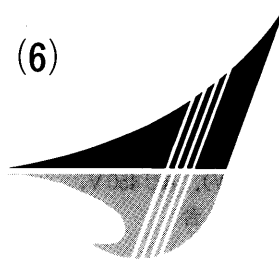


船型学 50年 (6)

— 眼でみる船型試験 —

乾 崇 夫
 東京大学名誉教授
 日本造船技術センター顧問



5月号の訂正と補遺

5月号のサブタイトルは“漸近展開”で、どうしても数学的な話が多くなった。加えて“素成波理論”のスケッチを試みたので、数式の数30を超えた。しかも、編集・印刷の工程がちょうどGWと重なった。そのため、それぞれで大いに頑張って頂いたにもかかわらず、以下のようなミスが出た。

p.50 左, 上から9行目: (1) $t = \left| \frac{\partial \eta}{\partial \xi} \right|_{\xi=1, \zeta=0}$,
 の $\xi=1, \zeta=0$ は下添えて活字を1

号小とする。

同 左, 上から11行目: $\theta^\circ = \underline{i} \times B/L \rightarrow$
 $\theta^\circ = \underline{t} \times B/L$

同 右, 下から15行目: ...などがあり \rightarrow ...などがあり²⁾

p.51 左, 上から12行目: 述べる⁴⁾の²⁾ \rightarrow 述べる¹⁴⁾の²⁾

同 左, 上から16行目: 表面に \rightarrow 表面上

同 左, 下から13~12行目: たとえば(5.3) \sim
 (5.3)式の \rightarrow たとえば(5.3)式の

p.52 左, 上から4行目: 進行波軸 \rightarrow 進行軸

同 右, 上から10行目: $\zeta_2(R_1 \theta) \rightarrow \zeta_2(R, \theta)$

p.55 右, 上から8行目: $U_1, U_2 \rightarrow \bar{U}_1, \bar{U}_2$

同 右, 下から12行目: ...て嵌めも \rightarrow ...て嵌め)も

同 右, 下から4行目: for \rightarrow för

同 右, 最下行: (平元4) \rightarrow (平元, 4)

前回の補足をした。線形理論の立場では、造波抵抗 C_w のうち、干渉項を除いた基本項 $C_w(1)$ は、たとえば前後対称・喫水方向一様・水線方向直線分布の吹出し分布に対し、(5.30)式で与えられる。その初項は

$$C_w(1) \sim \frac{4}{\pi} F^4 m_0^2 A_1 \bar{U}_1 \quad (6.1)$$

である。

A_1 は F を含まない常数であるから、問題は U_1 と F 数との関係であるが、次式で表わされる。

$$\begin{aligned} \bar{U}_n(q_0) &= \frac{1}{A_n} \int_0^{\pi/2} U^2 \cos^{2n+1} \theta d\theta \\ &= 1 - 2\bar{E}_n(q_0) + \bar{E}_n(2q_0), \end{aligned} \quad (6.2)$$

$$\begin{aligned} \bar{E}_n(q_0) &= \frac{1}{A_n} \int_0^{\pi/2} \exp(-q_0 \sec^2 \theta) \cos^{2n+1} \theta d\theta, \\ (q_0 &= K_0 T), \end{aligned} \quad (6.3)$$

$$A_n = \int_0^{\pi/2} \cos^{2n+1} \theta d\theta = \frac{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdots (2n)}{3 \cdot 5 \cdot 7 \cdots (2n+1)} \quad (6.4)$$

ここで、 T は吹出し分布の喫水方向の深さである。 $\bar{U}_n \leq 1$ であって、とくに $q_0 > 2$ では $\bar{U}_1 \approx 1$ とみなしてよい。従って $T/L = 0.05$ では $F \leq 0.12$ まで $C_w(1) \propto F^4$ としてよいが、 $F > 0.12$ では $\bar{U}_1 < 1$ の影響が出て、 F^n の n は4より小さくなる。また(5.30)式の第2項が利いてくるのは通常 $F > 0.20$ である(前回の図5.8参照)。

次に、タンカーのような低速肥大船で、非線形造波抵抗が顕著になると話がどのように変るかについて、一言触れておく。文献(74)の「抵抗成分の分離」は旧試験水槽委員会主催の第2回抵抗・推進シンポジウム(1968.6.17/18神戸)で筆者が担当した報文であるが、そこでは次の設問に対して考察を加えている。すなわち、単独の抵抗試験だけを実施して、その結果から、できるだけ正しくKの値を推定するには、どうすべきか? (K = 形状因子, form factor)

ただし、条件として、抵抗試験のさいに、トリム・船体平均沈下量・船側波形も当然同時計測されているものとし、 K の決定にはこれらの副計測量をもできるだけ積極的に活用すべきものとする。

