

訂 正

SRC News No.82 (January 2010) 第2頁「日本造船技術センターの抵抗試験、自航試験の紹介(その4)」論文中の(9)式、及び(10)式を下記のように訂正して下さい。

$$C_{TS} = (1 + K)C_{FS} + C_W + \Delta C_F \cdots (9)$$

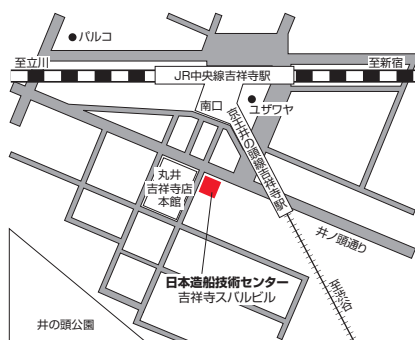
$$r_{TS} = (1 + K)r_{FS} + r_W + \Delta r_F \cdots (10)$$

No. 82

●目 次●

- 1 波浪中試験技術の改良
page 1
- 2 日本造船技術センターの
抵抗試験、自航試験の紹介（その4）
page 2
- 3 船型の数式表示について（その2）
page 4
- 4 宇和島市一般廃棄物収集運搬船
「うわじま」について
page 6
- 5 ジブチ共和国海上輸送力増強計画
40m型フェリーの引き渡し
page 8
- 6 SRC資料室
(2) 船の寸法とエネルギー効率
page 10
- 7 トピックス等
page 12

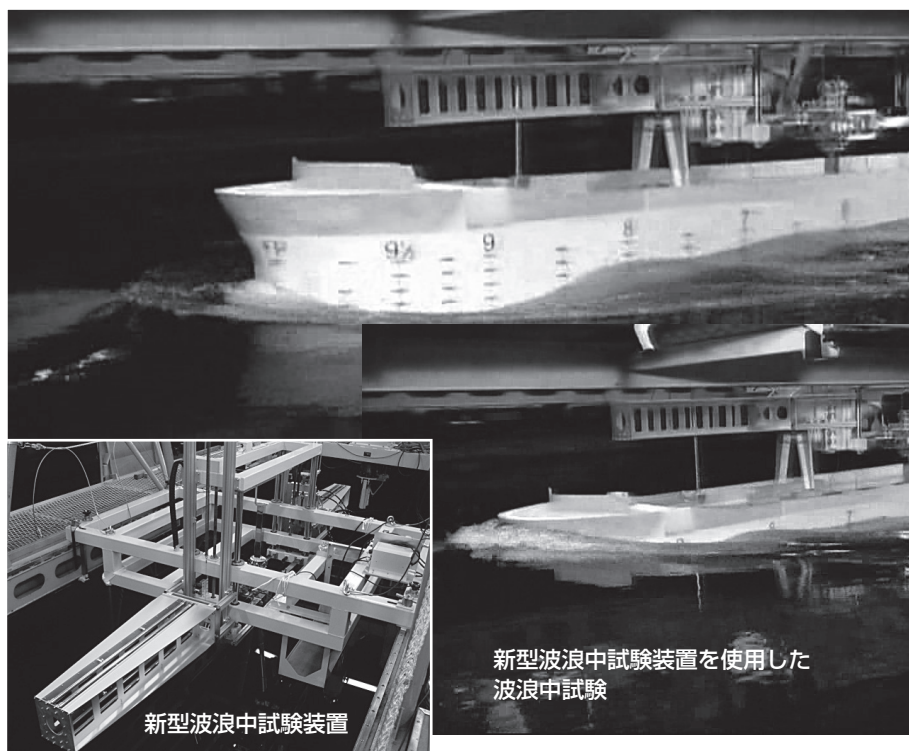
本 部 (吉祥寺)



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
吉祥寺スパビル3階
TEL 0422-40-2820 FAX 0422-40-2827

波浪中試験技術の改良



新型波浪中試験装置を使用した
波浪中試験

原油価格の高騰、温室効果ガス排出削減といった世界的な流れの中で、船舶の推進性能向上に対する要求は、これまでもまして厳しくなっています。従来から行われてきた船型改良、省エネ付加物の装備など平水中推進性能の改善に加え、実海域性能改善のため、波浪中推進性能の研究も盛んに行われるようになってきました。加えて日本からIMOに対する“海の10モード”の提案もあり、現在、波浪中試験に注目が集まっています。

当センターではこれまでも波浪中試験を行ってきましたが、“海の10モード”が要求する精度の高い波浪中抵抗増加計測と波浪中試験の需要増加に対応するため、数年前より1) 短波長中の波浪中抵抗増加を精度良く計測できること、2) 能率良く波浪中試験が行えること、の2点を目標に、波浪中試験技術の改良に取

り組んできました。

このために、フリクションが極めて小さな船体支持部、非接触で船体運動を計測できるレーザー測位置置などを組み合わせ、波浪中で運動する模型船の抵抗力を高精度に計測できる波浪中試験装置を設計・製作しました。この試験装置は、必要な機能をコンパクトにまとめることによって、従来多くの時間を要した準備作業もスムーズに行えるよう工夫されています。さらにこの装置を使用して行った多数の試験により、波浪中試験のシーケンスを改良し、より能率的で精度の高い波浪中試験法を開発しました。

開発した新しい波浪中試験法は、昨秋より実地に使用されています。今後も更なる改良を続けると共に、依頼者殿にとって使いやすい試験メニューを整えていきたいと考えています。

日本造船技術センターの抵抗試験、自航試験の紹介 (その4)

6. 抵抗試験結果の解析

今回は日本造船技術センターで行われている抵抗試験結果・自航試験結果の解析法について説明します。抵抗試験では、全抵抗 R_{TM} 、対水速度 V_W 、船首尾沈下量を計測していますが、全抵抗と対水速度の2つから実船の有効馬力EHPを求めます。

6-1 抵抗成分の分離

模型船と実船では、レイノルズ数の違いにより粘性抵抗が異なりますので、実船抵抗を推定するためには、模型船の抵抗を成分に分ける必要があります。それには大別して2種類の方法があり、それぞれ2次元外挿法、3次元外挿法と呼ばれています。2次元外挿法では全抵抗を摩擦抵抗と剰余抵抗の2つに、3次元外挿法では摩擦抵抗と形状抵抗と造波抵抗の3つに分離します。図-30に抵抗成分の分離例を示します。

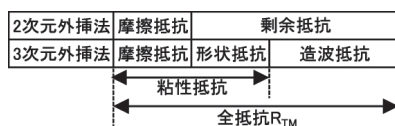


図-30 抵抗成分の分離例

R_{TM} は(1)(2)式により無次元化し、全抵抗係数とします。(1)と(2)は無次元化の分母が異なるだけです。

$$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_M \cdot V_M^2} \quad \dots (1)$$

$$r_{TM} = \frac{R_{TM}}{\rho \cdot \nabla_M^{2/3} \cdot V_M^2} \quad \dots (2)$$

