SRC News
No.67 April 2006
The Shipbuilding Research Centre of Japan

No. 67 ●目　次●

浅水域性能に関する水槽試験 page 1
トリマランの復原性について
－損傷時復原性の通常船との比較－ page 2
日本造船技術センターにおける
具体的なCFD計算例（その１） page 4
我が国初のバリアフリー対応FRP小型旅客船
塩竈市営汽船「うらと」 page 6
新しい船型を求めて
バラスト水を使わない船舶 page 8
ハイブリッド推進装置搭載船の水槽試験
（その１）－試験装置－ page 10
新造船と復原性 page 12

本　部（飯田橋）

試験センター（三鷹）

財団法人 日本造船技術センター
〒112-0004　東京都文京区後楽2丁目1番2号
興和飯田橋ビル7階
TEL 03-3868-7122　FAX 03-3868-7135

試験センター
〒181-0004　東京都三鷹市新川6丁目38番1号
（独）海上技術安全研究所2号館内
TEL 0422-24-3861　FAX 0422-24-3869

浅水域性能に関する水槽試験

通常の大型船は水深が十分に深い大洋を航行しますが、海峡や港湾への水路、河川などの浅くて狭い航路を必ず航行します。浅い水路の航行が海に面した港湾への出入等の短時間であれば、港内操船等の課題はありますが、水深が浅いことからの影響をさほど意識することはありませんが、河川に沿う内陸深くの港への接近、水深の浅い海域が広がる沿岸航路の航行においては、水深の浅い事に起因する現象と推進性能や操縦性能への影響を把握し、適切な対策を講じる必要があります。ライン河やドナウ河等の大きな河川に就航する船舶が物流の重要な位置を占めるヨーロッパでは、船舶水槽設備には必ず浅い水深での性能調査用専用水槽が併設されていますし、河川用船舶専門の研究施設すらあります。

日本の場合は、昭和40年代、大型化するタンカーのマラッカ海峡通過時や港湾内での安全性の観点から、船体沈下や操縦性についての研究が盛んに行われ、大型肥大船の運航指針に纏められました。しかしながら、その後頻発したタンカー座礁事故による流出油汚染への対処上も浅い水深での性能は依然として重要な研究課題です。

日本造船技術センターにあっては、海上技術安全研究所所属の水槽設備（中水槽）を活用し、操縦性は勿論、実施例の少ない浅水域での推進性能や船尾流場に関する水槽試験にも対応しています。写真は、肥大船型の模型船についての浅水深状態の自航試験と斜航試験の状況です。

トリマランの復原性について
―損傷時復原性の通常船との比較―

はじめに

SRC News No.65/No.66にトリマラン型高速船の復原性の特徴を通常の高速船型と比べて紹介しました。即ち、初期復原力は大きいものの、かなり小さな傾斜角で片舷の副船体船底が空中に露出し、更に傾斜して主副船体間構造下部に水面が触れるまで復原力は伸び悩み、そこから増加に転じて、水面が副船体舷側を越え上甲板に浸入する段階から減少する復原力曲線の傾向と高速船に要求される強風下復原性評価指標C係数を示しました。本稿では、損傷時の復原性特性を通常の高速船型と比べて示します。

1．トリマランの復原力曲線の例

SRC News No.66で示したトリマランに対し、重心を高くした場合の復原力曲線を計算してみました。なお、SRC News No.65とNo.66に示した船体多項式表示、主副船体の配置と断面形状を採用します。表－1に計算条件を示します。

表－1　トリマランの主要目等

Case	Bt1-0	主船体	副船体	Bt1-1	Bt1-3
DW(t)	3004	–	–	3004	3004
L (m)	165	165	45	165	165
B (m)	32	16.5	3	32	32
D (m)	13	13	10	14	15
d (m)	6	6	3	6	6
Δ(t)	9371	8929	221x2	9371	9371
KG(m)	8.45	–	–	9.10	9.75
GM(m)	2.19	–	–	1.54	0.89
GM*(m)	-0.07	–	–	-0.71	-1.4
A (m^2)	2145	–	–	2301	2475

風圧側面積Aは高さ3mの上部構造が2層、全長に渉り上甲板上に載ると仮定して求めた値です。なお、便宜上深さと共に増えるべき船体重量分を省略します。GM*は副船体船底が露出した傾斜状態のメタセンター高さで傾斜による喫水変化のKB、BMへの影響は考慮されていません。参考に、DWがほぼ同じ通常船型の計算結果も併せて示します。表－2に通常船型の主要目等を示します。

表－2　通常船型主要目等(Case B-3)

DW(t) = 3010
L(m) x B(m) x D(m) = 140 x 22 x 12
d(m) xΔ(t) x KG(m)= 5.5 x 9260 x 7.8
GM(m) x A(m^2)　= 1.55 x 1750

