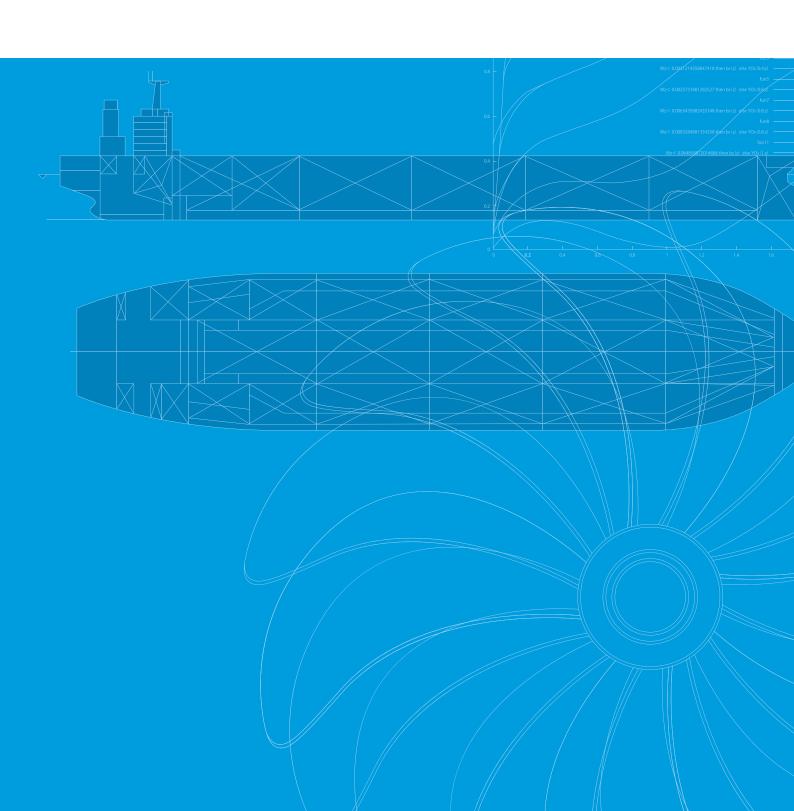
造船の最先端を見つめる技術情報誌

SRCNEWS



Shipbuilding Research Centre of Japan



SRCNEWS



Shipbuilding Research Centre of Japan

CONTENTS

	新潟市消防艇「にほんかい」代船について	3
	誰も知らないソマリランドのビックリ情報	6
SHID	JICA 課題別研修「船舶安全」 フォローアップ調査について	8
	船型改良業務の紹介	9
	造船設計ノート 高速艇の復原性と安定性(4)	-11
	次世代流体シミュレーション技術のご紹介	18
	造船業におけるレーザ·アークハイブリッド厚板溶接法に係る 共同研究について (その 7)(最終回)	21



当センターは東日本大震災復興キャンペーンを応援しています。

一般財団法人 日本造船技術センター

〒180-0003 東京都武蔵野市吉祥寺南町1丁目6番1号 吉祥寺スバルビル3階 TEL 0422-40-2820 FAX 0422-40-2827



新潟市消防艇 「にほんかい」 代船について



航走写真

1. まえがき

新潟市消防局に所属し、同局中央消防署礎出張所が運用する 消防艇「にほんかい」は、国際拠点港湾であるとともに、日本 海側で唯一「中核国際港湾」に指定されている新潟港及び河川 流域を含む同港付近沿岸域において発生が予想される、船舶火 災、陸上火災及び水難事故等に対応するために建造された消防 艇である。

また、本艇の建造時期が、新潟港開港 150 周年事業の実施 期間と重なっていたことから、デザインの決定に際して、多数 の市民から投票がある等、本艇に対する市民の関心は非常に高 く、市民の安全、安心を守る要として、今後の活躍が大いに期 待されている。

2. 基本設計及び工程

基本設計及び建造監理 (一財)日本造船技術センター 建造 東和造船株式会社 起工 平成 30 年 4 月 13 日 進水 平成 30 年 11 月 12 日 竣工 平成 30 年 12 月 5 日

3. 本船の基本コンセプト

建造に当たっては、以下の 5 項目の業務を遂行するに十分な 性能及び装備を有する消防艇として計画した。

- (1) 海上における船舶火災、沿岸危険物施設及び建造物等の火災に対する消防活動。
- (2) 海上及び河川における迅速な救急救助活動。
- (3) 沿岸部における陸上火災の消火活動にあたる消防車両等への大量送水。
- (4) 災害時等の物資輸送。
- (5) 流出油等の海面処理活動。

上記項目を満足させるため、全耐食性アルミニウム合金製 単胴 V 型船型の船体に高速ディーゼル機関 2 基 + ウォーター ジェット推進装置 2 基を搭載し、船体中央部に電動油圧による

起倒式門型マストを装備することとした。

また、本艇は新潟港周辺における対応のみならず、緊急消防 援助隊への派遣要請を受けた際には、迅速に日本全国へ展開で きるよう、限定沿海に加え、沿岸小型船の航行区域を取得する ものとした。

4. 本船の概要

(1) 一般配置

一般配置は、上甲板下に前部から船首倉庫、隊員室、機関室 の3区画を設けた。機関室には、前方から泡原液タンク、主 配電盤、発電機、主機駆動消防ポンプ、主機関及びウォーター ジェット推進装置を配置した。上甲板には前部に操舵室が一体 となった甲板室を設け、甲板上に小型救助艇とダビットを搭載 した。また、消防関連装置としては、船首甲板上に放水砲2基 を設置した他、上甲板中央部付近に、救難吸水装置と放水集合 管を設置した。

(2) 主要目等

① 船質及び航行区域

船質 耐食性アルミニウム合金 航行区域 限定沿海及び沿岸小型船舶 船型 単胴Ⅴ型 救命設備 JG·第 4 種船

② 主要寸法等

長さ(全長) 19.90m 登録長 5.93m 幅 (型) 4.16m 深さ(型) 2.00m 計画満載喫水 1.00m 総トン数 19 トン

③ 速力及び航続時間

巡航 25.0 ノット以上 常備状態速力 最大 33.0 ノット 試運転状態速力 85% 出力 約8時間 航続時間

④ 最大搭載人員 船員 5人

その他(旅客) 12人

⑤ 主機関及び補機関

主機関 4 サイクル V 型高速ディーゼル × 2 基

MTU8V2000M72

連続最大出力 720kW × 2,250min⁻¹

発電機 連続定格 18.2kW (22.75kVA)

防音箱入 ONAN21.5MDKDR × 1 基

⑥ 推進器 ウォータージェット推進装置 × 2 基

Hamilton HM521

⑦ 逆転減速機 遊星歯車式 2 段減速 × 2 基 7F550-1TS

⑧ 消防救難装置

消防ポンプ (単段渦巻ポンプ) × 2 台

5,000 ℓ /min × 140m

放水砲(泡水兼用)

電動遠隔操作型(5,000 l/min) × 2 基

自動可変流量ノズル付 モンスーン RC型

流量範囲 1,100~7,500 ℓ/min

放水集合管(可動式) × 2 組

可動範囲 内側 20 度、外側 90 度

φ 65×5個/組

φ 150 × 1 個 (陸上送水用) / 組

救難用吸水装置

φ 90 × 2個

白衛噴霧装置

120 ℓ /min × 7 基

泡原液タンク (SUS316L 製)

1,500ℓ × 1 個

(3) 主要装備

① ジョイスティック操船装置 × 1 式

② 小型救助艇(複合型) ×1隻

長さ 3.9m

18.4kW×1基 船外機

定員 5名

航行区域:

沿海区域(ただし、母船から半径5海里以内)

可搬型小型船舶

③ 電動ウインチ付ダビット × 1 基

> アーム長 1.8m 最大吊荷重 300kg

④ 油処理剤散布装置 × 1 式

散布管長 4,045㎜(取外し式)

⑤ マルチビームソナー × 1 式

表示モード:マルチビーム、サイドスキャン、断面等

5. 本船の特徴

(1) 操船性能(ジョイスティック操船装置)

速力向上と河川を含めた浅海域での行動を両立するために、 ウォータージェット推進装置を採用し、オプションのジョイス ティック操船装置(以下ジョイスティックと表記する。)を装備 した。先代がオメガクラッチと固定ピッチプロペラに舵の組合 せであったのに比べ、ウォータージェットをジョイスティック によって操作する本船では、前後進の他、横移動及び回頭も片 手の操作で可能になり、消火活動時の船位保持を含めて低速域 での操船性能が著しく向上した。

(2) 逆転減速機

消火活動時には対水速力がほとんどなくなるため、ウォータージェットインレットダクト内への海水流量が減少し、キャビテーションが発生する可能性があった。

そのため、消防モード時にインペラの回転数を下げる目的で、 2 段減速仕様の逆転減速機を採用した。

今回採用した ZF 製逆転減速機は、減速機構に遊星歯車を使用しているため、消防モードに移行する際にクラッチを切る必要がなく、スムーズに消火活動に移行することが可能となった。

(3) 放水能力

主機関により駆動 する5,000 l/minの 消防ポンプ2台を装 備しているが、放水 砲を1,100~7,500 l/ minの自動可変流量



型2基装備としたため、大放水量が必要な場合には放水砲 1基+消防ポンプ2台の運転により、7,500 & /min の放水を 可能とした。

なお、海上試運転において電磁流量計によりポンプの吐出量を計測した結果、ポンプ 1 台当たりの吐出量は $7,500 \, \ell$ /minであった。

(4) 陸上送水能力

消防に関する装備 の中で、もう一つの 大きな特徴が陸上へ の送水能力である。

これは、新潟市消防局が保有する海水利用型消防水利シス



放水集合管

テムを構成するコンテナ式ホース延長車と連携して、陸上約1,800mまで大量の海水を送水するもので、放水集合管端部に150mmストルツ金具を設け、150mm大口径ホースを接続して使用する。





