

SRC News

No.48 October 2000

The Shipbuilding Research Centre of Japan

●目 次●

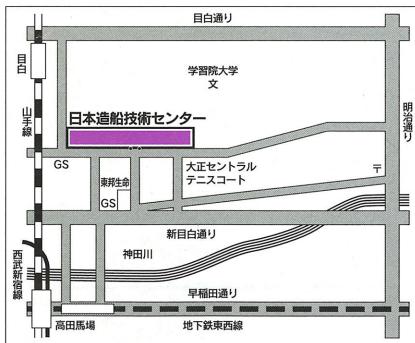
乱流境界層の基本的な性質について	Page 2
プロペラ、風車、扇風機の効率について	Page 4
浮体の復原性について	Page 6
大分県漁業調査船「豊洋」について	Page 8
船体外板汚損と推進性能について	Page 10

船体汚損について

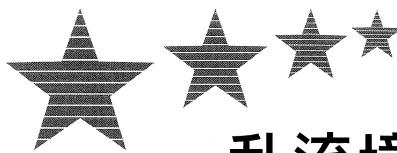


船舶の運航経済性向上をめざし、推進性能向上努力が長年に涉って続けられ優秀船型が開発されて来ました。推進性能は造船所にとり受注競争力の要の一つでもある事から、今後も推進性能向上努力は止む事はないと考えられます。しかしこの性能は自動車にたとえると、標準状態でのリッターあたり走行距離の様なもので、渋滞や悪路等多様な走行状態においてカタログ通りの性能の出ない事は、良く理解されています。船舶の場合、自動車の一般走行における状況に相当するもの、すなわち実際の海洋においては風浪による抵抗増加と船体外板に付着する

海生物による摩擦抵抗の増加があげられます。写真はある小型内航船舶が一年間の稼動後に入渠した直後の船体外板表面への海生物の付着状況です。就航海域や運航形態、塗装のあり方等によって状況は千差万別ですが、場合によっては船型性能向上努力をあざ笑う様な性能になつてしまふ可能性は充分に考えられるのです。実海域における性能評価の重要性が認識され、また、二酸化炭素削減努力が国際的に合意される中で、海生物汚損による影響とその低減対策は從来に増して重要な課題と考えられないでしょうか。



財団法人 日本造船技術センター
〒171-0031 東京都豊島区目白1丁目3番8号
TEL 03(3971)0266 FAX 03(3971)0269



乱流境界層の基本的な性質について

1. はじめに

粘性の非常に小さな流体中の物体まわりの流れは、物体表面近傍の粘性影響を無視出来ない極く薄い層とその外側の粘性影響の無視しうる領域とより成ると観察され、その様に仮定すると難解なナビエ・ストークスの方程式は簡単化されて解析的な検討が可能となる事が20世紀初頭プラントルにより提示されて以来、多くの研究者による知見も加えて境界層理論として構築され、20世紀の科学技術発展に貢献しました。その中で流体運動の基本的な性質とされる層流から乱流への遷移やその構造についても境界層理論をベースに流体力学的メカニズムの解明が進められました。本稿では20世紀における最も難解なテーマとされる乱流の物理的性質について、出来るだけ難しい数式を使わない解説を試みてみます。

2. 境界層の性質

話の始まりは何と言つても境界層理論です。既にSRC News No.35に簡単に紹介しておりますが、復習の意味で大切なところを要約して述べることにします。

境界層の仮定をもとにナビエ・ストークス方程式中の各項の大小関係を比較評価して簡略化された方程式（境界層方程式）が得られます。理解し易い2次元平板上の流れに関する式を示します（表-1）。ここで、 u 、 v は速度、 P は圧力です。これによると、境界層内の圧力は高さ方向に一定で、しかも境界層外端の値と同じです。すなわち、境界層内圧力は境界層外領域の流場圧力により支配される事になります。従って境界層外圧力が増加すると、境界層内特に速度が低い壁面近くでは、ベルヌイの定理に従って圧力上昇に見合う速度の減少が起きて、やがて流速が0となり、更には逆流する剥離に到達します（図-1）。一方圧力下降の場合は逆に速度が増加します。

管の中の流れに関して圧力損失と粘性によ

表-1 境界層方程式への変換

ナビエ・ストークス方程式

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0\end{aligned}$$

境界層方程式

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \\ \frac{\partial p}{\partial y} &= 0\end{aligned}$$

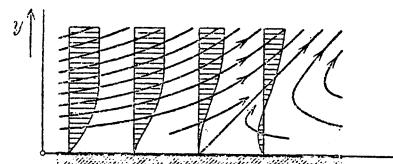
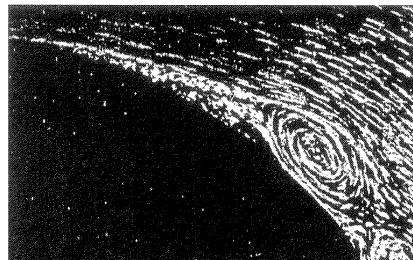


図-1 圧力上昇下の境界層内流れ

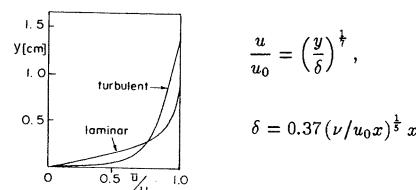


図-2 境界層内速度分布と境界層厚さ

る剪断力は釣り合うとして、境界層厚さ等を求める事が出来ます。乱流境界層の場合は、圧力損失としてよく知られているブラジュースの実験式を用いて乱流境界層の厚さの式や境界層内の速度分布の式、1/7乗則で知られる実に単純な式が得られます（図-2）。なお、圧力損失にハーゲンとポアジュイユの式を用いれば、境界層の厚

さや速度分布が得られます。境界層に比べて乱流境界層は、厚さは大きく、壁面近くまで流速の大きな速度分布となっています。

摩擦抵抗については、壁面 $y=0$ における剪断応力から、局所的な摩擦抵抗係数の式を、これを長さ方向に積分して平板の摩擦抵抗式（ブラジュースの式）が得られます（図-3）。

次に境界層深部の性質を調べます。実は壁面からの距離の $1/7$ 乗で表わされる速度分布は壁面上では速度勾配が無限大となります。これはニュートンの仮定と相反する事になります。この矛盾を解決する為に、壁面の極く近傍の境界層深部では流速が極く小さい為に層流となっていると考え、速度分布が直線となる極く薄い層（層流底層）の存在を仮定しましたが、壁面近傍の流速計測によりこの仮定が妥当なことが示されました。すなわち、乱流境界層は壁面の近くに層流底層、境界層の外側の流れに接する乱流域、更に両者を結ぶ中間領域（遷移域）と言う3層より構成されているのです。図-4に平板上乱流境界層中の速度の分布を示します。理論と計測結果が実に良く合っています。

3. レイノルズ応力

次に乱流の性質を考慮するとき、ナビエ・ストークス方程式から導かれる性質を調べます。乱流現象の重要な性質に、多くの実験より得られた知見「乱流場の速度や圧力は平均値(U_i , P)と変動する成分(u'_i , p')より成り、後者は前者の高々数%に過ぎず、時間的平均値は殆ど0とみなせる。」があります。ピト一管により、乱れた流れ場を計測しても、安定した平均圧力や流速が得られるのはこの性質によるのです。

この性質を基に速度成分および圧力を平均値と変動成分の和で表わし、ナビエ・ストークスの方程式に代入して、時間平均をとると速度と圧力の平均値で構成されるナビエ・ストークスの方程式に速度変動相関

$$C_f = \frac{D_f}{\frac{1}{2} \rho u_0^2 l} = \frac{0.074}{R_e^{1/4}} \quad \text{但し } Re = \frac{u_0 l}{\nu}$$

