

平成16年度

船舶搭載艇の
船尾降下揚収システムの研究開発
報告書

平成17年7月

海洋政策研究財団
(財団法人 シップ・アンド・オーシャン財団)

ご あ い さ つ

本報告書は、競艇交付金による日本財団の平成16年度助成事業として実施した「船舶搭載艇の船尾降下揚収システムの研究開発」事業の成果をとりまとめたものです。

海洋における人命救助、人命保護のための救命艇や救助艇の重要性は社会において深く認識されているところであり、このため救命艇、救助艇自体の構造や性能については従来から数多くの改善が図られてきております。しかしながら一方で、これら救命艇や救助艇を母船から降下・揚収する装置類については各種改善が求められているにもかかわらず、特に荒天下において迅速・安全に降下・揚収するものとしての確固たるシステムは未だ開発されていないのが現状であります。

そこで当財団では、一般商船の救命システムの高度化、巡視船等の搭載艇運用の効率化・高度化に資することを目的とし、波浪海象下においても航行中の母船から迅速、安全、確実かつ少人数の作業者で着・進水でき、また揚収することが可能なシステムの研究開発を平成15年度に着手いたしました。

本研究開発では、現在、海上保安庁の巡視船で採用されている船尾揚収装置の現状調査を行うとともに、CFDや船体運動計算等の船舶設計における手法を駆使しながら、母船及び搭載艇の水槽試験を実施するなどにより、新システムの開発に努めました。その結果、平成15年度及び16年度の研究開発の成果として、開発された新システムの具体案について、ここに報告書を取りまとめることができました。

当財団は、本研究開発によって新しい船尾降下揚収システムがまずは警備・救難用として実用化され、海洋における人命救助や人命保護に少しでも寄与できることを一番に願っておりますが、将来的には海洋調査船やクルーズ観光船など一般商船の搭載艇に対しても今般の事業成果が一部でも採用されていくことを期待している次第であります。

本研究開発は、小山健夫東京大学名誉教授を委員長とする「船舶搭載艇の船尾降下揚収システムの研究開発委員会」各委員の方々の熱心なご審議とご指導により進められ、実施にあたっては海上保安庁殿から多大なるご支援、ご協力を賜り、大学や研究所をはじめ関係各位のご協力、ご尽力によって実施されたものであり、これらの方々に対しまして、心から厚くお礼を申し上げます。

平成17年7月

海 洋 政 策 研 究 財 団

((財)シップ・アンド・オーシャン財団)

船舶搭載艇の船尾降下揚収システムの研究開発委員会名簿

(順不同、敬称略)

委員長	小山 健夫	東京大学 名誉教授 (株式会社 日本海洋科学技術研究所 代表)
委員	大和 裕幸	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境学専攻 教授
〃	平山 次清	横浜国立大学大学院 工学研究院 海洋宇宙システム工学専攻 教授
〃	白山 晋	東京大学 人工物工学研究センター デジタル価値工学研究部門 助教授
〃	渡邊 巖	財団法人 日本船舶技術研究協会 顧問
〃	石田 茂資	独立行政法人 海上技術安全研究所 海上安全研究領域 耐航・復原性能研究グループ 上席研究員
〃	岩男 雅之	海上保安庁 警備救難部 管理課 課長
〃	(城野 功)	
〃	染矢 隆一	海上保安庁 装備技術部 船舶課長
〃	正野崎 稔	海上保安庁 装備技術部 船舶課 首席船舶工務官
〃	(高橋 努)	
〃	浅野 富夫	海上保安庁 装備技術部 船舶課 上席船舶工務官
関係者	福富 一彦	海上保安庁 警備救難部 管理課 船舶係長
〃	茅島 正毅	海上保安庁 装備技術部 船舶課 船舶維持対策官
〃	大橋 訓英	海上保安庁 装備技術部 船舶課 船舶工務官
〃	(田中 信行)	
〃	松澤攝津男	高階救命器具(株) 顧問 (元海上保安庁装備技術部長)
〃	永海 義博	ヤマハ発動機(株) 舟艇事業部 製品開発室長
〃	入江 泰雄	三井造船(株) 船舶・艦艇事業本部 基本設計部長
〃	中西 育二	三井造船(株) 艦船・特機営業部 部長代理
〃	山下 進	三井造船(株) 船舶・艦艇事業本部 基本設計部 課長
〃	松村 竹実	三井造船(株) 船舶・艦艇事業本部 基本設計部 課長
〃	島田 潔	(株)三井造船昭島研究所 事業統括部 プロジェクトマネージャー
事務局	工藤 栄介	海洋政策研究財団 常務理事
〃	田上 英正	海洋政策研究財団 海技研究グループ グループ長
〃	(仙頭 達也)	
〃	佐伯 誠治	海洋政策研究財団 海技研究グループ グループ長
〃	(瀬部 充一)	
〃	玉眞 洋	海洋政策研究財団 海技研究グループ 調査役
〃	三木 憲次郎	海洋政策研究財団 海技研究グループ グループ長代理 兼 海技研究グループ 技術開発チーム チーム長

注：() 内は前任者

目 次

1. 事業の目的	1
2. 研究開発目標	1
2.1. 開発目標の設定と背景	1
2.2. 目標波高に対する考え方	2
3. 現状の船尾降下揚収システムの問題点と課題解決	
3.1. 問題点の解決に至る思考展開	3
3.2. 研究開発概要	5
3.3. 研究開発フロー	6
3.4. 次世代船尾降下揚収システムの基本コンセプト	6
4. ドライドック式船尾降下揚収システム	
4.1. 基本コンセプト	8
4.1.1. ドック構造	8
4.1.2. ウィンチ揚収方式とベルトコンベア方式	10
4.2. 船尾形状の研究開発	11
4.2.1. ストリップ法による運動計算と船尾相対水位変動	11
4.2.2. 波浪中CFDによる船尾流場評価	13
4.2.3. 実用型船尾形状	15
4.3. 大型模型水槽試験	16
4.3.1. 模型及び実験装置の概要	16
4.3.2. 母船運動、船尾流場計測実験、及び搭載艇降下揚収実験	21
4.4. ウィンチ揚収方式に関する洋上実船実験	29
4.4.1. 母船・搭載艇間の索受渡し洋上検証実験	29
4.4.2. 索を利用した新揚収方式の洋上検証実験	34
4.5. 試設計	43
4.5.1. 基本仕様と船尾揚収装置図	43
4.5.2. 降下揚収作業手順（作業人員数と作業時間）	50
4.6. 今後の検討課題	52
5. 導水管式船尾降下揚収システム	
5.1. 基本コンセプト	53
5.1.1. ドライドック式コンセプトの速力限界	53
5.1.2. 導水管式コンセプトの基本原理	53
5.2. 基礎実験	53
5.2.1. 模型および実験装置の概要	53
5.2.2. 平水中および規則波中実験	58
5.2.3. 不規則波中および過渡水波中実験	67
5.3. 船尾流速分布計測実験	74
5.3.1. 導水管式実用インレットの配置、サイズ、及び形状の検討	74
5.3.2. 模型及び実験装置の概要	74

5.3.3.	船尾流速分布計測実験	76
5.3.4.	取水効率の算定	79
5.4.	試設計	81
5.4.1.	3次元イメージと取水口開閉機構	81
5.4.2.	降下揚収作業手順（作業人員数と作業時間）	84
5.5.	今後の検討課題	85
6.	開発達成度および結論	86
7.	参考文献	89
	付録	

1. 事業の目的

船舶及び海上における人命の安全を確保する上で、最終手段としての救命艇、他船救助に向かうための救助艇の重要性については、従来から認識されていたところであり、救命艇・救助艇の安全性・堪航性はもとより、迅速かつ安全に降下・揚収できることが非常に重要な要素となっている。

救命艇・救助艇の構造、性能等については、過去の海難事例等を踏まえ改善が図られてきており、「海上における人命の安全のための国際条約」においても詳細な要件が定められている。

しかし一方、救命艇・救助艇を降下・揚収する装置については、近年になってフリーフォール型の装置の開発がなされたものの、迅速・安全に降下・揚収するためのシステムについては未だ確固たるものは開発されておらず、多方面において改善が求められている。

この事例に示されるように、現在多くの商船において採用されている舷側ダビットによる救命艇進水装置は、海難が発生するような荒天下では所期の目的を十分に果たしているとは言い難く、より安全で迅速かつ確実に降下が可能な「救命艇降下システム」の開発が望まれている。

例えば、海上保安庁においては、高速で浅海域を航行できる小型搭載艇が、その特徴を生かして警備救難業務に活用されているが、現状多く採用されているミランダ型ダビットでは、通常海象時も母船本船を停止させ、6～8人の作業員を要して降下・揚収を行う必要がある。さらに、荒天下での警備救難作業時には、さらにそれ以上の制約があるため、降下時間の短縮、降下作業人員の少人数化の改善が強く求められている。

また、舷側降下型のダビットによる降下の場合には、ダビット本体や索の強度、母船との相互関係から、数ノットを超える行き足が着いた状態で搭載艇を降下させることは困難であり、この点では船尾降下型システムの方が優れている。

このため、本研究開発は航行中の母船からも搭載艇を安全、迅速、確実、更に少人数で進水できるシステムを開発し、現時点ではごく一部の船舶にしか採用されていない「船尾降下揚収システム」の多目的利用への普及を目指し、一般商船の救命システムの高度化、巡視船等の搭載艇業務効率化・高度化に資することを目的とする。

2. 研究開発目標

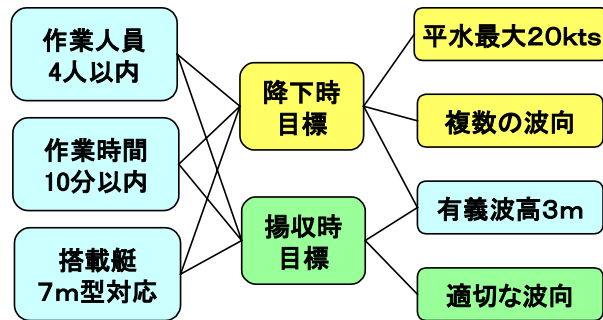
2.1. 開発目標の設定と背景

研究開発目標は、現在、海上保安庁で採用されているミランダ式ダビットと呼ばれる船側での搭載艇降下揚収システム、及び、改1000トンの巡視船「えりも（旧おじか）」の船尾ドック式船尾降下揚収システムを超える、搭載艇の航行能力限界までの海象下で、より容易、かつ、より短時間の作業で降下揚収が可能なドック式船尾降下揚収システムを開発目標とする。具体的には以下のとおりとする。図2.1.1に図解を示す。

- 母船の速力を低下させることなく最大船速（平水中20ノット）で降下可能
- 複数の波向きで降下可能、かつ、波高3mの海象下で降下・揚収可能
- 作業人員4人以内（指揮者1名、降下揚収作業員2名、船尾扉等操作員1名）
- 作業時間10分以内（ミランダ式ダビットの作業時間の半分以下）

救難等においては一刻も早い対応が望ましく、特に搭載艇の降下に関してはより迅速な対応が必要なことから、母船の最大船速のまま降下することを目標とした。さらに、母船の針路をできるだけ変えることなく搭載艇を降下させるために、複数の波向きに対処できることを目標としている。一方、揚収については、降下より困難であ

るが、降下時ほどの迅速性が要求されないことから、少なくとも一つの波向きで対処可能とすることを目標とした。但し波高については、7 m型警備救難艇の航行限界の波高3 mまでは降下・揚収ともに可能とするため、有義波高3 mを目標としている。ちなみに有義波高3 mは日本近海の年平均波高累積頻度約80%に相当する。なお、ミランダ式ダビットについては、波高2 m～3 mまでが限界であり、波向きは、波を船体で防ぐようにするため、横波としている。



(黄色：降下時目標 緑色：揚収時目標 水色：降下揚収時共通目標)

図 2.1.1 開発目標の構成要素

なお、研究開発対象とする母船及び搭載艇は以下のとおり。

母船：改1000ト型と同程度の船舶（長さ91~94m 幅11~12m 深さ5~6m）

搭載艇：7 m型警備救難艇と同程度の船舶

：複合型救難艇

図 2.1.2 に改1000ト型巡視船「えりも（旧おじか）」を示す。



図 2.1.2 改1000ト型巡視船「えりも（旧おじか）」

2.2. 目標波高に対する考え方

海洋波は1つの卓越周期をもつ波のほかに、波高と位相の異なる種々の周期をもつ波が混在しているのが普通で、図 2.2.1 に示すような波面の時系列における極大値（半

波高) の出現頻度は概ねレーレー分布に従うとされる[1]。この場合、ある一定時間に計測された時系列における多数の波高のサンプルを大きいほうから順に並べなおすと図 2.2.2 に示すようになり、有義波高 $H_{1/3}$ は上位 1/3 のサンプルの平均として定義される。目視波高は概ね有義波高に相当すると言われてている[2]。

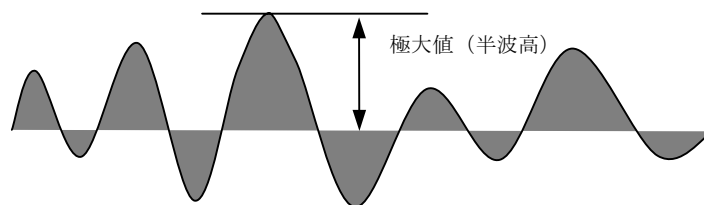


図 2.2.1 海面波高の時系列模式図

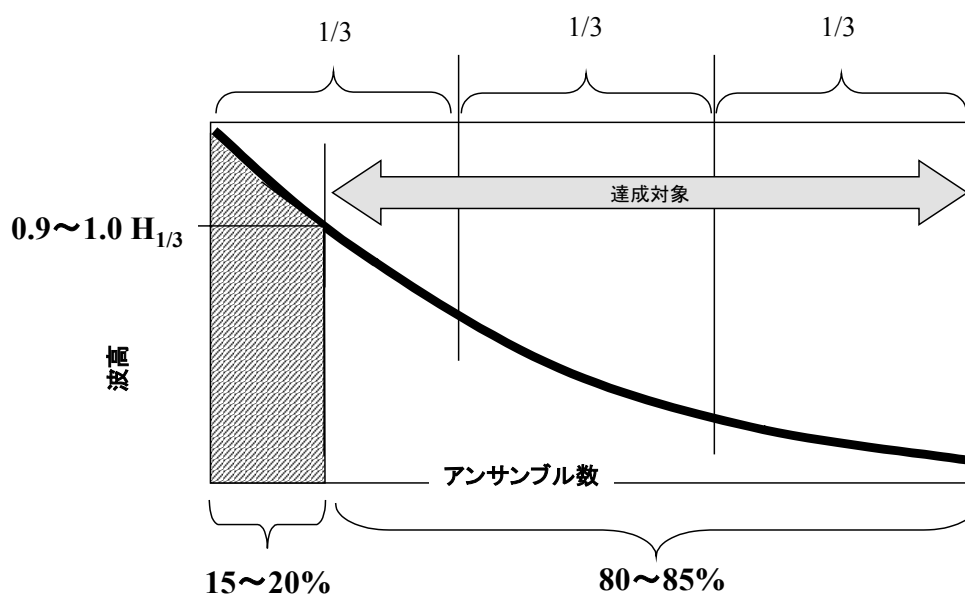


図 2.2.2 実海域における波高の分布と開発目標達成対象

前述のように、本研究開発で評価する波高は有義波高とし、その目標波高を 3 m と設定している。有義波高 3 m の海象では無論 3 m 以上の波も生じ得るが、実海域では乗員は目視により波高を判断し、個別の波高が 3 m 以下となるような波間を目安に降下揚収作業を実施する。これは統計的に言えば、図 2.2.2 に示すように、有義波高 3 m の海象下において 80~85% 程度の出現波高に対して降下揚収作業が対応できることを意味する。

3. 現状の船尾降下揚収システムの問題点と課題解決

3.1. 問題点の解決に至る思考展開

開発目標に対する問題・課題を要素に分解し、漠然とした問題の真因を明確にした上で要素毎に解決策を考案し、システムを整理・構築していく手法に思考展開図がある[3]。平成 15 年度に実施した実機調査により判明した現状問題点をもとに、開発目標と照らし合わせながら思考展開した結果を図 3.1.1 及び図 3.1.2 に示す。展開は、開発目標、実機調査、問題点、問題要因、要因対策指針、要素開発課題、そして具体作業という流れで示されている。

展開の結果を整理すると、問題要因は大きく、艀装品関連の不具合に起因する要因、波浪中における船尾相対水位変動に起因する要因、そして高速走行時の船尾死水域に起因する要因の3つに整理されることが解る。以下に問題点のポイントと対策指針の相互関係を掲げておく。

- ① 艀装品の設置及び運用面上の不具合
 - ・ 揚収時の曳航方法が最適ではなく、揚収中の搭載艇姿勢が不安定
→ 曳航索の接続位置や曳航方法自体に工夫が必要
→ 曳航索を不要とした揚収方法の開発が必要
- ② 波浪中における船尾相対水位変動
 - ・ 揚収時にドック下端が水面上に露出したり、海水が打ち込むと揚収困難
→ 母船の船尾形状に工夫が必要
- ③ 高速走行時の船尾死水域
 - ・ 母船船尾直後で急に死水域に入り船尾波も隆起するため搭載艇操船困難
→ 母船の船尾形状に工夫が必要
→ ドック内に強制水流を発生させる工夫が必要

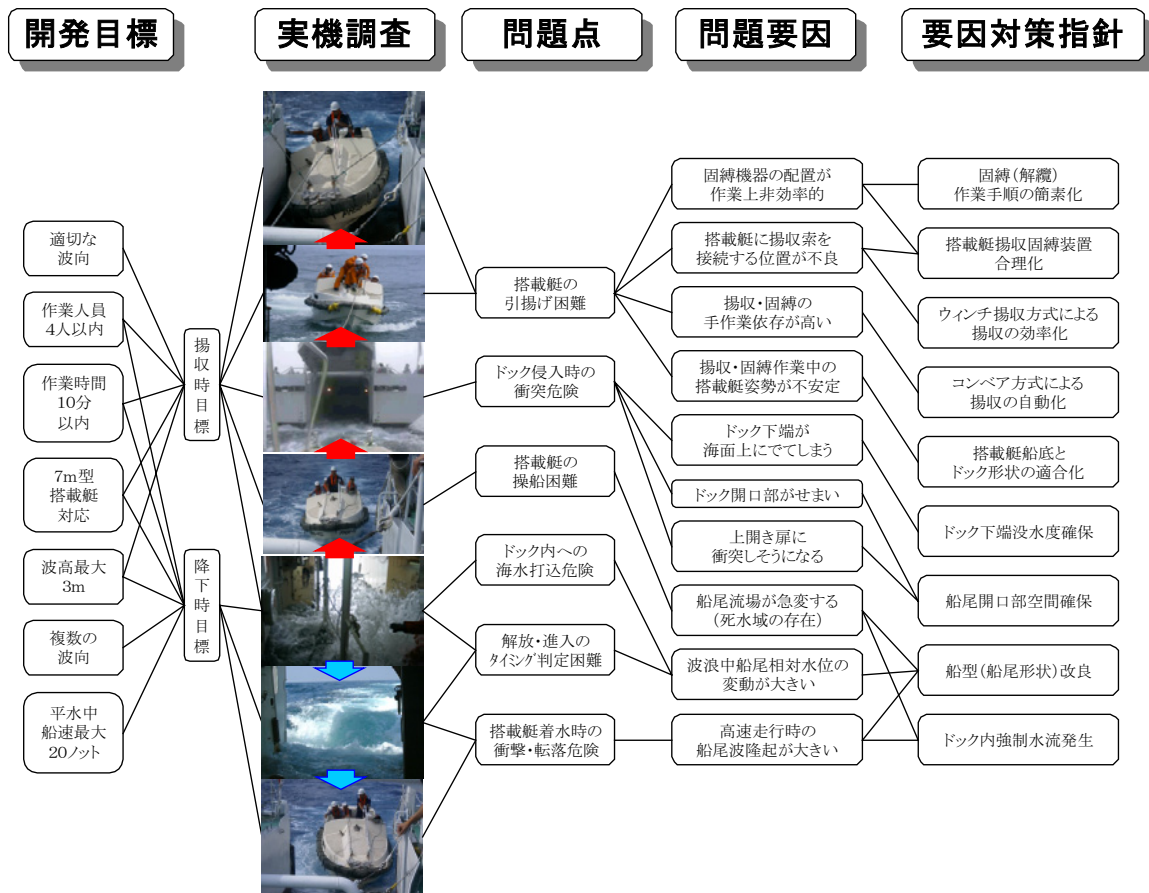


図 3.1.1 思考展開図 (その1)

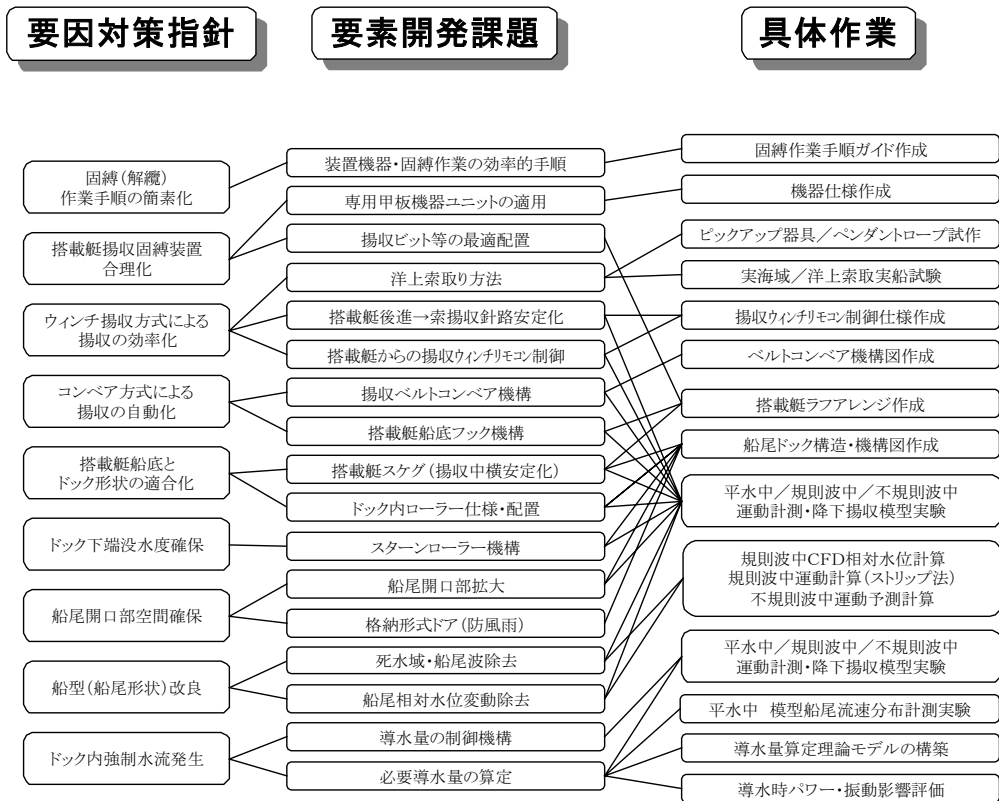


図 3.1.2 思考展開図 (その2)

3.2. 研究開発概要

平成15年度では、現状の船尾降下揚収システムの調査と課題抽出を実施し、基礎実験や数値計算による船尾流場調査、ならびに各種揚収方式の検討・評価を実施した。開発目標のひとつにある高速域での降下揚収を実現するためには、船尾造波隆起の低減や波浪中の相対水位変動抑制が重要な課題となる。

これを実現するために、種々の方式を検討した結果、

- ① 船尾形状を改良した上で、スリップウェイ構造を主としたドライドック式の船尾降下揚収システムとする方法、および、
- ② 現「えりも」のウェットドック式の利点を高速域においても実現することを目指す導水管式のシステムとする方法

以上2方式が有効な選択肢として絞り込まれた。以下に実施概要項目を掲げる。

- | | |
|-------------------|-----------------|
| (1) 現状システムの把握 | …巡視船「えりも」の現状調査 |
| (2) 次世代システムの方向性検討 | …課題リストアップ |
| (3) 次世代システムの概略検討 | …各種揚収機構案の概略評価 |
| (4) 基礎試験及び試験結果の評価 | …船尾形状と船尾波の関係等把握 |
| (5) 次世代システムの基本案選択 | …ドライドック式と導水管式 |
| (6) 船尾流場に関する数値解析 | …線形理論計算とCFD予備計算 |

平成16年度は前年度の研究調査結果を踏まえて、まずドライドック式の具体的な展開を行った。数値計算により実用型船尾形状を開発し、模型実験や実船試験を通してその性能限界を把握した。次に、導水管式の模型実験を通して、導水コンセプトの

有効性を確認し、ドライドック式の速力限界をさらに上回る研究開発を実施した。最終的には両方式の達成度を評価し、試設計を実施した。以下に実施概要項目を掲げる。

- (1) 次世代システムの開発要素分析・・・思考展開図による要素分析
- (2) 次世代システムの検討・・・ドライドック式構成検討
- (3) 船尾流場に関する数値解析・・・波浪中CFDと実用型船尾形状
- (4) 次世代システムの各種試験・・・ドライドック式模型試験・実船試験
- (5) 導水管式の水槽試験・・・導水管式模型試験・流場計測
- (6) 次世代システムの試設計・・・達成度評価と船尾部試設計

3.3. 研究開発フロー

平成15年度及び平成16年度の研究開発概要のフローチャートを図3.3.1に示す。

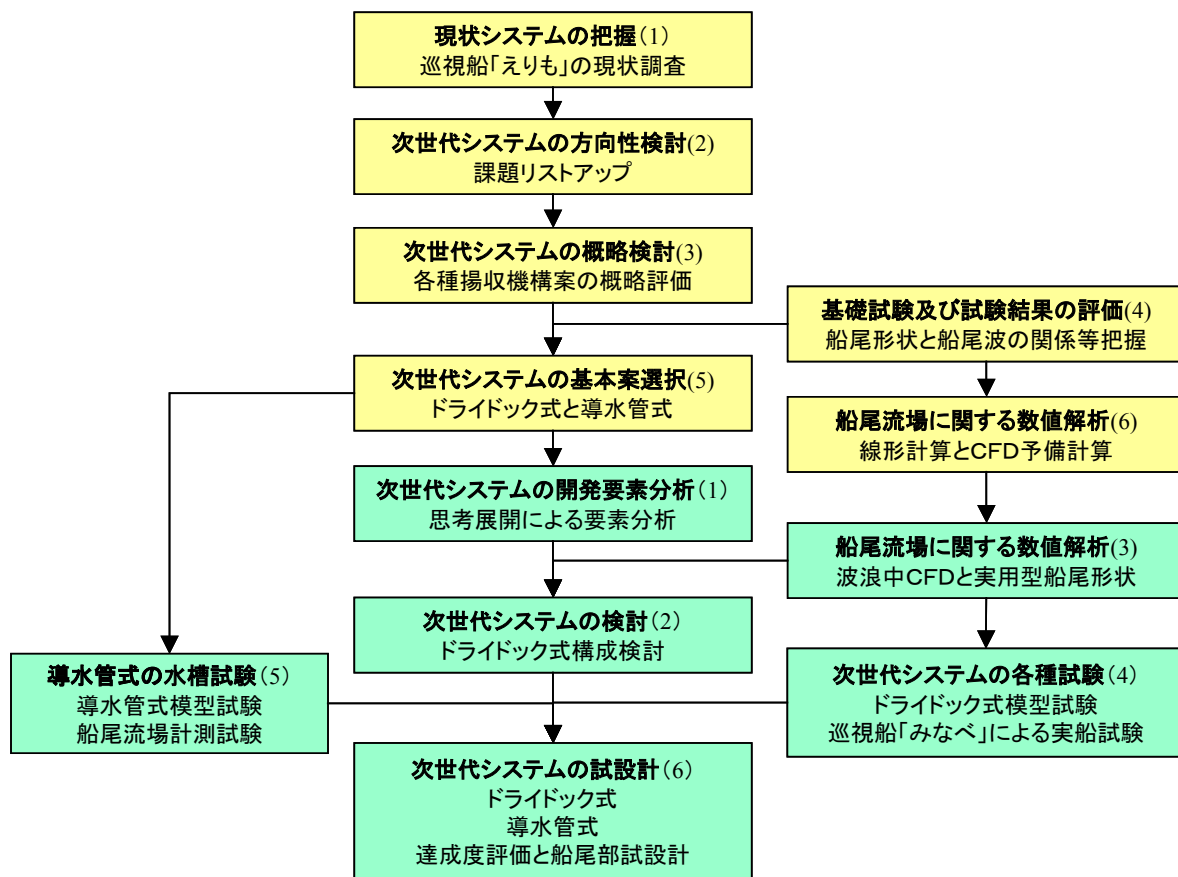


図 3.3.1 平成15年度及び16年度研究開発フロー（黄：15年度 緑：16年度）

3.4. 次世代船尾降下揚収システムの基本コンセプト

前年度の研究調査、及び今年度の思考展開を踏まえて、次世代船尾降下揚収システムの基本コンセプトはドライドック式と導水管式という2つのコンセプトに集約されている。前者はドックをスリップウェイ形式として水面から切り離し、波浪中でも搭載艇の安定揚収を目指すことを主眼としている。母船の船尾形状を工夫してある程度的高速域まで船尾波隆起を抑制し、波浪中船尾相対水位変動を小さくすることが主な技術課題となる。搭載艇をスリップウェイ上で揚収するには、ウインチもしくはコンベアにて揚収する方法の2種類を想定している。一方、後者はウェットドックを前提

としており、高速走行時における搭載艇の安定揚収を主眼としている。高速走行時の船尾波隆起を抑制するため、船体外板にリトラクタブルなインレットを設けてドック内に強制水流を引き込む仕組みだが、インレット開度を調整して降下・揚収に適切な流量にすることが主な技術課題となる。図 3.4.1 に両方式の概念図を示す。

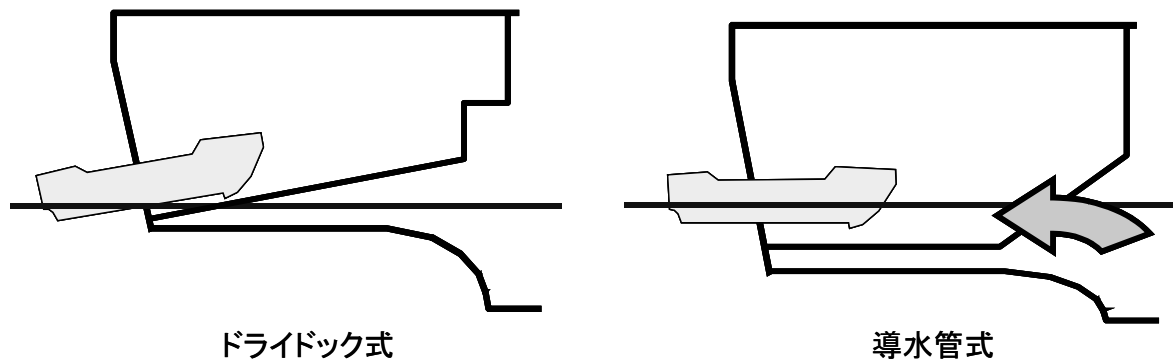


図 3.4.1 ドライドック式コンセプトと導水管式コンセプト

4. ドライドック式船尾降下揚収システム

4.1. 基本コンセプト

4.1.1. ドック構造

ドライドック式の場合、搭載艇がドックに侵入する時点では、ある程度ドックの下端が没水している必要があるが、搭載艇の舳先がドックに乗り上げた後は艇体をなるべく水際から引揚げて波浪等の影響を受けないようにしておく必要がある。そこで本コンセプトでは、閉囲区画におけるスリップウェイ構造を基本とし、スリップウェイ下端に搭載艇の乗り上げを支援するようなローラーを配置する。またドック平面形状は搭載艇侵入時の船首揺れにも対応できるようにある程度間口を広げた形状とする。通常スリップウェイ形式は暴露構造とすることが多いが、防風雨の観点からドックは風雨密閉区画とし、進入時には天井部が開く様式とする。以下にデザイン上の留意点を掲げておく。

- ・スリップウェイ傾斜角度は降下時の重力降下を考慮すると約12度以上となる。これは船底とスリップウェイ表面との静摩擦係数に依存するが、実績は高密度ポリエチレン (Ultra-Poly) によるものが多く、FRP との静摩擦係数は0.18~0.20である。
- ・スリップウェイ着底時の搭載艇横安定性を考慮すると概略14度以下となる。これは搭載艇船首船底がスリップウェイ表面に接触した時の艇体重量重心、船尾没水部の浮力浮心、及びメタセンタ位置の組み合わせから算出される。図4.1.1.1に横安定性の概念図と実際の計算図を掲げておく。

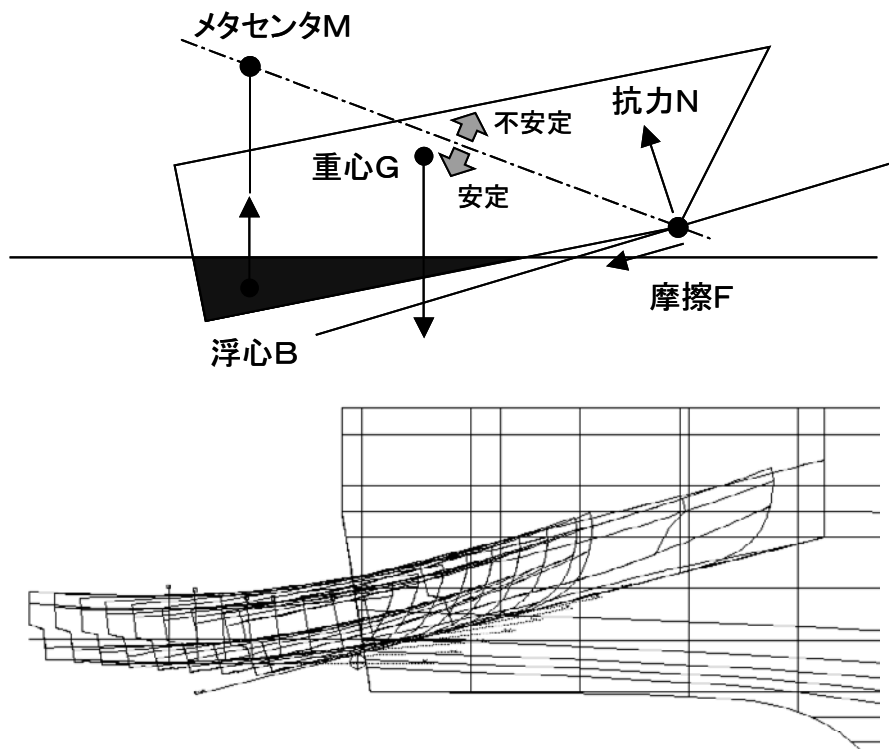


図 4.1.1.1 搭載艇乗り上げ時の横安定性検討図

- ・スリップウェイの実績は12~16度に主に分布する。とりわけ12~14度が比較的多いが上述の考察を裏付けるものと推察される。本研究でも12~14度を対象とする。表4.1.1.1に世界におけるスリップウェイの傾斜角実績[4]を示す。

表 4.1.1.1 世界における船尾スリップウェイ実績[4]

船名	建造年	船長	スリップウェイ傾斜
Justo Sierra	1999	74m	8度
Tornado	2000	55m	16~18度
Gordon Reid	1990	50m	15度
Jaguar	1998	43m	14度
Telkka	1999	49m	7度
Hammerhead	1998	26m	12度
Vormann Steffens	1989	28m	14度
KBV201	2001	52m	12度
みなべ	1998	56m	12度

- ・搭載艇が進入時に船首横揺れを起こすことを想定し、第1次行き過ぎ角が約10度であることを参考に、ドック平面形状（搭載艇進入口付近）を図4.1.1.2のように構成する。ドック入口側壁には縦置きローラーも配置する。結果的にドック後端開口幅は巡視船「えりも」の約7割増で計画される。

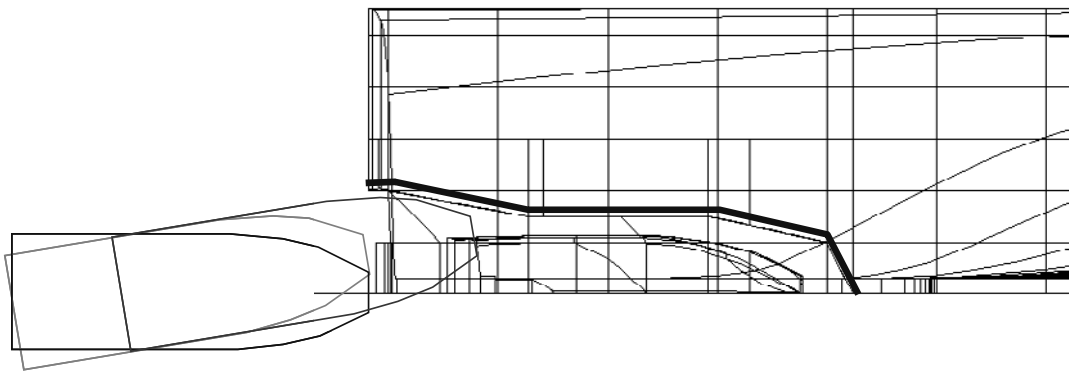


図 4.1.1.2 ドライドック平面形状

- ・乗り上げローラー機構は緩衝材を兼ねて、図4.1.1.3及び図4.1.1.4の様な要領にて設置する。これよりドック下端が浅没水度でも搭載艇揚収に対応できる構成とする。

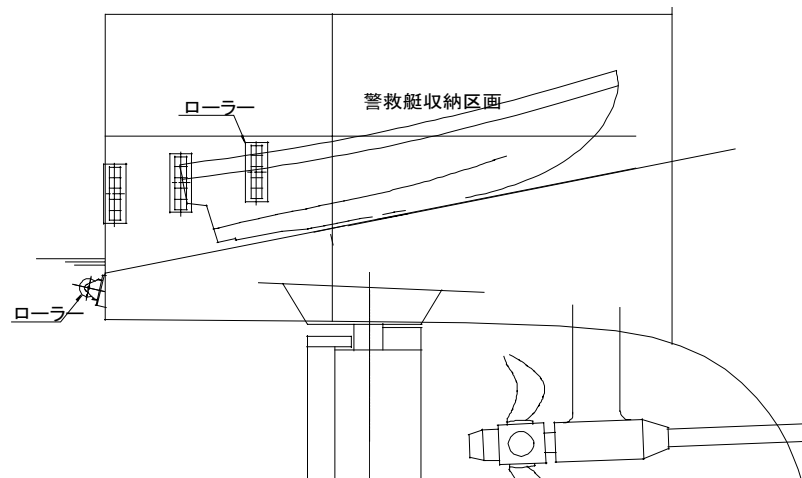


図 4.1.1.3 ドライドック構造とローラー配置

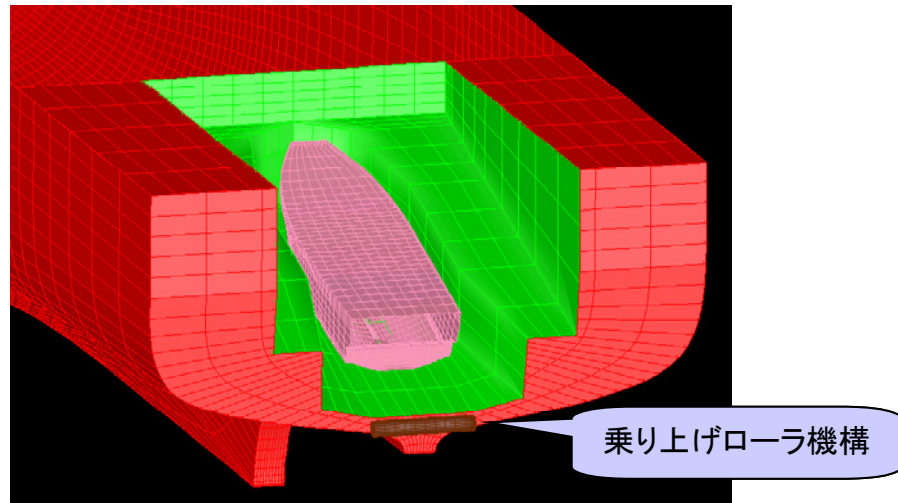


図 4.1.1.4 ドライドック構造と乗り上げローラー機構

4.1.2. ウィンチ揚収方式とベルトコンベア方式

搭載艇の揚収には2つの方式を考慮している。一つは洋上で揚収索に接続された搭載艇をウィンチにて巻き上げながら揚収する方式である。もう一つは揚収索の廃止を念頭においた方式で、ドライドック内にベルトコンベア機構を設け、そこに搭載艇が乗り上げて揚収される方式である。前者を揚収ウィンチ方式、後者をベルトコンベア方式と称す。