(5) 起倒式マスト

新潟市内には一級河川の信濃川が流れており、河口に設けられた新潟港から上流にかけて萬代橋をはじめ多数の橋梁が架けられている。



そのため、上流域での火災及び水難事故へ対応するには、これら橋梁の下を航過できる構造が必要とされたことにより、船体中央部に電動油圧による可倒式マストを装備して、全高を満載喫水線上3.5m以内とした。



萬代橋航過試験

6. あとがき

本艇の基本設計、建造監理を進めるにあたり、船主である新 潟市防局殿には終始適切なご指導ご支援を戴きました。また、 建造に当られた東和造船株式会社殿はじめ、関係メーカー各位 には高度な造船技術を持って本船建造に尽力されました。厚く 御礼申し上げます。

(海洋技術部 小川 明彦)



誰も知らない ソマリランドのビックリ情報

1. レベル 4 の国

寒さ厳しい2月下旬、通勤途中の新宿駅でバッ タリと知人の農業コンサルタントに出くわせまし た。聞くと事も無げに「今日はイラク案件の会議 に呼ばれている。多分現地入りは3月中かな」。 海外コンサル稼業は、顧客の要望に応じ、原則ど の国にも行きますが、中には「危ない国」に分類 される国も。で、今回ご紹介するのはソマリア のソマリランドです。

ソマリアといえば、血で血を洗う内戦国とい うイメージで、事実外務省の海外安全情報を見 ると、国全土がレベル 4 「退避勧告 | を示し真っ 赤。連邦共和国ですが、目下①連邦共和国政府 のある南部、②北東部のプントランド (1998年 7月自治宣言)、③北西部のソマリランド(1991 年独立宣言)を構成し、民族的には同じソマリ 族ですが、多くの氏族間で抗争が絶えません。

こうした中、先年ソマリランド海事関係者が研修来日した際、 「ぜひ実態を見てくれ」というので2015年11月に2泊3日で 同国を訪れました。

ジブチとハルゲイサ間にはダーロ航空とジュッバ航空が週2 便ずつ運航。午前9時ジブチ発なので余裕を見込んで6時に着 くと既にカウンター閉鎖。慌てて職員に聞くと6時15分が搭 乗時間なので「もう遅い」とのこと。必死で頼み込み何とか手続 を済ませました。ちなみにダーロは世界 448 社で安全評価ワー スト 10。 古びた BAE-146 型機を見たら思わず緊張しました。

2. 快適な首都と灼熱の港町

灼熱のジブチから 45 分で海抜 1260m のハルゲイサ着。入



ジブチ国際空港前の実機モニュメント



ダーロ航空の搭乗券



港湾局の公用車



第二次大戦中に伊軍侵攻時に戦死した地元兵士 を祈念し英国がベルベラ郊外に建てた石碑

国手続時、研修員がメールで送ってきたビザを見せ入国税 60 米ドルを払うとスンナリ通過。外に出ると爽やかな風が吹きわ たり快適です。

研修員と合流・打合せ後、その日はホテルで投宿。翌朝5時 半に港湾局の車で出発、約 200km 離れたベルベラ港に向かい ました。後部座席にはカービン銃を携えたガードマン。警護付 きでないと外国人は市外に出られない決まりです。

途中町らしい町もなく、しかし至る所に検問がある国道 1 号 線をひたすら3時間ほど走るとベルベラ港に到着。

最初は漁港視察。日本の寿司チェーン社長も注目のソマリア 沖マグロですが、刺し網を使った船外機付 FRP ボートでの日帰 り沿岸漁業が主体。沖合で1泊操業できるよう屋根付キャビン で船内機付の漁船の普及が漁業振興に不可欠で、密漁取締りの



ベルベラ漁港の漁船。FRP 船はモガディシュで建造



海事漁業アカデミーの大講堂



港湾局のある建物

ための監視艇も漁場の拡大に 応じて必要だとか。ちなみに アデン湾での海賊行為は隣の プントランドの仕業で、法治 〝国家〟のソマリランドではあ りません。

次に海事漁業アカデミーを 訪ねると、操船訓練用簡易シ ミュレーター整備の支援要請 がありました。

最後にベルベラ港湾局を訪れ、局長から開口一番「虎の子の1500HPタグボートが船齢30年を超え代替船導入が急務だ」として、同港の紹介。それによると同港は後背地エチオピア向けコンテナ取扱量が2015年に年間5万TEUと急増中で、一般貨物も年間約120万トンを推移。



老体に鞭打ち稼働中のタグ



ドラム缶デッキ山積みでガソリン等を 対岸のイエメンに運ぶダウ船



コンテナから小分けして雑貨を運ぶ 大型トラックはほぼ全て日本製

輸入品は、雑貨、砂糖・コメ、小麦粉、パスタ・食用油、建設資材、燃料、中古自動車・部品、衣類など。一方、輸出では家畜輸出が主体で対岸のサウジ、オマーン、イエメン向けに羊を主体にヤギやラクダなど年間 400 万頭を出荷。他に皮革、スクラップ、カート (嗜好用噛み草)等が輸出品目です。

局長は、ハルゲイサを結ぶ国道 1 号は内陸への大動脈であり、 同港からアジスアベバは 915kmでジブチ港より 20km短く、エ チオピア向け貨物の 3 割までカバーできる可能性があると力説。

3. 先進と後進が交雑する実態

ソマリランドは 独自の政府、通貨、 司法機能を有する 独立国を自ら標榜 していますが、未 だに国際的には承 認されていません。 ソマリアの一部な



支払いは全て端末処理

のに、確かに治安に問題はなく、電子マネーの普及は世界最先端のレベルにあります。街中で現金を見かけることはなく、食事や買い物もことごとく携帯電話で決済をしています。

驚いたことに街中を走っている車は 9 割 5 分が日本の中古車で、しかもその大半はトヨタ車。現地人らが曰く「ソマリランドは、トヨタ、ランド。ぜひ日本で伝えてくれ」。ベルベラ港か

ら貨物をエチオピアまで運搬する大型トラックも殆ど日本製中 古で、なぜか日産 UD が圧倒的です。

4. 背中合わせの危機と安全

2泊後ジブチに戻るべく、朝9時発のダーロ航空(D3)159便に搭乗手続。アナウンスのない待合室で待つこと小1時間。大勢の乗客に交じって中古のエアバスA321に乗り離陸。ところが1時間過ぎても着陸する気配がありません。不安になり隣の客に聞くと「モガディシュに行く」。えーっと仰天し、映画ブラックホーク・ダウンのシーンが脳裏をよぎりました。モガディシュ空港に着陸間際、「ジブチ行きの客は機内に留まるように」とアナウンスがありやっと安堵しました。

その後1時間ほどして今度こそジブチに向かいました。結局直行便なら45分のところ三角形の2辺を6時間余りかかり、無事到着は午後4時過ぎでした。

その3か月後、2016年2月2日に驚きの海外ニュースが入りました。ダーロ航空のD3159便がモガディシュ空港離陸20分後に爆発し、機体右側に直径1mほどの穴が開き、乗客1名が吸い出され、緊急に引き返し、他の乗員乗客は幸い無事とのこと。





ジブチ行きのダーロ航空エアバス機

機内の様子







爆発した機体の様子

5. その後の経緯

やがてこの爆発は自爆テロで、穴の場所は 15K と 16K の窓 側座席だと判明。同じエアバスに乗った時の筆者の席は「16J」。 3 か月後に自爆テロ犯が筆者のすぐ隣の席に座ったとは・・・。

その後ベルベラ港は、ドバイの DP ワールドが 2016 年に出資、30 年間のコンセッションでコンテナターミナルの建設計画が動き出しました。併せて、老朽タグボートも 2018 年 8 月に DP ワールドにより新型に代替。国際社会の承認に向け加速すればいずれ再訪したいものです。

(海外協力部 小川)



JICA 課題別研修「船舶安全」 フォローアップ調査について

当センターでは、我が国が実施する政府開発援助(ODA)の 一環として、発展途上国における船舶の安全(環境関連を含む) 検査に関わる人的育成を支援するため、独立行政法人国際協力 機構(JICA) から 「船舶安全 Ship Safety | 研修コースの実施を 委託され、2000年から2018年まで、第1期~第5期コース を実施してきました。2019年度からは、新たに3年間、第6 期コースの開講が予定されており、これまで、ご協力頂いた関 係の皆様に改めて感謝申し上げますと共に、引続き、宜しくお 願い致します。

この度、JICA 横浜では、3月3日から3月15日まで、本コー スのフォローアップ調査を実施するため、国土交通省と当セン ターからも調査団に加わり、フィリピン、トンガとフィジーを 訪問しました(国土交通省からはフィリピンのみ訪問)。

本調査の目的は、現地における元研修員とのインタビューや 現場視察を通して、現地の具体的状況・ニーズを直接把握し、 今後のコース設計に反映させることにあります。調査対象国は、 研修員の派遣実績と我が国の ODA 計画等を勘案のうえ決定さ れました。

最初の訪問国フィリピンは、ほぼ毎年、海事産業庁 (MARINA) とフィリピンコーストガード (PCG) から、各 1 名の研修員を 派遣しており、今回はマニラとセブを訪問しました。

MARINA は、IMO 関連の国際海事条約を担当する政府機関 ですが、MARPOL 条約附属書VI (大気汚染関連)を初め、次々 に発効する国際条約への対応が遅れ、この組織の抱える懸案 事項として、各研修員の作成するアクションプラン(AP:各研 修員が研修中に修得した知見をもとに帰国後の実施を企画す るもの) にも掲載されていました。この度、元研修員へのイン タビューを通じ、MARINAでは、昨年、上記条約に加え、バ ラスト水管理条約等の批准を実現したものの、現在、それぞれ の部署において、条約の確実な実施のため、関係法令等の整 備が次なる課題として山積されていることが確認されました。

また、本コースでは、「内航船舶の安全」も重要なテーマと して取組んでいるところ、同国における内航船の安全規則は、 1997年に制定されて以来手つかずとなっており、研修員の AP にも改正の必要性が掲載されていました。しかしながら、この 改正作業も、現在、最終段階にあり、今年中に、"Philippine Ship Safety Rules & Regulations"として発効する見込みとのことです。