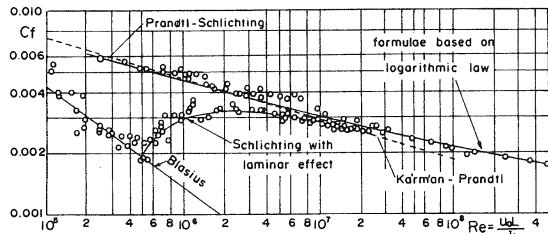


図-3 平版の摩擦抵抗係数

の時間平均を微分した項が加った形の方程式が得られます。方程式の形は表-2に示します。なお、速度変動相関は応力の次元を持つ為にレイノルズ応力($-\rho(u'_i u'_j)$)と呼ばれます。この事は粘性流れの主要な要素である慣性や圧力さらには粘性による影響は変動の無い流速や圧力に支配され、乱流による影響は粘性係数には関係なく、流速変動成分の積の時間平均、あるいは速度相関値であるレイノルズ応力によって決定される事を意味します。レイノルズ応力は形式的に3次元の行列式で表わされ、同一方向速度変動同志の相関の総和が乱流のエネルギーです。なお、充分に発達した乱流境界層の中では動粘性係数(ν)の影響は壁面の極近傍にある層流底層内に限られ、外側の乱流域はレイノルズ応力を支配する領域です。このレイノルズ応力を求める為には速度変動を計算する必要があります。ナビエ・ストークス方程式を上記の乱流の性質と変動のレベルは方向によらず同じとする等方性を考慮して速度変動の微分方程式を導く事は出来ますが、それを解く事は非常に難しく、ここでも流体力学に良く用いられる物理モデルが登場します。

拡散係数の仮定

レイノルズ応力は粘性影響を表わす平均流速の2階微分の項と比例関係にあるとし(ブシネの仮定)、渦動粘性係数あるいは拡散係数とも称する係数によってレイノルズ応力を表わします。拡散係数は場所により変化する値ですが、適切な数学モデルで表わすことにより、形式上完全に平均流速や圧力により構成されるナビエ・ストークスの方程式となります。

混合距離の仮定

流れの微小部分を流塊と考え、これがある距離移動した時の変化を速度変動とみなすと、レイノルズ応力は移動距離即ち混合

距離の二乗と平均速度勾配の二乗の積で表わせます。なお、混合距離は平均速度勾配と速度勾配の微分の比にカルマンの定数を乗じた形で求められます。

以上の経緯を簡単に、テンソル表示の式により表-2に示しました。

粘性流場の数値計算(CHD)では数値計算手法そのものの課題と共にレイノルズ応力をどのように表わすか、即ち、乱流の物理モデルの設定が重要な問題になります。簡単な物体周りの流れの計算と実験との比較例を図-5に示します。

(続く)

表-2 亂れを考慮した方程式

$$\begin{aligned} \text{速度成分} \quad & u_i = U_i + u'_i \quad (i=1,2,3) \\ & U_i \gg u'_i \end{aligned}$$

時間平均 レイノルズ方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} &= K_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j^2} \\ & - \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}'_i \bar{u}'_j) \end{aligned}$$

乱れ成分の方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial u'_i}{\partial t} - U_j \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} + u'_j \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} &= - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u'_i}{\partial x_j^2} \\ - \rho (u'_i u'_j) &= \rho K_s \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \end{aligned}$$

$$\text{拡散係数} \quad - \rho (u'_i u'_j) = \rho K_s \frac{\partial U_i}{\partial x_j}$$

$$\text{混合距離} \quad - \rho (u'_i u'_j) = \rho K_s \frac{\partial U_i}{\partial x_j}$$

$$K_s = \frac{l^2}{\nu} \left| \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right|$$

$$l = K_s \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) / \left(\frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j^2} \right)$$

$$K_s = 0.4$$

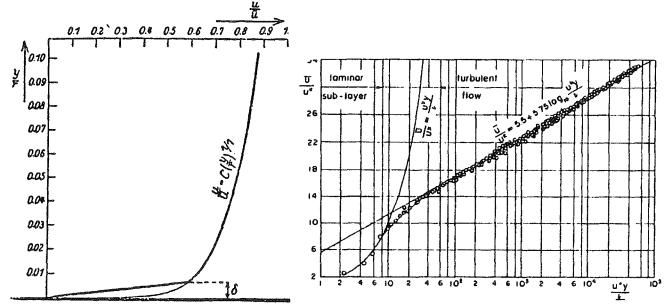


図-4 乱流境界層内速度分布

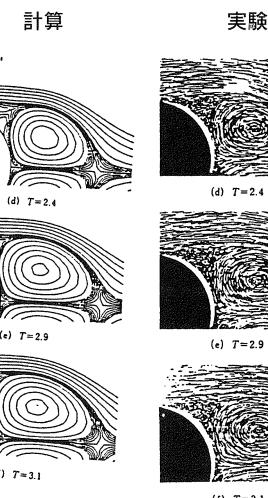
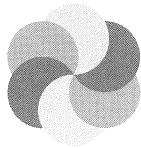


図-5 円柱後方の流れの計算と実験の比較



プロペラ、風車、扇風機の効率について

1. はじめに

船の推進には、一般に、螺旋（スクリュー）が使用されています。これは、エンジンから供給される回転力で螺旋型の羽根を回し、前方から流れてくる水を加速して後方に噴出することによって、その反力＝推力を得る方法です。他方、風車は風のエネルギーを回転エネルギーに変換して発電機等を回し、扇風機はモーターで螺旋型の羽根を回すことによって風を起こします。

これらの装置の作動原理を運動量理論により説明してみます。

2. 運動量理論

図-1は、プロペラや風車の作動状況を表わします。実線はプロペラ、点線は風車の場合を示します。

a) は流路を表わす図で、流れは左側(断面1)から流れて来て、プロペラなし風車(断面2)を通過し、下流(断面3)に流されて行きます。船の場合、静止している水の中を船とプロペラが移動しますが、図-1では、回流水槽における試験のように、プロペラが停止していて水が流れ来るものとします。

充分上流の位置の流路面積を A_1 、充分下流の位置の流路面積を A_3 とします。プロペラなし風車は、面積が A_2 の薄い装置に簡略化します。b) に示すように、各々の位置における流速も、 v_1, v_2, v_3 とします。プロペラは流れを加速するので

$$v_3 > v_1 \quad (1)$$

となり、その反力として推力 T を得ます。風車の場合は、風車が流れのエネルギーを吸収するので、

$$v_3 < v_1 \quad (2)$$

となり、その分だけ抵抗 R が発生します。流路内流れの連続の条件(流体は非圧縮と仮定する)から

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_3 v_3 \quad (3)$$

です。

c) に示すように、プロペラや風車の前後で圧力は不連続的に変化します。断面2の直前、直後の圧力を p_2, p_2' とします。充分上流、下流の圧力はプロペラや風車が無い場合と同じです($p_1=p_3$)。

断面1、3における圧力が同じなので、流れのエネルギーは

$$e_1 = \frac{1}{2} m v_1^2 \quad (4)$$

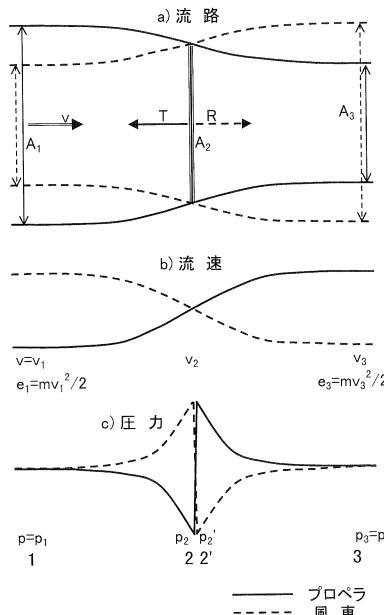


図-1 運動量理論

$$e_3 = \frac{1}{2} m v_3^2 \quad (5)$$

とおくことができます。 m は流れの質量流量で、

$$m = \rho A_2 v_2 \quad (6)$$

です。ここに ρ は流体の密度です。

流体の粘性を無視できると仮定して、断面1と2の間にベルヌーイの式を適用すると

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (7)$$

となります。同じく断面2'과 3の間で

$$p_2' + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = p_3 + \frac{1}{2} \rho v_3^2 \quad (8)$$

