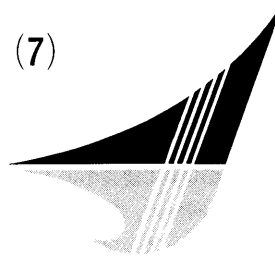


船型学 50年 (7)

— 波紋解析 —

乾 崇 夫
東京大学名誉教授
日本造船技術センター顧問



6月号の訂正

前回で連載計画の半分が終った。ヤレヤレと一息入れようとしたところが先日来の猛暑。それに油断による夏風邪が重なり、いささかダウン気味。これからの夏場が思いやられる。さて、6月号はお蔭で5月号にくらべるとミスがだいぶ減った。ただ記号のミスが相変わらず目立つ。原因は筆者の遅筆にあり、最終校正を時間の関係で電話連絡によっているため。FAXなら防げたであろうミスが大部分。

p.41 左、下から17, 14行目： $\underline{t}_i \rightarrow \underline{t}_j$ (suffixの i だけ1号小さく、が t まで小さくなった)。

同 右、上から4行目：大きくなる \rightarrow 大きくなる
(\hookrightarrow , カッコの向きが反対になった)。

p.42 左、下から18行目：Walken \rightarrow Walker

p.43 右、下から10行目：に至る \rightarrow に至る $\underline{。}$

船型学(抵抗論)の流れ

4月号(正しい船型条件)で、昭和21年の秋、木下先生の思いがけない退職のあとを受けて東大水槽をお預りすることになったとき、目標を“真の船型学”構築におくことにしたことを述べた。そしてそれから約10年かけて、ハブロックの業績をベースに、ミッチェルの“薄い船の理論”を超え、実用船型にまで拡張できそうな手掛りをえた。その過程で痛感したことは、水槽試験で模型船の波を真上から観察することと、これを写真として撮影記録しておくこととの重要性であった。すでに述べたように、線形理論は多くの仮定の上に成り立っているから、理論計算で求めた波紋(理論波紋)は位相の点も含めて実際の波紋とクイチガっている。このクイチガイを仔細に比較検証することによってのみ、はじめて理論が役に立つのである。つまり従来のように造波抵抗という“力”のレベルだけで理論を検証するのは無意味で、“波”のレベル、それも最初は粘性の影響の入らない船首波に着目して“船首波解析”から入るべきなのである。

ここまで考えたとき、従来の伝統的船型試験のやり方に強い疑問をもつようになった。たとえば水槽試験で一番時間と費用がかかるのは模型船製作で、これにくらべると抵抗試験や自航試験など、アツという間に終わってしまう。これは考えてみると勿体ない話であって、折角苦労してつくった模型から、工夫次第ではもっと質の高い情報がえられるはずである。その最たるものが“波”の情報であることは論を俟たない。では、どうして従来の船型試験は“波”の観察をおろそかにして、“力”の計測にばかり頼り過ぎたのであろうか? 筆者なりに得た結論はこれまでに書いたように、たとえば学士院賞受賞に関連して「学術月報」(1979. 11)に載せた123)から要点を抽出すると次のようになる。

「……筆者は科学技術史について全くの素人であるが、船の造波抵抗の問題は、数多い科学技術史上のケース・ヒストリーのなかでも、かなり特異なケースではないかと、ひそかに考えている。

社会のニーズに直接こたえるのが技術であり、その技術を土台から支えているものが科学である。このような観点から、フルードの試験水槽創設(1871)より来年(1980)で満110年を迎える船型学の歴史を振り返ってみることは興味深くもあり、かつ教訓的でもある。

船型と抵抗に関する社会的ニーズ、ないしは技術的課題は2つあり、その第1は、船型が既に決まっている場合、実船抵抗値をいかに正確に推定するかという問題であり、その第2は、与えられた設計条件で抵抗、特に造波抵抗が最小になるような船型をいかにして求めるかという問題である。フルードの時代は模型試験への評価がいまだ定まらず、実船実験至上主義者が大勢を占めていたことを反映して、フルード(および水槽)にとっては何よりもまず第1の課題にこたえることが先決問題であった。フルード式の伝統的船型試験法が抵抗試験も自航試験も、すべて“力の計測”による“最終結果の確認”

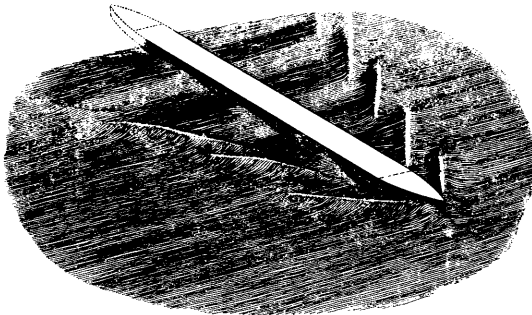


図 7・1 船首波のスケッチ (W.フルード, 1877)