一方、PCG においては、昨年、ポートステートコントロー

ル (PSC: 寄港国による外国船舶の検査及び監督) の専門組織が 全国 13 地域に創設され、マニラにその中央機関として "Port State Control, Central (PSCC)"が設置されました。PSCCは、 全国の PSC 検査官の教育訓練を実施しており、その初代責任者 に就任した元研修員によると、日本の教育訓練制度が参考にさ れたとのことでした。

次の訪問国トンガでは、研修員派遣元の "Ministry of Infrastructure", "Friendly Island Shipping Agency (FISA: 国営船 社)"および元研修員が CEO(最高経営責任者)を務める "Ministry of Public Enterprises (公共事業省)"等を訪問しました。



フィリピンコーストガードと調査団の面々

FISA 訪問時、同社の上級船員が講師となり、船員の救命・消 防訓練が実施されていました。同社は今年からトンガ国の船員 教育機関の運営も担務しており、将来的にはトンガを外航船員 の一大供給国に育てたいとの話でした。

最後の訪問地、フィジーは一夜のみ (トランジット) の滞在 でしたが、元研修員との再会を果たし近況を確認することが出 来ました。

今回のフォローアップ調査により、本研修受講者の帰国後の 社会的貢献、又、彼らを取り巻く現地の状況を直接把握し、本 研修の有意性と研修員の受入継続を強く望む生の声を聞くこと が出来ました。

末筆ながら、この度のフォローアップ調査に関連して、ご対 応頂いた国土交通省及び JICA、他の全ての関係先の皆様に御礼 申し上げますとともに、本研修を受講された各研修員の更なる ご活躍を期待して筆をおきます。

(研修·技術支援室 能田 卓二)



船型改良業務の紹介

1. まえがき

当センターでは、永年蓄積してきた船型試験の経験を造船業界に還元するため、独自に開発した船型初期設計システムである SRC Tips (Tools for Initial Planning System) や CFD 等の研究成果を利用した船型開発業務 ¹⁾ を総合コンサルティング事業室 (総コン室) を窓口にして行っております。

ここでは、主力業務である水槽試験を利用した船型改良業務の一連の流れを事例を用いて紹介していきます。

2. 船型開発に用いる手法

船型改良では主に、SRC Tips と海上技術安全研究所により 開発された RANS 法による CFD ソルバー (NEPTUNE、SURF、 NAGISA) を使用しています。

SRC Tips で船型改良に主に使うのは、Sp (Ship Performance) および Op (Optimize) という二つのツールです。

Sp はニューラルネットワークを使用して船体パラメータと推進性能の関係を結び付けたツールで、主要目、 C_P 、 C_W カーブなどのパラメータを利用して、精度よくかつ効率的に船舶の推進性能を推定することが可能です。

Op は Sp で使用されている性能推定法を用い、遺伝的アルゴリズムにより馬力が最小となるように船型パラメータを最適化するツールです。

CFD の利用については、豊富な水槽試験結果とソルバーの計算結果を比較した経験から、標準的な格子分割法、計算手法を定め、それに基づいて計算された結果と水槽試験結果の相関関係を用いて、より正確に推進性能を推定できるシステムを構築しています。

3. 船型改良

3.1 船型改良の流れ

SRC Tips 及び CFD ソルバーを利用した船型改良の流れを Fig.1 に示します。この図の中で破線枠の部分が SRC Tips と CFD を表します。

SRC における船型改良では、初期計画での推進性能を Sp で推定し、Op で最適化を行いながら最適な C_P 、 C_W カーブを検討していきます。その後、最適な C_P 、 C_W カーブに沿う線図を作成します。

その後、作成した線図の性能を CFD により推定します。 CFD 計算により得られる推進性能と配置、その他の制限条件等 を確認しながら後述のような線図の変更と CFD 計算を複数回 繰り返し、最良の船型を決定します。

決定した船型で水槽試験を行い、実船での性能を推定し、要求性能を満たしているかを確認するとともに、EEDIを計算するための必要データを得ます。

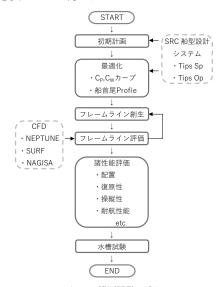


Fig.1 船型開発の流れ

3.2 初期計画

依頼者より、Type Ship となる船型(以下、原船型と記す)の情報(主要目、GA、線図、現状性能等)を入手し、同時に開発船型の制約条件、目標性能等をご提供いただきます。

今回ご紹介する原船型の主要目比等を Fig.2 に示します。本船型は中程度の肥大度を持つ船型です。

L/B	約 5.5		
B/d	約 3.2		
DW	約 48,000ton		
設計 FN	約 0.175		

Fig.2 概略主要目

原船型の主要目より、Sp で推定計算を行い、概略の馬力推定を行います(Fig.3)。この結果得られた計画速力における制動馬力を計画主機出力で除算した値は 1.03 となりました。

この場合、原船型では推定値が 1.0 を超えており、普通の船型設計では計画速力の達成が難しく、計画速力の達成には 3%程度の馬力低減が必要であることが分かります。

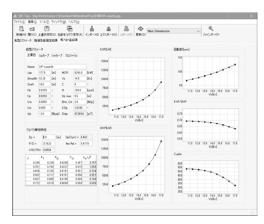


Fig.3 Tips Sp による馬力推定

3.3 最適化と船型設計

以上の結果を受け、船型改良を CpCw カーブの最適化、フレー ムラインの改良の順で行います。

原船型より Op で最適化を行います。原船型の主要目と Op での標準 C_pカーブを基準として、C_p、C_wカーブのパラメータ および船首尾プロファイルのパラメータの探索範囲を指定し、 最適化を開始します。

最適化の途中経過を Fig.4 に示します。ここでは C_B 、 C_W を 一定として、Icg は自由となるような制約条件の下で BHP の最 適化を行っています。図では遺伝的アルゴリズムを用いて初期 世代を変更した50世代の最適化を10回繰り返す際の途中経 過が示されています。右側の3つの散布図は、上からC_g、C_w、 I_{CB}と馬力の関係をそれぞれ示しています。個々の点はそれぞれ の世代での最適な個体を表しており、クリックして選択するこ とにより、対応した C_p カーブが左下の図に表示されます。

制動馬力の最適化を行っているため、C。一定の制約条件を課 しているにもかかわらず、制動馬力を小さくするために C_B が 小さくなってしまった個体もありますが、この中から C_B、I_{CB} が適切な範囲内にあり、かつ制動馬力が小さい個体を選択する 事が出来ます。

遺伝的アルゴリズムによって最適化されたC_pカーブの中か ら、採用する C₂カーブを決定します。

C_pカーブの決定後、同様の方法で C_wカーブの最適化も行い、 制動馬力が最小となる C_P,C_W カーブを決めます。

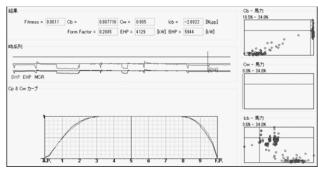


Fig.4 Tips Op による Cp カーブの最適化

3.4 最適船型の線図作成

原船型と3.3で決定した最適C₂カーブよりラフラインを作 成し、最適Cwカーブを目標にしながら線図を作成します。

3.5 線図評価

CFD を用いて線図の評価を行います。CFD 計算結果より得 られる推進性能(抵抗係数、自航要素、制動馬力)と、同時に 得られる船体表面圧力や船尾限界流線などの流場情報を参考 に、船型改良のポイントと方向を把握します。それに基づいて 船型変更を進め、再度 CFD 計算を行います。この過程を数回 繰り返し、目標性能を達成する船型を作成します。

3.6 水槽試験

3.5 で得られた船 型を依頼者殿に提供 し、機関室、Tank や Holdの配置、容積 等をチェックいただ き、必要があれば 3.5 に戻り、調整のうえ で最終船型を決定

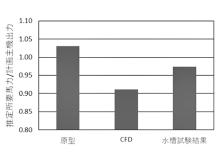


Fig.5 馬力推定結果

し、水槽試験を行います。

原船型と CFD 計算の馬力推定結果を Fig.5 に示します。 Fig.5 には水槽試験結果より得られた制動馬力も併せて示してい ます。図を見ても分かるように、計画速力における水槽試験供 試船型の制動馬力は、原船型より 6% 低減されています。また 計画主機出力での速力は計画値に対し +0.1kt を達成しました。

4. 付加物による推進性能改善

船型改良による推進性能の改善と合わせて、付加物の提案も 行っています 2)。主な付加物としては舵バルブ (舵のプロペラ シャフトセンターラインの延長線上、またはその付近にバル ブを取付ける)と船尾水平フィン(プロペラに流入する流れを 改善して推進性能を改善させることを目的とした細長平板状の フィン)等があり、いずれも2~3%の性能改善効果があります。

5. まとめ

SRC で行っている船型改良業務を紹介しました。今回は平水 中での船型改良を紹介しましたが、今後は波浪中性能の改善な ども取り入れ、より実海域での運航条件に近い状態での船型改 良を進めていきたいと考えています。

参考文献

- 1) SRC ニュース No.103, 2018/12
- 2) SRC ニュース No.91, 2012/12

(試験センター技術部計測課 橋本 尚樹)



造船設計ノート 高速艇の復原性と安定性(4)

はじめに

これまでこのノートで高速艇の復原性と安定性を例に挙げて、ルールや規則通りには理解できない現象が生じることについて紹介してきた。私が後に続く若手に言いたいのは、目前の業務に追われるばかりでなくその業務を俯瞰して世の中のニーズをキャッチしてその本質に触れることを常に心がけてもらいたいということである。そうすることで疑問や問題が見えてくるし、次のステップとしてやるべきことが見えてくると思うのである。須らく自己の持つポテンシャル以上の風景は想像できても見ることができないが、それ以下はその程度を含め手に取るように見えるのである。外国人と接する機会が増えたこの頃では人に接する時にもいつもこのことを自覚して教養を深めてリテラシーを磨き、あらゆる面で自己のポテンシャルのチェックをしておきたいものである。