ここに ∇_M :模型船の排水量

S_M :模型船の浸水表面積

2次元外挿法では、(3)(4)式のように抵抗成分を分離します。

$$C_{TM} = C_{FM} + C_R \quad \dots (3)$$

$$r_{TM} = r_{FM} + r_R \quad \dots (4)$$

C_{FM} は模型船の摩擦抵抗係数であり、模型船と浸水表面積および長さの等しい平板の同速度における抵抗の係数です。

摩擦抵抗係数としては様々な方法が考案されていますが、当センターではシェンヘル摩擦抵抗算式を標準としています。 C_R 、 r_R を剰余抵抗係数と呼んでいます。このフルード数ベースの例を図-31に示します。

$$\text{フルード数 } Fn = \frac{V_W}{\sqrt{g \cdot L_{dwl}}} \quad \dots (5)$$

ここに L_{dwl} :満載状態時の水線長

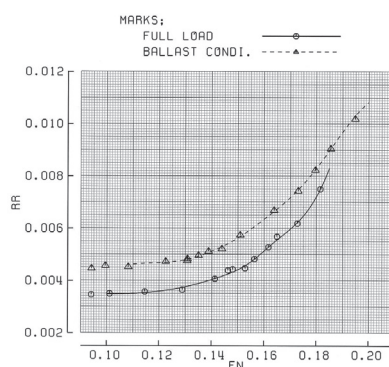


図-31 剰余抵抗係数 (r_R)

3次元外挿法では、次式のように分離します。

$$C_{TM} = (1 + K)C_{FM} + C_W \quad \dots (6)$$

$$r_{TM} = (1 + K)r_{FM} + r_W \quad \dots (7)$$

3次元外挿法が2次元外挿法と異なる点は、形状影響係数 K を考慮するところにあります。

K は船型の三次元性による粘性抵抗への影響を表しており、 $K \cdot C_{FM}$ が形状抵抗となります。当センターではフルード数が0.10程度の低速域では造波抵抗が小さく全抵抗は(8)式で表せると仮定して、 K を図-32のように求めます。

$$C_{TM} = (1 + K)C_{FM} \quad \dots (8)$$

(6)式で $C_W=0$ とした式

この K の値を用いて(7)式から得られた造波抵抗係数を図-33に示します。

6-2 有効馬力の推定

有効馬力とは、実船の抵抗と速度の積で実船を曳航するのに必要な馬力を表します。これを試験結果から推定するためには、まず次式を用いて実船の全抵抗係

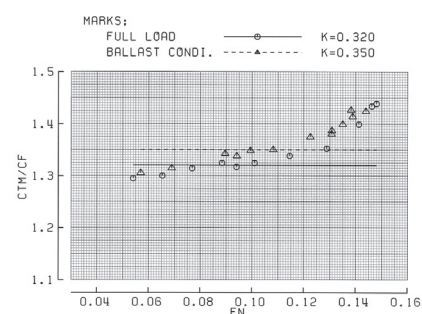


図-32 低速抵抗試験結果

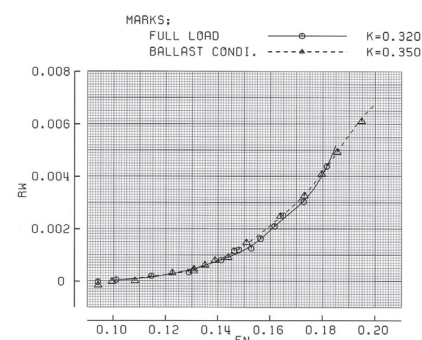


図-33 造波抵抗係数 (r_W)

数を推定します。

$$C_{TS} = (1 + K)C_{FS} + C_W + \Delta C_F \quad \dots (9)$$

$$r_{TS} = (1 + K)r_{FS} + r_W + \Delta r_F \quad \dots (10)$$

C_{FS} は実船の摩擦抵抗係数であり、 C_{FM} 同様に求めます。 C_W は幾何学的に相似な船であれば尺度影響が無いと仮定しています。 ΔC_F は表面粗度修正係数ですが、模型試験結果と実船の試運転結果の違いから求めます。当センターでは(11)式を標準としています。

$$\Delta C_F \cdot 10^3 = 0.0018 \cdot \left(\frac{K_S}{L}\right) Rn^{0.75} + 10 \frac{1}{L} + 0.03 \left(\frac{B}{d}\right)^{-0.13} \quad \dots (11)$$

ここに K_S :表面粗度(0.00015m)

続いて(12)(13)式から実船の全抵抗値 R_{TS} 、有効馬力を推定します。

$$R_{TS} = C_{TS} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_S \cdot V_S^2 \quad \dots (12)$$

$$= r_{TS} \cdot \rho \cdot \nabla_S^{2/3} \cdot V_S^2$$

$$EHP = R_{TS} \cdot V_S \quad \dots (13)$$

ここに S_S :実船の浸水表面積

V_S :実船速度

∇_S :実船の排水量

図-34に有効馬力の例を示します。

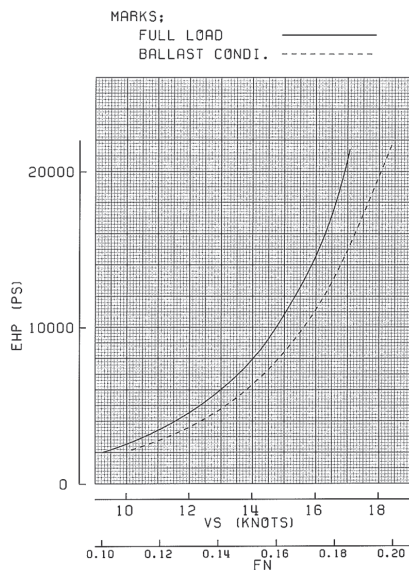


図-34 有効馬力の例

7. 自航試験結果の解析

続いて自航試験の解析について説明します。自航試験中に計測する項目は、曳航力F、対水速度 V_w 、プロペラスラスト T_M 、プロペラトルク Q_M 、プロペラ回転数 n_M 、船首尾沈下量です。このうち船首尾沈下量以外の値と抵抗試験結果を用いて実船の制動馬力BHPを求めます。

自航要素とはプロペラと船体との干渉を表す値であり、スラスト減少係数 $1-t$ 、有効伴流係数 $1-w_T$ 、船後プロペラ効率 η_R の3つからなります。

まず(14)式より $1-t$ を求めます。

$$1-t = \frac{R_{TM} - F}{T_M} \quad \dots (14)$$

次に模型船の有効伴流係数 $1-w_{TM}$ を求めます。そのために(15)式よりスラスト係数を求めます。

$$K_T = \frac{T_M}{\rho n_M^2 D_M^4} \quad \dots (15)$$

ここに D_M :模型プロペラの直径

図-35に示すように模型プロペラの単独性能曲線からこの K_T に対応する J' の値を求めます。この J' を用いて(16)式より $1-w_{TM}$ を求めます。

$$1-w_{TM} = \frac{V_a}{V_M} = \frac{J' \cdot n_M \cdot D_M}{V_M} \quad \dots (16)$$

ここに V_a :プロペラの有効前進速度

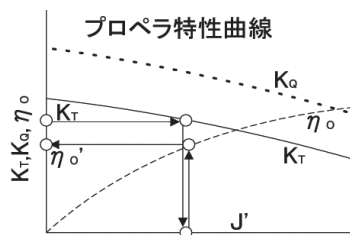


図-35 J' 、 η_0' の算定例

最後に η_R を求めますが、先ほど求めた J' でのプロペラ単独効率 η_0 を η_0' として、(17)式より η_R を求めます。

$$\eta_R = \frac{D_M \cdot J' \cdot T_M}{2\pi \cdot Q_M \cdot \eta_0'} \quad \dots (17)$$