に終始していたことも、そのような当時の社会的背景を想起することで一層よく理解される。また仮に第2の課題にまで手を広げようとしても、当時の科学——ここでは船の波に関する理論——のレベルでは到底無理な話でもあった。……」(中略)

「……フルードに始まる船型試験は科学というにはほど遠く、むしろ純然たる技術に近い。なぜならば、そこに用いられている理論といえば、結局のところフルードの相似則ぐらいしかないからである。一方、造波抵抗理論は正に科学そのものであるが、造波干渉というメカニズムひとつを採り上げてみても、実際に起っている自然現象は非常に複雑で、理論だけではとても歯が立たない。ここに技術と科学、あるいは見方は異なるが、実験と理論のそれぞれが果たすべき、また果たしうる、ギリギリの限界と役割分担とがハッキリ例示されている。試験水槽が、単に“力を測る”確認の場から、“波を観察する”探究の場へと質的転換を遂げたことは、船型設計技術の上からも、また純粹に真理追求を目的とする科学的な立場からも、その意義は大きい。そしてこのような飛躍の原動力としては、まず主役としてのガイドの任務を果たした素成波理論のほかに、水槽での波紋計測を可能にしてくれた曳引車の自動速度制御(特に速度標定)・写真測量、コンピュータによる実測波紋コンター処理や理論波紋の数値計算などを含む広汎な技術革新のワキ役的な働きも看過できない。……」

ただ W.フルード自身、波への関心がなかった訳では決してない。その証拠に3月号で引用した1877年の論文¹⁾のなかに図7・1にみるような見事なスケッチがある。これは時期的にはケルビン波(1887)²⁾が知られるより10年も早いにもかかわらず、タテ波は勿論、水槽でも見落しがちなヨコ波と、さらに両波系のカस्प付近での位相差(Hognerによると1/3波長)についてもほぼ正しくスケッチされていて、その観察力の非凡さを示している。図7・2は船型学120年の流れを示す。最初の90年

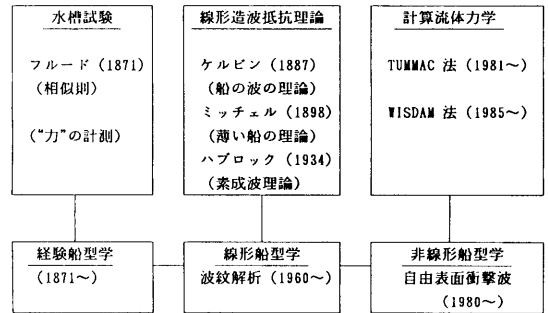


図 7・2 船型学(抵抗論)の流れ

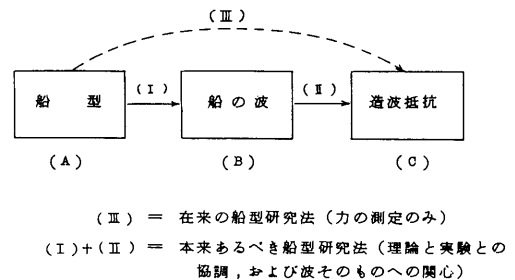


図 7・3 中間情報「船の波」

は“力の計測”のみに依存した経験船型学の時代である。1960年に至り、試験水槽というハードに素成波理論が導入され、東大水槽を舞台にこの両者が“波紋解析”という形でドッキングし、“波紋解析の船型試験法”が確立されて線形船型学の時代に入る。すなわち“真の船型学”へと脱皮したわけである。これはさらに1980年頃より自由表面衝撃波の観測理解と計算流体力学の援用により非線形船型学をも包含して現在に至っているが、後者については10月号の“新しい流れ”で触れる予定である。図7・3も昔からよく使った図であるが、いきなり“力”の大小を問うことをやめ、まず中間情報としての“波”に全神経を集中させることの重要性を説いたものである。このことは波の線形、非線形を問わず、常にいえることであり、要約すれば“真の船型学(抵抗論)”は“波をみる”ことによって始めてその基礎が与えられたことになる。

波をしらべること

ところで“波”のレベルで理論と実験を比較検証する作業を当初(1950年代の後半から1960年頃)は“波形解析”と称していた。しかし、次節に詳しく述べるように“波形解析”が1963年以降、別の意味に使われるようになったので、混同を避けるために、それ以後“波紋解析”といいかえることにした。

