

船型学 50年 (4)

— 正しい船型条件 —

乾 崇 夫

東京大学名誉教授

日本造船技術センター顧問



訂正と補遺

○前回 (3月号) の記述に、筆者の不注意による誤りがあったので、次のように訂正させて頂く。

p.49 右、下から18行目：卒業式の翌日 → 卒業式の4日後 (理由、卒業式は28日でなく25日)

なお、その次の行の「大学院又ハ研究科の特別研究生ニ...」ののは片仮名のノが正しい。

p.51 右、下から2行目：水線・肋骨線ともに2次のパラボラ → 水線はcos型、肋骨線は2次のパラボラ (本号第4・1表のWigley船型参照)

ついでに、1~3月号の校正ミスは次の通り。

○1月号 (第1回)

p.77 右、上から2行目：このな原体験 → このような原体験 (よう 入れる)

p.77 右、上から7行目：船の航跡 → 船の航跡 (下線入れる)

p.77 右、上から13行目：50余年 → 50余年

p.78 左、下から17行目：最高裁長官」が → 最高裁長官が (」とる)

p.78 右、上から20行目：権貝教授 → 権貝教授

○2月号 (第2回)

p.49 右、表2・2：(1871~1981) → (1871~1980)

p.53 左、上から1行目：汗を流しつ、 → 汗を流しつ、 (つ 入れる)

p.53 右、参考文献3)の掲載誌の一部：Rederee → Reederei

○3月号 (第3回)

p.52 左、下から16行目：……のすべて波と → …のすべての波と (の 入れる)

p.53 右、図3・7：横軸の1.0は0.1の誤り (原図ミス)

前2回で、学部から大学院にかけての数年(昭16.4~21.9)を大急ぎで駆け抜けてみたが、次の話に移る前に、

ここで小休止して若干の補足をしておきたい。

まず造波抵抗研究の問題としては、制限水路影響について、Kreitner流の非線形1次元理論と線形造波抵抗理論との間のギャップを埋めるような、より精度の高いアプローチへの願望が、その後引続いて筆者のアタマのどこかにか絶えずあった。前号(3月号)の図3・6(浅水時の側壁影響)の実験にsinkageだけを許し、トリムを許さない水平ガイドを用いたのも、実験のサイドからこのギャップの一部(トリムの影響)を排除したかったからである。ただ、現象そのものが極度の非線形性を含んでいるため、純解析的アプローチには限界があると考えられ、東大水槽でこの十年來開発されたTUMMACあるいはWISDAMによる数値的アプローチを適用することを考え、その可能性について同プログラム開発者の宮田助教授の意見を質したりした。それは今からちょうど2年前の平成元年春から夏にかけてのことであったと記憶するが、その折の見解としては次のようなものであった。すなわち、第一に、危険速度域での大きなトリムを正しくsimulateするためには粘性の影響が顕著な船尾付近の圧力分布の推定精度を上げなければならないこと、第二に、solitonの挙動を正しく把握するためには側壁は勿論、上・下流(特に上流側)にわたり十分広い範囲でグリッド・カバーリングを必要とし、これには計算機容量とのからみあいで、かなりの工夫を必要とするであろう、とのことであった。このようなやりとりがあって間もなく、茂里教授(広大)が全体の世話をされた第5回船舶数値流体力学学会議(1989.9.24~28, 広島)でRestricted WatersがSession7として独立にとりあげられ、大楠教授(九大応力研)座長のもと、2つの論文^{1), 2)}が読まれた。うち後者²⁾は特に興味深く、筆者も“卒論”の話を含めて久し振りに討論に加わった。

次に、精神面のことで忘れえぬ思い出が2つある。これらは“研究”の内容に直接関与する事象ではないが、

“研究”をする人間の“心”に対しては——少くとも筆者の個人的体験として——のちのちまで大きな影響を及ぼしたと思われることがらである。そのひとつは、大学院に残って間もない昭和18.10.21、神宮外苑競技場で「学徒出陣」を見送ったことである。例年10月の20日過ぎという1年でもっとも晴天率の高い時季であるはずが、この日に限って台風まがいの豪雨で、それこそ“天も哭く”かと思うような土砂降りであった。「百年史・通史二」第6編・第3章・第2節の4「学徒出陣」の項によると、同年9月21日の閣議決定「現情勢下ニ於ケル国政運営要綱」に関連した「国民動員の徹底を図る」ことの一環として、学生の「一般徴集猶予を停止し理工科系統の学生に対し、入営延期の制を設く」ることとなった。ついで10月2日、勅令第755号、在学徴集延期臨時特例が公布された。これは「兵役法第41条第4項〔戦時又ハ事変ニ際シ特ニ必要アル場合ニ於テハ勅令ノ定ムル所ニ依リ徴集ヲ延期セザルコトヲ得〕ノ規定ニ依リ当分ノ内在学ノ事由ニ因ル徴集ノ延期ハ之ヲ行ハズ」というものであった。これによって法文経系統の学部在籍する学生で徴兵年令に達していた者はすべて徴兵検査を受け、その多くが入営することになったわけである。なおこの当時全国の官公私立大学の学生総数は約5.1万、うち文科系はほぼ2/3の3.5万であった。