全抵抗係数曲線のバラツキは前回にも述べた通り低速

ほど大きい。いまこれを見捨ててパラツキはF数に対し不変だと仮定して話を進める。(6・1)式を一般化して

$$C_t = R_t / \left(\frac{\rho}{2} V^2 S \right) = C_v + C_w, \quad (6 \cdot 5)$$

$$C_v = (1 + K) C_{f,0}, \quad (6 \cdot 6)$$

$$C_w = A \cdot F^n \quad (6 \cdot 7)$$

ここで、(6・7)式のnをn-4としたのがHughes¹⁾とProhaska²⁾で、Hughesの方は、C_t曲線の最下点(F₀, C_{t0})に着目し、(6・5)式と次式

$$dC_t/dF = 0, \quad (\text{at } F=F_0, R_n=R_{n0}, C_t=C_{t0}), \quad (6 \cdot 8)$$

とを連立させて、これよりF=F₀におけるKの値(K₀)を求めている。これに対し、Prohaskaは(6・5)式両辺をC_{f,0}で除し、

$$C_t/C_{f,0} = (1 + K) + A \cdot F^n / C_{f,0}, \quad (n=4), \quad (6 \cdot 9)$$

とおき、横軸Fⁿ/C_{f,0}に対しC_t/C_{f,0}を置点する。nの選定がよい場合には、実験点はほぼ直線にのり、この直線と縦軸(F=0)との交点から(1+K)が求まる。この方法はHughesの方法より手数がかかる上に、F→0でのK値を求めているので、設計速力のKと異なる可能性もはらんでいる。というのは、geosim models(相似模型船群)の解析結果³⁾によるとKは厳密にはF数の関数と考えるべきであるとの結論がえられている。その意味ではHughesの方法もC_t曲線の最下点のみに着目しているので、設計速力よりは少しく低速側にズレている。そこで、これを次のように拡張してみる。すなわち、(6・8)式の代りに次式

$$dC_t/dF = u_i \quad (i=0, \pm 1, \pm 2, \dots), \quad (6 \cdot 10)$$

を(6・5)式と連立させる。具体的にはC_t曲線のF=F_i(F_iは横軸F数を適当な間隔で設計点を十分カバーするまで選んでおく)での切線からu_iが求まる。これより適当に選ばれたnに対し、K=K(F)が求まる。nの選定が妥当であるか否かについては、次のような“n-検定法”を用いる。なおnも、F数の広い範囲では、一定ではなく、Fの関数となることは線形理論の立場に立った前回の所論からもいえる。

(6・5)式、右辺のC_nを左辺に移項して、

$$C_t - (1 + K) C_{f,0} = C_w (= A \cdot F^n), \quad (6 \cdot 11)$$

とおき、両辺の対数

$$\begin{aligned} \log [C_t - (1 + K) C_{f,0}] &= \log C_w \\ &= \log A + n \log F, \end{aligned} \quad (6 \cdot 12)$$

を置点すればよい。具体的にはKの比較的せまい範囲で3~4種のK値を仮定してみる。

上述の方法で肥大船型の水槽試験結果を満載18例、バ

ラスト11例について解析した結果、満載ではn≃6、バラストではn≃4~5となった。また設計速力をこえた直後の高速側ではC_w曲線の立上りが急で、この付近のnは中速以下で求めたnよりも、かなり大きくなる)すなわち、C_w(1)の第2項が利いてくる)。

以上は1968年(昭和43年)の話で、前回の“漸近展開”の時代(昭和28年頃)から15年ほどあとのことであるが、さらに7年後の1975年、三菱長研の馬場栄一博士がSNAME-STAR α Symposiumで出された論文⁴⁾で、いわゆる低速造波抵抗理論の立場から、理論的にも、nの値が満載でn=6、バラストでn=16/3=5.3となることが示された。1975年という東大を定年退官する5年前のこと、この年はカナダのOttawaで14th ITTCが9月2日から11日まで開かれ、上記Symposiumはそれに合わせて、その直前にWashingtonで開かれたものである。会議そのものの記憶は茫茫として過去のものになってしまったが、nやKにまつわる思い出はいまに新しい。このような感慨は学の道に遊んでこそはじめてえられる有難い体験と受けとめている。

水を掴む工夫

終戦時に中央気象台長であられた藤原咲平博士の著書に「雲を掴む話」という本がある。“雲を掴む”ことが天気予報術の出発点であることをズバリいいあてたうまい書名である。水槽試験はフルード以来もっぱら“力の計測”にたよりすぎて、流れの実体を細かに観察することをおろそかにしてきた。これには2つの理由がある。ひとつは風洞実験と異なり、水面から下の流れは、人間が魚にでもならない限り、そう簡単には見られないという、至極あたり前のことがある。第2は、フルード以来現在に至るまで伝統的に継承されている試験水槽の曳引車と模型船、それに水面との三者間のレイアウトが“力の計測”には便利だが、模型船のつくる波、特に造波抵抗を直接支配する後続自由波の観察にはまことに不向きであるということである。

