

平成15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16年 3 月

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15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。

船舶並びに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、母船である船舶に搭載される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多方面において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、荒天の海象下において高速で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、同様の海象下において揚収することが可能なシステムの研究開発に着手いたしました。

本年度は、現在、海上保安庁の巡視船で採用されている「船尾降下揚収システム」に着目し、これら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、模型船を製作し水槽試験を実施するなどにより、新システムの概念構築に努めました。その結果、降下揚収作業に重大な影響のある母船及び搭載艇の挙動、船尾における水面挙動等に関するデータを取得することができました。

今年度の結果に基づき、来年度においては、新システムを具体化するための研究開発を実施する予定であります。

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開発され、船舶並びに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、さら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し、大和裕幸東京大学大学院教授を幹事会座長とする「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協力、ご支援を賜り、横浜国立大学海空制御システム研究室、独立行政法人海上技術安全研究所など関係各位のご尽力、ご協力によって実施したものであり、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16年3月

財団法人 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委員

(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 システムの創生部門 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	独立行政法人 海上技術安全研究所 理事
〃	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・復原性研究グループ 上席研究員
〃	渡部 典正	海上保安庁 警備救難部 管理課 課長
〃	染矢 隆一	海上保安庁 装備技術部 船舶課長
〃	久保田 秀夫	海上保安庁 装備技術部 船舶課 上席船舶工務官

船舶搭載艇の船尾降下揚収システムの研究開発委員会幹事会委員

(順不同、敬称略)

座長	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
委員	平山 次清	横浜国立大学大学院 工学研究院 システムの創生部門 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
〃	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・復原性研究グループ 上席研究員
〃	久保田 秀夫	海上保安庁 装備技術部 船舶課 上席船舶工務官

事務局

工藤 栄介	財団法人シップ・アンド・オーシャン財団	常務理事
加藤 郷	同上	業務部長
玉眞 洋	同上	業務部 調査役
瀬部 充一	同上	業務部 調査役
三木 憲次郎	同上	業務部 技術課 課長

目 次

1.	事業の目的	1
2.	研究開発目標	2
3.	事業内容	3
3. 1	事業全体概要	3
3. 2	現状調査	4
3. 2. 1	巡視船「えりも」現地調査及び乗員・乗員経験者へのヒアリング	4
3. 2. 2	巡視船「みなべ」現地調査及び同型船乗員へのヒアリング	7
3. 2. 3	総合評価	8
3. 3	次世代降下揚収システム方向性の検討	10
3. 3. 1	母船の船尾形状改良及び搭載艇の形状改良の方向性	10
3. 3. 2	新形式船尾降下揚収支援装置の方向性	11
3. 3. 3	C F Dの利用	11
3. 4	次世代降下揚収システムの概略設計	12
3. 4. 1	母船の概略設計	12
3. 4. 2	搭載艇の概略設計	14
3. 4. 3	新形式船尾降下揚収支援装置の概略設計	14
3. 5	第1回基礎試験	15
3. 5. 1	目的	15
3. 5. 2	実施要領	15
3. 6	導水管式基礎試験	17
3. 6. 1	導水管式提案の背景	17
3. 6. 2	導水管式の提案	17
3. 6. 3	導水管式基礎試験	18
3. 7	母船船尾形状の改善設計	22
3. 8	船尾流場に関する数値解析の適用性の検討	24
3. 9	まとめ	25

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必ずしも所期の目的を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。

海上保安庁においては、高速で浅海域を航行できるという搭載艇の特徴を生かして警備救難業務に活用しているが、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り、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のは困難であり、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

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トン型巡視船「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、以下のとおりである。なお、この目標は、本事業の中において、巡視船「えりも」による降下揚収試験を実際に行った上で、定めたものである。

- ① 母船の速力を低下させることなく最大船速（「えりも」の最大船速：平水中約20ノット）で降下可能
より迅速な対応を可能とするため、最大船速のまま降下可能とした。
- ② 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
降下については、救難等において一刻も早い対応が必要なことから、複数の波向きに対処できることにより、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、迅速な対応が可能とするため、複数の波向きとした。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に対処可能とした。また、波高については、7m型警備救難艇の航行限界の波高3mまでは降下・揚収を可能とするため、波高が3mとした。波高3m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、波高は3m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。
- ③ 作業人員4人以内
安全上、最低限必要と考えられる人員（指揮者1名、降下揚収作業員2名、船尾扉作業員1名の計4名）を目標とした。
- ④ 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を目標とした。

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である。

母船：改1000トン型と同程度の船舶（長さ91.4m、幅11.0m、深さ5.0m）

搭載艇：7m型警備救難艇と同程度の船舶（長さ7.1m、幅2.3m、深さ1.2m）／
複合型救難艇（長さ3.8～5.9m、幅1.6～2.2m、深さ0.7～0.8m）