図－1に以上のトリマラン及び通常船型（単胴）の平面図を示します。

図－1　供試船型比較図

図－2にトリマランと通常船型の復原梃曲線の比較を示します。トリマランは初期GM減少に対応して、副船体の復原力喪失傾斜角付近で全体の復原力は顕著に減少します。又、この付近で通常船型と同程度の復原梃とするには、GM*を0程度に設定する必要がありそうです。

図－2　復原梃曲線比較図

2．損傷時復原性の評価について

損傷時復原性の評価については、国際的規約の動向をSRC News No.66に紹介しましたが、本稿では、設計便覧記載の方法を基に、検討条件を以下の様に設定します。

損傷前喫水;計画喫水d(m)、Lf(m)=L(m)
損傷範囲等;計画喫水で横方向舷側B/5
　　長さ方向(1/3)Lf^2/3
損傷区画等;船体中央で2区画浸水
　Case(1) 片舷側B/5区画まで
　Case(2) (1)に舷側区画に挟まれた
　　範囲を追加 幅=(3/5)B

なお、計算の便宜上、損傷範囲は偶然空所状態にあったとします。

トリマランの場合は、表－1のCase Bt1-0について、上記のCase(1)、(2)が主船体に生じた場合と、更に、主船体損傷側の副船体も損傷する場合を追加します。なお、副船体は全幅にわたり、空所に浸水する事とします。下表に浸水計算条件を示します。

表－3　通常船型の浸水条件

Case	(1)	(2)
Lf	140.0m	
L=(1/3)Lf^2/3	9m x 2	
bs=B/5	4.4m	
bc=B-(2/5)B	-	13.2m

表－4　トリマランの浸水条件

Case	(1)	(2)	(3)	(4)
Lfc	165m			
lc	10mx2			
bsc	3.3m			
bcc	-	9.9m	-	9.9m
Lfw	-		45m	
lw	-		10mx2	
bw	-		3m	

添字c、wは主船体、副船体を示します。計算結果は、浸水箇所、浸水後最終に行き着いた状態及びその状態での復原梃曲線で示します。

図－3に通常船とトリマランCase(1)の状態、図－4に夫々のCase(1)の復原梃曲線を示します。双方共に傾斜するものの安全に浮上します。ただし、トリマランの方が副船体の効果により傾斜が少ない状態で安定します。図－5に通常船とトリマランのCase(2)の状態、図－6に夫々のCase(2)復原梃曲線を示します。船体中央部の浸水により、喫水が深

図－3－1　損傷時状態　Case(1)

図－3－2　損傷時状態　Case(1)

図－4　損傷時復原梃曲線　Case(1)

図－5－1　損傷時状態　Case(2)

図－5－2　損傷時状態　Case(2)

図－6　損傷時復原梃曲線　Case(2)

図－7－1　損傷時状態　トリマラン　Case(3)

図－7－2　損傷時状態　トリマラン　Case(4)

図－8　損傷時復原梃曲線　トリマランCase(3), Case(4)

くなり、傾斜は僅か戻ります。図－7にトリマランの副船体が損傷した場合の状態Case(3)，(4)を図－8に復原梃曲線を示します。副船体のみが損傷した場合は転覆しますが、副船体と主船体が同時に損傷した場合はなんとか浮上していますが、僅かな傾斜で転覆する不安定な状態です。

以上僅かなケーススタデイですが、トリマランでは、主船体のみの損傷の場合は副船体の復原力により通常船よりも安全な状態を保てますが、片方の副船体が損傷すると容易に危険な状態になるようです。トリマランは副船体の復原力により、安定な状態が確保できることが特徴ですが、それ故に、副船体の効果が損なわれた場合のリスクと対策を考慮する必要がありそうです。

日本造船技術センターにおける具体的なCFD計算例（その１）

○　理論的背景

SRC News No.66号では、現在使用しているCFD関連のプログラムについて解説したが、本稿ではその理論的背景について簡単に述べる。

CFDでは、コンピュータで船体周りの流体現象をシミュレートするが、流体現象を記述する方程式を（パソコンで計算するために）離散化する必要がある。なお、乱流が発達する船体周りの流体現象はReynolds-averaged（レイノルズ平均）方程式で記述する事が多い。

○　NS方程式

NS方程式は式1のように記述される。この方程式をパソコンで解く、という事について簡単に説明する。

式1　NS方程式

$$\frac{\partial U_i}{\partial t}+U_j\frac{\partial U_i}{\partial x_j}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}\nu\frac{V_i}{\partial x_j}$$

(i=1,2,3で、それぞれ1がx、2がy、3がz方向である)

