

SRC News

No.29 June '95

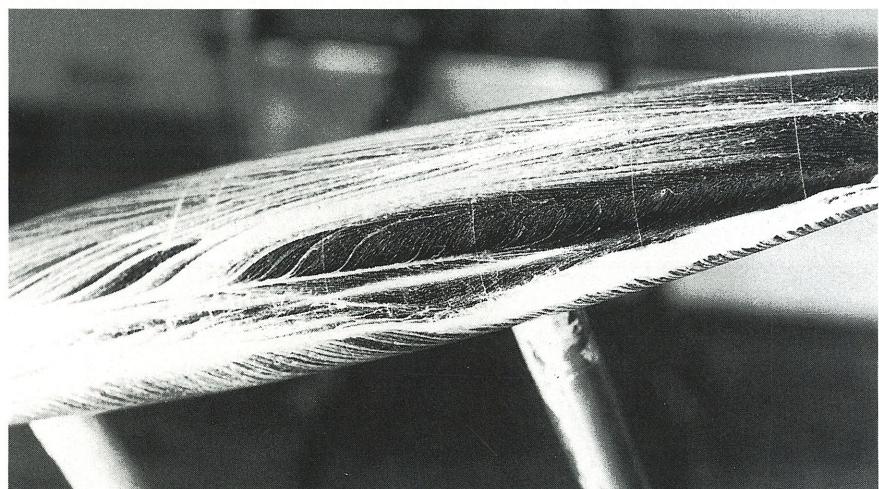
The Shipbuilding Research Centre of Japan

●目 次●

振動・騒音と船尾まわりの流れの関係について	Page 2
減圧回流水槽について —自由表面をもつ大型回流水槽—	Page 4
商船の推進性能の変遷に関する考察	Page 6
曳航水槽と模型試験	Page 8
消防艇“かくりゅう”について	Page 10

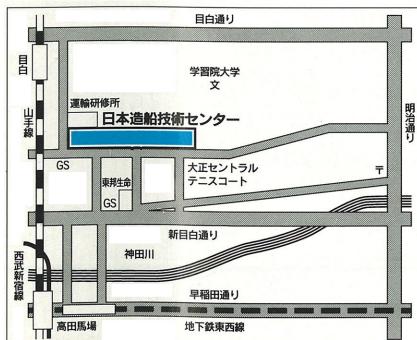
船体のまわりの流れの観察

—開発や問題解決の糸口を探る—



「行く河の流れは絶えずして、しかももとの水にあらず。淀みに浮かぶうたかたは、かつ消えかつ結びて、久しくとどまりたるためなし。」、方丈記の書き出しに出てくる流れの写実的な記述、古代アッシリアのレリーフに描かれた城の足下を洗う流れの中の渦模様、レオナルド・ダヴィンチの詳細な流れの描写等々、流れの現象は古代より深い関心をもって観察されてきた。しかしながら、流れの観察とともに、そのメカニズムを解明しようとする試みは、有名なレイノルズの層流から乱流への遷移の実験に始まると言えよう。それ以後、流れの観察は今世紀における流体力学の発展を支えると共に、いろいろな技術分野において、技術や製品の開発・改良の有効な手法として活用され、又、それ自体が、独立した科学・技術の分野として発展している。造船の分野においても、船のまわりの複雑な流れを観察し、全体的な流れ

のパターンを理解し、又、局所的な流れの特徴を捉える事は、水槽試験やコンピューターを駆使する計算と並んで、船の推進性能や操縦性能の研究、新しい船型の開発、いろいろな現象の解決等に有効な手段として活用されてきている。具体的には毛糸の動きや軟らかい塗料の伸びによって、流れのパターンを見るというオーソドックスな方法、細かい粒子のトレースを合成する方法、レーザー光の応用等、対象と目的に応じて、いろいろな方法が工夫され、活用されている。造船技術センターにおいても、独自の流れ観察手法が開発され、いろいろなテーマに活用されている。本報においては、これらのうちから、船体の振動・騒音の原因となるプロペラ起振力に関する知見、および自由表面を有する流れの中で圧力を調整した状態での試験を目的とする減圧回流水槽について紹介する。



財団法人 日本造船技術センター

〒171 東京都豊島区目白1丁目3番8号
TEL 03(3971)0266 FAX 03(3971)0269

船の振動・騒音と船尾回りの流れの関係について

1. はじめに

薄い鋼板やアルミ板材を組み合わせた船体構造は、海上を航走する際に、いろいろな外力を受けて振動する。就航する海面の波から受ける波浪による力（波浪荷重）、搭載した主機や発電機等の機械設備の発する起振力、プロペラやシャフト等の推進軸系の連成振動による起振力、プロペラの作動による流体力（プロペラ起振力）等の時間的に変動する力に対して、船体固有の構造応答特性により、いろいろな周波数と振動モードをもつた振動が生じる。更に、振動する構造は空気を振動させて、騒音を引き起こす。大きな振動は、構造部材の疲労亀裂や電子機器等の損傷の原因となり、又、居住区環境劣化を招くことから、防振設計は船の設計の中で重要なテーマである。

振動問題は1970年代後半、船内居住環境改善をめざしたISOの振動レベル基準を船主が積極的に採用し、保証事項として造船所サイドに要求するようになつた時点で、設計における最重要課題として認識された。すなわち、居住区内の特定の場所における振動レベル（速度あるいは加速度）を、所定のレベル以下に設定する事を設計段階において推定し、かつ、保証するというものであり、当時の技術レベルでは至難の事と考えられた。

以上のISO基準をクリアーするために、振動レベルの合理的な推定と、その実船での実現をめざし、振動現象に関する幅広い技術分野について、基礎研究や実船に関する試行が1970年代以降において精力的に行われたが、この中で、プロペラの作動に伴う起振力は、最も重要なテーマとして研究が進められた。本稿においては、船尾まわりの流れと深く係わるプロペラ起振力について、現象、流体力学的メカニズム、実船の例等についての知見を概略紹介する。

2. プロペラ起振力について

船の後端に装備されたプロペラは、船尾の流れの中で回転して、船を推進させる際に、プロペラサーフェスフォース及びプロペラベアリングフォースを発生して、船体を加振する。

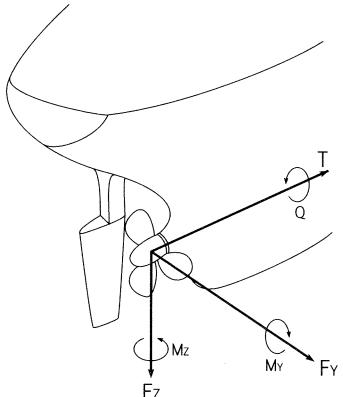


図-1 座標

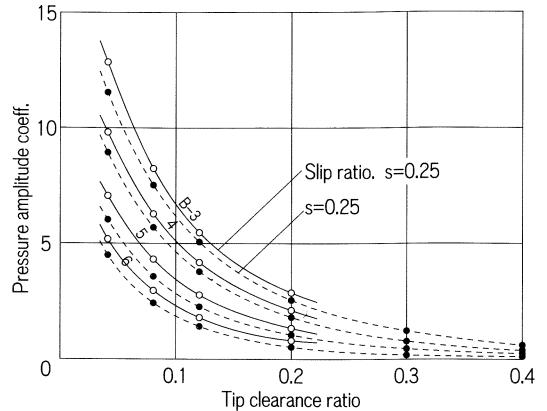


図-2 圧力変動と翼数並びにTip clearanceとの関係

プロペラベアリングフォースはプロペラ翼が船尾の不均一な流れの中を移動していく際に、場所毎の流速、流向に応じて発生する揚力及び抗力を全ての翼にわたり加算して得られるプロペラ軸及びそれに直交する軸の方向の力及びモーメントである。それぞれは平均値と共にプロペラ回転数×プロペラ翼数を基本周波数（ブレードレート）とする変動成分（起振力）をもち、プロペラ軸を介して、船体を加振する。（図-1）この起振力は定常プロペラ翼理論を準定常に用いることにより、具体的な数値を比較的容易に求められ、船尾管軸受の設計や推進軸系の振動の検討に用いられる。しかしながら実船で経験される船尾振動は、原因をプロペラベアリングフォースとするには、なお高いレベルにあつた。