揚収ウィンチ方式では、搭載艇を安全かつ安定して揚収する仕組みとして図 4.1.2.1 に示すような構成を考える。すなわち、

- ① ペンダントロープを搭載艇先端に装備し、操舵室にて索のハンドリングが可能な構成とする。これよりペンダントロープと揚収索を操舵室にて安全に接続することが可能となる。また、搭載艇先端に張力が作用することになり、揚収中の搭載艇ヨー姿勢を安定させることができる。
- ② 揚収時に搭載艇のウォータジェット後進推力を併用する。これより揚収索の張力を安定させることが可能になる他、乗員がハンドル操作のみに集中できる。
- ③ ウィンチの揚収巻上げ速度をリモコン制御とすることにより、場合によっては搭載艇乗員自身が揚収巻上げ速度を制御できるようにする。

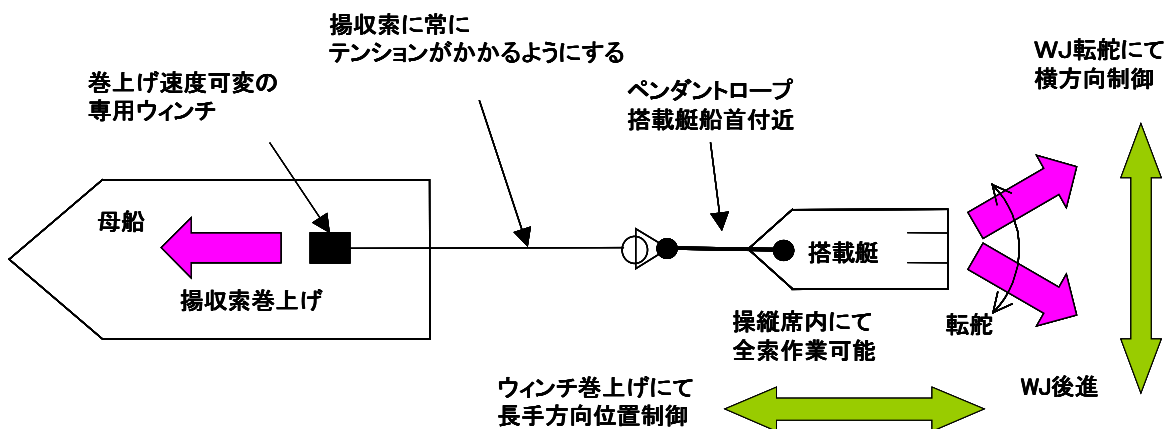


図 4.1.2.1 ウィンチ揚収方式コンセプト

一方、ベルトコンベア方式は、図 4.1.2.2 に示すようにドライドック内スリップウェイ上に設けたベルトコンベアに、搭載艇船首船底に設けたフック構造とかみ合わせることで、自動揚収を試みる方式である。

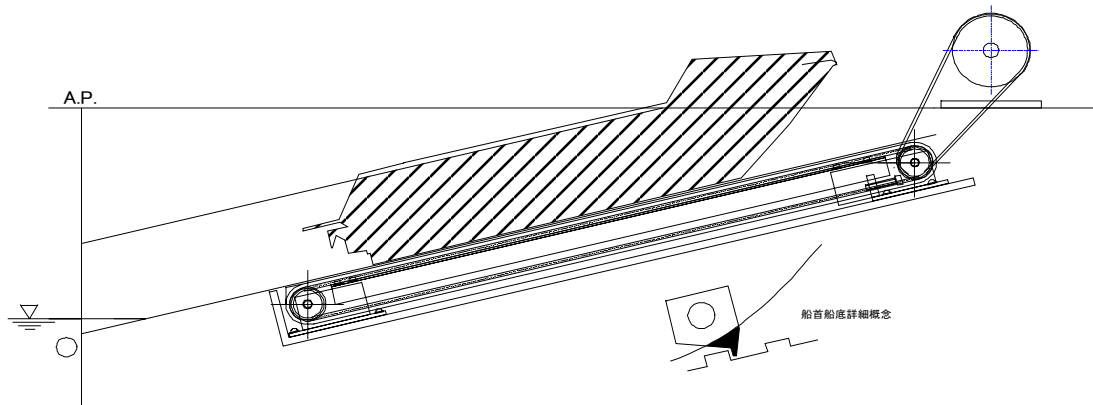


図 4.1.2.2 ベルトコンベア方式コンセプト

なお、ウィンチ揚収方式とベルトコンベア方式のどちらにおいても、搭載艇がスリップウェイを登りきった状態で横安定性を確保する必要がある。ドックの底面形状と搭載艇船底形状がミスマッチしているのが原因だが、搭載艇船底形状は 3 次元的な曲面で構成されているため、本研究では搭載艇船尾船底に図 4.1.2.3 に示すようなスケグ的なものを 2 個設けることを考慮する。

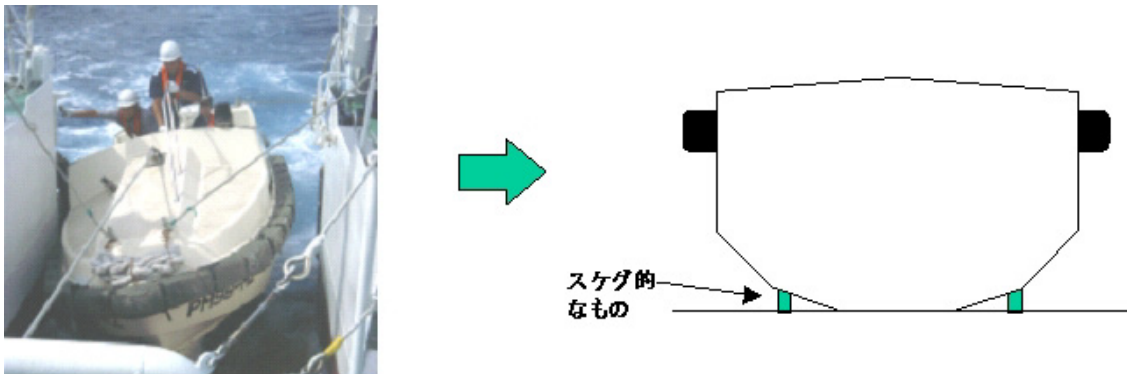


図 4.1.2.3 搭載艇船尾部船底形状

4.2. 船尾形状の研究開発

4.2.1. ストリップ法による運動計算と船尾相対水位変動

ドライドック式では、波浪中船尾相対水位変動の少ない船型を開発することがひとつの重要な課題となる。相対水位変動の推定にはストリップ法による計算が適用可能だが、ヒープやピッチ等の運動に関しては実用的な精度で推定可能であっても、船尾の相対水位変動となると、定量的にも定性的にも若干の問題がある。特に高速域において乖離が著しくなる。例えば、図 4.2.1.1 に昨年度研究を実施した「えりも」船型と「改 2」船型の外観図を示すが、これらの各船型を対象としたストリップ法による線形運動計算と模型試験結果は、図 4.2.1.2 及び図 4.2.1.3 に示すように、ヒープやピッチに関しては良好な一致を示すが、船尾相対水位変動に関しては一致度が良くない。

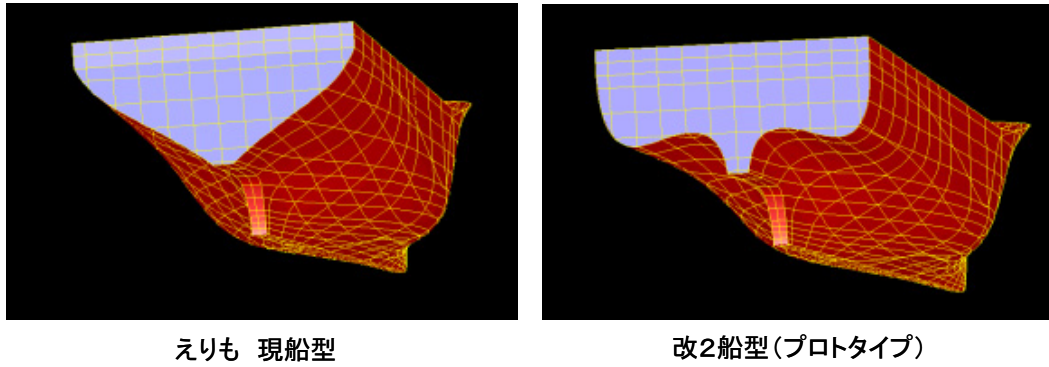


図 4.2.1.1 「えりも」現船型と「改2」船型

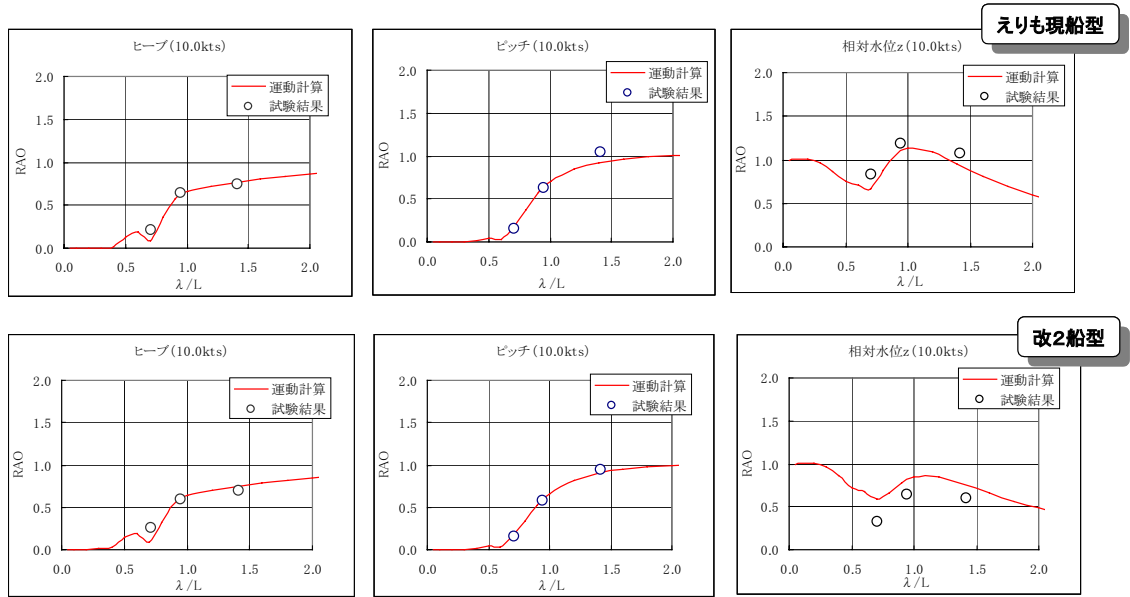


図 4.2.1.2 「えりも」現船型と「改2」船型における運動計算と模型試験結果 (10kts)

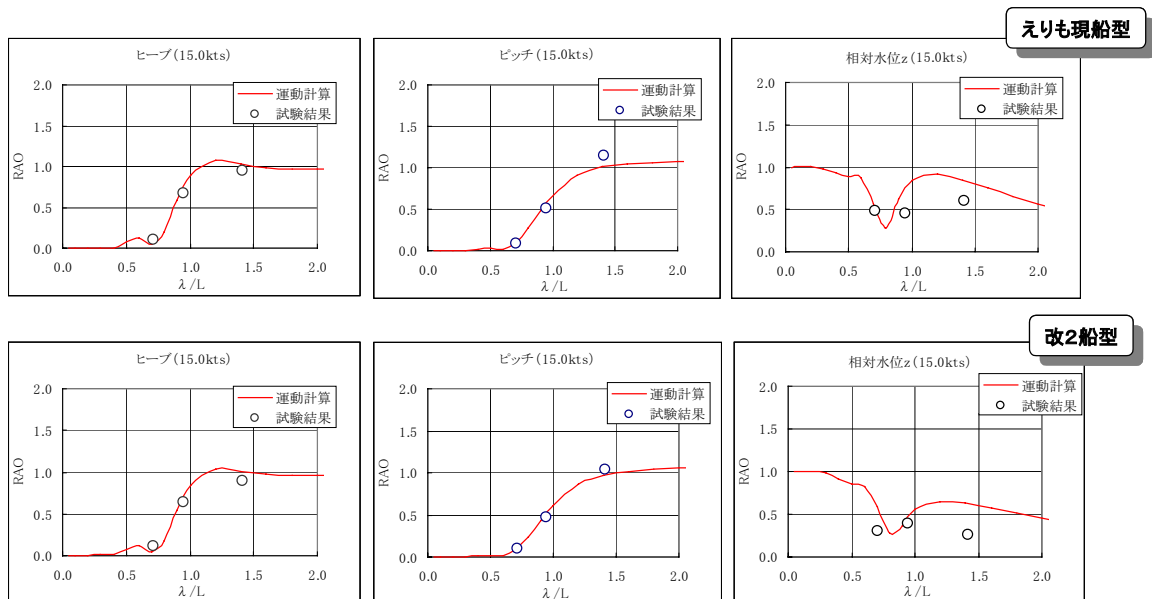


図 4.2.1.3 「えりも」現船型と「改2」船型における運動計算と模型試験結果 (15kts)

原因の一つとして、位相差による運動パターンの変化以外に、動的水位変動や船体の排除流影響を考慮する必要があると考えられる。特に船尾トランサムスターン直後の水位変動は、船体自身の造波影響や船体による対波浪遮蔽影響が顕著に現れると考えられ、高速域における波浪中船尾相対水位変動の評価は、CFD のような非線形数値計算が必要と考えられる。

4.2.2. 波浪中CFDによる船尾流場評価

このような課題に対処する計算手法として、本研究では耐航性検討に利用される特殊な CFD 解析技術を利用する。これは予め線形計算による規則波中船体運動応答が強制的に入力された流場を、CIP法(Constrained Interpolation Profile)にもとづく離散化により数値的に解く手法である[5]。水、空気、船体が2種類の密度関数によって表現されるのが特徴で、従来の中流中における流場解析を主目的とした CFD と比べると精度的な面では劣るが、波浪中における定性的評価には効果的な手法と言える。図 4.2.2.1 に検討手法の概要フローを示す。

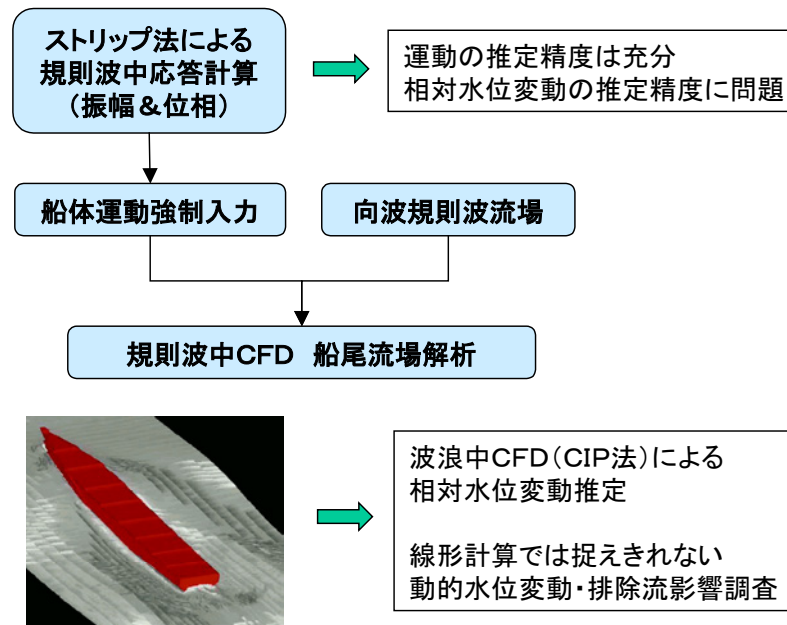


図 4.2.2.1 規則波中 CFD の検討フロー

検討には既存コードを流用したが、計算結果に対する妥当性評価が別途必要なため、極端に船尾形状の異なる現船型「えりも」とプロトタイプ船型「改2」に対し数値解析を実施し、昨年度実施された水槽試験結果と照らし合わせながらその妥当性を検証している。

図 4.2.2.2 にトランサム船尾から後方各位置における船尾相対水位変動応答(フーリエ1次成分)の実験結果と波浪中 CFD 計算結果との比較を示す。計算は船速 15 ノット及び波長船長比約 1.4 を対象としている。なお、CFD 計算結果には「えりも」船型をタイプシップとした補正を施している。船尾没水度が「えりも」と比べて相対的に浅く、幅の広い船尾形状をもつ「改2」船型は、全体的に船尾相対水位変動が少ないことが CFD 計算でも示されており、計算と実験結果の一致度も良好である。

また、図 4.2.2.3 には各船型の船尾端における応答関数をストリップ法の計算結果と比較している。ストリップ法の計算結果が実験結果に対して過大な応答値を与えるのに対し、波浪中 CFD 計算結果は適切な値となっている。船体自身の造波や船体による対波浪遮蔽が波浪中 CFD では考慮されることが主な理由と考えられる。

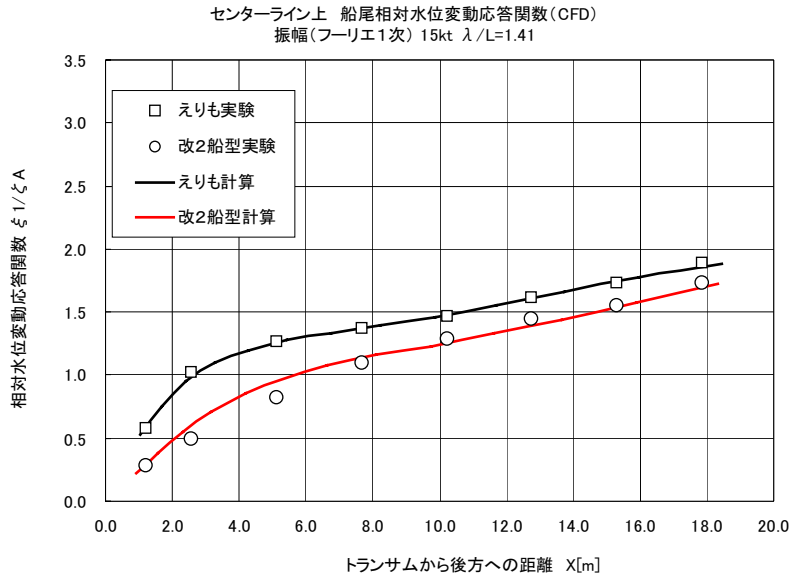


図 4.2.2.2 波浪中 CFD 計算による船尾相対水位変動応答値と実験値

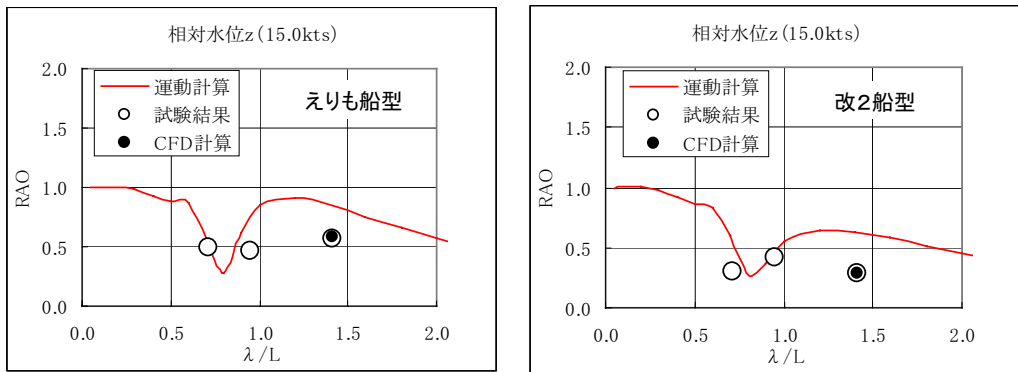


図 4.2.2.3 船尾相対水位変動値 (ストリップ法計算値、CFD 計算値、及び実験値)

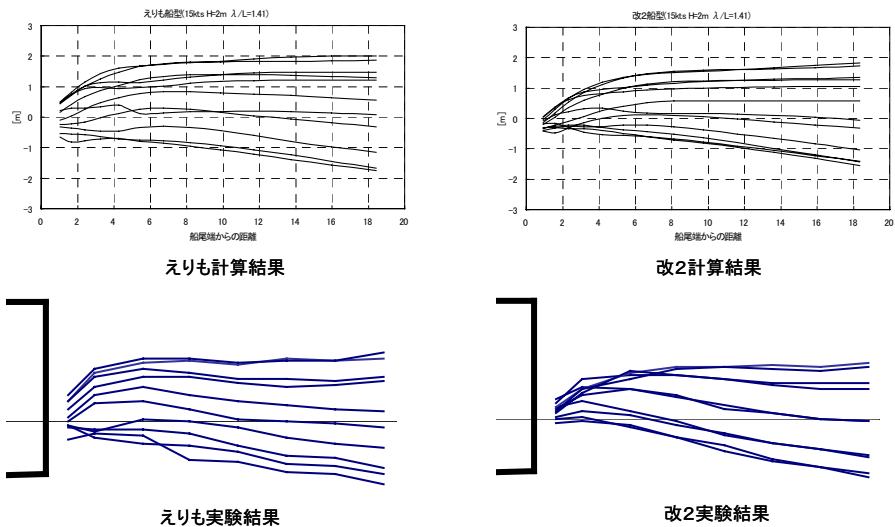


図 4.2.2.4 波浪中船尾波プロフィール (上段: 計算・下段: 実験)
参考までに図 4.2.2.4 に、波浪中における船尾波プロフィールの様子を「えりも」と

「改2」の両船型につきそれぞれ CFD 計算と実験で比較した図を示す。計算でも実験でも「改2」船型の方が船尾端付近で水面変動の少ないことが的確に示されている。

本波浪中 CFD 計算結果は、ストリップ法では捉えることの難しい排除流影響を捉えていると考えられる。計算精度が比較的良好なのは、「えりも」をタイプシップとした計算値補正に負う面もあるが、船尾端付近における船尾波変動の船型差が表現されており、定性的な評価手法としては充分実用的なレベルにあると考えられる。

4.2.3. 実用型船尾形状

昨年度に考案した「改2」船型は、横切面積曲線を「えりも」船型と同一にし、船尾を極端に浅く広くして、以下の効果を狙ったものである。

- ① 高速走航時に船尾船底下端からの造波を抑え、船尾波隆起を抑制
- ② 向波中に船尾直後に入射してくる波浪を遮蔽し、船尾相対水位変動を抑制

基本的には波浪中 CFD 計算の検証材料という目的を持った特異な船型ではあるが、実用面から言えば、追い波中のパンチング現象などが懸念される。

そこでドライドック式コンセプトに適した実用型船尾形状は「改2」の特徴を踏襲しつつ実績範疇にあるデッドライズを有した船型にすることが考えられる。図 4.2.3.1 に示す実用型船型「改3」は海上保安庁巡視船「でじま」の船尾形状を参考にデッドライズを約9度に設定しており、「改2」の特徴も踏襲するように開発した船型である。

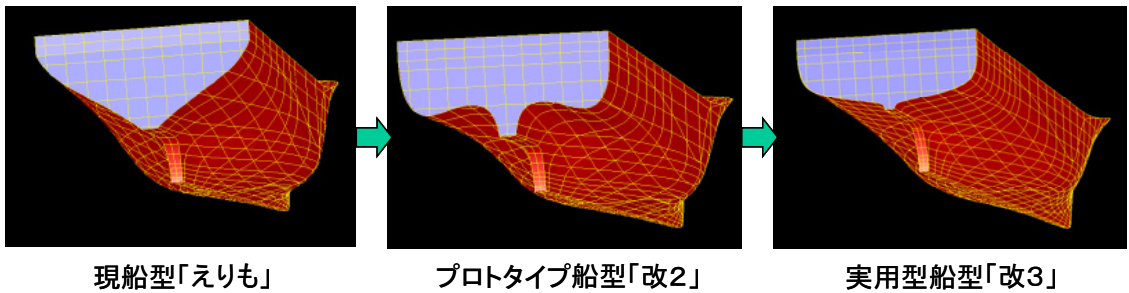


図 4.2.3.1 現船「えりも」、プロトタイプ「改2」、実用型「改3」の船尾形状

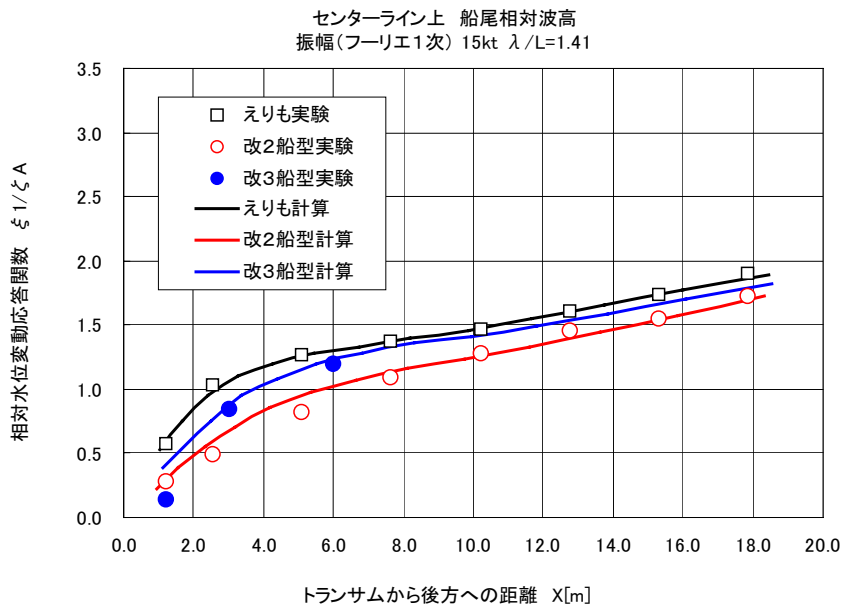


図 4.2.3.2 各船型（「えりも」、「改2」、「改3」）の船尾相対水位応答値

図 4.2.3.2 に「改 3」船型のトランサム船尾から後方各位置における船尾相対水位変動応答（フーリエ 1 次成分）の波浪中 CFD 計算結果と実験結果（本年度実施した模型試験にて計測）を示す。計算は船速 15 ノット及び波長船長比約 1.4 を対象としている。図には「えりも」及び「改 2」の計算結果と実験結果も併せて図示している。「改 3」船型の応答値は船尾端付近では「改 2」船型に近く、遠方後方では「えりも」船型に近い。ドライドック式コンセプトに適した実用型船尾形状といえる。図 4.2.3.3 に改善点の骨子をまとめたポイントを示しておく。

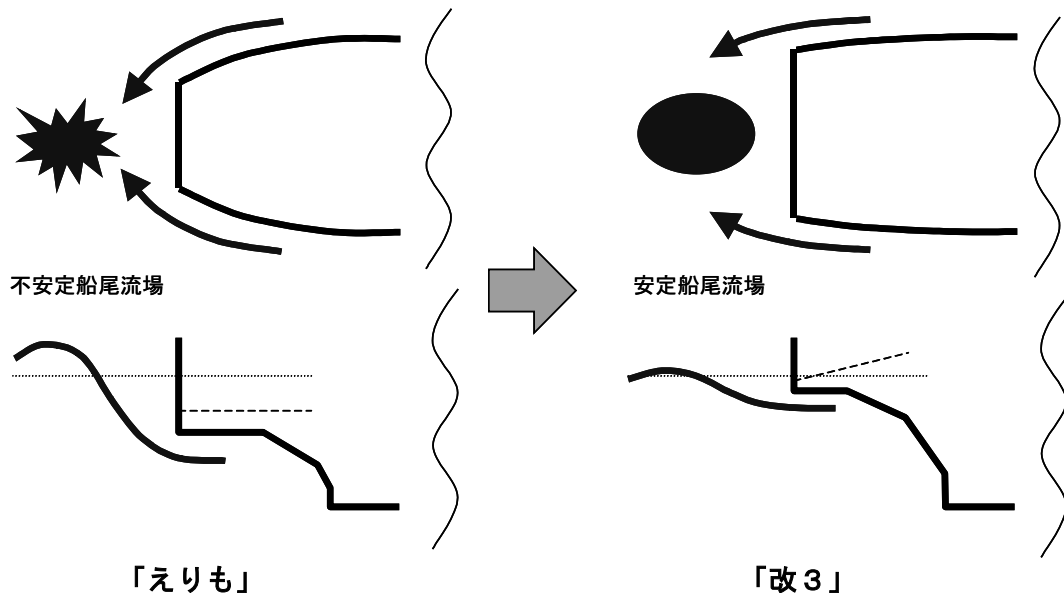


図 4.2.3.3 実用型船尾形状の改善ポイント

4.3. 大型模型水槽試験

4.3.1. 模型及び実験装置の概要

ドライドック式コンセプトの実現性を確認することを目的として、縮尺模型による水槽試験を実施した。母船は実用型船尾形状をもつ「改 3」とし、プロペラによるシップポイントでの自航推進とした。また、搭載艇は市販のラジコン模型を改造して作成したウォータージェット推進艇である。実施した試験は主に以下の 2 種である。

- ① 母船運動・船尾流場計測試験：平水中／規／不規則波中の母船各種応答の計測
- ② 降下揚収試験：平水中／規／不規則波中において搭載艇降下揚収試験を実施

なお、揚収方式に関しては以下の 2 つの要領にて試験を実施した。

- ① ウインチ揚収方式：収容状態の搭載艇と母船の結合を断ち、重力によって搭載艇を降下。ワイヤで母船と結合された搭載艇をウインチで揚収。ワイヤのたるみを避けるため、必要があれば搭載艇の推力を後進方向に掛けた。母船よりドック後方と搭載艇より前方のカメラ映像を取得した。
- ② ベルトコンベア方式：搭載艇が収容された状態からコンベアを作動させ、搭載艇を降下させた。次にコンベアを作動状態にしておき、ラジコン操作によって搭載艇をドックに入れ揚収した。

供試模型の概要は以下の通り。

- ① 母船：供試模型はパラフィン製による縮尺 1/12 の模型船である。船型は実用型船尾形状「改3」で、主要目を以下に示す。なお船尾端ローラーには約 1mm（模型スケール）のクッション材を巻いている。概略図を図 4.3.1.1 に、ドック形状図を図 4.3.1.2 及び図 4.3.1.3 に、一連の写真を図 4.3.1.4 に示す。

- ・縮尺 : 1/12
- ・長さ：約 7.1m
- ・付加物：ポッシングブラケット、舵（2 舵）、プロペラ（2 軸）、船尾端ローラー
- ・ドック：傾斜角度 14 度、底面および側面の材質はテフロン（静摩擦係数 0.12）

- ② 搭載艇：供試模型は市販のラジコン模型を改造して作成したものである。主要目を以下に示す。概略図を図 4.3.1.5 に、実際の 7m 型警備救難艇との外形比較を図 4.3.1.6 に、一連の写真を図 4.3.1.7 に示す。

- ・縮尺 : 1/12
- ・長さ：約 0.73m
- ・付加物：ウォータージェット（2 基）、フィン（2 条）、船首フック（コンベア時）

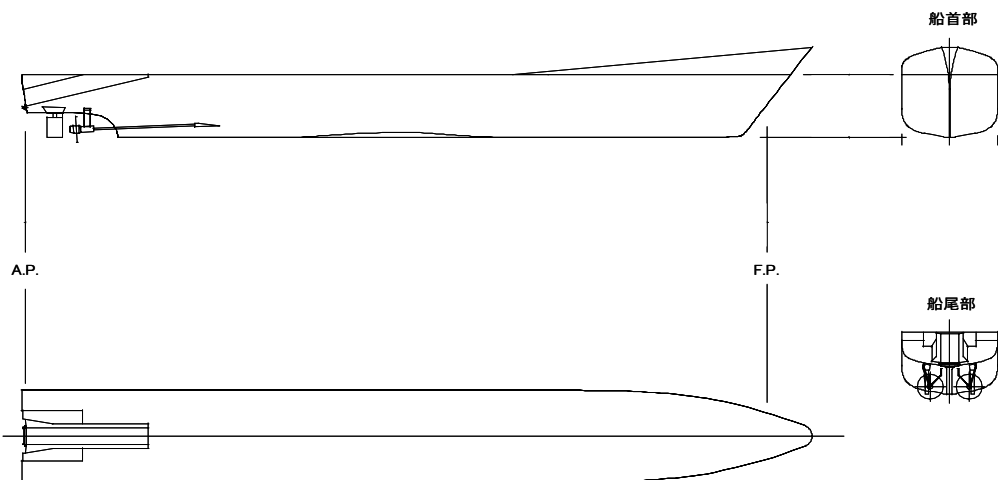


図 4.3.1.1 母船供試模型概略図（実機スケール寸法）

試験を実施した水槽の概要は以下に示すとおりである。

- ・大水槽：長さ 210m×幅 14m×深さ 6.5m×水深 6.0m
- ・造波機：フラップ式油圧駆動，最大波高 30cm，波周期 0.8～3.0 秒

供試模型を波浪中運動計測装置のロッドを介して前後に 2 本のバネで保持し、サージ、ヒープ、ロールおよびピッチの運動を拘束しないように計測を行った。また、本計測はシップポイントで実施しており、模型と実機の抵抗の差分に相当するカウンターウェイトを装置の前方へ掛けた状態で模型がサージ方向にほぼバランスするようにプロペラ回転数を設定した。なお、曳引車の始動および停止時のクランプとして模型の前後にスプリングを介したウインチを設置している。

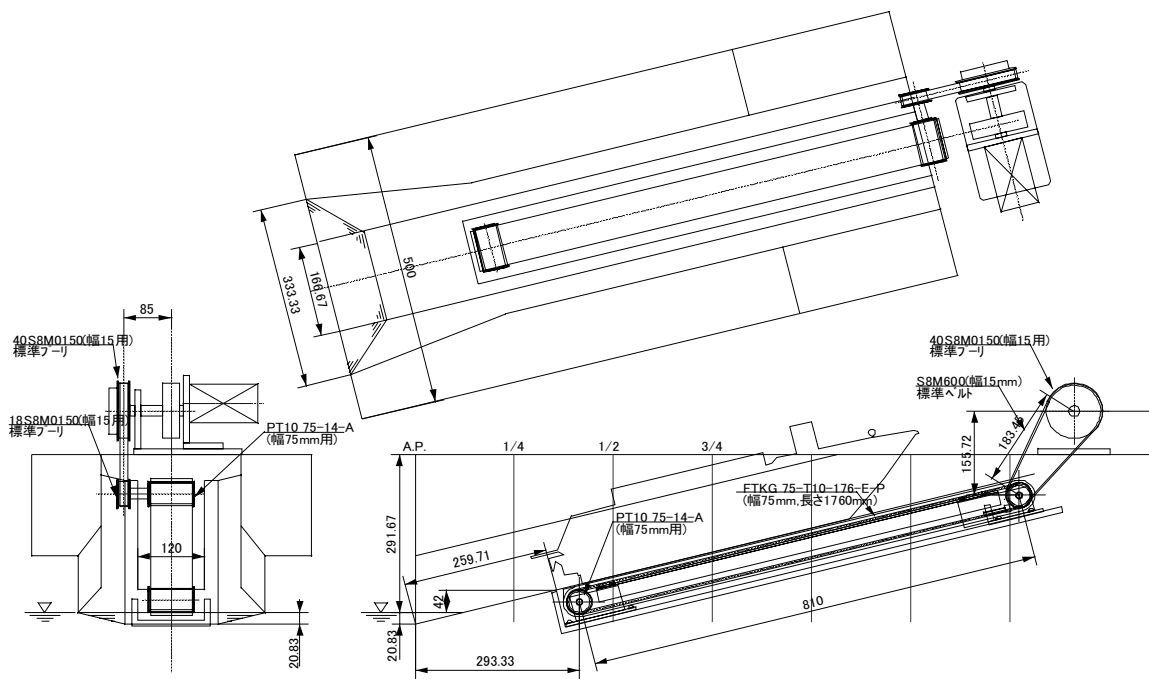


図 4.3.1.2 ベルトコンベア方式ドック模型構造 (模型スケール寸法)

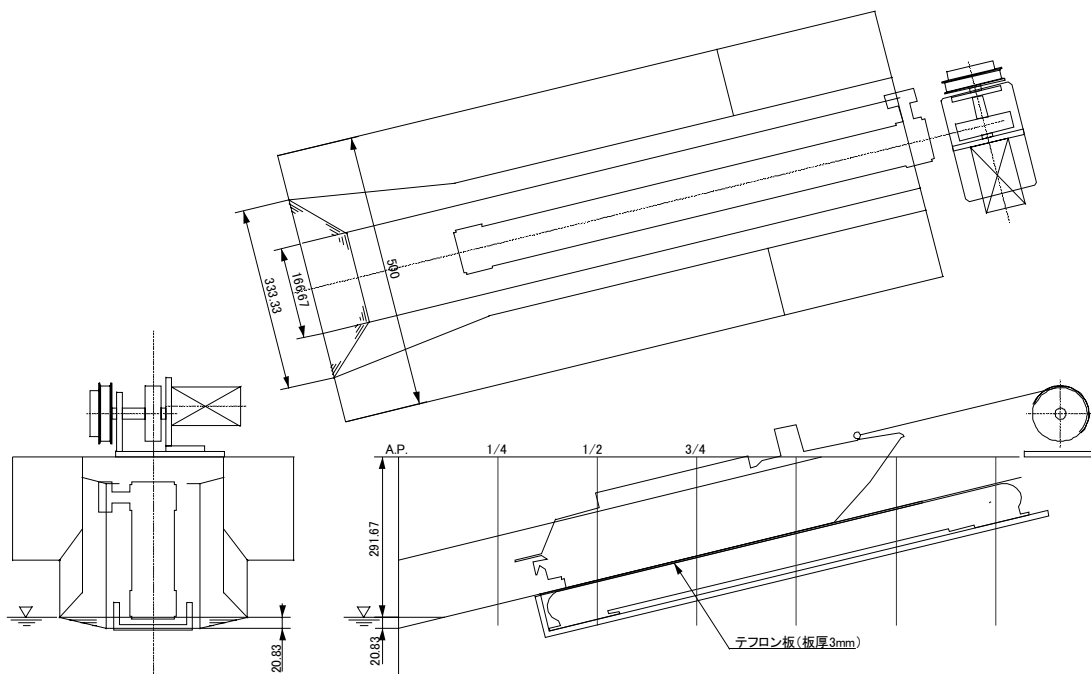


図 4.3.1.3 ウインチ揚収方式ドック模型構造 (模型スケール寸法)