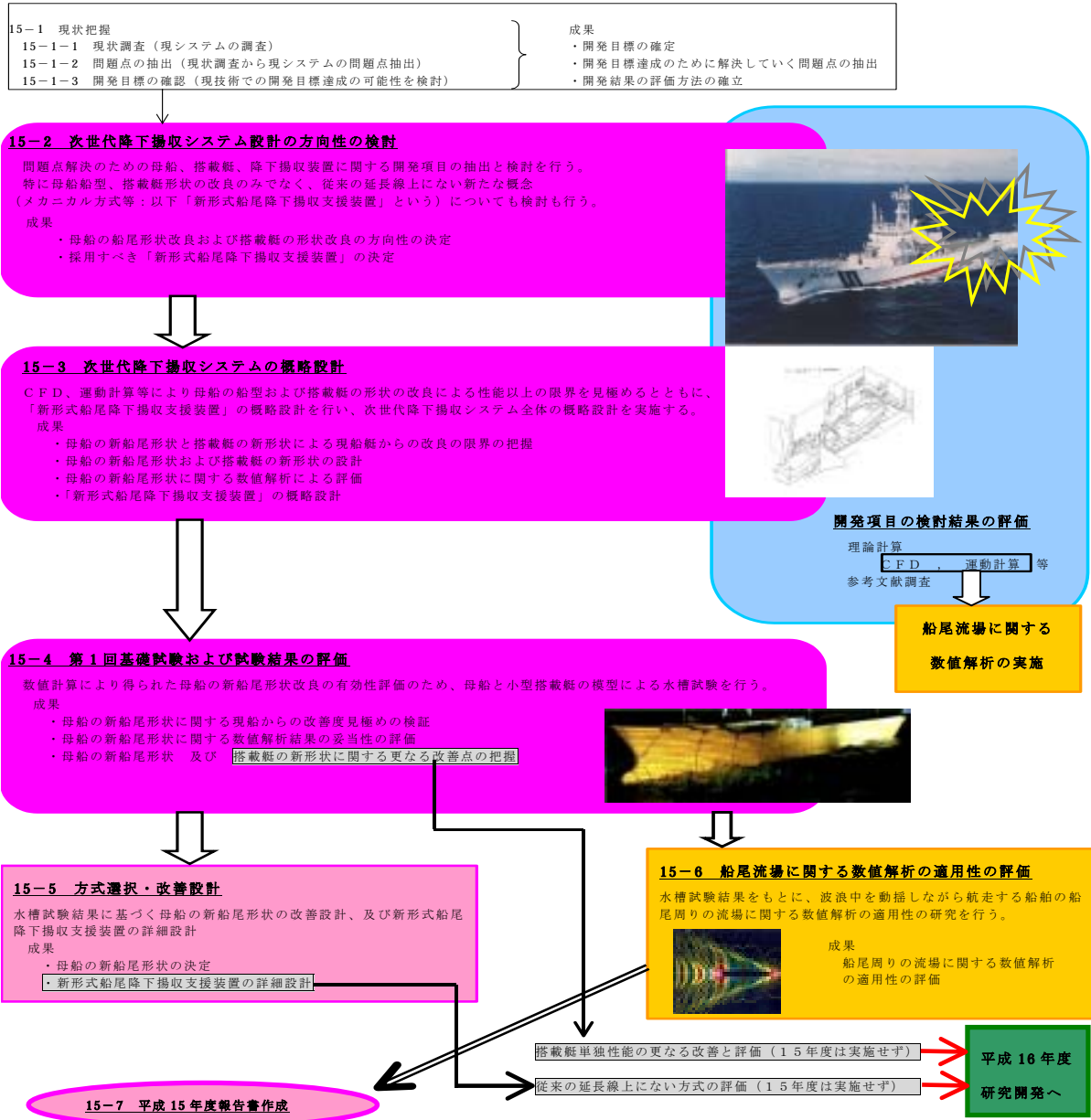
改1000トン型巡視船「えりも（旧おじか）」

事業内容

3. 1 事業全体概要

平成15年度事業フロー

平成15年度

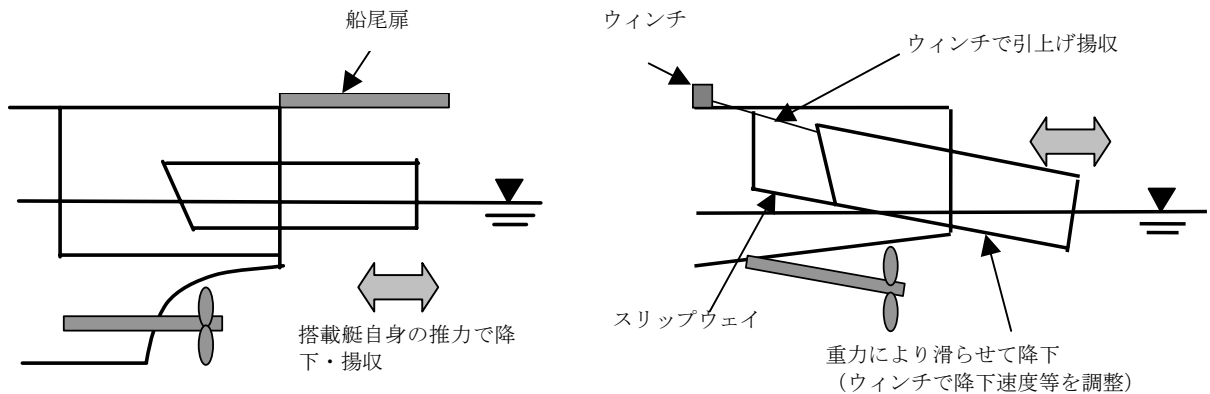


3. 2 現状調査

本事業を実施するに当たり、現状の船尾降下揚収システム及びミランダ式ダビットの問題点を明らかにするとともに、開発目標の確認のため、

- ・ 巡視船「えりも」(釧路) (船尾ドック式及びミランダ式ダビットの2方式を採用) 及び
- ・ 巡視船「みなべ」(田辺) (スリップウェイ式を採用)

の現地調査を行うとともに、乗船者及び乗船経験者に対するヒアリング調査を行った。



「えりも」船尾ドック式概念

「みなべ」(あまみ型)船尾スリップウェイ式概念図

3. 2. 1 巡視船「えりも」現地調査及び乗員・乗員経験者へのヒアリング

(1) 巡視船「えりも」試験概要と結果

釧路沖(波高約1~1.5m)において、巡視船「えりも」を使用し、試験を行った。

① 船尾降下揚収試験・高速試験

低速域から降下揚収作業の限界となる8ノット程度の高速域まで、すべての波向きで降下揚収試験を行った。

なお、降下揚収には、自力降下揚収(搭載艇自身の推力による降下・揚収)、強制降下揚収(母船側のワイヤー及びウィンチを用いた強制的な降下・揚収)、強制併用自力揚収(ワイヤーによる張力及び搭載艇自身の推力を併用した揚収)の3方式があり、これらについて、試験を実施した。

さらに、20ノットまでの高速域での船尾流場の観察のための高速試験(艇をドックから出した状態で、船尾扉を開放し、高速航行時のドック内の水の動きを観察するための試験)を行った。

試験の結果、降下揚収を困難にする以下の要因がわかった。

i) 母船船尾流場の盛り上がり・乱れが及ぼす影響

母船速力が速くなるに従い、船尾流場が盛り上がる現象が見られる。特に、10ノット以上では、盛り上がりはあたかも「壁」のようにドック入り口を塞ぎ、搭載艇の降下揚収を不可能にした。

ドック入り口付近には、死水域（母船と同じ速さで進む水域）が見られ、更なる後部の流場との急激な流速差を発生させ、その中での搭載艇の操船には熟練を要することがわかった。母船船尾両舷から発生する渦や流場の乱れに対しても、搭載艇の操船に熟練を要することがわかった。また、高速航行時にはドック内の水位が著しく低下する現象も見られた。



船尾流場（10 ノット）



船尾流場（18 ノット）

ii) ドック内への海水打ちこみが及ぼす影響

波浪中では、開放された船尾開口部からは、海水の激しい打込みが発生し、ドック内水位が変動した。これにより、搭載艇が変動し、搭載艇の操船を困難にするとともに、もやい作業を困難にすることがわかった。



冠水したドック内



激しい海水打ち込み

iii) 開放された船尾扉及びドック内天井が搭載艇乗員心理に及ぼす影響

開放された船尾扉及びドック内天井は、母船や搭載艇が上下運動する時に、搭載艇乗員に圧迫感を与えると同時に、衝突の危険性を感じさせていることがわかった。



船尾扉（開放時）



搭載艇から見た船尾ドック

ii) 船尾扉開放閉鎖のための操作位置の分散による影響

船尾扉開放閉鎖のための油圧機器等の操作がドック内、ドック前方室内、甲板上部等に分散配置されているため、作業人員を多くしているとともに、作業の連携に困難性を与えていることがわかった。なお、これは、設計時に、油圧系統を増やすことなく兼用させ効率化を図ったものであるが、作業の煩雑化、作業負担の増大を招く結果となっている。

② ミランダ式ダビット試験

ミランダ式ダビットは、降下・揚収作業中、搭載艇が常に母船に支持されているため外乱に対して安定しているという長所を持つことが確認された。一方、クレードルから搭載艇がはずれないように母船を停船あるいは低速にしなければならぬこと、作業には高所作業を必要とすること、などが短所として挙げられる。



解纜作業



降下した搭載艇

(2) 巡視船「えりも」乗員及び乗員経験者へのヒアリング概要と結果

① ヒアリング方法

巡視船「えりも」乗員及び乗員経験者に対し、あらかじめ作成した質問票に回答を記載してもらった上で、詳細な質疑応答を行った。

② ヒアリング結果

i) システム全体関係

- ・強制揚収装置使用時は、搭載艇乗員が艇を制御できなくなり、搭載艇乗員の不安を強めている。
- ・搭載艇乗員は、母船の運動、ドック入り口付近の流場状況を見極めて降下・揚収を行うが、そのタイミングに熟練を要する。
- ・ミランダ式ダビットは多くの巡視船に装備され、訓練も行き届いていることから、習熟した乗員が多い。一方、ドック式の降下揚収装置は「えりも」にしか装備されていないため、「えりも」乗船後、一からの習熟となり、相応の期間を要する。

ii) 母船関係

- ・ドック内への海水の打込みが激しいと、降下・揚収時に搭載艇が揚収区画やドック入口に衝突する危険性が高い。また搭載艇の索外し作業も、打ち込んだ海水によって搭載艇が上下動するために危険である。ドック奥行きも必要。
- ・船尾ドックの入口が狭いため、心理的な圧迫感がある。
- ・船尾扉が迫ってくることに恐怖感を覚える。
- ・船尾降下・揚収装置の機器操作場所が、現状4カ所に分散しており、作業が煩雑。

iii) 搭載艇関係

- ・揚収時は、船尾波の中では流場が大きく変動することから、保針・操船には熟練を要する。

(3) 備考

「えりも」建造時には、水槽試験結果から、追波状態での作業が最もよいとされていた。水槽試験で、追波の場合、船尾端部の船体運動が小さく、またビ

デオ観察でドックに搭載艇がスムーズに入っていく様子が観察されたことからである。一方で、竣工後の実作業において、追波状態では、搭載艇が後方から波に押され危険であるため、追波では行われていないことがわかった。このことを教訓として、本研究開発では、得られた成果を総合的に評価する必要がある。