プロペラサーフェスフォースについては、1950年代の後半、プロペラキャビテーションを生じない状態で、プロペラ翼が発生する圧力変動を、プロペラ上方に設置した平板にセットされた圧力センサーによって計測し、この結果を翼数、プロペラ先端と圧力センサー間の距離、プロペラ荷重度によってまとめた図表（図-2）が提示されるなどプロペラサーフェスフォースへの理解は前進したが、これにより得られるレベルに比べても、実船の振動レベルははるかに高く、1960年代においては、その解決は依然として霧の中の状態にあつたといつても過言ではない。

3. キャビテーションとサーフェスフォース

プロペラサーフェスフォースの高い圧力変動レベルは、プロペラキャビテーションによる実験結果が北欧の研究所よりもたらされ、それを契機に研究が進められ、これらの成果をベースに設計ガイダンスが、各国の研究所や船級協会により提案された。その流体力学的なメカニズムは、プロペラの翼が不均一な流れの中を移動していく際に、局所的な圧力の低下により翼面上にキャビティ（気泡）が発生し、成長し、圧力の上昇と共に縮小して、遂には崩壊するが、その崩壊に際して、大きな負圧ピークをもつ圧力変動を発生するというものである。この圧力レベルは基本的にキャビティ体積の時間に関する2次微分にほぼ比例し、キャビティからの距離に反比例するが、キャビティの発生から崩壊に到るプロセス、あるいは崩壊の詳細は、プロペラ翼特性、プロペラの作動する流れ場、プロペラの作動条件（荷重、キャビテーション数等）により大きく変化する。プロペラの作動する船尾の流れは、一般に船体中心後方では、船体表面に発達する境界層のために、流速は遅く、中心面から離れるに従つて流速は増し、船体中心面から充分に離れた場所では、ほぼ船速に等しくなる。プロペラ翼は、最も流速が遅く、又、水面に近い圧力の低いプロペラ中心上方の船体中心の場所から、流速も大きく、圧力も高い場所を一回転の間に通り過ぎていく。その途上プロペラ翼面上のキャビティは、流速、圧力共に比較的高い場所で、翼面上の圧力

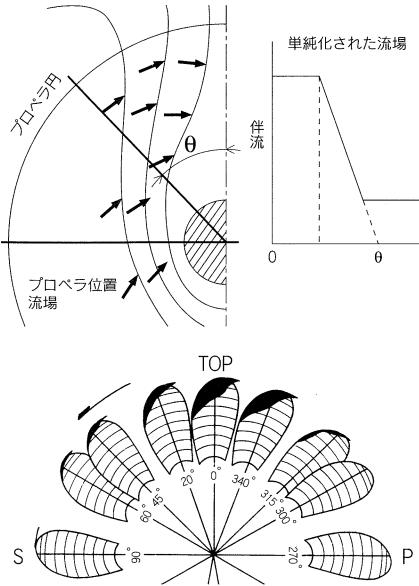


図-3 プロペラ流場とキャビテーション

の低い前縁付近に発生し、流速および圧力の減少と共に、その容積及び広がりを後縁方向に増していく、プロペラ中心上方の流速、圧力共に最も低い場所でほぼ最大に達し、それらが再び上昇に転ずる位置で、急激に縮小し、崩壊し、消滅する。この際に、発生する大きな圧力変動が船体を加振して船体振動を生じさせる。流れ場についてはプロペラ中心上方、船体後方のプロペラの半径で70~100%程度の場所での流速の船速に対する比を伴流のピーク値とし、又、プロペラ中心付近の高さの流速がほぼ船速に近い場所から、伴流ピークに到るまでの流速の変化を伴流分布の傾斜として、この2つのパラメータによって、流れの特徴を表している。すなわち伴流ピークと傾斜の大きいほどプロペラ起振力のレベルは大きく、伴流ピークを低くし、傾斜をゆるやかにすることにより起振力は減少する。以上のように、プロペラキャビテーションの発生から消滅に到るプロセス及び発生する圧力変動レベルとそのパターンに、船尾まわりの流れは大きな影響を及ぼすが、キャビテーション現象の観点からとはいえ、流れを以上の2つのパラメータのみで表すには限度があり、船毎に船尾まわりの流れの特性やプロペラの作動的な条件により、振動現象は多様である。(図-3)

4. 振動問題と船尾回りの流れ

以上のプロペラキャビテーションと圧力変動に関する説明の中には、プロペラ面より外の流れを含む船尾まわりの流れの影響が考慮されていない。例えばISO基準のレベルを大きく上まわる振動の場合には、伴流ピークと伴流分布の傾斜、キャビテーション数、プロペラ荷重度等からでは説明出来ない振動のパターンが経験されている。

例えば、特定の載荷状態において、高い振動レベルが数秒程度の周期をもつ「うなり現象」を伴って計測される、更に、直進航走時の操舵直後に急激に振動レベルが減少する等の現象がみられる場合は、船尾の流れ場の特異な性質によるといわれている。以上のような特徴を示す振動問題の調査において、模型船を使った船尾まわりの流れの観察が行われたが、振動レベルの高い載荷状態では、プロペラチップ上方の流速は遅く、流れ方向の時間的変動は大きく、更に、船首方向より流れてくる気泡がプロペラチップ上方に流れ込む状況が観察された。又、模型船を僅かに斜航させることにより、気泡の流入は止まり、プロペラチップ上方の流れの増加する傾向もみられた。以上のようなプロペラチップ上方の流速の遅い流れと、平均的な伴流ピーク及び傾斜をもつプロペラ面位置の流れとを組み合わせてキャビテーション水槽中に再現し、キャビテーションの発生状況の観察と圧力変動の計測を行った。その結果、翼面上のキャビティと、プロペラ上方の圧力センサーを設けた平板との間に竜巻状の渦（プロペラチップハルボルテックス）が発生し、高い圧力変動が計測された。適正な量の微細な気泡群を注入すると、以上の現象は更に激しくなり、圧力変動レベルも増加した。以上の結果を総合して、実船にはプロペラチップ上方の流れ場を加速するフィンを開発し、振動レベルの減少を実現した。

(図-4・5)

以上の例に示すように、振動問題に切口を絞った場合でも、ガイダンスに示された伴流ピークと伴流分布の傾斜は、圧力変動発生の基本的メカニズムを示せても、多様な現象を理解するには充分とは言い難い。実船の振動現象の慎重な調査により振動特性を把握し、比較的大きな模型船による船尾まわりを主とする流れの詳細観察や計測

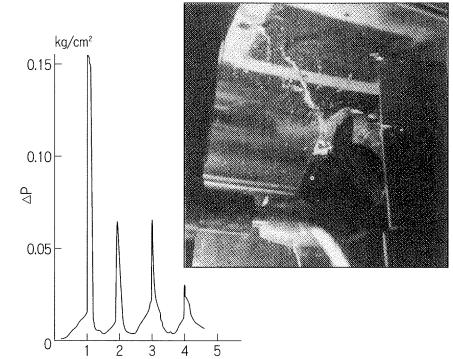


図-4 キャビテーションと圧力変動
(プロペラチップ上方の流速の遅い場合)

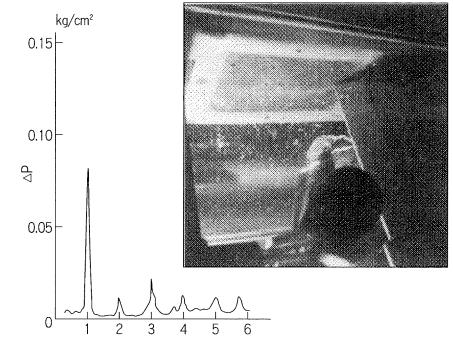


図-5 キャビテーションと圧力変動
(プロペラチップ上方の流速の速い場合)