これらをフルード数ベースにまとめ、図-36に示します。

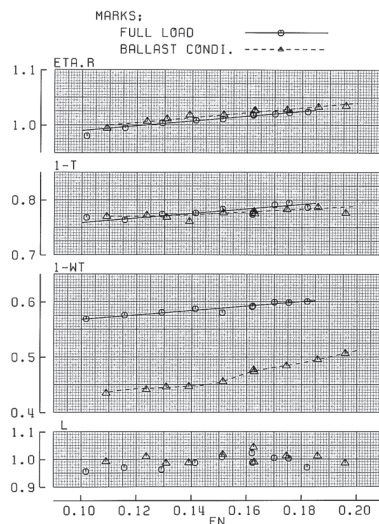


図-36 自航要素
(上から η_R , $1-t$, $1-w_{TM}$, L)

本図には下式による L も示しています。
(SRCニュース第81号参照)

$$L = \frac{R_{TM} - F}{R_{TM} - SFC} \quad \dots (18)$$

SFC (Skin Friction Correction) とは、実船と模型船の摩擦抵抗の差で、(6)(7)式と(9)(10)式との違いに対応します。

8. 制動馬力の推定

以上のデータを元に実船のBHPを推定します。

まず模型船の有効伴流係数を実船の値 $1-w_{TS}$ に換算します。当センターでは、矢崎のチャートによる $(1-w_{TS})/(1-w_{TM})$ を標準としています。

$$1-w_{TS} = \left(\frac{1-w_{TS}}{1-w_{TM}} \right) (1-w_{TM}) \quad (19)$$

η_R 、 $1-t$ は尺度影響が無いと考えて模型試験結果をそのまま使用しています。

最後に実船装備予定プロペラの単独性能からプロペラ単独効率 η_{OS} を求めて実船の推進係数 η を(20)式により求めます。

$$\eta = \frac{1-t}{1-w_{TS}} \cdot \eta_{OS} \cdot \eta_R \quad \dots (20)$$

次に伝達馬力DHP、制動馬力BHPを(21)、(22)式より推定します。

$$DHP = \frac{EHP}{\eta} \quad \dots (21)$$

$$BHP = DHP \cdot \eta_T \quad \dots (22)$$

ここに η_T :伝達効率

図-37に制動馬力等の例を示します。

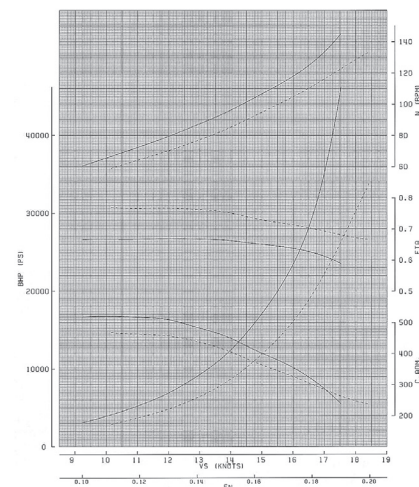


図-37 制動馬力等

本図には、下式によるアドミラルティ係数も示してあります。

$$C_{adm} = \frac{V_s^3 \cdot \Delta_s^{2/3}}{DHP} \quad \dots (23)$$

ここに V_s :実船の速力 (kt)

Δ_s :実船の排水量 (ton)

DHP:伝達馬力 (PS)

以上計4回にわたり当センターの抵抗試験・自航試験を紹介させていただきました。読者の皆様が、水槽試験に少しでも興味を持っただけなら幸いです。

(試験センター 福島寛司)

船型の数式表示について (その2)

SRC News No.81で、Cp曲線の数式表示について紹介しました。本稿では、この表示式を船体曲面表示に拡張する試みについて紹介します。

1. 船体曲面の基本表示式

Cp曲線の表示式を以下に示します。

$$Cp(x) = Ao(x) + A1(x)w + A2(x)f + A3(x)t + A4(x)\alpha + A5(x)\beta$$
 ここで、xは前端0,肩で1.0の無次元長さ、wは曲線の面積、f,t, β は前端でのCp値、1次微分及び2次微分、 α は肩での2次微分です。関数Ao(x)～A5(x)については、SRC News No.81を参照下さい。この式は、計画満載状態、バラスト状態、トリム付き状態のCp曲線、Cw曲線に広く適用可能な事が確認されましたが、この事は、w, f, t, α , β を深さzの関数として描かれる水線曲線 (Water Line Curve) を重ねると船体に似た曲面になる事を示唆します。各水線の先端と肩位置を同じとし、曲面を幅y、長さx、深さzの関数として以下のように記述してみます (図-1)。

$y(x, z) = bo(z)(Ao(x) + A1(x)w + A2(x)f + A3(x)t + A4(x)\alpha + A5(x)\beta)$
 $y = Y/(B/2), z = Z/d, B, d$ は最大幅及び計画喫水です。

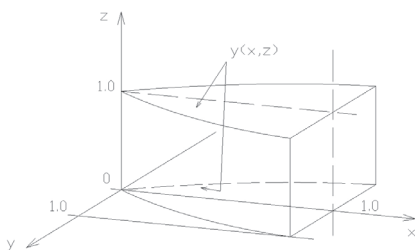


図-1 座標

前端からの距離xでの断面積Cp(x)Cmは、以下の様に関係付けられますから、

$$\int y(x, z) dz = Cm(Ao(x) + A1(x)w + A2(x)fp + A3(x)tp + A4(x)\alpha p + A5(x)\beta p),$$

各パラメータは、
 $Cm = \int bo(z) dz, wp = \int bo(z)w(z) dz,$

$$fp = \int bo(z)f(z) dz, tp = \int bo(z)t(z) dz, \\ \alpha p = \int \alpha(z)bo(z) dz, \\ \beta p = \int \beta(z)bo(z) dz$$

と対応し、容積は、
 $\int \int y(x, z) dx dz = wpCm$ となります。

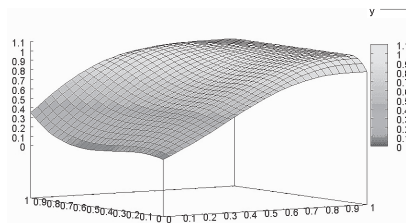


図-2 船尾類似形状 (船底後方より上方を俯瞰)

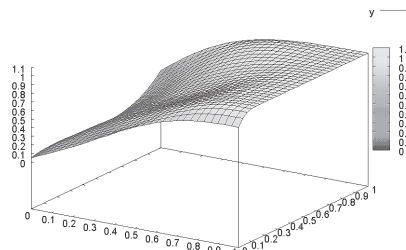


図-3 船尾類似曲面 (船底前方より上方を俯瞰)

$bo(z), w(z), f(z), t(z), \alpha(z), \beta(z)$ を簡単な関数で表し、船首尾形状に似た曲面を描いた例を図-2、図-3に示します。条件設定に工夫は必要ですが、比較的単純な関数表示のパラメータで複雑な船体曲面が描けそうです。

2. 船体形状の特徴と表示式

通常の船体形状の場合、各水線の先端から肩までの長さは異なり、船首尾端も深さにより変わります。線図は、①曲線状の船首尾プロファイル、②上甲板縁を連ねた曲線、③計画喫水線、④船底平滑域と上方の曲面との接点を連ねた曲線、⑤船側平滑部と前後の曲面部との接点を連ねた曲線及び⑥最大断面形状曲線等の基本フレームに水線という針金を巻きつけて作られた曲面と理解されますが、数式表示に、これらフレームを考慮する必要があります (図-4)。