船舶の設計の本質は、世の中のあらゆる技術や製品を駆使して社会のニーズに応えることのできるシステムをまとめ上げることに尽きるといってもいいかと思う。そのためには常に世の中の情報に敏感でなければならない。

本稿において「はじめに」が長すぎるという声も聞くので、 今回は航送時の不安定性を生じるメカニズムについて考えるこ とにして一区切りとしたい。

前回では高速航行時の横安定性に着目し、高速艇として代表的なハードチャインを有するモノハル型の船型をモデルとして水槽試験によって横不安定が生じる条件を探り、モデル船型に対する実験的検証データを得た上での検証について紹介した。しかし、発生メカニズムについては、まだ不明な点が多く、実際の設計に際して汎用的に船体形状との相関についてもまだ検討すべき余地が多く残されている。今回は、前回までに紹介したデータを基にして、船底に作用する動的圧力に着目し、横不安定現象の発生メカニズムを解明するため理論計算による検討を試みてみよう。その結果に基づいて、設計段階において高速航行時の横安定性についてどう対処すればいいのか、判定方法などを探り、さらには不安定現象が予測される船型に対して船型の改良設計法を考えてみることにする。

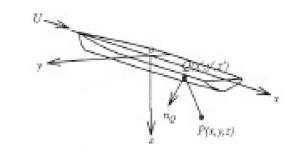
1. 理論計算による検討基礎式と数値計算について

ここでは、モノハル型の半滑走型高速艇を対象として、船底に作用する動的圧力に着目し、理論計算によって横不安定現象の発生メカニズムを解明することを試みる。半滑走型高速艇の場合、滑走艇を対象とした理論や薄い船の理論は適用が困難であるから、ここでは、幅も喫水も共に長さに比べて小さいと考えてNeumann-Kelvin近似の関連性に基礎をおいた丸尾による細長船の理論[1][2]を適用することにする。この理論の利点は、未知数を求める際に、考える断面より後方の影響を考慮せずに済むことである。また、横不安定現象は、ヒールおよびヨーイング運動に加えて、船速変化による浮上量およびトリム角の変化を含む時々刻々と姿勢が変化する現象であるが、それらすべてを数値計算によって考慮するのは非常に難しい。

そこで、船速、浮上量、トリム角およびヒール角を一定とする条件の下で問題を扱うことにする。まず、船速に対する浮上量、トリム角および境界条件を満たす吹き出しを求め、その速度ポテンシャルから船体表面上の動的圧力、ヒールモーメントおよびヨーイングモーメントを計算する。さらに、船速およびヒール角に対する流体力の傾向を検討し、横不安定現象にいたるメカニズムを解明する。実際の計算を実施するに際してはこの理論に従って計算手法が展開された報告[3]があるのでこの手法を基本的に適用して計算することにする[4][5]。但し、本稿は設計ノートであるので計算手法の詳細は省く。

2. 数値計算例および考察

上記の方法によって、航走時の浮上量、重心まわりのトリム角およびヒール角を一定とする条件のもとで数値計算を行う。また、浮上量、トリム角等について模型試験の計測値がある場合は、それらをそのまま使うことにする。流体力の計算においては、一旦静水面下の圧力分布を求めた後、船側波形の変化によって水面上に出た部分の圧力を除いている。静水面より上の浸水部およびスプレーの影響および航走時の姿勢のバランスは考慮していない。また、数値計算においては、船体の分割を長さ方向に120等分、横断面の外周にそって40等分している。なお、本計算で対象とした高速船の主要目と船型は前回までのこのノートで使用した母船型と同一である。座標系および、各力およびモーメントの正方向をFig.1に示す。



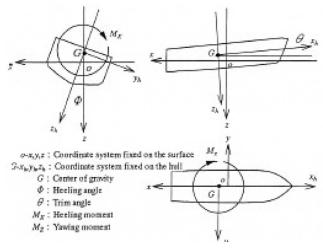
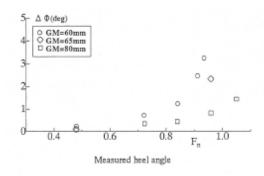


Fig.1 座標系と各部モーメント

ここでは、前回述べた水槽試験結果をもとに、可能な限り同 じ条件で計算を行ない、両者を比較し船底圧力の及ぼす影響を 調べてみる。ただし、ここでの GM の値は模型試験において著 しい横不安定現象が起こった時のものである。

まず、船速の変化が横安定性に及ぼす影響を調べるため、ヒー ル角変化の実験結果とヒールモーメントの計算結果を Fig.2 に 示す。



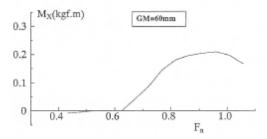


Fig.2 計測されたヒール角と計算値

実験は、スウェイおよびヨーのみを拘束して、船速に対す るヒール角変化を計測したものである。ヒール角変化は船速 の増加にともなって大きくなり、Fn=0.6付近から急増してい る。実験と比較する計算は、船速変化にともなう姿勢変化を考 慮して、ここでは、模型試験で得られた速力に対応するトリム 角と船体の浮上量の値を用いて行っている。但し、ヒール角は $\Phi=4$ deg. とした。

計算によるヒールモーメントは、船速の増加にともなって増 加する傾向にあり、Fn=0.6付近を越えるとヒールを増す向き にヒールモーメントが作用することがわかった。これら実験と 計算の結果は、姿勢の条件が異なるため直接比較することはで きないが、数値計算によるヒールモーメントは船速とともに増 加しており、この傾向は、実験のヒール角変化の増加に対応す るものと考えることができる。Fig.3、Fig.4 に Fn=0.43 およ び Fn=0.96 の船底における動的圧力分布を示す。

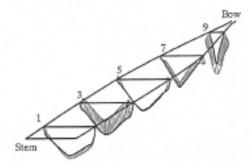


Fig.3 船底圧力の分布 (Fn=0.43, ϕ =4)

横断面 S.S.1、3、5、7、9 における船底の動的圧力の法線成 分を高さで表している。Fn=0.43 の場合、船長方向に比較的 短いスパンで正と負の動的圧力が混在していることがわかる。 それらが互いに打ち消しあっているために、全体として大きな ヒールモーメントは作用しないものと考えられる。

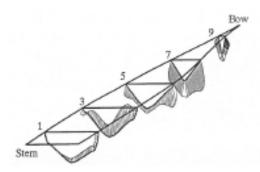


Fig.4 船底圧力の分布 (Fn=0.96, ϕ =4)

Fn=0.96 の場合、船体前半部で主に正の動的圧力が右舷側 に偏り、船体中央部から後半部にかけて負の動的圧力がやや右 舷側に偏って作用していることがわかる。このように高速時に は、動的圧力分布が前後で偏っていることと高速船の船型が船 体前方で比較的大きなデッドライズ角を持ち、船体後方で比較 的小さなデッドライズ角を持つことを考えると、重心が高い場

合には、全体としてヒールモーメントの絶対値も大きくなりやすいものと考えられる。さらに、船速が大きいため流体力としては大きな影響を及ぼしていると思われる。

次に、右舷へのヒール角の変化が復原性に及ぼす影響を調べるため、Fn=0.96 と Fn=0.72 におけるヒール角に対するヒールモーメントの実験と計算の結果を Fig.5 に示す。

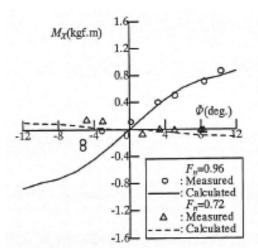


Fig.5 ヒールモーメントの計測値との比較

計算結果は、実験結果と比較すると、良い一致を示しており、 ヒール角 Φ の増加にともないヒールモーメントが増加してお り、ヒール角をさらに増加させて転覆に至る方向のモーメント が生じる傾向を把握できることがわかった。

従って、高速域では、いったん傾くと、さらにヒール角を増す向きに動的圧力分布が変化し、より横不安定な状態へ移りやすいものと考えられる。

Fig. 6、Fig. 7 に右舷へのヒール角 Φ が 0 deg. および 12 deg. での動的圧力分布を示す。 Φ =0 deg. の場合、主に船体前部で正の動的圧力、船体後部で負の動的圧力が作用しており、水面近くで動的圧力の絶対値が大きいことがわかる。 Φ =12 deg. の場合、船体前部で正の動的圧力が右舷側に、船体後部で負の動的圧力が右舷側に偏っていることがわかった。

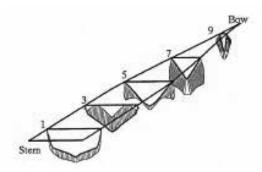


Fig.6 船底圧力の分布 (Fn=0.96, ϕ =0)

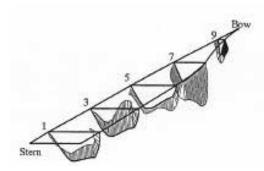


Fig.7 船底圧力の分布 (Fn=0.43, φ = 12)

続いて、同様な条件で、ヒール角の変化がヨーイング運動に 及ぼす影響を調べるため、ヒール角に対するヨーイングモーメ ントの実験と計算した結果を Fig.8 に示す。計算結果は、実験 結果と若干の開きがみられるが、右ヒールに対して、左ヨーイ ングモーメントが生じることが示されている。

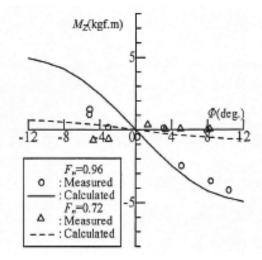


Fig.8 ヨーイングモーメントの計測値との比較

さらに、船体形状と横安定性の相関を調べるために、排水量を一定のまま船体後部形状を変化させた場合の影響について検討する。Fig.9の左図に、Original(供試模型船)、Type A、Type Bの3つの船型の船体中央部および船尾部断面形状を示す。Type Aおよび Type Bの水線面積係数 Cwは Original と等しくしてある。Type Aは、船体中央部から船尾部まで船底面の捻れ(warp)を小さくした船型であり、Type Bは、船体中央部から船尾部まで船底面の捻れを大きくした船型である。船底面の捻れは、キールの高さを船尾へ向かうにつれて高くするとともに、チャインの高さを船尾へ向かうにつれて低くすることによってつけている。