結論として船型試験にたずさわる者は、以上2点のハンディがあることを常に念頭において、労をいとわず、“水を掴む”工夫をしなければ、メクラ試験になり、思わぬ間違いをしかねない。さらに、流れをよく見ることによって机上ではえられない新しい発見もありうる。ただし、これには大切な前提条件がある。すなわち“目的意識”をもつことで、他人の真似ではなく、自分自身のアタマで計画し、ここのところをこうやって見たなら、なにか新しいことが出てくるのではなからうか、という予期をもって見ることである。以下、“水を掴む”工夫

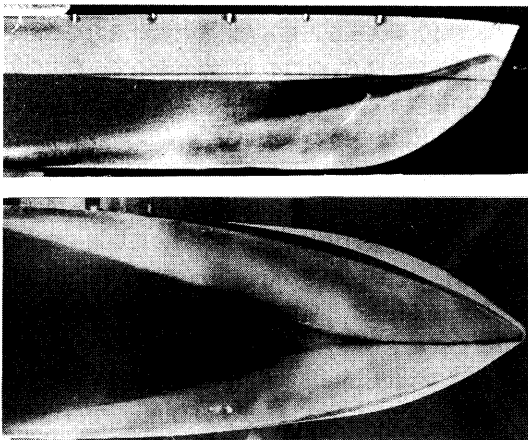


写真 6・1 白馬山丸 2.5m 模型の層流域
($F_n = 0.200$)

の例として、特殊塗膜による模型船表面の層流域や剥離域の観察とその応用である流線計測の話と、船尾造波機構の写真観察の話について記す。

特殊塗膜法とその応用

話は昭和26年(1951)に戻る。この年はワシントンで 6th ITTC が開かれ、戦後はじめて日本から重川 渉・内田 勇両氏がオブザーバーの資格で出席された。(戦後第1回の 5th ITTC は1948年、ロンドンで開かれたが日本には招待状が来なかった)。この頃から外国の文献・情報が少しずつ入ってきた。そのなかのひとつに Walken⁵⁾ の chemical film 法に関する論文があって注目をひいた。というのは当時は未だ現在ほど有効な乱流促進法の技術が確立されておらず、まずもって模型船表面上の層流域が船型や R_n 数、 F_n 数でどう変わるかをしらべることに関心が集まり、chemical film 法が、オソドックスではあるが手間のかかる熱線流速計に代りうるものとして期待されたのであった。

東大水槽ではこの年の夏、試験水槽委員会の委嘱もあって、まず Walker の方法を追試することから始め、これに独自の工夫を加えるなどして層流域のみならず剥離流、流線、船側波形の観測に成功した。なおこれには、この年の4月から大学院特別研究生となった竹沢誠二現日本造船学会会長の功績が大きいことを付記する。また関連する論文・報文は(16)・(20)・(23)・(25)・(28)・(29)・(33)・(36)・(37)・(42)・(49)・(54)・(56) と13編もある。最後の2つは田古里さんの乱流促進法に関する論文の一部で、ここでも熱線流速計と相俟って層流域、乱流域の判定に役立っている。以下紙面の都合で、昭和27~28年の

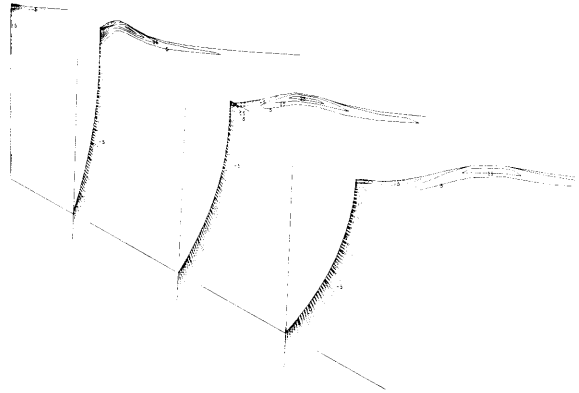


図 6・1 船首喫水線部に生ずる渦度成分 ω_2
(Wigley model, $F_n = 0.289, R_n = 1 \times 10^6$, 計算)

初期の資料の一部を紹介する。

まず特殊塗膜の成分であるが、層流域等の判定用には Walker にならって Hydroquinone-diacetate (以下 H-D と略称する)、船側波形等には、それよりも水への溶解性のよい安息香酸 (Benzoic acid) を用いる。分子式はそれぞれ $C_6H_4(O \cdot CO \cdot CH_3)_2$ 、 $C_6H_4(COOH)$ である。ともに白色板状の結晶で、アセトンに溶かすと無色の液体となる。

さて、この H-D のアセトン溶液をスプレーガンで模型表面に吹付けると、アセトンは数秒で揮発し、模型表面は H-D の白い薄層で蔽われる。ここで重要なのは、H-D そのものの水に対する可溶性であるが、試験管の中で攪拌したぐらいでは常温の水に溶解しないが、水で長い時間洗われると、H-D は醋酸とハイドロキノンに分解して徐々に溶けてしまう。乱流境界層内では主流に直角方向の混合がさかんであるが、層流ではそれが無い。従って、一様な H-D 膜で蔽われた模型船を航走させると、水の交代量の多い乱流域で H-D は分解し溶けてしまっても、水の交代量の少ない層流域では H-D 膜は残存する。なお熱線流速計によると層流域と乱流域との間に遷移域がみとめられるが、H-D 法ではそこまでの精度は無理で、大体において遷移域での H-D 膜は乱流に近い状態で溶けるようである。いずれにしても乱流域で H-D の薄層が消失するのは、化学的な分解によるので、決して機械的な剥脱によるのではない。