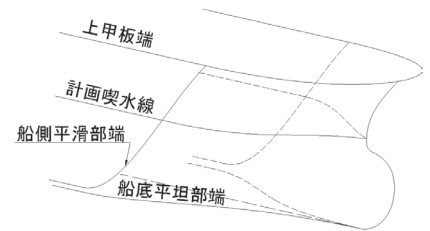


図-4 主要フレーム

以下に、⑤Side Flat End Lineを考慮する数式表示を紹介します。高さzの水線において、先端x=0から肩までの距離をs(z)とします (図-4)。なお、s(z)は、s(z)=1となるCp曲線肩部で、z=hb, ds(z)/dz = ∞ , z=1で、s(1)=lw (Cw曲線長さ/Cp曲線長さ)の条件に勾配等の条件を加えて、例えば以下のような形式が提案されます。

$$1-s(z) = ao Z^{(-1/n)} + a2 Z^2 + a3 Z^3$$

$Z = (z-hb)/(1-hb)$, hbは、最大断面形状において、船側垂直線と船底からの円弧の接点高さです (図-5)。

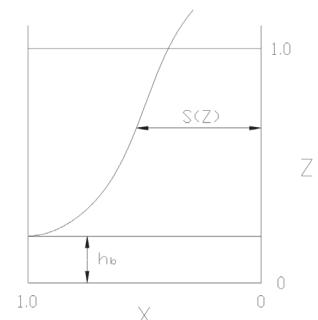


図-5 サイドフラットエンドライン

(2) 座標

$0 < x < s(z)$ の範囲では、 $x' = x/s(z)$ を(2)式に代入し、(x,y(x',z),z)が得られます。

$s(z) < x < 1$ の範囲では、幅は1ですから、座標は、(x,1,z)となります。

(2) 断面積分布

$$0 < x < lw \text{ の範囲、 } A(x) = \int y(x', z) dz \\ lw < x < 1 \text{ の範囲、 } A(x) = Ac(x) + Af(x) \\ Ac(x) = \int y(x', z) dz ; z=0 \sim h(s(z)) \\ Af(x) = (1 - h(s(z)))$$

h(s(z))は、x=s(z)での高さ、s(z)の逆関数で、h(lw)=1, h(1)=hbです。

(3) 容積

$$V = \int \int y(x, z) dx dz = V_c + V_f$$

$0 < x < s(z)$; 曲面範囲

$$V_c = \int \int s(z) y(x', z) dx' dz = \int s(z) w(z) dz$$

$s(z) < x < 1$; 船側平滑範囲

$$V_p = 1 - h_b - \int s(z) dz$$

(4) Cp曲線のパラメータとの関連

位置xでの面積は、 $\int A_0(x') b_0(z) dz$

$$+ \int A_1(x') w(z) b_0(z) dz$$

$$+ \int A_2(x') f(z) b_0(z) dz$$

$$+ \int A_3(x') t(z) b_0(z) dz$$

$$+ \int A_4(x') \alpha(z) b_0(z) dz$$

$$+ \int A_5(x') \beta(z) b_0(z) dz$$

$$= A_0(x) C_m + A_1(x) w_p + A_2(x) f_p + A_3(x) t_p$$

$$+ A_4(x) \alpha + A_5(x) \beta p \text{ の関係から、}$$

(4-1) $x = x' = 0$ にて、

$$\int f(z) b_0(z) dz = f_p,$$

$$\int (t(z)/s(z)) b_0(z) dz = t_p$$

$$\int (\beta(z)/s(z)^2) b_0(z) dz = \beta p$$

(4-2) 容積より

$$1 - h_b - \int s(z) dz + \int s(z) w(z) b_0(z) dz$$

$$= w_p C_m$$

(4-3) $x = 1$ において、

$$0 < z < h_b \text{で、} s(z) = 1, y = b_0(z)$$

$$h_b < z < 1 \text{で、} y = b_0(z) = 1, \text{従って、}$$

$$\int b_0(z) dz + (1 - h_b) = C_m$$

なお、積分範囲は、 $0 \sim h_b$ です。

(4-4) 2次微分の式では、 $x = 1$ において、

$s(z) = 1$ で、 α の項のみが残り、

$$\int \alpha(z) b_0(z) dz = \alpha p \text{となります。但し積分範囲は、実質的に} z = 0 \sim h_b \text{です。}$$

更に、船首尾形状、喫水線上形状と検討を進めねばなりません、その前に曲面の評価法について考察します。

3. 曲面を評価する方法について

連続関数表示の曲面でも、凹凸ゼロの保証は無く、滑らかさ評価や改善は必要です。其の手法は2次元線図のフェアリングではなく、3次元曲面の特性評価となる筈です。以下、曲面幾何学に従い、直交座標系で数式表示された曲面の特性、即ち、基本形式や曲率等の式を導き、船型数式表示法への適用を検討します。

数式表示された空間曲面、 $y = f(x, z)$ を

$P = (x, f(x, z), z)$ で表し、接平面の成分 $P_x = dP/dx = (1, p, 0)$, $P_z = dP/dz = (0, q, 1)$ 、この接平面に直交する法ベクトル

$$e = (P_x \times P_z) / |P_x \times P_z| \text{を求めます。}$$

ここで、 $p = dy/dx, q = dy/dz$, X は外積、

$||$ は絶対値、法ベクトル e は、 $(p, -1, q) / \sqrt{S}$, $S = (1 + p^2 + q^2)$ となります。

第1基本形式、或いはリーマン計量は曲面上の微小長さを意味し、その式は $dP \cdot dP = (P_x dx + P_z dz) \cdot (P_x dx + P_z dz) = P_x \cdot P_x dx dx + 2 P_x \cdot P_z dx dz + P_z \cdot P_z dz dz = E dx dx + 2 F dx dz + G dz dz$ です。ここで、 $E = 1 + p^2$, $F = pq$, $G = 1 + q^2$ が得られます。第2基本形式は、曲面の凹凸の程度を意味し、式は以下の通りです。

$$-dP \cdot e = -(P_x dx + P_z dz) \cdot (e_x dx + e_z dz)$$

$$= -(P_x \cdot e_x + P_x \cdot e_z + P_z \cdot e_x + P_z \cdot e_z)$$

$$= L dx dx + 2 M dx dz + N dz dz$$

$$L = P_{xx} \cdot e = -P_x \cdot e_x, M = P_{xz} \cdot e = -P_x \cdot e_z$$

$$= -P_z \cdot e_x, N = P_{zz} \cdot e = -P_z \cdot e_z, \text{となり、}$$

$$P_{xx} = (0, r, 0), P_{xz} = (0, s, 0), P_{zz} = (0, t, 0)$$

$r = d^2y/dx^2, s = d^2y/dx dz, t = d^2y/dz^2$ から、 L, M, N が得られます。

$$L = -r/\sqrt{S}, M = -s/\sqrt{S}, N = -t/\sqrt{S}$$

曲率は、曲面上の曲線ベクトルの2回微分として定義され、接ベクトル方向曲率と法ベクトル方向曲率があります。法方向曲率には、主曲率、ガウスの曲率(K)及び平均曲率(H)があり、 E, F, G, L, M, N により表せます。以下に、ガウス曲率と平均曲率の式を示します。

$$K = (LN - M^2)/(EG - F^2)$$

$$H = (EN + GL - 2FM)/(2(EG - F^2))$$

測地線は、接ベクトル方向の曲率、即ち測地的曲率が0となる座標を連ねた線と定義され、以下の微分方程式で表せます。

$$d^2x/ds^2 + (pr/S)(dx/ds)^2 + 2(ps/S)(dx/ds)(dz/ds) + (pt/\sqrt{S})(dz/ds)^2 = 0$$

$$d^2z/ds^2 + (qr/S)(dx/ds)^2 + 2(qs/S)(dx/ds)(dz/ds) + (qt/S)(dz/ds)^2 = 0$$

面倒な式ですが、 p, q, r, s, t は、前記表示式中の関数、 $A_0(x) \sim A_5(x)$ 、或いはパラメータ、 $b_0(z), w(z), f(z), t(z), \alpha(z)$,