3. 2. 2 巡視船「みなべ」現地調査及び同型船乗員へのヒアリング

(1) 巡視船「みなべ」試験概要と結果

和歌山県田辺沖（波高約1 m）において、巡視船「みなべ」を使用し、試験を行った。

① 波方向差試験・船速差試験

通常降下揚収させる速力3ノットにて、向波、横波、追波で降下揚収試験を行った（波方向差試験）。

また、速力による影響を調べるため、船速5ノットにて、向波で降下揚収試験を行った（船速差試験）。

試験の結果、降下揚収を困難にする以下の要因がわかった。

i) 母船減速時の母船船尾流場の変動・乱れ

行き足を止めるため後進をかけると、水流の乱れにより搭載艇を降下しづらくなる。

ii) 搭載艇搭載中の横不安定

搭載艇は搭載艇船底キールがスリップウェイ底部の水平ローラに乗る状態となることから、横方向に不安定となる。



横不安定な搭載艇



スリップウェイ底部

底部に水平なローラーが設置されている。

iii) 搭載艇固縛装置の複雑さ

降下時の解纜作業及び揚収時の固縛作業では、搭載艇の前後左右4カ所の固定索を同時に扱う必要があるために4名の作業員を要する。また、固縛方法そのものが煩雑なため作業時間も要している。

iv) 搭載艇関係

揚収時は、船尾波の中では流場が大きく変動することから、保針・操船に熟練を要する。

(2) 巡視船「みなべ」乗員及び同型乗員へのヒアリング概要と結果

① ヒアリング方法

巡視船「みなべ」乗員に対し、あらかじめ作成した質問票に回答を記載してもらった上で、詳細な質疑応答を行った。さらに、「みなべ」と同型（「あまみ」型）乗員に対し質問票に対する回答をもらった。（「あまみ」型巡視船は、「あまみ」「くろかみ」「くなしり」「みなべ」の計4隻）

② ヒアリング結果

i) システム全体関係

・降下揚収作業が可能な限界条件は、波高2メートル、船速2ノット程

度まで。

- ・ 降下揚収作業には、5～9名の作業員を要し、作業時間は5～15分程度。
- ・ システムの使用条件は、揚収作業の可否で決定される（スリップウェイ式の降下作業は重力によって滑り落ちるため比較的容易。）。
- ・ 現状のスリップウェイ式は、搭載艇を母船中心線上に横傾斜することなく揚収することが難しく、搭載艇を定位置に揚収できるまで揚収作業を繰り返し行う必要がある。
- ・ 揚収時に閉鎖された空間（特に「天井がある空間」）に進入するわけではないので、侵入時の恐怖感はそれほど大きくない。
- ・ 母船ローリングにより搭載艇が左右に振られることを防ぐため、降下は向波で行う。
- ・ 追い波での降下は、波がスリップウェイに入り、搭載艇が浮き、衝突する。
- ・ 搭載艇が横に傾いて降下するのが怖い。

ii) 母船関係

- ・ 船尾喫水が浅く、波やうねりにより母船船尾船底が露出し揚収できないことがある。
- ・ 行き足を止めるため後進をかけると、水流の乱れにより搭載艇を降下しにくい。
- ・ 錨泊時以外は1.5～2.0ノット程度の前進速度で作業している。

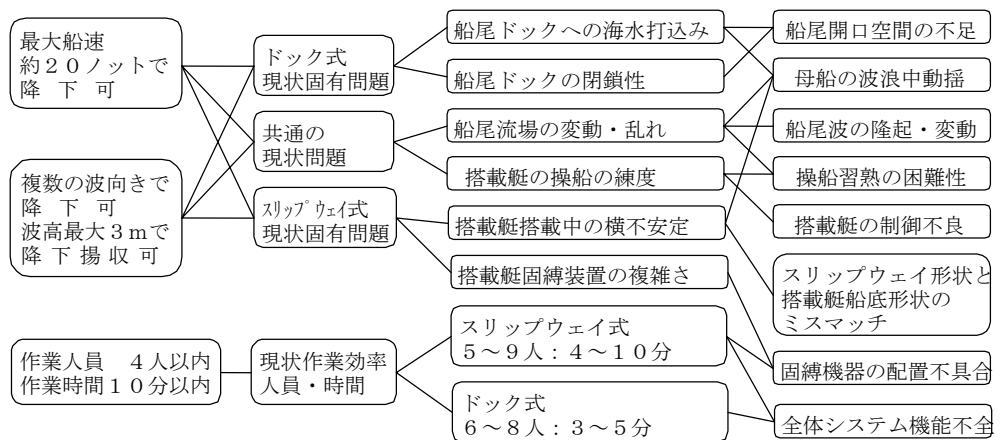
iii) 搭載艇関係

- ・ 揚収時は、母船の船尾流場変動が大きいいため、保針・操船に熟練を要する。

3. 2. 3 総合評価

(1) 問題点の抽出方法

巡視船「えりも」及び「みなべ」の現地調査結果全体を通じて得られた現状の問題と具体的課題対象を下図に示す。同図では左に研究開発目標をかかげ、左から右にいくに従って、抽象的な問題を具体的な課題に展開している。



現状調査結果にもとづく問題及び具体的課題対象

(2) 問題点と対応策

調査を通じて、以下のことがわかった。

① 運動性能面

母船・搭載艇の性能面における主な問題は、

- ・母船の波浪中動揺（特にピッチング）
- ・母船の船尾波の隆起・変動
- ・搭載艇の操船習熟の必要性

以上3点が挙げられる。これらの改良を図るには

- ・母船船尾形状の改良（波浪中動揺及び船尾波の隆起・変動抑制）
- ・搭載艇針路安定性向上（操船の容易化）

が有効であると考えられる。

なお、これらは、すべて流場変動に起因する外乱影響が原因となっている。このことから、この流場変動から切り離すスリップウェイ式のように、搭載艇の固縛・解纜作業がドライ状態でできるようにすることが、流場変動による外乱の影響を受けないことから、一つの解決策につながると考えられる。

また、逆に、船尾流場変動による影響をなくすため、ドック内に積極的に水流を発生させ、ドック内流場と船尾流場を同一化するとともに、伴流を打ち消す方策も一法として考えられる。

