード前の岸壁の状況等を調査し、問題の無い事を確認した。また、使用する FRP 漁船を漁業協同組合の立会いのもと確認し、漁協協同組合の了解を得た。

5.2 魚礁化準備工、運搬工

運搬に先立ち、FRP 漁船の甲板上を清掃し、マスト、ブーム等の突出物を撤去した。その上で FRP 漁船は相浦港まで曳航し、起重機船のクレーン(150t 吊)により、製作ヤードに陸揚げした。なお、吊上げ時には補強の架台を用いた。

FRP 漁船の装備撤去状況を写真-5.1 に、製作ヤードへの陸揚げ状況を写真-5.2 に示す。



写真-5.1 FRP 漁船装備撤去状況



写真-5.2 FRP 漁船の製作ヤード陸揚げ状況

5.3 魚礁加工

(1) 魚礁化準備工

FRP 漁船の使用にあたり、装備を撤去した。また、漁船内部や甲板等の表面に付着していた油や汚れを洗浄した。油処理剤を船舶に散布し、ブラシ等で汚れを落とし、ウェスにより拭き取りを行った。写真-5.3～4 に撤去した装備を写真-5.5～6 に洗浄状況を示す。

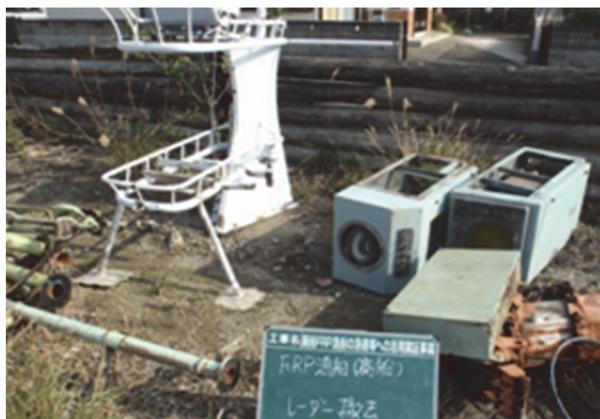


写真-5.3 レーダー撤去



写真-5.4 配電盤撤去



写真-5.5 洗浄状況(油処理剤散布)



写真-5.6 洗浄状況

(2) 魚礁用開口部設置工

FRP 漁船の側面をディスクグラインダーにより切断し、開口部(50cm×50cm、5か所/1側面×2側面、船倉10か所)を設けた。切明けた開口部を写真-5.7～8に示す。



写真-5.7 切明けた開口部(船倉)



写真-5.7 切明けた開口部(船倉)

5.4 運搬沈設工

沈設に先立ち、沈設場所目印ブイを設置した。曳き船で沈設地点まで曳航した後、バックホウで台船からバラストを投入した後、海水を注入して沈設した。また、沈設完了直後にダイバーの目視により、FRP 沈船魚礁の状況を確認した。

写真-5.8に目印ブイの設置状況、写真-5.9に曳航状況、写真-5.10にバラスト投入状況、写真-5.11に海水注入状況、写真-5.12に沈設直後のFRP 沈船魚礁を示す。



写真-5.8 目印ブイ設置状況



写真-5.9 FRP 沈船魚礁の曳航状況



写真-5.10 バラスト投入状況



写真-5.11 海水注入状況



写真-5.12 沈設直後の FRP 沈船魚礁

5.5 廃棄物処理工

FRP 漁船置場で FRP 漁船の船底から抜き取った油、甲板上の不要資材等、および製作ヤードで FRP 漁船の洗浄と切断加工により生じた FRP 漁船の不要部材、油を拭き取ったウェス等は廃棄物として、長崎県五島市上大津町の間処理施設へ搬出した。

写真-5.13 に油抜き取り状況、写真-5.14 に抜取ドラム缶搬出状況、写真-5.15 に不要資材の集積状況、写真-5.16 に産業廃棄物の搬出状況を示す。



写真-5.13 油抜き取り状況



写真-5.14 抜取ドラム缶搬出状況



写真-5.15 不要資材等の集積状況



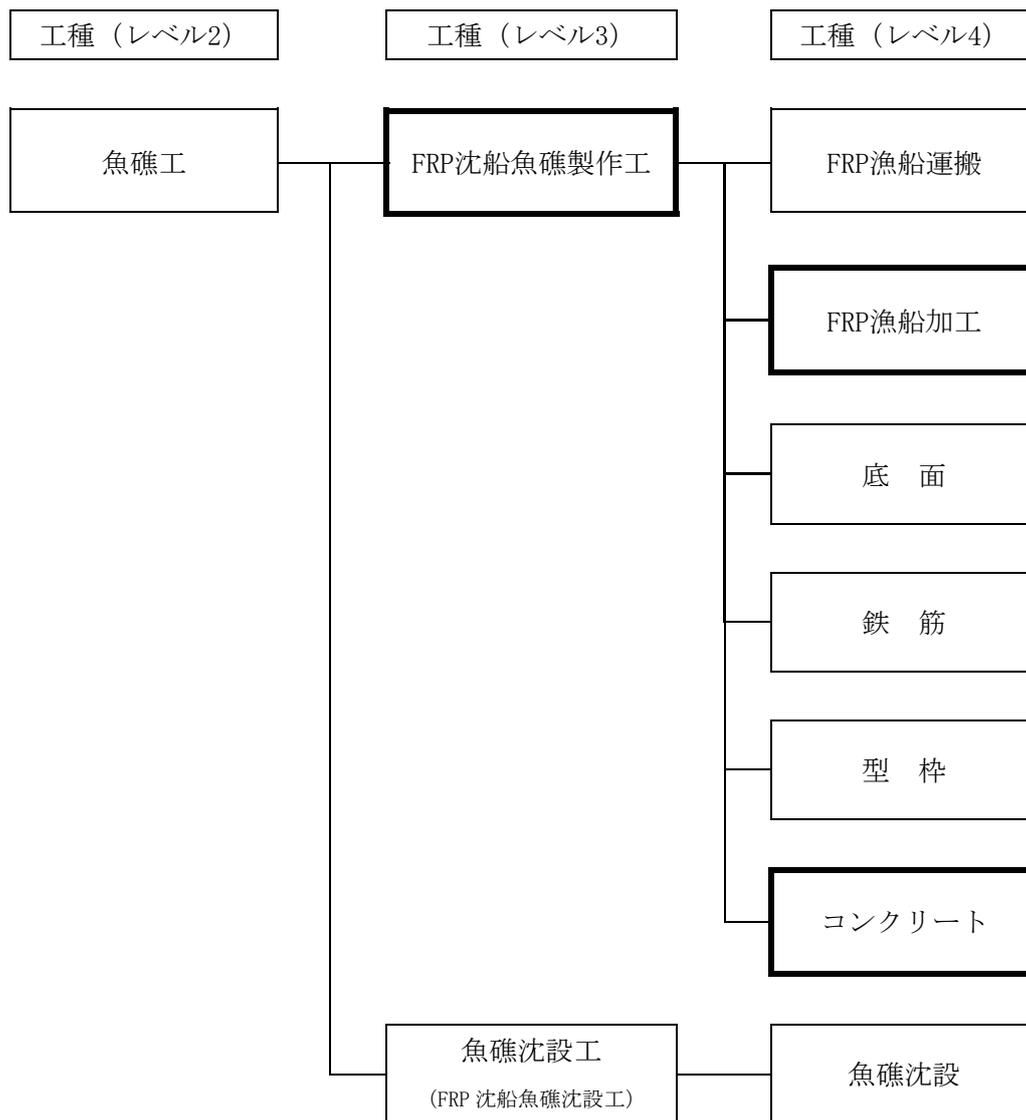
写真-5.16 産業廃棄物の搬出状況

資料編-2 工事歩掛

1. 適用範囲

本項は、FRP 沈船魚礁の製作、運搬・沈設する工事の施工に適用する。

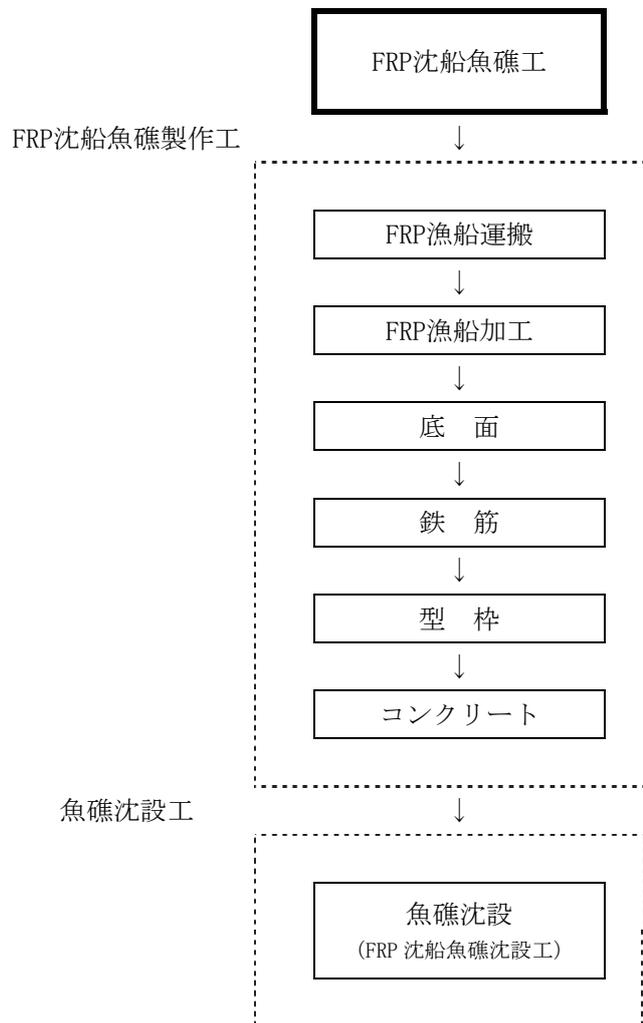
2. 積算ツリー



■ 本節を適用する施工歩掛

□ 他節を適用する施工歩掛

3. 積算フロー



4. 標準的な積算手順

FRP沈船魚礁製作工

FRP漁船運搬
「16節 魚礁工、4. 魚礁沈設工」参照



クレーン規格の選定

→ ・クレーンの機種・規格



FRP漁船加工

底 面

鉄 筋

型 枠

コンクリート

→ ・FRP漁船加工代価表

→ ・ルーフィング敷設代価表

→ ・鉄筋荷卸し代価表
・鉄筋加工組立代価表
・吊鉄筋組立代価表

→ ・鋼製型枠組立組外代価表

→ ・コンクリート打設代価表

魚礁沈設工



(FRP沈船魚礁沈設)
「16節 魚礁工、4. 魚礁沈設工」参照

5. 数量計算等

5-1 集計数位

種別 (レベル3)	細別(レベル4)	内 容	単位	数 位	摘 要
FRP沈船魚礁 製作工	底 面	ルーフィング面積	m ²	1位止めを原 則とする	四捨五入
	鉄 筋	鉄 筋 質 量	kg		
		吊り鉄筋本数	本		
		吊り鉄筋質量	kg		
	型 枠	型 枠 面 積	m ²		
コンクリート	コンクリート量	m ³			

5-2 材料割増率

種別 (レベル3)	細別(レベル4)	内 容	割増率 (%)	摘 要
FRP沈船魚礁 製作工	鉄 筋	鉄筋 (異形棒鋼)	2	
	コンクリート	コンクリート	1	

5-3 数量計算の非控除

種別 (レベル3)	細別(レベル4)	内 容	控除しないもの	摘 要
FRP沈船魚礁 製作工	コンクリート	コンクリート	鋼材(ボルト、鉄筋、鉄線等)、面取ボルト孔、吊鉄筋個所凹部	

5-4 型枠材料区分

種別 (レベル3)	内 容	使用箇所	材料区分	摘 要
FRP沈船魚礁 製作工	FRP沈船魚礁	側面・ほぞ	鋼製型枠	
		吊鉄筋箇所	〃	
		底面	ルーフィングまたは鋼製型枠	現場条件を考慮して決定