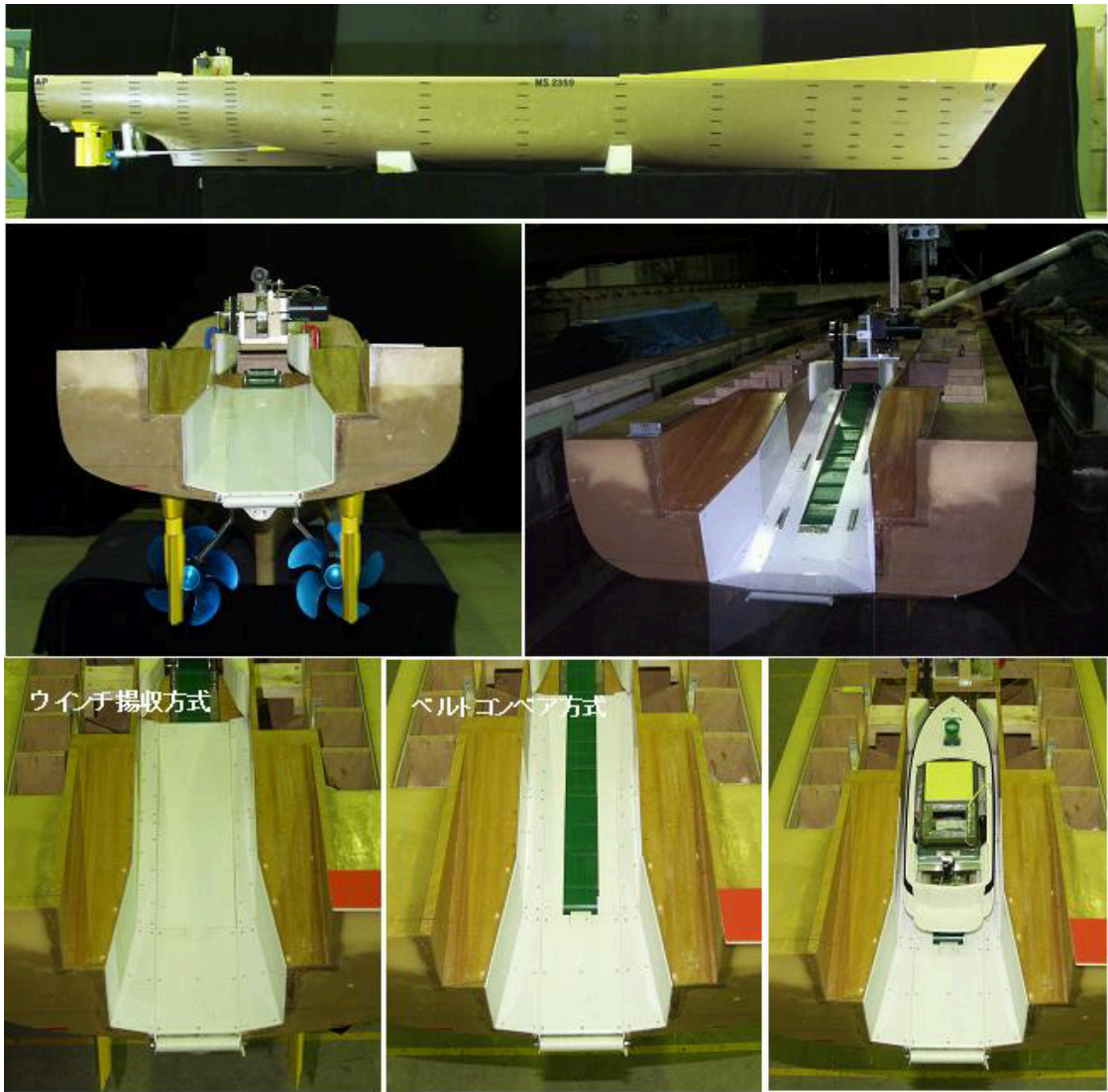


図 4.3.1.4 母船供試模型写真

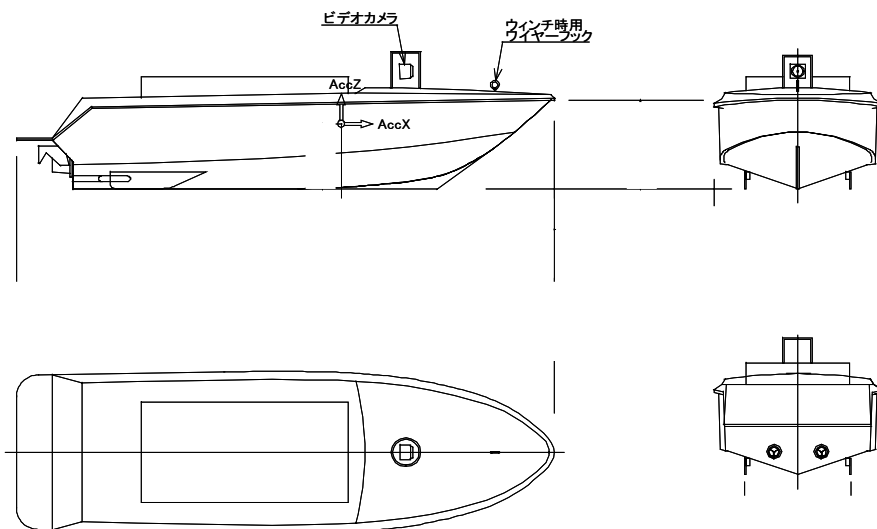
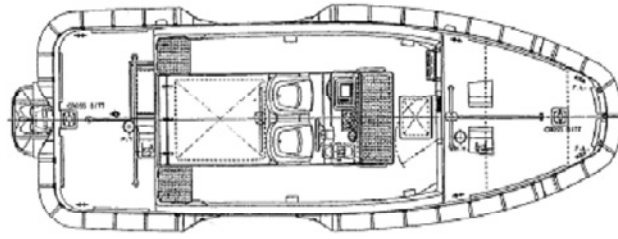
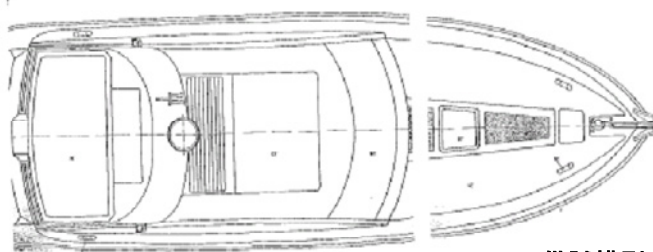


図 4.3.1.5 搭載艇供試模型概略図 (模型スケール寸法)



7m型警備救難艇



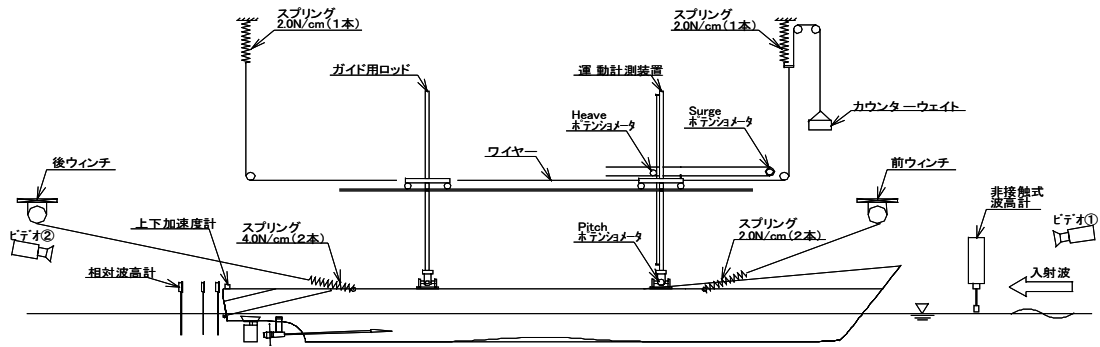
供試模型

図 4.3.1.6 搭載艇供試模型と 7 m 型警備救難艇の同一スケールによる比較



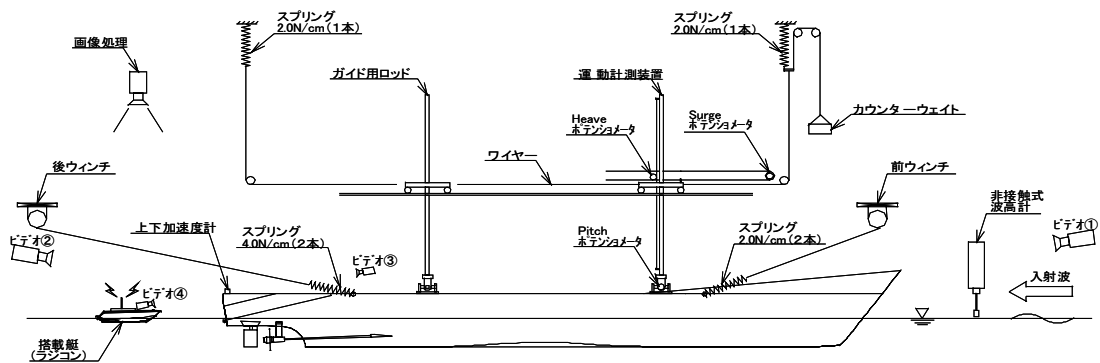
図 4.3.1.7 搭載艇供試模型写真

母船の船体運動はポテンショメータを使用した波浪中運動計測装置で計測している。また、入射波は非接触式波高計、上下加速度は歪ゲージ式加速度計でそれぞれ計測した。搭載艇には上下水平加速度計及び超小型 CCD カメラを搭載した。図 4.3.1.8 に試験装置全体の概要図を示す。



母船運動・船尾流場計測試験

ビデオ①: 斜視映像



搭載艇降下揚収試験

ビデオ①: 斜視映像
ビデオ②: 斜視映像
ビデオ③: トップ後方映像
ビデオ④: 搭載艇映像

図 4.3.1.8 試験装置全体概略図

4.3.2. 母船運動、船尾流場計測実験、及び搭載艇降下揚収実験

試験は、平水中試験と向波航走時における規則波中および不規則波中試験を実施している。各試験状態を表 4.3.2.1 に示す。

平水中試験の計測は、模型の姿勢が安定した状態になった後、サンプリング周波数 10Hz で 60 秒間データを PC に取り込み平均値を算出した。規則波中試験の計測はサンプリング周波数 100Hz で PC に取り込み、波形の安定した範囲についてフーリエ解析を行い、入射波に対する振幅特性（1 次成分）と位相特性を波長船長比（ λ/L ）ベースにまとめた。船体運動は重心位置での運動に換算している。不規則波中試験の計測もサンプリング周波数 100Hz で実施している。入射波、船体運動及び上下加速度について、それぞれスペクトル解析及び統計解析を行い、有義値、最大値及び最小値を求めた。なお、船体運動は重心回りの運動に変換している。ちなみにスペクトル解析は BT 法[6]に従い、サンプリングタイム 20Hz、ラグ数 100 で解析を行った。

【平水中試験結果】平水中走行時の船尾波隆起を確認した結果を図 4.3.2.1 に示す。図はトランサムから約 1m 離れた位置（船尾直後の波高計位置）における計測値を全船速でそろえた評価を示している。同図には昨年度実施した「えりも」現船型の模型試験結果も比較のために掲載しているが、「改 3」実用型船型は「えりも」現船型と比べてかなり船尾波の隆起が抑制されている。概ね「えりも」現船型における船速 7ノ

ットが「改3」実用型船型の約10ノットに相当し、「えりも」における船速10ノットが「改3」の約15ノット弱に相当するとみなせる。昨年度実施された「えりも」実船試験では船速が10ノット以上になると搭載艇降下揚収不可とみなされており、実質的には8ノット前後が限界とされていた。これらの事情を考慮すると、本研究で開発した「改3」実用型船尾形状は、船速にして10~15ノット程度までは平水中対応できることが予想される。

表 4.3.2.1 模型試験状態表（試験番号対応表）

1. 平水中試験

速度 (kts)	10.0	15.0	20.0
母船のみ	1001	1002	1004
ウィンチ方式	2001 2003	2004	2005
コンベア方式	3002	3003	

2. 規則波中試験

波高 : 1.0m

速度 (kts)	10.0			15.0			
	λ/L	0.71	0.94	1.41	0.71	0.94	1.41
母船のみ		1102	1103	1104	1105	1106	1107
ウィンチ方式					2101	2102	2103
コンベア方式					3101	3102	3103

波高 : 2.0m

速度 (kts)	15.0		
λ/L	0.71	0.94	1.41
母船のみ	1108		
ウィンチ方式	2104		
コンベア方式	3104		

3. 不規則波中試験

速度 (kts)	5.0					10.0					15.0					20.0		
有義波高 (m)	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	1.0
平均波周期 (sec)	4.7	4.7	5.7	5.7	6.4	4.7	4.7	5.7	5.7	6.4	4.7	4.7	5.7	5.7	6.4	6.4	7.3	4.7
母船のみ	1302			1212	1214	1201	1202	1203	1204	1205	1207	1208	1209	1210	1211	1301	1303	
ウィンチ方式	2203						2207	2202	2208				2205	2201	2206			
コンベア方式			3209		3210		3203		3204	3208				3202 3402 (ドック座標)	3205	3206	3207	3211

平水中船尾波隆起(トランサムから約1mでの計測波高をそろえた評価)

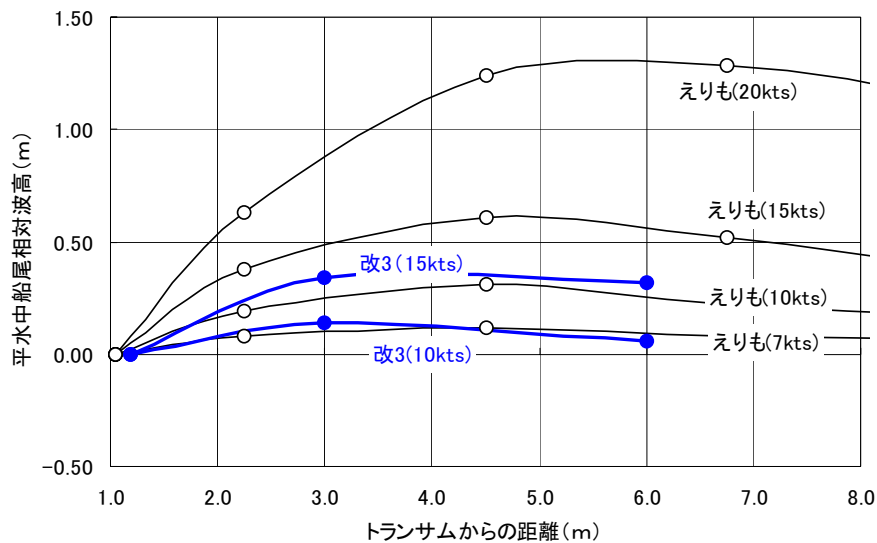


図 4.3.2.1 平水中船尾波隆起の比較図

実際、降下揚収試験では船速 10～15 ノットの場合には降下揚収とも可能であるが、船速 20 ノットになると、船尾波隆起に阻まれて降下揚収とも困難な状況が観察された。図 4.3.2.2 に平水中の降下揚収試験の様態を示す。

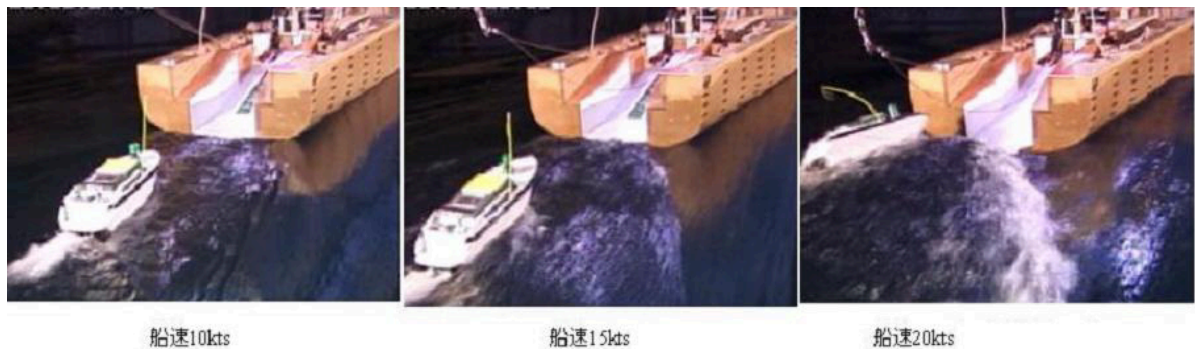


図 4.3.2.2 各船速における平水中船尾波隆起の様子

【規則波中試験結果】規則波中試験に関しては、主に船尾相対水位変動応答値の確認を目的としている。図 4.3.2.3（再掲）にはトランサム船尾から後方各位置における船尾相対水位変動応答の波浪中 CFD 計算結果と実験結果を示す。また、図 4.3.2.4 には船尾端直後における応答値を示す。図には「えりも」及び「改 2」の計算結果と実験結果も併せて図示している。トランサムから遠方の計算精度はよく一致しているが、トランサム直後は実験値の方が計算値より変動が小さく、「改 2」船型よりもむしろ変動が少ない位である。船尾端直後は計算では考慮されない粘性影響およびプロペラ後流影響が強く作用していることが予想され、実験ではこれらの影響が変動を抑制する方向で作用したと考えられる。

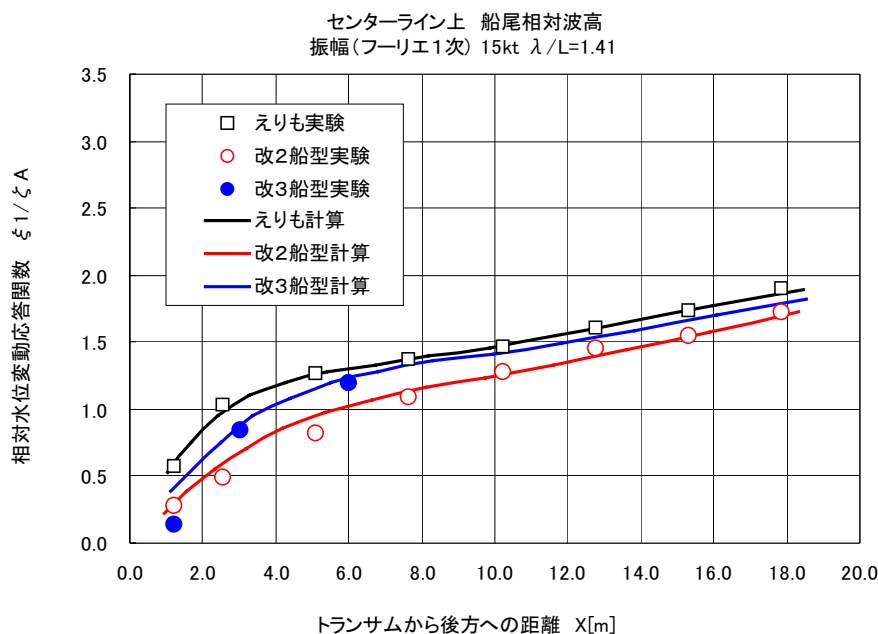


図 4.3.2.3 後方各位置における相対水位変動応答関数

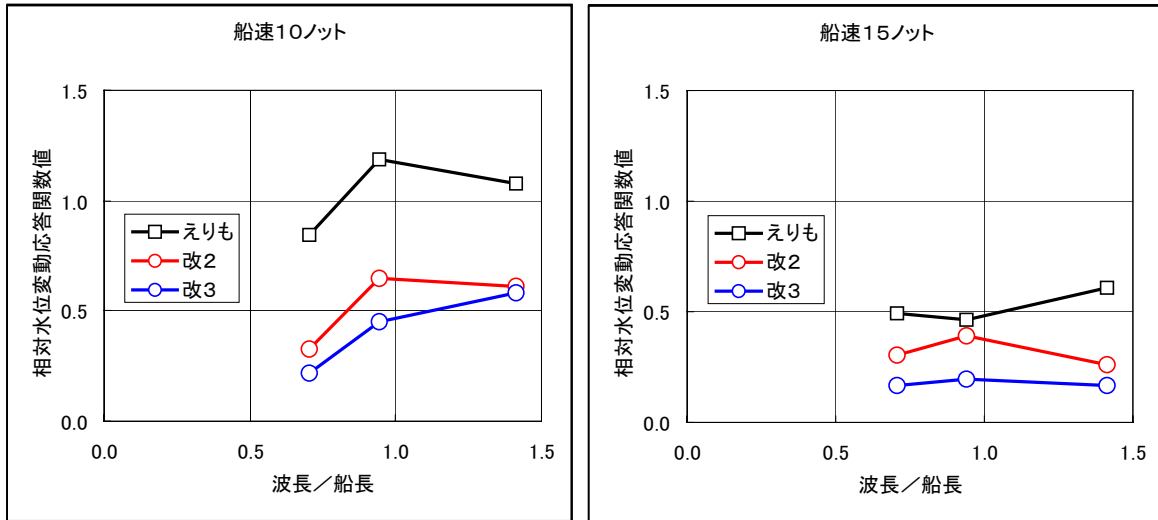


図 4.3.2.4 船尾相対水位変動応答関数（規則波中試験結果）



図 4.3.2.5 規則波中船尾降下揚収試験の様子（船速 15kts 波高 2m 波長船長比 0.7）

参考までに、規則波中でも搭載艇を用いた降下揚収実験を実施し、ウインチ揚収方式およびベルトコンベア方式ともに波高 1 m までは問題なく降下揚収可能であることを確認した。波高 2m の場合にも船速 15kts で波長が 0.71L の場合に降下揚収が可能であることを確認している。但し船速 10kts になると運動応答が大きくなり、ドック下端も水面上に露出しはじめるため、降下揚収は難しくなる。図 4.3.2.5 に降下揚収試験の様子を示す。

規則波中の降下揚収試験結果の解釈には様々な考え方があると思われるが、エネルギー的に等価で同等の平均波長を有する不規則波に換算するアプローチがある[7]。それによれば、上述の波高 2m の規則波は有義波高約 3m で平均波周期 6~8s に相当し、有義波高 2~3m を対応可能範囲の概略目安とみなすことになる。但し、ある程度的高速走行による運動抑制が必要なことが予想される。

なお、ウインチ揚収方式とベルトコンベア方式では、降下揚収の限界波高という点では大きな差異は認められなかった。

【不規則波中試験結果】不規則波中試験に関しては、主に船尾ドック下端が水面より露出する超過確率の算出と、搭載艇の降下揚収可否の確認を目的としている。試験は向波有義波高 1.0~2.5m まで、船速 5~15kts まで実施したが、波高 3.0m は試験装

置の都合で実施不可能であった。表 4.3.2.2 に水槽試験結果から得られた船尾相対水位変動の片振幅有義値を示す。また表 4.3.2.3 にレーレー分布[8]に基づく船尾ローラーの露出確率[9]を示す。船尾ローラー中心は水面より 450mm 没水している。

なお、表中の背景色は降下揚収試験の結果を表しており、搭載艇の降下揚収が可能であった場合に水色、困難な場合に黄色、不可能な場合に橙色で表現している。

傾向として、船尾ローラーの没水度が保たれている場合にはウインチ方式でもベルトコンベア方式でも降下揚収可能だが、露出し始めると難しい。また、船速が遅いと運動が大きくなり、かえって船尾ローラーが露出しやすく、対応波高は低くなる。波周期の影響は若干短い周期の方が相対水位変動も小さく、降下揚収には有利な傾向にあるが、大きな差異ではない模様である。

表 4.3.2.2 向波不規則波中における船尾相対水位変動の片振幅有義値

有義波高	平均波周期	船速5kts	船速10kts	船速15kts
1.0m	5.0s	0.43m	0.28m	0.35m
1.5m	5.0s	—	0.37m	0.38m
	5.6s	—	0.39m	0.38m
2.0m	5.6s	0.98m	0.50m	0.39m
	6.3s	1.03m	0.63m	0.49m
2.5m	6.3s	—	—	0.52m
	7.4s	—	—	0.56m

水色：降下揚収可能 黄色：降下揚収困難 橙色：降下揚収不可

表 4.3.2.3 向波不規則波中における船尾ローラーの露出頻度確率

有義波高	平均波周期	船速5kts	船速10kts	船速15kts
1.0m	5.0s	11%	1%	4%
1.5m	5.0s	—	5%	6%
	5.6s	—	8%	6%
2.0m	5.6s	66%	19%	7%
	6.3s	68%	35%	19%
2.5m	6.3s	—	—	22%
	7.4s	—	—	27%

水色：降下揚収可能 黄色：降下揚収困難 橙色：降下揚収不可

向波中の場合、露出頻度が 20%以下に抑えられるのは、概ね有義波高 2.0m 以下と推察される。図 4.3.2.6 に有義波高 2.0m における船速 15kts での降下揚収試験の様子を示す。搭載艇のカメラからの映像が示された試験では、ドックに天井を設けており、乗員の衝突不安感を確認している。降下揚収自体は可能でもドック天井の存在は乗員

の衝突不安感をやや誘発することが予想される。また、後方カメラからの画像を確認すると、搭載艇の舳先が乗り上げた直後はやや姿勢安定性に欠けるが、ある程度乗り上げると船尾スケグの効果で横安定性が確保されているのが解る。

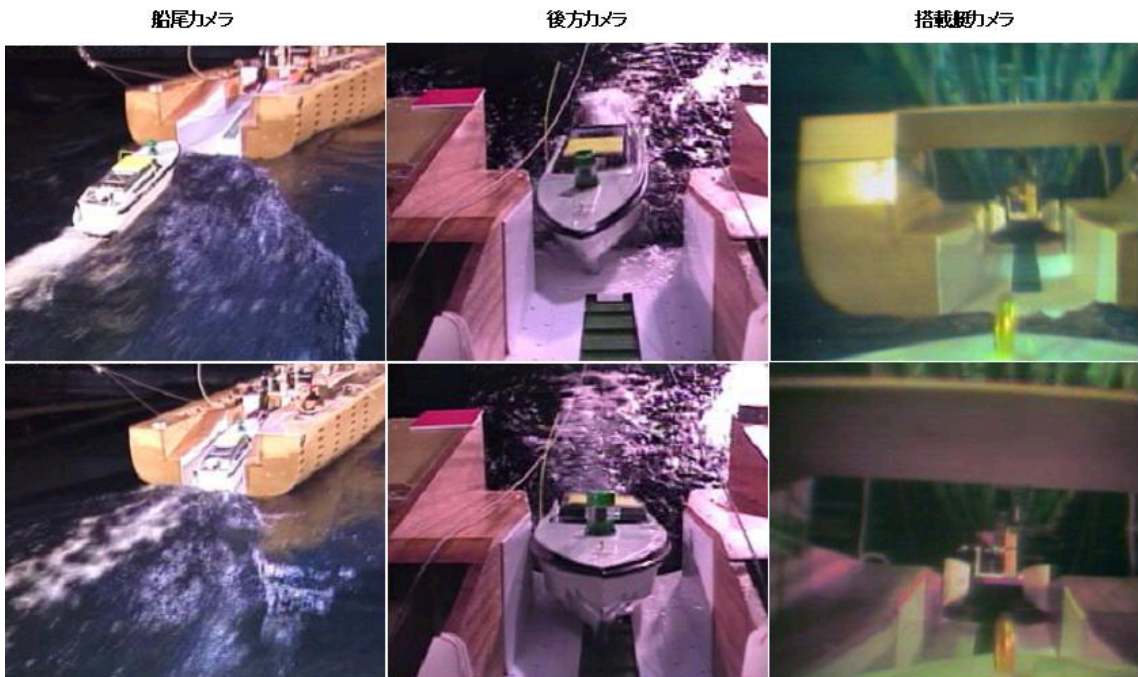


図 4.3.2.6 向波不規則波中降下揚収試験（有義波高 2m／船速 15kts）

ちなみにウインチ揚収方式とベルトコンベア方式とでは、降下揚収の様子に若干の差異が認められ、ウインチ揚収方式の方が揚収中のヨー方向の安定性に僅かに優れる。参考までにウインチ揚収方式による有義波高 2.0m 及び船速 15kts での搭載艇前後加速度と上下加速度の記録を図 4.3.2.7 に示す。前後加速度変動最大は 0.35 g 以下であり、上下加速度変動最大も 1.0 g 以下なので、乗員の安全性指標[8]以下となっている。

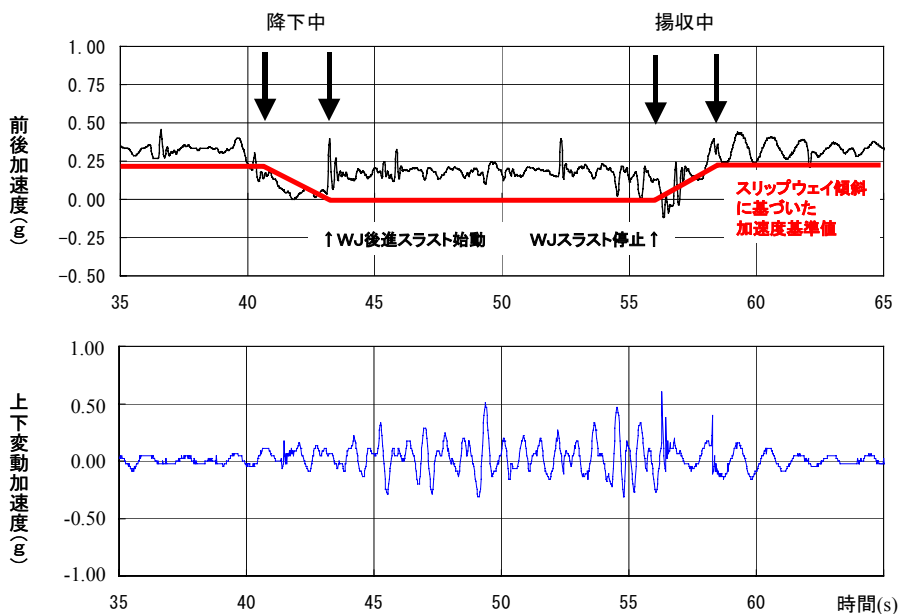


図 4.3.2.7 向波不規則波中降下揚収試験時の搭載艇加速度時系列（有義波高 2m／船速 15kts：ウインチ揚収方式）

なお、降下揚収が難しい場合として、船速が遅くて運動が大きくなる場合と波高が高い場合とが挙げられる。前者の例として有義波高 2m 船速 5kts の状態があり、船尾ローラーが完全に露出してしまふ。後者の例として有義波高 2.5m 船速 15kts が挙げられる。有義波高 2.5m の場合には周期も長いので、タイミングさえ合えば降下揚収も可能であるが、向波状態ではやはり難しい。これらの様子を図 4.3.2.8 に示す。

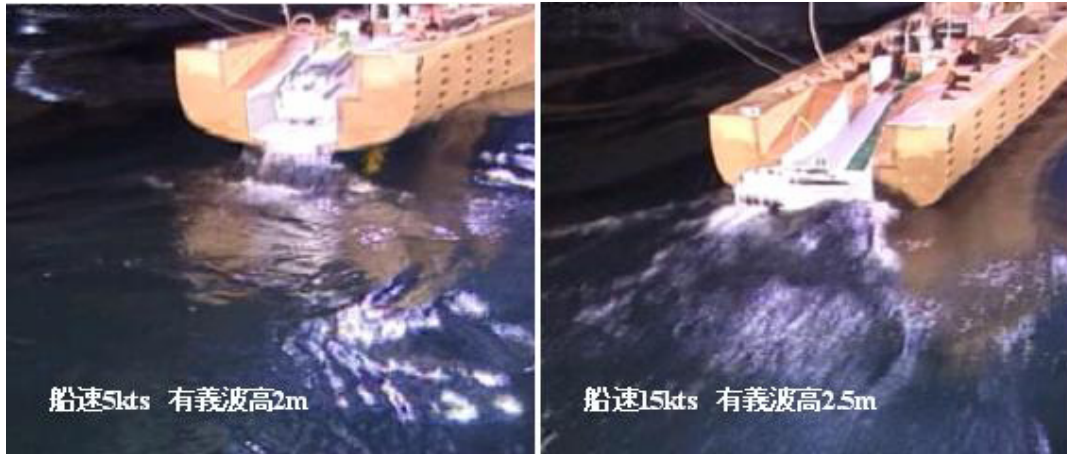


図 4.3.2.8 向波不規則波中で降下揚収の困難な事例
 (㊤有義波高 2.0m&船速 5kts ㊦有義波高 2.5m&船速 15kts)

【斜波中の評価】向波中の試験結果より、降下揚収の可否は概ね船尾相対水位変動に支配されることが解る。そこで向波不規則波中の試験結果を参考に、ストリップ法の相対水位計算予測値を補正し、波向きを自由に設定した上で船尾相対水位変動値を予測評価することを考える。計算値に対する補正は主に船体排除流影響に基づくものとみなし、向波中では実験値との差異をそのまま補正量に適用する。但し横波～追波では計算値をそのまま採用し、向波～横波の補正量は線形補間に基づくものとする。不規則波のスペクトル重合計算は長波頂を前提とする。

なお、斜波横波中では船尾相対水位変動の他に、ローリングも搭載艇の降下揚収可否に影響するものと思われる。ここでは文献[4][8]を参考にロール片振幅有義値 5 度以下を目安とする。従って、節 2.2「目標波高に対する考え方」に基づき、達成指標は具体的には以下のように設定される。

- ・ 船尾ローラーの露出頻度 20%以下 (相対水位変動の観点から降下揚収可)
 (但し船尾相対水位計算位置はドック入口左右端：波上側)
- ・ ローリング片振幅有義値 5 度以下

図 4.3.2.9 に相対水位変動有義値、ロール有義値を波方向および船速別に示した図を掲げる。図中、青線はロール有義値を、緑線は船尾相対水位変動有義値を、赤線は上述の達成指標線を表している。

本図によると船尾ローラーは斜向波～横波にて比較的没水率が高く、追い波では露出する頻度が非常に高くなることがわかる。また、ロールは斜追波にて大きくなることから、結果として斜向～横波が搭載艇の降下揚収に向いていることが予想される。定性的にはロールが過大にならない範囲内で、船体の遮蔽効果を上手く利用した波方向が望ましいと言える。なお、母船の上下加速度の観点から言えば向波の方が追波よりも確かに出会い周期の関係で高くなるが、前年度の実機ヒアリング調査や実機調査においても追波での作業は危険という認識が強い。船速 10～20kts の速力域では上下加速度よりも相対水位変動の方が降下揚収可否の決定要因になると考えられる。

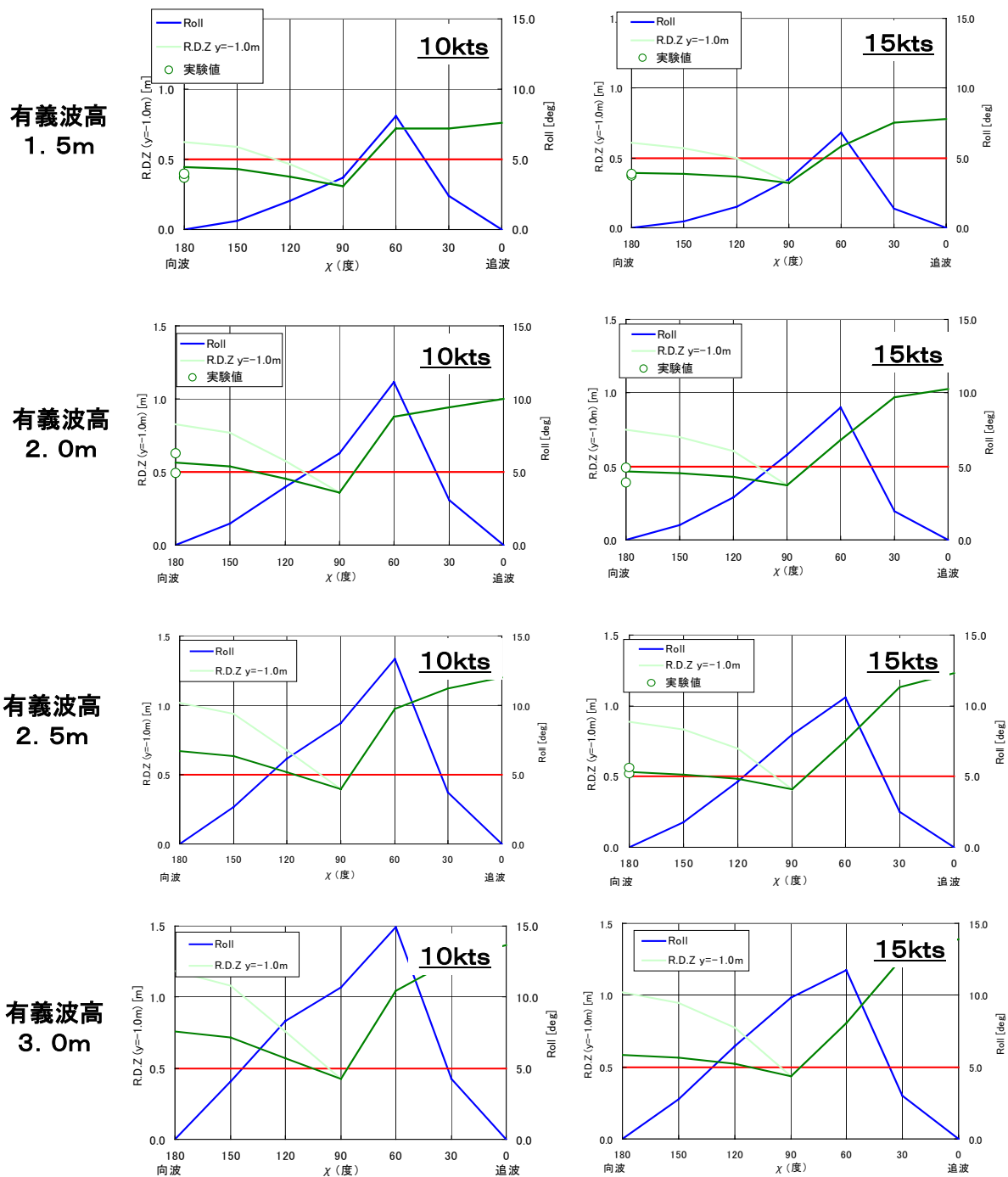


図 4.3.2.9 船尾相対水位変動有義値(R.D.Z.)、ロール有義値(Roll)、降下揚収可否指標

図 4.3.2.9 に示された情報より、船速 15kts における波向き別の波高達成度（先述の達成指標参考）を図 4.3.2.10 に示す。船速 10kts と 15kts を比べると、10kts ではピッチング運動がやや大きくなり船尾ローラーが露出しやすくなる。このため対応可能波高が相対的に制限されている。但し船速が 20kts になると今度は船尾造波による隆起が強くなり、返って降下揚収は難しくなる。試験を実施した範囲内では船速 15kts 程度が降下揚収に最適であり、向波で有義波高 2.0m 程度、斜向波で 2.5m 程度が達成の目安と考えられる。

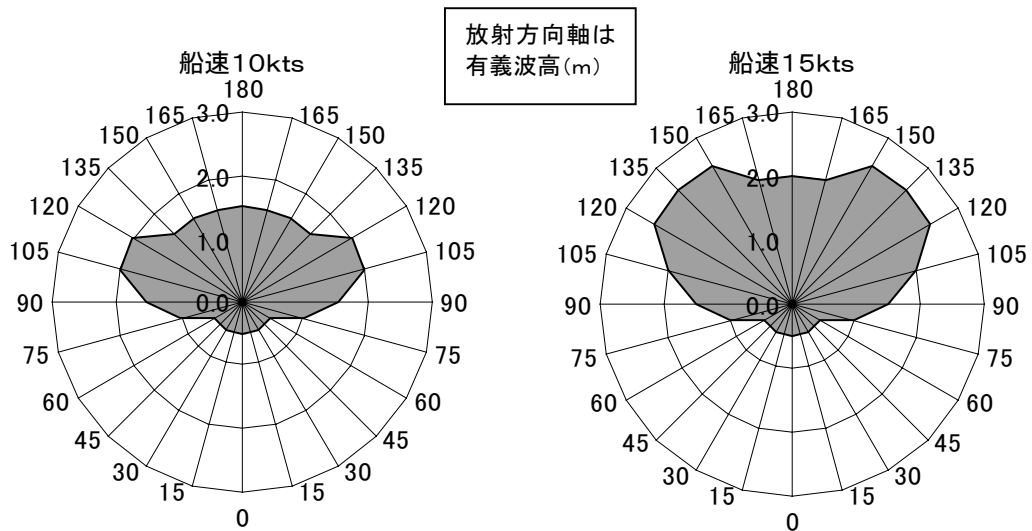


図 4.3.2.10 波方向別の降下揚収可能有意波高

4.4. ウインチ揚収方式に関する洋上実船実験

4.4.1. 母船・搭載艇間の索受渡し洋上検証実験

【背景と実施目的】

ドライドック式におけるウインチ揚収方式では、母船と搭載艇との間で索の受け渡しが必要になる。索の受渡しのアイデアとして、母船から索の繋がれたブイを繰り出し、洋上の搭載艇にてそのブイを揚収することが考えられる。この場合、①ブイを迅速かつ安全に引揚げられるためにはどうするか？②ブイに繋がれている索を安全に搭載艇先端に接続するにはどうするか？という点が課題として挙げられ、対策としては以下が考案された。

- ① 揚収器具として改造テレスコピックを用意 ⇒迅速かつ安全なブイの揚収
- ② 船首からのペンダントロープの採用 ⇒曳航索の搭載艇先端への安全な接続

これに伴い、実際に洋上にてブイの揚収実験が行われた。実験は各種船速と波向きの下、監視取締艇（SS艇）より索の繋がれたブイを繰り出し、7m型警備救難艇（以下警救艇と称す）にてそのブイの揚収を試みる要領にて実施された。実施目的を以下に示す。なおペンダントロープ方式は、搭載艇先端への曳航索接続と操舵席での索の取扱容易性の両方を満足させるために考案された方法である。

- ① 実海域における予備的試行により、警救艇でのブイ揚収に伴う問題点の把握
- ② 改造テレスコピック及びペンダントロープの利用可能性に関する情報取得

【調査概要】

調査は横浜第3管区海上保安部の協力の下、平成16年9月16日に横浜本牧埠頭沖にて実施された。参加者はSS艇乗船者4名、警救艇乗船者7名であり、各使用船艇を図4.4.1.1及び図4.4.1.2に示す。またブイ揚収のために用意した改造テレスコピック等の揚収器具を図4.4.1.3に、各使用器具と使用船艇の相互関係を図4.4.1.4に示す。



図 4.4.1.1 警救艇（索取り用）巡視船「あまぎ」搭載：新型 7m 警救艇



図 4.4.1.2 SS 艇（索出し用）監視取締艇「れお」



図 4.4.1.3 左からブイ、改造テレスコピック、スナップシャックル

ちなみに、ブイは本体外径 450mm×上部アイ径 950mm×重量 5kgf のものを用意し、改造テレスコピックは全長約 2m のものを 2 本用意している。

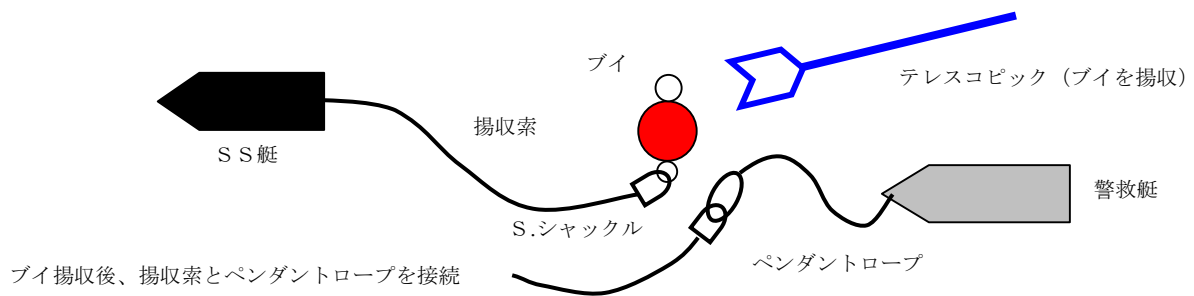


図 4.4.1.4 各使用器具と使用船艇の相互関係

【調査要領】

停船時揚収に関して以下の要領で試験を実施した。

- ① 索のついた揚収ブイを停船中のSS艇から繰り出す。
- ② 警救艇をブイの近くの波上側に停止。(SS艇より約30m前後離す)