となります。断面2と2'の間では、プロペラや風車と流体との間でエネルギーの授受があるのでベルヌーイの式は成立しません。

プロペラのスラストは断面2と2'との間の圧力差($p_2' - p_2$)と面積 A_2 の積ですから $T = (p_2' - p_2) A_2$ に(7),(8)式の p_2, p_2' を代入し、 $p_1 = p_3$ を考慮すると

$$T = \frac{1}{2} \rho A_2 (v_3^2 - v_1^2) \quad (9)$$

となります。他方、スラストは上流と下流の運動量の差($m v_3 - m v_1$)でもあるので、(6)を使用して、

$$\begin{aligned} T &= m(v_3 - v_1) \\ &= \rho A_2 v_2 (v_3 - v_1) \end{aligned} \quad (10)$$

となります。

風車の場合の抵抗 R は、(9),(10)式両辺の符号を変えて $R = -T$ とおくと基本的には同じになるので(9),(10)式で代表させるこ

とができます。ここで、(9),(10)式の右辺は等しいので、結局

$$(v_1 + v_3)/2 = v_2 \quad (11)$$

となります。これは、重要な式で、プロペラや風車の位置における流速の大きさ v_2 は、充分上流の流速 v_1 と充分下流の流速 v_3 の平均値となることを示します。

以上が、プロペラ、風車の運動量理論と呼ばれている理論で、理想流体を仮定し、回転流やプロペラ、風車付近の流れの詳細を無視することによって、プロペラ等の作動状況に関する基本的な知見を得ることができます。

また、この理論は流体が気体か液体かを問わず流体の密度が異なるだけです。ただし、ダクト内のインペラのように、流路の形状が予め決まっているようなケースには適用できません。

3. プロペラ効率

以上の式からプロペラ効率を計算する式を導きます。

プロペラは文字通り推力を得るための装置なので、プロペラが得る成果はスラストです。単位時間当たりに得られる有効エネルギーはスラスト T と船速 v_1 の積=スラスト馬力 Tv_1 です。

他方それに対応する消費エネルギーは水に捨てられたエネルギー、すなわち流路に入つて来たエネルギー e_1 と出ていったエネルギー e_3 の差($e_3 - e_1$)です。よって、プロペラ効率 η は

$$\eta = T v_1 / (e_3 - e_1) \quad (12)$$

です。

また、実際の船のように水が静止していてプロペラが速度 v_1 で移動していると考えた場合は、成果を表す分子は同じく Tv_1 で、分母の消費エネルギーはこの Tv_1 と船の通過後に流体に残されたエネルギー $\frac{1}{2} m (v_3 - v_1)^2$ の和なので

$$\eta = T v_1 / [T v_1 + \frac{1}{2} m (v_3 - v_1)^2] \quad (13)$$

となります。(12),(13)式は同じものを別の見方で導いた式です。(4),(5),(10),(11)式を使用すると、両式は次式となります。

$$\eta = 2 / (1 + v_3/v_1) \quad (14)$$

本式の値を図-2に実線で示します。 v_3/v_1 は流れの加速の度合いを表すパラメーターでなにも加速しない場合($v_3/v_1 = 1$)は、プロペラ効率は1.0です。加速の度合いが大きくなるに伴い効率は低下し、 $v_3 = \infty$ で $\eta = 0$ となります。効率を増すためには

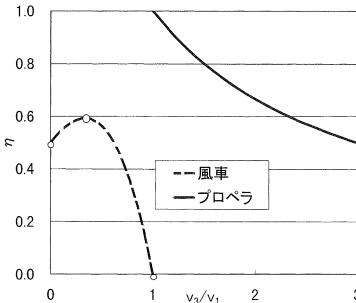


図-2 プロペラ、風車の効率

v_3/v_1 を小さくする必要がありますが、(9)式に示すように、スラストを確保するためには v_3/v_1 を小さくした分だけプロペラの面積 A_2 を増す必要があります。

プロペラの場合は、プロペラの荷重を表すパラメーターとしては、 v_3/v_1 ではなく

$$C_T = T / (1/2 \rho A_2 v_1^2) \quad (15)$$

で表すことが多く、これを用いた効率の式は次式となります。

$$\eta = 2 / (1 + \sqrt{C_T + 1}) \quad (16)$$

実際には、流体が角運動量を有することによるエネルギーロス、流体の粘性によるエネルギーロス、エンジンからプロペラに動力を伝える際の機械摩擦によるロス等により、図-2に示した効率よりも悪くなります。図-2の効率はその上限を与えるもので理想効率と呼ばれます。

4. 風車の効率

風車が吸収する単位時間当たりのエネルギーは、上流側から入って来たエネルギー e_1 と下流側に流れ去るエネルギー e_3 の差($e_1 - e_3$)です。これに対する効率の式の分母は、風車が無い場合に面積 A_2 を通過するエネルギーで $1/2mv_1^2$ です。すなわち、効率は風車がない場合に通過したエネルギーの内、風車がどのくらい吸収するかで表し、

$$\eta = (e_1 - e_3) / (1/2mv_1^2) \quad (17)$$

となります。(12)式の分母が、(17)式では符号を変えて分子となります。プロペラと風車では価値基準が逆になります。(17)式に(4)-(6)、(11)式を代入すると、結局

$$\eta = 1/2 (1 + v_3/v_1)^2 (1 - v_3/v_1) \quad (18)$$

となります。本式の値を図2に点線で示す。

効率は $v_3/v_1 = 1/3$ のとき最高値 $= 16/27 = 0.593$ となります。

$v_3/v_1 = 1$ の場合は $\eta = 0$ です。これは、

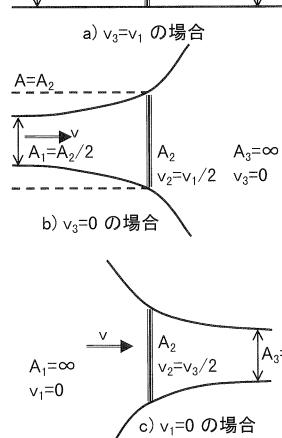
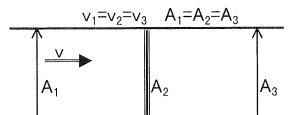


図-3 極端な例

図-3 a) に示すように、風は風車を素通りするだけで、風車がエネルギーを吸収しない場合です。

他方、 $v_3=0$ の場合は、 $e_3=0$ なので下流に流れ去るエネルギーは無く、流路内の全エネルギーを吸収していますが、図-3 b) に示すように、上流における流路の面積 A_1 は風車の面積 A_2 の半分なので、結局、風車が無い場合のエネルギー（同図の点線の範囲を流れ来るエネルギー）の半分を吸収するだけとなり、効率は50%となります。

風車の場合も、図-2に示す効率はその上限を表すもので、流体の粘性によるロス、機構部ロス等のため実際の効率は悪くなります。

5. 扇風機、攪拌機の効率

最後に扇風機の効率について考えます。扇風機の目的は推力を得ることではなく、風を起こすことなので、扇風機の有効仕事をプロペラ下流に放出された空気の単位時間当たりのエネルギーとします。エネルギーの大きい風が良い風かどうか、ここでは問いません。また、図-4に示すような羽根方式の攪拌機の効率も同じように考えることができます。プロペラにおいては無駄に捨てられたと見なされたエネルギーが、扇風機や攪拌機では有効なエネルギーとなります。