一方 H-D を流線測定に応用するには、予め模型表面に適当な高さの人工突起を適当な間隔で植えこんで、これに H-D 塗膜を施し航走すると、突起から生ずる乱れによって、突起後方の H-D が線状に溶ける。この乱れの線の方向を追跡することによって流線が求められる。当然層流域の方が楽で、微小な突起でも後方に長い流線

がえられる。乱流域では最初にH-D膜を厚くしておけば、突起による乱れは著しく強いからH-D膜が全面的に溶解する前に乱れの線が現れ初期の目的を達しうる。なお、H-Dも安息香酸も東大工学部応用化学科の加藤信八郎助教授（当時）のご好意で特に製造して頂いたり、入手先についてご紹介頂いたりして大変お世話になった。

竹沢さんが苦心を重ねたことのひとつに模型船表面のcoatingがある。アセントは低沸点溶剤のなかでももっとも強力なもので、通常のラッカ塗膜ではアセトンの吹付けで簡単に侵されてしまう。この点を重視し、かつ仕上げ面の平滑性をも考慮して検討を重ねた結果、Walkerが使用したAlkyd resin-based enamelと同系統で比較的入手しやすいものとして、人造樹脂系塗料のひとつである「酸化乾燥型のフタル酸レザン塗料」を採用することにした。その商品名は日本ペイント製黒色“Bode-

lac”である。耐アセトン性をもつ適当な下塗り塗料がえられなかったため、木製模型の表面に直接Bodelacを吹付けたが、そのため重ね塗りの回数が多くなり、6～8回行った。Bodelacは乾燥がおそく、塗装1回につき24～36時間の乾燥時間を必要とするので、この準備には大変手間どった。この外に準備すべきものとして模型船の吊上げ装置と固定装置とがあるが省略する。

写真6・1は北見鏡一・久保正大（昭27）両君の卒論⁶⁾から引用したもので白馬山丸2.5m模型の $V = 1.00\text{ m/s}$ ($F_n = 0.200$)における層流域を示す。写真(上)の側面図で船首水面から乱流域が発生しているが、同様の現象は鉛直平板でも見られる。当時は、船首水面付近でなんらかの強い初期乱れが生ずるのであろうと、漠然と想像していたが、これをより明確に示したのが図6・1である。対象船型はWigleyで、船体と自由表面の両方に適合させた曲線境界適合格子を使った有限体積法(WIS-DAM-V)による計算で、y軸方向(船幅方向)の渦度成分 ω_z を示す。N-S方程式を時間発展的に解いたもので $F_n = 0.289$, $R_n = 1 \times 10^6$, 格子点数は約10万点である(平成3年3月・渡辺 修君の修士論文⁷⁾より)。白馬山丸はマイヤー・フォームで普通型船首に比し層流域が長い。また写真(下)の船側から船首船底部への流れの入り方はおだやかである。これに反して、ここには省略したが、wall-sided modelの場合、デルタ翼に見られるような剥離域が観測されている⁸⁾。

写真6・2と図6・2は同じく白馬山丸2.5m模型船の流線測定の結果で、伊藤康弘・川井 力（昭28）組によるものである⁹⁾。

船尾造波機構の写真観察

4月号の最後に図4・9としてInuid model S-101, S-201の抵抗試験結果と計算との比較を示してある。模型の長さはそれぞれ $L = 2.40, 1.75\text{ m}$ である。この抵抗試験は再現性を確かめるために、通常よりもていねいに何回かの繰返し試験を行ったのであるが、S-201という $F_n = 0.26$ のホローから $F_n = 0.31$ のハンブに至る。いわゆる C_w 曲線の上り坂のところ、日によってループを画くことが確かめられた。逆に、このハンブを超えて次の0.35のホローに至る C_w 曲線の下り坂では抵抗値は非常に安定していて、ドン・ピシャリ一致する。このことが下地にあって、一方、ときおり曳引車に乗ってスタートから定常航行になるまでの船尾付近の流れを見るとなかなか面白い。つまり、プラントルの教科書のなかにある翼の出発渦の写真を連想させるようなダイナミックな変化がみられるのである。それは船尾付近の粘性流