- ③ 時刻、波向、波高、等の海気象記録。
- ④ 改造テレスコピックにてブイの引揚試行。
- ⑤ 引揚後、ブイから曳航索を外し、曳航索をペンダントロープに接続。

以上で一連の動作が完了。同様の動作をブイの波下側にて実施。試行は保安部乗員及び調査研究者により実施。また走行時揚収に関しても以下の要領で試験を実施した。

- ① 試験海域にて警救艇及びSS艇ともに所定船速（5ノット）にて走行。
- ② 進路はSS艇および警救艇ともに斜め向波とする。
- ③ 時刻、波向き、波高、等の海気象記録。
- ④ 前SS艇、後警救艇として、30m前後間隔を目安とする。
- ⑤ 索のついた揚収ブイをSS艇から後に30m程繰り出す。
- ⑥ 警救艇をブイの近くに波上側から接近。（SS艇との距離に留意）
- ⑦ 改造テレスコピックにてブイの引揚試行。
- ⑧ 引揚げと同時に合図で警救艇を若干増速する。（索をタルませる）
- ⑨ 引揚げ後、ブイから曳航索を外し、曳航索をペンダントロープに接続。
- ⑩ 接続と同時にSS艇と警救艇双方減速、停止。
- ⑪ 以上で一連の動作が完了。同様の動作をブイの波下側にて実施。
- ⑫ 船速を段階的に上げて（10ノット・15ノット）再試行。

図 4.4.1.5 に岸壁での試行練習の様子を示す。改造テレスコピックの使用形態と船首から操舵席にいたる模擬ペンダントロープを示している。



図 4.4.1.5 テレスコピック（左）の使用形態とペンダントロープ（右）の概要

【調査結果】

調査結果を表 4.4.1.1 に示す。（天気：快晴、波高：約0.5m）

表 4.4.1.1 ブイ揚収試験調査結果（◎容易 ○可能 △難 ×不可）

船速	ブイをピックする舷側			
	波下側		波上側	
	乗員試行者	調査研究者	乗員試行者	調査研究者
停船時	◎	○	◎	○
3ノット	○	△	○	△
5ノット	△	×	△	×
10ノット	×	×	×	×

基本的に停船時以外の揚収は困難であり、船速 10kts では試行が不可能であった。

停船時のブイ揚収作業自体はそれほど困難ではなかった。また、ペンダントロープを利用するため、艇体先端に曳航索を結ぶ作業は操舵席内で可能であり、スナップシヤックルを併用することで安全かつ迅速な作業が可能な印象を受けた。但し留意点として以下の意見が挙げられる。

- ・ 曳航索が短いと、波浪等により揚収作業中にブイと一緒にテレスコピックが引っ張られるため、不安を感じる。
- ・ 波高が高い場合には、テレスコピックにてブイを一発で捕捉することが難しい印象をうける。何回かの試行錯誤が必要になる可能性が高い。

図 4.4.1.6 に停船時揚収試験時の様子を示す。



図 4.4.1.6 停船時揚収試験の様子

走行時におけるブイ揚収は困難であり、船速 3～5ノットが限界であった。走行中の二艇間で索の受け渡しをするのは本質的に危険であり、曳航作業を例にとっても船速は 5ノット以下とするのが通例とされている。困難な要因としては、①揚収器具、②警救艇、③コンセプトの 3つに大きく分類され、それぞれ以下に列挙する。

① ブイ揚収器具に関する問題点

- ・ テレスコピックのバネが弱く、波浪をかぶると波力でバネの戻りが効かず、ブイを捕捉しても、吊り上げることができない。
- ・ テレスコピックの長さが短いため、警救艇をブイの 1 m 以内に接近させなければならず、ブイを捕捉することが難しい。(但し長すぎると、かえってハンドリングが悪く、ブイを引揚げることが難しくなる。)
- ・ テレスコピックが浮く構造になっていないため、揚収作業中に何らかの拍子で手放した場合に、器具回収が困難になってしまう。
- ・ ブイの上端につくアイが小さく、テレスコピックで捕捉しにくい。
- ・ ブイが球体のため、走行時には姿勢が安定せず、波をかぶってしまう。

今回は試験目的ということもあり、揚収器具は市販の安価な代用品を流用している。従って揚収ブイ形状の流線型化や、テレスコピックを舶用に耐える構造にする等の改良余地はある。但しブイ揚収器具を利用するというコンセプト自体により大きな問題があると考えられる。

② 搭載艇（警救艇）に関する問題点

- ・低速時の操船が難しい。理由の一つとしてウォータージェットの低速域におけるスラスト調整がバケット操作ではなく、回転数低下に基づくため、操舵力が小さいことが考えられる。（後進時操船の方が低速前進時よりも比較的容易）このため走行しつつブイに艇体を接近させるのが非常に難しい。
- ・低速域における速力調整が難しいため、SS艇と警救艇の距離を一定に保つのが難しい。このため、ブイ揚収中に索が弛んだり張ったりするので非常に危険。（試験中に索の張力によりテレスコピックが曲損した）

警救艇の低速域におけるウォータージェット制御を、回転数を維持したまま、バケット制御により速力調整する方法に変えれば、ある程度操船性が改善される可能性がある。但し船尾がブラントな形状であるため、限界があると思われる。各船速におけるブイの様子、及び試験中に曲損した改造テレスコピックを図 4.4.1.7 に示す



3ノット曳航時のブイの様子



5ノット曳航時のブイの様子



10ノット曳航時のブイの様子



10ノット曳航時の曳航索の様子



曲損した改造テレスコピック

図 4.4.1.7 各船速におけるブイの様子及び試験中に曲損した改造テレスコピック

③ コンセプト上の問題点

- ・曳航索が長く弛んでいるとプロペラや警救艇のウォータージェットのデフレクタやバケットに絡む危険がある。
- ・曳航索が長いと索が受ける波力も大きくなり、人力での扱いが難しい。

- ・波浪中で索を用いる作業は、張力により索が切れる不安がつきまとう。その場合、切れた端部に何らかの金具がついていると非常に危険。
- ・長い曳航索により警救艇の自由な操船が束縛されるのは不安。

揚収器具や警救艇のウォータージェット制御に若干の改良余地はあるものの、走行中にブイ揚収を行うのは本質的に危険であり、また長い索により高速（5ノット以上）走行中の2隻の艇体を連結するのは非常に難しいことが判明した。

【結論と考察】

走行中における長い曳航索とブイを併用した索受け渡しは危険であり、現巡視船「みなべ」で行われているような近距離間の空中手渡しが好ましい。但し渡された索を搭載艇の先端に接続するにはペンダントロープ方式を採用するのが有効と考えられる。

4.4.2. 索を利用した新揚収方式の洋上検証実験

ドライドック式におけるウインチ揚収方式では、さらに索の受け渡し後の揚収に関して安全かつ安定した揚収方法を検討する必要がある。そこで、スリップウェイ式船尾降下揚収装置を装備している現存の巡視船「みなべ」を用い、幾つかの検証実験を行った。本実験では、主に次の3点について調査を行い、今後のドライドック式船尾降下揚収システムの開発に有用なデータの収集、新しい試みの検証を行っている。

- ・現状のドライドック式降下揚収システムによる降下揚収作業の把握
- ・搭載艇の索取付位置が搭載艇の挙動に与える影響の調査
- ・揚収中における搭載艇ウォータージェット（WJ）後進推力の有効性調査
- ・搭載艇の索取付位置及びWJ後進推力が作業性に与える効果の調査

実験は第五管区海上保安本部および田辺海上保安部の協力の下に、平成17年2月7日および8日の2日間にわたって田辺沖で行われた。参加者は「みなべ」乗員の他に調査関係者他総勢10人に及んだ。図4.4.2.1に巡視船「みなべ」および「みなべ」に搭載されている搭載艇（5.5m型警備救難艇）を示す。

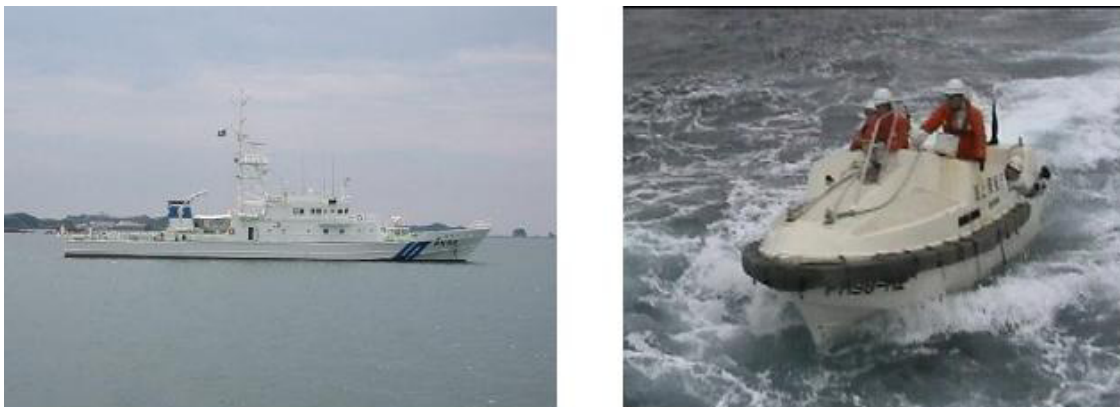


図 4.4.2.1 巡視船「みなべ」および5.5m型警備救難艇（警救艇）

【試験概要】

実機試験では、①降下揚収試験、②索取付位置試験、③後進試験の3種を実施し、試験状態（母船の波向、波高、船速）、運動（母船及び警救艇のピッチ、ロール）の記録及び船長、母船後部指揮者、警救艇長による難易度評価を行った。

降下揚収試験では現状のシステムによる降下揚収作業及び警救艇の母船船尾追走を行い、現システムの特長、運用限界等の調査を行った。

索取付位置試験では、警救艇の索取付け位置を現状の警救艇船中央付近から船首付近へ変更し、索取付け位置が降下揚収へ与える影響の調査を行った。

後進試験では、警救艇を巻上げ中に警救艇WJを後進に切り替え、WJ後進推力が警救艇の位置制御に対して有用かどうかについて調査を行った。

また、いずれの試験においても、索にはペンダントロープを用い、警救艇操縦席にて安全に索の接続が可能になるようにした。ペンダントロープの概念と実際に装備した様子を図4.4.2.2に示す。

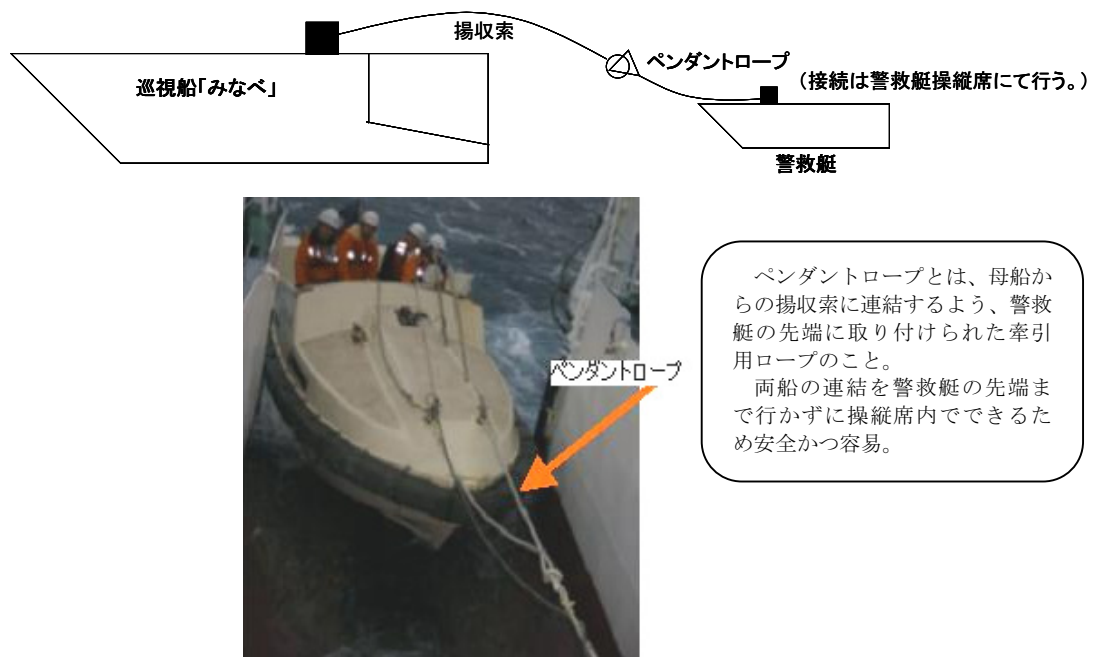


図 4.4.2.2 ペンダントロープの概念

なお巡視船「みなべ」では、スリップウェイ入口の船尾扉が3ノットを設計船速として計画されているため、安全上試験は5ノットとした。（追走のみ10ノット実施）以下に各試験の手順を示す。

（1）降下揚収試験

- ① 船尾扉を開放し固定
- ② 警救艇はペンダントロープを船中央付近に固定
- ③ 警救艇を降下
- ④ ペンダントロープ外し
- ⑤ 警救艇を母船直後で追走
- ⑥ 警救艇は母船船尾へ接近
- ⑦ 揚収索を母船より警救艇へ投げ渡す
- ⑧ 警救艇は揚収索を受取後、ペンダントロープへ接続
- ⑨ 警救艇を揚収

降下揚収作業の流れを図 4.4.2.3 に示す。

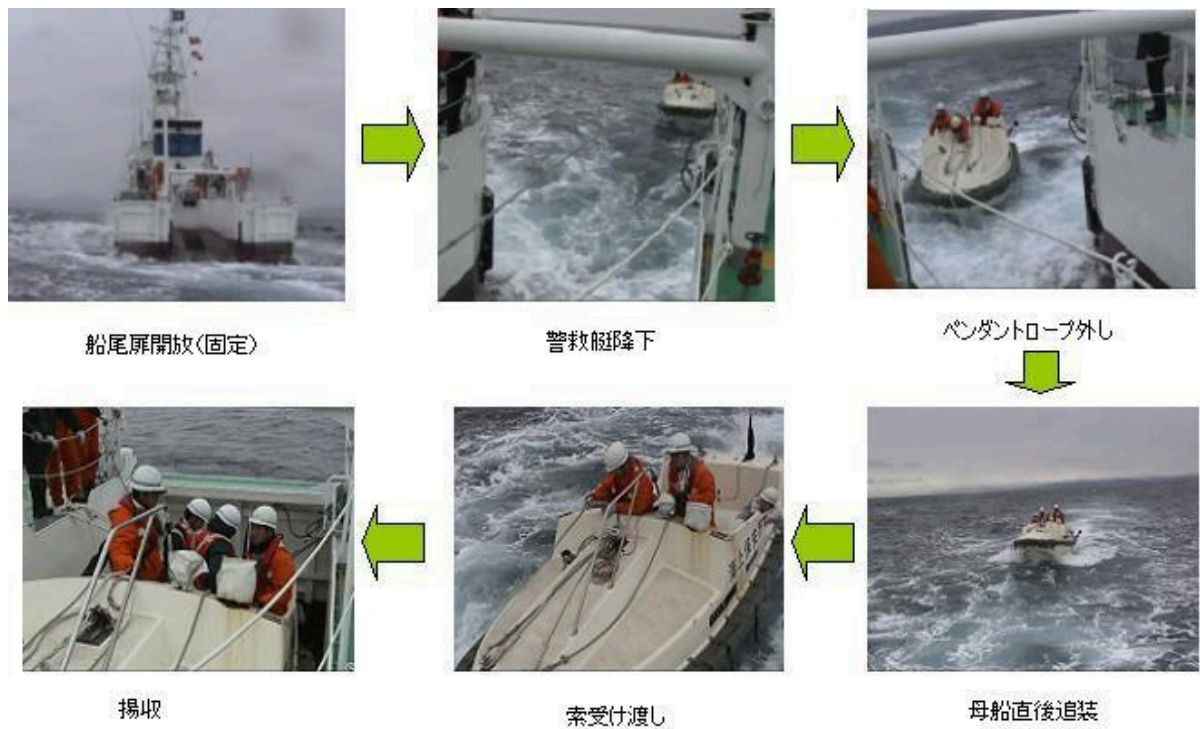


図 4.4.2.3 降下揚収作業の流れ

(2) 索取付位置試験

- ① 船尾扉を開放した状態に固定
- ② 警救艇はペンダントロープを船首付近に固定
- ③ 警救艇を降下
- ④ ペンダントロープ外し
- ⑤ 揚収索を母船より警救艇へ投げ渡す
- ⑥ 警救艇は揚収索を受け取り後、ペンダントロープへ接続
- ⑦ 警救艇を揚収

索取付位置を図 4.4.2.4 に示す。

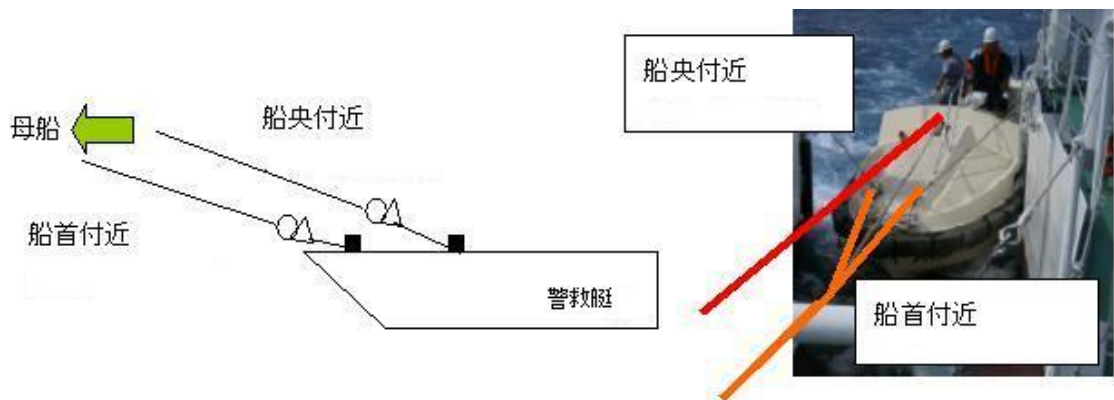


図 4.4.2.4 索取付位置

(3) 後進試験

- ① 船尾扉を開放した状態に固定
- ② 警救艇はペンダントロープを船首付近に固定※
- ③ 警救艇を降下
- ④ ペンダントロープ外し
- ⑤ 揚収索を母船より警救艇へ投げ渡す
- ⑥ 警救艇は揚収索を受け取り後、ペンダントロープへ接続
- ⑦ 警救艇はWJを後進に切り替え、母船は揚収索を巻上げる
- ⑧ 警救艇は母船からある程度離れた位置にて転舵を行う
- ⑨ 警救艇をWJ後進のままスリップウェイ入口まで巻上げる
- ⑩ 警救艇はスリップウェイ入口にて転舵を行う
- ⑪ 警救艇を揚収

※警救艇のペンダントロープ取付位置は、索取付位置験結果にて優位性が認められた船首付近を採用した。

後進試験における揚収の流れを図 4.4.2.5 に示す。

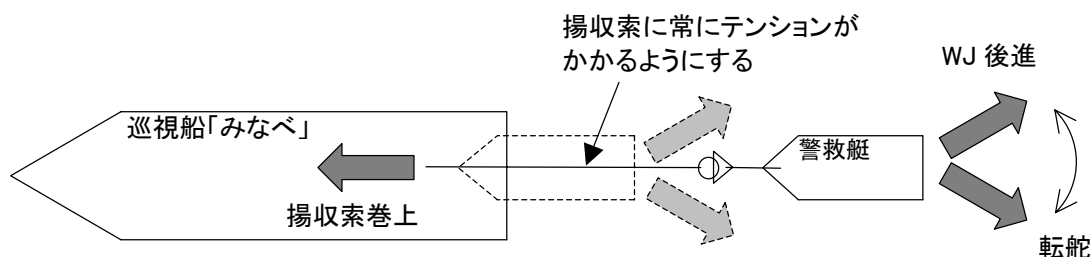


図 4.4.2.5 後進試験

【試験状態】

実機試験では、各試験を表 4.4.2.1 に示す試験状態にて行った。

表 4.4.2.1 試験状態

波向 船速(ノット)	向波			横波			追波		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15
降下揚収試験	※	*	*	※	*	—	※	*	—
索取付位置試験	※	—	—	※	—	—	※	—	—
後進試験①	※	—	—	※	—	—	※	—	—
後進試験②	※	—	—	※	—	—	※	—	—
後進試験③	※	—	—	※	—	—	※	—	—
後進試験④	※	—	—	—	—	—	—	—	—

※：実施 *：追走索受渡のみ実施 —：実施せず

後進試験では主機回転数、転舵の仕方、索取付位置が異なる次の4ケースについて、試験を実施した。

- 後進試験①：主機回転数を揚収索に軽く張力がかかる程度に調整
- 後進試験②：主機回転数を揚収索に完全に張力がかかる程度に調整（1700rpm）
- 後進試験③：主機回転数を 1700 r p m程度とし、最短時間での揚収を実施
- 後進試験④：索取付位置を船央付近として、転舵を実施（後進試験②との比較）

【試験結果概要】

(1) 海象・船体運動

実機試験における海象を表 4.4.2.2 に示す。また、船速5ノットにおける母船及び警救艇の船体運動（ピッチ、ロール平均値）を図 4.4.2.6 に示す。概ね波向に対応した船体運動が得られている。但し警救艇のデータに関しては変動が大きく参考値とする。

表 4.4.2.2 実機試験における海象目視波高 (m)

波向 船速(ノット)	向波			横波			追波		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15
降下揚収試験	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	—	1.3	1.3	—
索取付位置試験	1.0	—	—	1.0	—	—	0.5	—	—
後進試験①	0.5	—	—	0.5	—	—	0.5	—	—
後進試験②	1.5	—	—	1.5	—	—	1.5	—	—
後進試験③	1.5	—	—	1.5	—	—	1.5	—	—
後進試験④	1.5	—	—	—	—	—	—	—	—

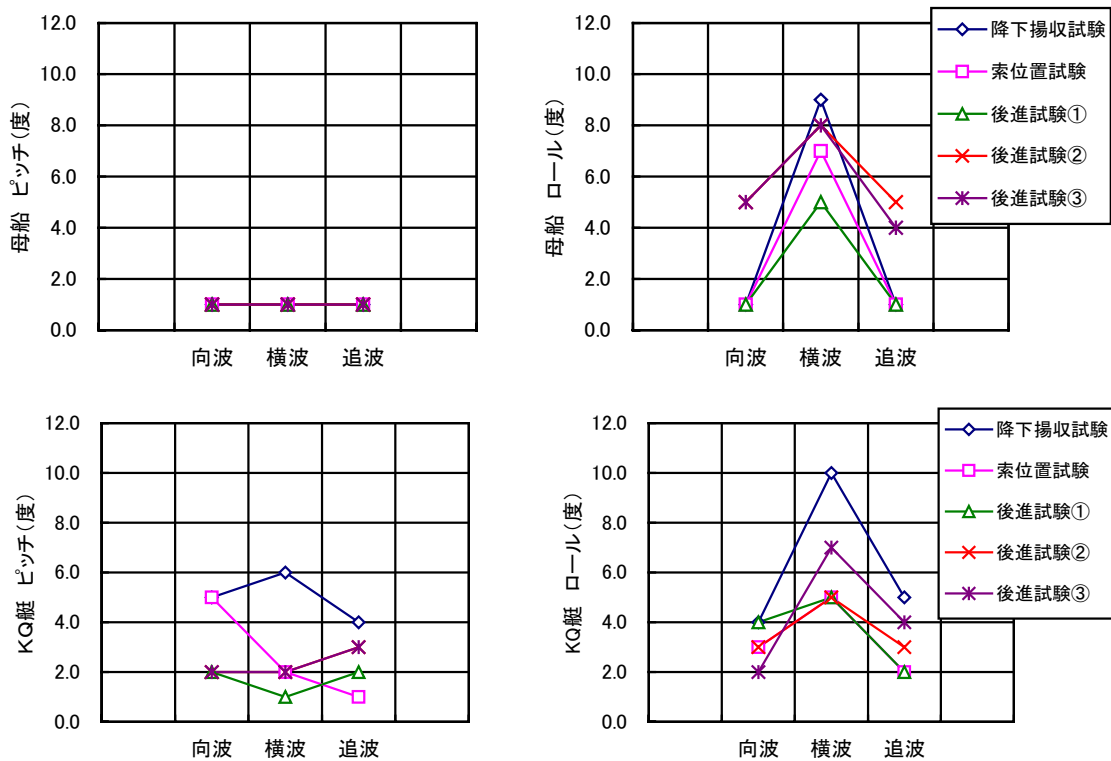


図 4.4.2.6 母船および搭載艇（警救艇）の運動計測値

警救艇より母船船尾を観察したところ、波高約2mの海象に遭遇した際に一時的にスリップウェイ下端が水面上に露出する場合が見られたものの、全体的にはそれほど頻繁に露出することはなかった。

(2) 降下揚収試験

実機試験より、船速5ノットでは現状のシステムを用いても降下揚収が可能であることが判明した。5ノット追走中の警救艇の様子を図4.4.2.7に示す。ただし、警救艇を揚収区画へ固縛するためには、次のような問題点が残る。

- ① 警救艇が揚収区画に乗り上げる際に船底を打つ。
- ② 警救艇の洋上でのヨー運動及び揚収区画内での横不安定が作業性の悪さの一因。
- ③ 揚収索の他に左右舷計4本の索を用いて艇の横安定を確保する必要がある。
- ④ 揚収区画へ横安定して揚収するよう調整が出来ない場合には、揚収区画外まで再度警救艇を降下した後、揚収し直す必要がある。

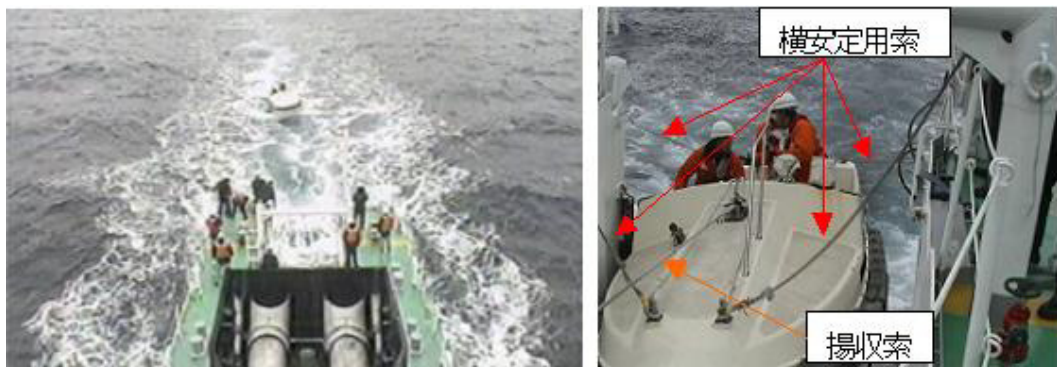


図 4.4.2.7 船速 5kts 追走中の警救艇と 4 本の索による横安定の確保

一方、船速10ノットでは、図4.4.2.8に示すように、降下揚収および母船直後の追走は実質的には難しいと考えられる。その理由として以下が挙げられる。

- ① 船速10ノットでは、船尾波やプロペラ後流の影響によって警救艇が母船船尾直後に閉じ込められる場合がある。(図4.4.2.8右図参照)
- ② 波高1m以上の海象において10ノットで航行する場合には、衝撃加速度が非常に大きく、警救艇自体が実際には母船を追走することが難しい。



図 4.4.2.8 船速 10kts で追走中の警救艇 (右は船尾波により閉じ込められた状態)

(3) 索取付位置試験

揚収索を船中央付近および船首付近として揚収した場合の警救艇の様子を図4.4.2.9

に示す。揚収索を船首付近に接続した場合の方が、図 4.4.2.10 に示す様に警救艇のヨ一運動を抑えられるため、艇の安定性及び作業効率の面で優れていることが判明した。

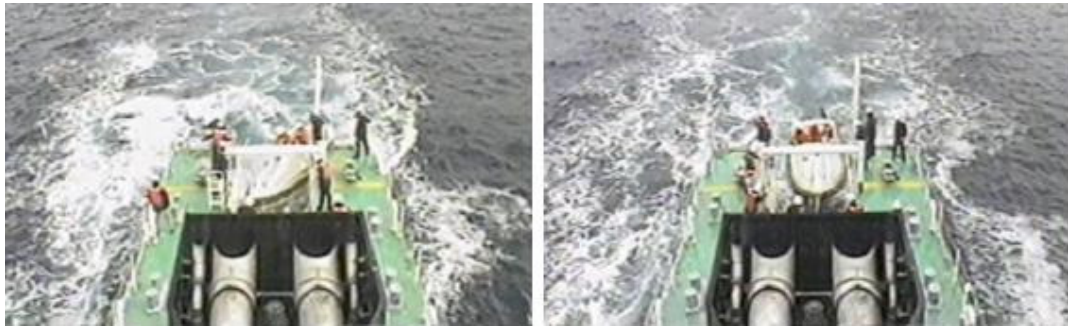


図 4.4.2.9 揚収索を船中央付近（左）と船首付近（右）にした場合の様子比較

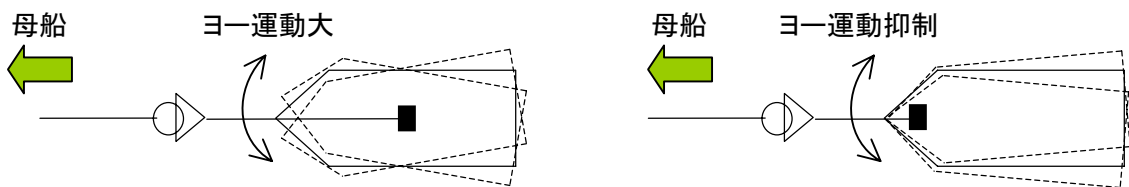


図 4.4.2.10 揚収索索取付位置が警救艇挙動に与える影響

(4) 後進試験

索取付位置を船首側とし、ウォータージェット (WJ) に後進推力をかけた場合には、図 4.4.2.11 に示すとおり、母船から離れた位置でもスリップウェイ上に半分乗り上げた状態でも艇は安定し、横方向の位置制御も可能であることが確認された。

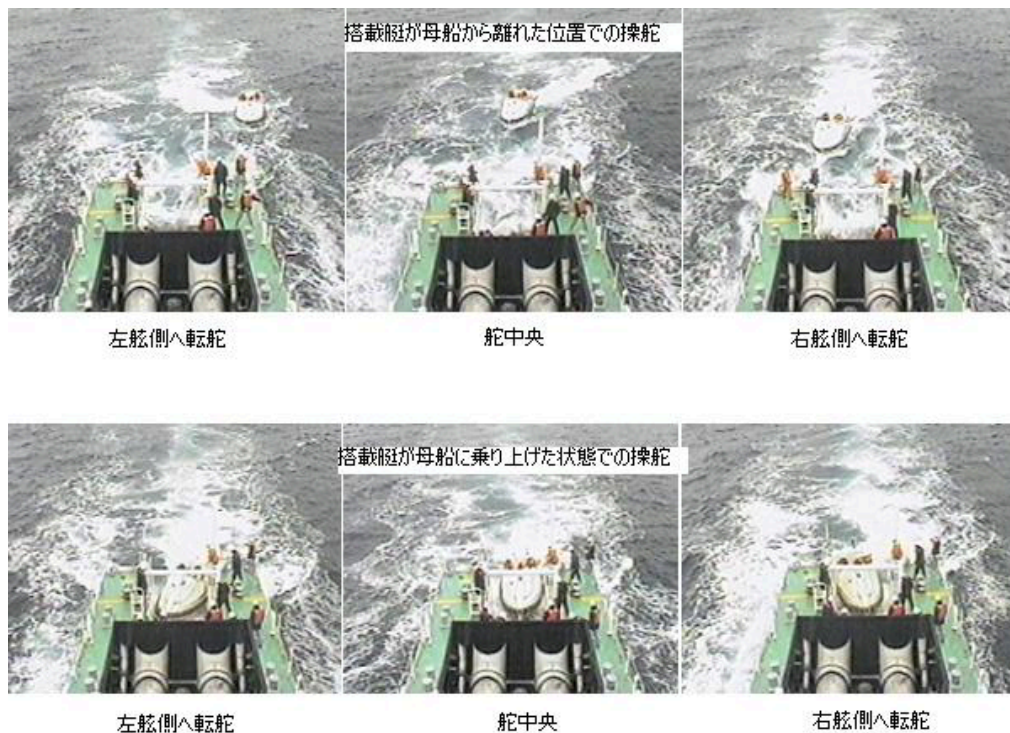


図 4.4.2.11 後進による艇体姿勢の安定化と制御

特に、後進時の主機回転数を上昇させて揚収索に完全にテンションがかかるようにすると、巻上中でも警救艇の操舵がハンドルのみで可能となる。(スロットル調整不要)このため、艇体姿勢を制御することによって母船からの横安定確保用補助索が不要になり、揚収索のみで揚収することが可能なケースも見うけられた。

ただし、索取付位置を船中央付近とした場合には、WJ後進推力を利用した場合でもヨー運動を伴い、位置制御が困難になるケースも見うけられた。

搭載艇の運用形態にはそれぞれ固有の事情もあるが、新たにウインチ揚収方式による船尾降下揚収システムを構築する場合には、船首付近に接続することを原則とした計画・設計が望ましいと言える。この場合、操縦席からの索作業の容易性が問題となる可能性があるが、ペンダントロープ形式の併用により、解決できると考えられる。

(5) ペンダントロープと揚収索の接続方法

揚収索とペンダントロープの接続にカラビナのような金属製金具を使用する方法は、索が切れた場合に非常に危険である。このため、乗員の提案で揚収索とペンダントロープの間に棒（スパイキ）を挟みこんだ方式が試行された。この方式によれば、ペンダントロープや揚収索にテンションがかかった状態でも、挟み込んだスパイキを引き抜くだけで容易にペンダントロープと揚収索の接続を解くことが可能である。

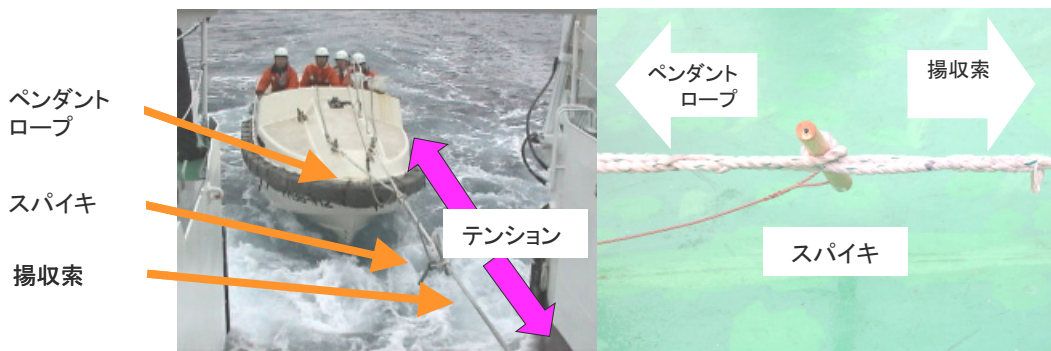


図 4.4.2.12 ペンダントロープと揚収索の接続方法

図 4.4.2.12 に本方式の概要を示すが、作業手順は以下の通りとなる。

ペンダントロープ外し

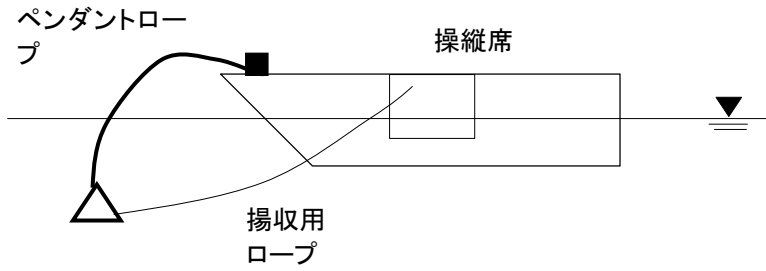
- ① 揚収索とペンダントロープの間のスパイキを引き抜く
- ② スパイキを警救艇操縦席へ揚収
- ③ ペンダントロープを警救艇操縦席へ揚収※

ペンダントロープ接続

- ① 母船より揚収索を受け取る（空中投げ渡し）
- ② 警救艇操縦席内にてペンダントロープと接続（スパイキを挟む）
- ③ 接続後のペンダントロープ及び揚収索を警救艇より繰り出す

※実機試験では用意しなかったが、ペンダントロープを警救艇操縦席へ揚収するには、図 4.4.2.13 に示すような揚収用ロープを別途用意することにより、容易な対応が可能になると考えられる。

警救艇



ペンダントロープ揚収用ロープとは、ペンダントロープが母船からの揚収索との連結を解かれた際にペンダントロープを警救艇に揚収するためのロープのこと。
 予めペンダントロープに結んで、警救艇の先端まで行かずに操縦席内から安全にペンダントロープを引き上げることができる。

図 4.4.2.13 ペンダントロープ揚収用ロープの概念

【まとめ】

各試験の船長、母船後部指揮者、警救艇長による難易度評価を表 4.4.2.3 に示す。試験終了後の討議結果なども踏まえると、総合的には以下の順で評価が高かった。

- ① 索取付位置を警救艇船首付近としWJに後進をかけ、ウインチにて巻上げる
- ② 索取付位置を警救艇船首付近としウインチにて巻上げる
- ③ 索取付位置を警救艇船中央付近としウインチにて巻上げる（現状のシステム）

特に①の場合には波高 1.5mの海象下でも降下揚収可能であった。また、警救艇の横方向不安定が解消されるため、母船上での揚収作業効率（時間・人員数）にも改善が認められた。

表 4.4.2.3 試験結果難易度評価

波向 船速(ノット)	向波			横波			追波		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15
降下～索受渡は可能か？	△ ○ ○	△ △ △	× × ×	△ ○ △	△ × ○	△ △ -	△ ○ ○	△ × ○	△ △ -
索取付位置船中央、WJ後進なしでの揚収は可能か？(現状のシステム)	△ ○ ○	△	-	△ ○ ○	△	-	△ ○ ○	△	-
索取付位置船首、WJ後進なしでの揚収は可能か？	× ○ ○	△	-	× ○ ○	△	-	△ ○ ○	△	-
索取付位置船首、WJ後進(索に軽くテンションをかける)での揚収は可能か？	○ ○ ○	○	-	○ ○ ○	○	-	○ ○ ○	○	-
索取付位置船首、WJ後進(索に完全にテンションをかける)での揚収は可能か？	○ ○ ○	○	-	○ ○ ○	○	-	○ ○ ○	○	-
索取付位置船中央、WJ後進(索に完全にテンションをかける)での揚収は可能か？	/	×	-	/	×	-	/	×	-

○：容易に可能 △：可能 ×：不可能 -：試験実施せず

評価 左上：船長、左中：母船後部甲板指揮者、左下：警救艇指揮者による評価
 評価 右：討議踏まえた調査研究者による評価

試験結果を総合的に考えるとドライドック式におけるウインチ揚収方式では、次のような項目を考慮したシステムが、作業性の面（安全性、作業時間短縮、作業人員削減）からも有効であると考えられる。

- ① ペンダントロープは警救艇船首付近に設置する。
- ② 揚収中には揚収索に完全にテンションがかかるように、警救艇はWJ後進とする。また、後進のまま転舵を行い位置保持を図る。（常にテンションがかからない状態では、警救艇の安定性が悪いだけでなく、母船と警救艇のサージ運動による急激なテンションの変動が起こるため、揚収索が切れる危険性もある。）
- ③ 索の受渡し・接続は、警救艇が波浪の影響を直接受けにくい母船の船陰で行う。
- ④ 巻上げには、キャプスタンではなく、船尾降下揚収専用のウインチを装備し、巻上げ速度を制御できるようにする。ウインチ及び船尾扉等の操作時間を短縮し作業の合理化を図るため、油圧ユニットの制御システムを集約化した制御盤を設置する。
- ⑤ 揚収索の接続にはペンダントロープを用い、全ての作業を警救艇操縦席にて行う。ウインチ操作もリモコンで搭載艇から制御できることが望ましい。
- ⑥ スリップウェイ入口にローラーを設置し、警救艇乗り上げ時の衝撃を緩和する。
- ⑦ 揚収時の警救艇横安定のため、警救艇船尾に2条のスケグ的なものを設置する
- ⑧ 母船走行中の船尾波抑制のため、船尾形状を工夫し、船尾没水度を浅くする。