下流に放出されるエネルギーは(5)式の

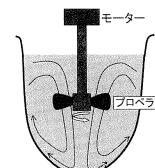


図-4 攪拌機

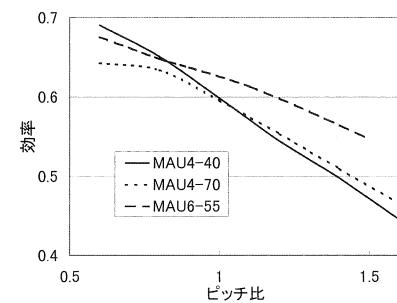


図-5 扇風機、攪拌機の効率

e_3 ですが、これに(6)式、(11)式で $v_1=0$ （扇風機は前進しない）とおいた式を代入すると

$$e_3 = 1/4 \rho A_2 v_3^3 \quad (19)$$

となります。これは、(9)式を使用して

$$e_3 = T^3 / (2 \rho A_2) \quad (20)$$

となります。効率の式の分母としては、扇風機の羽根を回すために投入した馬力 $P = 2 \pi n Q$ （ここに、 n は回転数、 Q はトルク）を使用すると、

$$\eta = e_3 / P = \frac{T^3 / (2 \rho A_2)}{2 \pi n Q} \quad (21)$$

となります。これをプロペラ性能を表すスラスト係数 K_T 、トルク係数 K_Q

$$K_T = T / (\rho n^2 D^4) \quad (D \text{はプロペラ直径})$$

$$K_Q = Q / (\rho n^2 D^5)$$

で表すと次式のようになります。

$$\eta = K_T^{3/2} / \sqrt{2 \pi^{3/2} K_Q} \quad (22)$$

手元にあるMAUプロペラのデータを用いて(22)式を計算してみると、図-5のようになります。ピッチ比が小さいほど効率が良くなります。ただし、低ピッチ比プロペラを使用する場合はプロペラ回転数やプロペラ直径を増す必要があります。

低ピッチ比プロペラの場合は、翼面積、翼数が小さいプロペラの効率が良いが、高ピッチ比プロペラの場合は逆になります。（おわり）

浮体の復原性について

はじめに

復原性は船の安全性上の基本的な機能で、良く知られているテーマですが、風浪下挙動の検討や安全性評価のためのベースとして、浮体の静水中の復原性を取り上げてみました。なお、本稿は浮体を空気圧で浮上させる場合の復原性に関連して検討した結果を取りまとめたものです。

1. メタセンタ

船は、その重量が水の浮力とつり合うことによって浮いており、重量は鉛直下向き、浮力は鉛直上向きで、大きさは同じです。いま、何らかの理由で船が角度 θ だけヒールした場合、図-1に示すように、浮心Bが移動するので偶力が発生します。これを復原モーメント M_s といい、その値は、船の重量ないし浮力を表すベクトル Δ と二つのベクトル間距離 GZ の積です。

$$M_s = \overline{GZ} \Delta \quad (1)$$

浮心Bを通る鉛直線と船体中心線との交点をメタセンタMとすると、

$$\overline{GZ} = \overline{GM} \sin \theta \quad (2)$$

なので、(1)式は次式となります。

$$M_s = \overline{GM} \Delta \sin \theta \quad (3)$$

また、図1から、GとMの高さを船のキルKから計ることにすると $GM=KM-KG$ なので、結局、復原モーメントは、次式となります。

$$M_s = (\overline{KM} - \overline{KG}) \Delta \sin \theta \quad (4)$$

\overline{KM} は船の形状で決まります。船がヒールした場合、 $KM > \overline{KG}$ のときは $M_s > 0$ となるので船は元の姿勢に戻ろうとしますが、他方、 $\overline{KM} < \overline{KG}$ のときは、ヒール角がさらに増大し不安定となります。以上のことから、船の復原性を確保するためには、重心を下げる(\overline{KG} を小さくする)とともに、 \overline{KM} を大きくする必要があります。ただし、

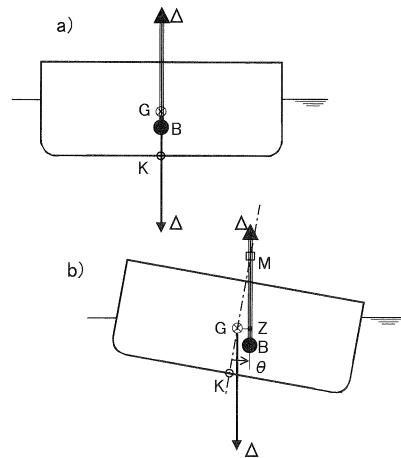


図-1 メタセンタ

\overline{GM} の増大に伴い横揺れ周期が短くなるので、過大な \overline{KM} は乗り心地を悪くします。

船は曲面で構成されているので、 \overline{KM} は積分公式などを使用して数値計算で求めますが、本稿では最も単純な形状である箱船を例にとります。又、浮体を空気圧によつて浮かす場合の例についても示します。なお、本稿は、波が無く船が停止している場合の復原性の検討です。波浪中の復原モーメント減少、高速艇の動的揚力や大傾斜時の動的復原性については扱いません。

2. 箱船のメタセンタ

幅B、喫水dの箱船の \overline{KM} は次式で表されます。

$$\overline{KM} = \frac{1}{2}d + \frac{B^2}{12d} + \frac{B^2}{24d} \tan^2 \theta \quad (5)$$

長さ方向の断面形状の変化も無い直方体です。 θ はヒール角です。本式はヒールに対する \overline{KM} を表わす式ですが、幅Bを箱船の長さに置き換えると縦方向の \overline{KM} を表わす式になります(以下、同様)。

(5)式に示すように、ヒールすると \overline{KM} は増加しますが、 $\tan^2 \theta$ は $\theta = 6^\circ$ で0.01、 $\theta = 12.5^\circ$ で0.05、 $\theta = 17.5^\circ$ で0.10なので、ヒール角 θ が小さいとき、(5)式の第3項は小さいとして無視するこ

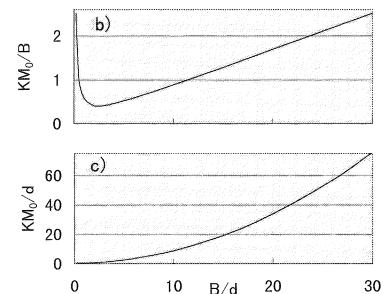
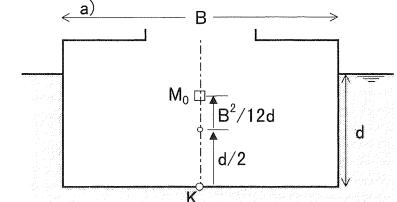


図-2 箱船の \overline{KM}

とができます。これを、本稿では \overline{KM}_0 で表わします。

$$\overline{KM}_0 = \frac{1}{2}d + \frac{B^2}{12d} \quad (6)$$

本式から、ヒール角が小さいときの \overline{KM} は、 $B/d=d/2$ と $B^2/12d$ の和になっていることが分かります。 \overline{KM}_0/B と \overline{KM}_0/d を図-2のb)とc)に示します。横軸は、箱船の B/d で、 \overline{KM}_0/d は B/d の増加に伴い単調に増加していますが、 \overline{KM}_0/B の場合は $B/d=\sqrt{6}$ に最小値があります。

箱船が均一な材料で構成されている場合のように、重心Gと重心とが一致する場合の計算例を示します。図-3は、箱船の比重 γ (γ_0 は海水の比重)と幅深さ比 B/D を変えたときの安定性に関する計算例で、同a)に示すように、 $\overline{KG}=D/2$ 、 $d=\gamma D/\gamma_0$ です。b)には $(\overline{KM}-\overline{KG})=0$ 、すなわち安定、不安定の境界(中立)を示します。横軸は γ/γ_0 です。本図から、 B/D を大きくすると箱船は安定になりますが、その境界は γ/γ_0 によって異なり、 $\gamma/\gamma_0=0.5$ の場合に最大となるには $B/D=\sqrt{1.5}$ とする必要があります。また、 $B/D=1$ の箱船では、 $0.21 < \gamma/\gamma_0 < 0.79$ の範囲で不安定、その