による流れの特性と対比して、流体力学的な対応関係を究明することが必要とされる。

5. おわりに

船尾振動は、以上のような船尾流れに関する知見をベースとした船尾形状の改良やフィンの開発、更に、スクュードプロペラの実用化、耐振構造設計の改良等によって、ISO基準が要求するレベルは殆どの船で達成しているように見える。しかしながら、船の経済性向上の追求は性能、配置、船体形状、構造等に関する経験を越えることをしばしば要求し、又、要求される振動レベルについても、ISO基準強化の動きもあり、船体振動と船尾流れとの関係は今後共研究すべき重要な課題であろう。当センターにおいても、適切な対応が可能となるよう、振動に関する知見の蓄積、実船計測解析システムの整備、計算法の開発、流れの観察や計測に関する技術の向上に努めている。なお、船尾まわりの流れの改善やスクュードプロペラ等、起振力低減に関しては、稿を改めて紹介することとした。



減圧回流水槽について

—自由表面をもつ大型キャビテーション水槽—

1. はじめに

船の活動の場は、大気と水との境界にあり、船体まわりの流れやそれに起因する現象への自由表面影響は避け難い。船体振動・騒音の原因の1つであるプロペラ起振力についても、船尾まわりの流れへの自由表面の影響は無視出来ないケースが多々ある。又、プロペラキャビテーション現象はプロペラ面内の前後方向の流速分布以外に、プロペラ内外の複雑な流れの影響を受ける。実船の振動現象において、ワイヤメッシュスクリーンにより船の前進方向の流速分布のみをシミュレートして、かつ、自由表面のない状態で試験を行う通常のキャビテーション水槽ではとらえられない現象も多く経験されている。

本減圧回流水槽は、自由表面をもち、かつ、船体模型の後端にプロペラの付いた状態でのキャビテーション試験を可能とする事を目的として、建設された世界的にも数少ない試験設備である。

2. 要目および機能

減圧回流水槽は、縦型の大型キャビテーション水槽で、その特徴は自由表面をもつ広い計測部分にある。自由表面の流れを極力一様に、かつ、安定化させるための整流装置、模型船を取り付けて計測する装置、計測部分を覆う大きな重い気密性の蓋とその操作装置および、周囲に取り付けられた多数の計測窓等により、減圧下での自由表面をもつ状態での計測及び現象の観察を可能としている。計測部の主要な寸法は、長さ13.3m、幅1.4m、水深0.84mで、試験可能な最大流速は5.5m/sである。(図-1)

代表的な試験としては、模型船を計測部の水面に浮かべ、プロペラを装備する、いわゆる、船後状態の流れの中でのプロペラキャビテーション試験、抵抗・自航試験、流れ場の観察等が、キャビテーシ

ョン数を実船に合わせるよう減圧して、かつ、自由表面の影響が加わった状態で実施される。減圧下の自由表面を必要とする空気吸込みを伴う現象に係わる試験、例えば、浅い没水深度でのプロペラ特性、船体表面付加物まわりの流れや空気吸込み、水中翼やそれを支えるストラットの流力特性、舵の特性、ウォータージェットのインレットに関する調査等、多様な試験や調査に対応可能である。模型船の寸法は、船長3.0m程度を標準とし、曳航水槽で用いられる縮尺模型、および、曳航水槽での伴流計測で得られた流れの分布を模型・実船尺度影響を考慮して修正した流場を得るように形状を変形し、ワイヤメッシュ等を取付ける等の工夫をしたダミーモデルが使用される。なお、世界的には艦艇や海洋調査船等のプロペラ放射雑音の伝播や低減、あるいは、水中音響機器の音響特性等の水中音響に関する調査を主目的として、本装置と基本的に同じ形態の設備が、より一層大きな規模で建設され、稼働しており、当センターとしても、水中音響等新しい分野への取組みについても、検討を進めている。

3. 試験

具体的な試験例を以下に示す。

(1) プロペラ単獨特性への没水深度影響調査
曳航水槽のプロペラ単獨試験では容易に得られない、激しい空気吸込み現象を伴う場合の特性把握(図-2)

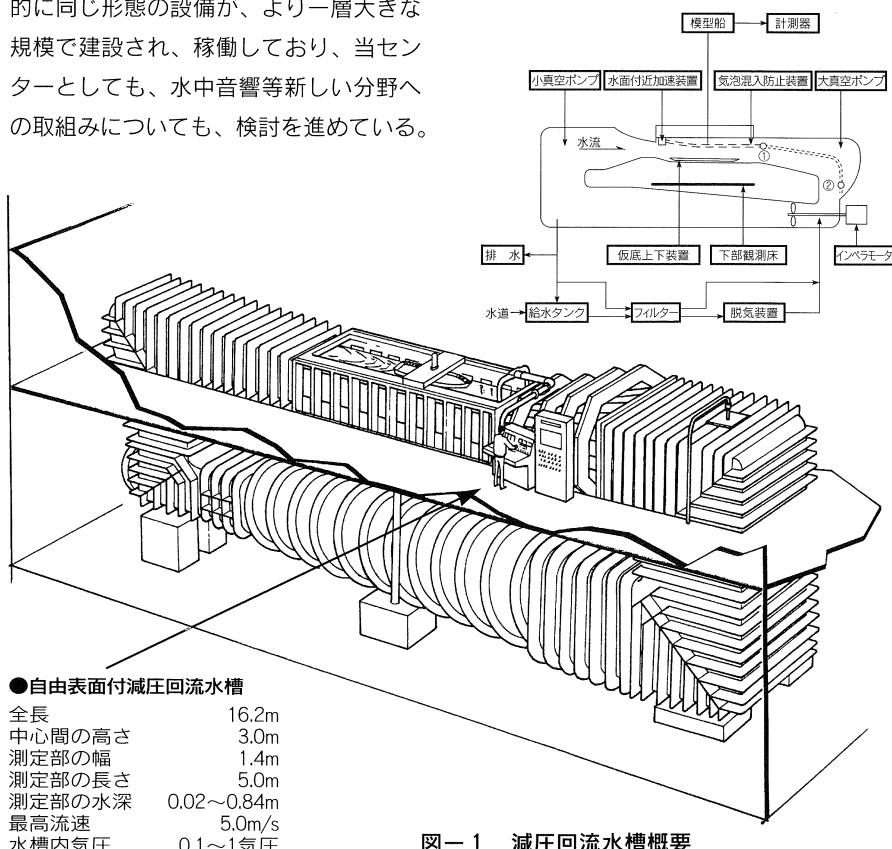
(2) 船後状態でのキャビテーション試験
ワイヤメッシュスクリーンによる流場中では見られないキャビテーションバタンやプロペラ上方の水面からの空気吸込みを伴う現象の観察と圧力変動の計測(図-3)

(3) 水中翼に関する試験

水中翼付双胴型高速客艇や新型式高速物流艇(TSL)の開発に関連して、水中翼やストラットの流力特性や全体模型を用いた性能の調査(図-4)

(4) プロペラ起振力低減装置の開発

プロペラチップ上方に船外と通じて、水の出入するタンクを設け、プロ



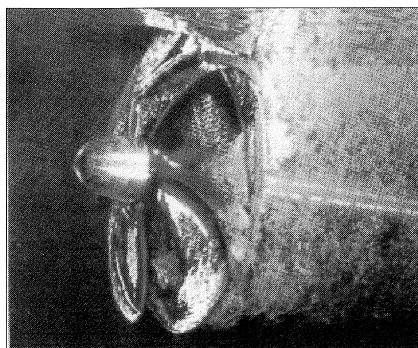


図-2 没水深度でのプロペラ単独テスト

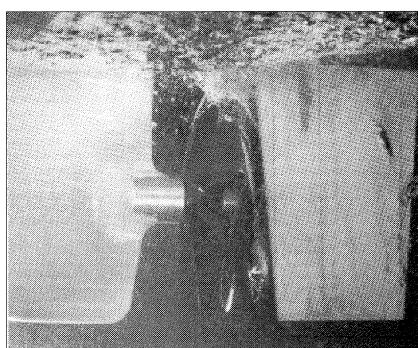


図-3 船後状態のキャビテーションテスト

ペラから伝わる圧力変動を減衰させるダンプタンクの開発のための設計データの整備

(5) 音響特性に関する調査

キャビテーション試験等と並行して、減圧回流水槽内の音場の状況を計測し、音響特性の把握と改善を行いつつある。(図-5)