② 艀装面

母船と搭載艇の艀装面における主な問題は、

- ・船尾開口空間の不足（ドック式）
- ・母船スリップウェイ形状と搭載艇船底形状とのミスマッチ（スリップウェイ式）
- ・搭載艇固縛機器の配置不具合

であることがわかった。

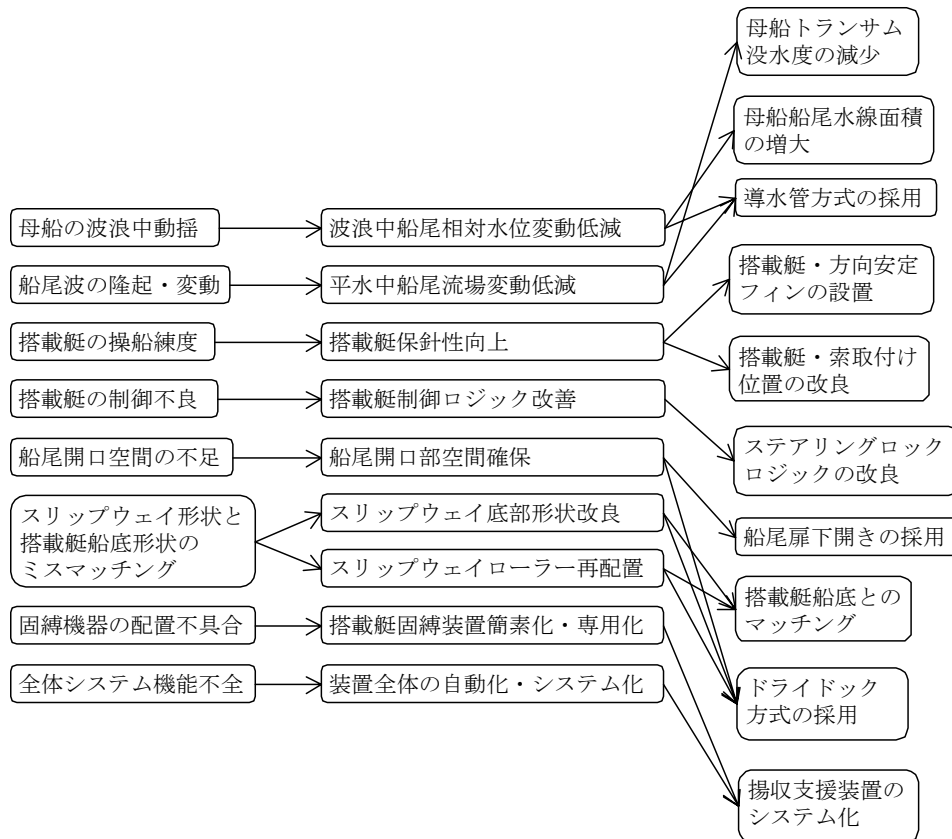
これらの改良を図るには

- ・母船の船尾扉の開閉様式やドック構造自体の改良（開放空間確保）
- ・スリップウェイ底部形状とローラー配置の最適化（ミスマッチ解消）
- ・搭載艇固縛装置の簡素化・専用化（装置システム全体の配置改善）

等、装置システム全体について、効率的な配置・効果的な形状による合理化、自動化による省人化、開放空間の確保が有効と考えられる。

3. 3 次世代降下揚収システム方向性の検討

現状調査を通じて、母船船尾形状改良、搭載艇船底形状改良、新形式の船尾降下揚収支援装置の方向性が明らかになった。また、改良にあたっては、水槽試験により確認を行うことになるが、それに先立ち、CFDを用いて、その有効性を確認することによって、水槽試験を効果的に実施できるとともに、さらなる船型開発に効果を発揮するものと考えられる。次世代降下揚収システムの詳細な方向性を下図に示す。



次世代降下揚収システムの方向性

3. 3. 1 母船の船尾形状改良及び搭載艇の形状改良の方向性

(1) 母船船尾形状改良の方向性

① トランサム没水度の低減

母船船尾流場の変動及び船尾波の隆起は、船尾部に発生する局所的な波であり、主にトランサム没水度との相関が強い。このため、トランサム没水度を低減させることが、船尾流場の変動を抑制することにつながると考えられる。

② 船尾水線面積の増大

母船のピッチングにより、船尾流場の盛り上がり方が更に大きくなるとともに、船尾海面と船尾ドックの上下高さ変動が発生する。このため、船尾水線面積を増大させることが、ピッチングの抑制につながると考えられる。

③ 船尾扉下開きの採用

船尾扉が上方に開放されることにより、搭載艇乗員に閉塞感を与えているとともに、衝突の危険性が発生している。このため、船尾扉を下開きとすることが、上部圧迫感の開放と衝突の回避につながると考えられる。

(2) 搭載艇の形状等改良の方向性

① 方向安定フィンの設置

変動する船尾流場の中では、さらなる針路安定性が要求される。このため、船底にフィンを設置することが、針路安定性の向上につながると考えられる。

② 搭載艇の索取付位置の改良

索で母船と搭載艇を結んで揚収するオペレーションを行う場合は、母船からの索を搭載艇の船首端部に取り付けることによって、搭載艇の針路安定性の向上につながると考えられる。

③ スリップウェイ形状と搭載艇船底のマッチング

スリップウェイ式の場合、搭載艇船底形状と母船側の形状がマッチングしないことにより、搭載艇が傾斜する現象が発生する。このため、母船側形状を搭載艇船底形状にマッチングさせることが、スリップウェイ内での搭載艇を安定させることにつながると考えられる。

3. 3. 2 新形式船尾降下揚収支援装置の方向性

現地調査から得られた知見より、

- ・ 流場変動の影響から切り離す方法
- ・ 逆に、ドック内に水流を作ることにより、ドック内流場と船尾流場を同一化させる方法

による支援装置が有効であると考えられる。

(1) ドライドック式の採用

ドック式に、スリップウェイ式のようなドライ性を導入することにより、搭載艇を流場変動から切り離すことが可能となる。このため、搭載艇を索などにより水から効率的に引き上げる支援装置を開発することが、流場変動影響を排除することにつながると考えられる。

(2) 導水管式の採用

ドック内に積極的に水流を発生させることにより、ドック内が船尾流場と同一の流場となり、流場変動影響をなくすことや伴流影響をなくすことが可能となる。このため、母船船側又は船底から管により海水をドック内に導き、ドック内に水流を発生させる方式（導水管式）が、流場変動影響をなくすことにつながると考えられる。

3. 3. 3 CFDの利用

CFD (Computational Fluid Dynamics) は流体領域を有限個の格子に分割し、初期条件および境界条件を用いて流体領域各部の速度、圧力等を求めるいわゆる数値実験である。現状では、定量的な値まで求めることは不可能であるが、定性的には比較検討が可能である。

このため、様々な船型を検討するにあたって、CFDを利用することにより、船型差影響を把握することができる。

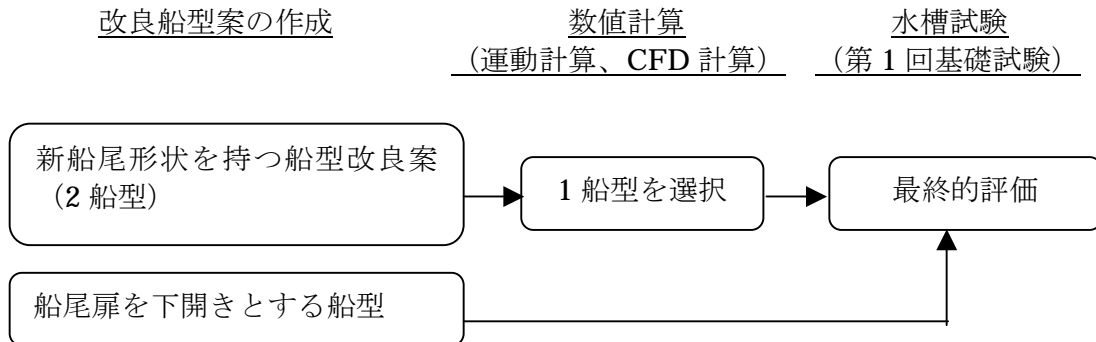
したがって、船型改良を行うにあたっては、水槽試験を行うことになるが、それに先立ち、CFDを用いて、その有効性を確認することが効果的な水槽試験につながるとともに、さらなる船型開発に効果を発揮すると考えられる。

さらには、本事業を通じて、CFDの更なる発展にもつながると考えられる。

3. 4 次世代降下揚収システムの概略設計

3. 4. 1 母船の概略設計

第1回基礎試験を行うにあたって、船型を改良することになるが、母船船尾形状改良の方向性に従い改良した複数の船型候補について、CFDにより、定性的評価を行い、最も効果の高い船型を選定した。この流れを図示すると、下図のとおり。