参考として、同じく Fig.9 右図に船底面の捻れの有無による船底形状の相違を図示している。これらの船型について、Fn=0.96 におけるヒール角に対するヒールモーメント Mx とヨーイングモーメント Mz の計算結果を Fig.10 左図に示す。実

線、一点鎖線および破線は、それぞれ Original、Type A および Type Bを表している。Mx については、捻れのある Type Bの方が、 捻れのない Type A よりも大きな値となる。つまり、捻れのあ る船型のほうが横不安定であることがわかる。Mzについては、 船型による違いはわずかである。

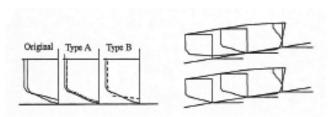


Fig.9 Type A,B の中央 & 船尾断面の比較および捩じれの有無

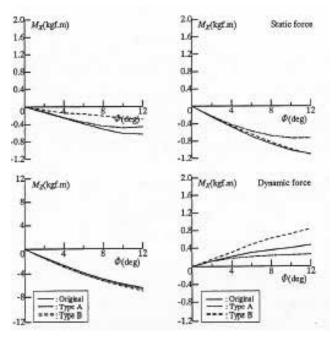


Fig.10 Type A,B ヒールモーメントとヨーイングモーメント (左図) Mx に寄与する静圧および動圧による成分 (右図)

さらに、この船体形状の変化が Mx に及ぼす影響を調べるた め、Mx に寄与する静圧および動圧による成分を Fig.10 右図に 示す。静圧の影響に関しては、捻れのある Type B の方が、捻 れのない Type A よりも安定側(負)の傾向を示していることが わかる。しかしながら、動圧の影響に関しては、捻れのある Type Bの方が、大きな Mxの値をとっており、不安定な傾向を 示していることがわかる。船型の違いと動圧によるヒールモー メントの相関をさらに詳しく調べるため、Type A および Type Bの横断面 S.S.1、3、5、7、9 における動圧分布を Fig.11 に 示す。

動圧分布は、船底の動圧の法線成分を高さで表したものであ る。船体表面を押す向きを下向き、引っ張る向きを上向きとし て表現している。動圧分布をみると、両者とも船体前半部で右 舷側に正圧が偏り、船体後半部で右舷側に負圧が片寄って作用 している。捻れのある Type B は、捻れのない Type A と比べて 船体後半部右舷側でやや大きな負圧が作用しており、船尾左舷 側でやや大きな正圧が作用している。

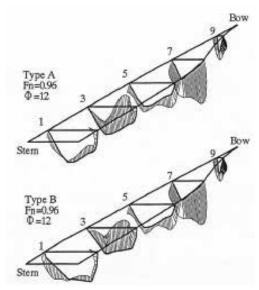


Fig.11 Type A,B の船底圧力分布

次に、排水量を一定のまま水線面積係数を小さくした場 合について、船体形状の変化の影響を検討する。Fig.12 に、 Original、Type C、Type Dの3つの船型の船体中央部および 船尾部断面形状を示す。

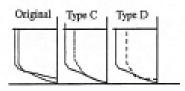


Fig.12 Type C,D の中央 & 船尾断面

Type Cは、船体後半部の捻れを小さくした船型であり、Type Dは、船体後半部の捻れを大きくした船型である。Type Cお よび Type D の水線面積係数 Cw は Original より約 7% 小さく してある。これらの船型について、Fn=0.96 におけるヒール 角に対するヒールモーメント Mx とヨーイングモーメント Mz の計算結果を Fig.13 左図に示す。実線、一点鎖線および破線 は、それぞれ Original、Type C および Type D を表している。 Mx についても、Mz についても両者とも大きな値をとっており、 結果としては Original に比較してより安定した傾向となって いる。

さらに、この船体形状の変化が Mx に及ぼす影響を調べるた め、Mx に寄与する静圧および動圧による成分を Fig.13 右図に 示す。

Type C および Type D は Original よりも Cw が小さいために、 静圧の影響で Mx がかなり大きな値を示す結果となっている。

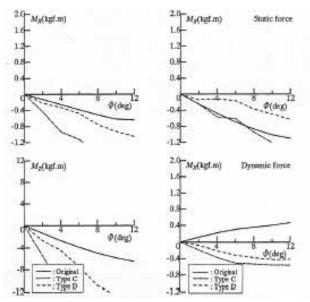


Fig. 13 Type C,D ヒールモーメントとヨーイングモーメント (左図) Mx に寄与する静圧および動圧による成分 (右図)

それに対して、動圧の影響に関しては、Type C と Type D は他の 2 船型に比べて安定側 (負) の値をとっている。また、動圧については、Cw が小さい場合でも、船体後部で捻れのある Type D の方が、船体後部で捻れのない Type C よりも不安定な傾向を示すことがわかる。このように、Cw を小さくすることは、静圧による Mx を増大させるのに対して、動圧による Mx を減少させることがわかる。

船型の違いと動圧によるヒールモーメントの相関をさらに詳しく調べるため、Type C および Type D の横断面 S.S.1、3、5、7、9 における動圧分布を Fig.14 に示す。捻れのある Type D は、捻れのない Type C と比べて船体後部において、やや大きな負圧が作用している。

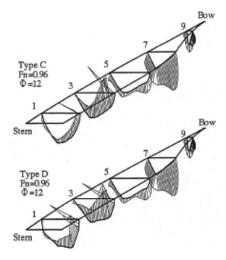


Fig.14 Type C,D の船底圧力分布

このように、動圧については、水線面積 Cw を小さくすることは、船体後部の船幅が小さくなることによって、負圧によるヒールモーメントのレバーを小さくするために、全体として横

安定性に寄与するものと思われる。

ここまでで、船体後部船底面の捻れと水線面積係数 Cw の変化が横安定性に及ぼす影響を検討した。補足計算による結果を加えてそれらの関係を Fig.15 に図示する。

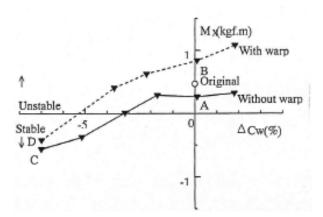


Fig.15 船底捩じれの有無による差違

横軸に Original 船型に対する計算対象船の水線面積の増加率、C'w/Cw-1をとり、縦軸に Fn=0.96、Φ=12 におけるヒールモーメント Mx の値を示す。図中の▼印は動圧による Mx の成分であり、破線が捻れのある船型、実線が捻れのない船型の結果を表している。ただし、図中の O、A、B、C、D は、それぞれ供試模型船および Type A、B、C、D の計算結果である。動圧による Mx は、船底面の捻れの程度によって傾向が異なることがわかる。

捻れが小さい船型は、C'w/Cw-1~0でほぼ横ばいであるのに対し、捻れが大きい船型は、捻れが小さい船型よりも大きなMxを示しており、より横不安定な傾向であることがわかる。また、本計算で対象とした船速では、Mxは右上がりであり、水線面積が大きくなるとともに横不安定な傾向を示している。つまり、船速が小さい時に横安定であっても、船速を大きくしていった場合に、動圧による影響が顕著に現れ、横不安定現象が生じやすくなることが考えられる。

以上の結果として、横不安定現象に関して次のことが言える。

(まとめ)

- 1. 船速が大きい時に発生しやすいのは、低速時に混在していた正の圧力と負の圧力が、高速時には船長方向に偏って分布するためである。すなわち、ある船速以上では、動的圧力分布は、ヒールを復原させる向きよりも増加させる向きに偏り、全体としてヒールモーメントが増加するためである。
- 2. ヒールが生じるのは、船体前部で正の圧力分布が、船体 後部で負の圧力分布がヒールした側に偏り、ヒールモー メントが作用するためである。すなわち、船底に作用す る動的圧力分布のアンバランスによって、ヒールを増加

させる向きにヒールモーメントが作用するためである。

- 3. ヨーイング運動が生じるのは、ヒール角が生じると、右 (左) ヒールに対して船体前部で左(右) 舷向き、船体後 部で右(左)舷向きの圧力が作用するためである。すな わち、ヒール角が生じると、横力分布が長さ方向に変化 し、右(左)ヒールに対して左(右)ヨーイングモーメン トが作用するためであることが示された。
- 4. 船尾へ向かってデッドライズ角を小さくすることは、 ヒールモーメントを大きくする傾向がある。すなわち、 船底面の捻れは、横安定性を減少させる傾向がある。
- 5. 水線面積係数 Cw の増加は、動圧による横安定性を減少 させる傾向がある。

この種の高速艇の横安定性については、十分な静復原力を確 保するとともに、動圧が横安定性に及ぼす影響を考慮しておく ことが重要である。また、プロペラ等の付加スペースを確保す るためなどの目的のために、船底面に捻れをつけた場合には同 時に横安定性に及ぼす影響を考慮しておかねばならない。従っ てこの理論検討結果を基に航走時の横安定性を判定することが 可能になりまた、不安定となる船型の改良方法について目処を つけることができる。前回紹介した海外での研究成果を参照す ることも含めて設計段階でチェックしておくことが大切である。

3. 航走時横安定性の判定方法と 船底形状の改良設計法

以上について理論計算によって横不安定現象の発生を予測す ることが可能となり、かつ横不安定現象が生じる場合、他の条 件を一定にしたまま、船底の船型を変更することで改良するこ とが可能となった。

従って実用的な設計に際して、航走時の横不安定現象発生を 判定する方法として以上の結果をまとめると次のようになる。

まず設計点において、横不安定現象が発生するかどうかを推 定するためには、計算によって Mx の値をチェックすることが 必要となる。

即ち、計算に必要な入力データと判定クライテリアについて は次のようになる。

(入力データ)