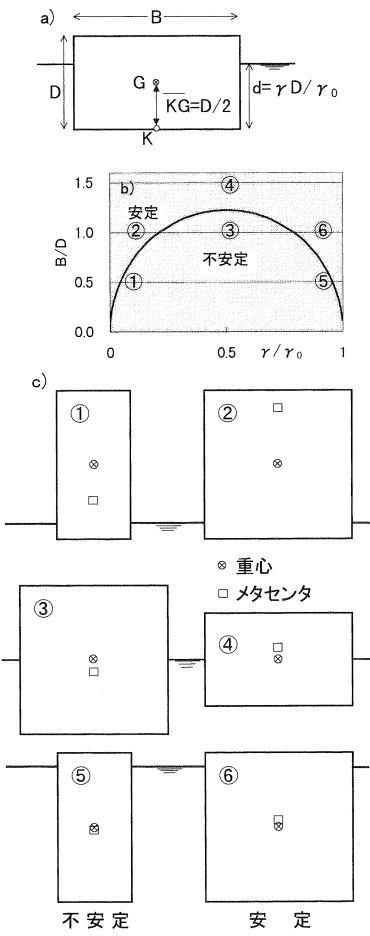


図-3 均一な箱船の安定性

外側の範囲では安定となります。なお、実際の船の \overline{KM}_0 の近似式としては次式があります。

$$\begin{aligned} \overline{KM}_0 &= \frac{1}{2}d \left\{ 1 + \frac{2}{3} \left(1 - \frac{C_B}{C_W} \right) \right\} \\ &\quad + \frac{B^2}{12d} \frac{C_B}{C_W} (0.127 + 0.873C_W) \end{aligned} \quad (7)$$

C_B 方形係数
 C_W 水線面積係数

本式は、 $C_B=1.0$ 、 $C_W=1.0$ のとき(6)式に一致します。(6)式の第1項、第2項に対する修正という形になっている括弧内の式の様子を図-4に示します。横軸は縦柱形係数 C_B/C_W で、左側がV型船型、右側がU型船型です。本図から、V型船型にすると \overline{KM}_0 が大きくなることが分かります。

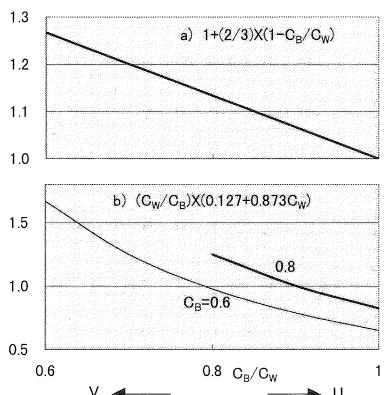


図-4 メタセンタに対する C_B 、 C_W の影響

(7)式の第1項は箱船の(6)式のそれに比べて常に大きいが、第2項はU型船型では小さくなります。

3. 双胴船のメタセンタ

箱船を二つ繋いだ双胴船の \overline{KM}_0 は次式で与えられます。

$$\overline{KM}_0 = \frac{1}{2}d + \frac{B^2}{12d}T + \frac{B^2}{24d}T \tan \theta \quad (8)$$

$$T = 3 - 6 \frac{s}{B} + 4 \left(\frac{s}{B} \right)^2 \quad (9)$$

図-5のa)に示すように、 B は双胴船の全幅、 s は各単胴の幅で $0 \leq s/B \leq 0.5$ の値を取りえます。本式を、単胴型箱船の(5)式と比較すると、第2、3項が T 倍されていることが分かります。図-5のb)にも示すように、 $s/B=0.5$ のとき $T=1$ となり、(8)式は単胴船と同じになります。 s/B が小さくなるに伴いメタセンタは高くなります。この定義では、 s/D が小さくなるに伴い双胴船の排水量 $\Delta = 2 \rho g Lsd$ も小さくなります。

次に、各単胴の幅を $B/2$ の一定値としつつ、その内側間隔 E を変えた場合の \overline{KM} を次式に示します。

$$\overline{KM} = \frac{1}{2}d + \frac{B^2}{12d}F + \frac{B^2}{24d}F \tan^2 \theta \quad (10)$$

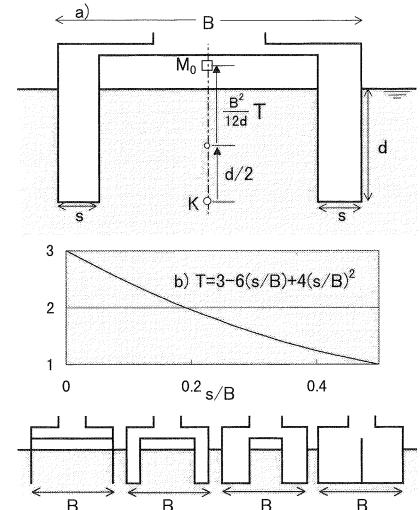


図-5 双胴船のメタセンタ（その1）

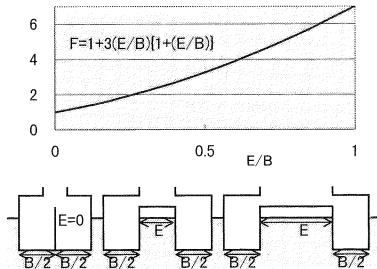


図-6 双胴船のメタセンタ（その2）

$$F = 1 + 3 \frac{E}{B} \left(1 + \frac{E}{B} \right) \quad (11)$$

排水量 $\Delta = \rho g LBd$ は一定で、双胴船の全幅は $(B+E)$ となります。(10)式は、(9)式の T を(11)式の F に置き換えた形となります。図-6に示すように、 E を大きくするほどメタセンタは高くなります。

(続く)

大分県漁業調査船「豊洋」について

1. まえがき

漁業調査船「豊洋」は、大分県海洋水産研究センターに所属する総トン数75トンの最新鋭調査船であり、最先端の調査機器や海洋での位置保持を行なうジョイスチックコントロールシステム等が装備されている。

本調査船の特徴を次に示す。

(1) 操縦性能

操舵室からの視認性を良くするため、甲板室の最上部を極力前方に配置した。また、出入港時の操船や海洋における調査時での位置保持のため、バウスラスター、高性能舵、可変ピッチプロペラによるジョイスティックコントロールシステムを装備した。

(2) 調査機器

計量魚探、サイドスキャナーソナー、潮流計、水温塩分測定装置(CTD)、多段式開閉ネット、超音波流向流速計等の観測装置を備えた。主要な調査機器の観測データは、ネットワーク等で海洋データ処理システム船上部に送られ集中管理できるものとした。

(3) 調査機器の伝達

調査データの解析は、海洋データ処理システムの陸上部により効率的にまとめ、すばやく情報を伝えることができるものとした。



図-1 漁業調査船「豊洋」

(4) 居住性

女性研究員の乗船を考慮して、男女別のシャワー室とトイレを備えた。船員室、調査員室は個室とし防音・防振性に優れたものとした。

② 船首から船底部にかけての流れをスムーズにすることができ、航行中に船首水面より混入する気泡がソナードーム周辺に滞留せず、水中音響機器の機能を損う可能性を減少させる見通しを得た。