いまひとつは、終戦のちょうど1年前の昭和19.8.15午後、理学部化学教室水島研究室での大段政春副手（当時）の爆死事故である。大段氏は一高の1年後輩で、野球部の安川4兄弟の末弟明氏（現幾島姓）と同じ理乙出身の秀才で、海軍からの依託研究である電波探知機の高周波絶縁材料の製造研究中での事故であった。故水島三一郎教授の機敏なお心くばりがあって葬儀は大段助教（2階級特進）として行われたが、母一人・子一人というお気の毒な境遇でもあった。当時の水島研究室は陸・海軍の双方からいろいろな戦時研究の依頼を受けて多忙ななかでも、大学本来の責務——物理化学——の遂行を第一としておられたとのことで、このあたりの経緯は昨春上梓された同研究室の回想文集³⁾に詳しい。東大水槽も水島研究室ほどではないが、「海軍技研東大分室」なる看板を掲げ、ロケットや水中ジェット的基础研究に続いて、昭和20年に入ってから、米軍が大量に投下した各種の機雷のうち、船舶の航走により生ずる圧力変化（負圧）を感知して作動する水圧式機雷除去に関連して、湾内のような水深の浅い海底面での圧力分布の計算を行った。後者は浅水時の造波抵抗理論の応用問題でもあり、それまでの研究がそのまま役立った。

話がやや脇道に外れたが、自らは徴兵免除というまた

とない恩典に与かりながら、学徒出陣を見送ったり、大段助教の殉職を目のあたりにすれば、否が応でも身が引締り、「自分の能力の限界まで、とにかく全力をつくさねば、これらの方々に対し申し訳ない」と自戒の念を強くしたことである。

終戦から翌昭和21年秋にかけてのこと

敗戦とともに戦時下とはまた違った形での苦難の時代が始まった。まず東大全体としては米軍による本郷キャンパスの接收問題があった。これについては故内田祥三総長（当時）の回想⁴⁾に詳しいが、それは一度ならず二度もあった。すなわち最初は米軍進駐直後の昭和20年8月20日過ぎから始まり、9月11日に解決したGHQによる接收問題。次が、9月21日朝突如としておこり、同日夜に至って急転直下落着した米第八軍（在横浜）による接收問題で、いずれも一時はかなり際どいところまで進んだのを、内田総長、南原法學部長、高木（八尺）教授、石井事務局長や前田文相以下の文部省関係部局らの努力で回避できた。

工学部については「百年史・部局史三・工学部」第1章・第8節「戦後処理問題と工学部」に詳しい。まず昭和20.11.18GHQにより「航空学の研究・教育と航空機の製作の全面禁止」等の覚書が出され、これを受けて翌21.1.10「航空研究所および航空関係の講座廃止」の勅令が出されたが、東大では第1および第2工学部における航空学関係の講座のほか造兵・火薬など軍事色の強い学科の講座を廃止して、そのほとんどを人員構成はそのままにして、講座名と学科編成を変更する措置がとられた。航空研究所は20年12月に遡って廃止、そのあとを受けて昭和21.3理工学研究所が発足、昭和33第2次航研（のち昭和39から宇宙航空研）として復活した。船舶工学科でも船舶工学第2講座（軍艦・漁船・鋼船構造・造船幾何）が廃止の危機に曝されたが、当時まだ30代の少壮学科主任であられた吉識先生⁵⁾が20歳も年長の亀山工学部長と前後3回にわたり折衝された結果、講座内容を「特殊船・漁船の設計および艦装」として生き残ることができ、高木（淳）・竹鼻両教授を経て、現在の海洋工学第2講座（金原教授・影山助教）に引継がれている。吉識先生の論旨は食糧危機下の蛋白源確保と世界三大漁場のひとつである日本の立地条件からみた漁船研究の重要性を訴えられたのであるが、「百年史」によると「船舶」に限らず工学部全体としても、「敗戦国日本での重化学工業の再興は国内外の条件からみて当分不可能であろうから、工学部の基本的方向を食糧増産工学といったものに向けるべし」とする見解も多かったようである。