4. おわりに

減圧回流水槽は、船体にプロペラを付けた状態で、自由表面をもち、かつ、実船と同じキャビテーション数に条件を合わせた試験の可能な世界でも数少ない水槽設備であり、又、船に限らず多方面の分野への対応の可能性をもっている。当センターとしては、顧客の多様なニーズ

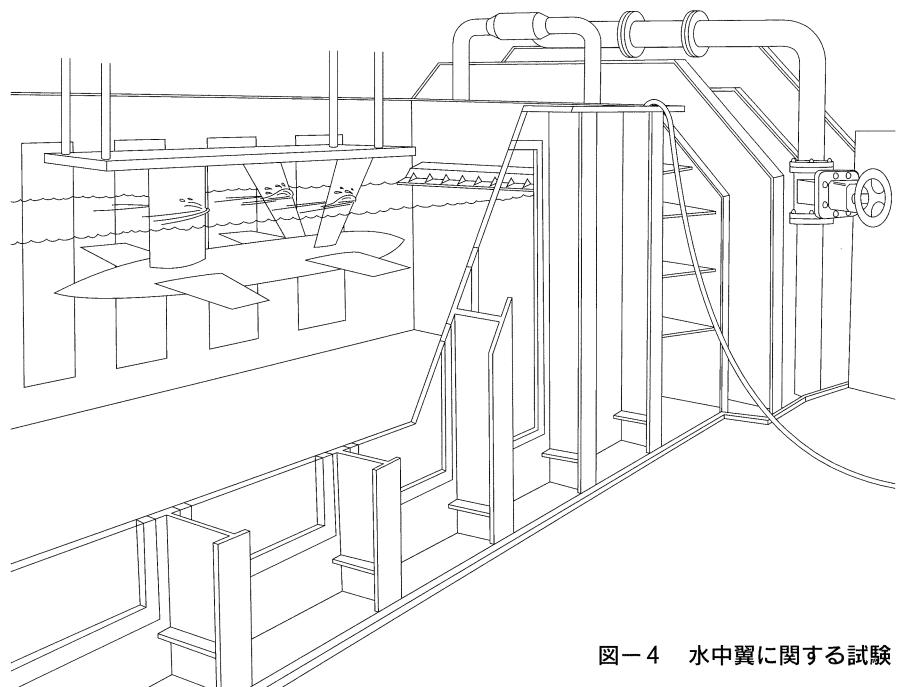


図-4 水中翼に関する試験

に応える一環として、本水槽の機能向上およびフレキシブルな対応を可能とすべく、検討を進めている。

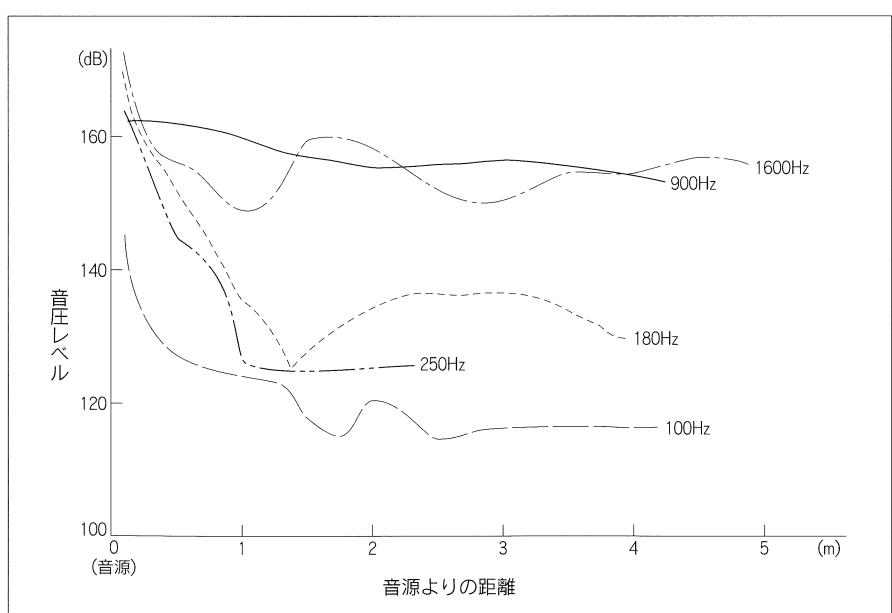
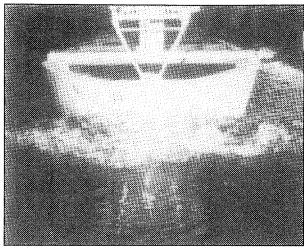


図-5 減圧回流水槽内の水中音伝播特性計測例（昭和60年3月）





曳航水槽と模型試験

自航試験(1)

自航試験は、実船の航走状態のように、模型船に装備した模型プロペラを回転させ、模型プロペラが発生するスラストで模型船を推進させる試験です。プロペラを装備している以外は、抵抗試験時と殆ど同じになります。自航試験結果に抵抗試験結果、プロペラ単独試験結果を組み合わせて、船舶を推進するのに必要な伝達馬力、プロペラ回転数（図-1）を得ることができます。

1. 自航試験の基本

図-2に自航試験時の計測器等の配置を示します。

模型船には模型プロペラが取り付けられています。模型船や舵は、実船のそれらと相似形状で製作されています。ここでは、模型プロペラも相似形状で製作されているとします。

模型プロペラは船内に搭載されたモーターによって駆動されます。このモーターは、回転数が容易に変更でき、かつ、高い制御性能が要求されます。図-2に示すように、モーターの動力をプロペラに伝達する軸の中間に自航動力計が配置されています。この動力計は、プロペラ回転数、プロペラを回転させるのに必要なトルク、プロペラが発生するスラストを計測します。

模型船を、実船とフルード数 $F_n = V/\sqrt{gL}$ を一致させて航走させる場合を考えます。即ち、実船の速度が V_s の場合、模型試験の速度 V_m は、次式のようになります。

$$\begin{aligned} F_n &= V_s / \sqrt{gL_s} \\ &= V_m / \sqrt{g L_m} \\ \therefore V_m &= V_s / \sqrt{\alpha} \end{aligned} \quad (1)$$

V 船の前進速度

L 船の長さ

α 縮率 L_s/L_m

g 重力の加速度

添字_s；実船、添字_m；模型船

(以下、同様)

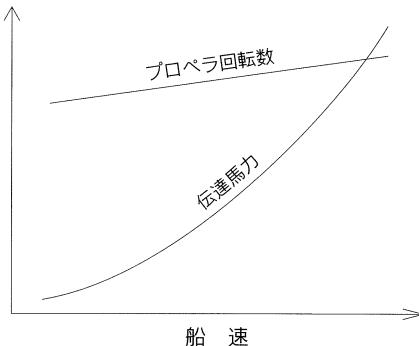


図-1 馬力等曲線図

抵抗試験の時 (SRC News Nos.24, 25) に説明したように、フルード数を一致させて試験しますと、模型船が造る波も実船が造る波と相似形状になり、造波抵抗係数が実船と模型船とで等しくなります。レイノルズ数を一致させることは、実際上不可能です。

プロペラ回転数を大きくすると、スラストが大きくなり、模型船速度は大きくなります。逆に、プロペラ回転数を小さくすると、模型船速度は小さくなりますので、模型船速度が予め決められた速度 V_m になるようにプロペラ回転数を調節することができます。模型プロペラの回転数を n_m としたときに模型船速度が丁度 V_m になったとします。このとき、自航動力計で計測されたプロペラ軸のトルク Q_m から得られる $P_m = 2\pi n_m Q_m$ は、模型船を推進するためにプロペラが吸収した仕事率（単位時間当たりのエネルギー）となります。模型船の伝達馬力は $DHP_m = P_m / 75$ です。