さて“波紋解析”の内容であるが、波紋自体が一種の

船の科学

パターンであるから、入り方としてはまずアナログ的なパターン認識から入るのが妥当であろう。ということはまず実験的にはいきなり最初からステレオ写真を撮るのでなく、半定性的、半定量的資料である通常のスチール写真を撮ることから始める。これだけでも従来の“力”だけの情報にくらべると随分と教えられるところが多い(その一例を後述の写真7・2, 7・3や図7・9に示す)。ただ水槽で模型船の波の垂直写真を撮るということは、口でいうほど簡単ではなく、東大水槽でも昭和31年頃から試行錯誤をくり返していた³¹⁾。問題は水面に対する照明法で、光が水面を透過してしまうので、これに対する対策が必要となる。第1の対策は前号(眼でみる船型試験)に触れた船尾造波機構の写真観察で行ったように水面を暗い鏡になぞらえ、これに明るい天井のカゲを映しおとす方法である。自然界では空が晴れてさえいれば、際限のない青天井がそっくりそのまま湖水や海面に映る。これは日常あまりにもありふれた体験なので、なんでもないことのようにだが、室内でこれを再現することは、対象水面が局限されている場合を除き、不可能である。それは、要求される人工の青天井の広さが、タテ・ヨコともに対象水面のその倍になるからである。第2の方向は、水面を不透明の銀白色液膜で蔽う方法である。東大水槽では昭和34年に故高幣哲夫先生(当時 茨城大)が内地留学でみえ、以来アルミ箔粉による方法を採用している。本来ならば水面にこのような異物をまくことは、仮に粘性や表面張力に対する影響が小さいとしても決して好ましいことではないので、波紋写真の水面照明法は今日といえども完全に解決したわけではない。なお光源としては閃光時間が1/2000 secという閃光放電管(商品名カコストロボS400およびS500)を用いた。このストロボが当時としてはかなり高価で、しかも広い水域をまんべんなく均一に照らす必要上、個数もある程度揃えねばならず、その捻出には殊のほか苦労した思い出がある。

ところで、“波紋解析”の最終段階は、理論計算による波高コンターと実測波紋の波高コンターとを比較検証する。この目的のための実測波紋の波高コンターを作る方法に2ある。第1はステレオ解析、第2はスリット光源でwave cutを次々と求める方法である。解析の手間を考えると後者の方が楽で、これについても種々検討してみたが、なにせ対象水域が巾3.5m、長さ5~6mと広いので、巨大なシリンドリカル・レンズを必要とし、あきらめた。そこで当時としては止むなくステレオ解析の道を選ばざるをえなかった。

波形解析と波紋解析

昭和35年に財団法人東レ科学振興会が発足した。基金の果実によって毎年約10件、計1億円程度の研究助成がなされる道が開かれ、第1回には霞ヶ関ビルで有名な故武藤清先生のご研究も助成対象のひとつに選ばれた。水槽で波をしらべるには前項で述べたストロボ、ステレオ・カメラ、同図化機のはかに、曳引車の改造やら速度標定(後述)のための速度制御システムなど、手をつけねばならぬことが山積している。これは願ってもない好機と、早速武藤先生のところに参上して、計画の概要をご説明したところ、大いに激励して下さったばかりでなく、申請について細かな点までいろいろご注意頂いた。そのお蔭で、翌昭和36年度の第2回研究助成の選に入ることができた。課題は「波形分析を主とする数理解析の船型試験法の基礎および応用に関する研究」(11,458,000円)と長いもので、補助額も当方の希望がほぼ全面的にみとめられた。課題の冒頭にある“波形分析”は、いまでいう“波紋解析”を意味している。東レの受賞式はいつも年度末の3月下旬、日本工業倶楽部で行われるので、それは昭和37年3月、すなわち1962年であった。

ところで、その翌年(1963)の夏、ミシガンで開かれた造波抵抗理論セミナー³⁾でJ.N.Newman, K.Eggers, L.W.Wardらの論文が出て、模型船の後続自由波の計測結果と線形理論による漸近解とから“波形成波抵抗”(wave pattern resistance)を求める手法について多くの関心が集まった。以来、“波紋解析”(wave analysis)という語はもっぱらこの意味に用いられるようになった。そこでこれとの区別の必要上、“波紋解析”(wave pattern analysis)として区別することとした。“波紋解析”と“波紋解析”とは立場が全く異なる。すなわち前者では船のつくる全波形、すなわち船首波のみならず船尾波も重なったものを対象としているから、すでに粘性の影響が入っている。従って“波形成波抵抗”は求められるが、理論を波のレベルで検証することはできない。これに対して“波紋解析”はあくまでも理論の欠陥を実測波紋との対比により剔り出そうとするのである。その目的は造波抵抗の確認ではなく、理論を補正することで、最適化を行うことにある。換言すれば前者は、さきに述べた船型学(抵抗論)の第1の課題に関心があり、後者は第2の課題に関心がある。この立場の相異は重要である。