表 4・1 造波抵抗比較供試数式船型の一例

| Author | Ref. | Model No. | Dimensions | | | | Equation of the Surface | Water-Line | | | Frame-Line | | Cp | Cb | |
|----------------|------|-----------|------------|--------|--------|------|--|------------|------------------|------------------|------------|------|-------|-------|-------|
| | | | L | B/L | T/L | B/T | | Type | t ⁽⁰⁾ | θ ⁽⁰⁾ | Cw | Type | | | Cm |
| WIGLEY (1926) | A-8 | 755 | | 0.1250 | 0.0625 | 2.00 | $\eta = \cos(\pi\xi/2) \times (1-\xi^2)$ | straight | 1.57 | 11.1° | 0.636 | U-V | 0.667 | 0.636 | 0.424 |
| WIGLEY (1927) | A-9 | 829 | 16 ft | 0.0938 | 0.0625 | 1.50 | $\eta = \cos(\pi\xi/2) \times (1-\xi^2)$ | straight | 1.57 | 8.3° | 0.636 | U-V | 0.667 | 0.636 | 0.424 |
| | | 825 | | 0.0625 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| WIGLEY (1932) | A-11 | 1193 | 16 ft | 0.1562 | 0.0417 | 3.75 | $\eta = \cos(\pi\xi/2) \times (1-\xi^2)$ | straight | 1.57 | 13.8° | 0.636 | U-V | 0.667 | 0.636 | 0.424 |
| WEINBLUM(1932) | A-17 | 1113 | 4.5 m | 0.1000 | 0.0400 | 2.50 | $\eta = 1 + 0.1\xi^2 - 1.995\xi^4 + 0.895\xi^6$ $\times (1 - \frac{\xi^2}{2}) \times (1 - 0.564\xi^4 - 0.436\xi^6)$ | straight | 1.41 | 8.0° | 0.762 | V | 0.839 | 0.690 | 0.579 |

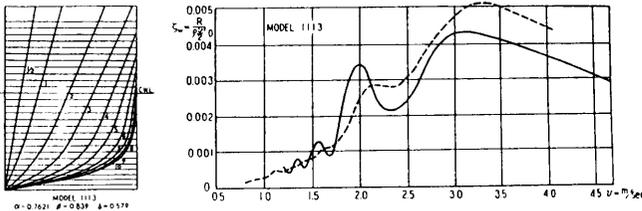


図 4・1 Weiblum (1932)

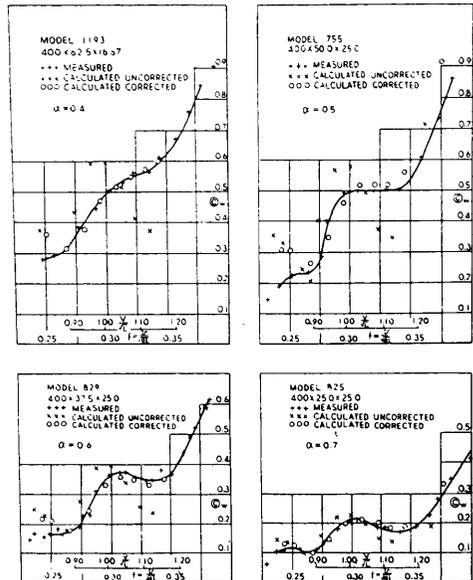


図 4・2 Emerson (1954)

工学部としての最大の問題はしかし、なんとといっても第2工学部の処置問題で、これは純粋に学内問題であった。戦時中、理工系の隆盛とは裏腹に辛苦を味わった文科系部局から見れば「二工」は「戦時太り」の象徴であった。学内の論議は「二工」解体により、その講座枠を人文、社会系の学部や研究所の拡充に充てようとする文科系部局、その講座枠をできるだけ本郷の工学部の拡充に流用することを望む第1工学部、さらに全面的解体は回避し、新しく工学研究機関として再出発を期する「二工」側と、三者三様の思惑がからみあって複雑な様相を呈した。いまはこれ以上この問題を追う必要も余裕もないが、ただ次に述べる「公職追放令」による適格審査問題が時期を同じくして出てきたため、当時の亀山工学部長はじめ工学部首脳は、上記の問題に没頭せざるをえず、「公職追放」問題には必ずしも十分な時間を割けなかったのではないとも思われる。この件に関する「百年史」の記述は他の事項に比し簡単で、「部局史三・工学部」では皆無、「通史二」にも第4章・第1節・7「教授の復帰と公職追放」(p.1012~1021)の僅か10頁、それも大半は法文経関係の記述に終始している。木下先生は海軍造船学生(昭11.5)から数えても4年7ヶ月という短い海軍軍籍のゆえをもって昭21.11.6、在職わずか5年10ヶ月で東大を去られたのであるが、上記「通史二」によると昭21.8.3内閣発表の「教職員追放令により軍職にあった6帝大教授が免職される」の中には入っていなかった(工学部では菱川万三郎海軍造兵中将と朝永研一郎海軍造機少将の2名のみ)。それが11月13日「文部省の調査による追放決定者」として、上記6名の方々に加えて、那須皓(農)・斉藤隆二(工・火薬)・石原忍(医)・野村淳治(法)の各教授と共に先生の名が挙げられている。詳