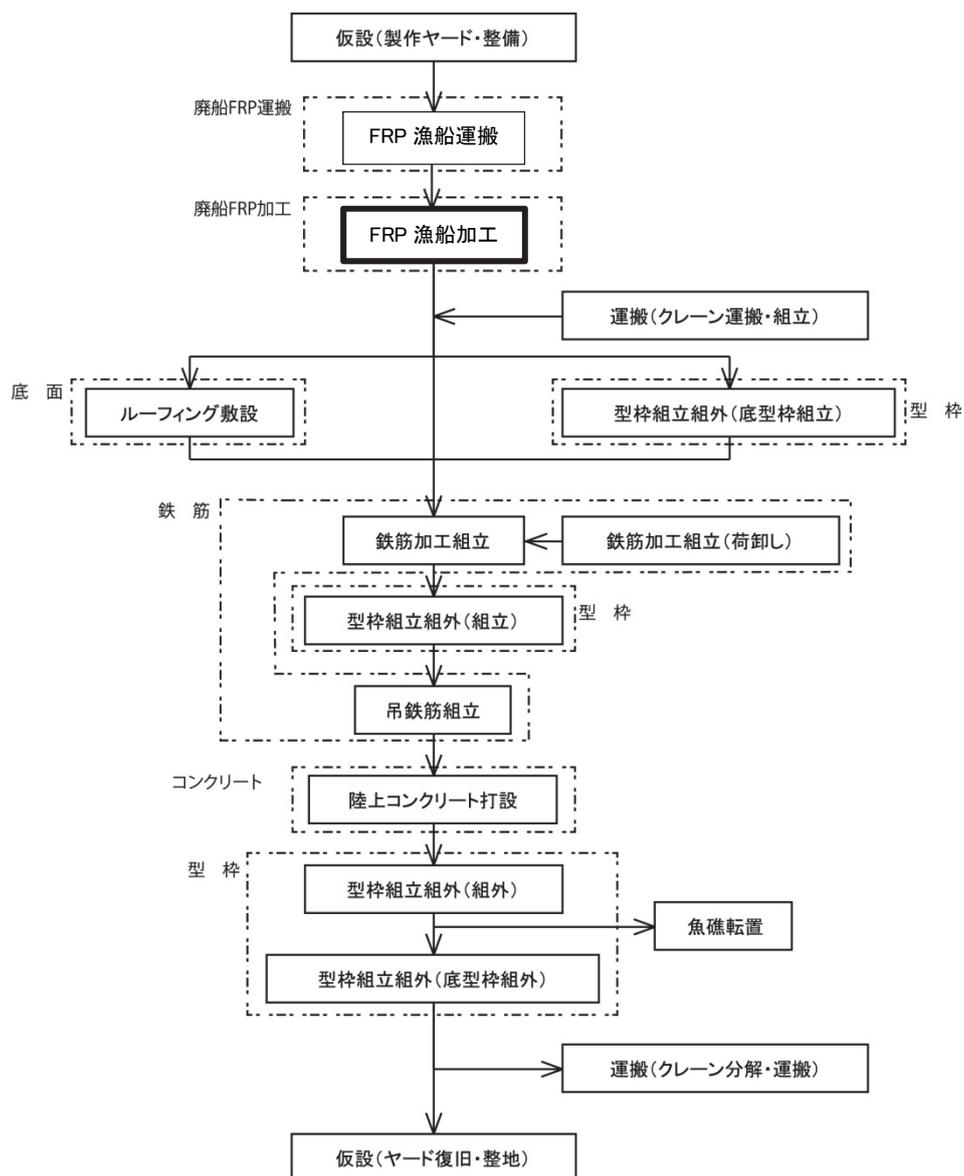
6. FRP沈船魚礁製作工

6-1 適用範囲

本項は、FRP沈船魚礁の製作工事に適用する。

6-2 施工フロー

本項は、FRP沈船魚礁の製作工事に適用する。



6-3 クレーン規格の選定

6-3-1 機種規格の選定

クレーンの規格は、対象物(型枠等)の質量、アウトリーチ等の現場条件を考慮し、「第2章 工事費の積算、1節 直接工事費、付属資料-1 作業船等、1. 起重機船、クレーン等の規格と性能」により選定する。

1) 底板と FRP 漁船の一体化の場合

(1) 対象物：加工済み FRP 漁船

(2) クレーンの最低規格

- ・ラフテレーンクレーン：20t 吊
- ・クローラクレーン：35t 吊

6-4 FRP漁船運搬

「16節 魚礁工、4. 魚礁沈設工」を適用する。

6-5 FRP漁船加工

FRP漁船の切断、加工に係わるものは、見積もりによる。

1) 代価表

(1) FRP漁船加工 1式当り

名称	形状寸法	単位	数量	摘要
FRP 漁船加工		式	1	見積もりによる

6-6 底面

「4節 本體工、4. 2 ブロック式、2. 本體ブロック製作工」を適用する。

6-5 鉄筋

「4節 本體工、4. 2 ブロック式、2. 本體ブロック製作工」を適用する。

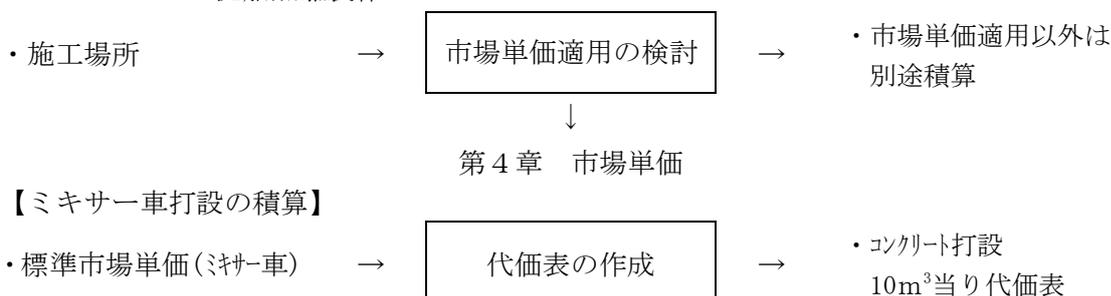
6-6 型枠

「4節 本體工、4. 2 ブロック式、2. 本體ブロック製作工」を適用する。

6-7 コンクリート

6-7-1 代価表作成手順

FRP沈船魚礁製作工



6-7-2 施工方法の選定

コンクリート打設の方法は、ミキサー車の方法を標準とする。なお、現場条件により、直接打設が困難な場合は、別途考慮する。

6-7-3 施工歩掛

1) 市場単価の算定

・市場単価＝標準市場単価

2) 代価表

(1) コンクリート打設 10m³当り

名 称	形状寸法	単 位	数量		摘 要
			陸上クレーン	貸与クレーン	
レディミストコンクリート		m ³	10.1		割増含む
コンクリート打設	ミキサー車	〃	10		市場単価
ラフテレーンクレーン または クローラークレーン	(油) t 吊	m ³	0.2	—	標準運転時間
貸与クレーン運転	t 吊		—	0.2	

注) 1. クレーンの機種・規格は、「本節 6-3 クレーン規格の選定」による。

2. 貸与クレーンの運転費は、必要費用を計上する。

7. 魚礁沈設工 (FRP沈船魚礁沈設工)

「16節 魚礁工、4. 魚礁沈設工」を適用する。

資料編-3 利用・維持管理

1. 管理の概要

造成された FRP 沈船魚礁漁場は、事業の目的に即して常に適切に管理されなければならない。

(1) 背景

FRP 沈船魚礁はコンクリート魚礁や鋼製魚礁と比して適用実績に乏しい。しかし、魚礁としての効果持続を期待すると共に普及を促進するならば、適正な管理は不可欠と考えられる。ここでは、「水産物供給基盤整備事業等実施要領の運用について(平成 13 年 3 月 30 日、12 水港第 4541 号知事あて水産庁長官通知)」、「沿岸漁場整備開発事業 人工魚礁漁場造成計画指針平成 12 年版(社団法人全国沿岸漁業振興開発協会)」に準拠して管理の内容を示す。

(2) 管理の目的・基本方針

造成された FRP 沈船魚礁の生産性を長期にわたって維持していくためには、これを適切かつ計画的に利用しつつ適切に維持・管理することが不可欠である。また、造成された魚礁については適切な管理主体の設定、管理規定の整備、利用状況及び設置状況の把握等の管理が必要である。施設の機能が網掛り等により低下している場合には管理主体が機能回復のための措置を行うが、管理主体単独での実施が困難な場合には補助事業を適用して機能の回復を行うことも検討する。

(3) 管理主体

FRP 沈船魚礁の管理は、「水産物供給基盤整備事業等実施要領(平成 13 年 3 月 30 日、12 水港第 4457 号知事あて農林水産事務次官通知)」第 4 の 1 の規定に基づき作成する事業基本計画によって確定した事業主体がこれを行う。ただし、事業主体が直接管理を行い難い場合は、その管理を事業主体以外の地方公共団体又は当該施設により直接受益する漁業協同組合等、同連合会、若しくはこれが組織する団体に委託して行うことができる。

(4) 管理規定

管理主体は、管理規定や委託管理契約書に基づいて管理を行う。管理規定等には詳細な管理内容を記載していない場合が多いため、管理を委託する管理主体にあつては、委託先に対して管理要領等により具体的な管理の内容を示す。管理を委託された漁協等では管理主体と協議して具体的な管理計画を作成し、管理する。なお、管理委託の場合、管理費用は受益者負担の原則により委託された漁協等で負担することが一般的である。

2. 漁場利用管理

FRP 沈船魚礁漁場の利用に当っては、安定・継続的な漁獲を図るため、漁業種類間、漁協等の地域組織間や漁業・遊漁間等で必要に応じて FRP 魚礁漁場の特徴にあった各種の取り決めを行う。

(1) 魚礁漁場に適した漁法の改善と制限

FRP 廃船魚礁漁場の位置・形状等を周知する。その上で必要に応じて、小型魚の採捕、網掛り、撒き餌、漁具による施設の破損と移動等による漁業資源への影響や魚礁機能の低下を防止するため、魚礁漁場に適した漁法に改善することも検討する。漁法の改善、漁法の制限には次のような方法がある。

- ①釣る漁業等の撒き餌の禁止・制限
- ②釣る漁業等の錨止め操業の禁止・制限
- ③漁獲体長や、網の目合いの制限
- ④網掛り、魚礁の逸散、過剰漁獲を起こしやすい漁具・漁法の利用制限

(2) 漁業種類間の利用調整

基本的には一本釣りのみか、網掛りしないよう十分離れた海域での刺網・小型底曳き等の利用が望ましい。その上で、必要に応じて漁業種類ごとに利用する場所を区分(空間的区分)したり、操業期間、操業時間を区分(時間的区分)する等によって、秩序ある利用を図る。

(3) 地域間の利用調整

必要に応じて地域間の利用調整を行う。

3. 施設維持管理

FRP 沈船魚礁は施設の構造上網掛り等が発生しやすいため、継続的にその効果を発揮させるには、状況を常に観察し、何らかの不具合があった場合には迅速に対処することが必要である。

(1) 状況観察の方法

利用漁業者による日常的な魚探探査とその報告を基本とする。魚探探査で移動等が疑われる場合には、水中カメラやダイバー潜水等で状況を確認することが望ましい。

(2) 維持管理の方法

FRP 沈船魚礁特有の維持管理としては網掛りが考えられる。ダイバー潜水による切断、クレーン引き上げ後水上での除去、鉤付きロッドによる切断、カッター付 ROV による切断が挙げられる。費用、水深、確実性等を勘案して手法を決定する。

資料編-4 安定・構造計算例

I 事例 1 : 5t 船

I-1 沈船の安定計算例

I-2 構造検討例

II 事例 2 : 60t 船

II-1 沈船の安定計算例

II-2 石材の安定計算例

I 事例 1 : 5t 船

I-1FRP 沈船魚礁の安定計算例

1. はじめに

本設計では FRP 漁船に重錘としてコンクリート底板を取り付けた FRP 沈船魚礁 2 隻の安定計算を行った。計算手法は、「漁港・漁場の施設の設計の手引き (2003 年版)」および「FRP 漁船沈船魚礁処理活用ガイドライン (平成 3 年 3 月)」に準拠した。

2. 設計条件

2.1 設計条件

- ・ 設置水深 : $h=30\text{m}$
- ・ 潮位 : H. W. L. +3. 10m、L. W. L. -0. 20m
- ・ 底質 : 砂 (摩擦係数 $\mu=0. 6$)
- ・ 斜面勾配 : 1/68
- ・ 設計波 : 表-2. 1 参照

表-2. 1 設計波の諸元

波高 H(m)	6. 26
周期 T(s)	11. 60
波長 L(m)H. W. L.	174. 46
波長 L(m)L. W. L.	168. 73

- ・ 海面流速 : $U_H=0. 514 \text{ m/s}$

設計流速 $U(\text{m/s})$ は下式で求める。

$$U=K \cdot U_H (nD/h)^{1/7}$$

ここに、

- K : 流速算定係数 (最大は主流方向で 1. 6)
- H : 設置水深 (m)
- D : 魚礁の海底からの高さ
- n : 魚礁の積段数
- U_H : 海面流速

である。

各値は、 $h=30\text{m}$ 、 $n=1$ 、 $U_H=0. 514\text{m/s}$ 、H. W. L. =+3. 1、L. W. L. =-0. 2 である。また、今回は 2 種類の FRP 沈船魚礁を用い、それぞれの最大高さは $D=1. 55\text{m}$ 、 $1. 90\text{m}$ である。

1) FRP沈船魚礁(1)

●H. W. L.

$$\begin{aligned}U &= K \cdot U_H (nD/h)^{1/7} \\ &= 1.6 \times 0.514 \times (1 \times 1.55 / 33.1)^{1/7} \\ &= 1.6 \times 0.514 \times 0.0468^{1/7} \\ &= 0.53\text{m/s}\end{aligned}$$

●L. W. L.

$$\begin{aligned}U &= K \cdot U_H (nD/h)^{1/7} \\ &= 1.6 \times 0.514 \times (1 \times 1.55 / 29.8)^{1/7} \\ &= 1.6 \times 0.514 \times 0.0520^{1/7} \\ &= 0.54\text{m/s}\end{aligned}$$

2) FRP沈船魚礁(2)

●H. W. L.

$$\begin{aligned}U &= K \cdot U_H (nD/h)^{1/7} \\ &= 1.6 \times 0.514 \times (1 \times 1.90 / 33.1)^{1/7} \\ &= 1.6 \times 0.514 \times 0.0574^{1/7} \\ &= 0.55\text{m/s}\end{aligned}$$