Uiは流速ベクトルの各成分、xiは位置ベクトルの各成分である。

NS方程式は、変数として流速U、圧力p、時間t、空間x、定数として密度ρ、動粘性係数νにより構成されていて、ある瞬間t_0の船体周りにおける流速や圧力が与えられていれば、ある時間t_0からdtだけ時間が経過した次の時刻t_0+dtにおける流速や圧力を計算する事ができる。この場合の船体周りにおける流速や圧力は、空間内の全ての点で定義されている必要がある。この計算を行う空間の範囲や点の数（格子分割数）は要求する計算精度とパソコンの能力を勘案して決定される。図－1に日本造船技術センターにおいて一般的にCFD計算を行う格子の様子を示す。なお、分かりやすくするために空間領域の端の格子のみ図に示したが、実際はこの境界に囲まれる範囲の空間上全てに計算点は分布している。

図1　計算格子

計算はある時刻t_0における流速、圧力を全ての格子点で与えて（初期流場を与えて）開始される。初期流場は例えば直進状態の場合は全ての格子点でU_1=U, U_2=0, U_3=0（Uは前進速度）を与える事が一般的である。初期流場から時々刻々と計算が進んで行くと流場の状態が徐々に収束してくるので十分に収束したと判断した段階で計算を止める事となる。

○　レイノルズ方程式

式2にレイノルズ方程式を示す。レイノルズ方程式は乱流、つまり乱れた流れの速度を平均的な成分と変動成分に分けてNS方程式に代入して平均をとった場合（レイノルズ平均化）、変動成分の二次の項がレイノルズ応力項として残り、NS方程式に付加される形式となっている。

$U_i=\overline{U_i}+u_i$, $P=\overline{P}+P'$,

ただし、ui、P'は変動成分

とし、式1に代入して時間平均をとると変動成分の一次項は消えて二次項が残り、式2が得られる。

レイノルズ応力項は9つ（流れの等方性を仮定すれば6つ）の成分があるが、ブシネの渦動粘性の仮説を採用する事で渦動粘性係数ν_tとして1つの成分を表現する事が出来る。この場合のレイノルズ方程式は式3にように記述される。NS方程式との違いはνtが新たに変数（定数ではないので注意）として組み込まれている。このν_tは乱流モデルにより計算される事となる。

式2　レイノルズ方程式

$$\frac{\partial \overline{U}_i}{\partial t}+\overline{U}_j\frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_i}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial \overline{P}}{\partial x_i}+\left[\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\nu\frac{\overline{U}_i}{\partial x_i}-\overline{u_i u_j}\right)\right]$$

式3　レイノルズ方程式（渦動粘性係数）

$$\frac{\partial \overline{U}_i}{\partial t}+\overline{U}_j\frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_j}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial \overline{P}}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}(\nu+\nu t)\frac{\overline{U}_i}{\partial x_j}$$

なお、乱流現象を精度よく式1から直接計算するにはパソコンの能力が不足しているので、ブシネの仮説によりν_tの形で乱流の影響を評価するレイノルズ方程式を計算しているのが現状である。

日本造船技術センターで使用しているCFDプログラムであるNICE, NEPTUNE, SURFはいずれも式3のレイノルズ方程式を数値的に解いて船体周囲流場のシミュレーションを行っている。

○　乱流モデル

各CFDプログラムで使われている乱流モデルは次の通り。

NICE・・・

Baldwin-Lomax（BL）モデル、
SR222修正BLモデル

NEPTUNE・・

BLモデル、SR222修正BLモデル、
Spalart-Allmaras(SA)モデル、
修正SAモデル

SURF・・・

SAモデル、修正SAモデル

これらの内、BLモデル、SR222修正BLモデルは0（ゼロ）方程式モデルに、SAモデルと修正SAモデルは1方程式モデルに分類される。それぞれのモデルについて簡単に述べると、

1）ゼロ方程式モデル

ゼロ方程式モデルは、物体（船体表面）からの距離の関数で、乱流の速度スケールと距離スケールを与えてνtを計算する方法である。補助微分方程式を解く必要がないので、ゼロ方程式モデルと呼ばれている。このモデルは航空業界を中心に造船業界のみならず幅広く使われているが平板や翼面上の流れはよく計算できても、船尾流れのように肥った物体の後方の流れはうまく計算出来ない。そこで日本造船研究協会（現日本船舶技術研究協会）の第222研究部会により肥大船の船尾流れを上手く計算できるような修正を人為的に加えるSR222修正乱流モデルが提案された。このモデルはBLモデルに圧力勾配と縦渦の影響を組み込み肥大船の船尾伴流をある程度計算できるモデルとなっている。BLモデルによるν_tの計算式を式4に示す。図－2に計算と計測結果の1例を示す、