細は不明であるが、軍の在籍年数その他からみてもっとも軽微なケースではなかったかと想像される。さらには山本武蔵先生がこの年の4月2日定年退官され、しかも同じ年の12月10日に脳溢血で急逝されたのも悲運としかいいようがない。

真の船型学構築を目指して

木下先生の思いがけない退職のあとを受けて、昭和21年9月末大学院特別研究生(後期1年)を中退し講師(翌22年7月助教授)として東大水槽をお預りすることになった。木下先生の方まで頑張らねば、との責任感はあるが当然四六時中アタマから離れない。そこで目標を“真の船型学”の構築に置くことにした。“真の船型学”とは学問らしい船型学という意で、当時の船型学が造波抵抗理論などとは無縁の“経験船型学”であるのを、理論と実験が互いに補強し合う、本来あるべき姿に質的な転換を遂げようとするものである。それにはミッチェルやハブブロックで代表される応用数学者による理論的研究の流れと、ウイグレーやバインブルームで代表される造船や

(水槽ヤ?)の仕事の流れを一通り追う必要がある。前者については前回少しは触れたが、後者についても、調べてみると1926年以来、論文数で17、供試模型船60隻とかなりな数に上る³⁷⁾。表4・1と図4・1、4・2はそのごく一部を示したもので、図4・1は多項式表示船型にミッチェル理論を適用した計算と実験の比較例、図4・2はハブロック⁶⁾の弧立特異点による近似法での計算にいくつかの補正を加えた場合の比較例である。(Dr. A. Emerson はニューカッスル大の Lecturer)。造波抵抗理論は非粘性の理想流体を対象としているから、粘性の影響を受ける船尾波は、仮に計算が正しい(粘性以外の誤差を含まない)としても当然かなり変形されている筈である。従って水槽実験と理論計算とを単に造波抵抗曲数の上で比較する場合、このことを頭に入れてかからねばならない。たとえば図4・1の last hump で実験の方が計算より大きな値を示しているのは、見掛け以上に理論に欠陥があると考えるべきなのである。また粘性の影響を採り入れるのにはミッチェルのように船体周りの圧力積分から抵抗を求める手法では甚だ困難であるが、ハブロックの後続自由波に着目する方法によれば、簡単でしかも有効な粘性修正の手段がとれる。それよりもなによりも、これまでの水槽ヤはミッチェル理論一本槍で走っていて、折角のハブロックの業績に見向きもしていない。またミッチェル理論では船の長さや喫水を一定とし、船幅だけを変えた場合、造波抵抗は船幅の自乗に比例するという、水槽実験の結果とは異なる結果しかえられない。

以上を要約して、真の船型学確立の出発点はミッチェル理論の枠、すなわち $B/L \rightarrow 0$ の極限にしか適用されないとする制約を、少々誤差は覚悟の上で、とに角突破することであると判断した。

喫水無限大の場合 (2次元問題)

商船の常用速度は通常フルード数で0.35以下であり、この場合、船体表面での境界条件(以下船型条件)を近似的に二重模型近似で取扱うことができる。ここに二重模型近似とは自由表面を固体壁のように見立てて、それによる鏡像を考える。勿論これは厳密な意味で“正しい”とはいえないが、少なくとも“ミッチェルを超える”ことはできる。そのもっともやさしい case が喫水無限大の2次元問題である¹³⁾。図4・3は水線形状が2次のパラボラで $b = B/L$ を0.05, 0.10, 0.20と変えたとき、原形に正確に対応する“吹出し”分布と、逆に、ミッチェル近似(直線の吹出し分布)では本来のパラボラとは異なる水線形状を示す事実を説明している。また図4・4

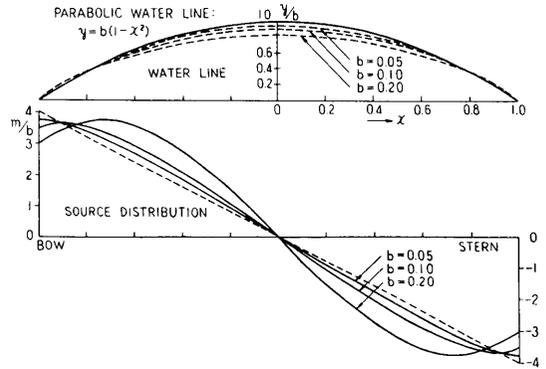


図4・3 水線と相等吹出し分布

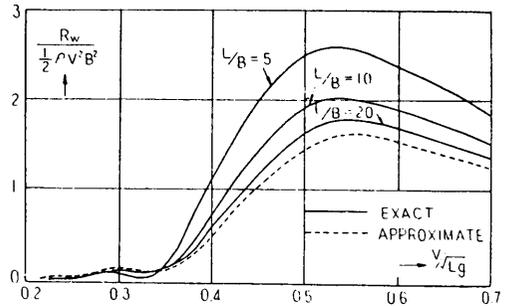


図4・4(a) 造波抵抗(高速域)