母船概略設計の流れ

(1) 船型改良案の作成

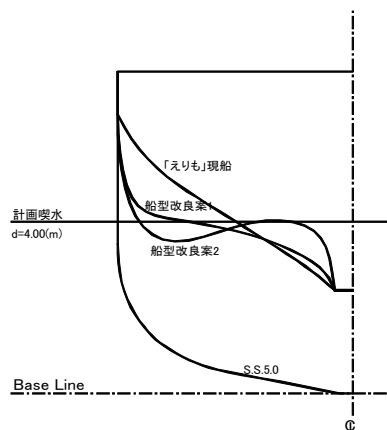
以下に示す2つの船型改良案を作成した。各船型改良案の船尾端トランサム形状を下図に示す。

① 船型改良案1

柱型係数 C_p は「えりも」とほぼ同一とし、水線面積係数 C_w を可能な範囲内で最大にする。「えりも」とほぼ同一のトランサム面積を持ちながら、トランサム没水度を小さくできるため、船尾流場の改善が期待される。また、船尾水線面積が大きくなるため、船体運動を抑制することが期待される。

② 船型改良案2

改良船型案1からさらに、船体中心線付近の没水度を小さくする。改良船型案1と同様の改善に加え、船体中心線延長線上の船尾波の隆起を抑制することが期待される。但し、船尾ドックの配置は不可能となる。



船型改良案概念図

(本図は各船型の船尾端トランサム形状正面図を示す)

(2) 採用すべき船型の評価

① 運動計算による評価

速力20ノットまで、全ての波向き、波高3mまでについて、規則波中応答関数計算及び不規則波中予測計算を行った。

その結果、船型改良案2の方が、ピッチングが小さく、船尾端相対水位の変動差が小さいことがわかった。

② CFDによる評価

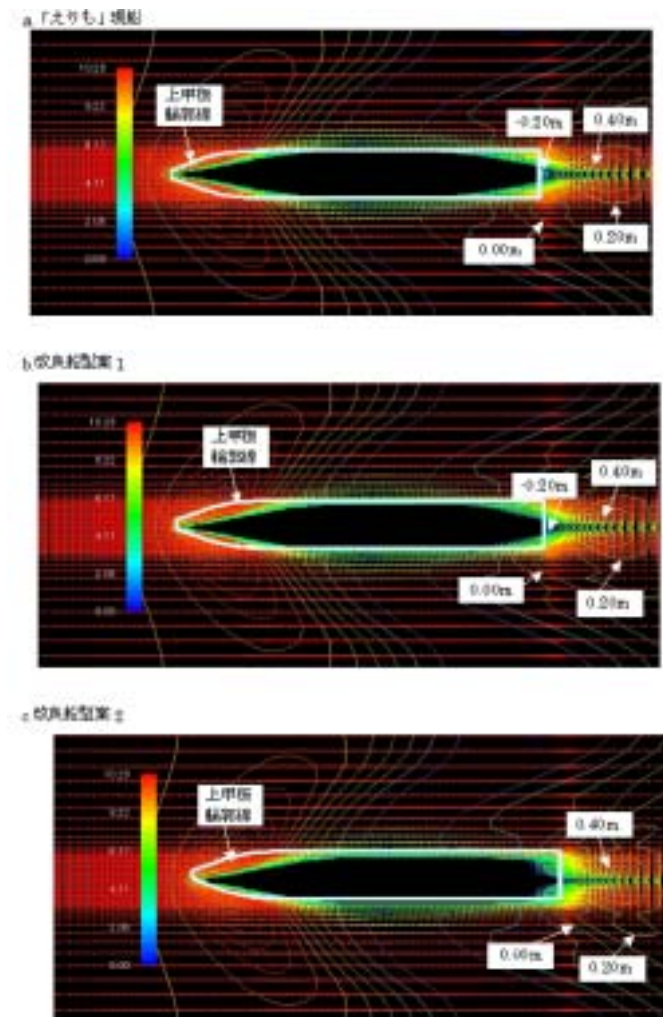
速力10ノット及び20ノット、平水中において、CIP法（Constrained Interpolation Profile法）を用いて船尾流場の計算を行った。本計算は、計算モデル各格子点の情報を内挿関数で捕間することにより数値拡散を防ぐ計算手法であり、自由表面の取り扱いには2層流体を同一の基礎式として密度関数を用いて決定する方法を用いている。

その結果、船型改良案2の方が、船尾流場での流速変化、水面の傾斜、波高が小さいことがわかった。

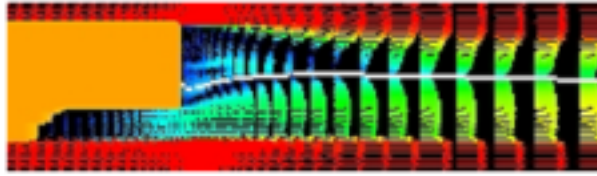
③ 船型の決定

運動計算、CFDとも、船型改良案2の方が優れていることから、船型改良案2を第1回基礎試験で使用する母船の船型として、選定した。

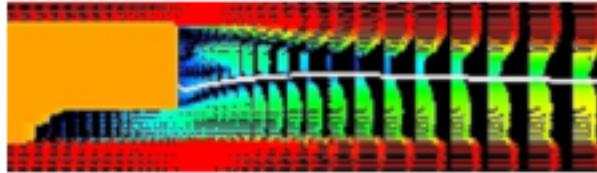
なお、「船型改良案2」は、船型差による影響度を調査する目的で、巡視船への適用は困難なほど「えりも」から極端に船型を変化させたものである。



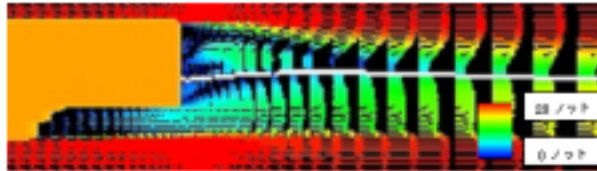
a 「えりも」現船



b 改良船型案1



c 改良船型案2



3. 4. 2 搭載艇の概略設計

揚収時は、船尾波の中では流場が大きく変動することから、保針・操船には熟練を要する。更なる保針性・操船性の向上には、搭載艇にフィンを取り付けることが有効である。ただし、現地調査で調査した搭載艇は「えりも」、「みなべ」とも5.5m型警備救難艇であり、本事業で対象としている7m型警備救難艇については、すでに装備済みである。

また、保針性以外の改良事項については、降下時の後進に適した船尾形状、高速航行下での降下時の着水衝撃等があり、来年度に検討することとしている。



7m型警備救難艇に装備されているフィン

3. 4. 3 新形式船尾降下揚収支援装置の概略設計

新形式船尾降下揚収支援装置として考えられる各種アイデア（導水管式、ドライドック式、双胴船式、上開き式、ガルウイング式、下開き式、アーム式、水平クレードル式、つり上げ式、自動誘導式、船尾船側式）を網羅的に抽出し、メリット・デメリットを検討した。なお、具体的には、来年度に検討することとしている。

3. 5 第1回基礎試験

3. 5. 1 目的

船尾形状を改良した改良船型と現「えりも」船型の船尾流場、母船運動への影響度を比較することによって、船型改良に伴う影響度の定量的評価を行う。

また、CFD計算結果による定性的な船型差の評価を確認する。

3. 5. 2 実施要領

(1) 使用水槽

独立行政法人 海上技術安全研究所 三鷹第2船舶試験水槽 (400m水槽)

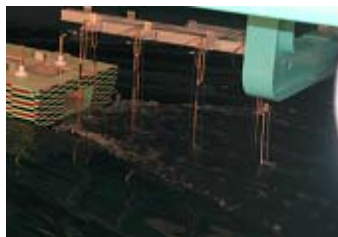
(2) 供試模型

供試模型としては、「えりも」及び「船型改良案2」の2船型
サイズは、1/17の縮尺模型 (水線長さ: 実船 85m、模型 5m)