式4　BLモデル

（境界層内層）$\nu t = l^2 \cdot |w|$

（境界層外層）$\nu t = K \cdot Cpp \cdot F_{WAKE} \cdot F_{KLEB}(n)$

BLモデル　　SR222修正BLモデル　　水槽試験

図－2　伴流の比較

2）1方程式モデル

1方程式モデルは、乱流の距離スケールは物体からの距離で与え、速度スケールは乱流のエネルギ方程式を解いて与える方法である。その為、補助微分方程式を1つ解く必要があるので1方程式モデルと呼ばれている。従ってSAモデルはBLモデルより物理的にはより厳密であるが、肥大船の船尾流れを上手く計算できず、BLモデルと同様に修正SAモデルが提案されている。

SAモデルによるν_tの計算式を式5に示す。

式5　SAモデル

$\nu t = \tilde{\nu} f_{v1}(\tilde{\nu})$ であり、$\tilde{\nu}$ は以下の方程式により計算される。

$$\frac{D\tilde{\nu}}{Dt} = C_{b1}(1-f_{t2})\tilde{S}\tilde{\nu} - \left[C_{w1fw} - \frac{C_{b1}}{k^2} f_{t2}\right]\left[\frac{\nu}{d}\right]^2 + \frac{1}{\rho}\left[\nabla\cdot((\nu+\tilde{\nu})\nabla\tilde{\nu}) + C_{b2}(\nabla\tilde{\nu})^2\right] + f_{t1}, \Delta U$$

3）2方程式モデル

2方程式モデルは、乱流の速度スケールと距離スケール両方を微分法定式により計算する方法である。k-εモデルやk-ωモデルが良く知られており、造船分野に限らず広く一般に利用されている。kやεの輸送方程式を解き、ν_tを計算する。この計算式を式6に示す。

式6　k-εモデル

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\frac{\nu_t}{\sigma_k}\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) + \nu_t\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_i}{\partial x_i}\right)\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \beta g_i \frac{\nu_t}{\sigma_t}\frac{\partial \phi}{\partial x_i} - c_D \frac{k^{3/2}}{L}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\frac{\nu_t}{\rho_\varepsilon}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}\right) + c_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(P + c_{3\varepsilon}G) - c_{2\varepsilon}\frac{\varepsilon^2}{k}$$

4）レイノルズ応力モデル

レイノルズ応力モデルはブシネの渦動粘性係数の仮定を用いずに6つのレイノルズ応力成分をそれぞれ移流拡散方程式でモデル化するが、方程式中にモデル化が必要な項が非常に多いのが特徴である。この計算式を式7に示す。

式7

$$D\overline{u_i u_j}/Dt = D_{ij} + P_{ij} + \phi_{ij} - \varepsilon_{ij}$$

ここで右辺の各成分は次のように書かれる

$$D_{ij} = -\partial\left[\overline{u_i u_j u_k} - \nu\partial\overline{u_i u_j}/\partial x_k + \overline{p(u_j\delta_{ik} + u_i\delta_{jk})}/\rho\right]/\partial x_k$$

$$P_{ij} = -\left[\overline{u_j u_k}(\partial u_i/\partial x_k) + \overline{u_i u_k}(\partial u_j/\partial x_k)\right]$$

$$\phi_{ij} = \overline{p(\partial u_i/\partial x_j + \partial u_j/\partial x_i)}/\rho$$

$$\varepsilon_{ij} = 2\nu\overline{(\partial u_i/\partial x_j)(\partial u_j/\partial x_i)}$$

我が国初のバリアフリー対応FRP小型
（設計コンペから就航まで）

1．日本三景の特別名勝松島で市民の足として活躍する「うらと」

塩竈湾から松島湾に浮かぶ浦戸諸島、芭蕉も訪れた奥の細道に新鋭塩竈市営汽船「うらと」が、3月16日就航しました。「うらと」は、我が国初のバリアフリー対応FRP小型旅客船として、高齢化が進んでいる島民や多くの塩竈市民からその活躍が期待されています。

日本造船技術センターでは、「うらと」の建造にあたって設計コンペから建造管理まで携わって来ましたので、その概要をご紹介します。

2．設計コンペ

塩竈市は、我が国初のバリアフリー対応FRP小型旅客船として建造するため、広く造船所から叡智を募る設計コンペ方式を採用されました。これは、19トン型小型船に85名程度の旅客定員とバリアフリートイレをはじめ車椅子スペースなどを盛り込む大変厳しい設計を要求された「うらと」の建造に際して、一番良い方法となりました。

設計コンペティション方式は、基本計画で決まったどのような船を望んでいるのかという大まかな要求仕様を多くの造船所に提示し、造船所は要求仕様に基づいて設計を進め、船価とともにこんな船を造りますと提案（建造仕様書）し、提案された建造仕様書と船価の両方を見比べて、造船所を選定する方式です。