●L. W. L.

$$\begin{aligned}U &= K \cdot U_H (nD/h)^{1/7} \\ &= 1.6 \times 0.514 \times (1 \times 1.90 / 29.8)^{1/7} \\ &= 1.6 \times 0.514 \times 0.0638^{1/7} \\ &= 0.56\text{m/s}\end{aligned}$$

3) 各FRP沈船魚礁の設計流速

1)、2)の計算結果から2種類のFRP沈船魚礁の設計流速はL. W. L. の流速を採用した。設計流速を表-2.2に示す。

表-2.2 設計流速

FRP沈船魚礁種別	設計流速 U(m/s)
FRP沈船魚礁(1)	0.54
FRP沈船魚礁(2)	0.56

2.2 使用FRP漁船の諸元

使用するFRP漁船の諸元を表-2.3に、概略図を図-2.1~2に示す。FRP漁船は船首と船尾の両端を切断し、残った中央部を使用した。船底を上側に向け、鉄筋コンクリート底板を付加し魚礁として使用した。コンクリート底板厚さは吊り下げ時の耐久性を考慮しつつ安全を見込んで0.5mとした。

表-2.3 切断加工後の使用FRP漁船の諸元

名称	切断加工後 漁船長さ Lpp(m)	切断加工後 漁船幅 B(m)	切断加工後 漁船の高さ (底板への埋 込長0.15m含) D(m)	切断加工後 船殻質量※ Ws(t)
FRP 廃船魚礁(1)	7.6	2.8	1.10~1.20	1.35
FRP 廃船魚礁(2)	7.6	3.0	1.00~1.55	1.45

※切断加工後の船殻質量は、製作時に陸上クレーンの荷重計により確認

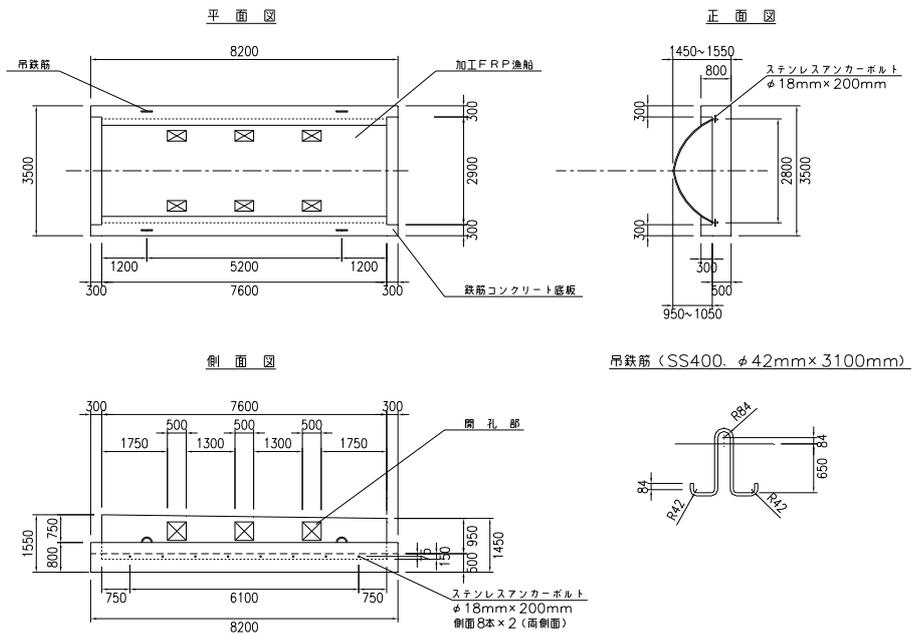


図-2.1 FRP 沈船魚礁(1)の概略図

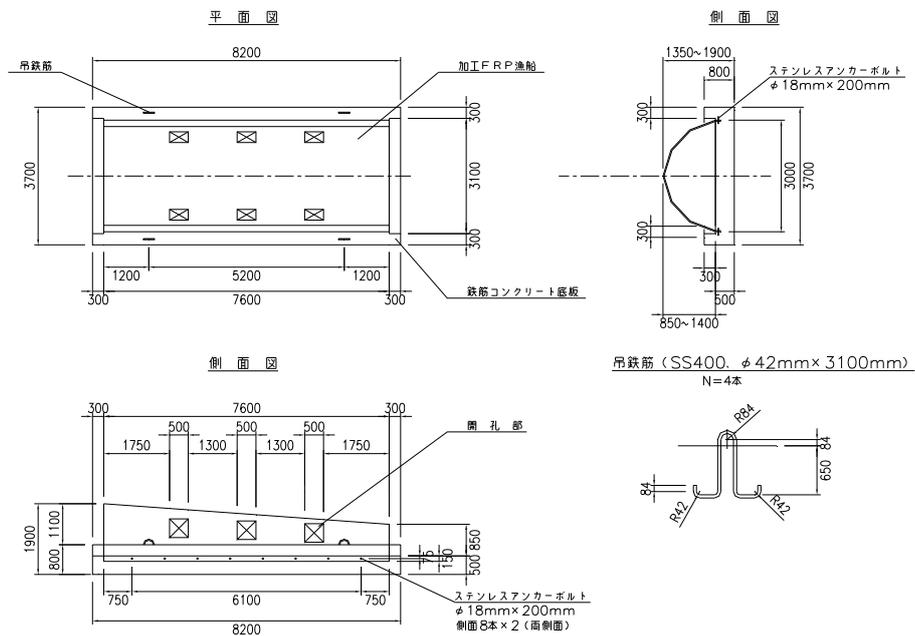


図-2.2 FRP 沈船魚礁(2)の概略図

3. FRP 沈船魚礁の安定検討

ここでは、設計波による水粒子速度と設計流速を合わせた流体力に対する、FRP 沈船魚礁の滑動と転倒の安定性を検討した。

3.1 流体力

流体力 F (kN) の算定は次式により計算する。

$$F = C_o \cdot (A + A_c) \cdot w_o \cdot (U + U_m)^2 / 2g$$

ここに、

- A : 漁船部分の流れる方向の投影面積 (m^2)
- A_c : コンクリート底板部分の流れる方向の投影面積 (m^2)
- C_o : 抗力係数 (2.0)
- w_o : 海水の単位体積重量 (10.1 kN/ m^3)
- g : 重力加速度 (9.8 m/s^2)
- U : 設置場所の設計潮流速 (m/s)
- U_m : 設置場所の設計波による水粒子速度 (m/s)

である。

設置場所の設計波による水粒子速度 U_m (m/s) は次式により計算する。なお、水深は H. W. L. (D. L. +3.1m)、L. W. L. (D. L. -0.2m) の両者を対象とし、安全側の流速を設計流速として採用する。

$$U_m = \frac{\pi H \cosh(2\pi D_f/L)}{T \sinh(2\pi h/L)}$$

ここに、

- H : 設計波の波高 (m)
- T : 設計波の周期 (s)
- h : 設置場所の水深
- L : 設置場所における設計波の波長
- D_f : FRP 沈船魚礁の高さ

である。

H. W. L. と L. W. L. 時の H 、 T 、 h 、 L 、の各値と 2 種類の FRP 沈船魚礁の高さ D_f 、および水粒子速度 U_m の計算結果を表-3.1 に示す。表から、水粒子速度は安全側の L. W. L. での 1.26 m/s とする。

表-3.1 潮位 H.W.L. および L.W.L. での、設置水深 h、魚礁の高さ Df、
設計波の波高 H、周期 T、波長 L、水粒子速度 Um

FRP沈船魚礁種別	潮位	h (m)	Df (m)	H (m)	T (s)	L (m)	Um (m/s)
FRP沈船魚礁(1)	H.W.L.	33.1	1.55	6.26	11.6	174.46	1.14
	L.W.L.	29.8	1.55	6.26	11.6	168.73	1.26
FRP沈船魚礁(2)	H.W.L.	33.1	1.90	6.26	11.6	174.46	1.14
	L.W.L.	29.8	1.90	6.26	11.6	168.73	1.26

(1)FRP沈船魚礁(1)の流体力の算定

$C_o=2.0$ 、 $A=5.70\text{m}^2$ (=長さ 7.6m×射影側面高さ 0.75m)、 $A_c=6.56\text{m}^2$ (=長さ 8.2m×射影側面高さ 0.8m)、 $w_o=10.1\text{kN/m}^3$ 、 $g=9.8\text{m/s}^2$ 、 $U=0.54\text{m/s}$ 、 $U_m=1.26\text{m/s}$ より、以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}
 F &= C_o \cdot (A + A_c) \cdot w_o \cdot (U + U_m)^2 / 2 \\
 &= 2.0 \times (5.70 + 6.56) \times 10.1 \times (0.54 + 1.26)^2 / (2 \times 9.8) \\
 &= 2.0 \times 12.26 \times 10.1 \times 1.80^2 / (2 \times 9.8) \\
 &= 40.9 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

(2)FRP沈船魚礁(2)の流体力の算定

$C_o=2.0$ 、 $A=8.36\text{m}^2$ (=長さ 7.6m×射影側面高さ 1.10m)、 $A_c=6.56\text{m}^2$ (=長さ 8.2m×射影側面高さ 0.8m)、 $w_o=10.1\text{kN/m}^3$ 、 $g=9.8\text{m/s}^2$ 、 $U=0.56\text{m/s}$ 、 $U_m=1.26\text{m/s}$ より、以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}
 F &= C_o \cdot (A + A_c) \cdot w_o \cdot (U + U_m)^2 / 2g \\
 &= 2.0 \times (8.36 + 6.56) \times 10.1 \times (0.56 + 1.26)^2 / (2 \times 9.8) \\
 &= 2.0 \times 14.92 \times 10.1 \times 1.82^2 / (2 \times 9.8) \\
 &= 50.9 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

表-3.2 設置位置(水深h=30m、L.W.L.-0.2m)での流体力

FRP沈船魚礁種別	流体力 F (kN)
FRP沈船魚礁(1)	40.9
FRP沈船魚礁(2)	50.9

3.2 安定検討(滑動と転倒)

(1) 滑動の検討

滑動に対する安定は次式で示される。

$$\frac{W\mu \cos \theta - F\mu \sin \theta}{W \sin \theta + F \cos \theta} \geq S_f$$

ここに、

- F : 流体力 (kN)
- μ : コンクリートと海底の摩擦係数 (0.6)
- S_f : 安全係数 (1.2)
- θ : 海底勾配の角度 ($=\tan^{-1}(1/68.0)=0.843^\circ$)

である。

W は鉄筋コンクリート底板重量 W_c と船殻重量 W_s を合わせた水中重量であり、次式で示される。

$$W = \frac{(\sigma_c - W_0)}{\sigma_c} \cdot W_c + \frac{(\sigma_s - W_0)}{\sigma_s} \cdot W_s$$

ここに、

- W_c : 鉄筋コンクリート底板質量 (kN)
- W_s : 船殻質量 (kN)、 $W_s = K_w \times L_{pp} \times B \times D \times g$ (kN) である。
- σ_c : 鉄筋コンクリートの単位体積重量 (24.0 kN/m³)
- σ_s : 船殻単位体積重量 (15.7 kN/m³、FRP 素材比重が約 1.6~1.8 で安全側の最低値 1.6 から求めた)
- W_0 : 海水の単位体積重量 (10.1 kN/m³)

である。

1) FRP 沈船魚礁(1)の滑動の検討

FRP 沈船魚礁(1)の底板の断面積 $A_c=1.93\text{m}^2$ 、長さ $L_c=8.20\text{m}$ であるから、コンクリート底板の気中重量 W_c は、

$$\begin{aligned} W_c &= A_c \times L_c \times \sigma_c = 1.93 \times 8.20 \times 24.0 \\ &= 379.824 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

である。また、FRP 漁船の船殻質量 $W_s=1.35\text{t}$ (製作時にクレーンの荷重計により確認)、

$g=9.8\text{m/s}^2$ であるから、

$$W_s=1.35 \times 9.8 = 13.23(\text{kN})$$

従って、FRP 沈船魚礁(1)の水中重量 W は、

$$\begin{aligned} W &= \frac{(\sigma_c - W_0)}{\sigma_c} \cdot W_c + \frac{(\sigma_s - W_0)}{\sigma_s} \cdot W_s \\ &= \frac{(24.0 - 10.1)}{24.0} \times 379.824 + \frac{(15.7 - 10.1)}{15.7} \times 13.23 \\ &= 219.981 + 4.719 \\ &= 224.700(\text{kN}) \end{aligned}$$

である。さらに、流体力 $F=40.9\text{kN}$ であるから、

$$\begin{aligned} \frac{W\mu \cos\theta - F\mu \sin\theta}{W \sin\theta + F \cos\theta} &= \frac{224.700 \times 0.6 \times 1.000 - 40.9 \times 0.6 \times 0.015}{224.700 \times 0.015 + 40.9 \times 1.000} \\ &= \frac{134.820 - 0.368}{3.371 + 40.900} \\ &= 3.03 > S_f (=1.2) \end{aligned}$$

となり、FRP 沈船魚礁(1)は滑動に対して安定となる。

2) FRP 沈船魚礁(2)の滑動の検討

FRP 沈船魚礁(2)のコンクリート底板の断面積 $A_c=2.03\text{m}^2$ 、長さ $L_c=8.20\text{m}$ であるから、コンクリート底板の気中重量 W_c は、

$$\begin{aligned} W_c &= A_c \times L_c \times \sigma_c = 2.03 \times 8.20 \times 24.0 \\ &= 399.504 (\text{kN}) \end{aligned}$$