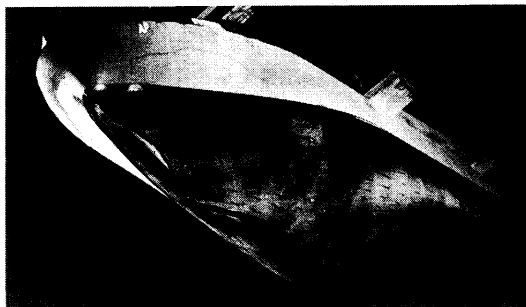
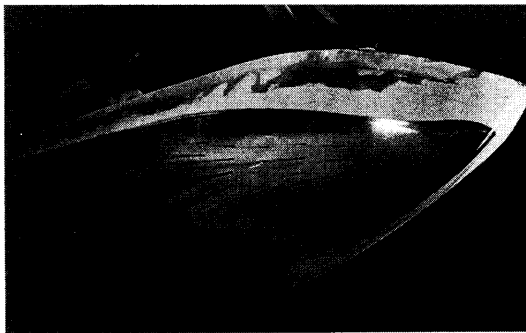


写真6・2 白馬山丸2.5m模型の流線 ($F_n = 0.172$)

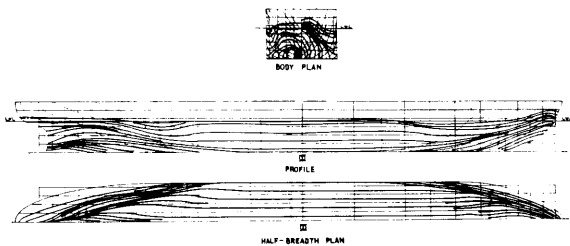


図6・2 流線図(白馬山丸2.5m, $F_n = 0.228$)

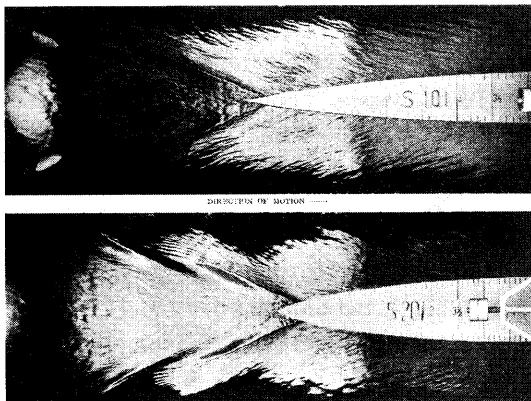


写真 6・3(a) 船尾波波紋 (S-101, S-201, $F_n = 0.213$)

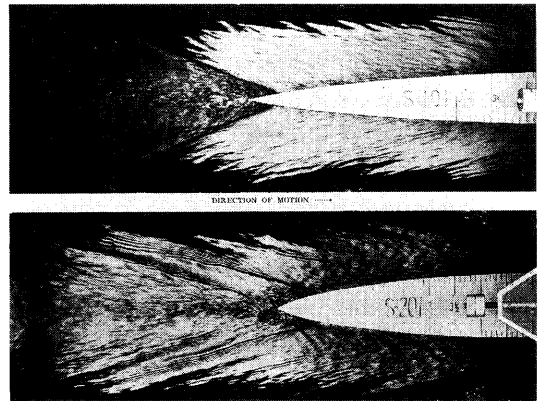


写真 6・3(b) 船尾波波紋 (S-101, S-201, $F_n = 0.289$)

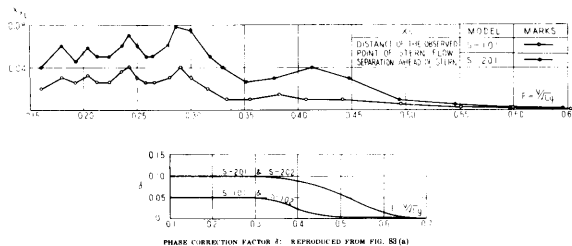


図 6・3 船尾波の起点と F_n 数との関係 (S-101, S-201)

が定常状態に達するまでに、なにがしかの有限時間を必要とすること、一方で、船首波が定常波形におさまるためにも、さきに文献 12) でも触れたように、水深が十分深い場合でも、定常波長の数倍の助走距離を必要とする。この両者が相互にからみあって、最終的に船尾流場がやっと定常状態に到達するのであるが、ほぼ剥離点と覚しき辺りでの定常船首波の位相によって、船尾波のできかたが予想外に大きく異なるらしいと気がついた。そこで、上記 2 種の Inuid model について、船尾付近だけの局部的な波紋写真をとることを思いついた。それが文献 35) であって昭和 32 年春の学会で発表した。これが波紋撮影の第 1 号であって、対象水域が局限されているので、水面に白天井のカゲをおとす方式で成功した。撮影は $F_n = 0.100$ ($K_0 L = 100$) から $F_n = 0.65$ ($K_0 L = 2.37$) におよぶ 27 種の数で行った。写真 6・3 はその一例で、(a) は $F_n = 0.213$, (b) は $F_n = 0.289$ に対するもので、(b) の場合、船尾波の起点が (a) に比し、船首方向に前進していると同時に船尾波の cusp line が弱められていることが判る。図 6・3 はこの船尾波の起点 X_s/L を F_n に対してプロットしたもの(上)と、前述の図 4・9 で