図 4.4.2.14 に図解した概要を示しておく。

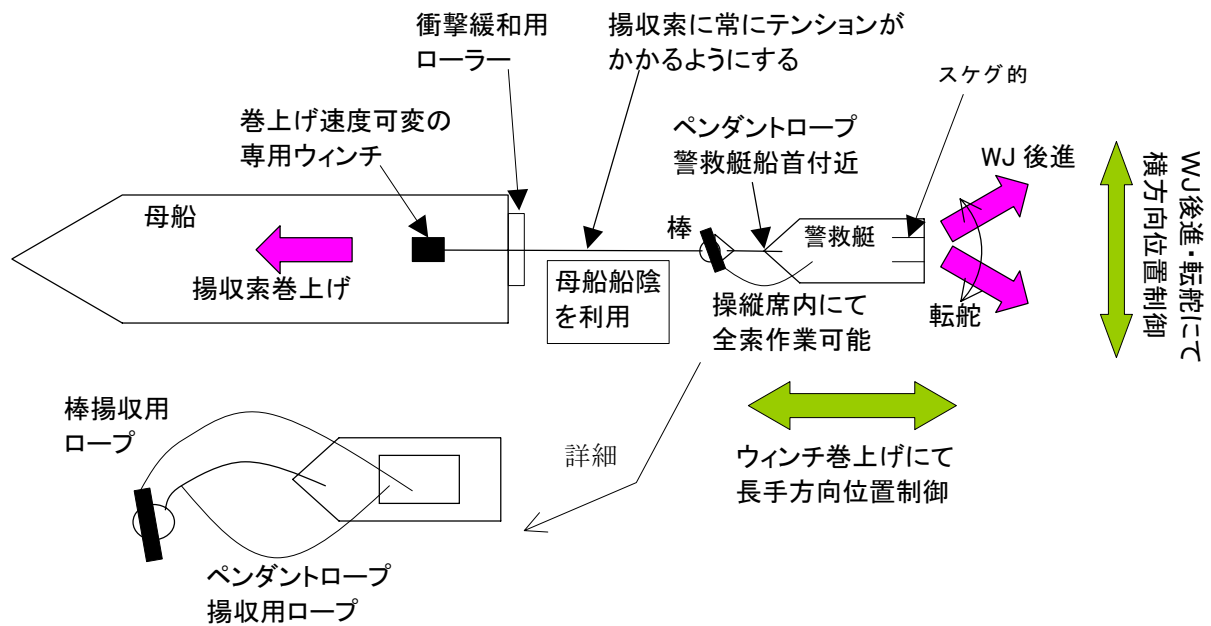


図 4.4.2.14 ドライドック式・ウインチ揚収方式における新揚収方式

4.5. 試設計

4.5.1. 基本仕様と船尾揚収装置図

以上の検討を踏まえて、ドライドック式の船尾形状試設計を実施した。表 4.5.1.1 に基本仕様を示す。また、図 4.5.1.1 にウインチ揚収方式、図 4.5.1.2 にベルトコンベア方式の船尾部一般配置図を示す。

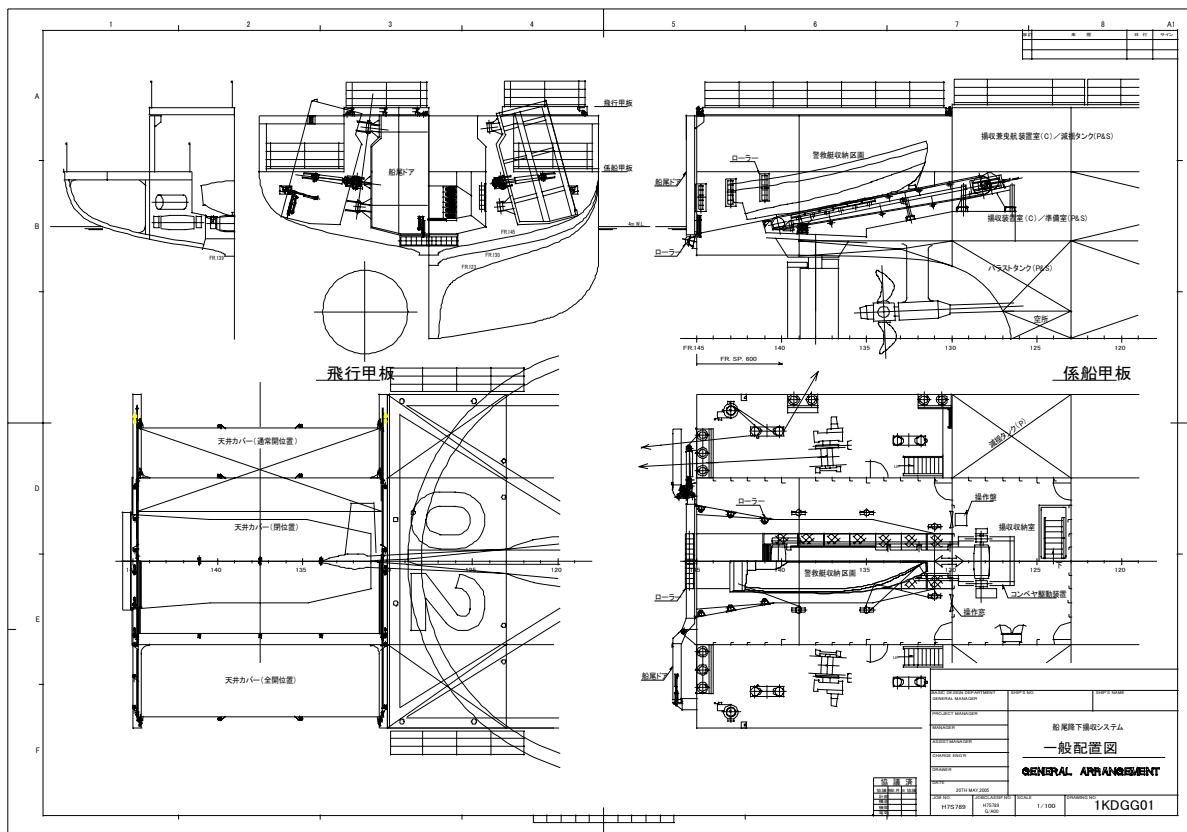


図 4.5.1.2 ベルトコンベア方式 船尾一般配置図

以下に大物機器に関する基本仕様と基本図を示す。

【船尾ドア】(図 4.5.1.3 参照)

- 型式 : 鋼製観音開き方式ドア×1基
- 外形寸法 : ドア巾 約4.1m ドア高さ 約4.3m
- 最大設計荷重 : 等分布荷重1.6 t/m² (水流抵抗より算定)
- 駆動方式 : 開閉固縛ともに油圧シリンダ
- 密閉種類 : 風雨密
- 作動時間 : 50～60秒 (締付及び固縛操作時間を除く)
- 油圧源 : 甲板機械用油圧源を使用
- 開閉シリンダ : アメリカンリンク方式

【ドック開口カバー】(図 4.5.1.4 参照)

- 型式 : 鋼製サイドローリング方式 x 1基
- 外形寸法 : カバー巾 約6.0m カバー長さ 約8.6m
- 最大設計荷重 : 等分布荷重1.0 t/m² (規則を参考に算定)
- 駆動方式 : 開閉-油圧シリンダ 固縛-手動クリート (開放時兼用)
- 密閉種類 : 風雨密
- 作動時間 : 通常開位置まで約40秒、全開約1分 (締付/固縛操作時間除く)
- 油圧源 : 甲板機械用油圧源を使用

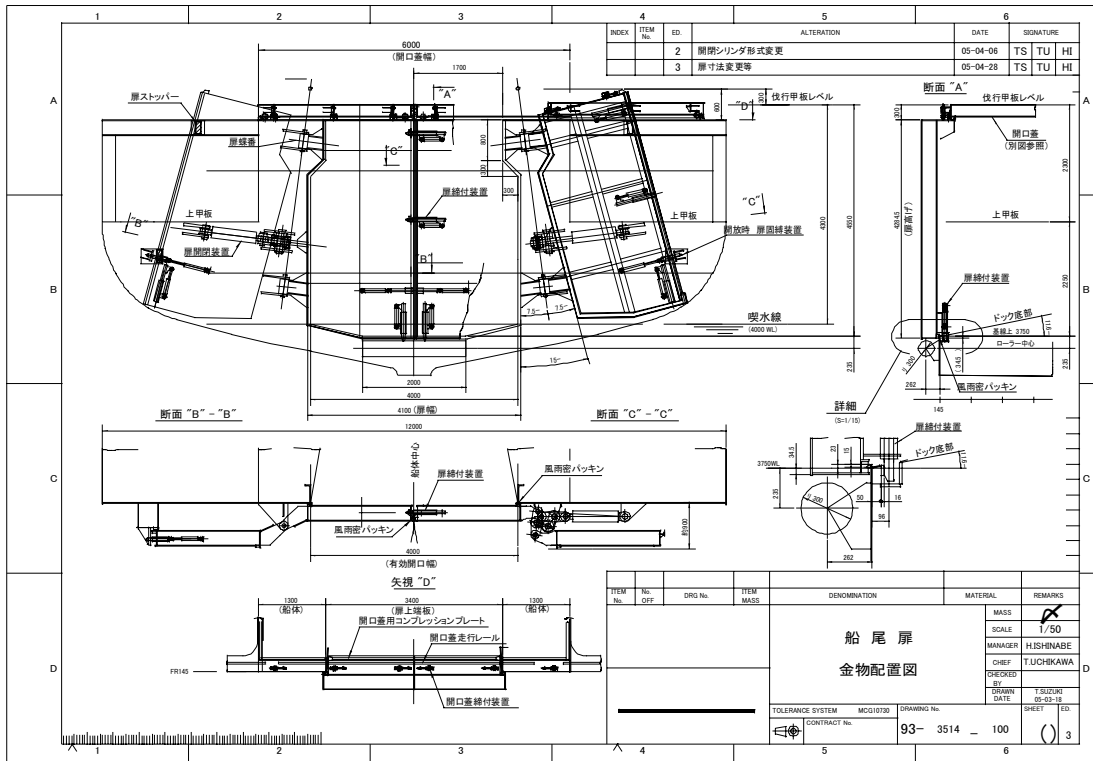


図 4.5.1.3 船尾ドア金物配置図

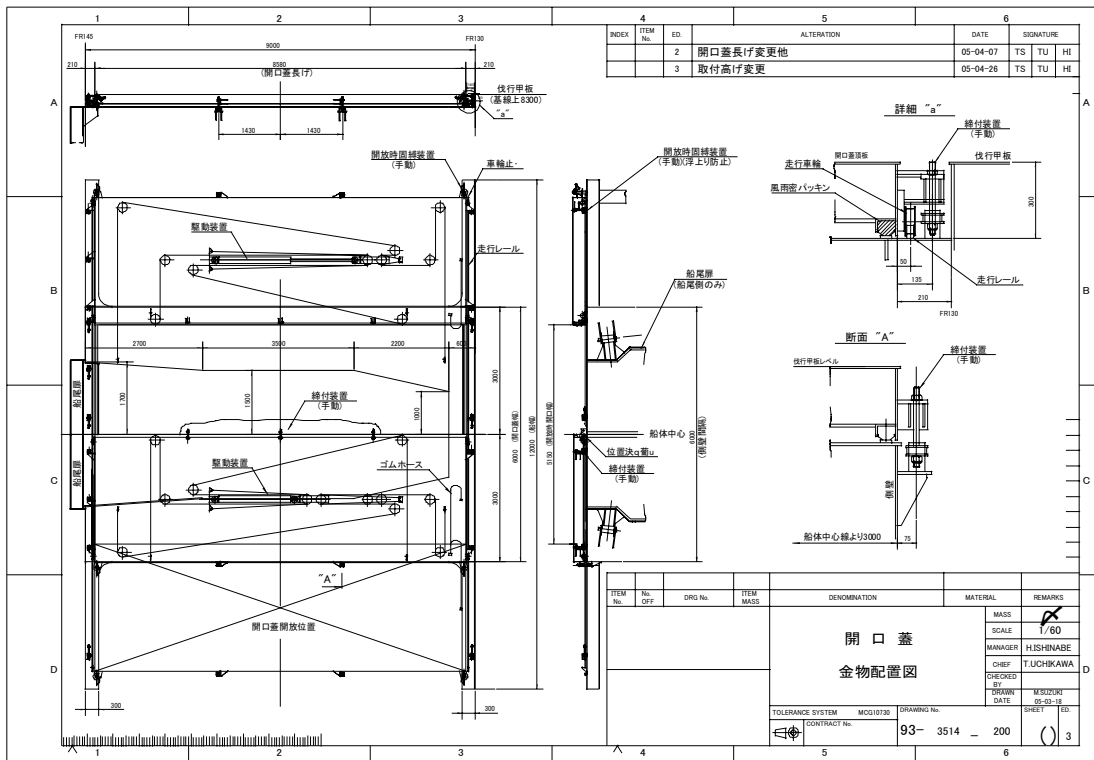


図 4.5.1.4 ドック開口カバー金物配置図

【ローラー類】

船尾乗り上げ用ローラーは外径300mmの回転体としてのローラー部とシャフト、及びフレームにて構成される。ローラー部は内部に補強層としての繊維が積層埋設されたゴム製ローラーであり、内径部にステンレス製心材を有している。また心材とシャフト間には、ポリエチレン製ブッシュを挿入している。一方、ドック側壁の船尾ローラーは外径175mmで同様の構造を有す。

【電動油圧式船尾揚収装置用ウインチ】（ウインチ揚収方式）

無線リモコン操作が可能な高油圧式ウインチで、ポンプユニットともに基本要目を表4.5.1.1に示す。

表 4.5.1.1 電動油圧式船尾揚収装置用ウインチシステム基本要目表

ウインチ要目表		
ホーサードラム	巻込荷重	49 kN ドラム上1層目
	巻込速度	60 m/min. 同上
	巻取索容量	φ30 × 60 m 1層巻取
	ドラム寸法	φ600 × 1000 L
	ブレーキ保持荷重	73.5 kN ドラム上1層目

ポンプユニット要目表		
ポンプ No.	No. 1, 2	
ポンプタイプ	*	
吐出量	2 x 115 L/min.	
安全弁セット圧力	27.0 MPa	
レギュレータセット圧力	24.5 MPa (No.1), 23.5 MPa (No.2)	
電動機	出力	55 kW
	電圧/電流	440 V / * A
	Hz / 極数	60 / 4
	定格	連続
	100%荷重時の回転数	1755 r.p.m.
	型式	*
	メーカー	*

【電動船尾揚収装置用ベルトコンベア】（ベルトコンベア方式）

基本要目を表 4.5.1.2 に示す。

表 4.5.1.2 電動船尾揚収装置用ベルトコンベア基本要目表

運転方式		可逆式
輸送物		7m警備救難艇
輸送重量		自重:約3t
水平機長	(m)	7.162
揚程	(m)	1.469
ベルト幅	(mm)	1000
ベルト速度	(m/min)	60~90
設備動力	(kW)	37

図 4.5.1.5～図 4.5.1.7 にドライドック式船尾揚収システムの具体的なイメージCG（コンピューターグラフィックス）を示す。

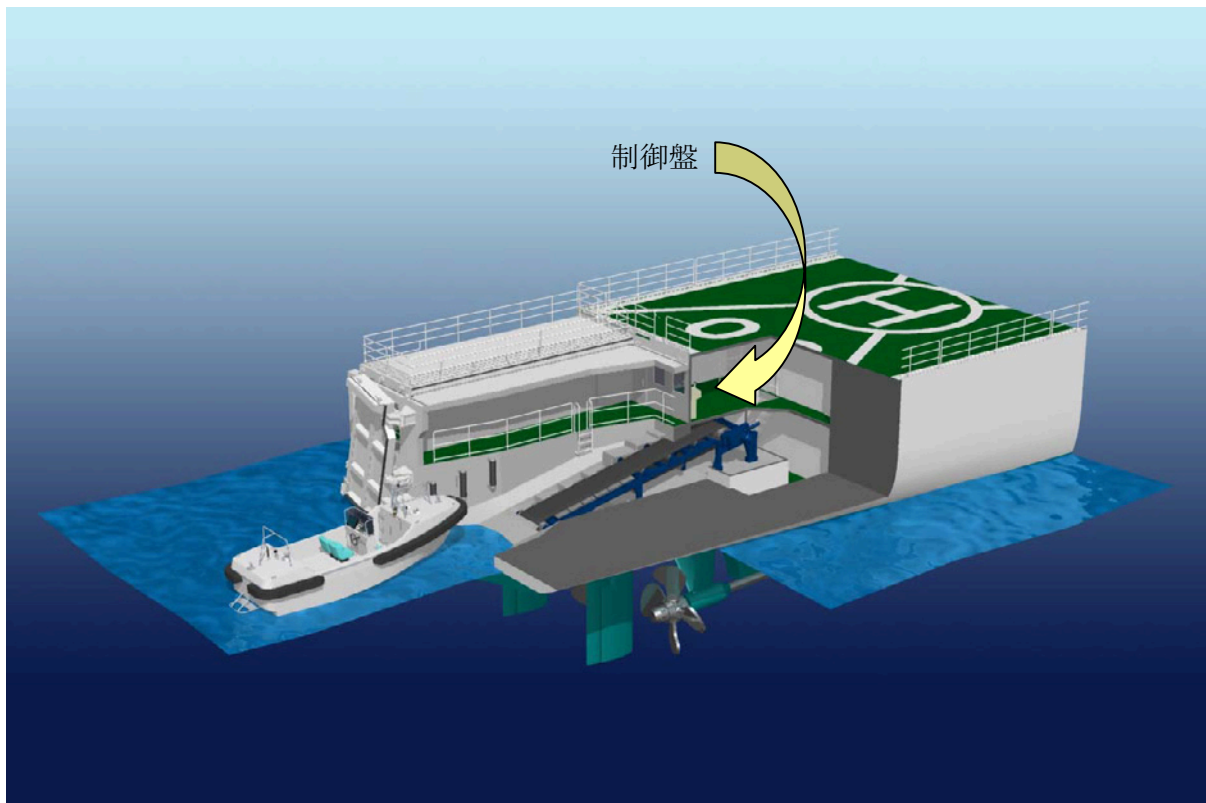


図 4.5.1.5 ドライドック式船尾揚収システムイメージ（ベルトコンベア式）

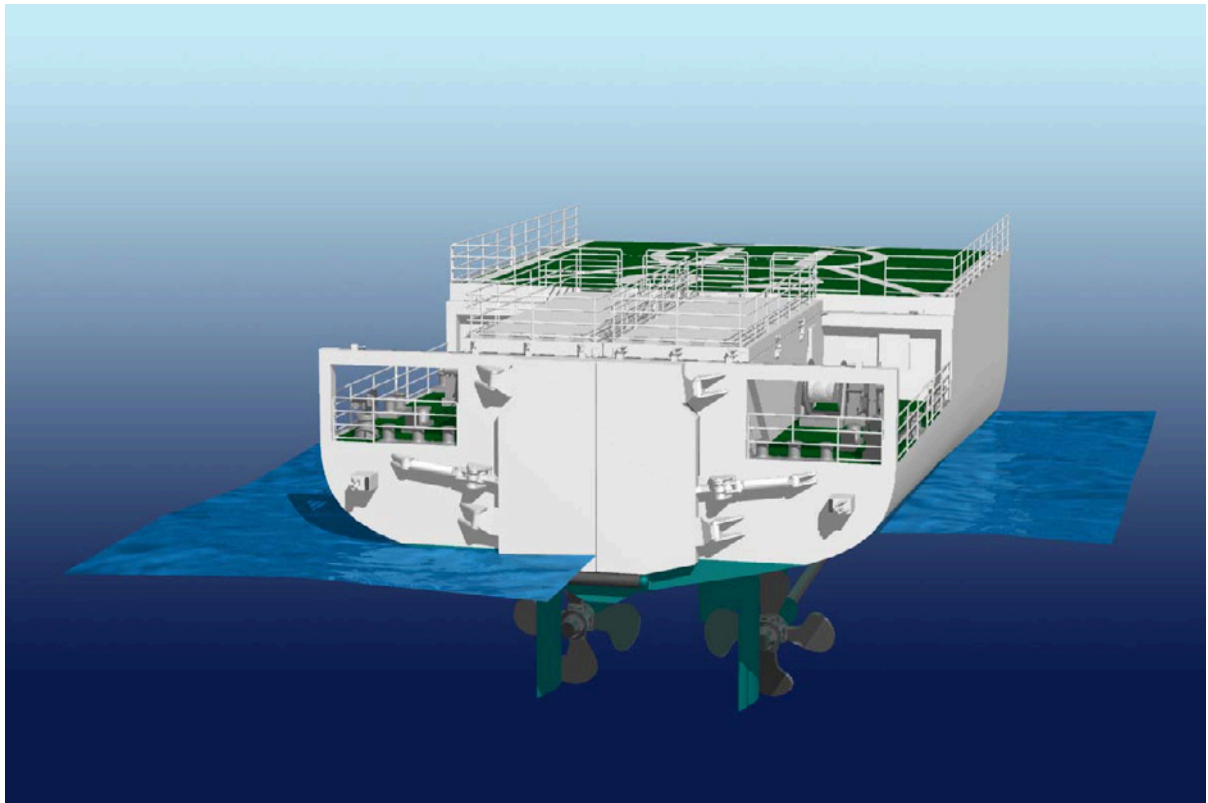


図 4.5.1.6 ドライドック式船尾揚収システムイメージ（ドア閉鎖時）

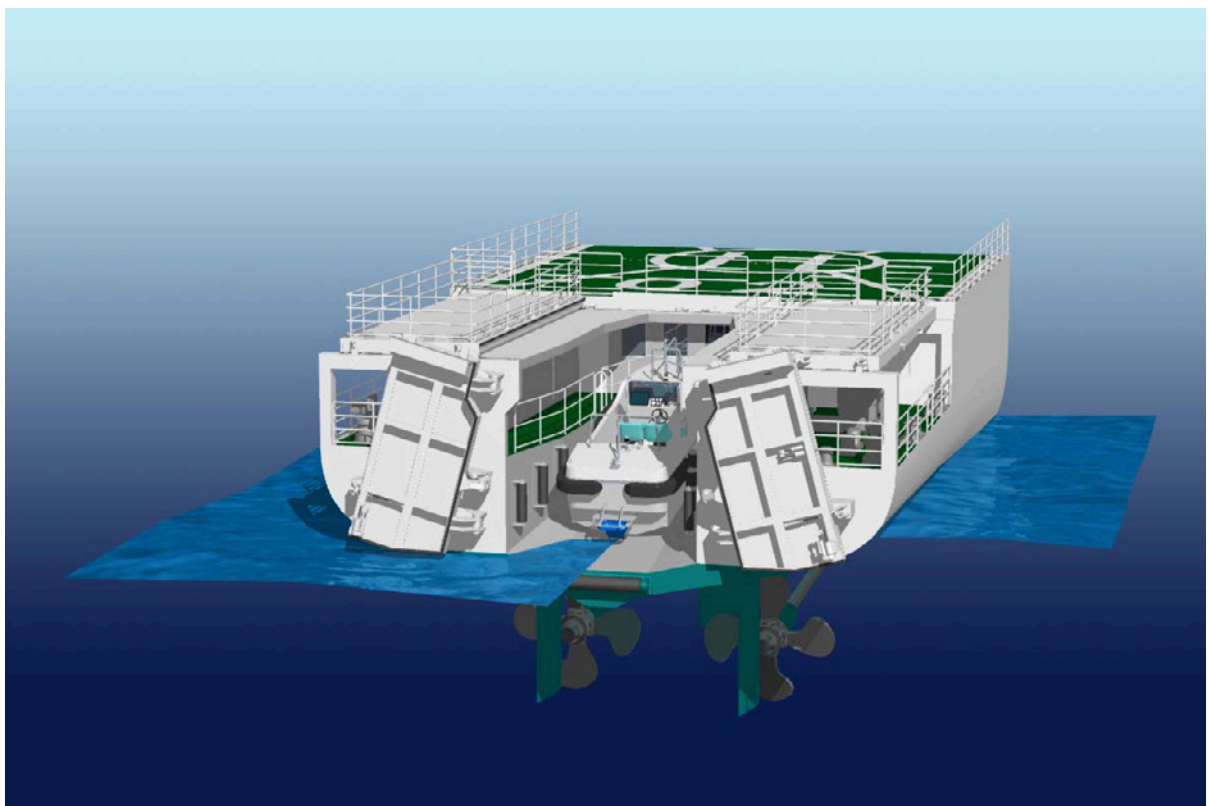


図 4.5.1.7 ドライドック式船尾揚収システムイメージ（ドア開放時）

4.5.2. 降下揚収作業手順（作業人員数と作業時間）

降下揚収作業には、作業員2名、制御盤の操作者1名、指揮者1名の合計4人で従事する。（作業員数に搭載艇乗員は除く）作業中、指揮者は搭載艇収納区画に、常駐するが、作業員は状況に応じて移動する。ドック開口カバーのクリート固縛・解除や搭載艇収納区画にて搭載艇の固縛・解除作業に従事する他、ウインチ揚収方式の場合には揚収索の受け渡し・回収作業も実施するからである。

油圧駆動系の制御システム操作は全て操作盤に集約し、作業の時間短縮と合理化を図った。操作者は降下揚収作業中、制御盤の前に常駐することになる。

指揮者と操作者の常駐位置、及び作業員の動線関係を、ウインチ揚収方式の場合を例に、図4.5.2.1に示す。飛行甲板レベルと係船甲板レベルとのアクセスは、ドック開口カバーが閉じた状態では階段を、開いた状態では垂直梯子を利用することになる。

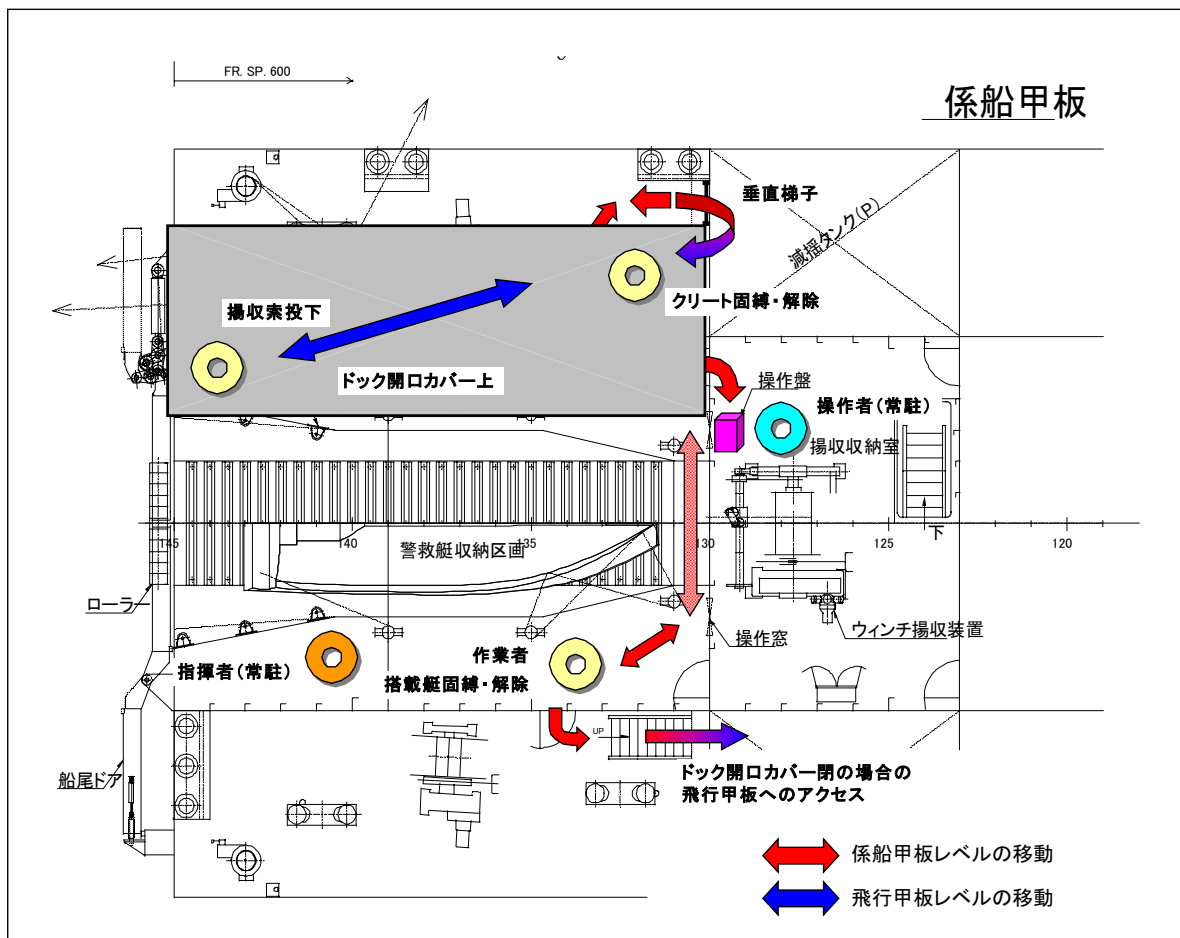


図 4.5.2.1 ドライドック式（ウインチ揚収方式）における指揮者、操作者、作業者

降下の作業手順を図4.5.2.2に示す。降下に関してはウインチ揚収方式では重力自由降下になるし、ベルトコンベア方式では、コンベアの逆回転にて行われるため、作業時間としては大差ない。目安として作業時間は約5分になる模様である。

降下	指揮者 1人	操作者 1人	作業者 2人	搭載艇	時間(s)	
ドック開口カバー固縛解除 (クリート17箇所)			80s		00	
ドック開口カバー・オープニング (自動:油圧駆動40秒)			40s			30
船尾ドア固縛解除及びオープニング (自動:油圧駆動50秒)		カバー固縛 作業者移動	50s		20s	120
					30s	150
搭載艇固縛解除(10索) (搭載艇降下開始)		100s	100s			180
揚収索接続解除(ウインチ揚収)及び降下*		20s	20s		機関始動	210
						270
					合計 290秒	

※コンベア方式では降下に操作者による作業が必要、ウインチ方式では自由降下。

合計 290秒

図 4.5.2.2 ドライドック式における降下手順および作業時間

揚収の作業手順を、同様に所用人員数および所用時間とともに図 4.5.2.3 に示す。揚収に関してはウインチ揚収方式の方がベルトコンベア方式より作業時間が増加する。以下はウインチ揚収方式を念頭においている。作業時間の目安は9～10分となる。

揚収(主にウインチ揚収方式を対象とした場合)	指揮者 1人	操作者 1人	作業者 2人	搭載艇	時間(s)		
ドック開口カバー固縛解除 (クリート17箇所)			80s	母船 船尾 追走	00		
ドック開口カバー・オープニング (自動:油圧駆動40秒)			40s		30s	30	
船尾ドア固縛解除及びオープニング (自動:油圧駆動50秒)		揚収索先端 飛行甲板より 投下用意	50s		60s	120	
					70s	150	
搭載艇～母船間にて揚収索の空中受け渡し (ウインチ揚収:飛行甲板レベルより揚収索投下)					70s	ペンダント ロープ 接続	180
ウインチもしくはコンベア始動開始 搭載艇揚収 (搭載艇:ウインチ→リモコン操作+後進操舵) (搭載艇:コンベア→操船)		作業者1P移動	120s		30s	後進操舵 リモコン ウインチ 操作 その他	240
							300
船尾ドア・クロージング及び固縛 (自動:油圧駆動50秒)		搭載艇 固縛 (10索)	50s		100s	360	
ドック開口カバー・クロージング (自動:油圧駆動40秒)			40s			420	
作業者移動					30s	480	
ドック開口カバー固縛 (クリート17箇所)			80s	510			
					合計 570秒		

合計 570秒

図 4.5.2.3 ドライドック式における揚収手順および作業時間

4.6. 今後の検討課題

ドライドック式システムに関してはウインチ揚収方式とベルトコンベア方式の2種類を検討した。ウインチ揚収方式は比較的シンプルな機構で、安定して揚収が行える利点があり、搭載艇の船首水線下に突起が無く、船首付近を揚収索で曳かれるため特に波高2 m以上になるとベルトコンベア方式よりヨー方向の振れに対し若干安定した揚収が行える傾向が認められる。

一方、ベルトコンベア方式は揚収索を不要とするので索に纏わる危険作業がなくなる利点がある。

なお、両方式とも、スリップウェイ上での横安定性を改善するためには、搭載艇の船尾船底付近にスケグ的なものを装備するもしくは、フラットキールとするなどの若干の改造が必要となるため、強度面及び速力低下量等の面で検討が必要になると思われる。さらに、ベルトコンベア方式については、搭載艇の船首部に出し入れ可能なフッキング機構を設けなければならず、コンベア自体のメンテナンス対策（補修費用も含む。）なども検討していかなければならない。

また、本研究開発では母船の船体構造強度（特にドライドック式コンセプトの船尾形状は肉厚の薄い凹型形状をしているため、船尾部の構造強度）および復原性等の詳細な検討が実施されていない。実設計の段階では、それらの検討が必要になると思われる。

5. 導水管式船尾降下揚収システム

5.1. 基本コンセプト

5.1.1. ドライドック式コンセプトの速力限界

ドライドック式コンセプトにおいては、船尾の相対水位変動を改善した実用型船尾形状（改3）においても、速力が15ノットを超えるような高速では船尾波の隆起が大きく、搭載艇の降下はやはり困難になる。この状況下では、搭載艇がスリップウェイを滑り降りた後に、船尾と船尾端から少し後方の波の隆起との間に搭載艇が挟まれるような形となり、その状態から操船による抜け出しが難しい。

5.1.2. 導水管式コンセプトの基本原理

母船が航走中において搭載艇の船尾降下揚収が困難になる幾つかの問題点としては、搭載艇降下・着水時の母船航走波への衝撃や、揚収時の船尾不安定流場の中での搭載艇の操船困難、船尾流場とドック内との流場不連続性ゆえの急加速による激突などが挙げられる。これらの原因としては、母船が高速で航走することによって、ドック内の水位が極端に低下すること、ドック入口では相対流速が急激にゼロになること、船尾後方に航走波による水面盛り上がりができることなどが挙げられる。

これらの問題点、原因を解決する手段として考案されたのが導水管式である。すなわち、ドック前方の取水口から前進流の動圧を利用して海水を引き込み、ドック内に水流を発生させることにより、前記原因の前者二つが取り除かれ、結果的に航走波による水面の盛り上がりもある程度平均化される。

これにより搭載艇の急激なスロットル操作が不要となるため、降下時にドック内からスムーズに離れ、揚収時にスムーズに近づくことができ、安全な操船が可能となる。

また、取水口をリトラクタブルとすることにより、以下の大きな特徴を有する。

- ① 降下揚収時以外は取水口を閉じることにより、通常航走時の船体抵抗への影響を非常に小さくできる。
- ② 設計時に必要最大流量を押さえておけば、あとは必要に応じて流量を現場で任意に調整できる。
- ③ 海象や速力、搭載船の違いに応じて適切な開度を設定できる。

研究開発における実験は2種類の模型で実施している。ひとつはスケール1/25模型による基礎実験であり、平水中、規則波中、不規則波中、さらに過渡水波中での実験が行われた。もうひとつはスケール1/17模型による船尾の流速分布計測を行った実験であり、主にプロペラ作動状態への影響を調査した実験である。

5.2. 基礎実験

5.2.1. 模型および実験装置の概要

(1) 模型船

導水管式コンセプトの実現性を確認することを目的として、縮尺模型による水槽試験を実施した。母船型は「えりも」とし、抵抗計測試験以外はプロペラによるモデルポイントでの自航推進とした。実施した試験は主に以下の3種類である。

- ① 母船の取水口開閉抵抗計測試験：平水中の母船の取水口開閉による抵抗計測
- ② 導水出口流速・ドック内外水位計測試験：平水中／規則波中の導水管出口流速およびドック内外水位変動応答の計測

③ 降下揚収試験: 平水中／規則／不規則波／過渡水波中において搭載艇降下揚収試験を実施

供試模型の概要は以下の通り。

① 母船: 供試模型は木・ウレタン製による縮尺 1/25 の模型船である。船型は「えりも」のスケールモデルで、主要目を以下に示す。供試模型写真を図 5.2.1.1 に、同（ドック、プロペラ）写真を図 5.2.1.2 に、リトラクタブル取水口供試模型写真を図 5.2.1.3 に示す。

- ・縮尺 : 1/25
- ・長さ: 約 3.4m
- ・付加物: リモコン式リトラクタブル導水管（両舷）装備、シャフト、ブラケット、舵（2 舵）、プロペラ（2 軸）
- ・ドック: ウェットタイプ、リモコン式開閉船尾扉付き

② 搭載艇: 供試模型は市販のウォータージェット模型を利用して横浜国立大学にて製作されたラジコン式ウォータージェット推進艇である。主な要目を以下に示す。模型船の写真を図 5.2.1.4 に示す。

- ・縮尺 : 1/25
- ・長さ: 約 0.35m
- ・付加物: ウォータージェット（1 基）



図 5.2.1.1 母船供試模型写真

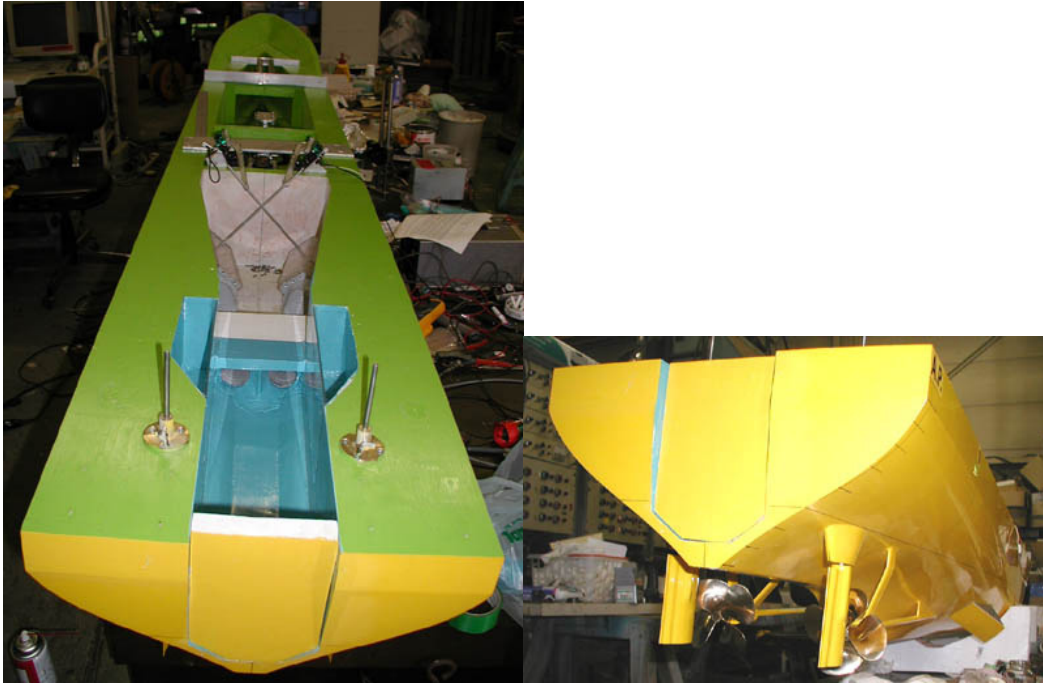
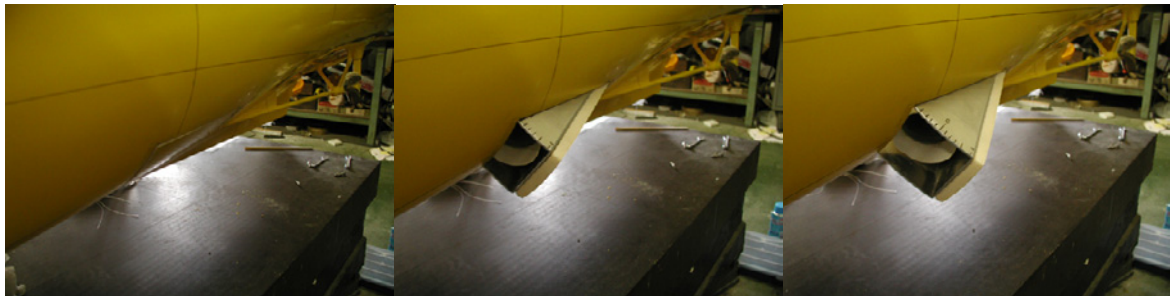