ラインズデータ、速力、GM、初期傾斜角

(判定クライテリア)

Mx:ヒーリングモーメント……Mx<0 であれば安定

(船長方向(動的)圧力の積分値×レバー)

パラメータ:速力

以上をフローチャートにまとめると Fig. 16 のようになる。

すなわち、Mxの値を計算することによって設計点での横不 安定現象の発生の有無が推定可能となる。

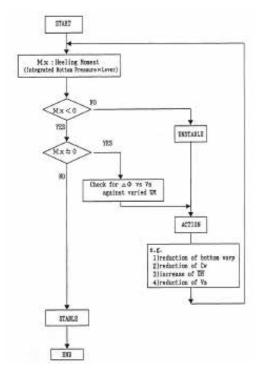


Fig.16 航走時横不安定判定フロー

ここでもし、Mx<0となり安定であるという結果が得られた 場合でも、Mx が 0 (ゼロ) に近い場合は、実際の運航に際して 速力が増加したり、GM が減少する可能性があることを考慮す れば、場合によって不安定になる可能性がある事を示している ことになる。

従って、そういう場合には更に計算点を追加して、同一船型 において速力、および GM を変化させた場合のヒール角の変化 の度合いを総合的にチェックできれば設計を進める上で有効な 手段となる。

そこで例としてこのノートでの検討に使用した母船型に対して 速力、および GM を変化させた場合の計算結果を模型試験で得 られた計測結果と共に Fig.17 に示す。ここで Δ Φ は Mx<0 とな る Φ を示しこれ以上の傾斜角では安定であることを示している。

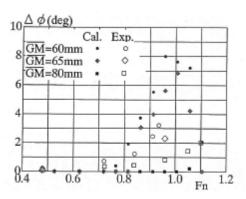


Fig.17 GM の変化による船速 Fn とヒール角

この結果を総合的に検討して速力、GMが変化した場合にヒー ル角がどの程度変化するかを見極めて最適な設計を進めていく ことが可能となる。なお、模型試験では実施できなかったより

高速域について計算結果を見ると、ある高速域を超えるとヒール角の変化は寧ろ徐々に減少し安定の方向になる結果が得られた。この理由は、高速になっていわゆる滑走域に近づくに連れ、特に船尾側の船底圧力のアンバランス分布がより船尾側にずれてくることによって安定性が増すためと考えられる。すなわち、正の動圧の領域が船尾側に移り、船尾の負の動圧が小さくなって結果としてヒールモーメントが小さくなるものと考えられる。

一方、Mx ≥ 0 となり不安定であるという結果が得られ、 GM を増大させることが難しい場合の次の手としては、前章ま での研究成果を生かして次のように船底形状を改良することで 安定性を改善させることができる。

すなわち、

- ・船体中央部より船尾側の船底ラインズの捩れを小さくする (船尾に向かって船底デッドライズ角の変化度合いを小さく していく)
- · Cw を小さくする ことが考えられる。

この方法によれば、未だ設計段階にある船については大幅な要求仕様の見直しをすることなく、すなわち、速力や、GMなどの条件を固定したままで、安定性を増加させる船底形状の改良設計が可能となる。

なお、既に出来上がった船に対して改良する方法としては、 前述のリアクションフラップの装備とチャインの幅を広げ、没 水長さを長くする方法、およびウェッジ (トリムタブ) を装備 する方法などが考えられるが、その効果を定量化するにはさら なる研究が必要である。

おわりに

以上、どちらかといえば読者の皆さんにはなじみの薄い高速 艇の、しかも安定性などについて紹介してきたが、この問題つ いては今回で一区切りとしたい。要は、対象がどんな船でも、 また船でなくとも問題解決の手法にそう変わりはないというこ とである。仕事とは、人生とは問題解決の連続であり、何事に も目を背けず事の本質を見つめていけばおのずと見えてくるも のがある。教科書や規則を含めて教えてくれるものの中にも未 解決の問題が多々ある。そういうことについてこのノートで紹 介してきたが、少しでも心に留めて頂けるものが見つかれば幸 いである。また高速艇についていえば、携わっている人も少な く、先達が示してくれた設計手法にしてもその考え方すら記録 にもなく忘れ去られていく現実がある。高速艇については世の 動きにつれて構造設計についても規則の改正の動きがあり、私 もお手伝いする場面もあったが、元々の考え方を含め記述され たものを探すのも一苦労である。読者からの要望があれば本 ノートの一環として後日紹介できればと思っている。

一方、先頃海運・造船の若手幹部候補生を前に未来に対する 開発の要点、心構えについて話す機会に恵まれた。次回は、開 発の手法、要点、心構えなどについて記してみたいと思ってい る。つたない経験であるが、個人的には比較的小型の船を手掛 けることが多かったせいか、白紙の状態から製品を開発して実 現するいわゆる設計上の未経験ゾーン、アウターポレーション ゾーンでの業務に多く恵まれたようである。皆さんにとって身 近なものでは、熱海一大島航路や青函航路の時間を半分にして 欲しいとか、当時3隻で不定期時刻に発着していた東京-苫小 牧の RoRo 船の航路を 2 隻で毎日定時発着にして欲しいとか、 北海道の流氷中に航行可能な砕氷観光船が欲しいとか言ったも のでいずれも一部の性能だけの達成では要求に合致できる船舶 としての実例は周囲には存在しなかった。小さな事例ではある が、白紙の状態から顧客と社会のニーズに応える回答を見つけ る道程は開発そのものの本質を踏まえないとできないもので あったのでその経験から得たものを述べることで何らかの役に 立てばと願っている。

参考文献:

- [1] Hajime Maruo, "New approach to the theory of slender ships with forward velocity", Bulletin of the Faculty of Engineering, Yokohama National Univ., Vol.31, (1982), pp.85-100
- [2] 丸尾孟、池畑光尚、滝沢康、升也利一、"細長体近似による船体波紋の計算"、日本造船学会論文集 }、第 154 号(1983)、pp.9-16
- [3] 宋五生、池畑光尚、鈴木和夫、"細長体近似による船の造波抵抗と波紋の計算"、関西造船協会誌 }、第209号、(1988)、pp.25-36
- [4] 茨木 洋、貴島勝郎、鷲尾祐秀、"高速船の横不安定現象に 関する研究"、西部造船会会報第91号、平成8年3月
- [5] 鷲尾祐秀、茨木 洋、貴島勝郎、"高速船の横不安定現象に関する研究(続報)"、西部造船会会報第94号、平成9年8月
- [6] Katsuro Kijima, Hiroshi Ibaraki, Yushu Washio, "Study On the Transverse Instability of a High-Speed Craft", 2nd Workshop on Stability and Operational Safety of Ships, 1996.11.
- [7] Yushu Washio, Katsuro Kijima, Tetsuo Nagamatsu, "An Experimental Study on the Improvement of Transverse Stability at Running for High-Speed Craft", 4th International Stability Workshop, St. John's, Newfoundland, Canada, 27-29 Sept. 1998

(技術顧問兼 総合コンサルティング事業室長 鷲尾 祐秀)



次世代流体シミュレーション 技術のご紹介

1. はじめに

流体シミュレーションは船舶分野でも 1990 年代に盛んに研 究されおり、当時は近い将来、水槽試験が不要になると言われ ていました。しかしながら、2000年以降も水槽試験は船型設 計において重要な役割を担うことになり、数値計算で水槽試験 の置き換えることは当分の間、不可能であると考えられるに至 りました。

一方で、本研究プロジェクトを開始した2011年には東日 本大震災により一時的に水槽が使えなくなりました。また、 EEDI を強制化する MARPOL 条約の改正で、今後水槽試験の 需要はさらに増えて行くと予想され、我々としては何らかの 対応策を考えなければならない時期でもありました。そのよ うな中で、SRC では水槽試験の代替を目的とした高精度シミュ レーション技術の開発プロジェクトを東京大学生産技術研究 所の加藤千幸教授との共同研究で開始しました。SRC News では2012年に抵抗試験に相当する計算結果をご紹介し[1]、 2013年には自航試験に相当する計算ができる目処がついたこ とをお伝えしました[2]。この研究では計算ツールの開発と 共に、ツールの検証として SRC で実施した抵抗・自航試験と の比較を6隻について完了しました。本報の最後にはこの技 術の使い方についてもご紹介いたしますが、その前に少し背 景を整理いたします。

2. 乱流について

多くの工業製品には流体設計が必要です。飛行機、自動車、 バイク、船舶はもちろん、発電所のタービンなど様々なプラン トや身近なところでは洗濯機、エアコン、扇風機、パソコンの 中にもファンがあり、あらゆるところで流体設計は必須となっ てきます。

水や空気の流れには層流と乱流があって、それぞれ違う特徴 を持っています。図 1 のように層流は綺麗に整った流れで、乱 流は読んで字のごとく乱れた流れです。流れの速度が遅いとス ムーズに流れますが、速度が速くなると整いきれずに乱れた流 れとなります。世の中の流体現象の多くは乱流になっており、 船舶周りの流れも乱流です。乱流は図2のように様々な大きさ の渦が影響しあっていますから、その構造は非常に複雑です。 しかしながら、平板や管路内など基本的な流場では平均的な流 速分布が分かっています。数値計算を使ったシミュレーション では一つ一つの微細な渦を再現するより、この平均化した流 れを利用した方が楽なので Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) 法と呼ばれる手法を用いるのが一般的です。ただし、 RANS を船舶周りの複雑な流れに適用するには乱流モデルの チューニングが必要となります。このチューニングには船型ご とに水槽試験が必要となるため、水槽試験を完全に代替するこ とはできないことが分かりました。1990年代の船舶 CFD 研究 者たちが考えていた水槽試験の完全代替という目標は、2000 年以降に数値計算と水槽試験が役割分担をして共存共栄する方 向に方針転換されました。