C_w の理論計算に導入した粘性修正 (β, δ) のうちの δ の値を示した(下)のものである。両者はかなりよく似ている。

元来、 δ は船のはるか後方における船尾波の漸近的性質に関与するものであり、一方 X_s/L は船尾局所流に関係する量である。従って、両者を直接に結びつけることは、さして物理的な意味もないし、また当時としては、これに単純かつ合理的な物理的解釈を下しえなかったが、それでもなお、このような類似性がみられるということは、両者が、おそらく後流間の合成自由波の伝播の過程を介して、間接的に密接な関係に立っているものと推察された。

この写真観察は実験手法はまことに簡単なものであったが、着眼という点と、えられた収穫の予想外の大きさという点とで、印象に残るもののひとつである。これが成功した要因として、模型が単純船型の Inuid であったことが挙げられる。すなわち、単純船型のため船首波が simple であったことと、Inuid であるため、cruiser stern などと異なり、真上からの視察が容易であったからである。

その後、20 年以上も経過して、筆者が定年退官する直前、現広島大学助教授の土井康明博士が、2 年ほど東大水槽に助手として見えたことがあり、この問題に興味をもたれ、S-201 の 1 m と 2 m の相似模型をはじめ、計 8 種の Inuid 船型と 1 隻の wall-sided model を用い詳しい研究をされ、学位論文¹⁰⁾にまとめられた。これらは文献リストの下記に報告されている。

(134), (147), (154), (177), (210), (213)

今回同博士から本誌掲載用にかかりの数の原写真を送って頂いたが、紙面の都合でそのごく一部だけ拾ったのが、

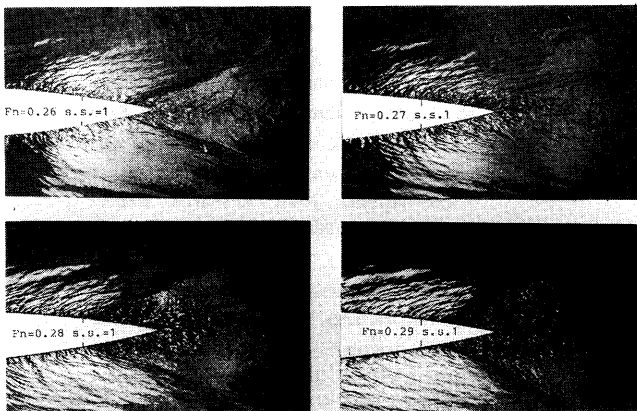


写真6・4 船尾波波紋 (S-103)

図6・4 船尾波の起点と F_n 数との関係 (S-103) ▶

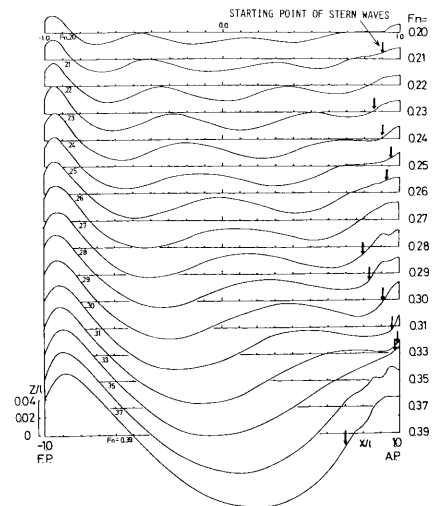


写真6・4である。模型は深喫水のInuid model S-103 ($a=0.4$, $T/l=0.5$, $l=1/2 \cdot L$)の2m模型である。速力は左上から右下にかけて4種、すなわち $F_n = 0.26, 0.27, 0.28, 0.29$ である。また図6・4は同じ模型について、0.20から0.39までの16種の F_n 数に対する船側波形と船尾波の起点 X_s/l を示したものである。これらおよび、ここでは省略した全波紋の写真観察を含めて、同氏は次のように船尾波波紋の特徴を挙げている。その第1は、すでに述べた通り、 F_n 数により船尾波起点位置が前後すること。第2に、船尾波の様相が船速により変化し、たとえば $F_n = 0.25$ で明瞭に見られる船尾波は $F_n = 0.26$ で、波の陰影は少し弱くなり、さらに $F_n = 0.27$ では船尾波は不明瞭で波は消えたかに見える。そして $F_n = 0.28$

では再び船尾波は明瞭になる。これ以上 F_n 数が上るにつれて、波の陰影は強くなり、船尾近傍流場には波面の乱れた領域が現われる。 $F_n = 0.31$ でそれは最大となり、このときの船尾波は船首周りの波とは全く様相を異にする。さらに高速になるに従い船尾波波面の乱れ、および波の陰影は弱まる……。第3点は、ある F_n 数域で、波面に乱れを伴った特異な船尾波が存在するということがある。たとえば写真6・4の $F_n = 0.28$ では波面の乱れは船尾端近傍に局限されているが、 F_n 数の上るにつれて、乱れの強さとその領域はまし、 $F_n = 0.31$ をピークとして、以下再び減少に向う。なお宮田助教授の話では図6・1に例示したWISDAM-Vでもこの現象に対し、いまひとつ分解能が不足気味とのことである。