図 5.2.1.2 母船供試模型（ドック、プロペラ）写真



取水口：閉

取水口：開度 50%

取水口：開度 100%

図 5.2.1.3 リトラクタブル取水口供試模型写真



図 5.2.1.4 搭載艇供試模型写真

- (2) 計測装置および試験設備
供試母船模型搭載の計測装置の写真を図 5.2.1.5～図 5.2.1.7 に示す。

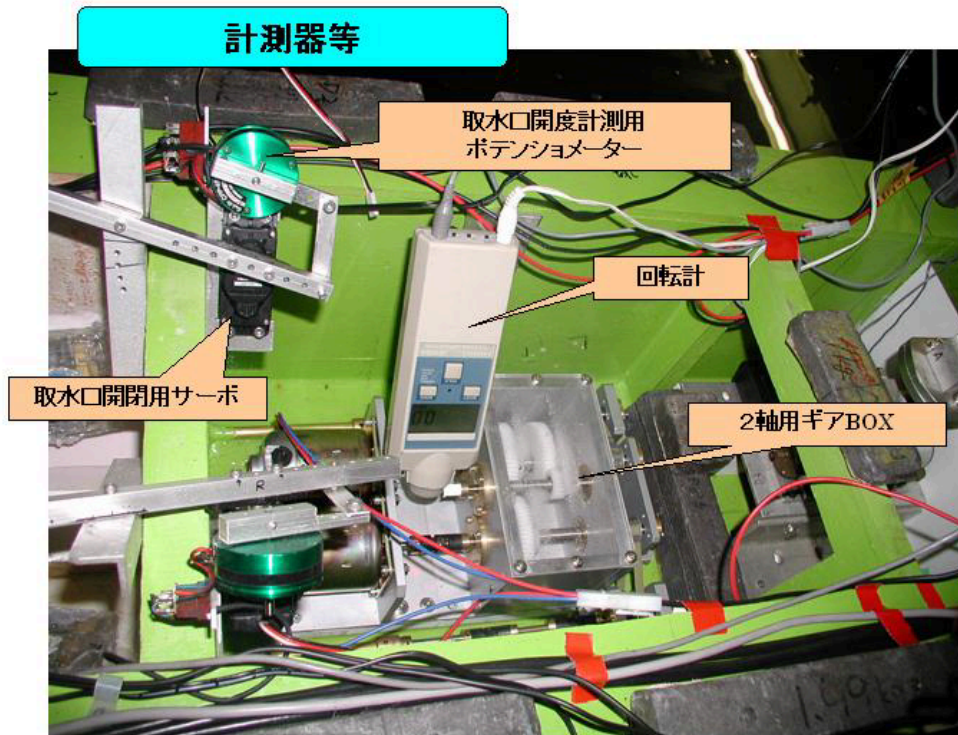


図 5.2.1.5 母船模型搭載計測装置写真 (その 1)

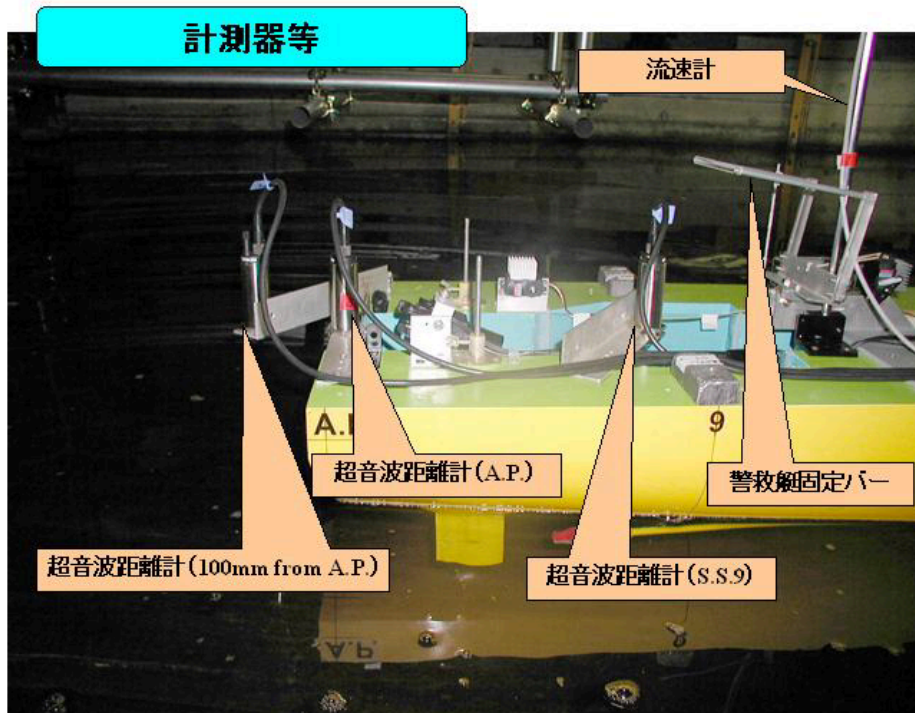


図 5.2.1.6 母船模型搭載計測装置写真 (その 2)

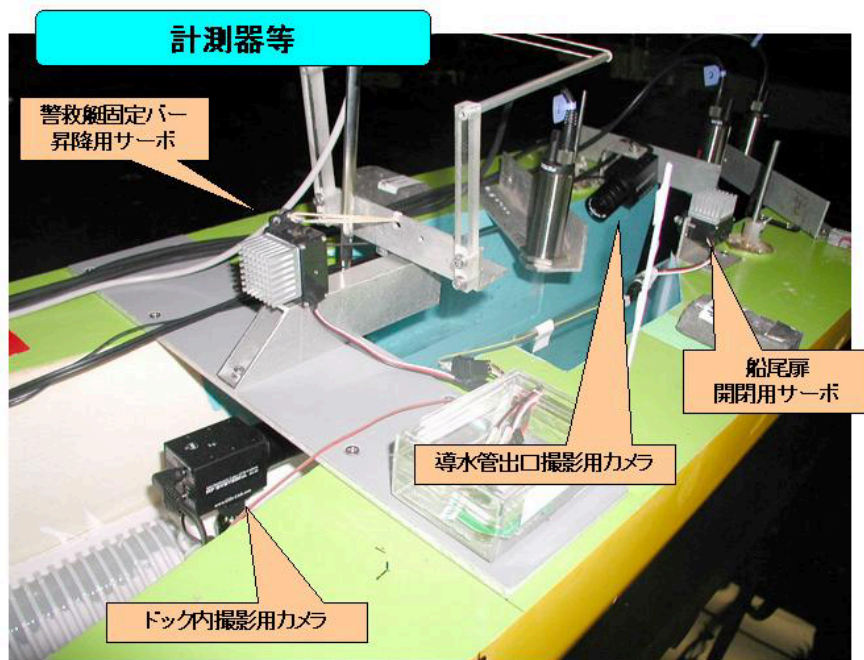


図 5.2.1.7 母船模型搭載計測装置写真 (その3)

試験を実施した水槽の概要は以下に示すとおりである。

- ・ 横浜国立大学水槽：長さ 100m×幅 8m×水深 3.5m
- ・ 造波機：24 分割プランジヤー式、AC サーボモーター制御

一連の試験を通して計測した項目を表 5.2.1.1 に示す。

表 5.2.1.1 基礎実験計測項目

船尾降下揚収艇実験 計測項目

1	曳航台車速度	10	ドック内水位 (10cm aft from A.P.)
2	固定波高	11	ドック内外波形 (平水中のみ)
3	出会波高	12	取水口開度 (左舷)
4	抵抗	13	取水口開度 (右舷)
5	Heave	14	警救艇位置
6	Pitch	15	警救艇モーター指示回転数
7	母船プロペラ回転数	16	警救艇ラダー指示舵角
8	ドック内水位 (S.S.9)	17	取水口振動
9	ドック内水位 (A.P.)	18	ドック内流速

ビデオ撮影ポイント

- 全景
- ドック内
- 導水管出口
- 警救艇

5.2.2. 平水中および規則波中実験

(1) 実験状態（母船の吃水）について

母船の調整（吃水、KG等）は導水管及びドック内がドライの状態で行ったが、実験時にはこれらに注水した状態で計測を実施することになるため船尾が沈下する。そこではじめに何種類かの状態での実験を行い、注水した状態で排水量はそのままにトリムを水平にするようにバラストウェイトの位置を調整する方法がもっとも現実的であると考へ、前後の吃水が標準状態の160mmから5mm増加した165mm（実船では4m→4.125m）で計測を進めた。

また、取水口の開度についても50%、100%に関して計測を行う予定であったが、実際にドック内の流れを観察したところ（計測もしたがセンサーでは計測できないような乱れ現象もあった）、開度100%、50%ではドック内の流れがフラットではなく、また警救艇がドック内に収まることを考えると水位が高すぎると考えられたため、開度を10%、25%で計測を進めた。

実船と模型船（スケール：1/25）での船速の対応は以下の通りである。

実船	模型船
5knot	0.514m/s
10knot	1.029m/s
15knot	1.543m/s
20knot	2.058m/s

(2) 平水中抵抗計測結果

プロペラなしの状態での平水中抵抗計測を行った結果を図5.2.2.1に示す。取水口の開度を例えば25%に取った場合、開度0の状態に比べ、模型船にて約17%の抵抗増加となっている。

本計測結果を基に実船の抵抗増加の推定および馬力増加の推定を行った結果、開度25%の状態にて、常用出力において馬力増加27%、船速低下にして約1ノットの速力低下となった。ただし、取水口の形状を工夫すれば若干の改善はありうると考へる。

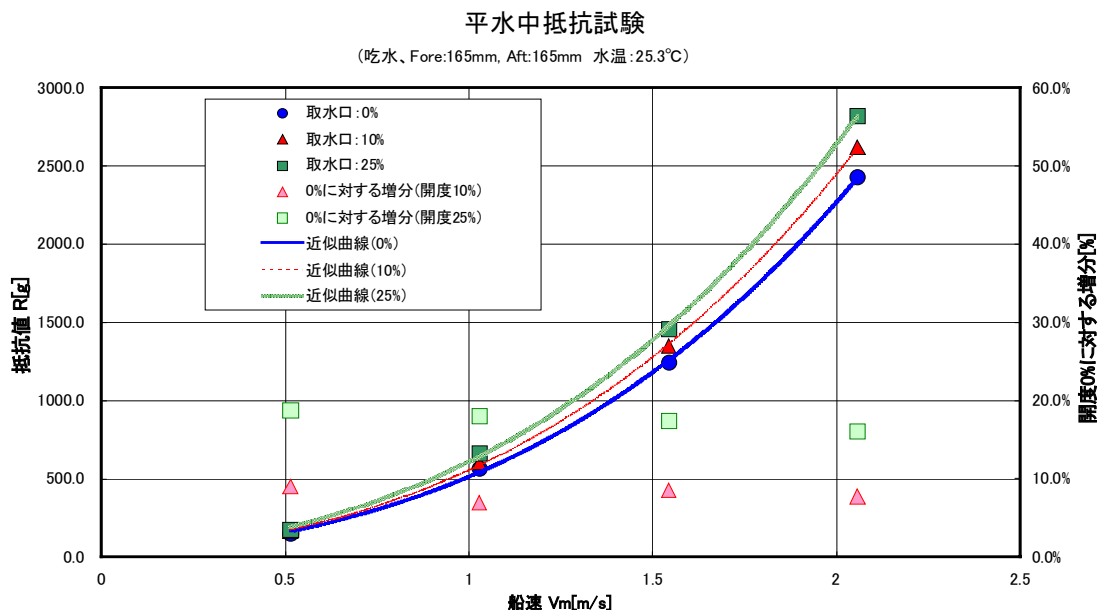


図 5.2.2.1 平水中抵抗計測結果

(3) 平水中導水管出口流速計測結果

取水口を開いた場合の平水中導水管出口流速計測結果（プロペラ作動状態およびプロペラなし）を図 5.2.2.2 に示す。取水口の開度を例えば 25% に取った場合、船速 15knot 相当プロペラ作動状態での導水管出口流速は、船速の約 36% の流速となっている。

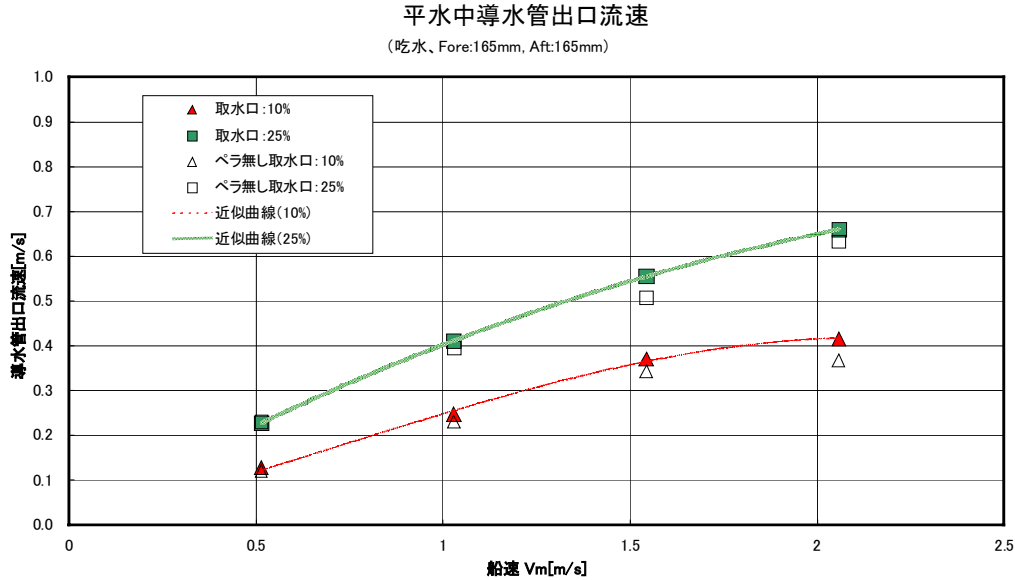


図 5.2.2.2 平水中導水管出口流速計測結果

(4) 平水中ドック内外水位計測結果

プロペラ作動状態での各船速に対する平水中ドック内外水位計測結果を図 5.2.2.3 ~ 図 5.2.2.6 に示す。これらの図より、船速 10knot 程度までは取水口の開閉による水位差はさほど大きくないことが分かる。しかし、船速 15knot 以上においては、取水口を閉じた状態ではドック内水位が大きく低下するのに対し、取水口を開いた場合にはドック内水位が静止時の水位（4.3cm）程度まで回復し、また、20knot では静止時の水位以上に回復することが見て取れる。

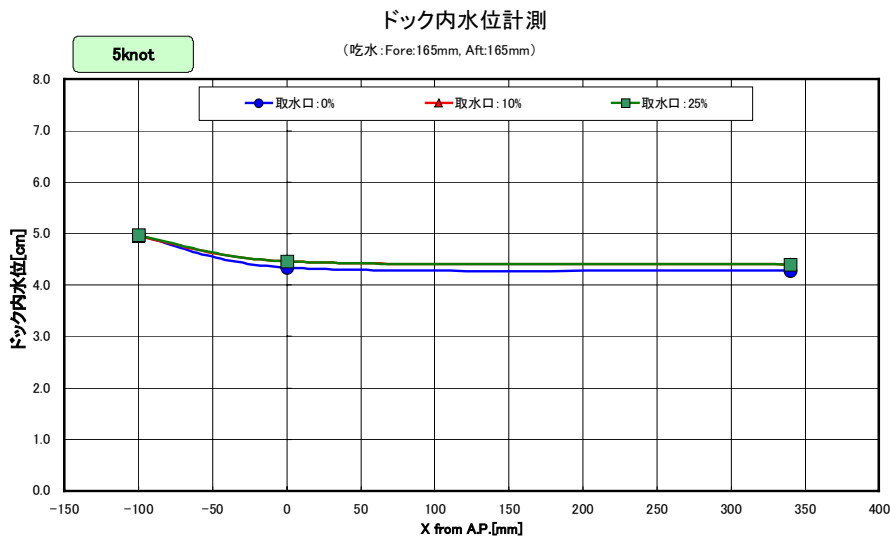


図 5.2.2.3 平水中ドック内外水位計測結果 (5knot)

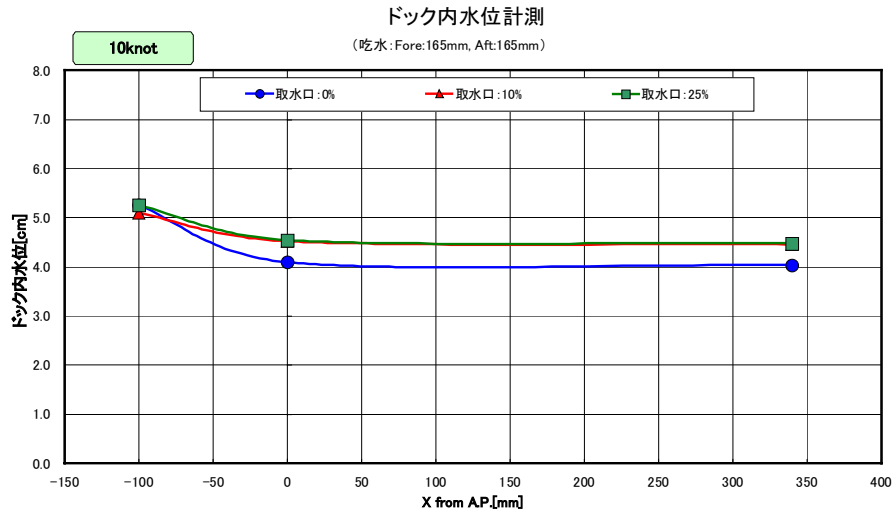


図 5.2.2.4 平水中ドック内外水位計測結果 (10knot)

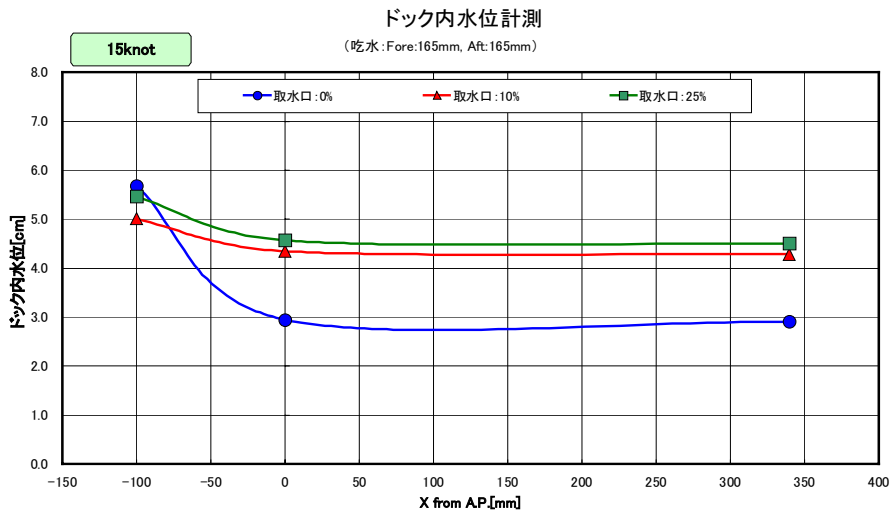


図 5.2.2.5 平水中ドック内外水位計測結果 (15knot)

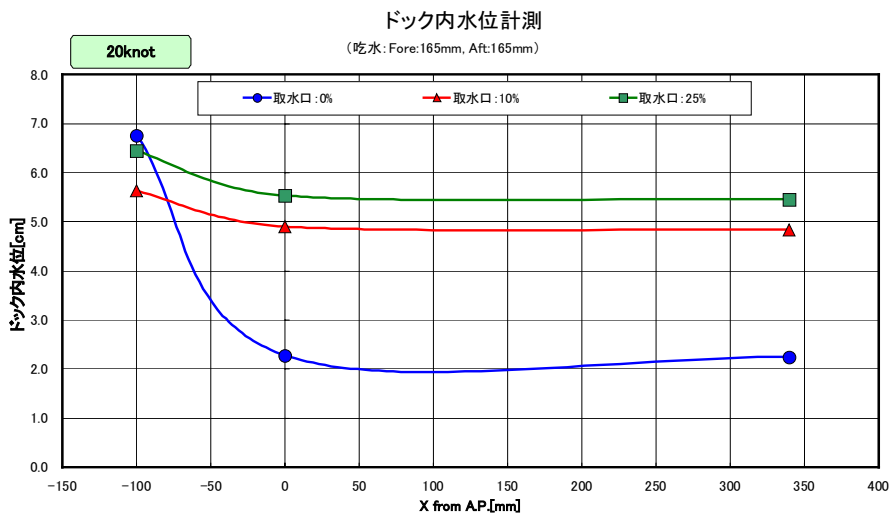


図 5.2.2.6 平水中ドック内外水位計測結果 (20knot)

- (5) 向波規則波中ドック内外水位計測結果
ここに一例として示す実験条件を以下に示す。

取水口開度	0%, 25%	
船速	20kt	
波種類	規則波 (向波)	
ケース	ケース 1	ケース 2
波高	4cm (実船: 1m)	11.2cm (実船: 2.8m)
波周期	1.65sec (実船: 8.25sec) $\lambda/L=1.25$	1.476sec (実船: 7.38sec) $\lambda/L=1.0$

上記に対応したドック内水位等の時系列計測結果を図 5.2.2.7 及び図 5.2.2.8 に示す。取水口の開閉によるドック内水位の明らかな差異が見て取れる。また、船尾垂線 AP より 100mm (実船 2.5m) 後方の位置での水位の変化をみると、取水口: 開の場合は閉に比べて水位の変動が小さくなっているのが分かる。

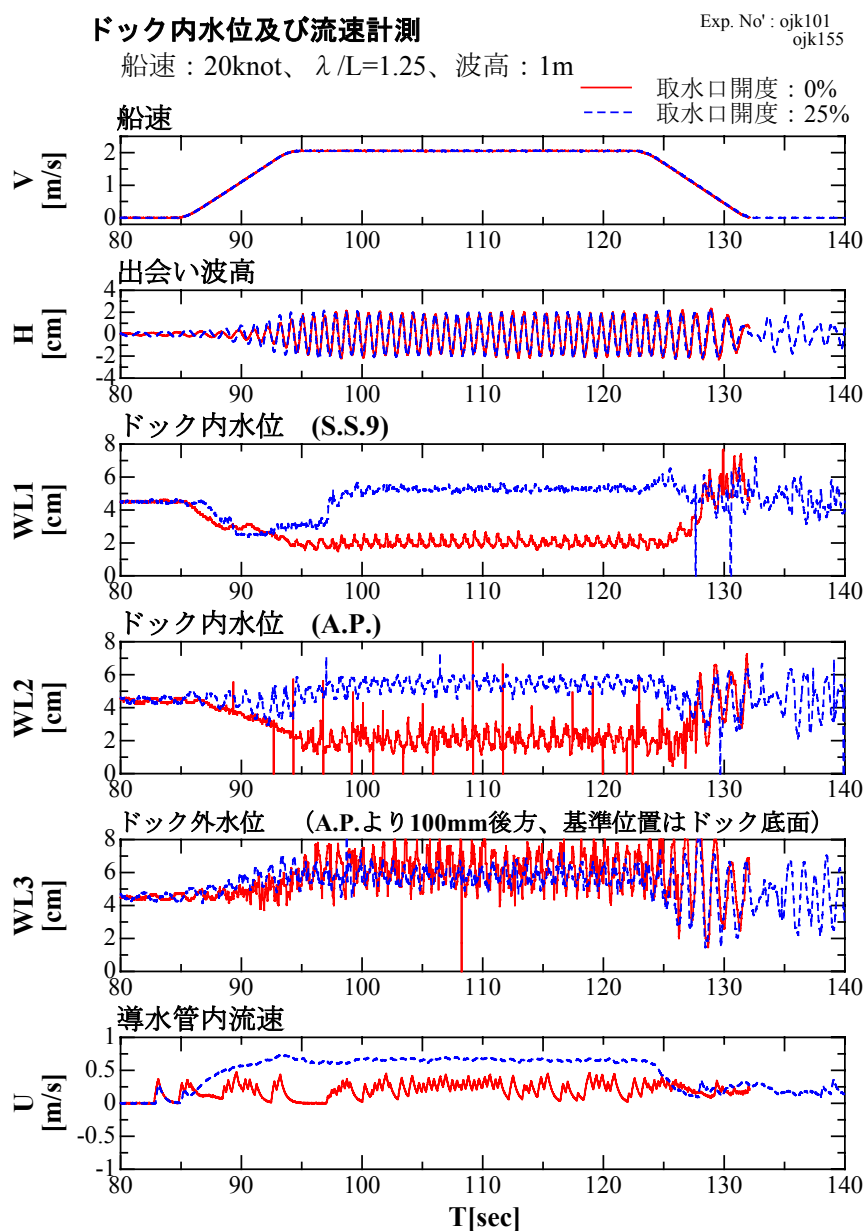


図 5.2.2.7 規則波中ドック内外水位計測結果 (20knot、 $H_s=1.0m$)

ドック内水位及び流速計測

Exp. No' : ojk098
ojk152

船速 : 20knot、 $\lambda/L=1.0$ 、波高 : 2.8m

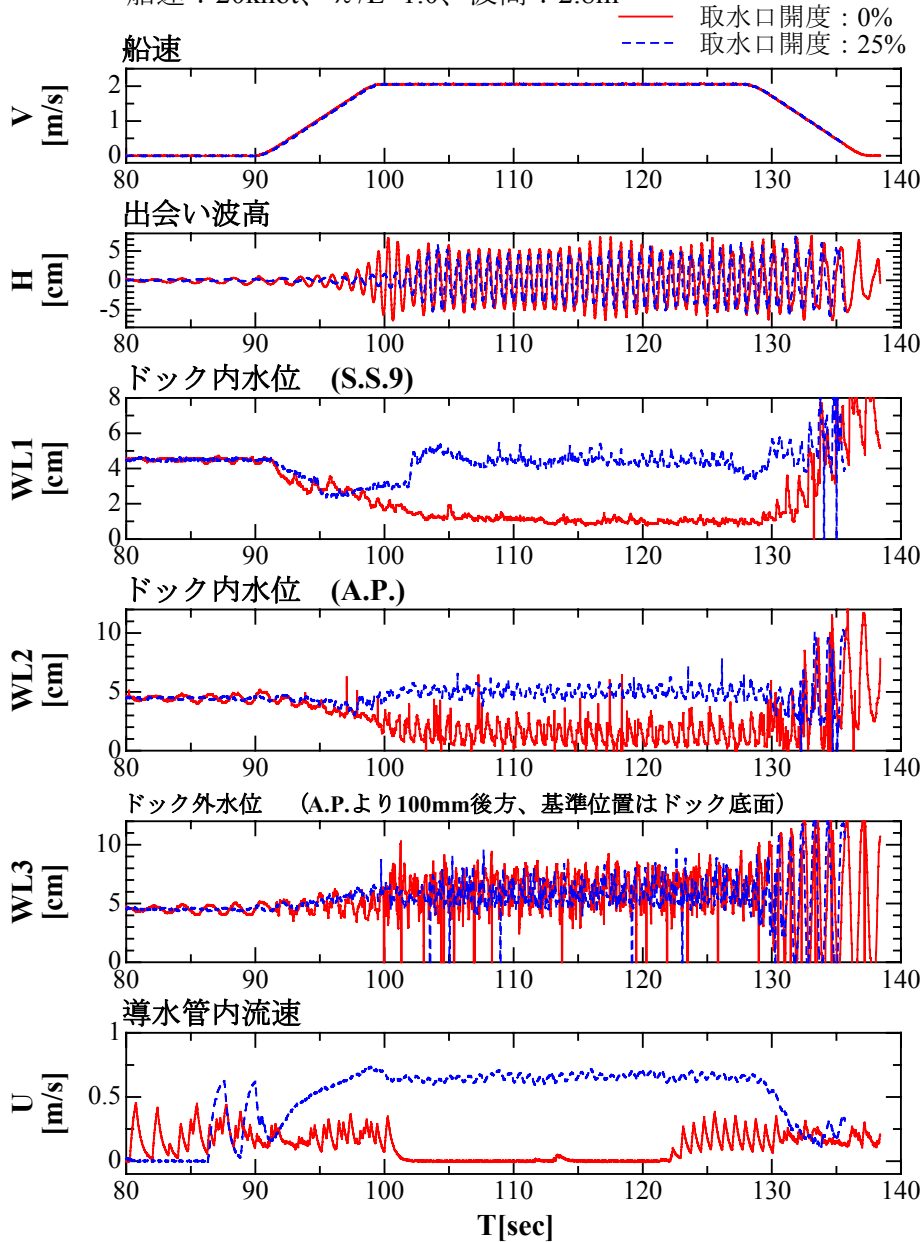


図 5.2.2.8 規則波中ドック内外水位計測結果 (20knot、 $H_s=2.8m$)

また、図 5.2.2.9 及び図 5.2.2.10 には、船速 10knot 及び 15knot 相当での相対水位変動の応答関数を示す。特に、船尾垂線 AP より 100mm (実船 2.5m) 後方の位置での水位変動の、取水口の開閉による差異が大きく、取水口開では閉に比べ相対水位変動が小さくなっている。

以上より、導水管方式により船後における波浪による水位変動もある程度平均化されることが分かる。

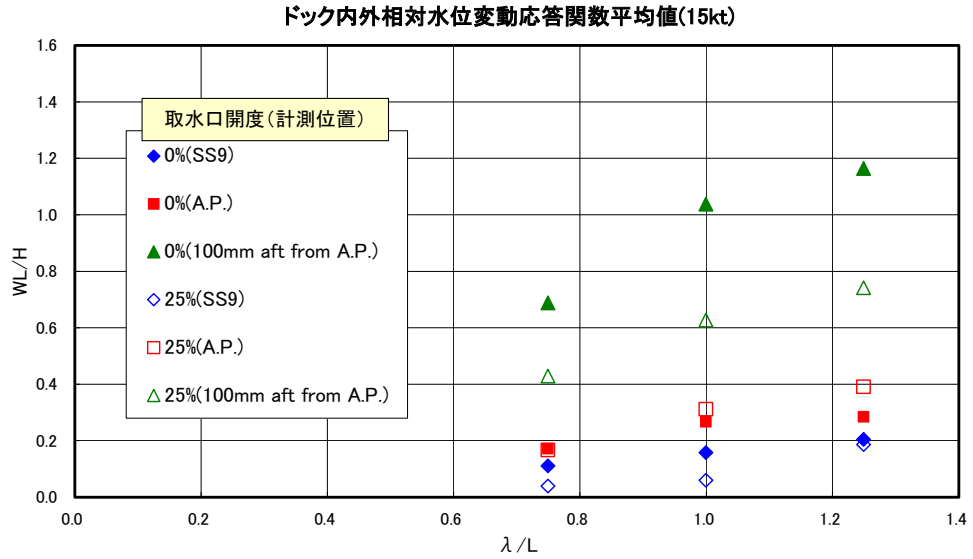


図 5.2.2.9 規則波中ドック内外水位変動計測結果 (15knot)

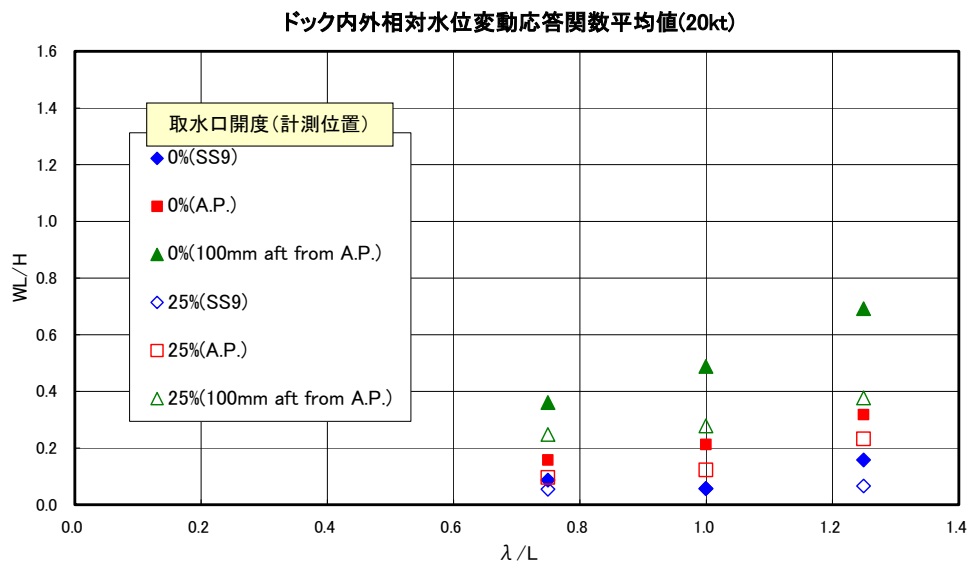


図 5.2.2.10 規則波中ドック内外水位変動計測結果 (20knot)

(6) 降下揚収実験時の警救艇操船状況 (入渠の可・不可)
(平水中、規則波中 (向波・追い波))

(6.1) 平水中における警救艇の入渠状況

各船速に対する平水中における警救艇の入渠状況の試験結果を表 5.2.2.1 に示す。取水口を閉じた状態ではドック内の水位が低くなる 15knot、20knot のケースでは入渠ができないが、開度 25%の導水を行うことにより入渠がスムーズに行えるようになることがわかる。図 5.2.2.11 に 20knot、開度 25%時の警救艇の入渠状況写真を示す。

表 5.2.2.1 平水中における警救艇の入渠状況結果

船速 取水口開度	10knot	15knot	20knot
0%	◎	×	××
10%	◎	◎or○	△○
25%	◎	◎	◎○

◎：入渠しやすい、○：入渠可能、△：入渠しにくいが可能、●or×：入渠不可



図 5.2.2.11 平水中における警救艇の入渠状況 (20knot、開度 25%)

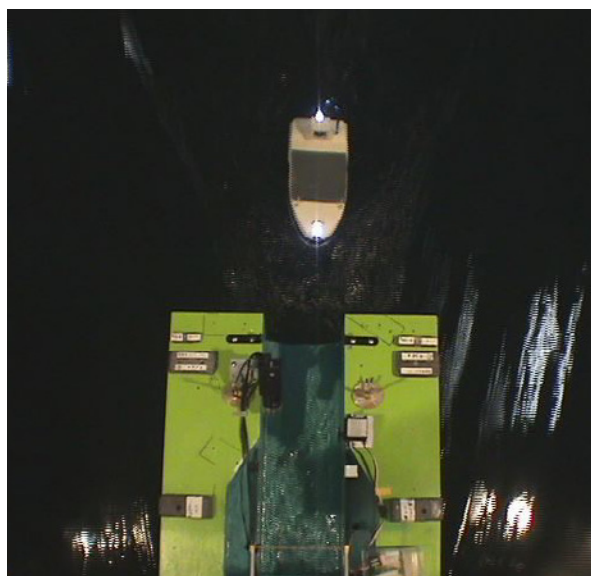
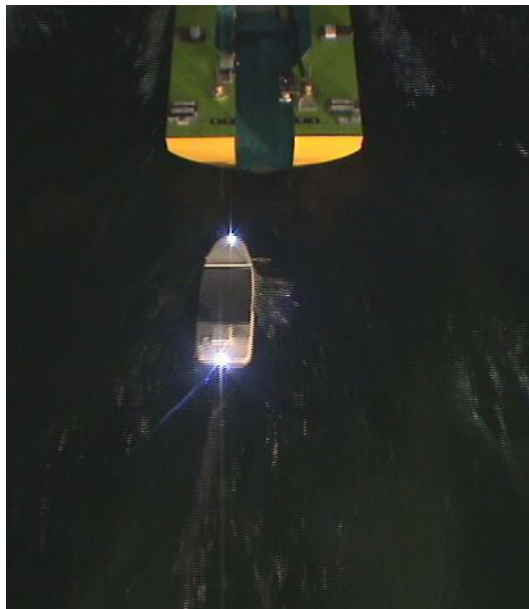


図 5.2.2.12 規則波中における警救艇の入渠状況 (左：向波、右：追い波)
(Hs=2m、15knot、開度 25%)

(6.2) 向波規則波中における警救艇の入渠状況

各船速に対する向波規則波中における警救艇の入渠状況を表 5.2.2.2 に示す。波高が小さいときの入渠状況は平水中と同様の結果である。向波規則波中では取水口開度 25%を取ると、波長が短ければ波高 2 mまで入渠が可能である。図 5.2.2.12 に波高 2m、 $\lambda/L=0.75$ 、15knot、開度 25%時の警救艇の入渠状況写真を示す。

表 5.2.2.2 向波規則波中における警救艇の入渠状況結果

		周期	$\lambda/L=0.75$	$\lambda/L=1.0$	$\lambda/L=1.25$
		波高	$T_s=6.39\text{sec}$ ($T_m=1.278\text{sec}$)	$T_s=7.38\text{sec}$ ($T_m=1.476\text{sec}$)	$T_s=8.25\text{sec}$ ($T_m=1.65\text{sec}$)
船速 10 knot	取水口開度 0%	Hs=1m (Hm=4cm)	○	○	△or×
		Hs=2m (Hm=8cm)	△or×	×	△or×
		Hs=3m (Hm=12cm)	△or×	—	—
	取水口開度 10%	Hs=1m (Hm=4cm)	◎	—	—
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	—
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—
	取水口開度 25%	Hs=1m (Hm=4cm)	◎	◎	◎
		Hs=2m (Hm=8cm)	○	△	△or×
		Hs=3m (Hm=12cm)	△or×	△or×, ×	—
船速 15 knot	取水口開度 0%	Hs=1m (Hm=4cm)	×	×	△
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	△or×
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—
	取水口開度 10%	Hs=1m (Hm=4cm)	◎	—	—
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	—
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—
	取水口開度 25%	Hs=1m (Hm=4cm)	◎, ◎	◎	◎
		Hs=2m (Hm=8cm)	○, ○or△	○or△	△
		Hs=3m (Hm=12cm)	△or×	×	—
船速 20 knot	取水口開度 0%	Hs=1m (Hm=4cm)	×	×	×
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	—
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—
	取水口開度 10%	Hs=1m (Hm=4cm)	◎or○	—	—
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	—
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—
	取水口開度 25%	Hs=1m (Hm=4cm)	○	△, △	◎
		Hs=2m (Hm=8cm)	○or△, ○	△or×	△or×
		Hs=3m (Hm=12cm)	×	×	—

◎：入渠し易い、○：入渠可能、△：入渠しにくいが可能、×：入渠不可、—：実施せず

※ 「or」：1航走中に複数回入渠を実施、「,」：複数航走を実施

ここで、添え字 s:実船 m:模型船

(6.3) 追い波規則波中における警救艇の入渠状況

各船速に対する追い波規則波中における警救艇の入渠状況を表 5.2.2.3 に示す。図 5.2.2.12 右に波高 2m、 $\lambda/L=1.25$ 、15knot、開度 25%時の警救艇の入渠状況写真を示す。ここで、添え字 s:実船 m:模型船を表す。

表 5.2.2.3 追い波規則波中における警救艇の入渠状況結果

		周期 波高	$\lambda/L=0.75$	$\lambda/L=1.0$	$\lambda/L=1.25$	
			$T_s=6.39\text{sec}$ ($T_m=1.278\text{sec}$)	$T_s=7.38\text{sec}$ ($T_m=1.476\text{sec}$)	$T_s=8.25\text{sec}$ ($T_m=1.65\text{sec}$)	
船速 10 knot	取水口開度 0%	Hs=1m (Hm=4cm)	—	—	◎	×
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	◎	×
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—	
	取水口開度 10%	Hs=1m (Hm=4cm)	—	—	—	
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	—	
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—	
	取水口開度 25%	Hs=1m (Hm=4cm)	—	—	◎	×
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	◎	×
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—	
船速 15 knot	取水口開度 0%	Hs=1m (Hm=4cm)	—	—	△	×
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	○	×
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—	
	取水口開度 10%	Hs=1m (Hm=4cm)	—	—	—	
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	—	
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—	
	取水口開度 25%	Hs=1m (Hm=4cm)	—	—	◎	◎
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	◎	○
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—	
船速 20 knot	取水口開度 0%	Hs=1m (Hm=4cm)	—	—	×	△
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	△	×
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—	
	取水口開度 10%	Hs=1m (Hm=4cm)	—	—	—	
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	—	
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—	
	取水口開度 25%	Hs=1m (Hm=4cm)	—	—	◎	◎
		Hs=2m (Hm=8cm)	—	—	◎	◎
		Hs=3m (Hm=12cm)	—	—	—	

◎：入渠し易い、○：入渠可能、△：入渠しにくいが可能、×：入渠不可、—：実施せず

※ 「or」：1航走中に複数回入渠を実施、「,」：複数航走を実施、左欄は進入、右欄は停船

5.2.3. 不規則波中および過渡水波中実験

(1) 不規則波中における警救艇の入渠状況

各船速に対する向波不規則波中における警救艇の入渠状況を表 5.2.3.1～表 5.2.3.3 に示す。ここでの最大波高は、1/100 最大期待値を表す。

向波不規則波中では、実験点数は少ないが、取水口開度 25%を取ると、船速 15knot においても、1/100 最大波高 3.25m相当 (=有義波高約 1.9m相当) まで入渠が可能である。図 5.2.3.1 に 1/100 最大波高 $H_{max}=3.25m$ 、 $T=6.5sec$ 、15knot、開度 25%時の警救艇の入渠状況写真を示す。

表 5.2.3.1 向波不規則波中における警救艇の入渠状況結果 (10knot)

船速 10 knot	目標平均 周期 T_{02} 計測最大波高	$\lambda/L=0.56$	$\lambda/L=0.78$	$\lambda/L=1.49$
		$T_s=5.5sec$ ($T_m=1.1sec$)	$T_s=6.5sec$ ($T_m=1.3sec$)	$T_s=9.0sec$ ($T_m=1.8sec$)
取水口開度 0%	$H_s \doteq 2.5m$ ($H_m \doteq 10cm$)	◎ (9.9cm)	—	—
	$H_s \doteq 3m$ ($H_m \doteq 12cm$)	—	—	—
	$H_s \doteq 3.25m$ ($H_m \doteq 13cm$)	◎or△ (13.0cm)	—	—
取水口開度 25%	$H_s \doteq 2.5m$ ($H_m \doteq 10cm$)	◎ (9.8cm)	—	—
	$H_s \doteq 3m$ ($H_m \doteq 12cm$)	—	—	—
	$H_s \doteq 3.25m$ ($H_m \doteq 13cm$)	◎ (13.1cm)	—	—