設計コンペ参加造船所は、冬季の回航の困難さを考慮して近畿地方までの太平洋側に所在する所を主体としました。その結果、数社が応募の意志を示し、設計コンペが始まりました。しかし、小型旅客船に多くの要求課題を実現させることは大変困難な作業でした。結局、ニュージャパンマリン（株）1社のみが提案書を提出し、塩竈市は当センターに対してこの提案が妥当なものか検討するように指示がありました。当センターでは、内部に専門家4名からなる評価・分析チームを設置し分析を進め、最終的には塩竈市新造船選定委員会で評価結果を報告いたしました。結果は、非常に高いレベル

旅客船　塩竈市営汽船「うらと」

の検討がなされているとの判断でした。

3．建造

設計コンペで建造造船所が決定し、いよいよ建造開始です。設計コンペで提出された提案に基づいて詳細設計が開始され、船体型製作、FRP積層と順次工事が始まりました。工場での作業環境も良好な中で、船が出来て行きます。順調に工事は進み、今年2月には海上試運転が実施されました。マイルポストは鳥羽湾の静かな所にありましたが、そこまでの往復は冬の季節風が吹き付ける耐波試験なみの航走となりました。マイルポストとともに、十分に「うらと」の良好な性能を確認することが出来ました。

「うらと」の主要目を下記に示します。

航行区域

平水区域（定期航路：塩竈～朴島）

長さ（全長）　18.50m

長さ（登録）　16.35m

最大幅　4.50m

深さ　1.90m

最大喫水　1.60m以内

総トン数　19トン

船質　FRP

航海速度（試運転最大）　19.9ノット

航続距離　332海里（18.1ノット）

旅客定員　89名（椅子席67名、立席22名）

主機関　ディーゼル機関389kW×1基

主要設備・装備

監視カメラ装置　後部甲板用

バリアフリー設備

車椅子スペース

バリアフリー椅子（4人分）

バリアフリートイレ

バリアフリー通路

出入り口スロープ（固定）

手摺り(点字表示付)、誘導ブロック、点字案内板、触知図案内板、音声案内装置

4．おわりに

浦戸諸島の野々島で開かれた就航式では、島民代表の方が「島には高齢者が多いので安全・安心を要望していた。配慮した船になっているので感謝しています」と歓迎の言葉を述べられたとのことでした。

おわりに、「うらと」の建造に当たって、浦戸諸島島民をはじめ塩竈市民の期待に応えるべく多くの情熱を注ぎ込まれた塩竈市の皆様そして多数のFRP旅客船建造のノウハウを遺憾なく注ぎ込まれたニュージャパンマリン（株）の皆様が誠意をもってご尽力いただいたことを付記します。

かけがえのない海の生態系を守るために
―新しい船型を求めて―　バラスト水を使

タンカー、バルクキャリア等の空荷状態では、喫水が浅くなることにより発生する船首船底スラミングやプロペラレーシングを防止するため、バラスト水を搭載することによって必要な喫水を確保して航海している（図－1参照）。

このバラスト水は莫大な量となり（図－2参照）、荷揚港で張水され荷積港で排水されることから、バラスト水中の生物が排出された海域で繁殖し既存の生態系の変化・破壊を引き起こしているという問題が指摘されている。

国際海事機関IMOにおいても、2004年2月にバラスト水の処理等に関する条約「船舶のバラスト水及び沈殿物の規制及び管理のための国際条約」が採択されたところである。本条約が発効する段階では、バラスト水中生物の殺滅処理等が義務付けられていくこととなる。

日本造船技術センターでは、このようなバラスト水問題に対する有効な対策の一つとして、Non Ballast Water Ship（ノンバラスト船“NOBS（のぶす）”）Conceptを考案した（資料1）参照）。これは、空荷状態でも、バラスト水を搭載しないで船首船底スラミングやプロペラレーシングの発生を防止するのに十分な喫水を確保できる船舶の設計概念である。この設計概念に基づき、平成13年度からタンカー、バルクキャリア等を対象に研究開発を行ってきた。平成15～17年度には、国の推進するプロジェクトとして国土交通省の主導の下、（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構及び（財）日本財団からご支援を受け、民間からの出資も得て、（財）日本船舶技術研究協会の場で、三菱重工業（株）、（株）アイ・エイチ・アイ　マリンユナイテッド、（財）日本海事協会及び（財）日本造船技術センターが技術開発主体となって、「ノンバラスト船の研究開発」を実施してきた。今般、この3カ年にわたる研究開発事業においてNOBS実用化の見通しが得られたので、以下にその概要を紹介する。

研究開発の概要

NOBSは、安全上必要不可欠と考えられてきたバラスト水を搭載することなく、安全航海が可能な船舶である。本研究開発では、平成13年度からの研究成果に基づき、大型タンカーを対象に、下記特徴を有するNOBS（図－3参照）

(1) 大きな船底傾斜を有する幅広船型
(2) V型船首形状
(3) 直径を制限したプロペラ

について研究した。主な開発目標は下記のとおりであった。

① バラスト水の海域間移送をしないで済む船型とする。
② NOBSのバラスト水を積載しない空荷状態（ノンバラスト状態）で、在来船型の空荷状態（バラスト状態）と同等の耐航性能（含、船首船底衝