である。また、FRP 漁船の船殻質量 $W_s=1.45\text{t}$ (製作時にクレーンの荷重計により確認)、 $g=9.8\text{m/s}^2$ であるから、

$$W_s=1.45 \times 9.8 = 14.21(\text{kN})$$

従って、FRP 沈船魚礁(2)の水中重量 W は、

$$\begin{aligned}
W &= \frac{(\sigma_c - W_0)}{\sigma_c} \cdot W_c + \frac{(\sigma_s - W_0)}{\sigma_s} \cdot W_s \\
&= \frac{(24.0 - 10.1)}{24.0} \times 399.504 + \frac{(15.7 - 10.1)}{15.7} \times 14.21 \\
&= 231.379 + 5.068 \\
&= 236.477 \text{ (kN)}
\end{aligned}$$

である。さらに、流体力 $F=50.9\text{kN}$ であるから、

$$\begin{aligned}
\frac{W\mu\cos\theta - F\mu\sin\theta}{W\sin\theta + F\cos\theta} &= \frac{236.477 \times 0.6 \times 1.000 - 50.9 \times 0.6 \times 0.015}{236.477 \times 0.015 + 50.9 \times 1.000} \\
&= \frac{141.886 - 0.458}{3.547 + 50.900} \\
&= 2.60 > S_f (=1.2)
\end{aligned}$$

となる。従って、FRP 沈船魚礁(2)は滑動に対して安定である。

(2) 転倒の検討

転倒に対する安定は次式で示される。

$$\frac{W\cos\theta - F\sin\theta}{W\sin\theta + F\cos\theta} \cdot \frac{l_v}{l_a} \geq S_f$$

ここに、

- W : FRP 沈船魚礁の水中重量 (kN)
- F : 流体力 (kN)
- S_f : 安全係数 (1.2)
- θ : 海底勾配の角度 ($=\tan^{-1}(1/68.0)=0.843^\circ$)
- l_a : 流れに直角な鉛直面への魚礁の正射影面の重心までの高さ (m)
- l_v : 魚礁重心の底面への射影点から最も近い中心線までの距離 (m)

であり、 l_a 、 l_v はそれぞれ下式から求まる。

$$l_a = \frac{(l_{ac} \cdot W'_c + l_{as} \cdot W'_s)}{W} \quad , \quad l_v = \frac{(l_{vc} \cdot W'_c + l_{vs} \cdot W'_s)}{W}$$

- l_{ac} : 鉄筋コンクリート底板の流れに直角な鉛直面への魚礁の正射影面の重心までの高さ (m)

- l_{as} : FRP 漁船の流れに直角な鉛直面への魚礁の正射影面の重心までの高さ(m)
- l_{vc} : 鉄筋コンクリート底板の底面への射影点から最も近い中心線までの距離(m)
- l_{vs} : FRP 漁船の底面への射影点から最も近い中心線までの距離(m)
- W_c' : コンクリート底板の水中重量(kN)
- W_s' : FRP 漁船の水中重量(kN)
- W : FRP 沈船魚礁の水中重量(kN)

1) FRP 沈船魚礁(1)の転倒の検討

FRP 沈船魚礁(1)の $l_{ac}=0.29\text{m}$ 、 $l_{as}=1.55\text{m}$ 、 $l_{vc}=1.75\text{m}$ 、 $l_{vs}=1.40\text{m}$ であるから、 l_a 、 l_v は、

$$l_a = \frac{(l_{ac} \cdot W_c' + l_{as} \cdot W_s')}{W} = \frac{(0.29 \times 219.981 + 1.55 \times 4.719)}{224.700} = 0.316(m)$$

$$l_v = \frac{(l_{vc} \cdot W_c' + l_{vs} \cdot W_s')}{W} = \frac{(1.75 \times 219.981 + 1.40 \times 4.719)}{224.700} = 1.743(m)$$

である。

さらに、流体力 $F=40.9\text{kN}$ であるから、

$$\frac{W \cos \theta - F \sin \theta}{W \sin \theta + F \cos \theta} \cdot \frac{l_v}{l_a} = \frac{224.700 \times 1.000 - 40.9 \times 0.015}{224.700 \times 0.015 + 40.9 \times 1.000} \times \frac{1.743}{0.316}$$

$$= \frac{224.700 - 0.614}{3.371 + 40.900} \times \frac{1.743}{0.316}$$

$$= 27.92 > S_f (= 1.2)$$

となる。従って、FRP 沈船魚礁(1)は転倒に対して安定である。

2) FRP 沈船魚礁(2)の転倒の検討

FRP 沈船魚礁(2)の $l_{ac}=0.29\text{m}$ 、 $l_{as}=1.90\text{m}$ 、 $l_{vc}=1.85\text{m}$ 、 $l_{vs}=1.55\text{m}$ であるから、 l_a 、 l_v は、

$$l_a = \frac{(l_{ac} \cdot W_c' + l_{as} \cdot W_s')}{W} = \frac{(0.29 \times 231.379 + 1.90 \times 5.068)}{236.477} = 0.325(m)$$

$$l_v = \frac{(l_{vc} \cdot W_c' + l_{vs} \cdot W_s')}{W} = \frac{(1.85 \times 231.379 + 1.55 \times 5.068)}{236.477} = 1.844(m)$$

である。

さらに、流体力 $F=50.9\text{kN}$ であるから、

$$\begin{aligned} \frac{W \cos \theta - F \sin \theta}{W \sin \theta + F \cos \theta} \cdot \frac{l_v}{l_a} &= \frac{236.477 \times 1.000 - 50.9 \times 0.015}{236.477 \times 0.015 + 50.9 \times 1.000} \times \frac{1.844}{0.325} \\ &= \frac{236.477 - 0.764}{3.547 + 50.900} \times \frac{1.844}{0.325} \\ &= 24.56 > S_f (= 1.2) \end{aligned}$$

となる。従って、FRP 沈船魚礁(2)は転倒に対して安定である。

(3) 結論

FRP 沈船魚礁(1)と FRP 沈船魚礁(2)は、滑動と転倒に対して安定である。

I-2 構造検討例

1. はじめに

本設計は FRP 漁船に重錘としてコンクリート底板を取り付けた FRP 沈船魚礁の、FRP 漁船とコンクリート底板との接合部の耐力の検討を行う。

2. FRP 沈船魚礁の船体とコンクリート底板の接合部に作用する力

FRP 沈船魚礁に作用する外力は、流体力 F (kN) であり、FRP 沈船魚礁の頭頂部に作用するとする。FRP 沈船魚礁の断面回りのモーメントを考慮すれば、流体力 F (kN) に対して、接合部の耐力 F_t (kN) が大きければ安定である。図-2.1 に FRP 沈船魚礁の接合部に作用する流体力と接合部耐力の概念図を示す。

FRP 沈船魚礁の両端部の接合部のうち、片側の接合部 0 点回りのモーメントから次式が成立する。

$$F_t \cdot B \geq F \cdot d \Rightarrow F_t \geq F \cdot d/B$$

FRP 沈船魚礁 2 種類のうち、断面寸法が大きく、作用する流体力の大きい FRP 沈船魚礁 (2) については、 $F=50.9\text{kN}$ 、 $d=1.4\text{m}$ 、 $B=3.1\text{m}$ であるから

$$F_t \geq F \cdot d/B = 50.9 \times 1.4 / 3.1 = 22.99\text{kN}$$

となる。アンカーボルトは 8 か所で、各箇所が均等に外力を受け持つから、アンカーボルト 1 箇所あたりの耐力 f (kN) は、 $f = F_t / 8 \geq 22.99 / 8 = 2.87\text{kN}$ となる。

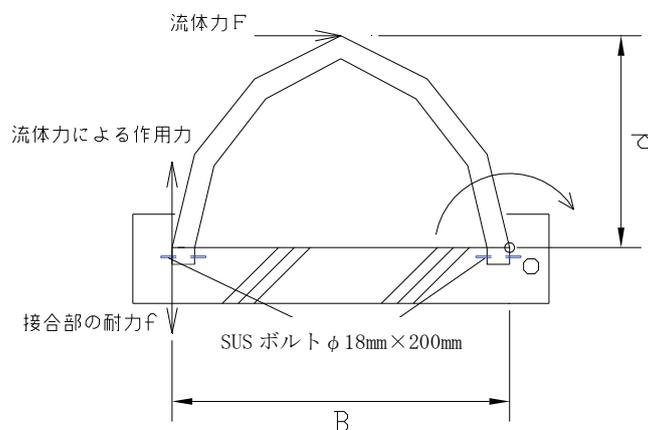


図-2.1 FRP 沈船魚礁の接合部に作用する流体力と接合部耐力の概念図

3. 接合部の破壊について検討するケース

コンクリート底板と FRP 漁船の接合部の破壊については、以下の(1)～(3)の 3 ケースを想定する。

3.1 アンカーボルトが引き抜かれる時のコーン破壊(せん断によるコンクリートの破壊)

- ①流体力による作用力は、コンクリートが受け持つ。
- ②コンクリートの破断面と水平面のなす角度は 45° 。

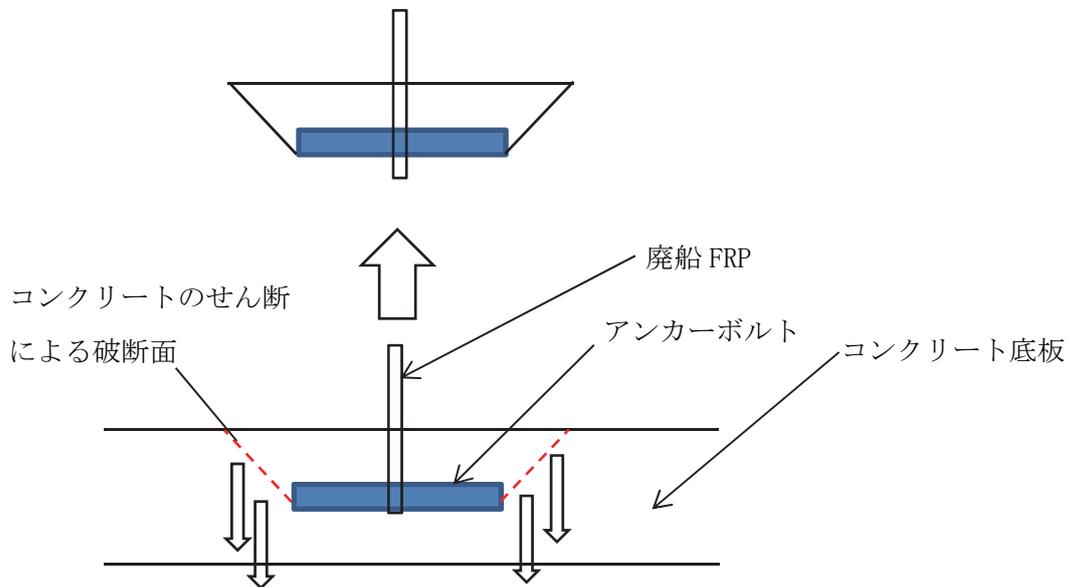


図-3.1 FRP 沈船魚礁のアンカーボルトへの外力による引き抜き概念図(断面図)

3.2 FRP 部材のせん断

- ①FRP 漁船の埋め込み部のコンクリートと FRP 部材の付着力は考慮しない。
- ②流体力による作用力による FRP の破断面は、図-3.2 のようにアンカーボルトの両端から FRP 部材の下端までの部分である。

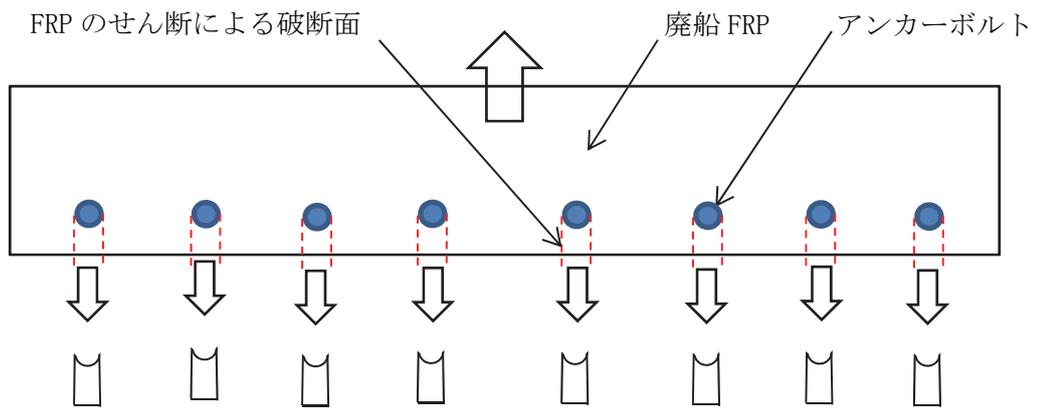


図-3.2 FRP部材の外力の作用概念図(廃船FRP部側面)