$\beta(z)$ から得られます。次いで、基本形式 E, F, G, L, M, N , 曲率 K, H 、更に、測地線と演算を進めれば、曲面の特性を把握することが出来ます。以下に、図-2、図-3の船体後半部に似た形状のガウス曲率と平均曲率の計算結果を示します。

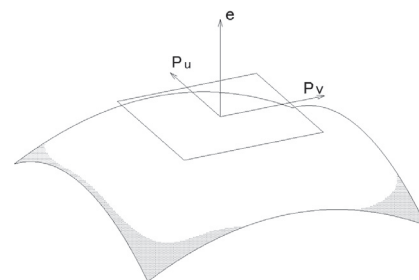


図-6 接平面と法ベクトル



図-7 曲面の凸凹

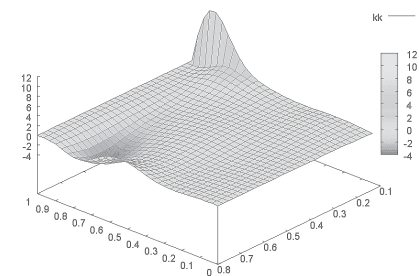


図-8 ガウス曲率分布 (船後上方から斜め下方を俯瞰)

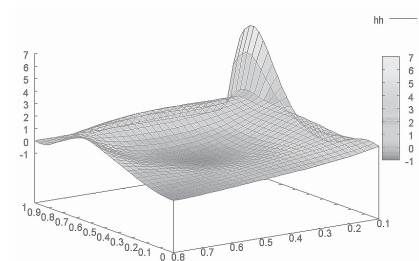


図-9 平均曲率分布 (船後上方から斜め下方を俯瞰)

曲面表示による船型設計には、以上の様な曲面の良否評価、曲面修正等の方法が必要です。これが次の課題となります。(続く) (技術顧問 武隈克義)

宇和島市一般廃棄物収集運搬船 「うわじま」について



1. はじめに

愛媛県宇和島市は、四国南西部の宇和島に面し、宇和島市に属する九島、嘉島、戸島、日振島、竹ヶ島等5島からなる島嶼部には3000人弱が居住している。宇和島市は、これらの離島への生活環境の整備として各島に設置されている陸上し尿槽のし尿を専用運搬船に収集し宇和島市において、最終処分を行っている。

本船は、老朽化した宇和島丸に代わり平成21年5月26日総トン数19トン型の一般廃棄物収集運搬船として、ゴミ運搬機能を付加して就役しました。

当センターは本船の基本設計と建造監理を実施したので、以下に本艇の概要を

紹介します。

2. 目 的

宇和島海域の島嶼部（九島、嘉島、戸島、日振島、竹ヶ島）において、収集された一般廃棄物収集運搬に従事する。

- 荷役設備として、デッキクレーン及びホースリールの設置、ゴミ収集コンテナ設置場所確保
- 一般廃棄物収集運搬船の機能の向上
- 十分な容量の貨物槽の保持

3. 船舶の概要

(1) 工 程

起 工	平成20年12月20日
進 水	平成21年 5月20日

竣 工

平成21年5月26日

(2) 主 要 目

船 質	鋼製
全 長	19.70m
登録長	17.67m
幅 (型)	4.50m
深さ (型)	1.80m
満載喫水	1.60m
総トン数	19トン
航行区域	限定沿海区域
航海速力	9.0ノット
試運転最大速力	10.0ノット
最大搭載人員	4名
船 員	2名
その他乗船者	2名

(3) 船体部主要機器

操舵装置	1式
キャブスタン	2台
無かん大錨	1個
消火・救命設備	1式

(4) 機関部主要機器

操舵室計器盤	1式
操舵室操作盤	1式
操舵室制御盤	1式
機側監視パネル	2式
主機関 4サイクル機関	1基
連続最大出力 331kW / 基	
発電用機関 36.8kW	1基
3翼固定ピッチプロペラ	1個
機関室機動通風装置	1台
油水分離器	1台
ポンプ類	1式

(5) 電気部主要機器

1) 電源装置・配電装置

主発電機 30.0kW	1台
変圧器 5kVA	1台
蓄電池 200Ah	2群
160Ah	1群
配電盤	1台
蓄電池充放電盤	1台
集合盤	1台

2) 航海灯・照明装置等

航海灯・信号灯	1式
シールドビーム探照灯	1台
投光器	2台
作業灯	2個

3) 航海計器・通信装置等

磁気コンパス	1台
レーダー	1台
汽笛	1台
GPSプロッター	1台
旋回窓	1台

(6) 廃棄物収集運搬設備

ホース巻き取り装置	1式
真空装置 (変心ロータリ)	1台
同上駆動電動機 7.5kW	1台
し尿吸排出ポンプ (ロータリ)	1台
同上駆動用原動機 3.7kW	1台
主マンホール	1台
デッキクレーン	1台
し尿槽 (40トン)	1式

4. 特徴

(1) 機動力の確保

前船より速力が少なくとも12%早くなったことにより、航海時間が短縮されました。

(2) 貨物槽及びポンプの充実

総トン数19トンの船でありながら40トンのし尿を運搬出来るため前船より約33%搭載量が増加しました。また毎時20トンの能力を有する移送ポンプを装備したためトン当たり搭載スピードが約10%向上しております。さらにパイプラインに工夫を施し吸排出可能となっておりますので、本船への貨物の積み卸しやパイプラインにゴミ等が詰まるトラブルにも対応できる装置となっております。