これらの結果を用いて、次のように、速度が V_s のときの実船の伝達馬力、プロペラ回転数を求めることができます。

プロペラ回転数の単位は時間の逆数 $1/S$ です。抵抗試験の時に説明したように、時間 S は、 L/V で代表させます。これは、船の長さ分の距離を進むのに要する時間を表します。プロペラ回転数 n を V/L で割った値は模型船、実船の尺度に関係の無い無次元数になりますの

で、実船プロペラの回転数 n_s は次式のようになります。

$$\begin{aligned} n_s / (V_s / L_s) &= n_m / (V_m / L_m) \\ \therefore n_s &= n_m \times (L_m / L_s) \times (V_s / V_m) \\ &= n_m \times (1/\alpha) \times \sqrt{\alpha} \\ &= n_m / \sqrt{\alpha} \end{aligned} \quad (2)$$

次に仕事率 $P = 2\pi n Q$ ですが、前述のように、プロペラ回転数 n は、 V/L で割ることによって無次元化することができます。また、トルク Q の単位は（力×長さ）ですから、力として水の慣性力の代表値 $\rho L^2 V^2$ （ ρ は水の密度）を、長さの代表値として船の長さ L を採ると、トルクは、 $\rho L^3 V^3$ で割ることによって無次元化することができます。よって、実船を速度 V_s で航走させるのに必要な仕事率 $P_s = 2\pi n_s Q_s$ は次式のようになります。

$$\begin{aligned} \frac{2\pi n_s Q_s}{(V_s / L_s) \times \rho_s L_s^3 V_s^2} &= \frac{2\pi n_m Q_m}{(V_m / L_m) \times \rho_m L_m^3 V_m^2} \\ \therefore P_s &= 2\pi n_s Q_s \\ &= 2\pi n_m Q_m / (V_m / L_m) / \rho_m L_m^3 V_m^2 \\ &\quad \times (V_s / L_s) \times \rho_s L_s^3 V_s^2 \\ &= P_m \times (\rho_s / \rho_m) \times \alpha^{3.5} \end{aligned} \quad (3)$$

以上のこととは、模型試験時のフルード数を実船と一致させた場合、プロペラ回転数は縮率の $1/2$ 乗に逆比例し、プロペラに伝達されるエネルギーの仕事率（伝達馬力）は縮率の 3.5 乗に比例することを示しています。

ただし、ここでは、一致させたのはフルード数のみで、レイノルズ数は一致していません。

模型試験のレイノルズ数が実船に比べて小さいために、模型船の粘性抵抗係数は実船に比べて大きくなりますので、模型船の全抵抗係数 C_{TM} も実船 C_{TS} より大きくなります。また、同じ理由で、水の粘性による境界層の厚さ δ の相対的厚さ δ/L も実船に比べて大きくなり、プロペラに流入する流れの分布も違いますので、

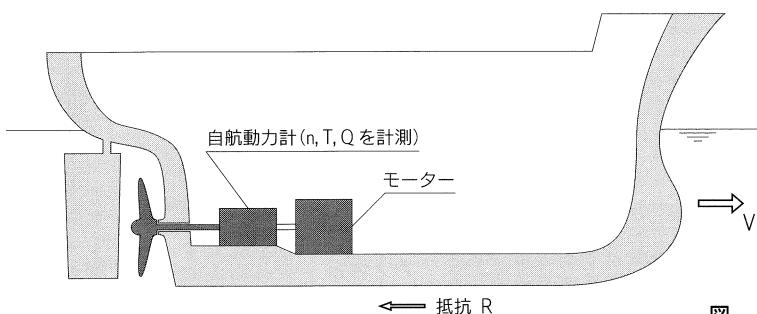


図-2 自航試験

(2), (3)式は誤差が大きい式となります。

この誤差に関し、最も簡単なのは、次式のように修正係数 C_N , C_P を導入することです。

$$n_s = n_m / \sqrt{\alpha} \times C_N \quad (4)$$

$$P_s = P_m \times (\rho_s / \rho_m) \times \alpha^{3.5} \times C_P \quad (5)$$

模型試験結果と実船の速力試験結果を数多く集めて対比させることによって、修正係数 C_N , C_P の信頼性を高めることができます。この方法により、簡単に実船のプロペラ回転数、伝達馬力を推定することができます。この方法の場合、抵抗性能、プロペラ特性のみならず、自航試験時のスラスト計測も不要です。

しかし、この方法の場合、模型試験結果から船型の善し悪しを判断したり、レイノルズ数の不一致に対する合理的な修正法を確立していく上で限界があります。数多く集めると言いましたが、莫大な数が必要になるかもしれません。また、プロペラ形状を変更した場合は、自航試験をやり直す必要があります。

我が国で通常行われている自航試験法とその解析法は、もう少し、複雑で分析的になっていますが、上記(2), (3)式は、模型試験結果から実船の性能を推定するときの基本になります。

2. 抵抗係数の違いの修正 自航試験のテクニック

前述のように、模型船の全抵抗係数 C_{TM} は実船 C_{TS} に比べて大きくなります。全抵抗係数が異なりますと、船を前進させるのに必要なプロペラの負荷も違つてしま

うが船体抵抗やプロペラスラストに比べて圧倒的に大きい場合は、模型船の速度変化の時定数が大きいため、模型船速度が所定の値に整定したか否かを判断するのが困難になります。

図-4はこの問題を解決するために開発した方法で、模型船を抵抗試験時に使用する抵抗動力計に繋いで試験する方法です。この場合は、曳引車に搭載された抵抗動力計が模型船に前進方向の力 F を掛ける訳ですが、この力の大きさが上記の ΔR_v に等しくなるようにプロペラ回転数を調節します。この方法の場合は、模型船の速度は一定ですので、計測系の時定数は図-3の場合に比べて格段に小さくなり、計測精度を確保できます。

当センターでは、従来は図-3の方法によっていましたが、VLCC等の試験が実施されるようになってからは図-4の方法を採用しています。

- 1) 日本造船技術センター技法 N0.2 (1974)

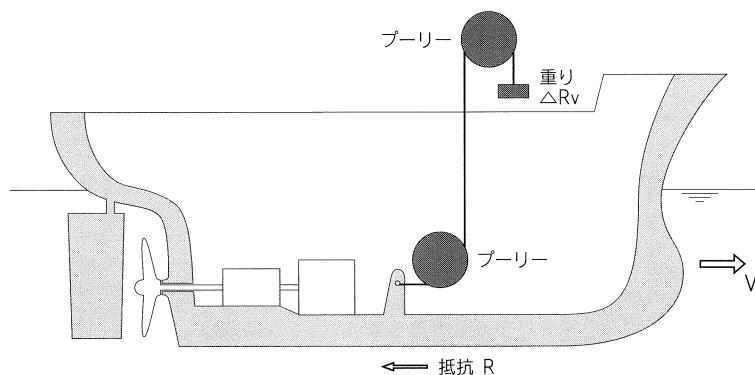


図-3 船速を合わせる自航試験法

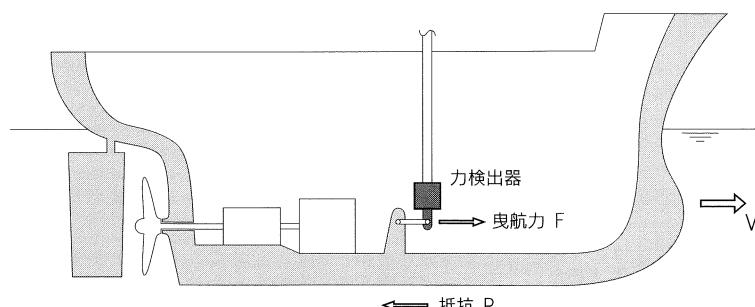


図-4 模型船に加える力 F を合わせる自航試験法

商船の推進性能の変遷に関する一考察

—今世紀80年間の船の資料にみる—

1. はじめに

「船舶の性能に関する研究が行われてきているが、戦前に比べてどの程度の性能改善が達成されているのか一般的に述べよ。」との問い合わせを投げかけられることが度々ある。船の設計は、それぞれの時代のニーズや技術的な制約の中で、多様な設計条件のもとに進められてきている。これを水槽屋は主要な条件を同じにして、こまかく形状を変えた船型のシリーズテストによって説明しようとするが、この回答は誠に難解で、いたずらに、お互いの不信感を増しかねない。しかしながら、このような問い合わせることは、新しい船型の開発や新分野研究テーマへの取組みの際に、自分のよって立つベースを認識し、又、これから着手するプロジェクトの位置付けを明確にして、本人は勿論、関係者の理解を得る上で、必要と考えられる。