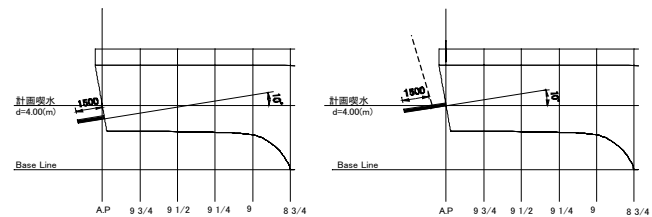
(3) 試験内容

平水中試験、規則波中試験を行った。

さらに、下開き船尾扉の影響を確認するため、両船型について、船尾扉を下開きにした状態で、規則波中での試験も行った。(船尾扉影響試験)



試験状況



船尾扉側面図 (下開き時)

(4) 試験結果

① 船型差影響

両船型による影響差は、以下のとおり。

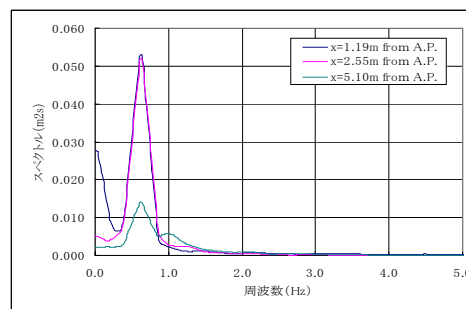
i) 船尾流場の盛り上がり

「船型改良案2」の方が、船尾流場の盛り上がりは減少した。

ii) 船尾流場変動

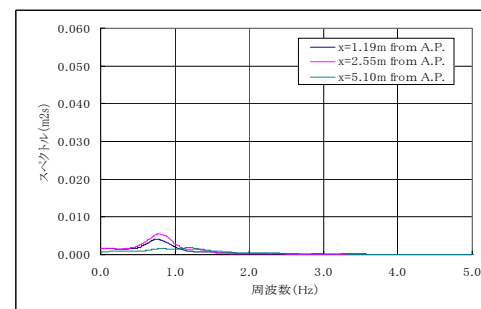
「船型改良案2」の方が、船尾流場変動幅は減少した。

最も変動が大きいと思われる船体中心船上の船尾端に近い計測点3点の波高時系列データに対して行ったスペクトル解析 (下図) に示すように、「船型改良案2」では変動成分が低くなっていることが分かる。



「えりも」

平水中試験



「船型改良案2」

船尾波高スペクトル解析結果

iii) 波浪中の運動
両船型に顕著な差異は認められなかった。

iv) 死水域
「船型改良案2」の方が、船尾端付近の死水域は狭くなった。

② 船尾扉下開き影響

船尾扉下開き時には、船尾扉付近を中心に船尾流場変動が若干抑えられた。ただし、船尾扉が船尾波に与える影響は船型差による影響に比べ小さかった。

③ 運動計算結果との比較

向波中に関しては、ストリップ法による船体運動計算によるピッチの差異が、本基礎試験結果と同様であることが確認できた。

これにより、ストリップ法運動計算は、船尾流場変動を抑えた船尾形状の比較検討を行うにあたって、向波中における船体運動の定量的評価を行う上で有効なツールであることが確認できた。

④ C F D 計算結果との比較

C F D 計算を用いた船型差の評価に関しては、船尾端から船尾波の最高点までの波傾斜に関する傾向が本基礎試験結果と同様であることを確認した。

(5) 今後の研究への適用

① 有効な船型

船体中心線付近を中心にトランサム没水度を小さくすることが、船尾流場の盛り上がりや変動及び船尾死水域を抑えることにつながる。「船型改良案2」は船型差による影響を見出すために大胆な船型変更を行ったプロトタイプである。そのため、実際の新しい巡視船の展開にあたっては、船尾に配置される船尾降下揚収以外の艀装品や機器類の配置も勘案しつつ、新しい巡視船に要求される様々な機能を満足させることも考慮していくこととなる。

② 下開き船尾扉の効果

船尾流場変動を若干抑えることにつながる。ただし、船型差に比べると小さい。

③ 運動計算の適用

向波中における波浪中船体運動（ヒープ及びピッチ）の定量的評価において、ストリップ法を用いた理論計算は有効であると考えられる。

④ C F D 計算の適用

1 ケースだけの検討ではあるが、本ケースを見る限り、平水中の船尾造波及び流場変動の波傾斜に関する相対的評価においては、C F D 計算は有効であると考えられる。

3. 6 導水管式基礎試験

3. 6. 1 導水管式提案の背景

「えりも」現地調査の結果、現状のドック式では

- (1) 船尾に回り込んだ流体のうち水面に近い部分は船体と共に移動する。即ち船体との相対速度がゼロに近くなるから、そこに搭載艇が進入する場合は急激に推力を絞る必要がある。その結果旋回力は落ちるからドックの開口部に的確に近づくことが難しくなる。特にドックに入りかけた時に船首をドック側壁に何回もぶつけながら進入したり、進入をあきらめたこともあった。この点からは、進入の最後の段階まで操縦・旋回力を保持できるシステムが必要である。
- (2) 喫水が浅いと船尾の相対上下運動により搭載艇の底面が設置されているフラップに接触する可能性があることから、意識的に船尾喫水を深くしている（40cmくらい）ようであった。この結果ドック内の海水は、船内タンク内の遊動水が強制動揺によりスロッシングを起こすように激しく前後に運動した。これは搭載艇を大きく前後に動揺させるとともに、ドック前面斜壁でスラミングを生じ、作業に支障をきたしていた。この点からは喫水は計画程度にすべきであり、この状態でフラップが無くても降下・揚収が可能なシステムが必要である。

といった点が明らかとなった。

3. 6. 2 導水管式の提案

以上の状況からドック内に水流を与える式（ここでは導水管式と呼ぶ）を提案した。即ち、本船の船底ないしは舷側に開けた取水口（使用時にのみ開口する）から本船の前進速度による動圧を利用して水流を取り込み（停船時の降下・揚収でも水流発生があった方がよい場合には補助ポンプが必要となる）、本船の船速と同程度（動圧だけだと本船の船速よりは40%程度落ちる）の流速の水流をドック内に発生させ降下・揚収支援に供する。この場合取水口の抵抗増により本船の船速は0.5ノット程度は低下する。なお「平行水流」よりも「拡大水流」の方がより搭載艇の方向安定性が増すと考えられるが、実験等で確認する必要がある。

このシステムにより期待される効果として、次の事項があげられる。

- (1) 従来法だと、搭載艇がドック直前の海面からドック内に入るとドック内の海水は本船に相対的にほぼ停止しているため搭載艇の推力は急激に静止推力まで高まり、推力を急激に落とさないと壁に激突する。これに対して本船の船速と同程度の水流をドック内に発生させ後方に流すことにより推力を急激に落とす操作は不要となる。
- (2) またそのドック内でも相対流速があるから搭載艇の操縦・旋回能力も低下しない。
- (3) 高速時にドック内の水位が下がる場合でも水流があれば搭載艇のウォータージェットの取水も確保できる。
- (4) 水流は船底あるいは船側に開口を設け船速を利用して船内に導けば、特に停船時以外は追加の動力は要らない。
- (5) その場合、平行流ではなく拡大水流にすることにより拡大水流の原点の方向に船首が向き易くなる操船性向上効果も期待できる。
- (6) 水流を発生させることにより喫水が計画より更に浅い場合でも降下・揚収が可能となる可能性がある（(3)との関係もある）。
- (7) また波は強い逆流を遡れないから、ドック内進入波が抑えられドック端でのスラミングの発生も押さえられる可能性がある。
- (8) 母船側の改良が主であるから搭載艇の改良は補助的なもので済む可能性がある。

3. 6. 3 導水管式基礎試験

以上の提案を確認すべく基礎実験を実施した。プロペラ後流影響も取り入れることを考えたが本年度は、基礎試験として、プロペラ無し状態で、「(1) 予備実験」と「(2) 不等縮尺モデル実験」による半定量的な実験を実施した。