これらの水槽試験結果は、実船での試運転により確認することができた(図-2)。

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 東九州造船株式会社

起工 平成11年3月11日

進水 平成11年7月8日

竣工 平成11年8月17日

4. 主要目等

(1) 船質及び航行区域

船質 FRP

航行区域 丙漁業従業区域

資格 第3種漁船

(2) 主要寸法等

長さ(全長) 32.00m

〃(登録) 6.50m

幅(登録) 5.83m

深さ(型) 2.85m

計画満載喫水(型) 2.10m

総トン数 75トン

(3) 速力

航海速力 13.20ノット

(85%出力)

最大速力 14.29ノット

(4) 最大搭載人員

船員 8名

調査員 2名(合計10名)

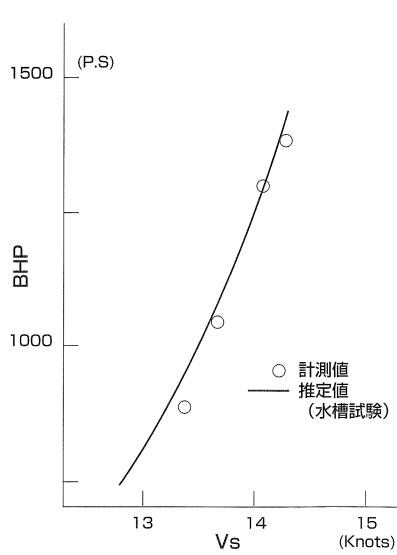


図-2 試運転結果

3. 模型船による水槽試験の実施

本船は、設計を進めるにあたり調査船としての性能の最適化を目指し、模型船による水槽試験を実施した。比較的実績を有する船型を母型として原型を計画し、試験結果に基づき改良を加えてより優れた船型を見出すこととした。

水槽試験では、縮尺1/8.5の模型船を用い、抵抗試験と船体周りの流線観測等が実施された。

① 原型と改良船型との抵抗値の比較では、実船換算での船速にして0.3ノット以上の改善が得られた。主機最大出力の85%で10%シーマージンでの巡航速度13ノット達成の見通しを得た。

(5) 主機等

主機関	中速デイセル機関	1基
連続定格	1,300ps × 850rpm	
発電機関	高速ディーゼル機関	2基
	定格 122ps × 1200rpm	
	(100kVA)	
フロペラ	4翼可変ピッチフロペラ (スキューポ)	
	直径 2,000mm,	
	基準ピッチ 1,800mm	
バウスラスター	4翼可変ピッチフロペラ (スキューポ)	
	直径 700mm, 778rpm	
	電動駆動式 (36kw)	

(6) 主要タンク類

燃料タンク 24m³
清水タンク 4m³

(7) 主要航海計器

ジョイスチックシステム、自動船速制御装置、レーダー、カラービデオプロッター、カラーハードコピー、GPS航法装置、カラー魚群探知機、真風向風速計、デジタル水温計、電気式気圧計、気象用ファックス受信機

(8) 無線裝置

全波送受信機，27MHz帶DSB送受信機，
SSB無線電話裝置，DSB5W電話裝置

(9) 調查・觀測機器

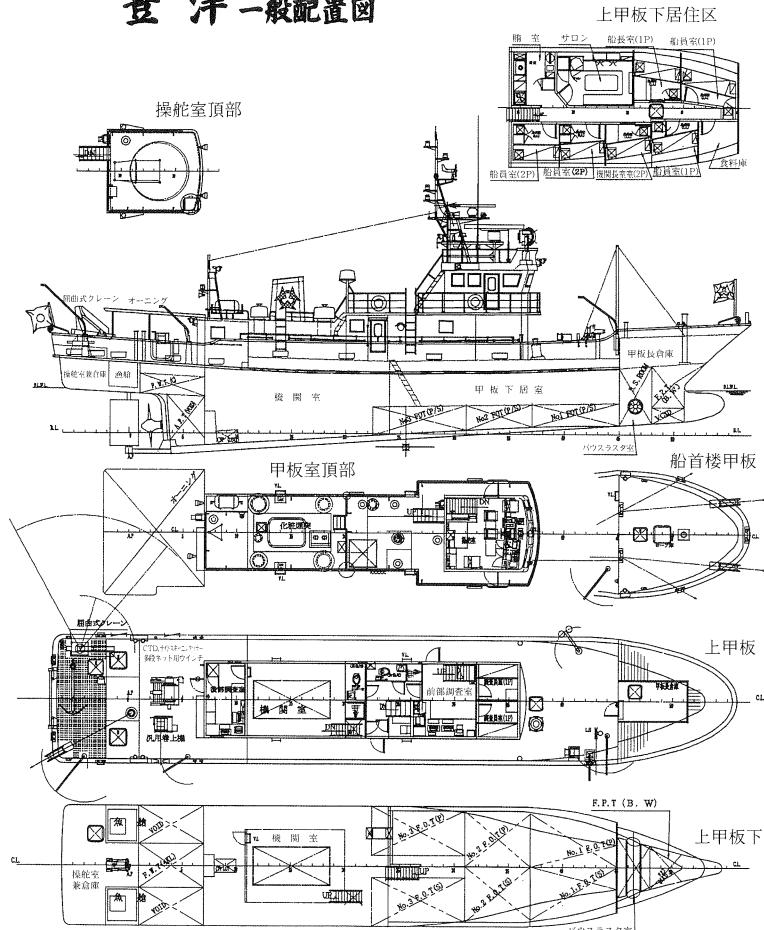
計量科学魚探, サイドスキャナーソナー, 潮流計, 水温塩分測定装置, クロロフィル測定装置, 多段式開閉ネット, 丸特プランクトンネット, 水中テレビロボット(2台), 水中目玉カメラ, 海水流動測定装置, 海洋データ処理装置, モジヤコ採捕装置, ラインホーラー, ポールローラー, マリンクレーン, 汎用巻上機, ウインチ

5. あとがき

本船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大分県海洋水産研究センター関係者に対し厚く御礼申上げます。また、建造にあつたては、東九州造船株式会社をはじめとし、関係メーカー各位が高度な技術と誠意をもつて努力されたことを付記します。