3.3 アンカーボルトのせん断

- ①FRP 漁船の埋め込み部のコンクリートとFRP部材の付着力は考慮しない。
- ②流体力による作用力は、アンカーボルトの断面で受け持つ。

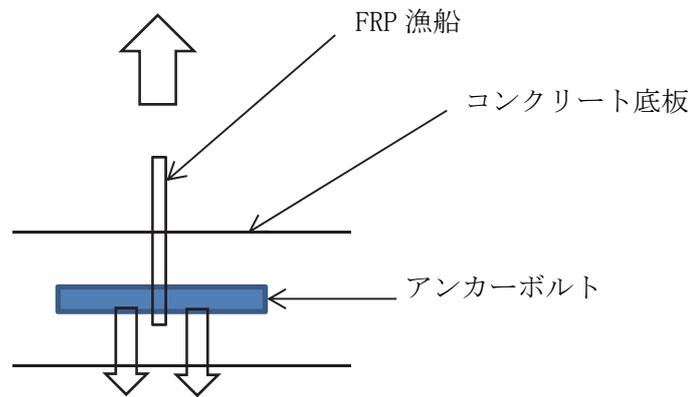


図-3.3 アンカーボルトへの外力の作用の概念図(断面図)

4. 各ケースにおける接合部の検討

4.1 アンカーボルトが引き抜かれる時のコーン破壊(せん断によるコンクリートの破壊)

コーン破壊時のコンクリートの破壊部分は図-4.1 に示す寸法であるから、破壊面の面積 A_c は次のように求まる。

$$\begin{aligned}
 A_c &= \text{円錐部側面積} + \text{三角柱部側面積} \\
 &= 75\sqrt{2} \times 75 \times \pi + 75\sqrt{2} \times 200 \times 2 \\
 &= 75 \times 1.41 \times 75 \times 3.14 + 75 \times 1.41 \times 200 \times 2 \\
 &= 24904 + 42300 \\
 &= 67.204 \times 10^3 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$f_{tk} = 0.20 f'_{cd}{}^{1/3} = 0.20 \times 24^{1/3} = 0.20 \times 2.88 = 0.576 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

(2012年制定 コンクリート標準示方書(設計編)P180(2.4.6)式)

$$f_1 = f_{tk} \cdot A_c = 0.576 \times 67.204 \times 10^3 = 38.71 \times 10^3 \text{ N}$$

$$= 38.71 \text{ kN} > f (=2.87 \text{ kN}) \quad \text{O.K.}$$

- f_1 : コンクリートのせん断による破壊面の耐力(N)
- A_c : コンクリートのせん断による破壊面の面積(mm²)
- f_{tk} : コンクリートのせん断強度(N/mm²)
- f'_{ck} : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)
(鉄筋コンクリート構造物のコンクリート圧縮強度 24N/mm²)

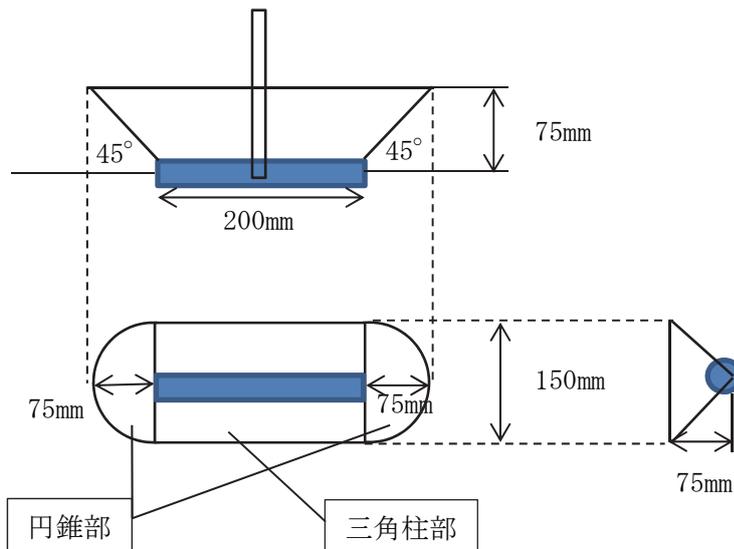


図-4.1 アンカーボルト部のコーン破壊される部分の寸法図(断面図)

4.2 FRP 部材のせん断

FRP 漁船の部材厚さ $t=6\text{mm}$ で、アンカーボルト孔の中心部から廃船 FRP 縁辺部までの距離 $e=75\text{mm}$ (図-4.2)であり、FRP のせん断 $f=2.87\text{kN}$ であるから、せん断応力 τ は次のように求められる。

$$\tau = f/2et = 2.87 / (2 \times 6 \times 75) = 0.00319 \text{ kN/mm}^2 = 3.19 \text{ N/mm}^2$$

(「複合材料の力学序説」古今書院, 第7刷, 2009年5月, P167(7.33)式)

FRP のせん断強さ $f_t=88 \text{ N/mm}^2$ (「FRP 構造設計便覧」、(社)強化プラスチック協会、p35 表 34-1(c))であるから、下のよう安全である。

$$f_t = 88 \text{ N/mm}^2 > \tau = 4.48 \text{ N/mm}^2 \quad \text{O.K.}$$

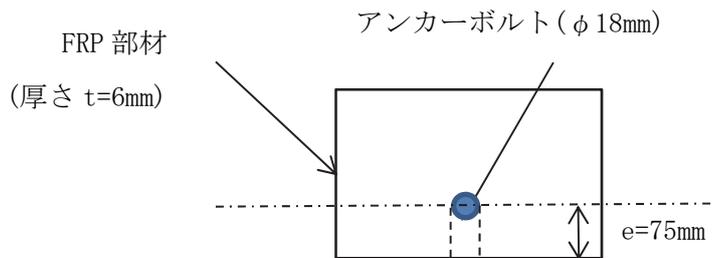


図-4.2 アンカーボルト部の破断部分の寸法図(断面図)

4.3 アンカーボルトのせん断

アンカーボルトの径は18mm(M18)であるから、有効断面積 $A_s=192 \text{ mm}^2$ でありせん断耐力 f_3 は次のように求まる。

$$f_3 = \tau \cdot A_s / S_B = 78 \times 192 / 1.5 = 9984 \text{ N}$$

$$= 9.984 \text{ kN} > f (= 2.87 \text{ kN}) \quad \text{O.K.}$$

f_3 : アンカーボルトのせん断耐力

τ : アンカーボルトの許容せん断応力(表-4.1の材質 SUS304、ステンレスボルトの長期のせん断許容応力度 78 N/mm^2)

S_B : 外力の割増係数(1.5)

(漁港・漁場の施設の設計の手引き 2003年版 P164 表 3-2-7)

A_s : アンカーボルトの有効断面積(M18、 192 mm^2)

表-4.1 鋼材の許容応力度表

1. 諸定数

1.1 許容応力度表

材料	ヤング係数 (N/cm ²)	許容応力(N/cm ²)				設定基準
		長期		短期		
		圧縮 引張りの 曲げ	剪断	圧縮 引張りの 曲げ	剪断	
アルミ押出型材 (6063S-T5)	6.86×10 ⁶ (0.7×10 ⁶)	7200 (735)	4100 (423)	10800 (1100)	6200 (635)	日本建築学会 JASS14 カーテンウォール工事
アルミ板材 (A1100P-H14)	6.86×10 ⁶ (0.7×10 ⁶)	6200 (633)	3600 (365)	9300 (950)	5400 (548)	日本建築学会 アルミニウム合金建築構造 設計施工基準案・同解説書
一般構造用鋼材 (SS400)	2.05×10 ⁷ (2.1×10 ⁶)	15700 (1600)	9100 (923)	23500 (2400)	13600 (1385)	建築基準法施行令 90 条
一般鋼材 (SPCC)	2.05×10 ⁷ (2.1×10 ⁶)	12400 (1260)	7100 (731)	18600 (1900)	10700 (1097)	建設省告示 第1794号
ステンレス鋼 (SUS304)	1.98×10 ⁷ (1.97×10 ⁶)	13700 (1400)	7900 (808)	20600 (2100)	11900 (1212)	日本建築学会 JASS14 カーテンウォール工事
スチールボルト (SS400)		11800 (1200)	8800 (900)	17700 (1800)	13200 (1350)	日本建築学会 鋼構造設計基準
ステンレスボルト (SUS304)		10300 (1050)	7800 (798)	15400 (1575)	11700 (1197)	
鋼材溶接(SS400) 鋼材厚≦40mm	現場	8100 (831)	8100 (831)	12200 (1247)	12200 (1247)	建築基準法施行令 90 条、92 条 建設省告示 第1794号
	工場	9100 (923)	9100 (923)	13600 (1385)	13600 (1385)	
ステンレス鋼溶接 (SUS304)	現場	7100 (727)	7100 (727)	10700 (1091)	10700 (1091)	建設省告示 第1794号
	工場	7900 (808)	7900 (808)	11900 (1212)	11900 (1212)	
アルミ押出型材溶接 (A6063S-T5)	工場		3000 (308)		4500 (462)	アルミニウム合金建築構造 設計施工基準案・同解説書

()内数値は旧 JIS 単位を示す

4.4 結論

FRP 沈船魚礁の FRP 漁船とコンクリート底板の接合部は、外力に対して安全である。

Ⅱ 事例 2 : 60t 船

Ⅱ-1 沈船の安定計算例

1. はじめに

本設計は FRP 漁船をバラスト(石材)により沈める FRP 沈船魚礁の安定計算を行った。計算手法は、「漁港・漁場の施設の設計の手引き(2003 年版)」および「FRP 漁船沈船魚礁化処理活用ガイドライン(平成 3 年 3 月)」に準拠した。

2. 設計条件

2.1 設計条件

- ・ 設置水深 : h=35m
- ・ 潮位 : H. W. L. +3. 10m、L. W. L. -0. 20m
- ・ 底質 : 砂(摩擦係数 $\mu = 0. 6$)
- ・ 斜面勾配 : 1/15
- ・ 設計波 : 表-2. 1 参照

表-2. 1 設計波の諸元

波高 H(m)	7. 83
周期 T(s)	11. 60
波長 L(m)H. W. L.	181. 74
波長 L(m)L. W. L.	177. 14

- ・ 海面流速 : $U_H = 0. 514 \text{ m/s}$

設計流速 U (m/s) は下式で求める。

$$U = K \cdot U_H (nD/h)^{1/7}$$

ここに、

- K : 流速算定係数(最大は主流方向で 1. 6)
- H : 設置水深 (m)
- D : 魚礁の海底からの高さ
- n : 魚礁の積段数
- U_H : 海面流速

である。

各値は、 $h=35\text{m}$ 、 $D=2. 19\text{m}$ 、 $n=1$ 、 $U_H = 0. 514\text{m/s}$ 、 $H. W. L. = +3. 1$ 、 $L. W. L. = -0. 2$ であるから、設計流速は以下の通り求められる。

●H. W. L.

$$\begin{aligned}
 U &= K \cdot U_H (nD/h)^{1/7} \\
 &= 1.6 \times 0.514 \times (1 \times 2.19 / 38.1)^{1/7} \\
 &= 1.6 \times 0.514 \times 0.0575^{1/7} \\
 &= 0.55 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

●L. W. L.

$$\begin{aligned}
 U &= K \cdot U_H (nD/h)^{1/7} \\
 &= 1.6 \times 0.514 \times (1 \times 2.19 / 34.8)^{1/7} \\
 &= 1.6 \times 0.514 \times 0.0629^{1/7} \\
 &= 0.55 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

表-2.2 設計流速

設計流速 U(m/s)	0.55
-------------	------

2.2 使用FRP漁船の諸元

使用するFRP漁船の諸元を表-2.3に示す。漁船図面から判別できない、また情報入手不可のものについては、表-2.4の漁業種類別FRP漁船の諸数値（「FRP漁船沈船魚礁化处理活用ガイドライン」（平成3年3月）より）を参照した。

表-2.3 使用 FRP 漁船の諸元

FRP 漁船の諸元		備 考
漁船長さ Lpp (m)	22.53	
漁船幅 B(m)	4.65	
甲板高さ D(m)	2.19	
船底傾斜各 θ (度)	14.1	表-2.4 のまき網の傾斜角範囲から按分した
側面積の係数 Ak	2.3	表-2.4 のまき網船が 2.3 から採用
船殻質量の係数 Kw	0.238	表-2.4 のまき網船 Kw 平均値を採用

3. FRP 沈船魚礁の安定検討

FRP 沈船魚礁の安定検討においては、設計波による水粒子速度と設計流速による流体力による滑動と転倒に対するバラスト質量を求める。尚、検討は主機関を撤去した場合のものとした。

3.1 流体力

流体力 F (kN) の算定は次式により計算する。

$$F = C_o \cdot A \cdot w_o \cdot (U + U_m)^2 / 2$$

ここに、

- A : 漁船側面積 (m²) (使用する船舶図面より)
- C_o : 抗力係数 (2.0)
- w_o : 海水の単位体積重量 (1.03t/m³)
- U : 設置場所の設計潮流速 (m/s)
- U_m : 設置場所の設計波による水粒子速度 (m/s)

である。

設置場所の設計波による水粒子速度 U_m (m/s) は次式により計算する。なお、水深は H. W. L. (D. L. +3.1m)、L. W. L. (D. L. -0.2m) の両者を対象とし、安全側の流速を設計流速として採用する。

$$U_m = \frac{\pi H \cosh(2\pi D/L)}{T \sinh(2\pi h/L)}$$

ここに、

- H : 設計波の波高 (m)
- T : 設計波の周期 (s)
- h : 設置場所の水深
- L : 設置場所における設計波の波長
- D : 漁船の甲板高さ