(1) 予備試験

① 試験内容

導水管の太さやドック形状などを定性的に検討する意味で「えりも」とは相似でないウレタン製の箱型模型を作製し、横浜国立大学の大型試験水槽(100m×8m×3.5m)にて拘束状態で平水中を曳航した。ドックは実機に対してほぼ1/16のスケールとした。船速は実機相当で7.5から15ノットである。

② 試験結果

試験の結果、

- ・水量は当初の想定よりも増やした方が良い
- ・船尾扉を水中に下げた状態にすると水面上でセンターラインに向けた流れが出来るため、搭載艇の方向安定が確保される

などの点が明らかとなった。

なお搭載艇はリモコンで操縦し、ドックからの降下・揚収のしやすさを見た。

(2) 不等縮尺モデル試験

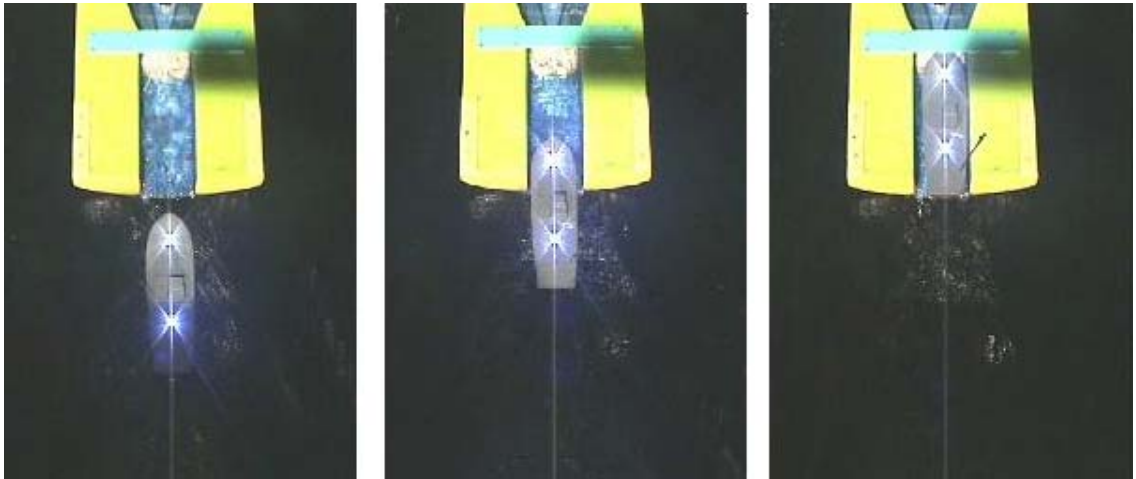
① 試験内容

予備試験で得られた問題点を考慮しつつ「えりも」の相似模型試験を横浜国立大学大型試験水槽にて実施した。但し幅方向は1/25(44cm)、長さ方向は船尾ではほぼ1/25だが、船体中央より前方は更に大縮尺とし全体でみると1/38(221cm)とした不等縮尺模型となっている。船尾付近の流れは実機と相似であると想定した。但し慣性モーメントなどは相似になっていないので波長と運動の関係は実機と異なるが、今回の規則波中実験では不等縮尺模型で縦運動が大となる波長にて実験を行った。なおこの実験でもプロペラはまわさず、舵・ビルジキールも付けていない。また、不等縮尺模型であるし、取水口も固定(実機では取水するときに船外に開く)としたので抵抗は計測しなかった。取水口の覆い(今回は固定)付近の写真を下に示す。エッジは未整形である。



② 試験結果

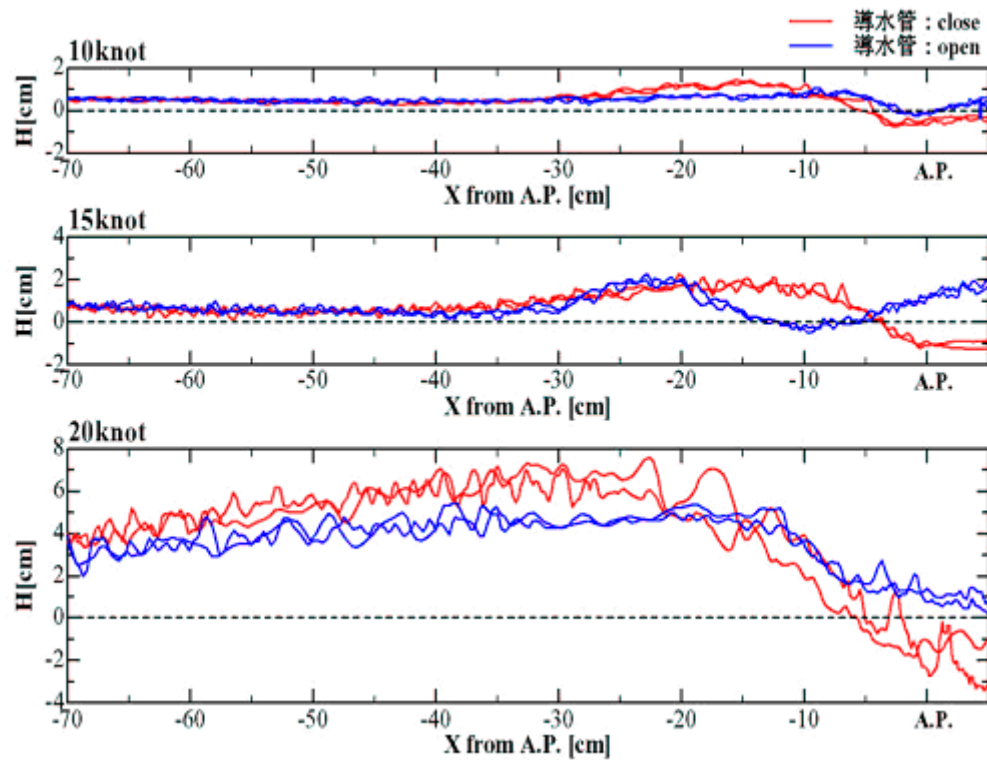
10ノット相当で実験中の写真を次に示す。結合した2台の台車の間から不等縮尺模型の船尾が見える。搭載艇の幅は母船と相似であるが長さは長目で相似ではない。白い2つの輝点は搭載艇の平面運動を計測するための発光ダイオードである。手に持ったラジコン装置で搭載艇のプロペラ回転数と前進・後進、舵の操作を行っている。導水管の取水口は開状態でドック内の水流も見える。



次図に船尾から後方の船体中心線上で計測した水面変位（平水中曳航、10, 15, 20 ノット）を示す。模型スケールなので2.5倍すれば実機相当になる。即ち70cmは実機で17.5mに相当する。水面変位2cmは0.5mに相当する。但し船尾流場は母船に対して完全には相似になっていない可能性もある。船首は右方に位置している。APより前方にもグラフがあるのはドック内でも測ったからである。1本のサーボ式波高計（非接触型、曳航台車支持）を前後にスライドしながら往復測っているので線が2本ずつある。細かい変動は無視して平均値で見ると水流効果が明白である。

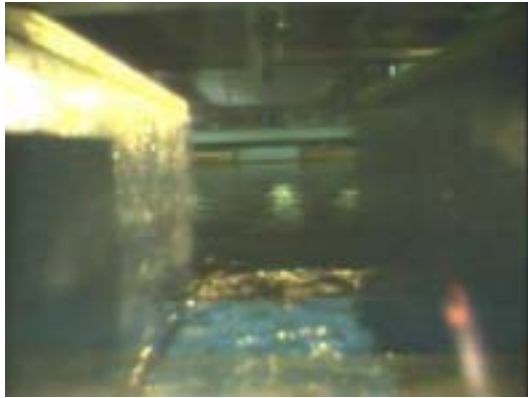
即ち導水管開（水流あり）でAP位置での水面低下がかなり緩和されている、また20ノットではかなり後方（実機で17.5m）まで水面の盛り上がりが抑制されていることがわかる。