そのような試みの一つとして、今世紀初頭より、1980年頃までの約80年間にわたり、我国において、建造された長さ100メートル以上の外航商船の公表データの中から、比較的資料の整備された144隻について、推進性能の評価を行い、歴年ベースの変遷の傾向を抽出した。評価法としては、通常用いられる推進性能推定法の適用は、整合性のある水槽試験データが皆無の状況では不可能なため、船の経済性評価に用いられる手法に倣つた評価指標を、それぞれの船の試運転データより求めて、比較評価を行った。以下、その結果を紹介する。

2. 評価指標について

船の推進性能は速力(V)と馬力(PS)の関係で示される。又、アドミラリティ係数(C_{adm})⁽¹⁾や揚抗比(ϵ_H)⁽²⁾によって、馬力、排水量(Δ)、速力の異なる船の間の推進性能の比較が行われる。

$$(1) C_{adm} = \Delta^{2/3} \times V^3 / PS$$

$$(2) \epsilon_H = PS / \Delta \times V$$

ただし、アドミラリティ係数及び揚抗比ともに、比較的要目の似た、同じ船種間の評価に用いられ、船種、主要目等の広い範囲を

単純な式と数少ないパラメータによって精度良くカバーする指標に十分なものはない。

船の経済性評価においては、初期資本(建造費)と船の一生を通じた運航費の和と、船の一生を通して得る運賃収入との比で表す運航指標が用いられており、基本設計における経済性比較等に使用されている。この式の中の運航費の内容は、人件費、燃料油代、保険料、営業費用、保守点検、償却等を含むが、推進性能に対応するのが、燃料油代である。運賃収入は、運搬する貨物の量に対応し、載荷重量×航海速力に比例し、燃料油代は、燃料消費率×馬力に比例するから、推進性能は、燃料消費率×馬力/載荷重量×速力によって評価することとなる。なお、これに燃料の発熱量を考慮し、又、載荷重量に代えて、排水量として、船舶のエネルギー消費原単位(ϵ)と称する評価指標も用いられる。すなわち、

$$\epsilon = \epsilon_E \times \epsilon_H$$

ここで、 ϵ_E はエンジンのエネルギー指標、 ϵ_H は船の省エネルギー、すなわち推進性能を表す指標であり、それぞれ、

$$\epsilon_E = \text{燃料発熱量} \times \text{燃料消費率} (\text{kcal}/\text{PS.h})$$

$$\epsilon_H = \text{馬力} / \text{排水量} \times \text{速力} (\text{PS} / \text{t.km/h})$$

である。以上の指標は、エンジンの性能と船の推進性能の積であらわされ、経済性評価及び水槽試験による評価に対応させて、理解しうる簡易な指標であり、本稿においてはこれらの指標によって、多数のデータを比較検討することとした。

3. 調査対象船のデータと検討結果

調査対象船は、我国において戦前戦後にわたり建造された長さが100メートル以上の外航商船のうち、使用目的、主要目比、肥大度の似た144隻の貨客船、貨物船、コンテナ船を選定し、更に竣工年次及びエンジンの種類により、7グループに分類した。次に、各船の公表された試運転データから、試運転を実施した排水量、最大連続出力(M.C.O.)における馬力及び速力、更に燃料消費率及び燃料発熱量を読み取り、 ϵ_E 及び ϵ_H を算出した。ただし、主機と補機の合計の燃料消費率の記載の場合は、その90パーセントを、燃料油の発熱量の記載のない場合は10200kcal/kgを、それぞれ、採用し、石炭の発熱量は資料記載の機関諸元データから計算した。以上の結果を船の肥大度を

表-1 船舶の省エネルギー性能の変遷

グループ	主機関	竣工年	隻数	ϵ	ϵ_E	ϵ_H	L/B	Cb	L/B×(1-Cb)	Fn
①	石炭焚 レシプロエンジン	1899 ～1936	28	152.6	5.35 $\times 10^3$	28.7 $\times 10^{-3}$	7.76	0.760	1.86	0.22
②	石炭焚 蒸気タービン	1908 ～1935	9	132.9	4.19	31.9	7.66	0.708	2.34	0.24
③	ディーゼル	1924 ～1933	9	48.8	1.63	29.9	7.59	0.718	2.14	0.23
④	ディーゼル	1952 ～1955	17	55.3	1.71	32.4	7.27	0.724	2.01	0.26
⑤	ディーゼル	1957 ～1961	17	54.1	1.73	31.3	7.08	0.728	1.93	0.25
⑥	ディーゼル	1968 ～1975	28	48.2	1.65	29.3	6.59	0.679	2.12	0.26
⑦	ディーゼル	1975 ～1981	36	37.3	1.54	24.2	6.28	0.702	1.87	0.26

ϵ : 船舶のエネルギー消費原単位 kcal/ton·km

ϵ_E : 主機関の消費エネルギー指標 kcal/PS·h

ϵ_H : 船体の省エネルギー指標 PS/ton·km/h

L : 船長 B : 船幅 Cb : 方形肥瘦係数

Fn : フルード数 V/\sqrt{C} V : 連続最大出力における速力

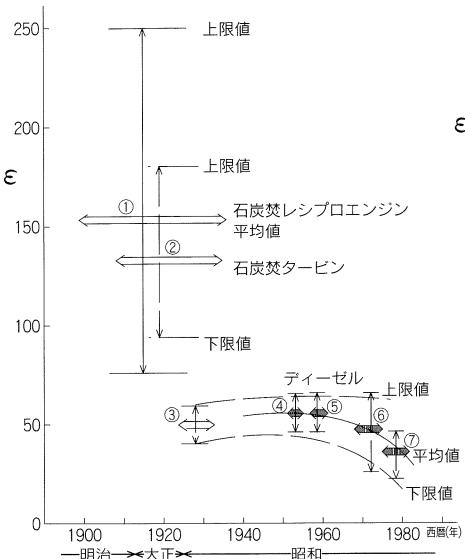


図-1 船舶のエネルギー消費原単位の変遷

示すL/B(1-Cb)と共に表-1に示す。なお、 ϵ 、 ϵ_E 、 ϵ_H については各グループの平均値を示している。

各グループの ϵ 、 ϵ_E 、 ϵ_H の平均値を、歴年ベースに比較した結果を、図-1、2、3に示す。戦前のレシプロ型及びタービンの評価指標 ϵ_E は、戦前、戦後のディーゼルエンジン及び戦後のタービンに比べて大きく、これが、戦前の船のエネルギー消費原単位が、著しく大きな原因の1つとなっている。ディーゼルエンジン船については、 ϵ_E は歴年ベースで減少の傾向はあるが、 ϵ の変化に比べてその変化は小さく、 ϵ すなわち、船体の性能が、 ϵ の変化に大きく影響していると言える。

この結果よりみると、船体の推進性能向上の成果が具体的に顕在化するのは、我国造船業が主要輸出産業の一つとしての地位を確実にし、船型開発に係る研究投資の増える1960年(昭和35年)以降である点が興味深い。

4. 評価

3.において、144隻のデータを7つのグループに分類し、各々のグループの平均値で性能の変化を示したが、それぞれのグループ内のデータのバラツキは大きい。その主要な原因是、個々のデータの速力の相