である。

各値は、H=7.83m、T=11.60s、h=35m、L=177.41m、D=2.19m、H. W. L. =+3.1、L. W. L. =-0.2 であるから、計算結果は表-3.1 のとおりとなる。下表から、設計流速は安全側の 1.34m/s とする。

表-3.1 流速算出結果

H(m)	T(s)	h(m)	潮位(m)	L(m)	Um(m/s)
7.83	11.60	35	+3.1(H. W. L.)	181.74	1.23
7.83	11.60	35	-0.2(L. W. L.)	177.14	1.34

流体力 F (kN) の算定式の各値は、 $C_o=2.0$ 、 $A=113.5\text{m}^2$ (=船長 22.53m×甲板高 2.19m× $A_k2.3$)、 $w_o=1.3\text{t/m}^3$ 、 $U=0.55\text{m}$ 、 $U_m=1.34\text{m/s}$ より、以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned}
 F &= C_o \cdot A \cdot w_o \cdot (U + U_m)^2 / 2 \\
 &= 2.0 \times 113.5 \times 1.03 \times (0.55 + 1.34)^2 / 2 \\
 &= 417.6 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

表-3.1 設置位置 (水深h=35m、L. W. L. -0.2m、船の甲板D=2.19mへ作用)での流体力

流体力 F (kN)	417.6
------------	-------

3.2 安定検討(滑動と転倒に対するバラスト質量)

「FRP 漁船沈船魚礁化处理活用ガイドライン」(平成3年3月全国漁業協同組合連合会)によると、滑動と転倒に対して必要な最小バラスト質量 X(t) はそれぞれ、次式で計算される。

$$\text{(滑動)} \quad X = \alpha \cdot (F/g) / \mu - \beta \cdot W_s \quad (\text{t})$$

$$\text{(転倒)} \quad X = \frac{D}{B - D \sin \theta} \alpha (F/g) - \beta W_s$$

$$\alpha = S_f \cdot \sigma_b / (\sigma_b - W_o)$$

$$\beta = \frac{\sigma_b (\sigma_s - W_o)}{(\sigma_b - W_o) \sigma_s}$$

ここに、各数値は以下のとおりである。

- F : 流体力 (kN)
- G : 重力加速度 (m/s^2)
- W_s : 船殻質量 (t)、実測によりがたい場合は、船殻質量の係数 K_w 、漁船の長さ L_{pp} (m)、漁船の幅 B (m)、甲板高さ D (m)、から $W_s = K_w \times L_{pp} \times B \times D$ (t) とする。
- σ_b : バラストの単位体積質量 (t/m^3)
- σ_s : 船殻単位体積質量 (t/m^3)

W ₀	: 海水の単位体積質量 (t/m ³)
μ	: 船殻と海底の摩擦係数
S _f	: 安全係数
B	: 漁船の幅 (m)
D	: 漁船の甲板高さ (m)
θ	: 船底傾斜角 (度)

しかし、上式は海底が平坦であることを前提としており、傾斜を持つ今回の FRP 沈船魚礁設置海域での適用には問題がある。ここでは、上式を参考にしつつ、安定計算式は「漁港・漁場構造物設計計算例 平成 16 年新刊 (社団法人全国漁港漁場協会)」p. 441 に例示された角型魚礁の安定計算例に準拠する。

(1) 滑動の検討

滑動に対する安定は次式で示される。

$$S_F = \frac{W\mu \cos \theta - F\mu \sin \theta}{W \sin \theta + F \cos \theta}$$

ここに、

F	: 流体力 (kN)
μ	: 船殻と海底の摩擦係数 (0.6)
S _f	: 安全係数 (1.2)
θ	: 船底傾斜角 (=tan ⁻¹ (1/15)=3.8°)

である。

W はバラスト質量 X と船殻質量 W_s を合わせた水中質量であり、次式で示される。

$$W = \frac{(\sigma_B - W_0)}{\sigma_B} \cdot X + \frac{(\sigma_S - W_0)}{\sigma_S} \cdot W_S$$

$$W = \frac{(2.65 - 1.03)}{2.65} \cdot X + \frac{(1.7 - 1.03)}{1.7} \cdot 54.6 = 0.61 \cdot X + 21.3$$

ここに、

W _s	: 船殻質量 (t)、W _s =K _w ×L _{pp} ×B×D (t)=0.238×22.53×4.65×2.19=54.6t である。
X	: バラスト質量 (t)
σ _b	: バラストの単位体積質量 (t/m ³) (花崗岩の単位体積重量 26kN/m ³ =石材の比重 2.65)
σ _s	: 船殻単位体積質量 (FRP 素材比重、約 1.6~1.8 の中間値 1.7)
W ₀	: 海水の単位体積質量 (1.03t/m ³)

である。

安定の式を W について展開すると、次式のとおりとなる。

$$W = \frac{F(\mu \sin \theta + S_F \cos \theta)}{\mu \cos \theta - S_F \sin \theta} = \frac{417.6(0.6 \cdot 0.067 + 1.2 \cdot 0.998)}{0.6 \cdot 0.998 - 1.2 \cdot 0.067} = 997.12 = 101.8t$$

以上より、バラスト質量は以下のとおり求められる。

$$X = \frac{(101.8 - 21.3)}{0.61} = 132.1t$$

(2) 転倒の検討

転倒に対する安定は次式で示される。

$$S_F = \frac{W \cos \theta - F \sin \theta}{W \sin \theta + F \cos \theta} \frac{B - D \sin \theta}{D}$$

ここに、

F	: 流体力 (kN)
Sf	: 安全係数 (1.2)
θ	: 船底傾斜角 ($=\tan^{-1}(1/15)=3.8^\circ$)
B	: 漁船の幅 (4.65m)
D	: 漁船の甲板高さ (2.19m)

である。

W はバラスト質量 X と船殻質量 W_s を合わせた水中質量であり、次式で示される。

$$W = \frac{(\sigma_B - W_0)}{\sigma_B} \cdot X + \frac{(\sigma_S - W_0)}{\sigma_S} \cdot W_s$$

$$W = \frac{(2.65 - 1.03)}{2.65} \cdot X + \frac{(1.7 - 1.03)}{1.7} \cdot 54.6 = 0.61 \cdot X + 21.3$$

ここに、

W_s	: 船殻質量 (t)、 $W_s = K_w \times L_{pp} \times B \times D$ (t) = $0.238 \times 22.53 \times 4.65 \times 2.19 = 54.6t$ である。
X	: バラスト質量 (t)
σ_b	: バラストの単位体積質量 (t/m ³) (花崗岩の単位体積重量 26kN/m ³ =石材の比重 2.65)

σ_s : 船殻単位体積質量(FRP 素材比重、約 1.6~1.8 の中間値 1.7)
 W_0 : 海水の単位体積質量(1.03t/m³)

である。

安定の式を W について展開すると、次式のとおりとなる。

$$W = \frac{F(D \sin^2 \theta - B \sin \theta - S_F D \cos \theta)}{S_F D \sin \theta - B \cos \theta + D \sin \theta \cos \theta} = \frac{417.6(2.19 \cdot 0.067^2 - 4.65 \cdot 0.067 - 1.2 \cdot 2.19 \cdot 0.998)}{1.2 \cdot 2.19 \cdot 0.067 - 4.65 \cdot 0.998 + 2.19 \cdot 0.067 \cdot 0.998} = 282.8 = 28.9t$$

以上より、バラスト質量は以下のとおり求められる。

$$X = \frac{(28.9 - 21.3)}{0.61} = 12.5t$$

(3) 結論

滑動に対するバラストの安定質量は 132.1t、転倒に対するバラストの安定質量は 12.5t であった。よって、132.1t をバラスト質量とする。

Ⅱ-2 石材の安定計算例

1. はじめに

本設計では FRP 漁船を沈設させるに必要なバラスト所要重量の安定計算を行った。石材の安定質算定は「漁港・漁場の施設の設計の手引き(2003年版)」の第12編 養殖場 第2 礁 磯根養殖場 2.2 着底基質工に準拠した。

2. 設計条件

2.1 設計条件

- ・設置水深 : $h=35\text{m}$
- ・潮位 : H. W. L. +3.10m、L. W. L. -0.20m
- ・底質 : 砂(摩擦係数 $\mu=0.6$)
- ・設計波 : 表-2.1参照

表-2.1 設計波の諸元

波高 H(m)	7.83
周期 T(s)	11.60
波長 L(m)H. W. L.	181.74
波長 L(m)H. W. L.	177.14

- ・海面流速 : $U_H=0.514\text{ m/s}$

2.2 設計流速の算出

潮位を考慮した設置水深が $h=34.8\sim 38.1\text{ (m)}$ で、設計波高 $H=7.83\text{ (m)}$ であるから、 $H/h=7.83/(34.8\sim 38.1)=0.225\sim 0.206<0.5$ (非砕波帯)となり、設置位置は非砕波帯であるから、設計流速 $U\text{ (m/s)}$ は次式で求められる。

$$U=U_0+U_1$$

ここに、

- U_0 : 潮流等の一般流速(m/s)
- U_1 : 波による水平粒子速度(m/s)

である。

1) U_0 (潮流等の一般流速) の算出

U_0 は次式で求める。

$$U_0 = U_0' \sqrt{\cos \theta + 1.5}$$

ここに、

U_0' : 潮流等の一般流速 (m/s)

θ : 潮流等の主流方向 (U_0') と設計流速方向のなす角度

であり、潮流等の主流方向と設計流速方向の一致する場合に U_0 (m/s) は最大となり、このとき $\theta = 0^\circ$ である。また、 $U_0' = U_H = 0.514$ (m/s) とすれば、以下のとおり求められる。

$$\begin{aligned} U_0 &= U_0' \sqrt{\cos \theta + 1.5} \\ &= 0.514 \times \sqrt{\cos 0^\circ + 1.5} \\ &= 0.514 \times 1.6 \\ &= 0.822 \text{ (m/s)} \end{aligned}$$

2) U_1 (設置場所の設計波による水粒子速度) の算出

U_1 (m/s) は次式により計算する。

$$U_1 = \frac{\pi H \cosh(2\pi D/L)}{T \sinh(2\pi h/L)}$$

ここに、

h : 設置水深 (m)

H : 設置水深における設計波高 (m)

L : 設置水深における波長 (m)

T : 設計波周期

D : 石材の厚さ (m)

である。

前項で求めた波浪諸元等を用いて、各石材の厚さ D (m) についての U_1 (m/s)、及び $U_0 = 0.822$ (m/s) から求まる設計流速 U (m/s) の計算結果を表-2.2に示す。

表-2.2(1) 各石材の厚さD(m)に対する設計流速U(m/s)～H. W. L.

石材の厚さ D(m)	波による水平粒 子速度U1(m/s)	潮流などの一般 流速Uo(m/s)	設計流速 U(=Uo+U1) (m/s)
0.10	1.224	0.822	2.046
0.11	1.224	0.822	2.046
0.12	1.224	0.822	2.046
0.13	1.224	0.822	2.046
0.14	1.224	0.822	2.046
0.15	1.224	0.822	2.046
0.16	1.224	0.822	2.046
0.17	1.224	0.822	2.046
0.18	1.224	0.822	2.046
0.19	1.224	0.822	2.046
0.20	1.224	0.822	2.046

表-2.2(2) 各石材の厚さD(m)に対する設計流速U(m/s)～L. W. L.

石材の厚さ D(m)	波による水平粒 子速度U1(m/s)	潮流などの一般 流速Uo(m/s)	設計流速 U(=Uo+U1) (m/s)
0.10	1.348	0.822	2.170
0.11	1.348	0.822	2.170
0.12	1.348	0.822	2.170
0.13	1.348	0.822	2.170
0.14	1.348	0.822	2.170
0.15	1.348	0.822	2.170
0.16	1.348	0.822	2.170
0.17	1.348	0.822	2.170
0.18	1.348	0.822	2.170
0.19	1.348	0.822	2.170
0.20	1.349	0.822	2.171

3. 石材の安定質量の算出

設計流速に対する石材の安定質量は、非砕波帯 ($H/h=7.83/(34.8\sim 38.1)=0.225\sim 0.206<0.5$) であるから次式で求められる。

$$W=0.04U^6/1000$$

ここに、

W : 石材の安定質量(t)
U : 設計流速(m/s)

である。

また、石材を立方体とし1辺の長さ=厚さ D(m) とすれば石材の単位体積重量は 26 (kN/m³) (花崗岩) であるから、石材の質量 M(t) は以下のとおりとなる。

$$M=D^3\times 26/g$$

ここに、

M : 石材の質量(t)
D : 立方体としたときの石材の1辺の長さ(m)
G : 重力加速度 (m/s²) (=9.8m/s²)

である。

従って、次式の関係が成り立てば石材は流れに対して安定となる。

$$M>W(\text{安定})$$

表-2.2 の各石材の厚さ D(m) に対する設計流速 U(m/s) から安定質量 W(t) と M(t) を求めた結果を表-3.1 に示す。

表-3.1(1) 石材の厚さ D(m) に対する石材の安定質量と質量(H. W. L.)