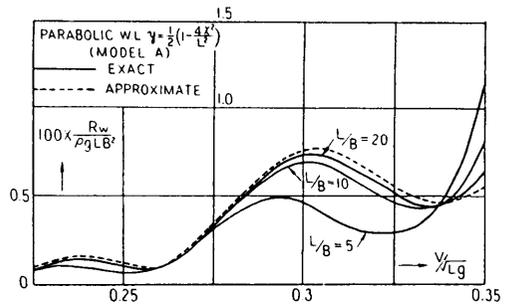


図4・4(b) 造波抵抗(低速域)

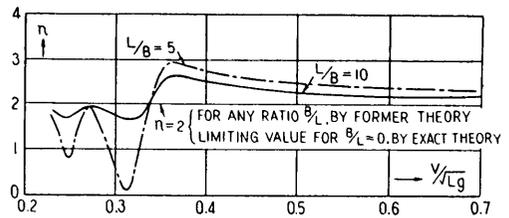


図4・5 $(R_w + \Delta R_w) / R_w = [(B + \Delta B) / B]^n$ の n 値 (a), 4・4(b)はそれぞれ高速域と低速域での造波抵抗係数の比較である。注目すべき点は水線も吹出し分布も船首から $0.1L$ (L = 船長)のあたりで実線と点線がクロスしており、造波抵抗曲線ではクロス・ポイントがフルード数0.35付近になっていることである。後述(図4・

船の科学

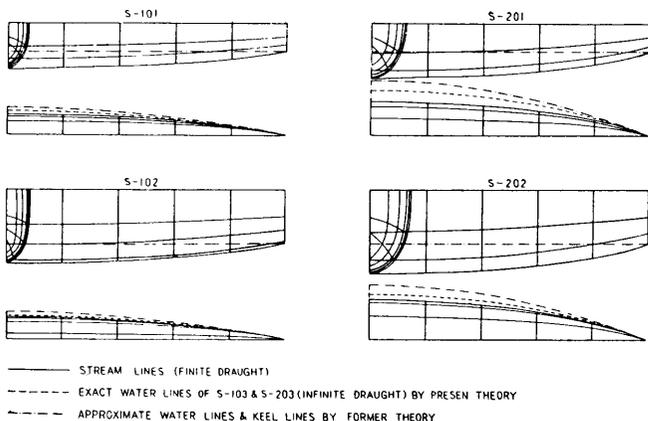


図4・6 Inuid 4種

7) のように3次元有限喫水による実験でもこの関係は変わらない。ということは、フルード数0.35以下の速度では船首付近の形状、特に水線入角(流力的にはそこでの吹出し分布強さ)が造波抵抗値を支配することを示唆する。この発見(?)が後の「漸近展開」(次回予定)や、さらに進んで「バルブによる波なし」の発想につながったわけで、このあたりが、いわば私のライフ・ワーク(といえるものがあるとすれば)の原点になっている。なお図4・5は水線がパラボラで $L/B = 5, 10$ のときの、造波抵抗 $R_w \propto B^n$ における n 値をフルード数ベースに示したものである。 n の値は同じパラボラ水線でも L/B の大きさによって変り、勿論フルード数でも変る。そしてここでもまたフルード数0.35を境として低速側で $n < 2$ 、高速側で $n > 2$ となり、この関係は L/B や水線形状によって余り変っていない(他の例省略)。ミッチェル近似の上述の意味での誤差は L/B が等しい場合、水線 X 角の小さい hollow WL ほど大きくなると思像される。そこで、ハブロック⁷⁾のプリズマ係数(ここでは喫水無限大ゆえ水線面積係数に一致)を変えたシリーズ計算をやり直してみた(省略)が、予想通りの結果で $F_n < 0.35$ でもっとも hollow な WL の場合 R_w は半分以下になった。

喫水有限の場合(3次元問題)

“正しい船型”シリーズの第1報を造船協会で読んだのは昭和24年春であった。第1報では喫水無限大の2次元問題のみ扱っているのだから、実験はできず、計算だけ、しかも2次元だから計算方法はいろいろあり、吹出し分布から船型(この場合WL形状)を求める直接計算は勿論、初めに船型を与えて、対応する吹出し分布(船体中心線上の)を求めることも出来た。

次の段階は通常の船舶のように喫水有限の3次元幾何形状と、二重模型近似の意味で、これに正確に対応する3次元の吹出し分布との関係をなんらかの方法で求めなければならない。また、これが出来た段階でも、いざ水槽試験で造波抵抗の比較をするには、前に述べた粘性影響が入るので、予め、それに対する用意も必要である。また水槽試験で求められた全抵抗から真の造波抵抗(らしきもの)を抽出するには形状抵抗 $C_f = C_{f0}(1 + K)$ 、(K = 形状因子)を正しく推定する必要があり、理想的には没水二重模型の抵抗試験でチェックすることが望ましい。一方、東大水槽の規模から、使用模型長は2m前後となり、船首での乱流促進法に細心の注意を払う必要がある。また根本的な模型船曳航方式についても、理論と実験との厳密な照合を可能とするためには、排水量一定でトリムを生じない、という曳航条件を実現することが望ましい。結論的には sinkage を許し、トリムを許さぬ水平ガイドを用いるしかない。またこれがあれば年末の懸案事項であった“卒論”のやり直し、すなわち線形造波抵抗理論の立場から制限水路の実験結果をどこまで説明できるかの確認も可能となる。