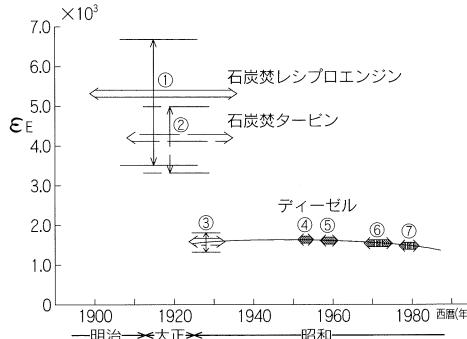


図-2 主機関の消費エネルギー指標の変遷

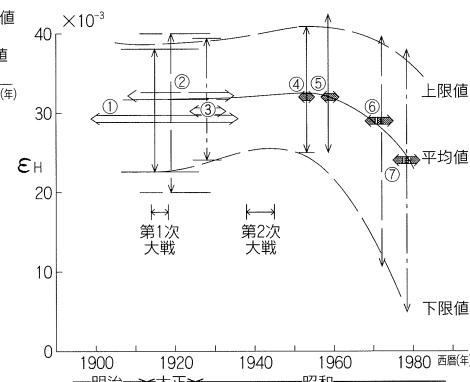


図-3 船体の省エネルギー指標の変遷

違にある。図-4にフルード数ベースに夫々の ϵ_H の範囲を示す。 ϵ_H はフルード数に比例して、すなわち速力と共に増加している。この傾向よりすれば、戦前のグループ1の平均値が1950年代の平均値に比べ ϵ_H の良い理由は速力、すなわちフルード数の低いことにある。なお、フルード数の範囲と肥大度を考慮すれば、グループ4、5はフルード数

あるが、1960年代に入ってからの性能改善は著しいものがある。すなわち、グループ1の平均フルード数において比べると、戦前のグループ1より1960年代以降のグループ7の ϵ_H は約50パーセント、又、1950年代のグループ4、5の平均フルード数において比べると、グループ7はグループ4、5に比べ、約30パーセントの減少、すなわち、性能改善が示されている。ただし、この中には、船型の改善、プロペラ効率の向上に加え、船の大型化やリベットと溶接という工作法による船体外板粗度の相違等、それぞれの時代の技術的背景の影響も含まれていることに注意を要するが、少なくとも、他の技術的背景となる条件に大きな差のない戦後建造船のグループ間の評価に関しては、船型やプロペラという曳航水槽試験のテーマが、性能改善の主役であったと言えよう。

5. おわりに

20世紀初頭からの約80年間を通じて我が国で建造された144隻の主要目比や肥大度の類似する貨客船、貨物船、コンテナ船等につき、試運転データをもとに、簡単な評価指標により、推進性能の変遷を抽出し、定性的ではあるが、性能改善のトレンドを明確に示す結果を得た。なお、戦後の1960年代及びそれ以後の海上輸送の主役であるVLCCをはじめとする大小のバルクキャリアや大型高速コンテナ船等に関する評価については、今後の課題としたい。

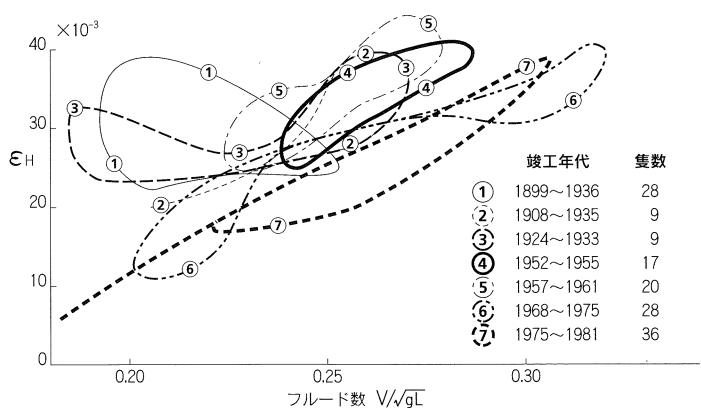


図-4 船舶の省エネルギー指標比較

消防艇「かくりゅう」について

1. まえがき

新消防艇「かくりゅう」は、長崎市消防局に所属する総トン数19トンの伸縮放水塔を装備した小型高性能の消防艇で、旧「はくりゅう」(旧36.61トン)の老朽化に伴い新しく建造された最新鋭の化学消防艇である。

本消防艇は、長崎市沿岸区域の火災、海難事故等への迅速な対処を目的としており、その主たる作業は、

- 1) 海上における船舶、沿岸危険物設備及び、建築物等の火災に対する消防活動
- 2) 海上における緊急救助活動
- 3) 流出油等の海面処理
- 4) 消防自動車への大量送水
- 5) 災害時の物資輸送

である。

2. 基本設計及び工程

基本設計及び建造監理

(財)日本造船技術センター

建 造 長崎造船株式会社

起 工 平成6年10月25日

進 水 平成7年2月24日

就 航 平成7年3月15日

3. 主要目等

(1) 船質及び航行区域

船 質 耐候性高張力鋼
(耐力35kg/mm²以上)
一部耐食アルミニウム合金

航行区域 限定沿海区域

船 型 V型

救命設備 第四種船

(2) 主要寸法等

長 さ (全長) 17.00m

△ (水線長) 15.90m

幅 (型) 4.35m

深 さ (△) 1.95m

計画満載喫水 約1.10m

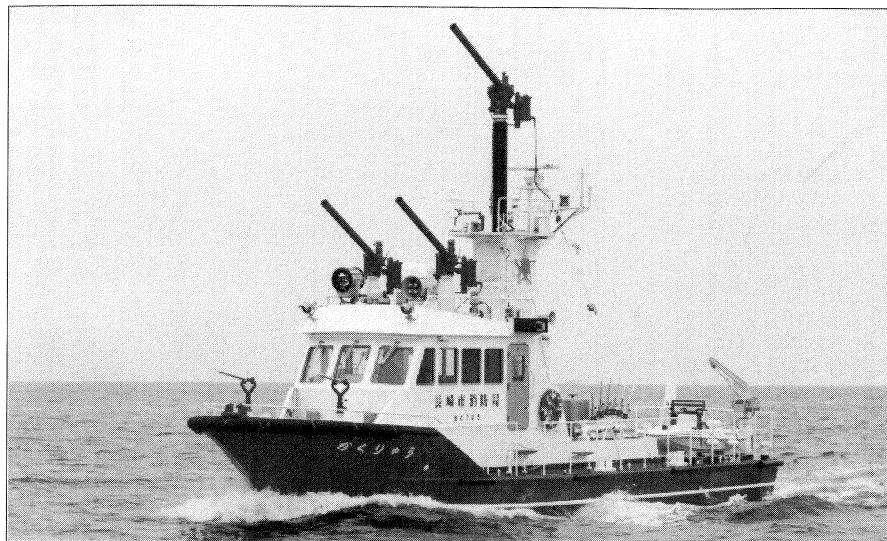
総トン数 19トン

(3) 速力及び航続時間

常備状態速力 巡航15.5ノット

試運転状態速力 最大17.1ノット

航続時間 約10時間



航走中の「かくりゅう」

(4) 最大搭載人員

船 員 4名

その他乗船員 12名

(航行予定時間1.5時間未満)

(5) 機関

主機関

2サイクル高速ディーゼル機関

連続定格 600PS×2,170rpm×2基

発電機関

4サイクル高速ディーゼル機関

定格 32PS×1,800rpm×1基

(6) プロペラ

3翼固定ピッチプロペラ

直径830mm、ピッチ700mm

(7) 消防装置

消防ポンプ

2段渦巻ポンプ×2基

容量×揚程

6,500ℓ/min×150m

放水砲

伸縮放水塔上 自動遠隔操作型

5,000ℓ型×1基

操舵室頂部 自動遠隔操作型

4,000ℓ型×2基

伸縮放水塔 シリンダーストローク

2.0m

伸長速度

1.0m/min



操舵室

(8) 主要タンク類

燃料タンク 1,300ℓ×2個

清水タンク 300ℓ×1個

(ステンレス製)

泡状液タンク 2,000ℓ×1個

(ステンレス製)

FRPコーティング)

油処理剤タンク 500ℓ×1個

(ステンレス製)