5. おわりに

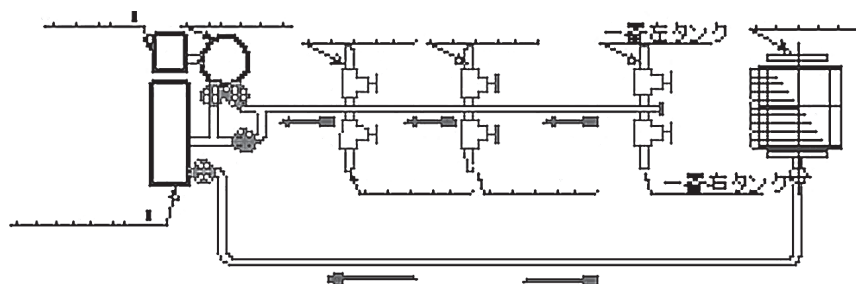
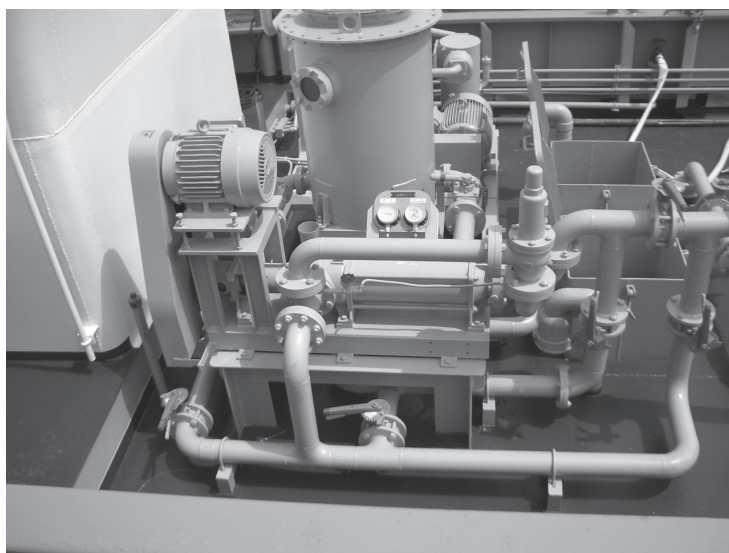
本艇の基本設計・建造監理を進めるにあたり、常に積極的なご支援とご高配を賜りました宇和島市市民環境部殿、日本小型船舶検査機構殿に対し厚くお礼申し上げます。

上げます。

また、有限会社赤松造船所殿が、温存されていた技術力を遺憾なく発揮されとともに、誠意をもってご尽力頂いたことを付記します。



進水式の様子



し尿ポンプシステム



ジブチ共和国海上輸送力増強計画 40m型フェリーの引き渡し

1. はじめに

国土がタジュラ湾を囲んで南北に分かれているジブチ共和国では、首都と北部地域の道路輸送網が山岳地帯のため発達しておらず、北部地域と南部の経済格差が同国の懸案事項のひとつでした。ジブチ国政府は、南北経済格差の是正と北部住民の民生の改善のため、1981年、ドイツから供与されたフェリーボートで、ジブチ港を基点として対岸のタジュラ、オボックへ週2回ずつの振り子配船を開始し、住民及び車両等貨物輸送をおこなってきました。



しかし、同フェリーが老朽化のため、2004年7月からはフェリーの老朽化により運航を停止し、南北間の輸送需要に応えられなくなり、北部地域は深刻な水、燃料等の生活物資の輸送力不足に直面して、今の物資輸送には不向きなかつ運賃の高い、ダウ船等の民間の船舶輸送及び非効率な道路輸送に依存せざるを得ない状況にありました。



こうした背景の下、安価で安全な定期フェリーの復活により、社会インフラとしての交通網を整備し、人・物のスムーズな移動を促すことにより、地域間の経済格差を是正することが緊急の課題として、ジブチ国から我が国に対して海上輸送力増強の為の無償資金協力が要請されました。

2. 基本設計調査および施工監理

その後、JICAによる2度の事前調査を経て、当センターがJICAの委託業務として2007年5月から6月にかけて基本設計調査を実施し、それに基づき、40m型フェリーボートの建造が決定されました。

フェリーの基本設計は当センターが行い、車両の乗船、下船は船首ランプで既存の傾斜岸壁を使うという港湾事情を考慮した特殊船体形状を採用しました。ま



た、フェリーは現地では平穏水域、かつ日中運航を前提としたため、宿泊設備を持たない仕様となっています。そのため、自力による長期間の大洋航海には不向きとなっており、建造地の日本国から現地までの輸送が問題となりました。タグボートによる曳航や、港づたいの自力航行等も検討されましたが、最終的には重量物運搬船による貨物輸送することとしました。このクラスの船舶を4点吊りすることは非常に珍しく、船体強度等十分な検討がなされました。

造船所建造中の施工監理を行うにあたり、当センターはJICAの推薦を受けて、ジブチ共和国の実施機関である海事局のコンサルタントとして契約を結び、入札業務支援、建造監理の業務を行いました。入札の結果、北浜造船鉄工／三協テクノ共同企業体が落札し、青森市合浦の北浜造船鉄工（株）の工場です2008年9月19日着工、2009年6月23日進水しました。

進水式はジブチ国関係者、国内建造関係者の出席および、久々の青森県での造船所での進水式ということで、地元小学校児童の見学のもとで、華々しく行われました。



その後、艀装工事、試運転・各種調整を経て、同年8月31日竣工し、青森から横浜港に回航後、同年9月17日に横浜港山下埠頭で重量物運搬船「KAMO」に搭載され、一路ジブチへ向け出航しました。



ジブチは紅海の入り口にあたり、スエズ運河を利用する船舶を狙った、海賊が出没する地域であり、この時期には海上自衛隊から日本船舶の護衛に護衛艦が派遣されていました。

アデン湾ではこうした、海上自衛隊の護衛艦のエスコートを受け、同年10月12日、無事にジブチ港に到着しました。

3. 現地における引き渡し式典

現地での調整や乗組員の訓練を経て、同年10月22日に、ジブチ港でテープカットの記念行事の後、タジュラ港まで初就航の記念航海が行われ、タジュラで盛大な祝賀式典が行われました。そのときの模様を紹介します。

10月22日、いつもはごみの散乱するジブチ港のエスカルフエリー桟橋・ターミナルもきれいに掃き清められ、テントの式場が設営され、黒山の人だかりでした。日本側の在ジブチ日本大使館、JICAエチオピア事務所、JICAジブチ事務所、JICA専門家、そして海上、航空、陸上自衛隊の関係者や、ジブチ共和国側のアリミラ海事局長やアライタ・アリ在日ジブチ大使らの見守るなか、ジブチ首相、運輸大臣、政府関係者、能化大使によるテープカットがフェリー「モハメド・ブルハン・カシム号」船首ランプで行われました。そのあと、約150名の参加者がぞろぞろとフェリーに乗り込み、ジブチ港内を低速運転で通過した後、一路、タジュラ港を目指しました。船内では、日本大使館員が、「ジブチの指導者層が、こんなに多数、一同に会したことはこれ



まで見たことがない」と驚いていたほどでした。航海の途中で、アリミラ海事局長が「これから船の模型の贈呈式を行う」と言うので、持参した本船の模型の梱包を解き飾り付け、テレビ局のカメラの前で、アリミラ海事局長が音頭をとり、造船所が首相、運輸大臣、アライタ・アリ大使に贈呈するというシーンを演出しました。



タジュラ港が近づくにつれて、大変な人だかりが待ち受けていることに、船内では驚きの声が上がりました。



港に着き、フェリーの船首ランプが静かに下ろされると、待ちかねた大群衆に向かって手を振りながら、タジュラ出身の首相を先頭に、船内の関係者がゆっくり上陸をすると、途端に大群衆にもみくちゃにされました。



ターミナルから、わずか100m離れた祝賀式典ステージまで、途中、あちこちで歓喜のダンスが披露されテントの中にしつらえたステージを囲む席に関係者が全員着席し、民族衣装に着飾った綺麗どころをはじめとする大観衆がステージ周辺を取り囲む中、「モハメド・ブルハン・カシム」号の就航祝賀式が午前11時に始まりました。