表 5.2.3.2 向波不規則波中における警救艇の入渠状況結果 (15knot)

船速 15 knot	目標平均 周期 T_{02} 計測最大波高	$\lambda/L=0.56$	$\lambda/L=0.78$	$\lambda/L=1.49$
		$T_s=5.5sec$ ($T_m=1.1sec$)	$T_s=6.5sec$ ($T_m=1.3sec$)	$T_s=9.0sec$ ($T_m=1.8sec$)
取水口開度 0%	$H_s \doteq 2.5m$ ($H_m \doteq 10cm$)	—	—	—
	$H_s \doteq 3m$ ($H_m \doteq 12cm$)	—	× (12.1cm)	—
	$H_s \doteq 3.25m$ ($H_m \doteq 13cm$)	—	—	—
取水口開度 25%	$H_s \doteq 2.5m$ ($H_m \doteq 10cm$)	—	—	—
	$H_s \doteq 3m$ ($H_m \doteq 12cm$)	—	—	—
	$H_s \doteq 3.25m$ ($H_m \doteq 13cm$)	—	◎ (12.8cm)	—

◎：入渠し易い、○：入渠可能、△：入渠しにくいが可能、×：入渠不可、—：実施せず

※ 「or」：1航走中に複数回入渠を実施、「r」：複数航走を実施、表中 () 内は計測値

ここで、添え字 s:実船 m:模型船。 最大波高は、1/100 最大期待値を表す。

表 5.2.3.3 向波不規則波中における警救艇の入渠状況結果 (20knot)

船速 20 knot	目標平均 周期 T_{02} 計測最大波高	$\lambda/L=0.56$	$\lambda/L=0.78$	$\lambda/L=1.49$
		$T_s=5.5\text{sec}$ ($T_m=1.1\text{sec}$)	$T_s=6.5\text{sec}$ ($T_m=1.3\text{sec}$)	$T_s=9.0\text{sec}$ ($T_m=1.8\text{sec}$)
取水口開度 0%	$H_s \doteq 2.5\text{m}$ ($H_m \doteq 10\text{cm}$)	—	—	—
	$H_s \doteq 3\text{m}$ ($H_m \doteq 12\text{cm}$)	—	—	× (11.5cm)
	$H_s \doteq 3.25\text{m}$ ($H_m \doteq 13\text{cm}$)	—	—	—
取水口開度 25%	$H_s \doteq 2.5\text{m}$ ($H_m \doteq 10\text{cm}$)	—	—	—
	$H_s \doteq 3\text{m}$ ($H_m \doteq 12\text{cm}$)	—	—	○ (11.6cm)
	$H_s \doteq 3.25\text{m}$ ($H_m \doteq 13\text{cm}$)	—	—	—

◎：入渠し易い、○：入渠可能、△：入渠しにくいが可能、×：入渠不可、—：実施せず
 ※ 「or」：1航走中に複数回入渠を実施、「,」：複数航走を実施、表中 () 内は計測値
 ここで、添え字 s:実船 m:模型船。 最大波高は、1/100 最大期待値を表す。

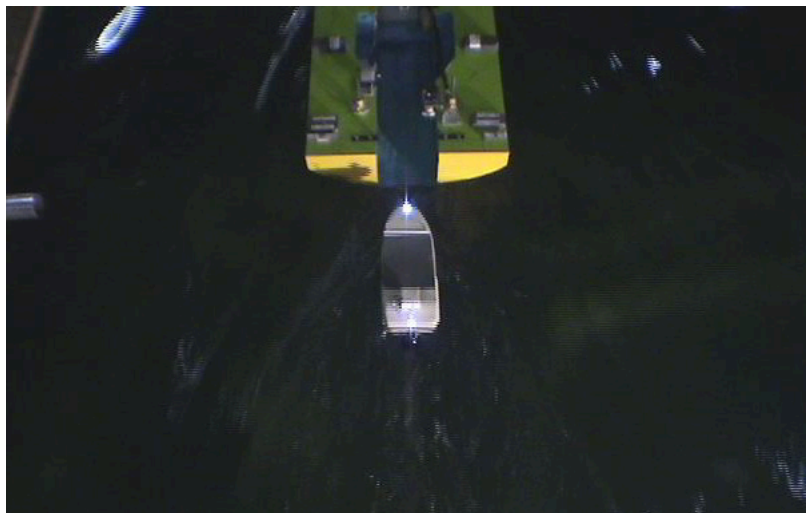


図 5.2.3.1 向波不規則波中における警救艇の入渠状況
 ($H_{\max}=3.25\text{m}$ 、 $T=6.5\text{sec}$ 、15knot、開度 25%)

(2) 過渡水波中実験

【概要】

本研究においては有義波高 3 m の海域における船舶搭載艇の船尾降下揚収が目標の一つに掲げられているが、(1) 項で示す本年度夏期に実施した不規則波中実験においては造波能力の限界により有義波高 3 m 相当の実験は実施できなかった (最大でも有義波高約 1.9 m 相当)。また、各不規則波中における降下揚収実験においても必ずしも降下揚収時に最大波高に遭遇してはいなかった。

そこで、夏期実験において使用した不規則波の 1/100 最大波に遭遇時の揚収の可・不可を確認するために過渡水波を用いた実験を新たに実施した。また、本方法により有義波高 3 m 対応の 1/100 最大波での実験も実施した。

実験状態は前項の夏期実験と同様であり、長手方向 AP 位置での出会い波高を計測するために AP 位置でセンターラインから右舷側 3 m の位置に波高計を追加した。また、新たな計測器を導入し警救艇の上下方向変位も計測可能とした。図 5.2.3.2 に使用した実験模型及び追加した波高計の写真を示す。

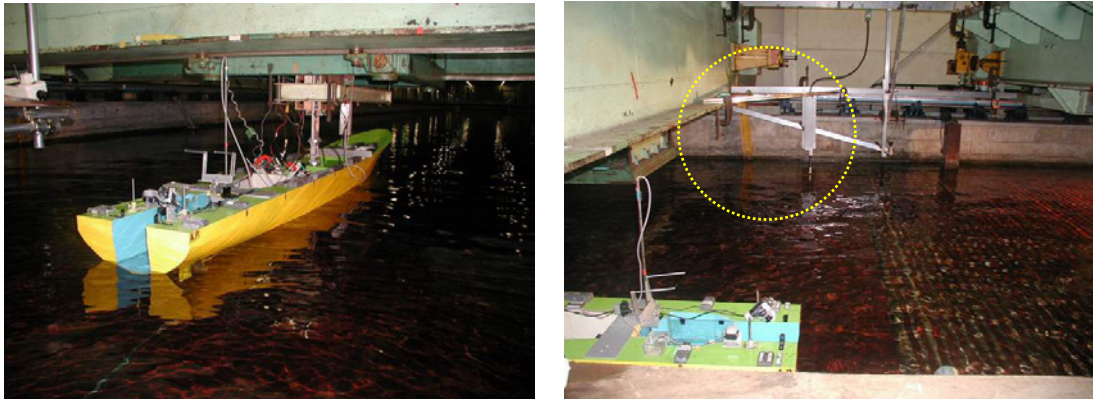


図 5.2.3.2 実験模型及び AP 位置波高計

【過渡水波について】

本実験では 1/100 最大波高を再現するために過渡水波を用いている。横浜国立大学では古くから使用されている波の種類で、波を周波数を変化させながら連続的に造波しその波浪中での船体（浮体）運動を計測することにより一度の実験で周波数応答関数を得られるものである。周波数応答関数を得るためには規則波を用いるのが一般的であるが、規則波での実験は非常に時間がかかってしまう。その点、過渡水波は非常に簡便で時間の節約にもつながる。

過渡水波は高周波数側の波から造波していくことによってある点で波を集中させることが可能である。この性質を利用すれば通常では造波出来ないような波高を実現することも可能になるので本実験において使用した。

図 5.2.3.3 に一つの過渡水波を水槽長手方向 3 点において計測した時系列を示す。造波機の近くにおいては造波した一波一波が現れているが、造波機から 37 m 位置においては波数が少なくなり波高が高くなってきているのが分かる。造波機から 41 m 位置においては波が集中し波高が非常に高くなってきていることが分かる。また同図にこの 3 点で計測した波のフーリエスペクトルを示す。

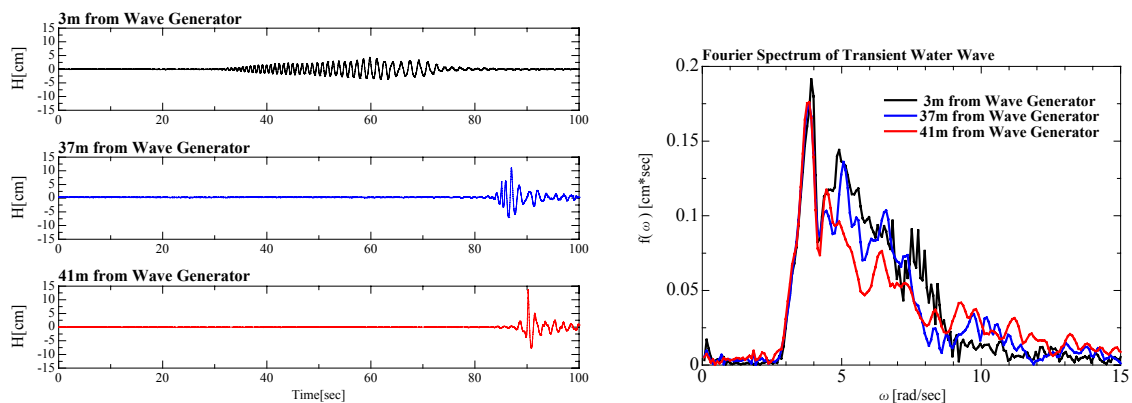


図 5.2.3.3 水槽長手方向 3 点で計測した過渡水波時系列及びフーリエスペクトル

尚、使用する過渡水波の周波数範囲は夏期実験にて得られた不規則波のパワースペクトルとピーク周波数が一致するように選定した。また、波高については夏期実験で得られた不規則波の有義波高の約 1.6 倍（1/100 最大波高に対応）を目標として選定した。さらに有義波高 3m に対応する 1/100 最大波高を目標とした実験も実施した。図 5.2.3.4 に選定に用いた不規則波と過渡水波の時系列をとこれらの波のパワースペクトルを示す。

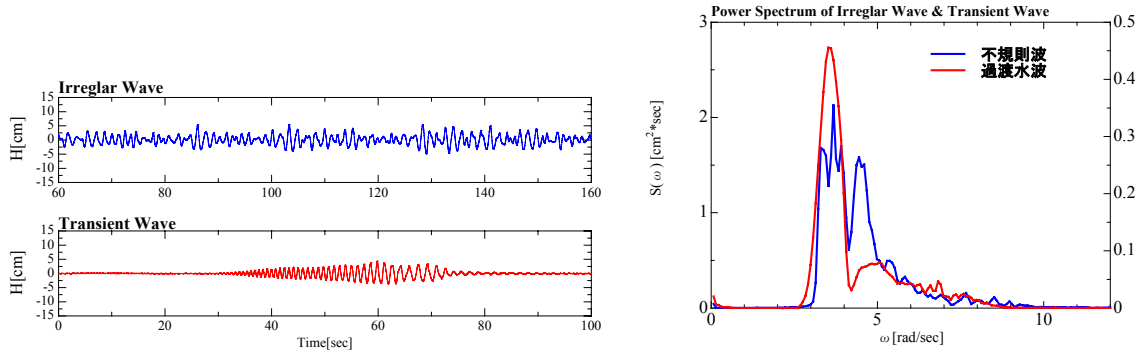


図 5.2.3.4 不規則波と過渡水波の時系列及びパワースペクトルの比較

【計測データの例】

1/100 最大波高遭遇時の揚収実験により得られたデータの例を表 5.2.3.4 に実験状態表として示す。また、そのなかで 15 ノットでの時系列データの例を図 5.2.3.5～図 5.2.3.6 に示す。

表 5.2.3.4 計測データ例の実験状態表

Fig. No'	実験番号	船速 Vs[kt]	取水口開度 [%]	対応不規則波目標 λ/L	計測最大波高 H_{\max_s} (H_{\max_m})	H_{\max_m} から求めた $H_{1/3S}$	入渠の可・不可
—	534	10	0	1.49	2.65m (10.6cm)	1.64m	△
—	537	10	0	1.49	5.33m (21.3cm)	3.31m	×
—	504	10	25	1.49	2.82m (11.3cm)	1.75m	△
—	512	10	25	1.49	4.61m (18.4cm)	2.86m	×
5.2.3.5	508	15	25	1.49	3.02m (12.1cm)	1.88m	○
5.2.3.6	518	15	25	1.49	4.60m (18.4cm)	2.86m	×

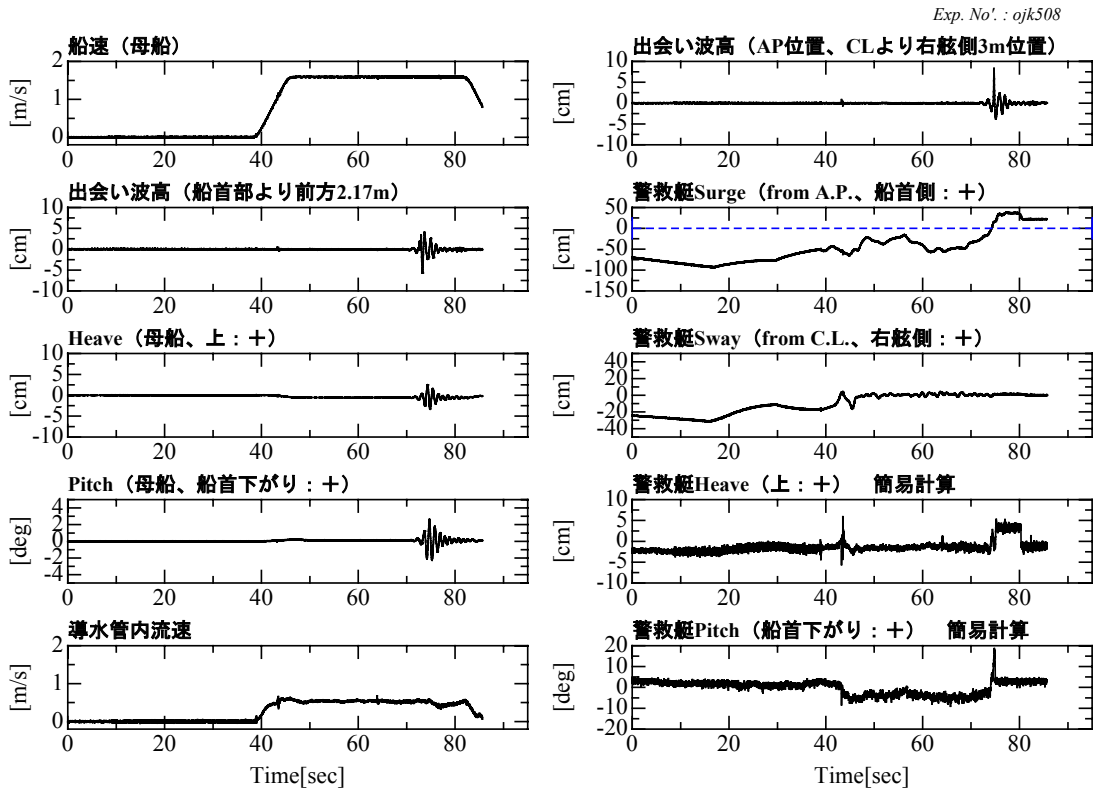


図 5.2.3.5 揚収実験時系列 (15kt 相当、取水口開度 25%、最大波高 : 3.02m 相当)

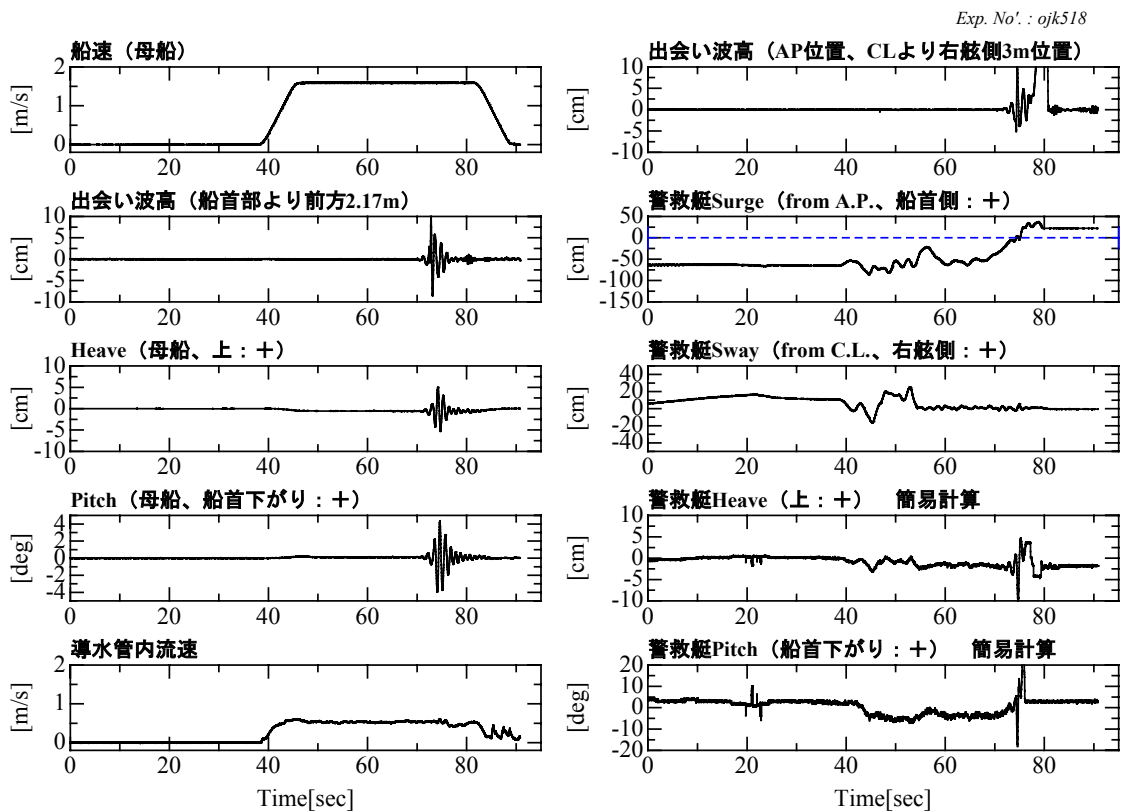


図 5.2.3.6 揚収実験時系列 (15kt 相当、取水口開度 25%、最大波高 : 4.60m 相当)

(3) 向波過渡水波中における警救艇の入渠状況 (入渠の可・不可)

各船速に対する向波過渡水波中における警救艇の入渠状況を表 5.2.3.5～表 5.2.3.7 に示す。向波過渡水波中では、取水口開度 25%を取ると、船速 15knot においても、1/100 最大波高 3.25m 相当まで入渠が可能である。過渡水波中での大波高は 1 波しか遭遇しないが、前記より概ね個別波高にて 3 m 付近までは対応できる可能性を示している。

表 5.2.3.5 向波過渡水波中における警救艇の入渠状況結果 (10knot)

船速 10 knot	目標平均 周期 T ₀₂ 計測最大波高	λ /L=0.56	λ /L=0.78	λ /L=1.49
		Ts=5.5sec (Tm=1.1sec)	Ts=6.5sec (Tm=1.3sec)	Ts=9.0sec (Tm=1.8sec)
取水口開度 0%	Hs ≒ 2.5m (Hm ≒ 10cm)	◎	—	—
	Hs ≒ 3m (Hm ≒ 12cm)	○, ○	—	—
	Hs ≒ 3.25m (Hm ≒ 13cm)	◎or△ ×, △	←×, △	○, △, △
	Hs ≒ 4.98m (Hm ≒ 19.9cm)	×, ×	←×, ×	×, ×
取水口開度 25%	Hs ≒ 2.5m (Hm ≒ 10cm)	◎ ◎, ◎	←◎, ◎	△, △
	Hs ≒ 3m (Hm ≒ 12cm)	—	—	—
	Hs ≒ 3.25m (Hm ≒ 13cm)	◎ ×, ○, ×	←×, ○, ×	—
	Hs ≒ 4.58m (Hm ≒ 18.3cm)	×, ×	←×, ×	×

表 5.2.3.6 向波過渡水波中における警救艇の入渠状況結果 (15knot)

船速 15 knot	目標平均 周期 T ₀₂ 計測最大波高	λ /L=0.56	λ /L=0.78	λ /L=1.49
		Ts=5.5sec (Tm=1.1sec)	Ts=6.5sec (Tm=1.3sec)	Ts=9.0sec (Tm=1.8sec)
取水口開度 0%	Hs ≒ 2.5m (Hm ≒ 10cm)	—	—	—
	Hs ≒ 3m (Hm ≒ 12cm)	—	× (12.1cm)	—
	Hs ≒ 3.25m (Hm ≒ 13cm)	—	—	—
	Hs ≒ 4.98m (Hm ≒ 19.9cm)	—	—	—
取水口開度 25%	Hs ≒ 2.5m (Hm ≒ 10cm)	◎, ◎ (8.31cm)	—	—
	Hs ≒ 3m (Hm ≒ 12cm)	—	—	○, ○
	Hs ≒ 3.25m (Hm ≒ 13cm)	◎, ○, ○	◎ ←◎, ○, ○	—
	Hs ≒ 4.48m (Hm ≒ 17.9cm)	×, ×	←×, ×	×, ×, ×

◎ : 入渠し易い、○ : 入渠可能、△ : 入渠しにくいが可能、× : 入渠不可、— : 実施せず

※ 「or」 : 1 航走中に複数回入渠を実施、「,」 : 複数航走を実施、表中 () 内は計測値
黒字は夏期実施の不規則波中試験結果、赤字は 2 月実施の過渡水波中実験結果

← : Ts=5.5sec と 6.5sec はスペクトルの形状が近いことから、一つの過渡水波で計測。

表 5.2.3.7 向波過渡水波中における警救艇の入渠状況結果 (20knot)

船速 20 knot	目標平均 周期 T_{02} 計測最大波高	$\lambda/L=0.56$ $T_s=5.5\text{sec}$ ($T_m=1.1\text{sec}$)	$\lambda/L=0.78$ $T_s=6.5\text{sec}$ ($T_m=1.3\text{sec}$)	$\lambda/L=1.49$ $T_s=9.0\text{sec}$ ($T_m=1.8\text{sec}$)
	取水口開 度 0%	$H_s \doteq 2.5\text{m}$ ($H_m \doteq 10\text{cm}$)	—	—
$H_s \doteq 3\text{m}$ ($H_m \doteq 12\text{cm}$)		—	—	× (11.5cm)
$H_s \doteq 3.25\text{m}$ ($H_m \doteq 13\text{cm}$)		—	—	—
$H_s \doteq 4.98\text{m}$ ($H_m \doteq 19.9\text{cm}$)		—	—	—
取水口開 度 25%	$H_s \doteq 2.5\text{m}$ ($H_m \doteq 10\text{cm}$)	○, ○	←○, ○	—
	$H_s \doteq 3\text{m}$ ($H_m \doteq 12\text{cm}$)	—	—	○ ○, ○
	$H_s \doteq 3.25\text{m}$ ($H_m \doteq 13\text{cm}$)	△ (15.2cm)	←△	—
	$H_s \doteq 4.48\text{m}$ ($H_m \doteq 17.9\text{cm}$)	×, ×	←×, ×	×, ×

- ◎：入渠し易い、○：入渠可能、△：入渠しにくいが可能、×：入渠不可、—：実施せず
 ※ 「or」：1航走中に複数回入渠を実施、「,」：複数航走を実施、表中（）内は計測値
 黒字は夏期実施の不規則波中試験結果、赤字は2月実施の過渡水波中実験結果
 ←： $T_s=5.5\text{sec}$ と 6.5sec はスペクトルの形状が近いことから、一つの過渡水波で計測。

5.3. 船尾流速分布計測実験

5.3.1. 導水管式実用インレットの配置、サイズ、及び形状の検討

本年度の横浜国立大学におけるスケール 1/25 模型を用いた導水管式基礎実験の結果、当初計画開度の 25%程度の開度でも十分な導水効果が得られることが判明した。基礎実験の結果を参考に、実用インレットの基本形態や、インレットの開口面積などの基本要目について検討した。インレットの配置図を図 5.3.1.1 に示す。

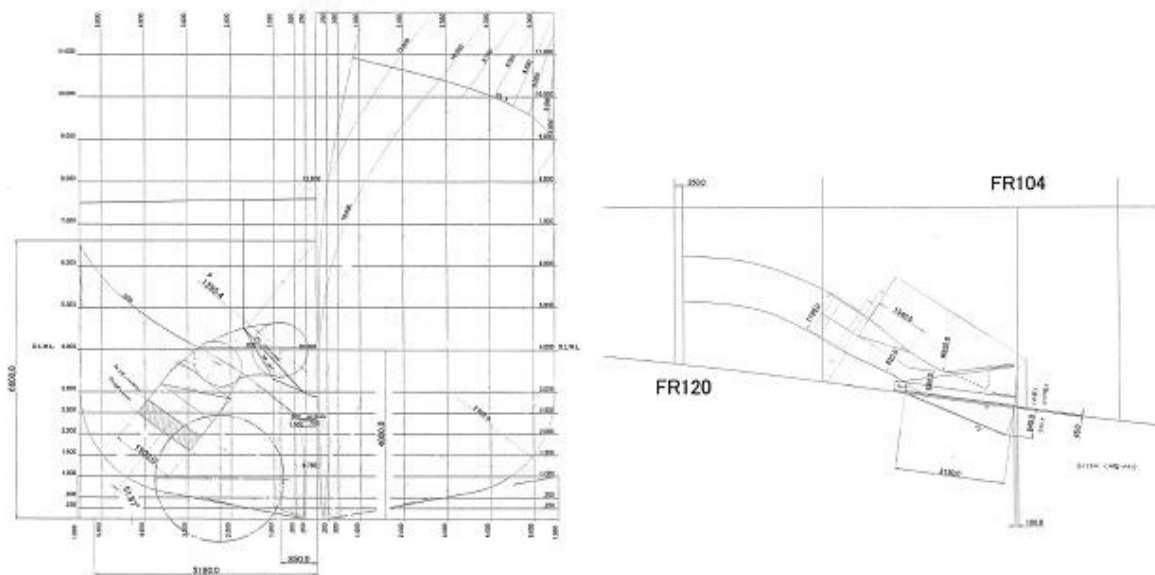


図 5.3.1.1 インレット配置図と縦断面図

導水管インレットの船長方向の配置については現船「えりも」の配置を考慮し、導水管設置による機器への影響の大きいフィンスタビライザ室及び CPP 制御室を避け、後部横隔壁より船尾側の現燃料タンク位置に設置することを考える。インレット格納部はできるだけコンパクトなものとするのが望ましく、開度高さについても基礎実験の結果を踏まえ、当初の計画開度の 50%相当を全開とする仕様とする。これに伴い、インレット格納部の長さも基礎実験模型の約 70%に設定する。なお、インレットの幅は基礎実験模型に合わせ、実船にて内幅 1.45mとした。

なお、格納部のスクープ形状については、リトラクタブルインレットとして船体に格納したときに隙間無く納まることを優先的に考慮し、断面形状を矩形としている。

参考までに基礎実験模型での開度表示と流速分布計測実験で用いる模型での開度表示の対応を以下に示しておく。

- ・ 基礎実験模型開度 25% ⇨ 流速分布計測実験模型開度 65%
- ・ 基礎実験模型開度 50% ⇨ 流速分布計測実験模型開度 100%

5.3.2. 模型及び実験装置の概要

昨年度の研究で製作した「えりも」の 5m 模型を改造して導水管を設置した。スケール 1/17 模型にて水線長 5.00m、型幅 0.647m である。付加物にはリトラクタブル式導水管（両舷）装備、シャフト、ブラケット、舵上部フェアリング、ビルジキールを装備している。模型船及びインレットの写真を図 5.3.2.1 に示す。また、ドックの様子を図 5.3.2.2 に示す。

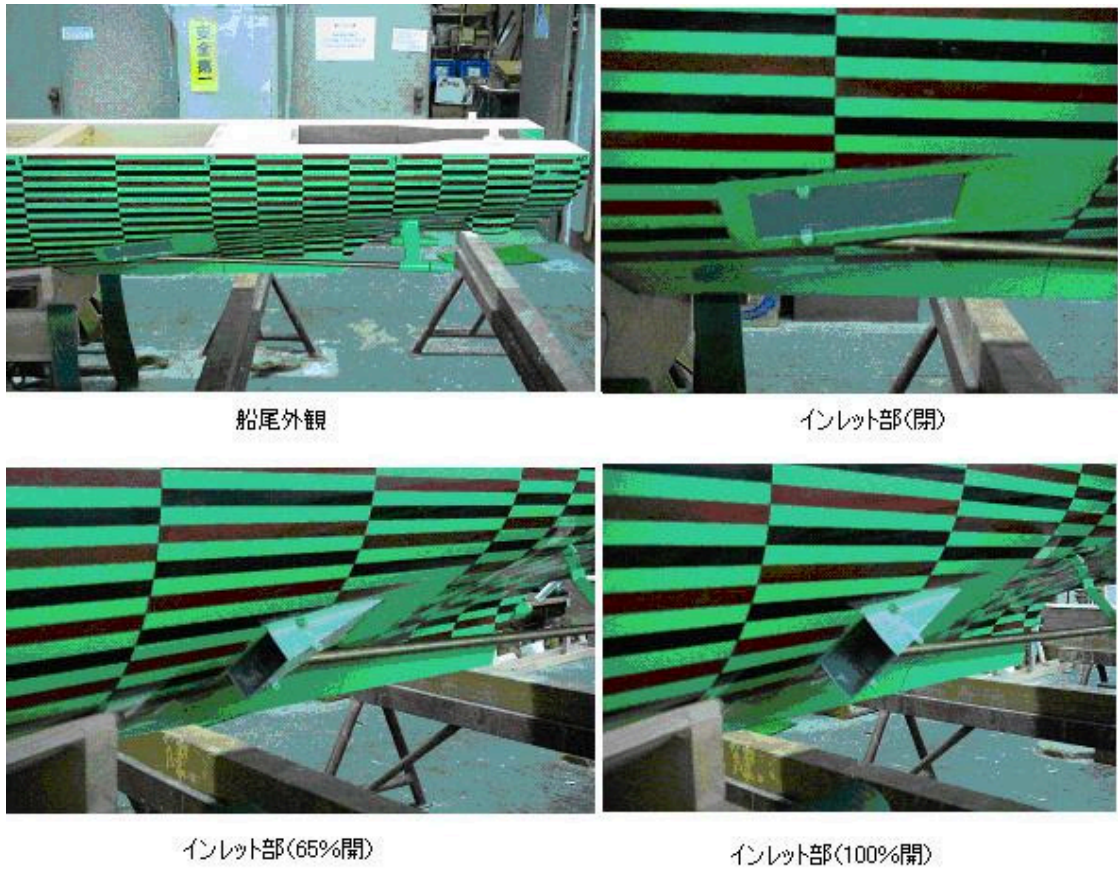


図 5.3.2.1 導水管式流速分布計測実験用模型の概要

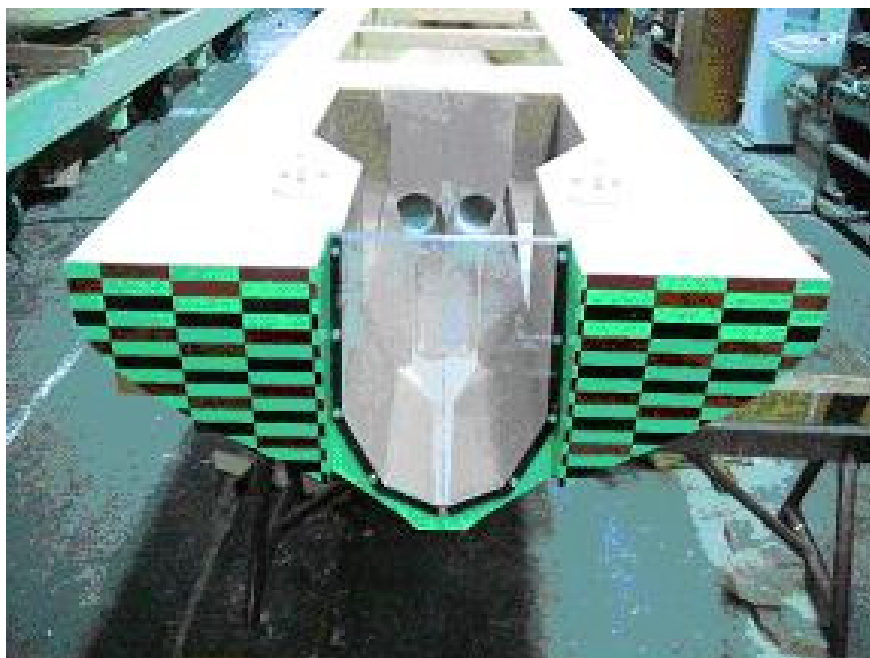


図 5.3.2.2 導水管式流速分布計測実験用模型のドック

船尾流速分布の計測は左右上下トラバース方式の5孔管を模型船の船尾に搭載して一定速度にて実施された。また、導水管出口の流速は後方よりピトー管を差し入れて計測された。

5.3.3. 船尾流速分布計測実験

(1) 試験目的

リトラクタブル式導水管において、導水による船体周りの流れの変化が船体振動等に大きく影響しないことを確認するための基礎データ取得を目的として、非導水状態及び導水状態のプロペラ面内の流速分布を比較計測した。

(2) 試験状態及び試験項目

姿勢：トリムシンケージフリー

喫水：4.000m相当（トリムイーブン、インレット閉、出口閉時（管路内水含む））

：4.017m相当（トリムイーブン、インレット開時（管路及びドック内水含む））

船速：実船 $V=15$ ノット相当（模型船 $V=1.872\text{m/s}$ ）

試験状態を表 5.3.3.1 に示す。

表 5.3.3.1 導水管式船尾流速分布計測実験試験状態

呼称	実船入口高さ	入口形状	基礎実験模型との対応
インレット閉	0.000m	—	閉
インレット 65%開	0.570m	矩形	開度 25%状態の高さを一致
インレット 100%開	0.845m	矩形	開度 50%状態の高さを一致

流速分布の計測位置を以下に示す。計測はすべて左舷側で実施した。

- ① インレット部直前断面での船体近傍の流速分布（インレット閉の1状態）
前後方向位置：約 ST 7.3（ST 0.0 が FP に相当）
- ② プロペラ面での流速分布（インレット閉、65%開、全開の3状態）
前後方向位置：約 ST 9.3（ST 0.0 が FP に相当）

計測結果は以下の3種にて纏めている。

- ① 伴流コンター
- ② プロペラ面の各半径位置における円周方向伴流率分布、公称伴流率
- ③ 導水管出口流速計測結果

(3) 船尾流速分布試験結果の考察

(3.1) 伴流コンター

インレット直前部分の流速分布を図 5.3.3.1 に示す。ほぼ船体に沿った伴流分布となっており、境界層の発達が見られる。境界層厚さの計算値は模型で約 60mm であるが、試験結果はほぼそれに近い。中央付近の伴流分布の膨らみはビルジキールの影響が一原因と思われる。導水出口の計測流量を正とし、インレットの幅で導水すると仮

定すると、この流速分布の計測結果からインレットに取入れられる流管が決まり、取水平均流速が計算できる。

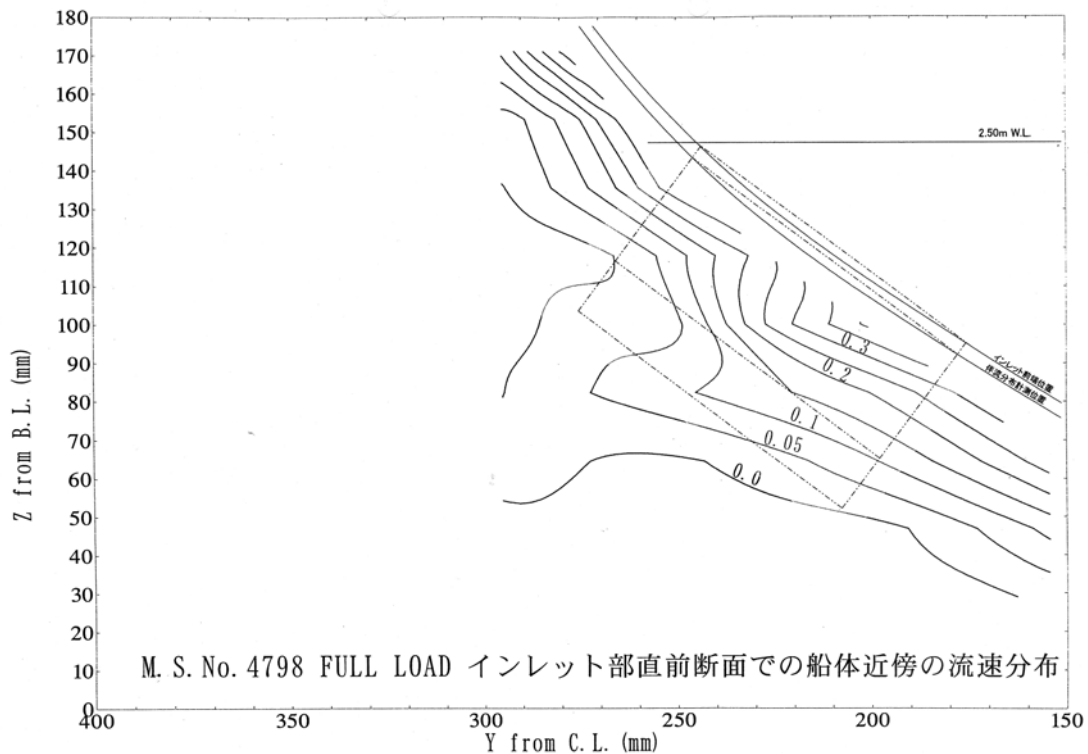


図 5.3.3.1 インレット部直前船体近傍流速分布（インレット閉）

一方、プロペラ面内での各インレット開度における流速分布の計測結果を図 5.3.3.2 に示す。また、プロペラ面内の各半径位置における円周方向伴流率分布のインレット開度による比較を図 5.3.3.3 に示す。これらの図から、インレット開度によるプロペラ面位置の流速分布への影響について以下のことが判る。

- ① 大きな wake の変化は主にプロペラの上部の流速分布に現れており、開度を取るとこの部分で流速が速くなっている。これはインレットが開くことにより導水管に境界層底部が取り込まれ、境界層上部の比較的速い流れがインレットの蓋の上（ここでは下面）を越えて後流まで影響しているためと考えられる。ただしこの部分はプロペラには影響は与えない。
- ② また、プロペラ面内においては、開度を取ることにより $\theta = 25$ 度付近の $0.7R$ 以上の部分の流速が若干遅くなっており、伴流の勾配も大きくなっている。（ θ は直上より右回りにとった角度）これは、上記のインレットの蓋の上（ここでは下面）を越えて後流まで到達する流れの影響でプロペラ面位置では境界層の発達部位が少し変化し、インレット開閉の影響差が生じていると考えられる。ただし、定量的に問題となる程度ではなく、インレット全開においても伴流成分のピークは約 0.38 であり、2 軸シャフトブラケット船の実績範囲にも入る値であり特に問題ないと考えられる。

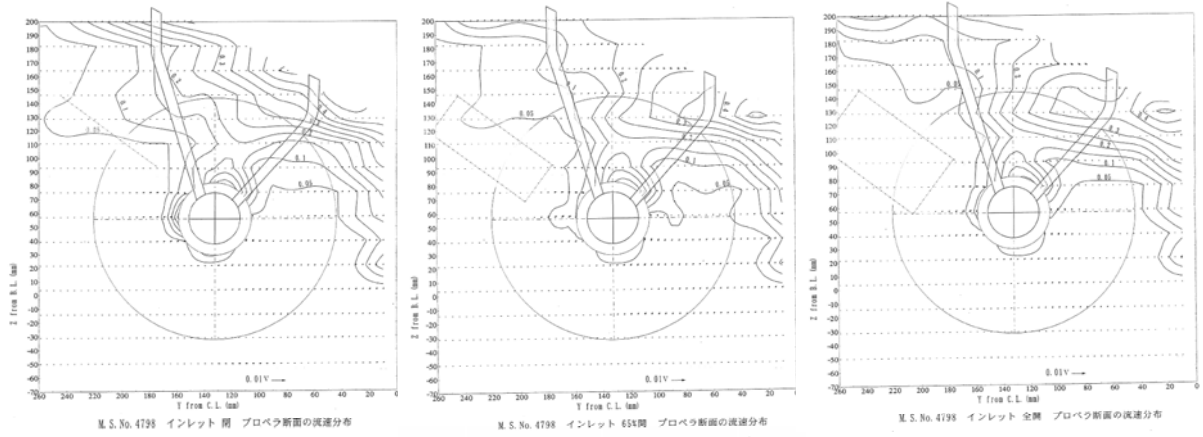


図 5.3.3.2 プロペラ面内流速分布 (左：閉、中：開度 65%、右：全開)