以上のような構想を立て、じっくり腰を据えてかかることにした。結果は第2報¹⁸⁾(昭28.5)、第3報³⁹⁾(昭32.7)と第1報¹³⁾(昭24.5)以来8年越しで、このシリーズ報告を完結した。その間学会には前述の要素技術的な手法(理論的手法と実験の手法の双方)についてその都度報告した。次回に述べる予定の“漸近展開”もそのうちの理論的手法の代表例といつてよい。

紙数が残り少なくなったので、要素技術については次回以降随時触れることにして、ここでは図の説明だけしておく。図4・6は供試模型8隻のうちのSシリーズ4隻を示す。これらは最初に中心線面内に直線状の吹出し分布を与え、流線追跡法と二重模型近似とによって逆解析的に求められたもので、喫水と吹出し強さをそれぞれ2種変えてある。タイガー計算機しかなかった当時、1本の流線の計算に1週間、従ってどんなに頑張っても1隻の線図を求めるのに1ヶ月を要した。これには当時船舶教室の図書室掛であった高木森郷君の個人的な協力

紙数が残り少なくなったので、要素技術については次回以降随時触れることにして、ここでは図の説明だけしておく。図4・6は供試模型8隻のうちのSシリーズ4隻を示す。これらは最初に中心線面内に直線状の吹出し分布を与え、流線追跡法と二重模型近似とによって逆解析的に求められたもので、喫水と吹出し強さをそれぞれ2種変えてある。タイガー計算機しかなかった当時、1本の流線の計算に1週間、従ってどんなに頑張っても1隻の線図を求めるのに1ヶ月を要した。これには当時船舶教室の図書室掛であった高木森郷君の個人的な協力

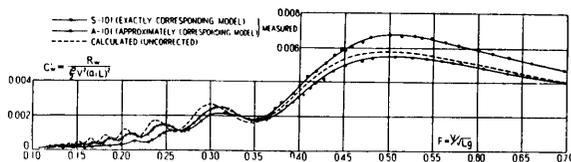


図4・7 S-101とA-101との比較

をも得て大変助かり、今でもその熱意には感謝している。コンピュータ時代の現在では、この程度のことは勿論、もっと厄介な、船型を与えて特異点を求める — 2次元または3次元の積分方程式 — ことも可能になったが、当時はさすがに、3次元一般形状についてこのような手間のかかる計算をする気になった人は筆者を除いていなかった (Inuid とはバインブルームによる命名)。事実筆者自身、ハムレットではないが “To do, or not to do” と何回自問自答したことか。それだけで少くとも1年は迷いに迷った。同じようなことは水平ガイドの製作に踏み切るときにもあった。何回となく自問自答を繰り返しているうちに、方針の間違っていたものは、何回目かで気付くし、最後まで間違いらしい間違いが思いつかないときは、最初の方針に確信をもって、一度決断を下したなら、もうそれから先は迷うことなく前進あるのみである。

図4・7は前にも少し触れたが、2次元問題であきらかになったミッチェル近似の誤差が3次元でも同じような傾向として表れる筈だとの期待からS-シリーズのほかにAシリーズ4隻を造った。Aシリーズ模型は水数形状がバラバラ、肋骨線形状がwall-sided (ただし下端は丸味をつけた) で、流力的にはミッチェル近似の意味で、さきに述べたSシリーズの出発点となった吹出し分布と対応していることになる。図4・7はそのうちのS-101とA-101 (喫水が浅く、吹出しが弱い一組) の比較になっていて、破線はミッチェルによる計算結果である。

まず、実験同志を比較すると $F_n = 0.35$ でクロスし、

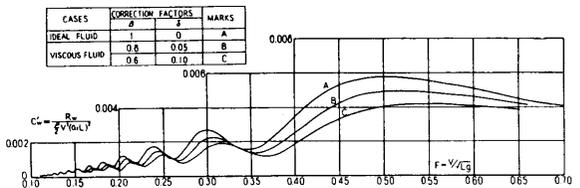


図4・8 粘性修正 (β, δ)

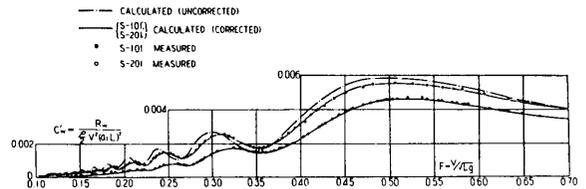


図4・9 最終比較 (S-101, S-201)