図－1　船首喫水と船首船底衝撃圧力の計算例

現存のDW約13万トンタンカーの船首船底衝撃圧力計算例（規則波中、$\lambda/L_{PP}=1.0$）である。ただし、●印は水槽試験結果を示す。

本例では約4万トンのバラスト水を搭載して船首喫水は6m弱であるが、波高が4mでは船首船底衝撃は発生していない。波高が6mになると衝撃圧力が発生するので、船首喫水を8m近くまで深くする必要がある。

図－2 バラスト状態の搭載バラスト量

本図のバラスト量等は、日本造船技術センターで水槽試験を実施した在来船型のバラスト状態の排水量等から推定した。○印は原油タンカー、ばら積み船で、△印はその他の船種である。搭載しているバラスト水は載貨重量の30～70%であるが、通常は30～50%でありそれ以上のバラスト水は荒天時の積み増しである。

載貨重量が26万トンのVLCCの場合では、バラスト水/載貨重量の平均値は0.35で、搭載バラスト水は約9万トンとなる。VLCCの日本～ペルシャ湾間の年間航海数は約8回なので、72万トン/隻/年のバラスト水を海域間移送していることになる。

我が国の原油輸入量は2.5億kℓ/年で、石炭と鉄鉱石を併せると約5億トン/年になる。原油、石炭、鉄鉱石は専用船で輸入しており、日本出航時は空荷なので安全航海のためバラスト水を搭載する。バラスト水/載貨重量≒0.4とすると、この3品目の輸入関連だけで約2億トン/年のバラスト水と共に海洋生物を海外に持ち出していることとなる。

なお、我国は合計で約3億トン/年のバラスト水を持ち出し、1700万トン/年が持ち込まれている。

わない船舶（ノンバラスト船“NOBS”）

図－3　NOBS船型

撃圧力）を有する。

③　満載状態と空荷状態の平均燃料費を、在来船型の満載状態と空荷状態の平均燃料費に対して5%以上節減する。

推進性能試験、波浪中試験、操縦性能試験、試設計、規則適用の検討等の研究によって、

a) ノンバラスト船の空荷状態においては、バラストを搭載しなくとも在来船型のバラスト状態と同等の対航性能（含、船首船底衝撃圧力　図－4参照）を有すること、

b) 構造強度、操縦性能も問題ないこと、

c) 船幅を大きくしたこと等により上昇する船殻重量、建造費は推進性能向上（図－5参照）によって補えること、

が明らかになった（資料2)、3）参照)。

ノンバラスト船によって、これまで空荷状態では必要不可欠と考えられてきたバラスト水を搭載しなくとも安全航行が可能となり、異なる海域間のバラスト水移送を根本的に排除できる船型の実現可能性が確認された。

NOBS実用化に向けて

日本造船技術センターは、今後、造船会社や船会社と共同で、大型タンカー以外の船型・船種も含めて、個々の航路、港湾事情等を考慮したNOBSの具体化に関する研究開発を推進して行きたいと考えている。

国際条約で義務化が検討されているバラスト水内生物殺滅処理装置の製品開発が実現していない現在、処理装置に必要な設置スペース、設置費用、運転経費等も不明で比較はできないが、NOBSの研究成果が、今後、できるだけ早く実船建造に生かされ、NOBSが、IMO等で取り組まれているバラスト水管理の目的に適い、環境に優しい全く新しい次世代型の船舶として、海洋環境保全に大いに貢献することを期待される。

ノンバラスト状態　Vs=15.95ノット

図－4　船首船底衝撃圧力の水槽試験結果の比較

図－5　NOBSの推進性能試験
（スエズマックスタンカーの例）

資料

1) 米国特許 US 6,769,372 B2

2)「ノンバラスト船の研究開発　研究成果概要報告書」日本船舶技術研究協会

3) バラスト水を使わない船舶「ノンバラスト船“NOBS”」日本造船技術センター

ハイブリッド型推進装置搭載船の水槽試験（その１）
―試験装置―

１．はじめに

通常型プロペラの後方にポッドプロペラを配した形式の推進装置を持つ船型の研究が、近年盛んに行われるようになり、最近実船も就航しました。これは前プロペラが放出する回転流のエネルギーを後プロペラで回収する二重反転プロペラと同様のプロペラ効率向上を意図したもので、通常型プロペラ（前プロペラ）とポッドプロペラ（後プロペラ）をそれぞれ別系統の推進プラントで駆動するため、従来型の二重反転プロペラに比べ軸系の構造を簡単にできるというメリットがあります。このような形式の推進装置の正式名称はいまだ未確定ではありますが、ここでは巷間よく聞く“ハイブリッド型推進装置”という仮称を用いて稿を進めていきたいと思います。