石材の厚さ D(m)	波による水平粒 子速度U1(m/s)	潮流などの一般 流速Uo(m/s)	設計流速 U(=Uo+U1) (m/s)	石材の安定質 量W(kg)	石材の質量 M(kg)	M>W
0.10	1.224	0.822	2.046	2.93	2.65	NG
0.11	1.224	0.822	2.046	2.93	3.53	OK
0.12	1.224	0.822	2.046	2.93	4.58	OK
0.13	1.224	0.822	2.046	2.93	5.83	OK
0.14	1.224	0.822	2.046	2.93	7.28	OK
0.15	1.224	0.822	2.046	2.93	8.95	OK
0.16	1.224	0.822	2.046	2.93	10.87	OK
0.17	1.224	0.822	2.046	2.93	13.03	OK
0.18	1.224	0.822	2.046	2.93	15.47	OK
0.19	1.224	0.822	2.046	2.93	18.20	OK
0.20	1.224	0.822	2.046	2.93	21.22	OK

表-3.1(2) 石材の厚さ D(m) に対する石材の安定質量と質量(L. W. L.)

石材の厚さ D(m)	波による水平粒 子速度U1(m/s)	潮流などの一般 流速Uo(m/s)	設計流速 U(=Uo+U1) (m/s)	石材の安定質 量W(kg)	石材の質量 M(kg)	M>W
0.10	1.348	0.822	2.170	4.18	2.65	NG
0.11	1.348	0.822	2.170	4.18	3.53	NG
0.12	1.348	0.822	2.170	4.18	4.58	OK
0.13	1.348	0.822	2.170	4.18	5.83	OK
0.14	1.348	0.822	2.170	4.18	7.28	OK
0.15	1.348	0.822	2.170	4.18	8.95	OK
0.16	1.348	0.822	2.170	4.18	10.87	OK
0.17	1.348	0.822	2.170	4.18	13.03	OK
0.18	1.348	0.822	2.170	4.18	15.47	OK
0.19	1.348	0.822	2.170	4.18	18.20	OK
0.20	1.349	0.822	2.171	4.18	21.22	OK

以上から、石材が厚さ D(m) の立方体で花崗岩(単位体積重量 26kN/m³) の場合の安定質量は安全側を見込んで 4.58kg(厚さ 12cm) となる。

しかし、このサイズの石材では空隙が少なく密に充填されるため、投石魚礁としての効果が薄れることが懸念される。そのため、石材はできるだけ大型を用いて空隙を確保することが望ましい。以下、ここでは船底に投入する石材の高さを基に、望ましい石材のサイズを検討する。

船底の面積を、漁船長さ 22.53m×漁船幅 4.65m=104.8m² とし、バラスト石の空中湿潤単位体積重量を 18.0kN/m³ とすると、所要バラスト重量は 132.1t なので、石材の厚さ D は、 $D=132.1/(18.0/9.8)/104.8 \approx 0.7\text{m}$ となる。よって、石材サイズが 0.7m なら 1 層積となり、十分な空隙が確保されることとなる。0.7m サイズの石材は花崗岩の球と仮定すると約 500kg となる。なお、0.5m サイズならば約 170kg となる。以上から、石材の安定質量としては 4.58kg であるが、魚礁効果を勘案して 500kg 内外の石材を利用することとする。

資料編-5 FRP 沈船魚礁の魚礁効果

1. 概要

五島列島奈留島葛島近傍に実験礁として、FRP 沈船魚礁を平成 24 年 1 月に沈設した。その上で近隣の既存のコンクリート魚礁との比較を併せた効果調査を行った。その結果、魚類蛸集量、底生生物量は既存コンクリート魚礁と同程度の性能を持つことと、油分の溶出は無いことが確認された。以下に、その概要を示す。図-1.1 には調査位置図、図-1.2 には FRP 沈船魚礁の概要、図-1.3 には比較としての既存コンクリート魚礁の概要を示す。



図-1.1 調査位置

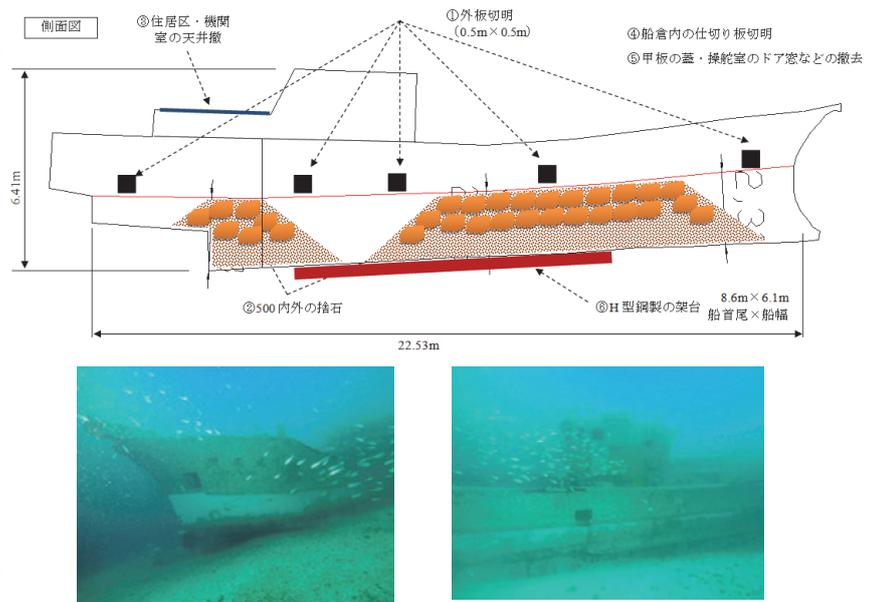


図-1.2 FRP 沈船魚礁の概要(実験区)

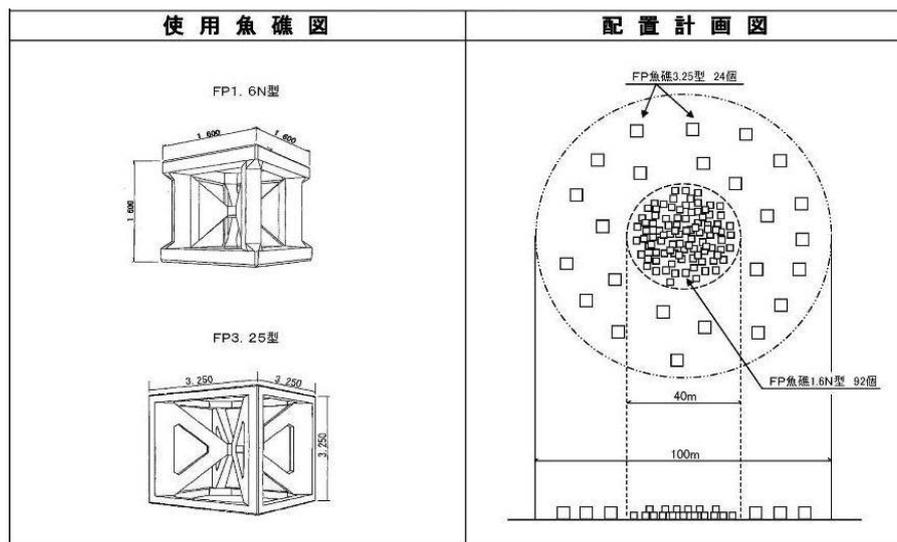


図-1.3 既存コンクリート魚礁の概要(対照区)

2. 水中目視観察

図-2.1 に水中目視観察による魚類の出現種および空 m³ あたり観察尾数(合計)の推移を示す。観察された主な魚種はイサキ、マアジ、イラ、カワハギ、ウマヅラハギ、ネンブツダイであった。また、図-2.2 に観察例として、イサキの撮影結果を示す。これらの結果によると、実験区は出現種数及び空 m³ あたりの観察尾数も対照区と同等であった。すなわち、FRP 沈船魚礁は、既往のコンクリート製魚礁と比して同等の性能を持つと考えられる。

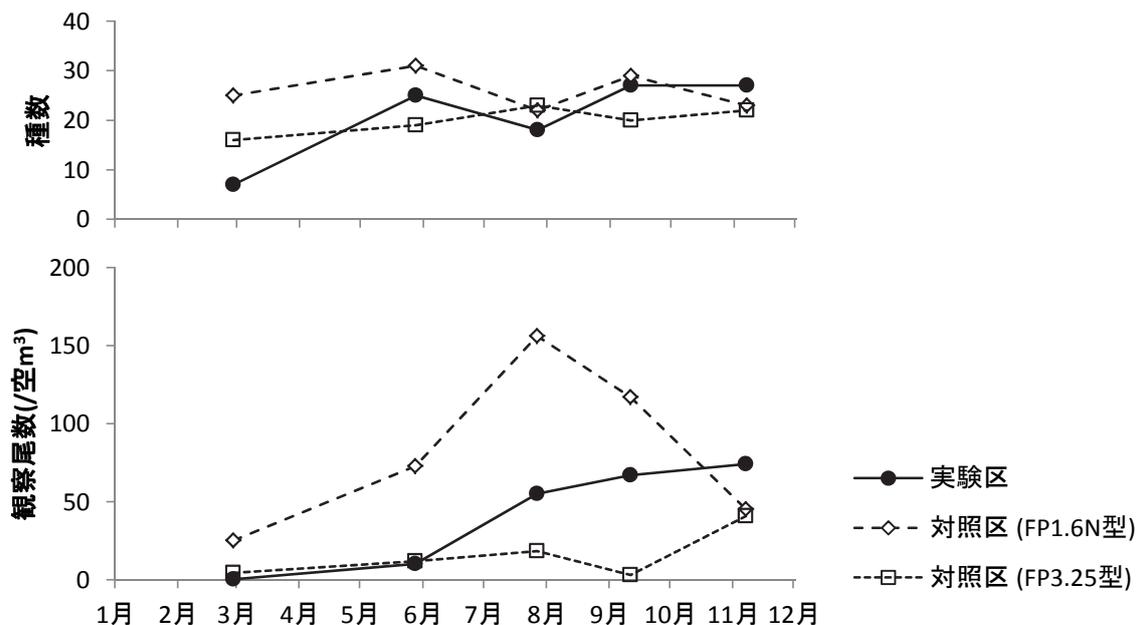


図-2.1 目視観察による魚類の出現種および観察尾数(合計)の推移(平成24年)

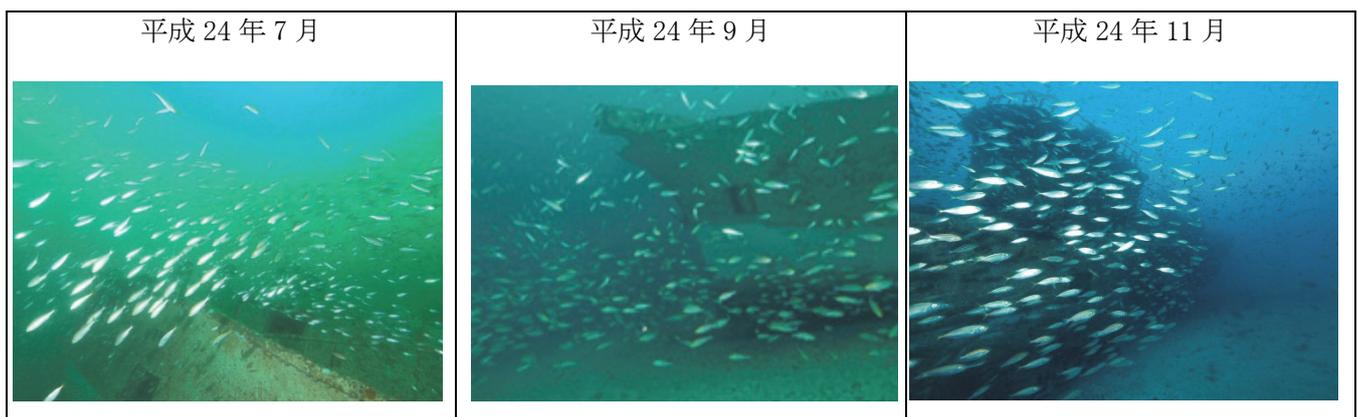


図-2.2 FRP 沈船魚礁に蟄集するイサキ

3. 計量魚探調査

図-3.1 に計量魚探観測結果による実験区及び対照区の推定個体数と湿重量を示す。図-3.2 には計量魚探画像観測例を示す。これらによると、実験区の空 m³ あたりの蟄集量は、対照区同等以上の蟄集量を示