“波紋解析”については多くの文献・解説があるが、ここでは故渡辺恭二氏が部会長であったときの試験水槽委員会第1部会シンポジウム⁴⁾のテキストから図7・4以下図7・7までを引用した。図7・4はcut lineの種類を示す。通常はタテ切り(longitudinal cut)が大部

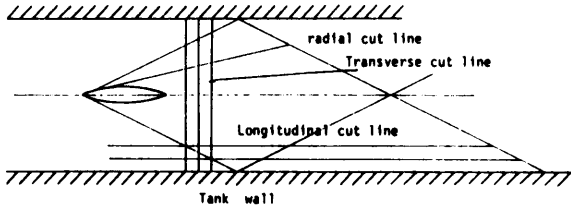


図 7・4 波形解析の cut line

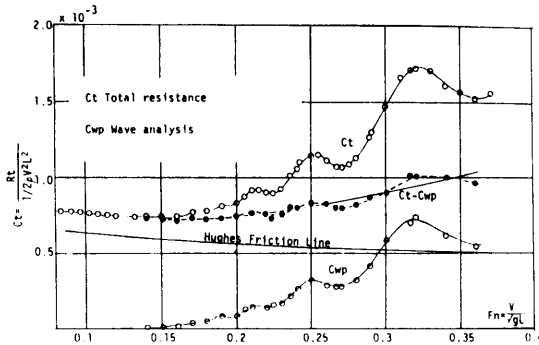


図 7・6 全造波抵抗と波形造波抵抗

分があるが、ヨコ切り (transverse cut), 斜め切り (radial cut) さらに Ward のような X-Y cut などいろいろある。図 7・5 はタテ切り法による波形解析で求められた振幅関数と真値との比較を示す。水槽では壁による反射波の影響が入る手前で計測を打切るので、打ち切り修正 (truncation correction) のやり方で結果が異なってくる場合もある。図 7・6 は全抵抗係数 C_t , 波形造波抵抗係数 C_{wp} , および両者の差 ($C_t - C_{wp}$) と Hughes の friction line を示す。船の造波抵抗 C_w のなかには後続波のエネルギーとして散逸される線形な C_{wp} のほかに船首尾付近で波崩れなどの非線形現象による造波抵抗が含まれていることがわかる。図 7・7 は相似模型船群の波形造波抵抗で、些細にみると大きい模型船ほど C_{wp} が大きく、波 (特に船尾波) の生成・伝播に尺度影響があることが推察される。

波紋解析の効用

波紋解析の効用は多岐にわたる。最終段階では理論波紋コンターと実測波紋コンターとを並べて些細に比較検討することにより理論の欠陥が洗われるのであるが、その前段階でのメリットも決して少なくない。そのような例として、波紋写真がどうやら満足に撮れるようになった比較的初期のデータから写真 7・1 以下 7・3 と図 7・8, 7・9 とを選んでみた。まず写真 7・1 は波紋撮影試験の状況を示したもので、通常はストロボ効果をフルに発揮させるため、撮影区域での室内灯はすべて消灯