低速側では船首端での吹出しの強いS-101の方が R_w は大きく、 $F_n > 0.35$ では逆転している。またミッチェル理論と両実験と比較すると、計算は両者の間におさまリ、last humpで先にミッチェル理論の欠陥として指摘した逆転現象がここでもA-101で見られ、一方、S-101は正しく計算より下側にきて、粘性を間に考えればA-101よりは妥当なところにきていることがわかる。図4・8は船尾波に位相修正 δ ($\delta > 0$ は後方にオクレ) と振幅修正 β (< 1) を組合わせた近似粘性修正、図4・9はさらに干渉項の damping factor α を加え、(β, δ) も F_n 数の関数としたときのS-101, 201 2隻についての実験・計算の最終比較である。

〔参考文献〕

- 1) Ertekin, R.C. & Qian, Z.M.: Numerical grid generation and upstream waves for ships moving in restricted waters, Proc. 5th Int. Conf on Numerical Ship Hydrodynamics (Sept. 1989. Hiroshima), 421
- 2) Choi, H.S. & Mei, C.C.: Wave resistance and squat of a slender ship moving near the critical speed in restricted water, Do., 439
- 3) 水島研究室文集編集委員馬場宏明・坪井正道・田隅三生編「回想の水島研究室 — 科学昭和史の一断面 —」共立出版 (1990.3)
- 4) 内田祥三: 東京大学が接收を免れた経緯について (二), 学会会報 660号 (昭30.7)
- 5) 吉識雅夫: 思い出すままに (十), 船の科学, Vol. 28, No. 4 (昭50.4)
- 6) Havelock, T.H.: The approximate calculation of wave resistance at high speeds, Trans. N.E. Coast Inst. Engrs Shipbrs, Vol. 60, 47
- 7) Havelock, T.H.: Studies in wave resistance; Influence of the form of the waterplane section of the ship, Proc. R.Soc. Lond. A, Vol. 103 (1923), 571

船の科学

- plied to the detection of the transitional flow in the boundary layer around ship models,
熱線流速計による模型船の境界層遷移域の測定,
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 103 (July 1958), 15-24.
- 41) T. Inui: Wave-making resistance of ships travelling in a viscous fluid,
Proc. 7th Japan National Congress for Applied Mechanics (1958), 265-268.
- 42) T. Inui and T. Tagori:
模型船周りの境界層,
日本学術会議 水力学・水理学における境界層理論の応用に関するシンポジウム・テキスト (1959年4月), 19-23.
- 43) T. Takahei: A study on the waveless bow (part 1),
Waveless Bow の研究 (その1),
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 108 (Dec. 1960), 53-61.
- 44) M. Kumano: A study on the waveless stern (part 1),
Waveless Stern の研究 (その1),
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 108 (Dec. 1960), 63-71.
- 45) T. Inui, T. Takahei and M. Kumano: Wave profile measurements on the wave-making characteristics of the bulbous bow,
球状船首の造波効果に関する水槽試験,
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 108 (Dec. 1960), 103-115.
- 46) M. Ikehata and H. Kajitani: ローマオリンピック用競走艇の設計について,
船舶 34巻 1号 (1961年1月), 35-45.
- 47) T. Takahei: A study on the waveless bow (part 2),
Waveless Bow の研究 (その2),
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 109 (June 1961), 73-85.
- 48) M. Kumano: A study on the waveless stern (part 2),
Waveless Stern の研究 (その2),
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 109 (June 1961), 87-94.
- 49) T. Tagori: On the effect of the turbulence stimulation device,
乱流促進法の効果について,
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 109 (June 1961), 193-202.
- 50) T. Inui:
波のたたない船 I——理論船型学の成果,
科学 31巻 11号 (1961年11月), 573-580.
波のたたない船 II——理論船型学の成果,
科学 31巻 12号 (1961年12月), 639-643.
- 51) T. Inui and T. Takahei: The wave-cancelling effects of waveless bulb on the high speed passenger coaster M/S "Kurenai Maru" (part I—the model resistance and propulsion experiments),
高速客船くれない丸における Waveless Bulb の船首波打消しに関する研究 (第1報 水槽試験),
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 110 (Dec. 1961), 75-89.
- 52) T. Takahei and T. Inui: The wave-cancelling effects of waveless bulb on the high speed passenger coaster M/S "Kurenai Maru" (part III—photogrammetrical observations of ship waves),
高速客船くれない丸における Waveless Bulb の船首波打消しに関する研究 (第3報 波形観測),
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 110 (Dec. 1961), 105-118.
- 53) M. Kumano: A study on the waveless stern (part 3),
Waveless Stern の研究 (その3),
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 110 (Dec. 1961), 159-166.
- 54) T. Tagori: On the effect of various shaped turbulence stimulators and resistance of these stimulators own,
各種形状をもつ乱流促進法の効果ならびにその固有抵抗について,
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 110 (Dec. 1961), 167-183.
- 55) T. Inui, T. Takahei and M. Kumano: A study on wave-making resistanceless hull form,
Proc. 10th Japan National Congress for Applied Mechanics (1961), 243-246.
- 56) T. Tagori: On the effect of turbulence stimulators fitted on ship models, and resistance of these stimulators,
模型船における乱流促進法の効果ならびにその固有抵抗について,
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 111 (June 1962), 1-9.
- 57) T. Inui: Wave-making resistance of ships,
Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers 70 (1962), 283-353.
- 58) M. Ikehata and H. Kajitani: A study on the practical development of waveless form theory of the first kind.
第一種ウエーブレス船型の実用化に関する研究,
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 114 (Dec. 1963), 24-33.