していた。よって、実験区では対照区と同等以上の増集効果を持つと考えられる。

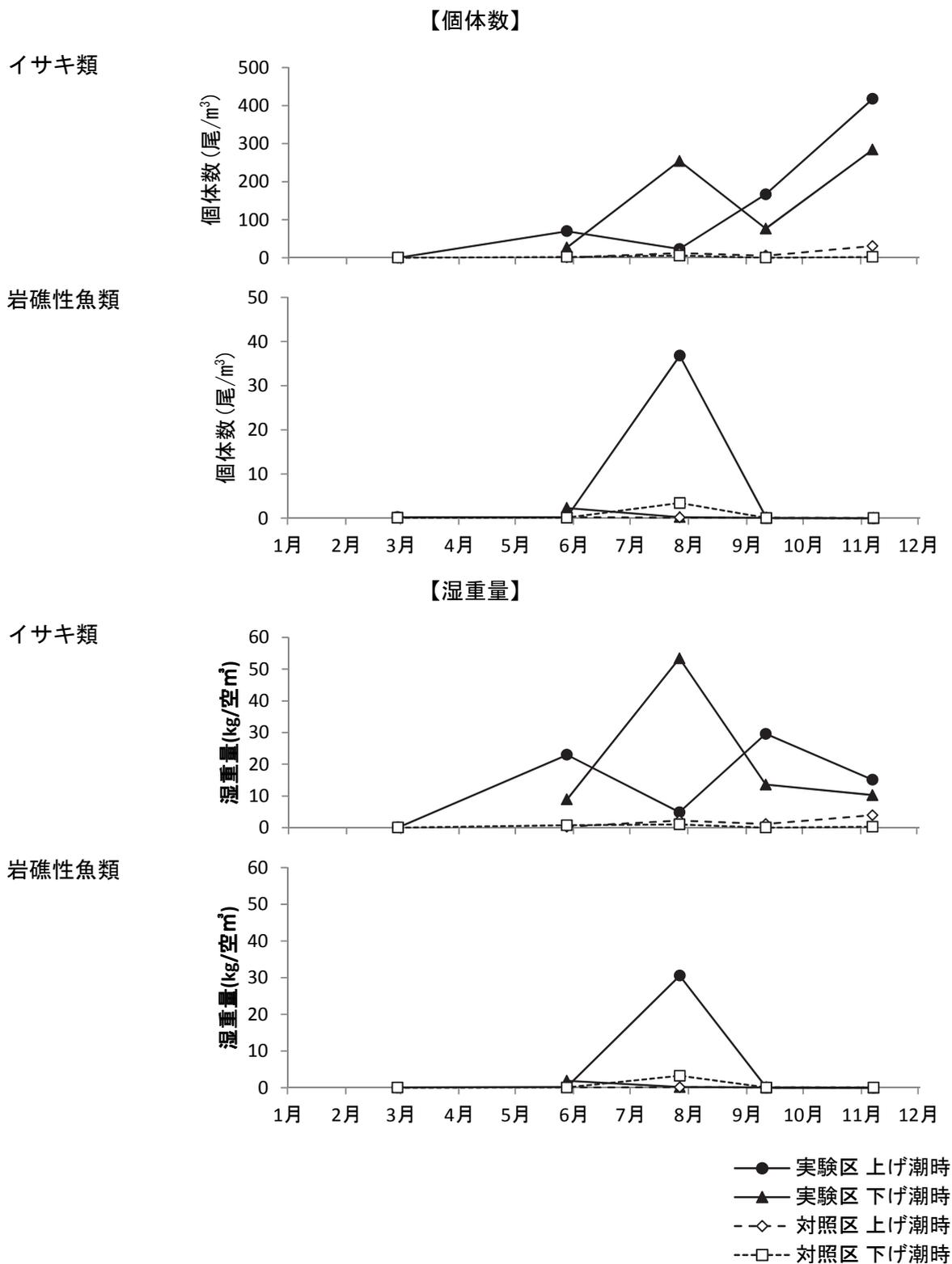
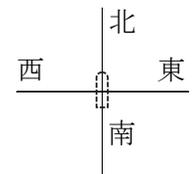
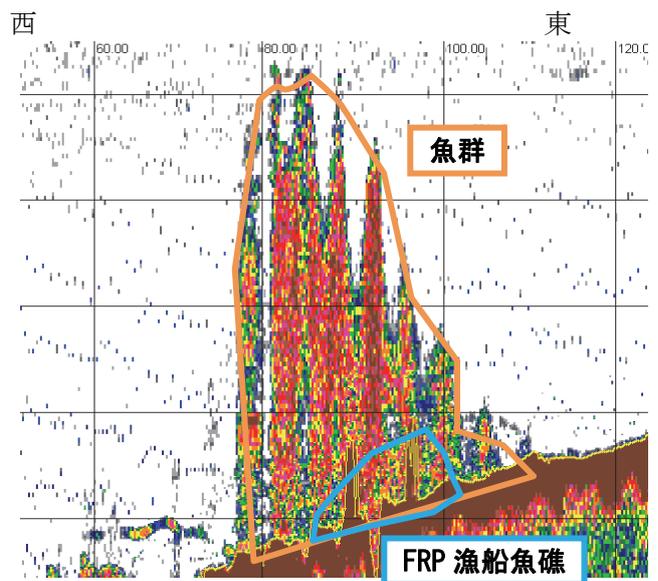
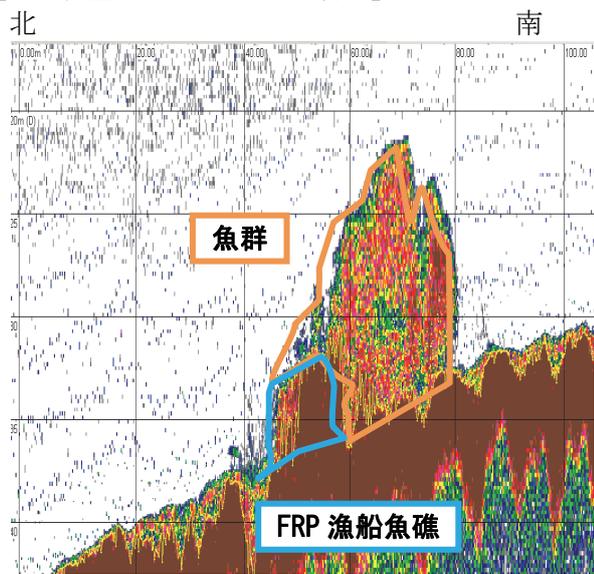


図-3.1 単位空 m^3 あたりの魚類の出現状況の推移

【9月調査 実験区 下げ潮時】



【9月調査 対照区 下げ潮時】

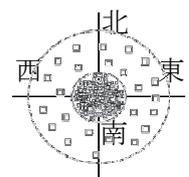
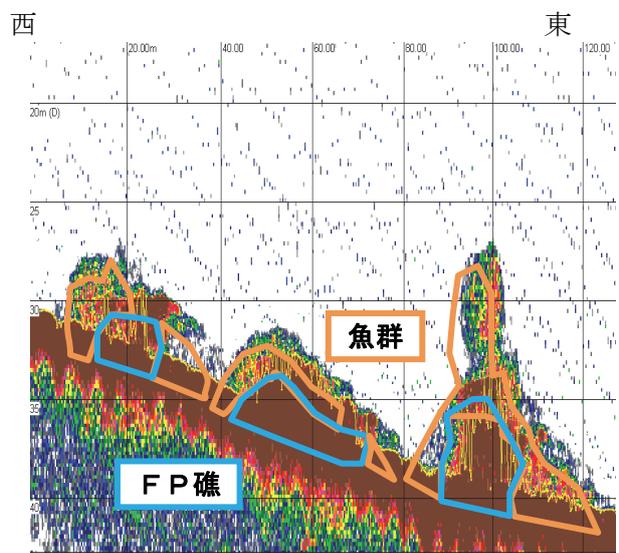
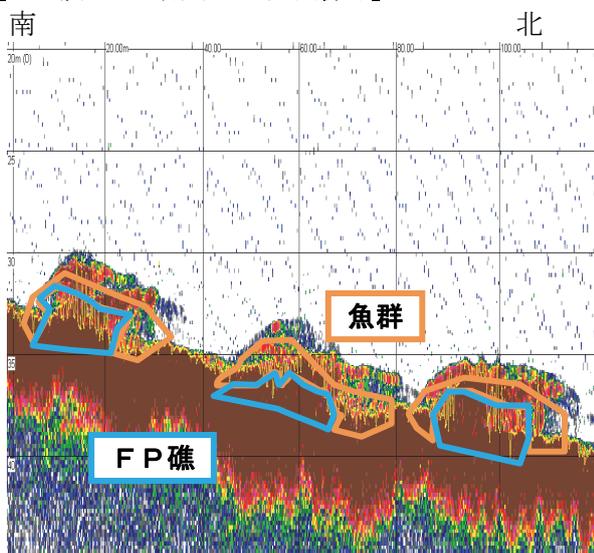


図-3.2 計量魚探調査で得られた魚探画像の例(上段：実験区、下段：対照区)

4. 付着生物、底生生物調査結果

図-4.1 に実験区および対照区における付着生物(動物)および底生生物の種類数、個体数、湿重量の推移を示す。

付着生物については、実験区は整備直後ということもあり少ないものの、湿重量が増加傾向にあった。底生生物については実験区と対照区は同程度であった。以上から、餌料供給に対して、実験区は対照区と同程度の効果を示すと考えられる。

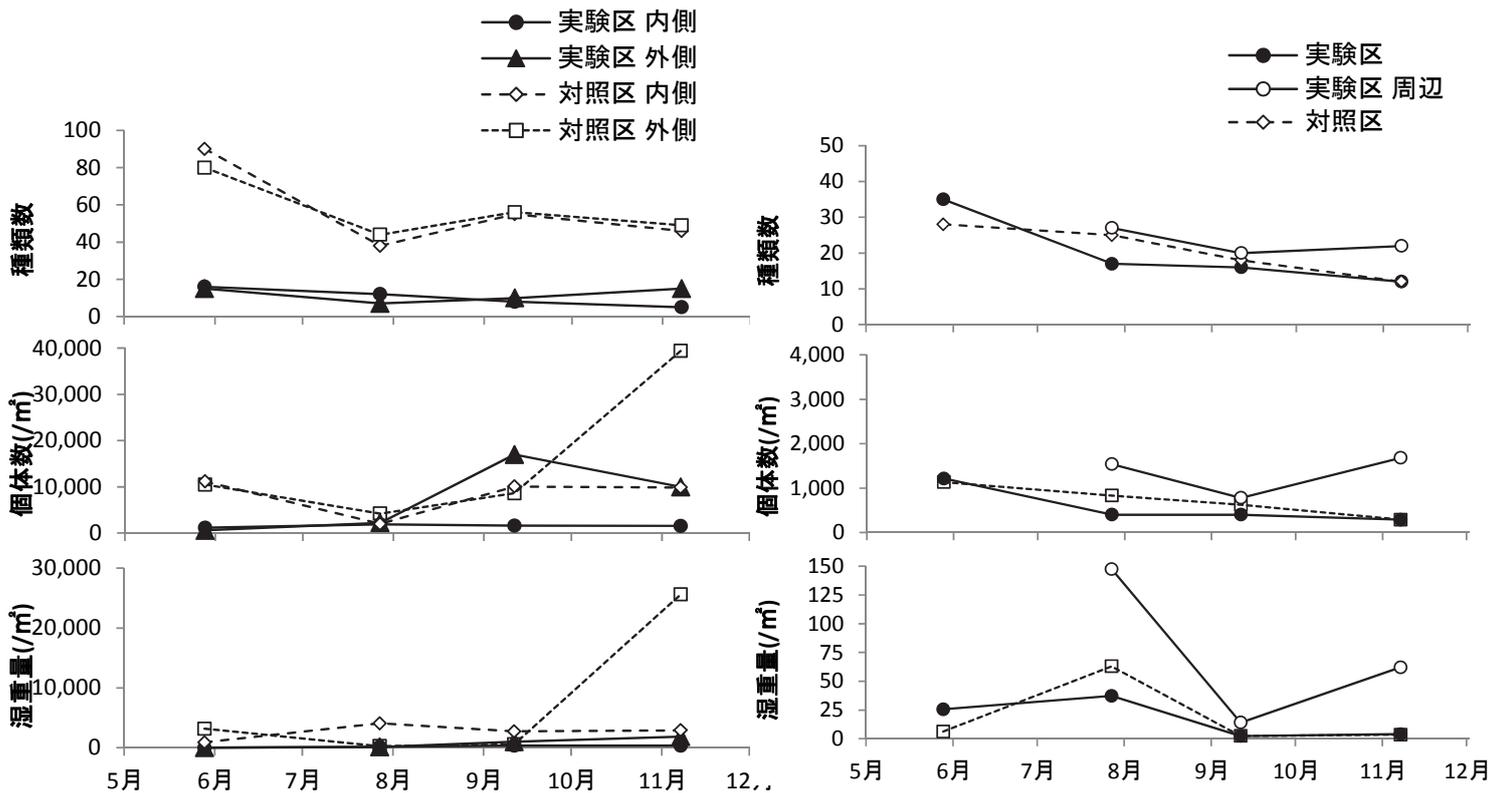


図-4.1 実験区および対照区における付着生物(動物)(左側)、底生生物(右側)の種類数、個体数、湿重量の推移

5. 水質調査

実験区(FRP 沈船魚礁近傍と潮上の2点)、対照区(既設魚礁近傍1点)におけるノルマルヘキサン抽出物質分析結果を表-5.1に示す。

この結果によると、ノルマルヘキサン抽出物質は全ての調査期間において検出されなかった。

よって、油分除去処理を適切に行った上で沈設したFRP 沈船魚礁からの油分溶出リスクは低いと考えられる。

表-5.1 採水試料の分析結果(平成 24 年)

項目	採水月日		1月	2月	5月	7月	9月	11月	水産用水基準 (2005)基準値
	採取場所		14日※1	28, 29日	28, 29日	27, 28日	11, 12日	7, 8日	
n-ヘキサン抽出物質(油分等)	実験区	廃船FRP漁船魚礁直近	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	検出されないこと※1
		潮上	-	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	
	対照区		-	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	

※1: N. D. は「検出されない」を示す。