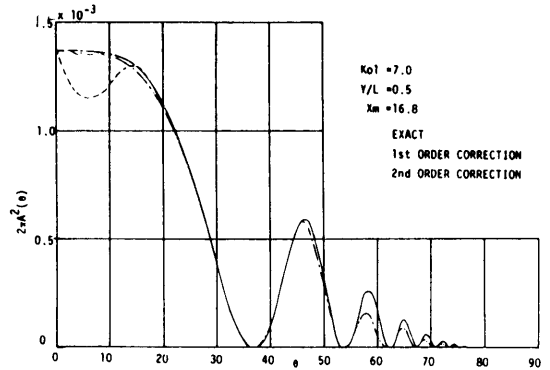


図 7・5 波形解析で求められた振幅関数

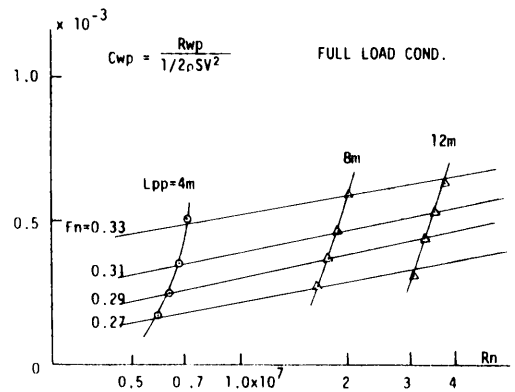


図 7・7 相似模型船の波形造波抵抗

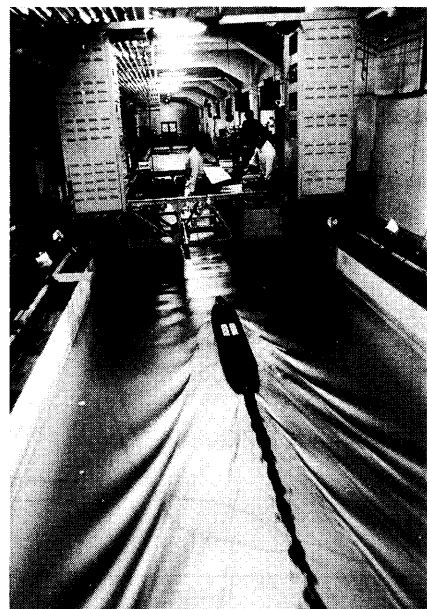


写真 7・1 波紋撮影試験の状況 (東大水槽)

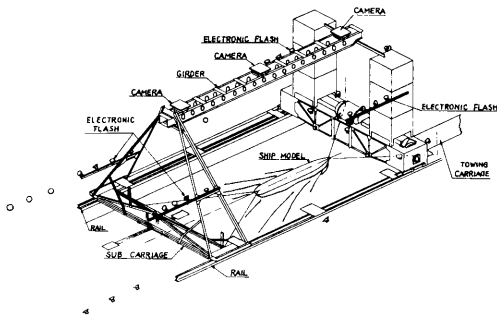


図7・8 波紋撮影試験のレイアウト

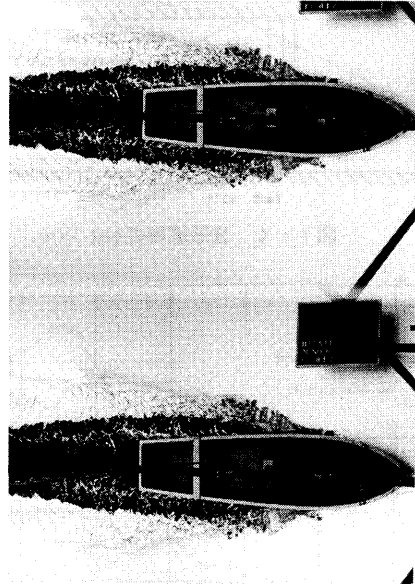


写真7・2 中速艇の波紋 ($F_n = 0.817$)

し真暗闇で曳引車を走らせるのであるが、この写真だけは「情況写真」をとるため、特に専門のカメラ・マンにより撮影されたものである。図7・8はステレオ・カメラ3台を装備したときのレイアウトを示す。写真7・2は海上保安庁23m型巡視艇(中速艇)のステレオ波紋写真である。これは昭和36年頃、当時日立造船・神奈川工場の設計課長であった加納正義氏(S201工卒)よりの委託で行ったもので、このぐらいの速度($F_n \approx 0.80$)では船尾トランスサム両端からの波が、船の後方でブツカリ合い、そこでまたあらたな攪乱源となる。従ってこれを弱めることがポイントで、それには、左右からの波が、なるべく後方でクロスするような船型がよいということが判る。なおこの実験は昭和37卒の高倉・平井両君の年論⁵⁾として実施した。加納氏の話によるとこの実験の成果はその後かなり長い間、海上保安庁で活用されたようである。

図7・9と写真7・3は筆者にとって特に思い出の多いものである。というのはこの写真が、在来船型(のなかでもベストに近いもの)の波のレベルを知りえた最初の写真であったからである。供試船型は日本造船研究協会第45研究部会(SR45)の、いわゆる高速ライナーで、

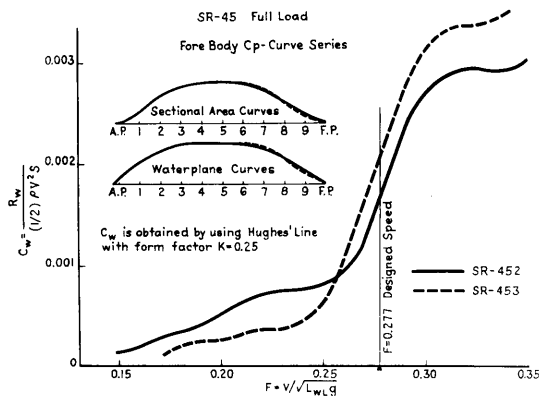
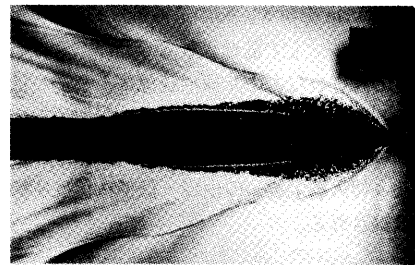
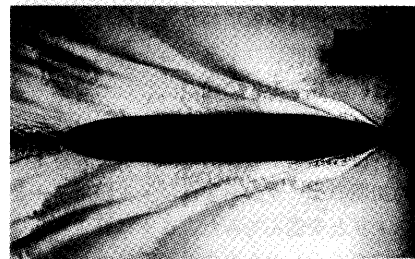