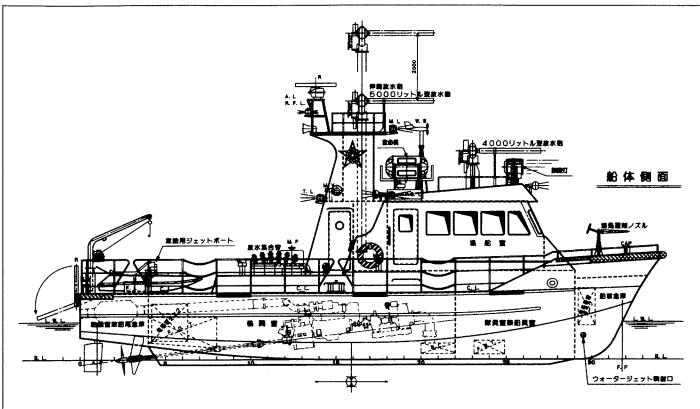
FRPコーティング)

ビルジ溜タンク 150ℓ×2個

油ドレンタンク 30ℓ×1個

汚物タンク 200ℓ×1個

(ステンレス製)



4. 船型及び構造

船型は単胴V型とし、上甲板下は水密隔壁により4区画に分け、上甲板上には操舵室、伸縮放水塔及び洗面所等を配置した。

構造は縦肋骨全溶接構造とし、上甲板以下は耐候性高張力鋼製、操舵室、ケーシング、及び伸縮放水塔の上部構造物は、重量軽減と重心降下を図り耐食アルミニウム合金製とした。伸縮放水塔取部の板厚を増厚し、スティフナー等で十分な補強を行った。

鋼製とアルミ合金製との接合部は、クラッド鋼板を採用した。

5. 特長

- 1) 初期消火及び人命救助に効力を発揮するため、常備状態で15ノット以上の速力として機動性を確保した。
- 2) 火災時において高所からの有効な消火活動を行うため、油圧式伸縮放水塔を装備した。
- 3) オメガクラッチを設け、両舷推進軸と消防ポンプを同時に駆動することにより、船位保持をしながらの有効な放水を可能とした。
- 4) パウスラター及び油処理剤の拡散等を行うために、ウォータージェット装置を設け、動力は消防ポンプによるものとした。
- 5) 操舵室内において、消防ポンプの発停、放水バルブの開閉、放水砲の角度操作等が行えるよう自動化を図った。

6. あとがき

本艇は、高所からの放水を可能とする伸縮放水塔の装備や救助用ボート等を搭載するなど、大型消防艇に匹敵する高性能の消防艇となっている。

最後に、本艇の基本設計及び建造監理を進めるにあたり、常に積極的なご支援とご高配を賜った長崎市消防局関係者に対し厚く御礼申し上げます。

また、建造に際しては、長崎造船株式会社をはじめとして関係メーカー各位が高度な技術と誠意を持ってご協力、ご努力されたことに感謝いたします。

雑感

水槽曳引車の変遷について

今から20数年前、船舶技術研究所の一番最後の時代の曳引車速度制御方式はワード・レオナードという方式であった。この方式は、三相誘導電動機で運転される直流発電機の界磁電流を調整して、曳引車の直流電動機に加わる電圧を調整し、速度を連続的に変化させるものである。試験課員は、曳引車の速度を一定に保つために調整用ボリュームを握りしめ電圧計を見つめて、いつも一定の電圧（一定速度）になるよう、一生懸命調整した。また、曳引車の発進・停止時に模型船にショックを与えないよう細心の注意を払ったものである。そして、日本造船技術センターに移行すると同時にサイリスタ・レオナードという方式に変わった。この方式は直流を得るのにわざわざ発電機を回すことなく三相の交流からサイリスタという半導体で直流を直接得る方式で、曳引車上にそのコントローラ部は乗せられている。そして、今までに時代の要求や技術の進歩に合わせて合計3回、約10年に1度の割合で曳引車の制御部は更新してきた。サイリスタ・レオナード方式になってからは、以前とは比較にならないほど精度の向上をもたらし、また、試験課員への負担を減らすという事に役立ってきた。サイリスタ・レ

オナード方式という基本的な制御方式は変わっていないが、最初の方式から今現在使用されている方式を比べて見ると、その内容は格段に違っている。最初の制御方式は速度の設定こそ4桁のダイアルで指示するデジタル方式であったが、その方法は、精密な抵抗で分圧するという、ほとんどアナログに近いものであった。次に更新されたものは、制御演算部に8ビットのCPUが使用され名実ともにデジタル速度制御に変わった。この時からミニコンピュータとも接続が可能となり、あらかじめ作られたソフトウェアによって曳引車の制御から計測器の制御まですべて自動的に行う事ができ、貴重な昼休みの一時間を無人で試験が出来るようになった。そして今一番新しいものは、演算部が8ビットから16ビットのCPUに変わり、より精密に曳引車制御が行われている。演算速度の向上やバスラインの強化により、それに接続するコンピュータも、パソコンで対応出来るようになり、性能を維持しつつ安いコストですむように設計されている。このような貴重な水槽や曳引車の機能を他の分野で活躍出来るような手だてはないものだろうか、いつも、もったいないなと思うばかりである。

理事会、業務運営委員会、懇談会

年度末開催の定期会議が、以下のように開催された。

第102回理事会

期日 平成7年3月30日（木）
場所 日本海運俱楽部
出席 理事 12名
監事 2名
運輸省 1名

第68回業務運営委員会

期日 平成7年3月17日（金）
場所 日本海運俱楽部
出席者 委員長及び委員 10名
運輸省 1名
造技センター 6名

第7回懇談会

期日 平成7年3月10日（金）
場所 四国運輸局
出席者 懇談会メンバー 8名
四国運輸局 1名
造技センター 4名

船舶CADシステムの導入

当センターの設備近代化の一環として、3次元曲面生成機能を重視した舶用CADシステムを導入し、模型船図面関係作業の電算化に踏み出した。これを起点にして、周辺システムの整備を進め、模型船製作全般の合理化を進めて行く。なお、システムはMac Surfとして、現有のシステムとのつながりを考慮して、仕様を決定している。

本システムは船型の3次元曲面データのデジタル化により、船舶流体力学理論（CFD等）による船型最適化等の開発テーマへの応用や、いろいろな業務成果のプレゼンテーション能力の向上等が期待されている。

北極海沿岸航路開発プロジェクト スピッツベルゲン会議

日本、ノルウェーおよびロシアの3国共同によるシベリア北岸を経て、極東と欧州を結ぶ商用航路開発のための調査プロジェクト（INSROP）が、3年目を迎えるが、2年間の成果のレビューと今後の計画等の討議のための会議が、平成7年3月下旬、北極海に浮かぶノルウェー領スピッツベルゲン島にて開催され、当センターより北川常務理事が出席した。

本年は、横浜とノルウェーのキルケネス間のシベリア北岸沿いの予想航路で、具体的に貨物を搭載した耐氷商船による実船航海を実施する他に、これまでの本プロジェクトを広く一般に理解して貰うことを目的としたシンポジウムが我国で開催されるなど、いろいろな活動が予定されている。

水槽貸出について

独自の開発のための基礎調査に関する実験を、模型や装置を持ち込んで、造技センターの設備を使って、考えながら、かつ、安価に行いたいという顧客ニーズに対し、設備貸出という方法によって対応している。

設備運転に必要な職員1名付で、例えば1週間という期間中、自由に設備を使い、実験内容について完全に秘密が守れる上に、安価という利点が注目され、昨年度は数件の実績が数えられた。開発を進めるにあたり、いろいろなアプローチの方法がある。当センターとしては、技術的な支援は勿論であるが、設備利用についても、いろいろな方法を提供して、顧客の期待に応えるよう努めている。



造船技術センターの活動について、ご理解を深めて頂く一環として、当センター職員による現場の状況紹介、日頃考えていること等を掲載いたします。今後もこのような企画を続けますので、ご一読下さるようお願いします。なお、毎号掲載の新造船と復原性は今回休みます。次号より体裁も新たに掲載致しますので、ご期待下さい。（K.T.）

申込みの受付

試験等の申込み、問合せは当センター企画室までお願いします。

〒171 東京都豊島区目白1-3-8
TEL 03-3971-0266 FAX 03-3971-0269

財団法人 日本造船技術センター(SRC)