- 59) T. Inui: Theoretical and tank-experimental researches on the waveless hull-forms,
波のたたない船型 (Waveless Form) に関する研究,
J. Faculty of Engineering, University of Tokyo (A) Vol. 1 (1963年), 22-23.
- 60) T. Inui, H. Kajitani and K. Kasahara: Non bulbous hull forms derived from source distribution on the vertical rectangular plane.
Proc. International Seminar on Theoretical Wave Resistance, University of Michigan Vol. 1 (1963), 52-129.
- 61) H. Kajitani: Wave resistance obtained from photogrammetrical analysis of the wave pattern.
Proc. International Seminar on Theoretical Wave Resistance, University of Michigan Vol. I (1963), 416-451.
- 62) T. Inui: Some mathematical tables for the determination of wave profiles,
Proc. International Seminar on Theoretical Wave Resistance, University of Michigan Vol. II (1963), 514-532.
- 63) T. Inui, T. Takahei and T. Tagori: A guide note for design of ship model basins with special references to "wave analysis" work,
Proc. International Seminar on Theoretical Wave Resistance, University of Michigan Vol. II (1963), 533-555.
- 64) T. Inui and T. Tagori: A guide note for design of ship model basins with special references to "wave analysis" work.
J. Faculty of Engineering, University of Tokyo (B) 27-1 (1964), 103-117.
- 65) T. Tagori:
東京大学船型試験水槽の新機能について (1)
船の科学 18巻 3号 (1965年3月), 74-81.
東京大学船型試験水槽の新機能について (2),
船の科学 18巻 4号 (1965年4月), 65-73.
- 66) T. Inui:
波を立てない船——速力性能を高める船型学の発展 (技術は突破する 3),
朝日ジャーナル 17巻 16号 (1965年4月), 42-46.
- 67) T. Inui: Wave patterns and hull forms of ships,
The University of Tokyo Experimental Tank (May 1965), 1-56.
- 68) M. Ikehata: The second order theory of wave-making resistance,
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 117 (June 1965), 39-57.
- 69) T. Inui:
実験船型学と造波抵抗理論,
造波抵抗シンポジウムテキスト (1965年6月), 27-47.
- 70) H. Kajitani: The second order treatment of ship surface condition in the theory of wave-making resistance of ships,
造波抵抗理論における船型の2次近似,
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 118 (Dec. 1965), 84-107.
- 71) T. Inui: The bulbous bow—A glimpse of its past and present status (part I),
Japan Shipbuilding and Marine Engineering 1-1 (March 1966), 6-12.
The bulbous bow—A glimpse of its past and present status (part II),
Japan Shipbuilding and Marine Engineering 1-2 (May 1966), 5-12.
- 72) T. Inui, H. Kajitani, K. Takekuma and T. Takahashi: Influence of designed waterline and frameline forms on wave-making characteristics of ships (first report),
水線および肋骨線形状と造波抵抗 (その1),
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 120 (Dec. 1966), 10-18.
- 73) T. Inui, H. Kajitani, S. Kuzumi, T. Miura and S. Okoshi: The new carriage and facilities of the experimental tank of the University of Tokyo.
東京大学船型試験水槽曳行台車等の改新について,
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 123 (June 1968), 13-21.
- 74) T. Inui:
抵抗成分の分離,
抵抗・推進シンポジウムテキスト (1968年6月), 39-53.
- 75) T. Inui, H. Kajitani, N. Fukutani and M. Yamaguchi: On wave-making mechanism of ship hull forms, generated from undulatory source distributions,
高次船型の造波機構,
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 124 (Dec. 1968), 9-18.
- 76) T. Inui and H. Kajitani: Bow wave analysis of a simple hull form.
単純船型の船首波波形解析,
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 124 (Dec. 1968), 19-25.
- 77) T. Inui and H. Kajitani: Influence of designed waterline and frameline forms on wave-making characteristics of ships (second report),
水線および肋骨線形状と造波抵抗 (その2),
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 124 (Dec.