なお20ノットでは船尾トリムも増大し、導水管閉ではドック内の水位も極端に下がるが水面変位計測値には船尾トリム影響も含まれている（空間固定座標系から見た水面位置）ので注意されたい。



船尾（右）から後方、船体中心線上の水面変位。上から10,15,20ノット。
非接触型波高計による連続計測（赤：導水管閉、青：導水管開）

これを写真で示す。次図は、15ノット相当における、導水管開（流水あり）、導水管閉（流水なし）でのドック内から船尾を見た写真である。導水管開（流水あり）では、船尾流場の変位が小さいことが見て取れる。



導水管開（流水あり）



導水管閉（流水なし）

（3）得られた成果

試験結果より、3.6.2節で述べた「期待される効果」が概略確認できたと考えられる。

但し取水口開の場合、

- ・最高速（20ノット）では、水流の変動が大きく（激流状態となる）整流する必要があること
- ・大波高（実機で3m）中でかつ最高速では、ドック内水流に波に応じた周期的変動が現れること

などの問題点もあった。

以上より、今回のシステムのままであれば15ノット程度まで、導水管式が使える可能性があるとの判断が得られた。

3. 7 母船船尾形状の改善設計

ストリップ法による運動計算、CFDによる流場計算、さらに第1回基礎試験を通じて、母船の船尾形状が波浪中運動や船尾流場に与える影響が確認された。

第1回基礎試験で採用された「船型改良案2」は船型差による影響を見出すために大幅な船型変更を行ったプロトタイプである。プロトタイプの特徴を以下に示す。

- (1) 船体中心線付近のトランサム没水度を極端に小さくしている。
- (2) 船尾部の水線面積を可能な範囲内で最大としている。

これによる効果・影響として実験にて確認された事実は以下の通りである。

- (1) 船尾端水位の大きな低下が抑えられ、船尾波の隆起が減少する。
- (2) 平水中での流場変動、波浪中での流場変動ともに大幅に減少する。
- (3) 船尾端付近での死水域がセンタースケグ直上の狭い範囲内に限定される。

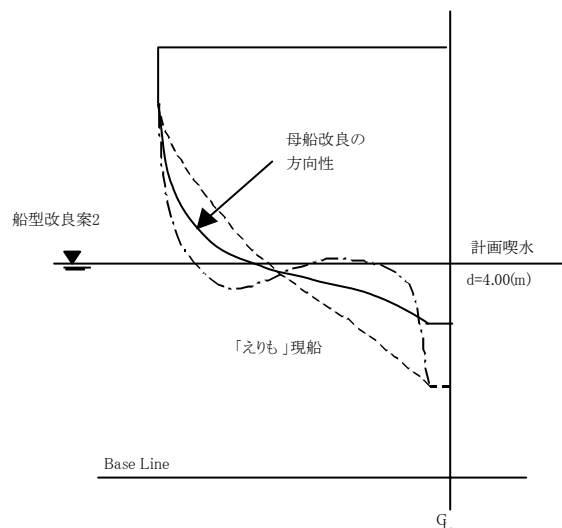
プロトタイプをもとに最終的な船尾形状を決定するに際しては、上述の特徴を踏まえた上で、主に以下の制約条件に配慮する必要がある。

- (1) 船尾降下揚収区画及び機器配置（船尾揚収支援装置以外の艀装品目を含む。）：巡視船は、冗長性を持たせるという観点から、通常、推進機には2舵2軸が採用される。従って、船尾形状の検討に際しては、船尾降下揚収区画の配置、形状に加えて舵機室などの機器配置を十分に検討する必要がある。
- (2) 停船時船尾波浪衝撃：巡視船は、停船時の業務が多いため、停船時に船底が受ける衝撃を緩和することに配慮する必要がある。
- (3) 抵抗特性：船尾形状変更による大幅な抵抗増加を防ぐ必要がある。

以上の考察より、実機改善設計の留意点としては、以下の4点が重要になると思われる。

- (1) 停船時波浪衝撃を緩和するため、船尾デッドライズをある程度設ける。
- (2) 機器配置、抵抗特性に配慮するため、トランサム端水線幅は現えりもと同等とする。
- (3) センタースケグ直上の死水域を整流する目的で、スケグ後端没水度を浅くする。
- (4) 結果としてスケグプロファイルを変更する。

具体的な改良の方向性を示す概念図を以下に示す。



これに加え、導水管式的设计留意点については、さらに以下のことが重要になると思われる。

(1) 船尾端没水度

船体中心線付近のトランサム没水度を小さくすることが船尾流場変動を小さくすることにつながるが、導水管式の場合、それに相反して、没水度を大きくする必要はある。

(2) 取水口位置・導水管経路

取水口と導水管経路について、効率性ととも、周辺艀装への影響を極小化できる最適位置を考慮して、設計する必要がある。

(3) 取水口蓋

降下揚収時以外は、取水口には蓋が必要となる。蓋は、船体抵抗への影響が小さく、かつ、波浪衝撃等による損傷を防ぐ十分な強度が必要となる。

(4) 流水中での固縛・解纜

ドック内に流水が発生することから、安全性にも十分考慮した、固縛・解纜作業を可能とする必要がある。

(5) 作業員の恐怖感

ドック内の流水に対して作業員が危険性を感じるか否かのヒアリング調査の実施が必要と考えられる。

(6) 停船／低速時の対策

停船／低速時は、インペラ等による強制導水を行わなければ、導水管式に期待される効果が得られにくいため、対策を検討する必要がある。

(7) 取水口による速力影響

船体から突出した取水口（蓋「閉」）による、航海速力への影響を評価する必要がある。

3. 8 船尾流場に関する数値解析の適用性の検討

第1回基礎試験で得られた2船型に対する平水中船尾波形計測結果と数値解析（CFD計算）結果の比較を行った結果、両者の間には波面最高点の位置のずれや定量的な差異はあるものの、「船型改良案2」は「えりも」に比べ船尾端から船尾波の最高点までの波傾斜が小さくなるという傾向は一致することが確認された。波傾斜の評価に限った定性的検討に関して言えば、本CFD計算手法の有効性が水槽試験によって確認されたと考えられる。

本CFD計算手法は、実海面での船尾揚収に伴う現象を検討することを想定し、耐航性検討に本来利用する特殊なCFD計算手法を採用している。これは粘性流体力を簡易的に扱ったナビエーストークス方程式を対象とし、船体運動自体は別途ストリップ法に基づいた理論計算にて解くもので、荒れた海面での大振幅動揺や砕波などの強非線形な問題に適した手法である。

従って、粘性影響に関しては簡略化した扱いとなっているため、粘性・渦による船尾波の変動を定量的に評価することは難しいが、一定の条件を把握した上で使用すれば、定性的評価に適用可能なことが今回の実験で判明した。

なお、次年度は船尾流場に関する波浪中CFD計算の適用性の評価を行うこととする。

3. 9 まとめ

- (1) 「えりも」、「みなべ」の現地調査をとおして、船尾ドック式、船尾スリップウェイ式それぞれの問題点並びに長所が把握できた。
- (2) CFD計算および運動計算が、船尾流場の変動、乱れを抑えた船型開発段階で有効なツールであることが確認できた。これによって、船型開発で、多くの模型を作成して実験する必要がなくなり、開発期間の短縮化、効率化が期待される。
- (3) 船尾流場の変動、乱れを抑えた船型とするためには、船尾端トランサム部の没水度が大きなパラメータであることが確認された。
- (4) ドライドック式、導水管式という、開発の方向性が確認された。
- (5) 次年度は、ドライドック式、導水管式的设计に必要なデータ収集のために水槽試験を実施し、設計を展開する。