図7・9 $C_w \sim F_n$ 曲線 (SR45シリーズ)

当時東大では、どうやら波紋写真が撮れるところまで漕ぎつけたので、それを応用するのにもっとも適しているものとして選んだところの前半部船体プリズマチック・カーブ・シリーズのなかの1組である。写真7・3(上)が母型のSR452、(下)がそれを変形して、水線入角を小とし、前の肩を張らしたもの(SR453)である。図7・9には両者の $C_w \sim F_n$ 曲線のほかに横断面積曲線と水線の比較図が示されている。従来の抵抗試験だけでは図



(a) Model SR-452 (with full entrance and easy shoulder)



(b) Model SR-453 (with fine entrance and hard shoulder)

写真7・3 前半部船体の波紋比較 (SR45シリーズ)

7・9の情報しかえられないが、波紋写真を撮ることによって、写真7・3のように、それよりはるかに多くのことを物語ってくれる情報がえられるのである。この利点はなにものにも代えがたい。またこの波紋写真を見たときの筆者の第一印象を正直に申し上げると、「船型学90年の結実にしては、意外に波が大きいナー」という感じで、「これならばまだ十分改善しうる余地が残されていそうだと」勇気づけられたものである。なおSR452の船首波紋をステレオでみると、最初の山が、通常の波の概念とは異なり、全く丸味を帯びていなくて、やや誇張しているという鋸の歯のように鋭いカベになっているのに驚いた。ただそのときは、驚いただけで、これ以上深く突込むことをしなかった。というのも素成波理論や漸近近似がアタマを支配していて、船首近傍の波については後続自由波に対するほどの関心がなかったためである。このことはまことに教訓的で、約20年後、宮田さんの自由表面衝撃波の着眼に教えられるところが多かった。

波紋解析の舞台裏

波紋解析を実行するためには理論と実験の両面で、いろいろな準備が必要である。まず理論的には局部波を含めて波高計算をしなければならぬが、当時はまだ日本ではコンピュータが普及しておらず、辛うじてカン入のリレー計算機ぐらいでなんとかお茶を濁していた。そのため商船の常用フルード数に対し、予め選んだいくつかの $K_oL (= 1/F_o^2)$ の値に対し数表を用意した。従って曳引車の速度と、正確にこの速度に合わせて走らせる必要がある(速度標定)。従来の曳引車の速度制御は、“力の計測”だけを目的としていたため、このような性能を必要とせず、たんに走行中の速度変動を押えることのみ集中していた。これらを含めて、実験の側では十項目に近い新しい要求が出てきた。これを列挙すると次の通りである。

(1) 曳引車の構造

従来の曳引車は“力の計測”だけを考慮して設計されているので、波の観測——垂直写真——ができない。これを改めるため図7・8に示すように主曳引車の後方約 $2L (= 5 \sim 6m)$ の位置に取外し可能な補助台車を設け、かつなるべく天井にギリギリの位置に主曳引車と補助台車を結ぶセンター・ガードを設け、これにステレオカメラ3台を等間隔に設置した。

(2) 天井の高さ

これは改造不能であるが、東大水槽の場合、幸いに使用模型長の割合には天井が高く、カメラの視角をそれだけ広くとることができた。

(3) 曳引車の速度制御(とくに速度標定)

速度標定への要求は前述の通りであるが、このほかにたとえばバルブのつくる波を抽出したいとき、バルブつきとバルブなしと2つの状態の波を全く同じ速度で実測する必要がある。いわゆる波形差を求める実験である。昭和37年11月、日本電気㈱に発注(これには船研・三鷹400m水槽の経験も大いに役立った)、翌38年11月に完成納入された。これについては1月号で触れた田古里さんの本誌寄稿⁶⁵⁾に詳しいので参照されたい。

(4) 水面の特殊照明法(アルミ箔とストロボライト)

まず水槽室を暗くする必要があるので、撮影を行う範囲の窓は全部暗幕を用意した。またストロボは天井や壁に乱反射させた光を用いる方が均一性がよくなるので、天井、壁、暗幕の内側を白く塗り直した。これには意外にコストと時間を要した。