このハイブリッド型推進装置については、SRC News No.63に前・後のプロペラを形式の異なる推進装置の組み合わせと割り切った簡易的な推進性能推定法を示し、No.65には二重反転プロペラの理論的な考え方をそれぞれ紹介しました。本稿ではこの推進装置を搭載する船舶の推進性能試験に関する日本造船技術センター（SRC）の取り組みを2回に分けて紹介します。今回は試験に使用する機器を中心とし、次回は試験計画から実際の試験方法についてを紹介したいと思います。

２．ハイブリッド型推進装置による水槽試験の概要

通常型推進方式の船型では、速力と馬力の関係を推定するために、抵抗試験と自航試験が行われます。抵抗試験では、船体を曳航したときに船体に加わる抵抗を測り、自航する船体とプロペラに加わる力は自航試験により把握することで、プロペラと船体との干渉を調べます。これらの試験を通して得られるデータより、船体自身の抵抗性能を表す抵抗係数とプロペラと船体との流体力学的な干渉を表す自航要素を算出し、別途プロペラ単独性能試験により把握したプロペラ性能を加え、速力と馬力の関係を推定します。

ハイブリッド推進方式でも、基本的にはこれと同じ過程で速力と馬力の関係を求めます。ただし、通常のプロペラと同時に船体後端部にポッド推進器を装備しているため、試験計画、試験法などがより複雑となり、それに対応した試験装置が必要になります。

ハイブリッド型推進装置搭載船において、SRCで通常行われる水槽試験を列記すると以下のようになります。

① ポッド推進機付き船体の抵抗試験
② ポッド推進機無し船体の抵抗試験
③ ポッド推進機付き船体の自航試験

これらの試験と種々のプロペラ単独性能試験（もしくはポッド推進機単独性能試験）を組み合わせ、抵抗係数、自航要素を求めます。

３．試験装置

図－1にハイブリッド型推進装置を採用した船型の推進性能試験での代表的な配置を示します。

船体の支持や曳航の方法、抵抗計測には、通常推進方式の船型と全く同一の試験装置を使用します。前方プロペラも通常の自航用モーター、ギアボックス、自航動力計を使用して駆動します。

後方プロペラはポッド動力計を使用して駆動します。ポッド動力計は、プロペラを駆動する軸やギアを内蔵する下部の円筒形の部分（ポッド部）と、それを支え動力を伝達する軸を通すストラット部の二つより構成されます。またポッド部にはフィン等が装備される場合もあります。ポッド動力計はスラスト・トルクを計測する方式により大きく分けて二種類に分類されます。一つはポッド本体の中にスラストとトルクを測る機構を内蔵し、プロペラが発生するスラストとトルクを直接計測する方式（タイプＩと呼ぶことにします）で、ポッド部とストラット部は船体の一部とし、①、③の試験によりプロペラのみを推進器として扱った解析を行います（プロペラベースの解析

図－1　試験装置の配置（ハイブリッド型推進装置搭載船）

法と称する)。もう一つはポッド内にはスラスト・トルク計を内蔵せず、ポッド本体に加わる軸方向の力（Fx）をスラストとし、ギアを介して伝わるモーター反力をトルクとする方式（タイプⅡと呼びます）で、②、③の試験によりポッド推進器全体を推進器と考え解析を進めます（システムベースの解析法と称する)。

前者の方式は、プロペラのスラスト・トルクを直接測るため、プロペラ設計や性能に関する従来の知見や資料を活用できるなどのメリットがある反面、動力計内部の機構が複雑になり小型化が困難となるデメリットも存在します。同様な理由で試験前後の較正試験や試験中のゼロ点計測なども不可欠となります。

後者の方式は、構造が簡単なため小型化が可能ですが、プロペラが発生するスラストのみならずポッド部・ストラット部の抵抗等を含めたポッド推進機全体が受ける力をスラストと考え、ギアを介して伝わるモーター反力をトルクと考えるため、計測されたデータの解釈に議論が生じ、自航要素やプロペラ設計に関わる従来の知見をそのまま適用することはできなくなります。また誤差が混入する可能性も高くなります。

ポッド推進器には種々の大きさ、形状がありますが、それに対応した動力計をその都度整備するのはコスト的に無理があります。大抵の場合はポッド動力計に樹脂や金属、パラフィン等でフェアリングを設け、実船装備が予定されているポッド推進器と相似となるようにしています。このためポッド動力計は模型サイズのポッド推進器より一回り小さいものである必要があります。