タジュラ県知事やOkalとよばれる酋長ら、地元の要人らの挨拶のあと、アリミラ海事局、運輸大臣、アライタ・アリ駐日ジブチ大使、能化日本大使と祝賀スピーチが続いてから、アップテンポの民族音楽が流されると大観衆が全員喜びを爆発させたかのように踊り出し、ようやく曲がおさまると、最後に、地元タジュラで絶大な人気を誇る首相が演説を行い、約1時間の式典が無事に終了しました。



こうして、ジブチの人たちが待ち望んでいたフェリーがいよいよ2009年12月10日から定常運航を開始することになり、同国の北部地域への経済社会生活の活性化に寄与することが期待され、このような国民・民衆一般に非常に喜んで貰える事業に参画できることは、非常にやりがいがあります。

(海外協力部 小川 賢)



モハメド・ブルハン・カシム号

(2) 船の寸法とエネルギー効率

前回 (SRC News No.80) は、当センターの水槽試験データベースを使用して、水槽試験精度の推移について紹介しましたが、今回は、同じ回帰式 (注1) を用いて、船の長さ、幅等を変えたときのエネルギー効率の計算例を示します。

1. 対象船型

計算例の対象を表-1に示します。スエズマックスクラスの原油タンカーと2,350TEU程度のパナマックスコンテナ船です。この表に示した寸法を原型に長さ、幅等を変化させ、その場合の載貨重量と所要馬力 (満載状態) を示します。

2. 長さ、幅、満載喫水、方形係数を変えたとき

表-1に示す船型の長さを変えた場合の載貨重量と制動馬力を図-1に示します。長さ以外の寸法と速力は表-1に示した原型と同じです。縦軸は表-1に示した載貨重量、所要馬力に対する比としています。

長さのみを変えたので同じ比率で排水量も変化しますが、軽貨重量はほぼ長さの二乗で変化しますので載貨重量の変化率は少し小さくなっています。主に、長さ変化に伴うフルード数変化による抵抗係数変化、および排水量変化によって所

要馬力が変化しますが、タンカーでは長さ増に伴い所要馬力も僅かに増加しています。他方、コンテナ船では、船を短くするとフルード数増加による抵抗係数増加のため、所要馬力が増加しています。

船幅のみを変えた場合の変化を図-2に示します (注2)。所要馬力は載貨重量に比べて少し小さい比率で変化しています。

満載喫水のみを変えた場合の変化を図-3に示します。タンカーでは所要馬力の変化が小さく、長さを変えた場合と同程度です。コンテナ船の所要馬力変化率はタンカーより大きくなっています。

方形係数のみを変えた場合の変化を図-4に示します。この場合は、方形係数を小さくした場合の所要馬力減少率が小さくなっています。他方、方形係数を大

きくした場合の所要馬力増加率が大きく、かなり非線形な変化となっています。長さ、幅、喫水の制限下における載貨重量増加対策として方形係数を大きくする場合、所要馬力の急増となり限度があることが分かります。

3. エネルギー効率

図-1~4の重ね書きを図-5に示します。エネルギー効率は、(1) 式のように

$$\text{エネルギー効率} = \frac{\text{エネルギー}}{(\text{貨物重量}) \times (\text{輸送距離})} \quad \dots (1)$$

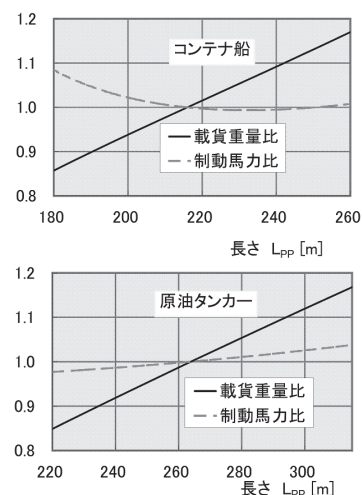


図-1 船の長さを変えた場合

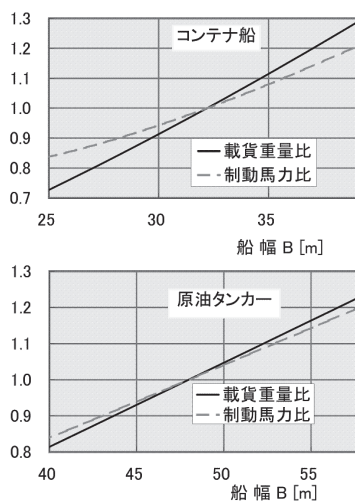


図-2 船幅を変えた場合

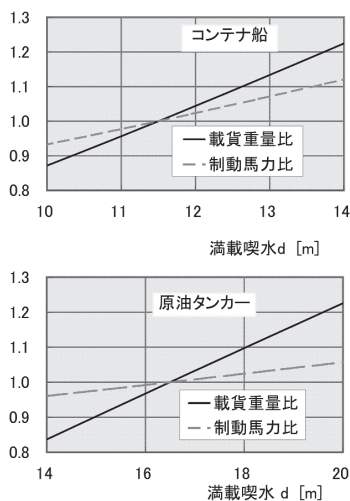


図-3 満載喫水を変えた場合

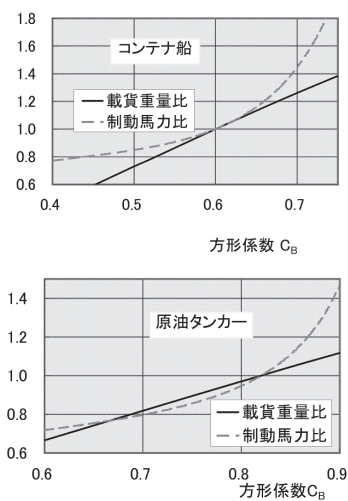


図-4 方形係数を変えた場合

一定重量の貨物を一定距離輸送するために必要なエネルギーですが、(1)式の分子を時間で割って

$$\text{エネルギー効率} = \frac{\text{馬力}}{(\text{貨物重量}) \times (\text{速度})} \dots (2)$$

とします。図-5の縦軸では、速度は船速[ノット]とし、馬力と貨物重量は図-1～4で示した所要馬力[kW]と載貨重量[ton]とし、さらに二酸化炭素排出量を表すエネルギー効率指標にならって燃料消費率、CO₂換算係数を乗じてあります(注3)。

本図には、相似形状にて船の大きさを変えた場合の変化、及び船速を1ノット変えた場合の違いも示してあります。

本図によると、船の長さ、幅、満載喫水を変えるとエネルギー効率も単調に変化しますが、船幅変更の場合の傾斜が小さくなっています。これは、船幅増加に伴う抵抗増加が大きいためです。また、方形係数に関しては、エネルギー効率の観点から最低値があります。表-1に示した長さ、幅、満載喫水では、タンカーでは載貨重量が13万トン(C_B=0.75)付近のエネルギー効率が最高となっています。コンテナ船では表-1に示した載貨重量付近でエネルギー効率が最高となっています。

次に示す図-6の縦軸は、注4に示す運行収支を表す指標で、経費の内訳として、所要馬力に比例する部分の比率が半分で $\alpha = 0.5$ 、軽貨重量に比例する部分の比率が1/4で $\beta = 0.25$ 、残りの固定部分が1/4と仮定した場合の指標です。船の長さ、幅、満載喫水を大型化した場合には収支は改善されますが、方形係数に関しては最小値があります。最小となる載貨重量は、図-5のエネルギー効率の場合とは若干異なっています。タンカーの場合は表-1に示したC_B=0.82付近で最小となっていますが、コンテナ船では1割程度大きな方形係数で最低となっています。