(5) 写真測量用ワイド・ステレオ・カメラ

(6) 同上図化機

この両者は国際航業㈱に発注し、昭和38年6月納入された。これにより、波高測定精度は原理上0.1mmまで可能となり、小水槽のメリットをフルに活用した。

〔参 考 文 献〕

- 1) Froude, W.: Experiments upon the effect produced on the wave-making resistance of ships by length of parallel middle body, TINA, Vol. 18 (1877) 77
- 2) Lord Kelvin, : On ship waves, Proc. Inst. Mech. Eng. (1877)
- 3) Ed. by F.C. Michelsen : Proc. Int. Seminar on Theoretical Wave-Resistance, Vols 1 ~ 3, (Aug. 19-23, 1963, Oniu. of Michigan, Arr Arbor)
- 4) 馬場栄一, 足達宏之, 宮田秀明, 鈴木敏夫: 第3章「抵抗成分分離と流場計測」5.「波形造波抵抗の測定」試験水槽委員会第1部会シンポジウム「船型開発と試験水槽」(1983. 2) 135-139
- 5) 高倉 理, 平井 哲: 中速艇の水槽試験(1962)

船の科学

- 1983), 1-12.
- 158) H. Miyata, H. Kajitani, M. Nito, K. Aoki, M. Nagahama and Y. Tsuchiya: Free surface shock waves and methods for hull form improvement (second report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 152 (Jan. 1983), 13-21.
- 159) H. Okamoto, A. Tanaka, T. Yamano, T. Inui and H. Miyata: Resistance reduction by stern-end-bulb (third report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 152 (Jan. 1983), 22-31.
- 160) H. Miyata:
自由表面流れ解析 (抵抗成分分離と流場計測 6),
船型開発と試験水槽シンポジウムテキスト (1983年2月), 140-148.
- 161) T. Hino, H. Miyata and H. Kajitani: A numerical solution method for nonlinear shallow water waves (first report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 153 (June 1983), 1-12.
- 162) K. Aoki, H. Miyata, S. Nishimura and H. Kajitani: Numerical analysis of free surface shock waves around bow by modified MAC-method (third report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 153 (June 1983), 13-20.
- 163) H. Miyata, H. Kajitani, S. Nishimura, H. Tominaga, H. Horie and S. Kuzumi: A method of minimizing wave resistance for hull forms of middle-speed ships, 中速船型の造波抵抗最小化手法, J. Kansai Soc. Nav. Archit. Jpn. 189 (June 1983), 71-82.
- 164) H. Kajitani:
目で見える船舶流体力学の話, その 2. シミュレート法による船体まわりの流れ, 第9回夏季講座 新しい造船学テキスト (1983年9月), 14-31.
- 165) H. Kajitani, H. Miyata, M. Ikehata, H. Tanaka, H. Adachi, M. Namimatsu and S. Ogiwara: Summary of the cooperative experiment on Wigley parabolic model in Japan, Proc. 2nd DTNSRDC Workshop on Ship Wave-Resistance Computations, Bethesda (Nov. 1983), 5-35.
- 166) H. Miyata, S. Nishimura and H. Kajitani: Numerical simulation of ship waves by direct integration of Navier-Stokes equations, Proc. 2nd DTNSRDC Workshop on Ship Wave-Resistance Computations, Bethesda (Nov. 1983), 441-457.
- 167) K. Aoki, H. Miyata, A. Masuko and H. Kajitani: A numerical analysis of nonlinear waves generated by ships of arbitrary waterline (first report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 154 (Dec. 1983), 17-28.
- 168) T. Hino, H. Miyata, H. Kajitani and M. Kanai: A numerical solution method for nonlinear shallow water waves (second report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 154 (Dec. 1983), 29-39.
- 169) H. Miyata, H. Kajitani, N. Suzuki and C. Matsukawa: Numerical and experimental analysis of nonlinear bow and stern waves of a two-dimensional body (first report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 154 (Dec. 1983), 48-55.
- 170) H. Miyata, H. Kajitani, S. Iwase, K. Ichiju, H. Tominaga and Y. Tsuchiya: Resistance reduction by a horizontal-bow-fin and a movable bulb, J. Kansai Soc. Nav. Archit. Jpn. 191 (Dec. 1983), 17-30.
- 171) T. Hino:
非線形波と各種形状物体の干渉に関する数値解析,
第33回応用力学連合講演会講演論文抄録集 (1983年12月), 193-194.
- 172) H. Miyata, S. Nishimura and K. Aoki:
船体近傍非線形造波の数値解析,
第33回応用力学連合講演会講演論文抄録集 (1983年12月), 195-196.
- 173) H. Miyata:
二次元進行浮体の非線形造波,
第33回応用力学連合講演会講演論文抄録集 (1983年12月), 197-198.
- 174) H. Miyata:
差分法による数値水波計算の可能性(その 1), 日本造船学会誌 658号 (1984年4月), 30-41.
差分法による数値水波計算の可能性(その 2), 日本造船学会誌 659号 (1984年5月), 14-21.
- 175) H. Miyata, K. Aoki and H. Kajitani: A numerical analysis of nonlinear waves generated by ships of arbitrary waterline (second report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 155 (June 1984), 1-10.
- 176) H. Miyata, H. Kajitani, C. Matsukawa, N. Suzuki, M. Kanai and S. Kuzumi: Numerical and experimental analysis of nonlinear bow and stern waves of a two-dimensional body (second report), J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 155 (June 1984), 11-17.
- 177) H. Miyata, Y. Doi, S. Takeuchi, H. Kajitani and M. Kanai: Some effects of stern configurations on resistance and