一方で、一つ一つの渦を忠実に再現する、乱流モデルが不要 な数値計算手法として Direct Numerical Simulation (DNS) と いう手法があります。この手法を使えば、水槽試験の完全代替 という目標は達成できる可能性があります。ただし、このシミュ レーションには膨大な計算能力が必要で、世界最高峰のスパ コンを使っても今後しばらくの間、船体周りの計算は出来ませ ん。DNS より必要な計算能力が少しだけ小さく、DNS と同程

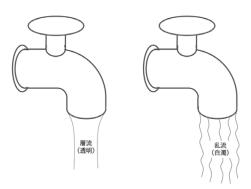


図1 層流と乱流の違い

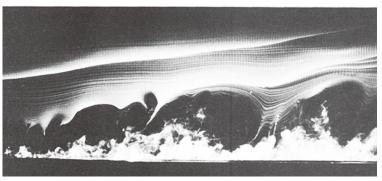


図2 平板流れにおける乱流境界層[3]



図3 自由表面計算(KCS)

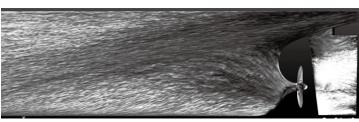




図 4 自航計算(KVLCC2) (上:船体表面の渦度分布、下船体表面:圧力分布、下船体中心断面:主流方向の流速分布)

度の予測精度が得られる手法として Wall-resolved Large Eddy Simulation (WRLES) と呼ばれる手法があります。この WRLES にも膨大な計算能力が必要ですが、SRC では理化学研究所のスーパーコンピュータ 「京」を使って 2011 年に検証を開始しました。

3. 研究開発の成果

2013年に我々は解像すべき最小の渦を 10 × 10 × 10 点の計算格子で再現するよう設計された、320億点の計算格子を使って 10 ペタ・フロップスの「京」の 4 割程度を 2、3 日間使って WRLES の計算ができることを証明しました [4]。

その後、2015年には図3のような乱流境界層の直接計算と自由表面を同時に考慮した計算も精度良く実施できるようになり、造波抵抗も含めた全抵抗値が実験と1%程度の差で予測できることを確認しました。

また、2018年には図4のような自航計算も精度良く実施できるようになり、スラスト減少係数、有効伴流係数、船後プロペラ効率比が実験と1%以下の差で予測できることを確認しました。この高精度シミュレーションツールの主要な開発は概ね終了し、検証にも成功したので、現在は実用化に向けた活動を行なっています。

4. 活用方法

これまでの船型設計では、実船に必要な馬力を求めるために、 曳航水槽試験を使ってきました。しかし、曳航水槽試験では水 の中を見ることが難しいため、船型設計には熟練された経験と 勘、さらには高度な船舶流体力学の知識が必要でした。我々の 開発した高精度・高信頼性シミュレーション技術を使えば水の 中を見ながら船舶の船型設計ができます。船体表面の圧力の変 化と流速の変化を同時に見ることにより、船体周りの流場の理 解が深まります。また、船体周りのすべての場所での流場情報 が得られるため、ピンポイントで効率的に船型改良が行えるなど、シミュレーションの利点をフルに発揮できます。つまり、設計者の直感力を有効に使い、船型設計における試行錯誤を減らすことができるのです。活用方法は無限大ですが、これからいくつかの例をご紹介します。

これまでの船型設計の手順は図5のようになっていました。まず、過去の実績やデータベースなどから初期検討を行います。SRCで開発している、SRC Tips を使えば数百万ケースの検討も5分程度で行うことが出来ます。次にRANSを使った計算を行い、回流水槽試験や曳航水槽試験で船型を絞って行きます。本高精度シミュレーション技術を使えば、図6に示すように、回流水槽を置き換えることができ、さらには曳航水槽試験の回数を減らすなど、トータルコスト減を狙うこともできます。



図8 実船の直接設計手法

数百万ケース

数百隻

しかしながら、ここで最も重要な違いは、「実験主体の船型設 計法」から「シミュレーション主体の船型設計法」になることで す。シミュレーション主体になれば何が良いかというと、例え ば模型船スケールで設計した最適船型は実船でいつも最適な形 状となっている保証はありません。模型試験のように基本的に 力だけを見て判断する場合には特に注意が必要です。本高精度・ 高信頼性シミュレーションでは流体力学的メカニズムを把握し ながら設計できるため、模型船と実船での逆転現象に繋がる過 剰な最適化を意識的に回避することができます。このような使 い方は、最近、盛んに開発が行われている省エネ付加物などに は特に有効です。

近い将来、計算機の価格が低下すれば曳航水槽試験と同じ大 型模型相当の計算が曳航水槽試験と同程度な費用で実施できる ようになります。「京」の利活用で得た経験から1ペタ・フロッ プスのスパコンを占有できれば、8から12日で1隻分の計算 が可能で、抵抗・自航状態各3フルード数ワンセットでも約1ヶ 月で実施できることが分かっています。民間企業や研究所が導 入できる計算機の性能も1ペタ・フロップスに到達しつつあり ます。EEDI 予備認証の条件をクリアすることができれば、図7 に示すような完全なシミュレーションだけのデジタル設計も夢 ではありません。

また、東大 /SRC では実船スケールの高精度シミュレーショ ン技術の開発にも取り組んでいます。この開発には WRLES の 計算結果を検証用データとして使うことができるため、高精度 な技術開発が期待できます。これが実現すれば、これまで蓄積 してきた模型船スケールでの流場の知見はもはや意味がなくな り、図8で示すように実船の最適船型を直接検討することがご く当たり前な世界がやってきます。SRC ではこれに加えて多目 的最適化、ビッグデータ、人工知能、深層学習の技術を取り入れ、 常に最先端のデジタル設計環境をご提供できるよう努めて参り ます。

この次世代シミュレーション技術の最大の利点は、船体周り の流場情報を通常の設計に使えるという点です。流体力学的な メカニズムの把握によって、失敗のない設計、効率的な設計、 設計者の直感力の育成にも役だつことでしょう。この船型設計 技術はまだ SRC 以外にはありません。競争力強化のために新 しい時代のノウハウをいち早く取り込むお手伝いをさせて頂き ます。受託解析、共同研究、船型開発、省エネデバイス開発、 RANS の乱流モデルのチューニング、その他、水槽試験法の高 度化のためのバックデータの取得などのご要望を承っていま す。詳しい技術情報や、価格などはお気軽にお問い合わせくだ さい。

参考文献

- [1] 西川、境界層を完全に解像したラージエディーシミュレーショ ンの船舶への適用、SRC News, No.90, pp.6-7, 2012 年 6 月
- [2] 西川, 京コンピュータを使った船舶推進性能推定について、 SRC News, No.92, pp.8-9, 2013年6月
- [3] 種子田定俊、画像から学ぶ流体力学、朝倉書店、1988年
- [4] Nishikawa, T., Yamade, Y., Sakuma, M., Kato, C., "Fully resolved large eddy simulation as an alternative to towing tank resistance tests - 32 billion cells computation on K computer", 16th Numerical Towing Tank Symp. (NuTTS), Mülheim, 2013年9月

(技術開発部 技術企画課 西川 達雄)



造船業におけるレーザ・アークハイブリッド 厚板溶接法に係る共同研究について (その7)(最終回)

1. はじめに

レーザ・アークハイブリッド溶接法の実用化に向けた課題を解決することを目的とした本研究は、造船現場の溶接工数を削減するための方策として有効であり、当センターの総合コンサルティング事業を通じて業界に裨益するものとして当センターは積極的に取り組んでおり、国交省の推進する「海事産業の生産性革命 (i-Shipping) による造船の輸出拡大と地方創生のための推進すべき取り組みについて」(平成28年4月5日答申)が目指す方向にも合致しています。

当センターでは、平成26年度より、一般財団法人日本船舶 技術研究協会、国立大学法人九州大学、国立研究開発法人海上: 港湾·航空技術研究所、一般財団法人日本海事協会、愛知産業 株式会社、ジャパンマリンユナイテッド株式会社、株式会社名 村造船所、三井造船株式会社、三菱重工海洋鉄鋼株式会社とと もに共同研究を実施してきました。本研究は、平成26年度お よび平成27年度においてその基礎的技術に関する研究は終了 し、一定の成果を得たところです。その後、当センターにおい ては、実用化の段階に一層近い研究を平成28年度および平成 29 年度の 2 か年の予定で、前記の参加者に加えて JFE スチー ル株式会社、前田工業株式会社、今治造船株式会社、常石造 船株式会社の参加も得て実施してきましたが、平成29年末に 溶接装置の一部が壊れるというトラブルがあり、終了予定を6 か月延長し、平成30年9月末まで研究を行いました。本号で は、前号で紹介できなかった延長後の研究を中心に概要を報告 します。

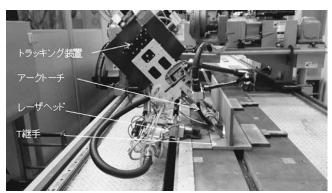


図 1 ハイブリッド溶接装置溶接部近傍

2. 研究結果概要

(1)溶接装置修理終了後に実施した研究の主な成果 (平成29年度延長分)