14

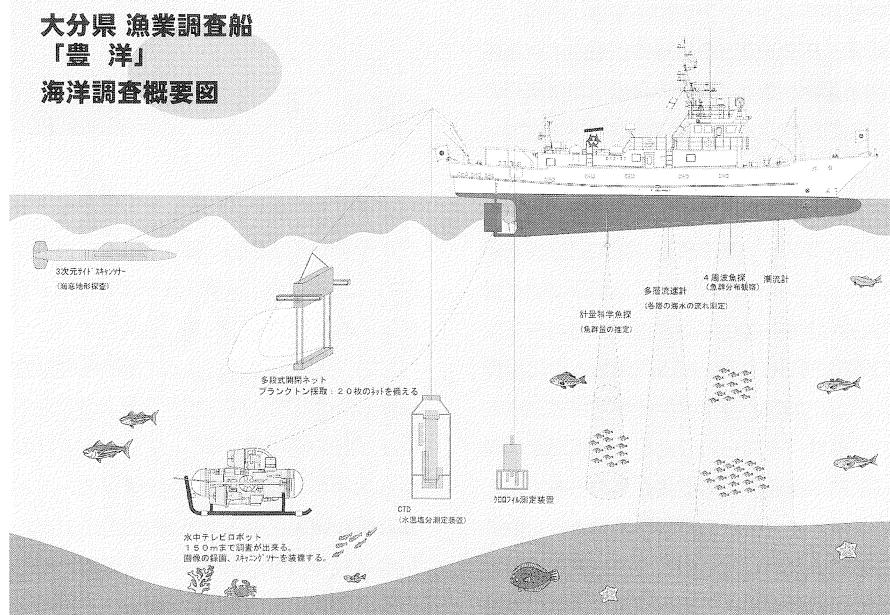
豊洋一般配置図

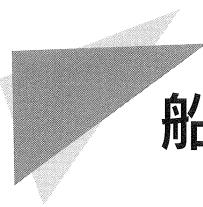


大分県漁業調査船

「豐 洋」

海洋調査概要図

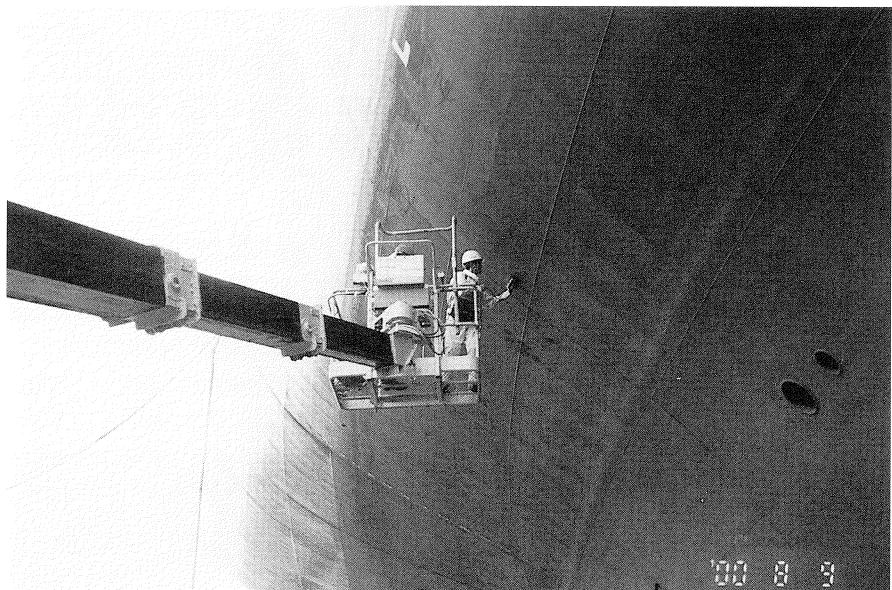
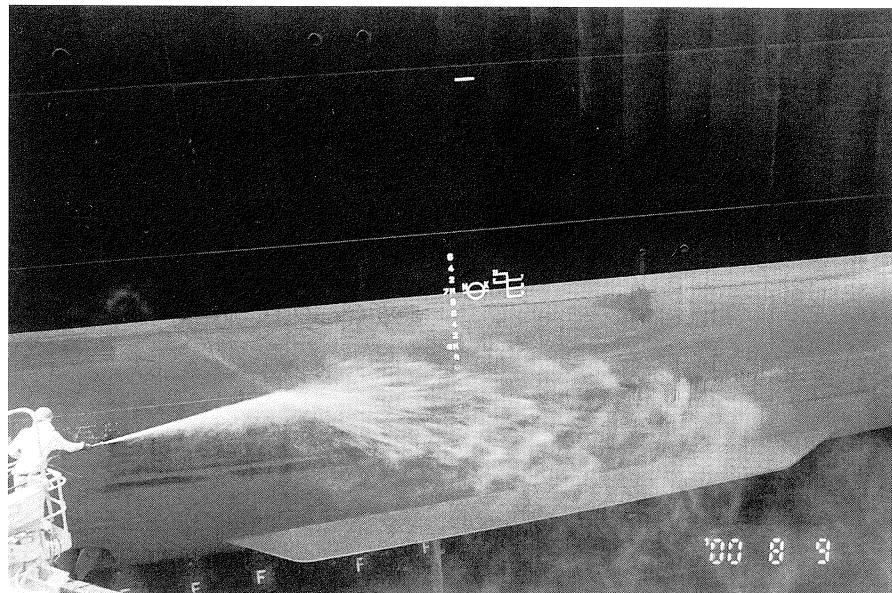




船体外板汚損と推進性能について

船舶の性能は新造時の速力試験ではなく、実際に就航する状態において評価されるべきとの意見があります。いわゆる実海域性能と言われ、風浪による船体抵抗の増加と船体外板が海生物の付着によって流体力学的な粗さを増す事による外板の摩擦抵抗が増加する事によるものが主要な構成要素です。前者については純粋に流体力学的テーマであり、計算や模型試験により定量的に把握し易い量ですが、後者の場合、その影響を把握するには膨大な就航実績データの解析や塗料・塗装といった化学的分野の占める部分が大きく、又、走り込む程滑らかになるという自己研磨型塗料の実現もあり、流体力学の分野での研究は、風浪による抵抗に注がれたエネルギーに比べて微々たるものとの様に思えます。なお、外板への海生物付着による塗装面の粗さの増加と摩擦抵抗増加との関係を評価する為に、塗装面粗度と、乱流境界層理論をもとに実船馬力推定に用いられる粗度修正係数との関係が検討されました。その結果がITTCの提案として、外板粗度の定義、計測法、粗度修正係数を求める式等が整理されています。海生物の付着については、以下の様なプロセスと考えられています。

外洋に就航する船舶の外板表面にはまず海水中のバクテリアや微小生物が付着して繁殖しそれらの出す粘液の作用により珪藻や緑藻類の胞子、海中の有機物が付着してスライムという寒天状の薄膜が形成され、成長していきます。この段階までがミクロ汚損の段階です。次にこれを温床として植物プランクトンが成長し、更に、フジツボやコケムシ等の比較的大きな海生生物が付着し、数量を増して行きます。これがマクロ汚損の段階です。以上の結果として摩擦抵抗が増加し、推進性能が急速に劣化していく事は良く知られており、汚損防止のために塗料や塗装施工の改良が進められて来ています。防汚塗料の役割は塗布された船体外板表面ないしはその近くを生物が近付きにくい毒性環境とする事により生物付着を



防ぐ事にあります。しかしながら時間と共に進行する汚損を防ぐ事は難しく、時間が来れば入渠して、汚損を洗い落した上で再度塗装施工して再び航海に出発します。

なお、入渠再塗装によても外板塗装面は新造時の状態に戻らず、入渠の度に推進性能が旧に復さずに低下していく量と出渠から入渠の間に海生物の付着が進んで推進性能が顕著に低下する量とがあります。前者は経年変化、後者は汚損影響と称します。

写真は長い航海の後に入渠した船の状況と代表的な船体外板汚損を紹介しています。外板汚損は推進性能と深い関係があり、船舶の経済性に影響を与え、更には二酸化炭素による地球温暖化問題にも関連する重要なテーマです。造船技術センターはこのような古くて新しい問題にも積極的に対応しています。

雑感 – 繼続は力なり –

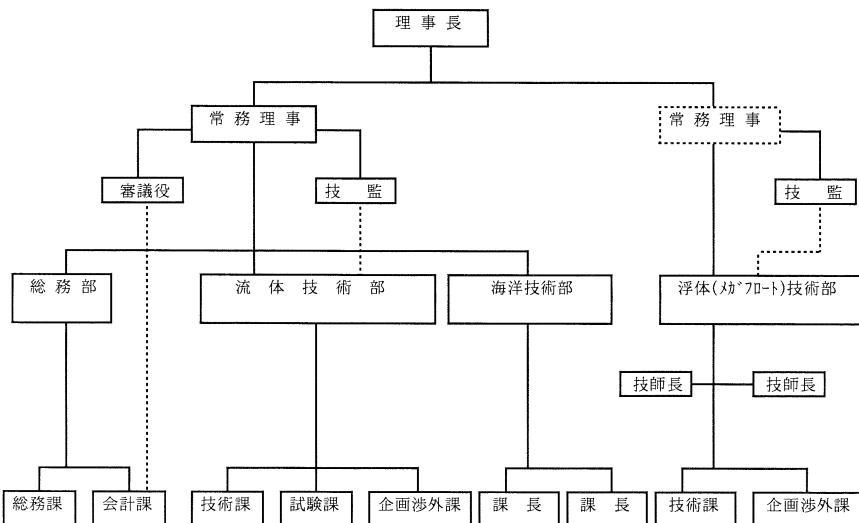
朝日新聞の経済欄に「企業文化と歴史の再構築」という題名で最近の日本企業のマネジメントの欠陥噴出の原因について興味ある意見が述べられていました。すなわち、成功し発展する企業経営がしばしば称賛されるが凋落する企業経営の内容とそれ程大きく異なるものではない。