以上のことを考慮し、SRCでは図－2に示すようなポッド動力計を整備しています。この動力計の主寸法、定格容量等を表－1にまとめました。

この動力計はポッド内部にスラスト・トルクの計測機構を内蔵し、上部に装備したモーターでプロペラを駆動します。ストラットおよびポッドは、動力伝達機構と計測装置が無理なく治まる程度の大きさとしています。ストラット部の前後に付いている流線形状の部分A、Bはともに取り外しができ、任意の形状のフェアリングを製作して取り付けることができます。同様にポッド部は樹脂等により製作したカバーにより任意の形状とします。上部にはポッド動力計に加わる水平面内の力（Fx,Fy,Mz）を計測するを3分力を有し、タイプⅡのシステムベースの解析法にも対応することができます。

4．おわりに

今回はハイブリッド型推進装置を有する船型の水槽試験の概要と、そのために使用される装置について紹介しました。これらの試験装置を使用してどのような試験を行い、どのような値を計測するのかについては、前プロペラ、後プロペラ、ポッド推進器をどのように取り扱うかによって異なってきます。次回は、推進装置の取り扱い方法と、試験計画、試験方法の関わりについて紹介していく予定です。

図－2　SRCが保有するポッド型動力計

表－1　ポッド型動力計の主要寸法等

主要寸法	ﾎﾟｯﾄﾞ部	長さ	260.0 mm
		直径	76.0 mm
	ｽﾄﾗｯﾄ部	長さ	66.0 mm
		幅3	4.0 mm
		高さ	260.0 mm
定格容量	プロペラ	スラスト	30.0 kgf
		トルク	1.0 kgf-m
	ポッドユニット	Fx	30.0 kgf
		Fy	30.0 kgf
		Mx	3.0 kgf-m
	プロペラ駆動モーター		0.5kw～1.5kw
備考			旋回台によりポッドの方向変換が可能

新造船と復原性

船名	茂　　丸

用　　途　小型遊漁兼用船
船　　主　青木　茂
造 船 所　椎木造船所
竣　　工　平成18年2月
総トン数　9.1トン
航行区域　限定沿海
主要寸法(m)　長さ × 幅 × 深さ
13.50 × 3.70 × 0.980
主 機 関　423kW × 1基
最大速力　23ノット
旅客定員　23名

千葉県鴨川市江見港を母港とし、勝浦沖から白浜沖を主漁場とする小型遊漁兼用船。主機関をボックスキール内に下げるなどの工夫をし、この種の船としては最大復原てこが約39cm程度あり、安定した性能を示している。

委員会等

第18回懇談会
平成18年3月10日（金）
15:00～17:00
アークホテル広島

第19回評議委員会
平成18年3月16日（木）
11:00～13:30
日本造船技術センター役員会議室

第142回理事会
平成18年3月20日（月）
11:00～13:00
日本造船技術センター役員会議室

平成17年度第2回中手CFD研究会
平成18年3月22日（水）
13:00～17:00
日本造船技術センター本部会議室

第1回SPCG委員会
平成18年3月23日（木）
9:00～12:00
日本造船技術センター本部会議室

第94回HRC委員会
平成18年3月23日（木）
13:00～17:00
日本造船技術センター本部会議室

平成17年度JOGMEC委託石油貯蔵船調査研究報告会
平成18年3月28日（火）
15:00～17:30
日本造船技術センター本部会議室

洋上風力発電による輸送用代替燃料創出に資する研究委員会
平成18年3月31日（月）
13:00～17:30
日本造船技術センター本部会議室

編集後記

今年の冬は本当に寒く雪も多かったですね。筆者も楽しみにしていたスキーも出来ず雪地獄からの脱出行となってしまいました。寒さの為ではありませんが世界的な石油需要増加を受け原油価格高騰が続いています。省エネルギーは哲学的な温暖化対策にコスト低減という実利が加わって加速されると予測されます。船舶分野では、燃料費削減要求が緊急課題としてバラスト水問題や構造強度の規制強化等に加わり船舶の様相を変えていくと推察されます。造船技術センターにあっては、月並みな言葉ですが、船の性能に関する技術を中心にポテンシャル向上、新たな分野へと対応範囲を広げる努力を続ける所存です。（K.T）

申し込みの受付
試験等の申し込み、問い合わせは右表の担当までご連絡をお願いいたします。

〒112－0004　東京都文京区後楽2丁目1番2号
興和飯田橋ビル7階

〒181－0004　東京都三鷹市新川6丁目38番1号
（独）海上技術安全研究所2号館内

SRC
Shipbuilding Research Centre of Japan
財団法人　日本造船技術センター
http://www.srcj.or.jp

本部（飯田橋）	
役員・代表	03-3868-7122
総務部	03-3868-7124
ファックス	03-3868-7135
海洋技術部	03-3868-7125
海外協力室（OSCC）	03-3868-7127
技術開発部	03-3868-7126
試験センター（三鷹）	
センター長･総務室	0422-24-3861
ファックス	0422-24-3869
技術顧問	0422-24-3863
技術部	0422-24-3862
試験部	0422-24-3867
設計システム開発課	0422-24-3870