最後に、図-7は、上記の2船種の大きさ(相似形状)と速力を大幅に変えた場合のエネルギー効率です。船の大きさが変わるとき、相似形状で変わるとは限

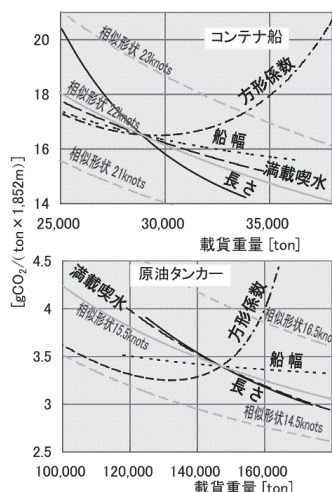


図-5 船の長さ等を変えた場合のエネルギー効率

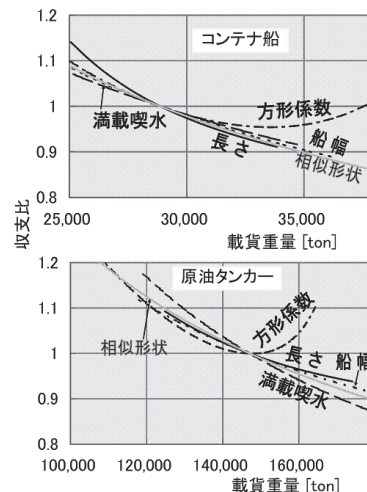


図-6 船の長さ等を変えた場合の収支比

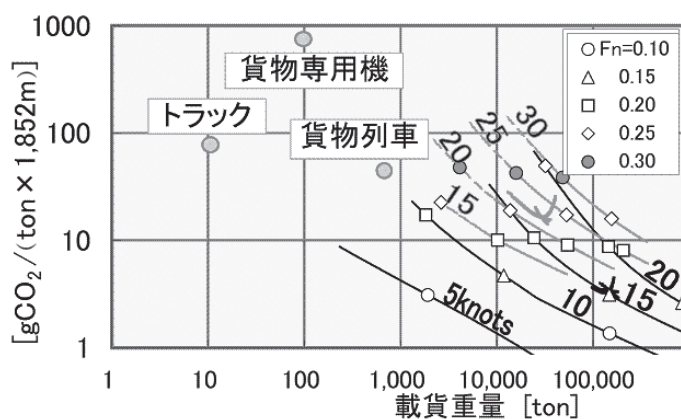


図-7 エネルギー効率の比較

りませんが、簡単のため相似形状としました。図中、実線がタンカー、薄い破線がコンテナ船です。本図には他の輸送形態のエネルギー効率(注5)も示していますが、低速・多量輸送形態としての船舶の優位性が示されています。

注1 性能計算に使用した回帰式のレベルは1で、説明変数は、船の長さ、幅、満載喫水、排水量で構成されています。

注2 コンテナ船の幅はコンテナの列数により階段状の値となりますが、簡単のため幅を連続的に変化させています。同様に長さ、満載喫水等も連続的に変化させています。

注3 所要馬力は静水中主機関出力のみです。燃料消費率は170g/kWh、CO₂換算係数は3.206としました。

注4 船速一定の条件で、船舶運行時の収益は載貨重量に比例する部分Dのみであるとします。また、支出Oを所要馬力に比例する部分P(燃料費等)、軽貨重

量に比例する部分L(建造費等)、どちらにも因らない固定部分Fの和とし、表-1に示した原型(下添字O)では収支がつりあっているとします。

$$I_0 = D_0 \quad O_0 = P_0 + L_0 + F \quad I_0 = O_0 \\ I = D \quad O = P + L + F$$

原型ではP₀、L₀のD₀に対する比が $\alpha = P_0/D_0$ 、 $\beta = L_0/D_0$ であったとし、船の長さ等の変更によりD₀等が変化しD = D_RD₀、P = P_RP₀、L = L_RL₀となつたとしますと(原型ではD_R=1.0、P_R=1.0、L_R=1.0)、

$O/I = \{\alpha(P_R - 1) + \beta(L_R - 1) + 1\}/D_R$ となります。この比が減少すると収支改善となります。また、O=Pで他の費用を無視すると収支比はエネルギー効率になります。

注5 トラックは、10トントラックで6.3km/lとしました。貨物専用機は、JALの環境報告2008によりました。貨物列車はJR貨物のHPによりました。

(技監 佐藤和範)

■SRC News バックナンバー（1988～1996）

No.1 1988/4

マグロ延縄漁船の水槽試験

No.2 1988/7

5孔ピトー管によるプロペラ位置の伴流計測

No.3 1988/10

高速化が求められる大型漁船

No.4 1989/1

スピードへの挑戦 ―水中翼付双胴船の模型試験

No.5 1989/4

小型旅客船の高性能化に関する研究

No.6 1989/7

高速艇のプロペラ・キャビテーション

No.7 1989/10

高速艇用水槽試験法の開発、小型旅客船の波浪中試験

No.8 1990/1

小型遊漁船の復原性

No.9 1990/4

小型超軽量模型船による高速曳航試験、大型模型船を使用した
巡視船の水槽試験

No.10 1990/7

ふえてきた波浪中性能への関心

No.11 1990/10

実航海中の推進性能

No.12 1991/1

プロペラのキャビテーション

No.13 1991/4

CFDと船型設計

No.14 1991/7

分割模型船による船首部抵抗計測

No.15 1991/10

曳波の小さな高速艇開発への期待

No.16 1992/1

波浪中の横揺れ試験 ―復原性を確認する―

No.17 1992/4

滑走艇の性能

No.18 1992/7

運航性能と設計

No.19 1992/10

個性と機能の調和 ―消防救急艇のモデルプランの試設計―

No.20 1993/1

曳航水槽における操縦性能試験 ―PMM試験装置の整備―

No.21 1993/4

新しい船舶設計のツール

―数値計算を加味した効果的な船型試験―

No.22 1993/7

特集：操縦性能 PMM試験装置による操縦性試験

No.23 1993/10

PMM試験装置の公開

No.24 1994/1

分割模型船による船型研究 ―船型設計法の手がかりを求めて

No.25 1994/4

SEA JAPAN' 94に参加

No.26 1994/9

実船の操縦性能試験

No.27 1995/1

波浪中での実船計測 ―安全と乗り心地への対策―

No.28 1995/4

船のまわりの水面の現象

No.29 1995/6

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―

No.30 1995/9

レーザー流速計による船尾まわり非定常流れの計測

No.31 1995/11

水槽試験業務の近代化に向けて

―CAD/CAMの導入について―

No.32 1996/2

流れの可視化と船の性能評価について

プロペラ翼面上の流れの観察

No.33 1996/6

渦を伴う流れについて

No.34 1996/8

船尾まわりの流れに潜む怪物 Propeller Hull Vortex (PHV)

No.35 1996/11

バイキングシップについて



SRC Newsは1988年の初刊発行から約20年経過しました。水槽現場の情報を出来るだけ紹介するとの方針

で編集してきましたが、特に表紙記事はリアルタイムの情報を心がけています。本号ではSRC Newsバックナンバーとして初刊から約10年間の表紙

記事を紹介しています。

技術情報、読み物等もありますので適宜ご紹介していきたいと思います。

SRC News編集委員会事務局