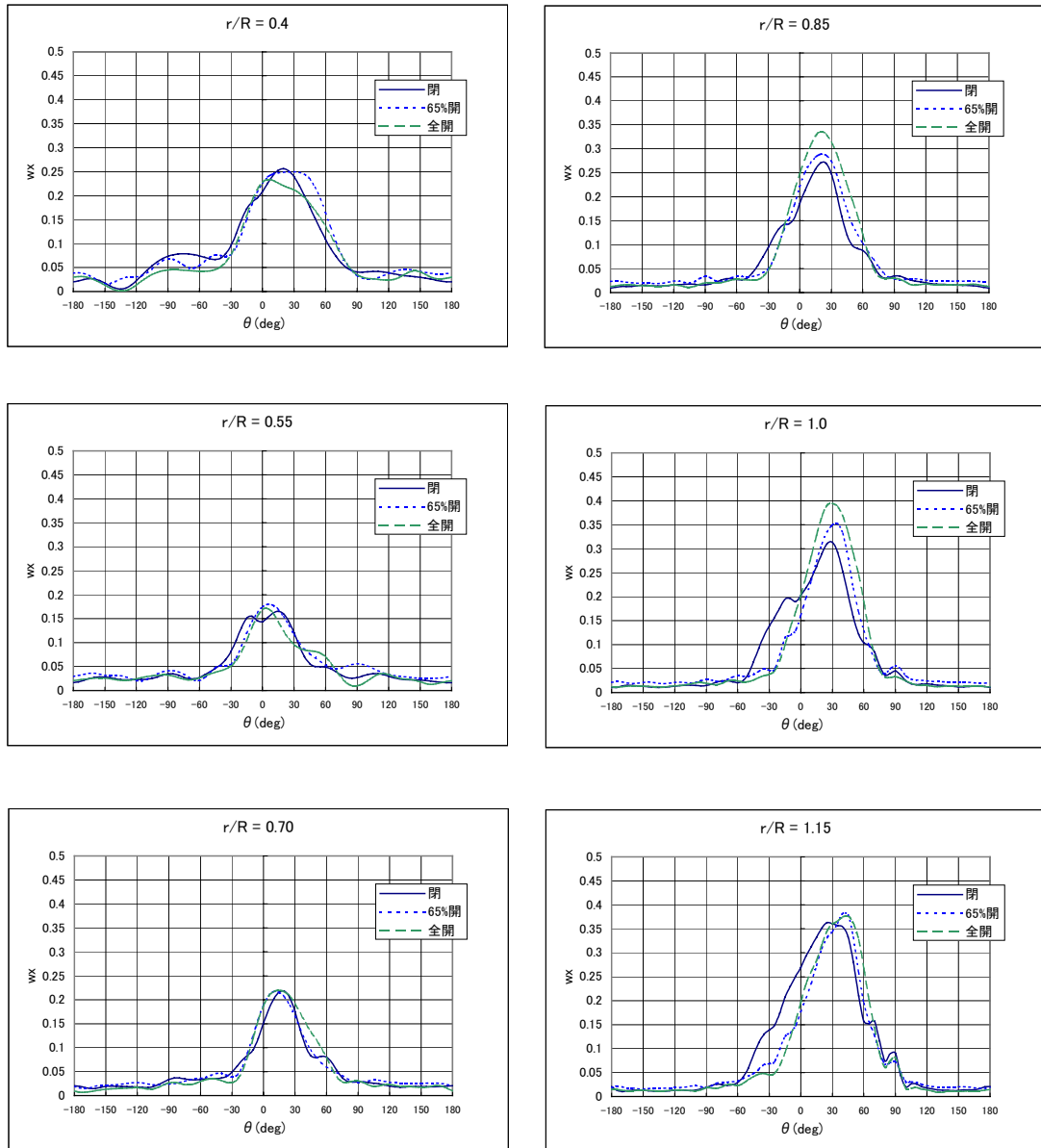


図 5.3.3.3 プロペラ面内流速分布比較

(3.2) 導水管出口流速

導水管出口の平均流速は各開度に対して船速の約 50%と 60%であり、入口直前の取水平均流速（船速の 0.77~0.79 倍）より遅くなっている。このエネルギー差が取水口及び管路内部の損失となっている。

5.3.4. 取水効率の算定

導水管路の損失の査定については、ウォータージェット推進のインレットダクトで用いられるエネルギー式を流用することにより算出される。図 5.3.4.1 に流路模式図を示す。

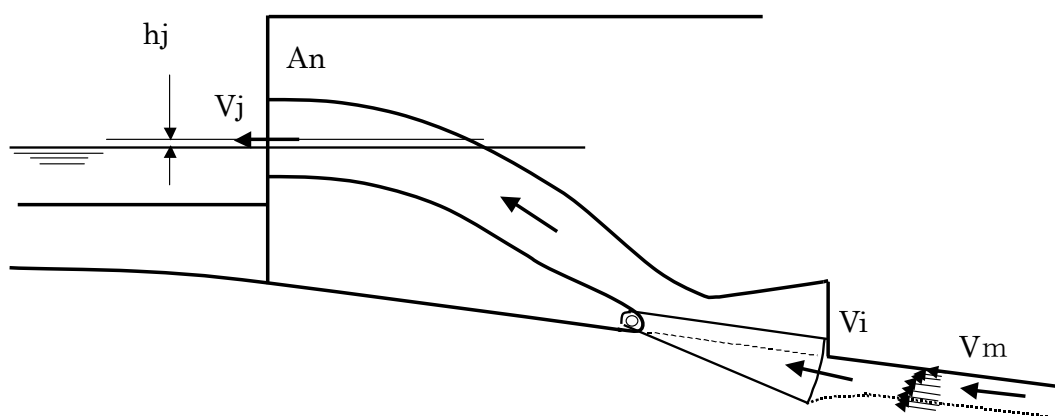


図 5.3.4.1 導水管式における流路模式図

同図における記号の定義を以下に示す。

- **【Q】** : 流量
- **【Vm】** : インレット直前取水流管の平均流速
- **【V】** : 船速
- **【w】** : 平均伴流率 $V_m = (1-w)V$
- **【ξ】** : 取水から出口までの損失係数
- **【Vi】** : インレット前端位置の平均流速
- **【ρ】** : 水の密度
- **【g】** : 重力加速度
- **【Vj】** : 出口の平均流速
- **【An】** : 出口断面積
- **【hj】** : 出口中心の水面からの高さ（水面より上が正）

導水管の入口から出口までのエネルギー式を考慮すると、次式が成り立つ。

$$\frac{1}{2} \rho V_m^2 (1 - \xi) Q - \rho g h_j Q = \frac{1}{2} \rho V_j^2 Q \quad \dots(1)$$

$$\frac{1}{2g} V_m^2 (1 - \xi) - h_j = \frac{1}{2g} V_j^2 \quad \dots(2)$$

従って、動圧回復効率 η_{in} は $V_j = Q/An$ の関係を利用して次のように導かれる。

$$\eta_{in} = 1 - \xi = \frac{2g}{V_m^2} \left(\frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_n} \right)^2 + h_j \right) \quad \dots(3)$$

なお、本実験においては $h_j \doteq 0$ である。これより、流量計測の結果とインレット幅による導水を仮定して、各断面での流速及び損失の解析を行った。インレット直前での平均伴流率は、試験の計測結果及び理論境界層内流速分布をもとに設定した。解析結果をインレット面積無次元値 (d : 喫水、 B : 船幅) に対する損失係数の形で図 5.3.4.2 に示す。

なお、図 5.3.4.2 には、インレット流速分布を仮定した 3.4m 模型基礎実験 (横浜国立大学実施) の解析結果も示している。インレット機構やダクト形状、ドック形状が異なるので、結果が定量的に異なるのは当然だが、開度が大きくなると、損失が小さくなる定性的傾向は同じである。

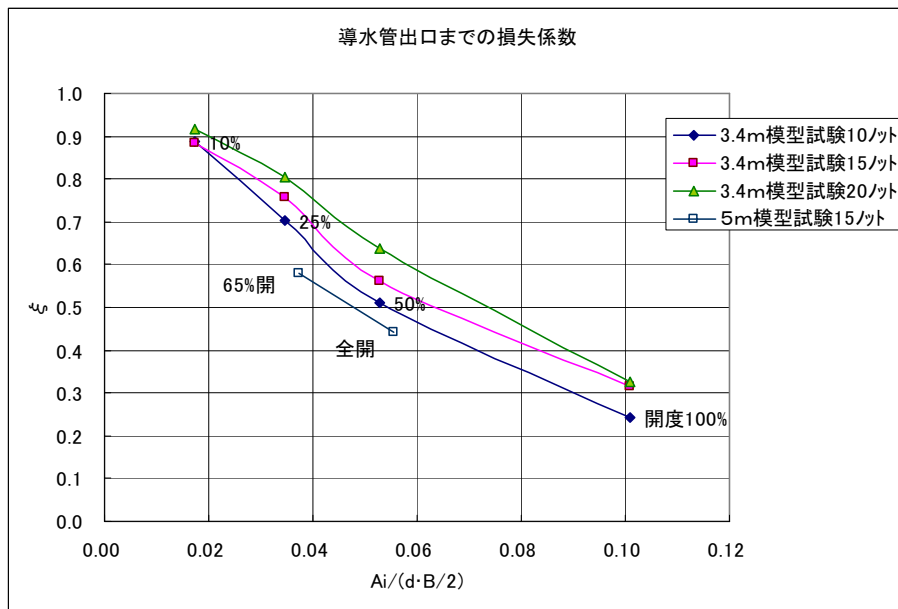


図 5.3.4.2 導水管出口までの損失係数 (試験解析結果)

次に、導水管を新しく設計するには、これらのデータを汎化しておく必要がある。

図 5.3.4.3 には図 5.3.4.2 に対応させてインレット流速比 IVR に対する動圧回復効率の実験解析結果を示す。5m 模型の 65% 開ではインレット流速比 (V_i/V_m) が約 1.0 であり、ほぼインレット直前の境界層流れの流管がそのままインレットに吸入されている状態となっている。また全開状態でのインレット流速比は約 0.8 であり、インレット直前の境界層流れの流管がインレット直前で拡大減速し吸入されている状態となっている。動圧回復効率は 65% 開で約 0.42 であり、全開で約 0.56 である。これらは実船の導水管設計を考える場合には有用な参考データになる。

すなわち、導水時のドック内の必要水位と平均流速を設定することにより、導水管出口流速と出口面積が決まり、(3)式より η_{in} が得られるため、図 5.3.4.3 を用いることによりインレットの取水口面積の目安が得られる。

ドック内の必要水位については、基礎実験の観察結果より、速力にもよるが搭載艇の降下揚収は取水口開度 25% でも可能であったと判断され、そのケースではドック内

水位がほぼ静止時水位と同じもしくは1割増以内で若干深くなっていたことが参考になる。

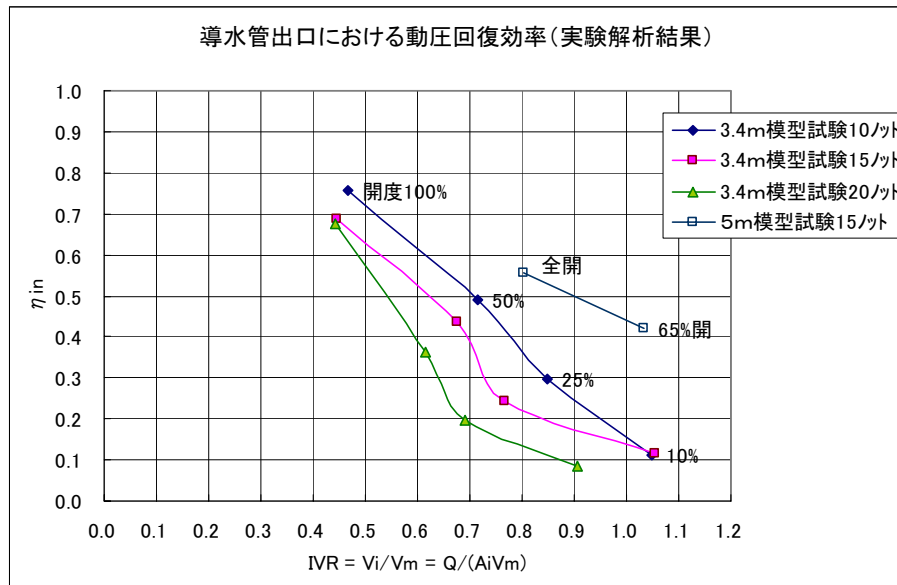


図 5.3.4.3 導水管出口における動圧回復効率

5.4. 試設計

5.4.1. 3次元イメージと取水口開閉機構

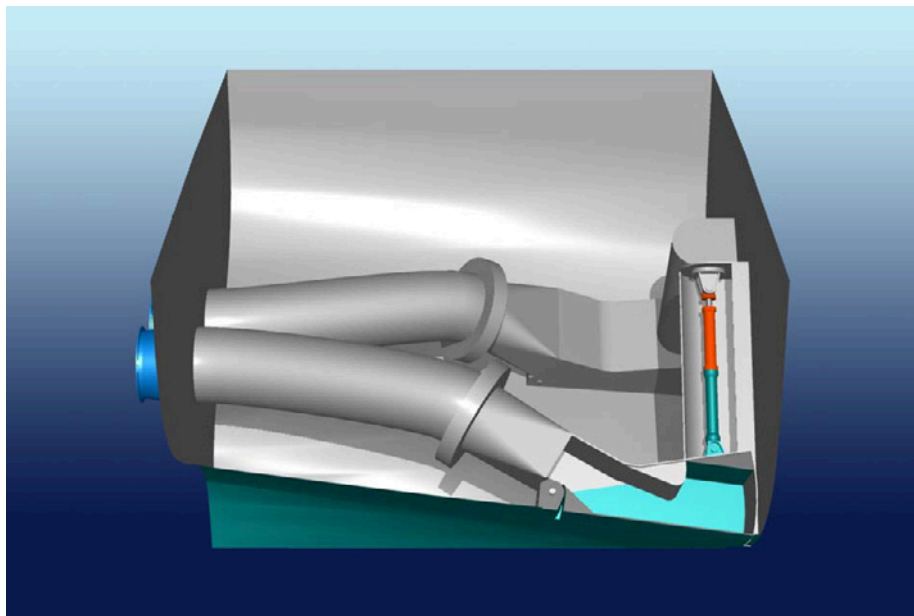
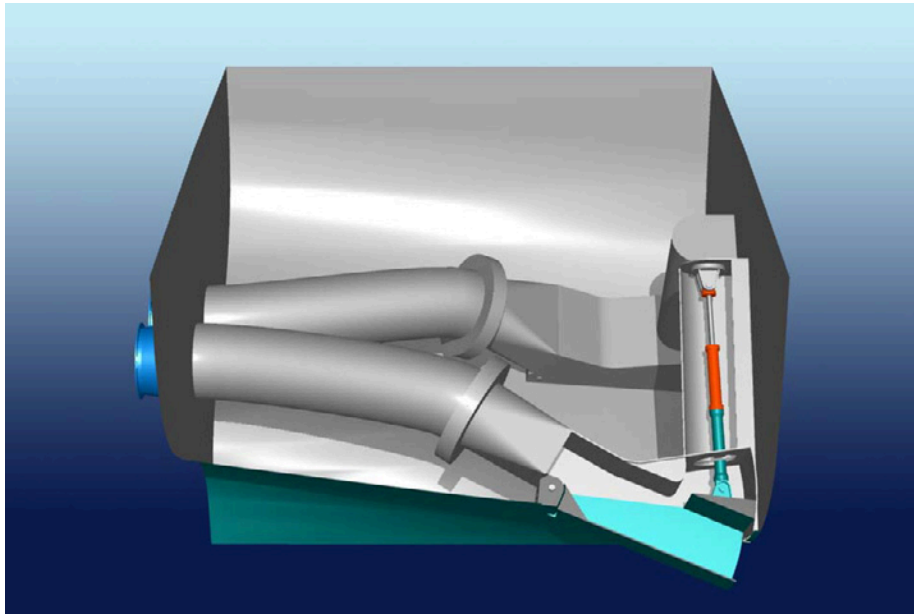
導水管式実用リトラクタブルインレットの試設計として、インレットの形態及び形状の決定、開閉式取水口の駆動油圧シリンダ要目の検討を行った。シリンダ基本仕様を以下に示す。

(取水口寸法：幅約 1450mmx 高さ max850mm、導水管出口寸法：約 1250mm φ)

ヒンジとのレバー	: 約 2830mm
ストローク	: 約 740mm
駆動速度	: 上記ストロークを片道約 10 秒
設計荷重	: インレット 65%開にて 20 ノットにて走行時
シリンダ反力最大値	: 約 177kN (約 18tonf)
ヒンジモーメント最大値	: 約 491kN・m (約 50tonf・m)
インレット面圧	: 約 59kN/m ² (6.0 tonf/m ²)

以上より、シリンダ寸法は、φ 150mm が選定された。

取水口の開閉機構概略図を図 5.4.1.1 に示す。また、取水口及びシステム全体の3次元イメージ図(コンピュータグラフィックス)を図 5.4.1.2～図 5.4.1.4 に示す。



※詳細設計により導水管の主要部分の直径は小さくすることも可能。

図 5.4.1.1 導水管式インレット機構図（上：開 下：閉）

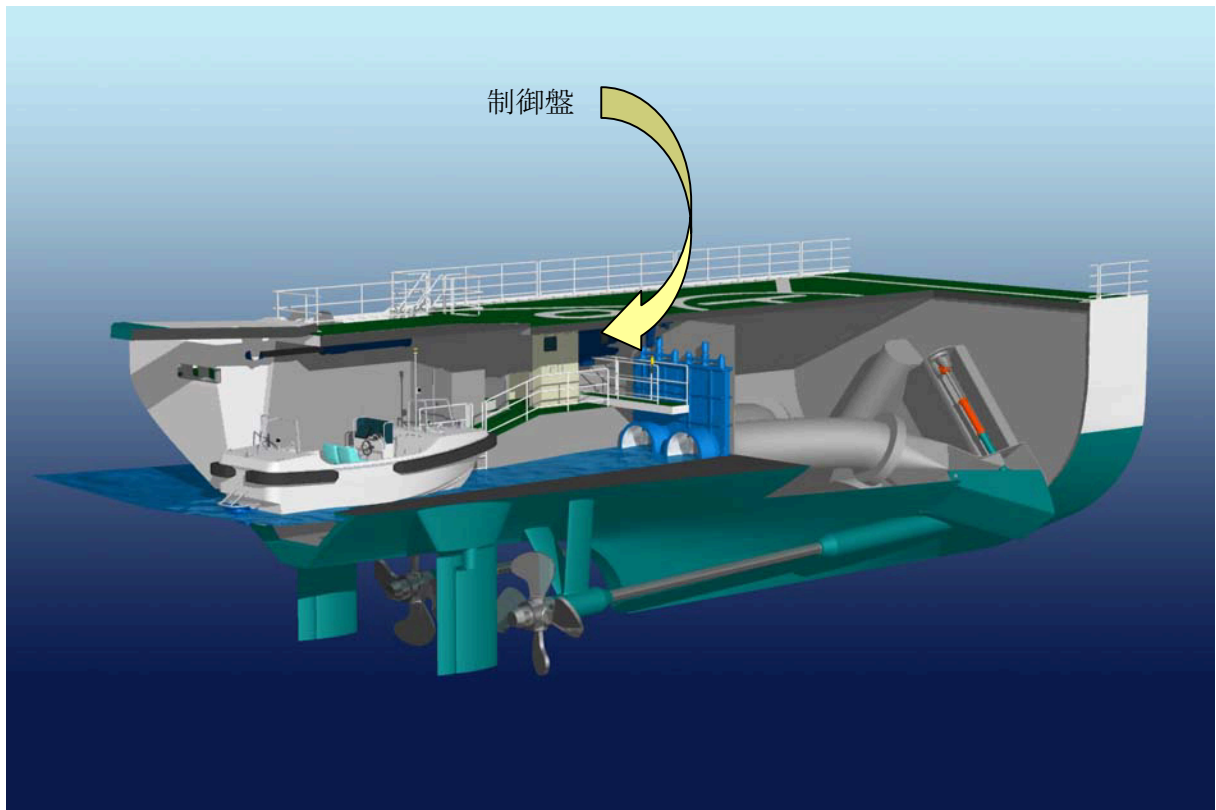


図 5.4.1.2 導水管式船尾降下揚収システムのイメージ I

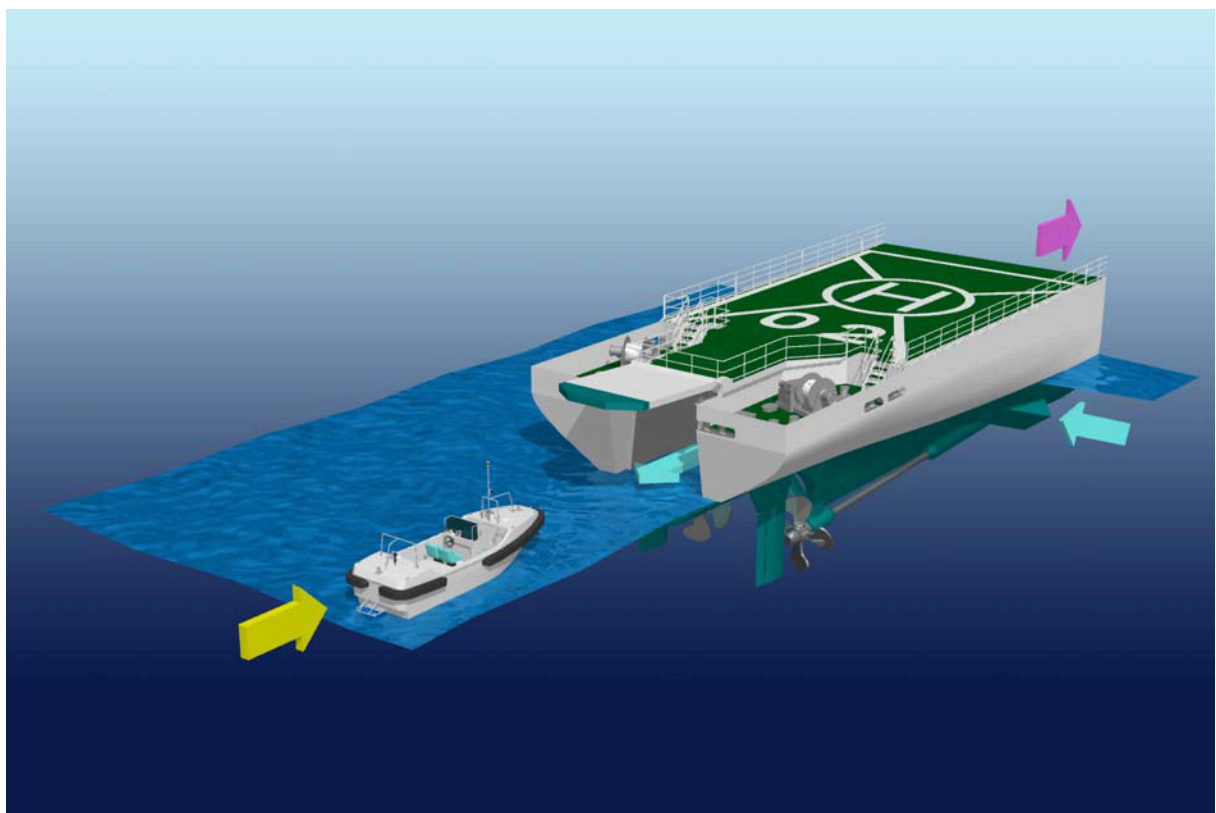


図 5.4.1.3 導水管式船尾降下揚収システムのイメージ II

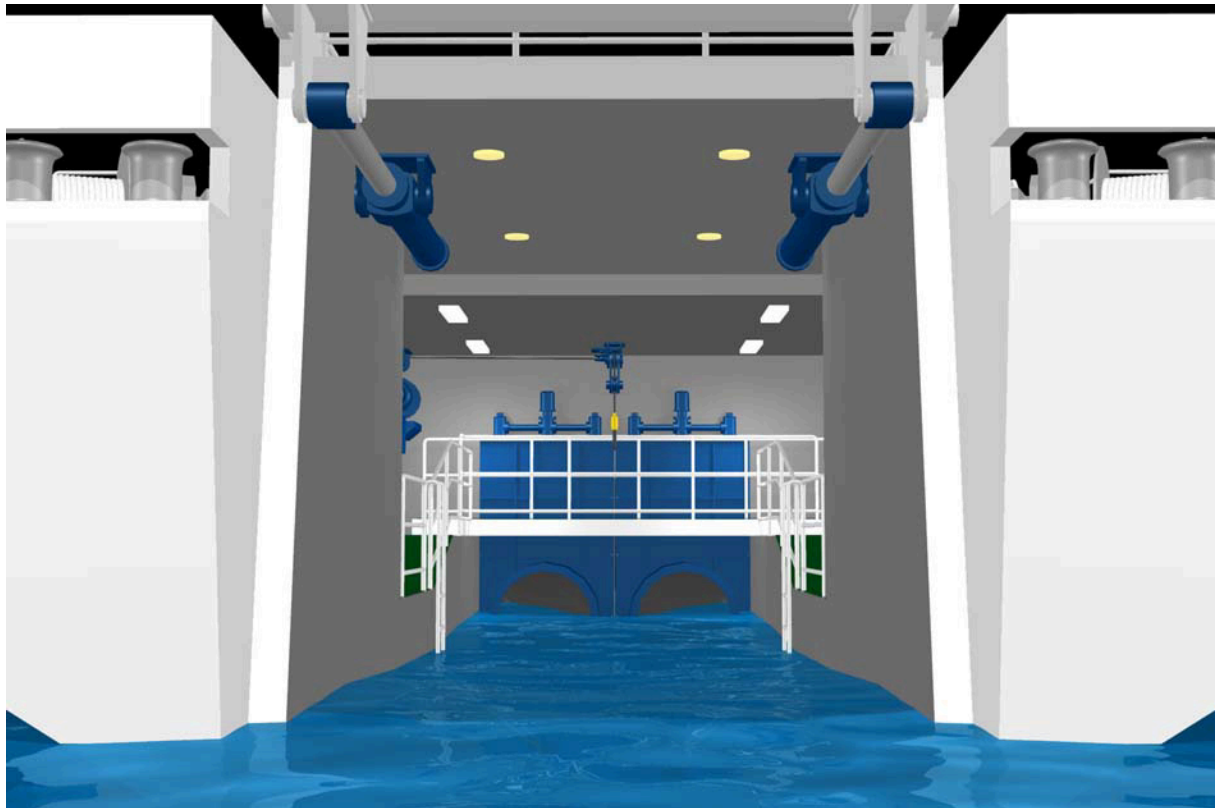


図 5.4.1.4 導水管式船尾降下揚収システムのイメージⅢ

5.4.2. 降下揚収作業手順（作業人員数と作業時間）

導水管式の場合、原則として指揮者、操作者、作業者は全てドック内搭載艇揚収区画に常駐することになる。降下作業手順を、所用人員数および所用時間とともに図 5.4.2.1 に示す。作業人員は甲板員 2 名、制御室における操作者 1 名、指揮者 1 名の合計 4 人である。（但し作業人員数に搭載艇乗員は除く）概略の目安として、作業時間は約 4～5 分と考えられる。

降下		指揮者 1人	操作者 1人	作業者 2人	搭載艇	時間(s)	
船尾ドア・オープニング (自動：油圧駆動60秒)	固縛確認		60s	30s	スロットル 調整	00	
	取水口オープニング (自動：油圧駆動30秒)		30s			30	
ドック内水位上昇 搭載艇WJ徐々に始動 (もやい張力ゼロへ)							90
搭載艇固縛解除 (10索) (もやい張力ゼロ確認後)						100s	150
導水流にて降下 (搭載艇にてスロットル絞る)							210
						合計 250秒	

図 5.4.2.1 導水管式における降下作業手順および作業時間

揚収作業手順を、同様に所用人員数および所用時間とともに図 5.4.2.2 に示す。目安として作業時間は約 7 分となる。

揚収	指揮者 1人	操作者 1人	作業者 2人	搭載艇	時間(s)
船尾ドア・オープニング (自動：油圧駆動60秒)		60s		母船 船尾 追走	00
取水口オープニング (自動：油圧駆動30秒)		30s			60
ドック内水位上昇・搭載艇徐々に接近					90
搭載艇収納区画に進入				スロットル 調整	150
搭載艇もやい取り			40s		210
取水口・クロージング (搭載艇WJスロットルと調整しながら)		60s	270		
搭載艇固縛 (着底後)				60s	330
船尾ドア・クロージング (自動：油圧駆動60秒)		60s			390
合計					420秒

図 5.4.2.2 導水管式における揚収作業手順および作業時間

5.5. 今後の検討課題

導水管式システムの実機適用を考える場合には、今回の実験で確認したような項目だけではなく、配置、復原性、強度面、機構面（インレット等）、駆動関連機装品（ポンプユニット等）など、実設計の段階で、様々なことを検討していかなければならない。また、現状では基礎実験の模型スケールが 1/25 と小さく、ドック内の跳水現象が十分把握できているとはみなせないことから、実設計の段階で、大型模型による検討が必要と思われる。

6. 開発達成度および結論

以上の研究調査を踏まえてドライドック式および導水管式の開発達成度を総括する。以下の表 6.1 に作業人員数や作業時間も含めた両者の総合的な達成度総括を示す。

なお、導水管式の評価に関しては、不規則波中での実験が有義波高 1.9m までしか実施されていないこと、および斜め波中での検討が実施されていないため、達成度に関しては予想値をカッコ書きで併記している。

表 6.1 達成度総括

降下時		開発目標	導水管式	ドライドック式
作業性		4人10分	4人5分	4人5分
平水中	船速	20kts	20kts	15kts
波浪中	船速	—	15(～20kts)	15kts
	波高	3.0m	2.0(～3.0m)	2.0～2.5m
	波向	複数の波向	向波・追波(斜波)	向波・斜向波

揚収時		開発目標	導水管式	ドライドック式
作業性		4人10分	4人7分	4人10分
平水中	船速	—	20kts	15kts
波浪中	船速	—	15(～20kts)	15kts
	波高	3.0m	2.0(～3.0m)	2.0～2.5m
	波向	適切な波向	向波・追波(斜波)	向波・斜向波

まず、ドライドック式に対する評価基準と評価手法の考え方フローを図 6.1 に示す。ドライドック式については、「えりも」を母船型に、

①高速走航時に船尾船底下端からの造波を抑え、船尾波隆起を抑制

②向波中に船尾直後に入射してくる波浪を遮蔽し、船尾相対水位変動を抑制

することを目標に、実績船の船尾デッドライズも考慮して船型改良を行い、実用型「改3」船型を開発した。その「改3」船型による規則波中実験と不規則波中実験にて向波中の評価を実施し、その他の波向きの評価は船尾相対水位予測計算とロール予測計算に基づいている。

エネルギー的に等価な波の形態

$$E = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{T/2}^{\pi/2} \zeta(t)^2 dt, \quad H_{1/3} = 4\sqrt{E}$$

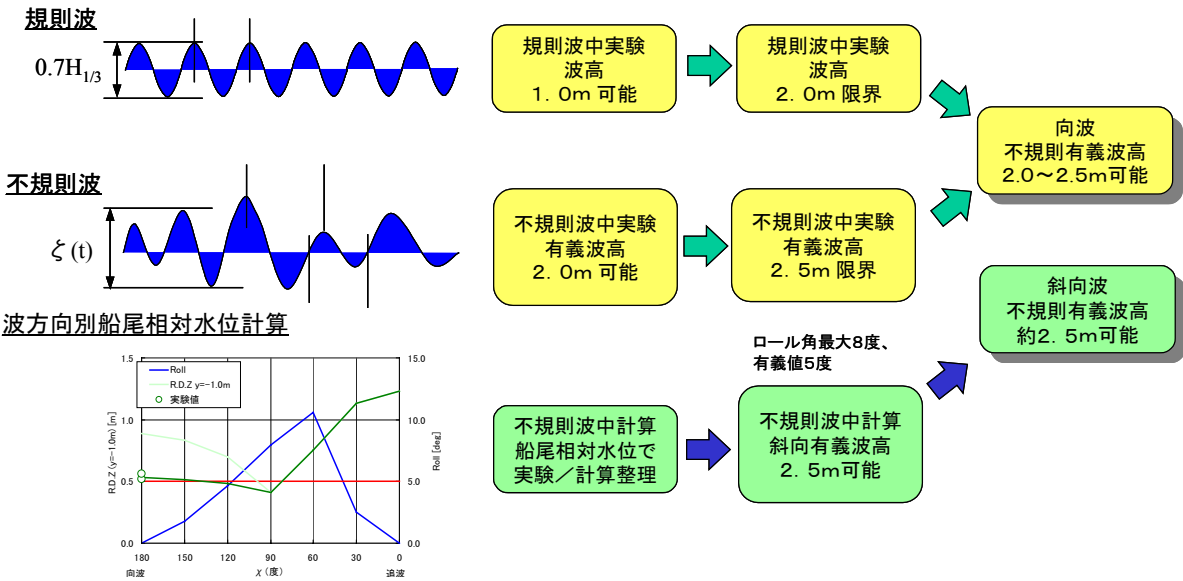


図 6.1 ドライドック式降下揚収可否に関する考え方のフロー (船速 15 ノット時)

研究調査の結果概要を図 6.2 に示す。ドライドック式の場合は、船体の遮蔽効果が活用できる向波～斜向波での降下揚収が概ね望ましく、斜向波では有義波高 2.5m 程度まで対応できることが予想される。但し船速は 15 ノット程度が望ましく、5 ノット程度だと、かえって船体運動が大きくなり、逆に 20 ノットになると船尾波隆起が大きくなるため、降下揚収は難しくなる傾向がある。

ロール有義値: 5度以下	向波中は波高2.0m/斜向波中は波高2.5mまで
船尾ローラー露出: 15~20%以下 (安全度80~85%)	船体ブロック効果と船体運動より、向・斜向波が有利
	船速5ktsは運動が大きくなるため、波高1m程度まで
	船速20ktsは船尾波隆起が大きくなるため、降下は難しい

向波中実験結果: 船尾ローラー露出頻度(危険度)

有義波高	船速5kts	船速10kts	船速15kts	船速20kts
平水中	揚収降下:○	揚収降下:○	揚収降下:○	降下:△
1.0m	11%	1%	4%	降下:△
1.5m	—	6%	6%	—
2.0m	67%	27%	13%	—
2.5m	—	—	25%	—

安全度80%の有義波高

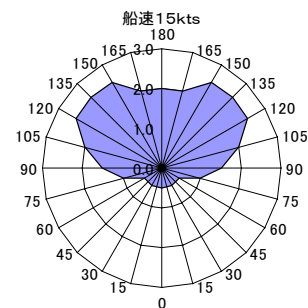


図 6.2 ドライドック式達成度概要 (船速 15 ノット)

一方、導水管式に対する評価基準と評価手法の考え方フローを図 6.3 に示す。導水管式については「えりも」船型による規則波中実験と不規則波中実験にて向波追波中の評価を実施し、さらに過渡水波による実験も実施して評価の参考としている。

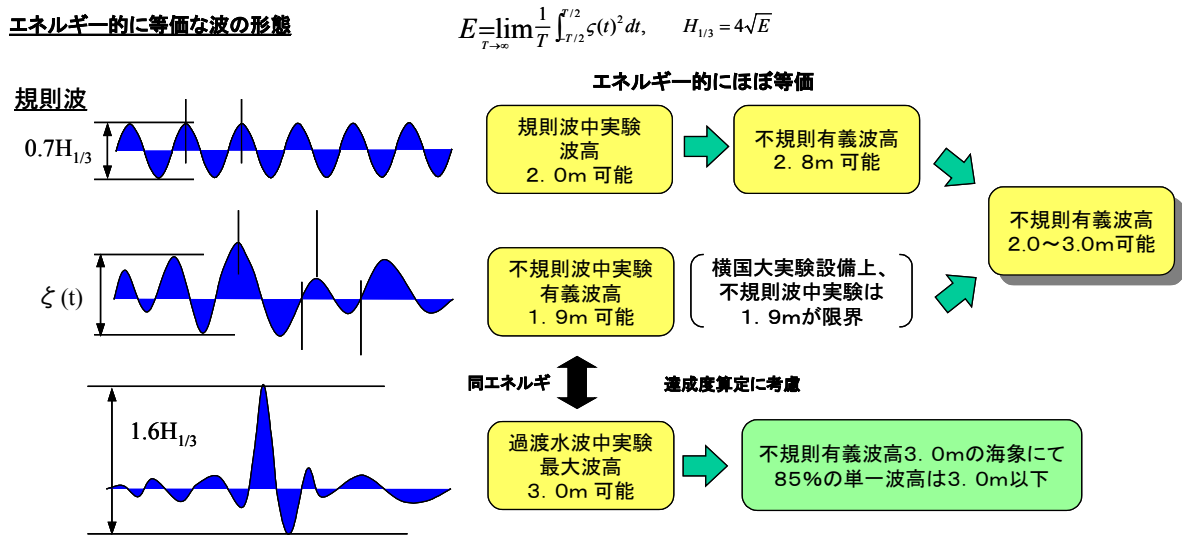
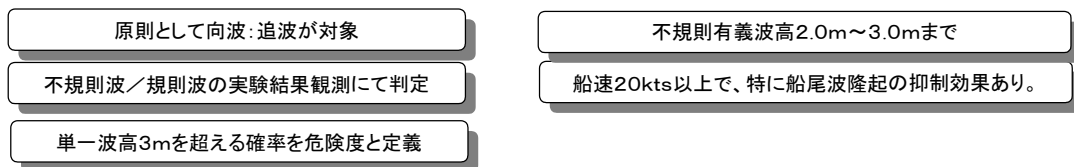


図 6.3 導水管式降下揚収可否に関する考え方のフロー（船速 15 ノット時）

研究調査の結果概要を図 6.4 に示す。導水管式では特に船速 20kts における降下可能という改善が著しく、本コンセプトの効果は明確に示されたといえる。



単一波高3.0mを超える危険度の試算例

有義波高	船速15kts	船速20*kts
平水中	揚収降下：○	降下：○
2.0m	1%	(1%)
2.5m	6%	(6%)
3.0m	15%	(15%)

※ 7 m 警救艇の性能限界より、揚収は 15 kts まで、降下は 20 kts まで

図 6.4 導水管式達成度概要

7. 参考文献

- [1]元良誠三監修:船体と海洋構造物の運動学 (1992), 成山堂
 [2]Lewis, et al.:Principles of Naval Architecture (1989), SNAME
 [3]畑村洋太郎:続々・実際の設計(1996)
 [4]USCG: Stern Boat Deployment System and Operability (2003), SNAME Trans.
 [5]T.Yabe and P.Y.Wang: Unified Numerical Procedure for Compressible and Incompressible Fluid (1991), J.Phys.Soc.Japan
 [6]日野幹雄:スペクトル解析 (2002), 朝倉書店
 [7]Lewis, et al.:Principles of Naval Architecture (1989), SNAME
 [8]S.C. Stevens et al.:Effects of Motion at Sea on Crew Performance : A Survey (2002), Marine Technology

付録

波高、波周期、出会周期 (向波中) の関係 (参考)

有義波高	$H_{1/3}$	m	1.5	2.0	2.5	3.0
最大波高	$H_{1/100}$	m	2.4	3.3	4.1	4.9
最大波高	$H_{1/1000}$	m	2.9	3.9	4.8	5.8
平均波高	$\langle H \rangle_{\text{energy}}$	m	1.1	1.4	1.8	2.1
平均波周期	T_{01}	s	4.7 ~ 5.7	5.5 ~ 6.5	6.1 ~ 7.3	6.7 ~ 8.0
ゼロクロス //	T_{02}	s	4.4 ~ 5.2	5.0 ~ 6.0	5.6 ~ 6.7	6.2 ~ 7.4
ピークピーク //	T_{24}	s	3.5 ~ 4.2	4.1 ~ 4.9	4.5 ~ 5.4	5.0 ~ 6.0
平均波長	$\langle \lambda \rangle$	m	24 ~ 34	32 ~ 46	40 ~ 57	48 ~ 68
-	$\langle \lambda \rangle / L_{\text{MOT}}$		0.3 ~ 0.4	0.4 ~ 0.5	0.5 ~ 0.7	0.6 ~ 0.8
代表平均波長	$\langle \lambda \rangle / L_{\text{MOT}}$		0.3	0.5	0.6	0.7

向波出会平均周期 T_e (s)		有義波高			
		1.5m	2.0m	2.5m	3.0m
船速	5 kts	3.1	3.8	4.3	4.8
	10 kts	2.4	3.0	3.5	4.0
	15 kts	2.0	2.5	3.0	3.4
	20 kts	1.7	2.2	2.6	2.9

平成 16 年度 船舶搭載艇の船尾降下揚収システムの研究開発報告書

平成 17 年 7 月発行

発行 海洋政策研究財団（財団法人シップ・アンド・オーシャン財団）
海技研究グループ

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-1 5-1 6 海洋船舶ビル
TEL 03-3502-1828 FAX 03-3502-2033

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。

ISBN4-88404-167-4



この研究開発は、競艇の交付金による日本財団の助成金を受けて実施しました。