〔参 考 文 献〕

- 1) Hughes, G.: The influence of form and scale on model and ship resistance, Proc. 10th ITTC (1963, London)
- 2) Prohaska, C. W.: A simple method for the evaluation of the form factor and the low speed wave resistance, Proc. 11th ITTC (1966, Tokyo)
- 3) 谷口 中: Study on scale effect of propulsive performance by use of geosims of a tanker, 造学論 120号 (1966)
- 4) Baba, E.: Blunt bow forms and wave breaking, First Ship Technology and Research (STAR) Symposium, (Aug. 1975, Washington)
- 5) Walker, W. P.: Detection of laminar flow on ship models, TINA, Vol. 91 (1949) 220
- 6) 北見鏝一・久保正大: Chemical filmによる層流域の決定 (1952)
- 7) 渡辺 修: 数値シミュレーションによる船体周りの波と粘性流 (1991, 東大)
- 8) 坂元直家・南崎邦夫: 薬品塗膜による層流域の判定並びに流線測定について (1953)
- 9) 伊藤康弘・川井 力: 模型船の流線測定 (1953)
- 10) 土井康明: 粘性および波の非線形性を考慮した船尾波の造波特性に関する研究 (1986, 東大)

船の科学

- perimental investigations on the wave making in the near-field of ships, J. Kansai Soc. Nav. Archit. Jpn, 173 (June 1979), 95-107.
- 117) T. Inui:
序論, 船型設計のための抵抗・推進理論シンポジウムテキスト (1979年7月), 1-8.
- 118) H. Kajitani:
非線形影響を考慮した船型設計, 船型設計のための抵抗・推進理論シンポジウムテキスト (1979年7月), 37-56.
- 119) N. Kato:
静止から瞬間的に出発した二次元平板の後流の計算, 第29回応用力学連合講演会講演論文抄録集 (1979年10月), 95-96.
- 120) H. Miyata, T. Inui and H. Kajitani:
深水域を進行する浮体の非線形造波現象, 第29回応用力学連合講演会講演論文抄録集 (1979年10月), 97-98.
- 121) T. Kitazawa and H. Kajitani: Computations of wave-resistance by the low speed theory imposing accurate hull surface condition, Proc. Workshop on Ship Wave-Resistance Computations Vol. 2. Bethesda (Nov. 1979), 288-305.
- 122) H. Miyata and H. Kajitani: Wave-resistance calculations by the low speed theory and Guilloton's method, Proc. Workshop on Ship Wave-Resistance Computations Vol. 2 Bethesda (Nov. 1979), 354-369.
- 123) T. Inui:
船舶の造波抵抗に関する研究, 学術月報 32 巻 8号 (1979年11月), 528-533.
- 124) T. Inui, H. Kajitani, H. Miyata, M. Tsuruoka, A. Suzuki and T. Ushio: Non-linear properties of wave making resistance of wide-beam ships, J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 146 (Dec. 1979), 18-26. Nav. Archit. Ocean Engng. 17 (1979), 38-46.
- 125) Y. Shimomura, T. Kitazawa, T. Inui and H. Kajitani: The low speed wave resistance theory imposing accurate hull surface condition, 船体表面条件を厳密化した低速造波抵抗理論, J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 146 (Dec. 1979), 27-34.
- 126) H. Kajitani and T. Kitazawa: Improvement of low speed wave resistance theory by satisfying hull surface condition, International Joint Research Report 1979 (April 1980), 23-42.
- 127) H. Kajitani, M. Nitoh and Y. Doi: Wave analysis applied to improvement of fine container hull forms, International Joint Research Report 1979 (April 1980), 81-102.
- 128) H. Miyata, T. Inui and H. Kajitani: Free surface shock waves around ships and their effects on ship resistance, International Joint Research Report 1979 (April 1980), 103-130.
- 129) H. Miyata, Y. J. Lin and T. Hino: Evaluation of resistance increment due to propeller and its application to hull form design, International Joint Research Report 1979 (April 1980), 157-199.
- 130) H. Miyata, T. Inui and H. Kajitani: Free surface shock waves around ships and their effects on ship resistance, J. Soc. Nav. Archit. Jpn, 147 (June 1980), 1-9. Nav. Archit. Ocean Engng. 18 (1980), 1-9.
- 131) N. Kato: A study on separated flow behind bluff bodies by inviscid vortex models (first report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 147 (June 1980), 43-52.
- 132) H. Miyata, Y. J. Lin, T. Hino and S. Fujita: On the optimization of the aft-part of fine hull forms (first report), J. Kansai Soc. Nav. Archit. Jpn. 177 (June 1980), 37-50.
- 133) H. Miyata: Characteristics of free surface shock waves around wedge models, Proc. Continued Workshop on Ship Wave-Resistance Computations, Izu Shuzenji (Oct. 1980).
- 134) Y. Doi: Observation of stern wave generation, Proc. Continued Workshop on Ship Wave-Resistance Computations, Izu Shuzenji (Oct. 1980), 155-172.
- 135) M. Takahashi, H. Kajitani and H. Miyata: Characteristics of free surface shock waves around wedge models, J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 148 (Dec. 1980), 1-9.
- 136) H. Miyata, Y. Tsuchiya and T. Inui: Resistance reduction by stern-end-bulb (first report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 148 (Dec. 1980), 10-16.
- 137) N. Kawamura, H. Kajitani, H. Miyata and Y. Tsuchiya: Experimental investigation on the resistance component due to free surface shock waves on