溶接装置修理終了後、本研究の最終試験項目である以下の実 証試験を実施しました。

①ハイブリッド溶接を用いた長尺(溶接長 5.0m)の片側完 全溶込み T 継手の製作実証試験

- (イ)トラッキング装置不使用の場合は、長尺のT継手が上手く 製作できないことが分かりました。その理由は、溶接中 入熱によってギャップが変動しますが、それに応じてレー ザパワーの調整ができないためです(ギャップが小さいと 貫通力を出すためにより多くのレーザパワーを必要とす るなど、ギャップに応じてレーザパワーを調整する必要 があります)。
- (ロ)トラッキング装置使用の場合は、ギャップ幅の検知とこれに応じたレーザパワー制御が問題なく動作し、T継手を製作できることが分かりました。また、実験の際、最終端の仮付け溶接が外れて縦板が15mm程大きく横に反れることがありましたが、この場合もトラッキング装置の溶接線に追従する機能が働き、問題なく溶接できることが確認されました。
- (ハ) 以上より、ハイブリッド溶接の最適溶接条件(必要な機材、板厚、溶接長、溶接ワイヤ、レーザパワー、アーク溶接の電圧・電流等)及びトラッキング装置を用いれば、長尺の片側完全溶込み T 継手の製作は可能になるとの目処は得られたと考えます。
- (二) なお、ハイブリッド溶接を行うための装置システムにおいて、レーザパワーの漸減や熱レンズ効果に起因するレーザ焦点シフトが発生し、5mの連続溶接施工が出来ませんでした(そのため、5m体の製作は、溶接長3mの施工後一旦休止した後に2mを溶接する等の方法を用いました)。今後、各造船所においてハイブリッド溶接を採用する場合、各社において、導入するハイブリッド溶接の装置システムの性能、特性等を踏まえ、溶接条件の設定と同溶接条件に応じた同システムのチューニングを行う必要がありますが、今回の実験によってその際、予め想定すべき項目(レーザパワーの漸減及び熱レンズ効果)を見出すことができました。

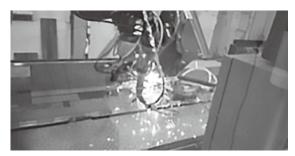


図 2 片側完全溶込み T 溶接の様子

②ハイブリッド溶接を用いた長尺(溶接長 5.0m)の突合せ 継手の製作実証試験

- (イ) レーザ出力の減衰や熱レンズ効果に起因するレーザ焦点シ フト等の影響により 5m の連続溶接施工を行わず、溶接 長 2m の施工後に一旦休止し、数分後に溶接長 3m の施 工を実施することで溶接長 5m の突合せ継手を製作しま した。
- (ロ) 初期ギャップが 0.2mm の試験体について安定した溶接 外観が得られました。但し、溶接長 4,800mm 以降の 端部で溶け落ちが見られましたが、これは入熱により ギャップが大きくなったためです。この問題はエンドタ ブの設置及び継手の面内回転変形を抑制する治具の設置 により解決できると考えられます。
- (ハ) 以上より、レーザ出力の減衰や熱レンズ効果に起因する レーザ焦点シフト等の影響に対する対策や仮付けの強化 を図れば、長尺の突合せ継手製作は可能になるとの目処 は得られたと考えます。
- (二)①の(二)については、当該突合せ継手の製作実証試験 においても同様です。

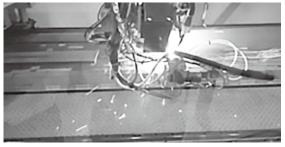


図3 突合せ溶接の様子

(2) ハイブリッド溶接を造船所に導入する場合の課題と対策

造船所においてハイブリッド溶接の装置システムをチューニ ングする際、レーザパワー漸減及び熱レンズ効果への対策が必 要であることが判明しました。この問題へは以下の対策を施す ことで解決できると考えられます。

(1)レーザパワー漸減の問題への対策

今回の実験では、一定時間毎にレーザパワーを初期指令値 よりやや高い指令値に再設定することで、意図するレーザパ ワーを継続的に維持する対策を施しました。しかし、このレー

ザパワー漸減の問題は九州大学のレーザ発振器特有の特性で あり、一般的な特性で無い可能性もあります。今後、造船会 社がレーザ発振器の仕様を定める場合、長時間におけるレー ザ出力の安定性をその性能要件に含めるべきと考えられます。

②熱レンズ効果への対策

熱レンズ効果への対策は、レーザ焦点シフトの特性を調べ て、レーザ焦点シフトが一定になってから溶接を実行するこ とや熱レンズ効果の発生が小さいレーザヘッド (現在製品化 されている)を使用すること等で解決できると考えられます。

3. 研究の総括

本研究開発を立ち上げる際、造船所のニーズを集約し、以下 の3点を目標としました。

- (1)世界でも初めての厚板のレーザ・アークハイブリッド溶接の 実現(先行する欧州は薄板)
- (2)日本の造船所の実態(船種、製造方法、設備等)に適合する 溶接(例:シールドガスは欧州では MAG、本研究では日本で 一般的な CO₂)
- (3)ギャップ幅と溶接線の変化を検知しそれに追従するようなト ラッキング装置の開発(欧州では溶接面を予め機械切削し大 規模な拘束装置を使用)

以上の目標設定に基づき、厚板のレーザ・アークハイブリッ ド溶接の実用化に向けた課題要素(適用板厚の範囲、溶接速度、 ギャップ裕度、仮付け方法、開先形状に応じた溶接条件、皮膜 処理の影響、スパッタの抑制、溶接ヒュームの抑制、シームト ラッキング等)を抽出し、これらについての基礎的研究を完了 し目標を達成しました。また、今後各造船所においてハイブリッ ド溶接を採用する場合、各社において、溶接条件の設定と同溶 接条件に応じたハイブリッド溶接の装置システムのチューニン グを行う必要がありますが、その際、予め想定すべき項目(レー ザパワーの漸減、熱レンズ効果) を見出すとともにその対策を 示すことができました。

以上より、厚板のハイブリッド溶接の研究は、目標を達成し たこと、九州大学に実用化に必要なノウハウが蓄積されたこと、 及び、本研究で明らかにされた課題は造船所及び鉄鋼メーカー による設備投資により解決すべきものであることから、実用化 段階に移ることとなり、完了しました。

(企画室 田中 信行)

Topics

日本海事協会と包括的連携協定 「船舶及び海洋開発の 分野における技術支援業務に関する包括的連携協定」を締結

一般財団法人日本造船技術センター(会長:伊藤茂、以下 SRC)は、一般財団法人日本海事協会(会長:富士原康一、以下 ClassNK)と、2018年12月6日、「船舶及び海洋開発の分野における技術支援業務に関する包括的連携協定」を締結しました。

本協定は、船舶及び海洋開発の分野における事業を効果的、 効率的に推進するため、双方の事業能力及び人材を活用し、 情報交換、コンサルティング事業の企画及び開発、人材の交 流・養成などにおいて、連携・協力を推進することを定めたも のです。

SRCは400m水槽などを活用した試験業務を中心とした船型開発をはじめとして各種船の設計・建造管理、ODAでの海外協力業務等に関しての総合コンサルティング業務を50年にわたって行ってきており、一方ClassNKは、世界約130か所のネットワークによる船舶及び海洋構造物の安全・環境

汚染防止に関する 検査などに従事す るなど、それぞれ の立場から海事ク ラスターの一員と して船舶及び海洋 開発分野の発展へ の貢献に努め、必



要に応じ協力を行ってまいりました。

今般の協定の下、それぞれの強みを活かした総合力を発揮し、安全、海洋環境の保全及び海洋開発に関わる様々な課題の解決、合理的かつ効率的な事業開発、事業提供、並びに技術的信頼性の高い情報の発信などを通じ、国内海事・海洋分野の一層の発展に貢献してまいります。

(総合コンサルティング事業室)

委員会等

- 第3回SPCG委員会
 - 平成31年1月30日 日本造船技術センター大会議室
- 第144回HRC委員会

平成31年1月30日 日本造船技術センター大会議室

● 第21回 理事会(通常)

平成31年3月 6日 日本造船技術センター役員会議室

● 第14回 評議員会(臨時)

平成31年3月19日 日本造船技術センター役員会議室

● 第4回SPCG委員会

平成31年3月28日 日本造船技術センター大会議室

● 第145回HRC委員会

平成31年3月28日 日本造船技術センター大会議室

編集後記

5月1日から元号が令和に改まりました。

昭和 28 年に生まれた私にとって令和は、昭和・平成に続く 3 番目の元号となります。

自分なりに昭和・平成を振り返ってみると、昭和は目に見えるハードウエアの世界での変化が大きく早い動の時代であったのに対し、平成はハードウエアの世界での変化はゆっくりで世の中が安定した静の期間であったように思います。

民主主義が社会に根付き、物事の決定に際して各方面の意見が尊重されるようになった結果、多数の利害を調整する手続きが多くなり時間も必要とされるようになり、ハードウエアの世界の変化が遅くなったのかもしれません。例えば、東海道新幹線は昭和34年に着工され5年後の昭和39年には東京・大阪間で開業したのに対し、平成26年に着工された中央リニア新幹線は東京・名古屋間の開業までに13年間を要するといったようにです。ルートの違いや使われる技術の違いがあることが大きく影響しているはずですが、安全・環境に対する配慮が昭和時代とは比較にならない程大きくなっていることも影響しているものと思います。

一方、目に見えないというのはおかしいかもしれませんが、平成時代は情報通信技術に支えられたソフトウエアの世界では人類史上に残る革命的な変化の時代であったかもしれません。インターネットは情報の世界における物理的な国境を完全に取り払ってしまいました。安価に大量の情報を世界中でやり取りすることができるようになるとは昭和時代には想像もできませんでした。また、GPSに代表される高度な測位技術は今や個人の生活にとっても無くてはならないものになっています。これまで相対的に決まっていた位置関係を地球上の絶対座標として誰でも認識できるようになったことは、六分儀を知る者にとっては驚くべきことです。

新しく迎えた令和の時代にどのような変化が起きるのか想像もつきませんが、平和が続き、若者にとって夢の多い時代になることを祈念してやみません。

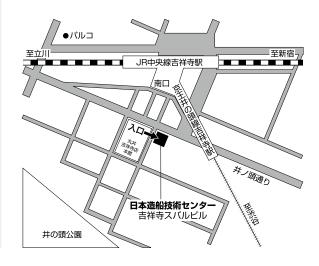
申し込みの受付

試験等の申し込み、問い合わせは 下記までご連絡をお願いいたします。

〒 180-0003

東京都武蔵野市吉祥寺南町1丁目6番1号 吉祥寺スバルビル3階 TEL 0422-40-2820

地図





Shipbuilding Research Centre of Japan

一般財団法人 日本造船技術センター

http://www.srcj.or.jp