従つて勝敗を分けた要因は記録に残らないところにあるに違いない。ここで著者は、それは経営の舵取りと重要課題の長期的連續性であり、それによって、時々の取り組み成果が資産となって積み上り、そこで培われる企業文化と歴史が勝敗を分けたのであろうと述べている。従つて敗者が勝者に転ずるのに欠かせないのは企業の力となる文化の再構成であると結んでいる。昔から継続は力なりと良く言われる。又「平凡な事をして、非凡な結果を出す。」という表現もあるが将来を見据えた継続した努力の蓄積が前提となると考えられる。

造船産業が成熟産業の代表とされてから久しく、しかも熾烈な国際競争の荒波に洗われ続いているが、国の特別の支援もなくしぶとく生残っているのは、長年にわたり、蓄積された文化も大きな力となっているようと考えられる。今後共、文化継続と蓄積への努力を期待したい。

造船技術センターにあっても平凡な日々の業務の結果が非凡な成果として評価される様に将来を見据えた継続的な努力を続けて行きたい。

(財) 日本造船技術センター組織表 (平成12年10月1日現在)



日本造船技術センター新体制について

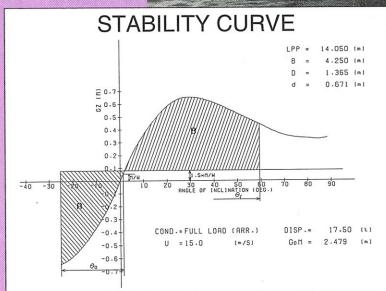
当センターは平成12年10月1日付を以って、上表に示す様な新体制に移行しました。総務部、船型、プロペラの設計や関連する試験を主に担当する流体技術部、基本設計、建造監理等を主に担当する海洋技術部に加えて、大型浮体(メガフロート)技術の継承とそれをベースに業務としての展開を目指した浮体技術部を発足させました。専任の常務理事のもとに経験豊かなスタッフを揃えて対応しますので、宜しくお願ひ致します。



シドニーオリンピックが華やかに終わりました。柔道の田村選手、マラソンの高橋選手はじめ水泳に陸上にと女性の活躍が目立つオリンピックでした。36年前の東京オリンピックに比べ、男子のマラソンや体操の不振、女子のバレーボールの不参加等に加え、失礼ですかはじめて名前を聞くような国国の躍進も時代の大きな変化を感じさせます。日本自体も大躍進の若い国からすっかり老成した元気のない国になってしまったのでしょうか。IT革命への乗遅れ、現場技術の継承のうまく行かない事、等々色々な意見がありますが、オリンピックの女性選手の様に新たな時代に向けて頑張りたいと思います。造船技術センターも新しい体制の下で将来の発展を目指して努力します。(K.T)

雪田乳業は、続いて加工食品の製造本部が相次ぎ、自動車産業なり。ヨリ「アーチー」隱しのマネジメントの久遠の噴出をみると、やはり、最近のリストでは、が原因に見えるが、十数年が経つてではない。自動車業界では、完成車メーカーに続き、外国企業による日本の部品会社の經營権取得が相次ぐ。動きの中心である日本自動車工業の部品会社の新編権を握るが、日本自動車工業の外側企業との新しいパートナ関係が複雑な形で現実化してしまった。勝者と敗者の明暗が前から立派に出て、日本企業の凋落で、対照的な歐米企業の称賛を含めて、勝者の成功ストレーミントの秘けつかがねばダメディア、勝者の最近の各種施策をめでたかしき勝負論など、題論の長期的観察結果でもある。そこで、その一つは、「おお、それによつて、時々、取り組みの政策立案と云ふほどよいところをどうやっても成功要因と言つてゐるのは当然である。実際に勝者と敗者は、敗者とされる企業がほとんど変わらない。

新造船と復原性



愛媛県南宇和郡西海町を母港とし、足摺宇和国立公園の北部に位置する西海町沖合いの島嶼周辺を主漁場とする小型遊漁兼用船。

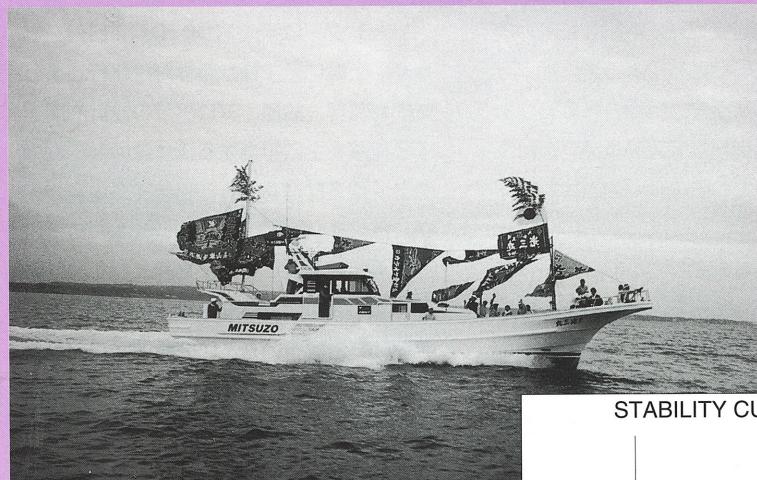
本船はこの種の船としては比較的喫水が深く、最大復原てこも約65cm程度あり、安定した性能を示している。

船名 いろは

用途	小型遊漁兼用船
船主	山本 達也
造船所	片岡造船所
竣工	平成12年4月
総トン数	13トン
航行区域	限定沿海
主要寸法(m)	長さ × 幅 × 深さ 14.05 × 4.25 × 1.365
主機	682馬力 × 2基
最大速力	43ノット
旅客定員	46名

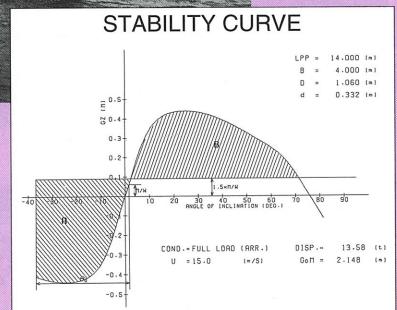
船名 第三光三丸

用途	小型遊漁兼用船
船主	関根 雄志
造船所	池田造船所
竣工	平成10年9月
総トン数	13トン
航行区域	限定沿海
主要寸法(m)	長さ × 幅 × 深さ 14.00 × 4.00 × 1.06
主機	740馬力 × 1基
最大速力	27ノット
旅客定員	35名



神奈川県横須賀市を母港とし、横須賀市沖東京湾を主漁場とする小型遊漁兼用船。

本船は、この種の船としては比較的軽量化が企られており、若干喫水が浅くなっているものの、最大復原てこが約45cm程度あり、安定した性能を示している。



申込みの受付

試験等の申込み、問合せは右表の番号までお願いします。

〒171-0031 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)

① ダイヤルイン番号

- 役員及び総務部 03-3971-0266
- 技監(流体) 03-3971-1074
- 流体技術部長 03-3971-0259
- 流体技術部長代理 試験課 03-3971-0268
- 流体技術部 技術課 03-3971-0296
- 海洋技術部 03-3971-0267
- 海洋技術部長代理(営業) 03-3971-0285
- 海洋技術部長代理 03-3971-0298
- 海洋技術部(プロマネ) 03-3971-0297
- 浮体(メガフロート) 技術部 03-3971-1087

② ファックス番号 (ISDN)

03-3971-0269

③ 留守電番号

03-3971-0266

(注) 6本はNTT局線