- series ship models,
J. Kansai Soc. Nav. Archit. Jpn. 179
(Dec. 1980), 45-55.
- 138) Y. J. Lin, H. Kajitani, H. Miyata and M. Kanai: On the optimization of the aft-part of fine hull forms (second report), J. Kansai Soc. Nav. Archit. Jpn. 179 (Dec. 1980), 57-65.
- 139) T. Inui and H. Miyata: On the optimization of overall performance of rudders, Nav. Archit. Ocean Engng. 18 (1980), 10-20.
- 140) J. Kasahara, S. Nagumo, S. Koresawa, T. Daikuhara and H. Miyata: Experimental results of vortex generation around ocean-bottom seismograph due to bottom current, 底層流による海底地震計周囲の渦の発生の実験的観察, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. of Tokyo Vol. 55 (1980), 169-182.
- 141) H. Miyata: Characteristics of nonlinear waves in the near-field of ships and their effects on resistance, Proc. 13th Symposium on Naval Hydrodynamics, Tokyo (1980), 335-351.
- 142) T. Inui: From bulbous bow to free-surface shock wave—Trends of twenty years research on ship waves at the Tokyo University Tank (3rd Georg Weinblum memorial lecture), Institut fur Schiffbau der Universitat Hamburg, Bericht Nr. 402 (Nov. 1980) J. Ship Research Vol. 25 No. 3 (Sept. 1981), 147-180.
- 143) H. Miyata, Y. Tsuchiya and T. Inui: Resistance reduction by stern-end-bulb (second report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 149 (June 1981), 1-10.
- 144) Y. J. Lin, H. Kajitani, H. Miyata, S. Takeuchi and H. Adachi: On the optimization of the aft-part of fine hull forms (third report), J. Kansai Soc. Nav. Archit. Jpn. 181 (June 1981), 63-75.
- 145) A. Suzuki, H. Miyata and H. Kajitani: Numerical analysis of free surface shock waves around bow by modified MAC-method (first report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 150 (Dec. 1981), 1-8.
- 146) M. Nito, H. Kajitani, H. Miyata and Y. Tsuchiya: Free surface shock waves and methods for hull form improvement (first report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 150 (Dec. 1981), 19-29.
- 147) Y. Doi, H. Kajitani, H. Miyata and S. Kuzumi: Characteristics of stern waves generated by ships of simple hull form (first report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 150 (Dec. 1981), 30-39.
- 148) H. Miyata, Y. Tsuchiya, T. Inui and H. Adachi: Resistance reduction by stern-end-bulb, Nav. Archit. Ocean Engng. 19 (1981), 16-28.
- 149) H. Miyata, A. Suzuki and H. Kajitani: Numerical explanation of nonlinear nondispersive waves around bow, Proc. 3rd International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Paris (1981), 37-52.
- 150) H. Kajitani and H. Miyata: Nonlinear waves generated by ships, 船の造る非線形波動, J. Faculty of Engineering, University of Tokyo (A) Vol. 19 (Nov. 1981), 26-27.
- 151) H. Kajitani: 船体形状 (省エネルギー船のための要素技術 3.1.1) 日本造船学会誌 632号 (1982年2月), 32-35.
- 152) H. Miyata: バルブ (省エネルギー船のための要素技術 3.2.1.) 日本造船学会誌 632号 (1982年2月), 41-43.
- 153) H. Miyata, A. Masuko, H. Kajitani and K. Aoki: Characteristics of free surface shock waves around wedge models (second report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 151 (July 1982), 1-14.
- 154) Y. Doi, S. Takeuchi, S. Hong, H. Kajitani and H. Miyata: Characteristics of stern waves generated by ships of simple hull form (second report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 151 (July 1982), 23-32.
- 155) H. Miyata: 自由表面衝撃波の研究, 船の科学 35巻 10号 (1982年10月), 46-47.
- 156) H. Kajitani: Development of ship hull forms and its technical background for fuel conservation, Fuel Conservation Seminar for Shipping in Singapore, Singapore (Nov. 1982)
- 157) A. Masuko, H. Miyata and H. Kajitani: Numerical analysis of free surface shock waves around bow by modified MAC-method (second report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 152 (Jan.