- propulsion properties,
J. Kansai Soc. Nav. Archit. Jpn. 193
(June 1984), 45-52.
- 178) M. Kanai: Wave analysis by grid projection method,
グリッド投影法による波形解析,
J. Kansai Soc. Nav. Archit. Jpn. 193
(June 1984), 127-135.
- 179) T. Hino, H. Miyata and H. Kajitani: Numerical analysis of nonlinear behavior of ocean waves by the direct integration of NS equations,
NS 方程式の直接積分による海洋波の非線形挙動の数値解析,
第7回海洋工学シンポジウムテキスト (1984年6月), 73-82.
- 180) H. Kajitani:
高度経済漁船船型之開発,
中小型船舶現代化省エネルギー化技術検討会論文集, 台湾 (June 1984), 1-15.
- 181) H. Kajitani: A computation of viscous flow of Wigley model (first report),
Wigley 模型の一粘性流モデル (第1報),
T. West-Japan Soc. Nav. Archit. 68
(1984年8月), 77-86.
- 182) H. Miyata, N. Baba, H. Kajitani, T. Sato and M. Shirai: Numerical and experimental analysis of nonlinear bow and stern waves of a two-dimensional body (third report),
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 156 (Dec. 1984), 1-12.
- 183) H. Tanaka, H. Adachi, M. Hinatsu, H. Kajitani, M. Namimatsu and S. Ogiwara: An evaluation of resistance components on Wigley geosim models
(1. Consideration on scale effect of resistance),
Wigley 相似模型の水槽試験結果の評価 (1. 相似性の検討),
J. Kansai Soc. Nav. Archit. Jpn. 195
(Dec. 1984), 61-70.
- 184) H. Kajitani, M. Namimatsu, S. Ogiwara, H. Tanaka and M. Hinatsu: An evaluation of resistance components on Wigley geosim models (2. Viscous effects at low Froude numbers),
Wigley 相似模型の水槽試験結果の評価 (2. 低速における粘性の影響),
J. Kansai Soc. Nav. Archit. Jpn. 195
(Dec. 1984), 71-79.
- 185) H. Miyata, S. Nishimura and H. Kajitani: Finite-difference analysis of ship waves,
差分法による船体造波の数値解析,
第34回応用力学連合講演会講演論文抄録集 (1984年12月), 97-98.
- 186) H. Miyata, H. Kajitani, M. Shirai and T. Sato: Finite-difference simulation of breaking waves,
差分法による砕波する波のシミュレーション,
第34回応用力学連合講演会講演論文抄録集 (1984年12月), 107-108.
- 187) H. Miyata and T. Inui: Nonlinear ship waves,
Advances in Applied Mechanics 24,
Academic Press (1984), 215-288.
- 188) T. Hino, H. Miyata and H. Kajitani: Numerical and experimental analysis of nonlinear deformation of ocean waves on 2-D and 3-D sandbars,
The Ocean Surface: Symposium on Wave Breaking, Turbulent Mixing and Radio Probing of the Ocean Surface, Sendai (1984), Reidel Pub. Holland (1985), 65-70.
- 189) H. Miyata: Nonlinear wave making of a two-dimensional advancing body.
Theoretical and Applied Mechanics 33,
Univ. Tokyo Press (1985), 15-49.
- 190) H. Kajitani: An evaluation and visualization of viscous flow around Wigley model,
Proc. 2nd International Symposium on Ship Viscous Resistance,
Goteborg (March 1985), 7. 1-30.
- 191) H. Kajitani: A computation of viscous flow of Wigley model (second report),
Wigley 模型の一粘性流モデル (第2報),
T. West-Japan Soc. Nav. Archit. 69
(March 1985), 11-23.
- 192) S. Nishimura, H. Miyata and H. Kajitani: Finite-difference simulation of ship waves by the TUMMAC-IV method and its application to hull form design,
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 157 (June 1985), 1-14.
- 193) H. Miyata, H. Kajitani, M. Shirai, T. Sato, S. Kuzumi and M. Kanai: Numerical and experimental analysis of nonlinear bow and stern waves of a two-dimensional body (fourth report),
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 157 (June 1985), 15-33.
- 194) T. Hino, H. Miyata and H. Kajitani: Numerical simulation of nonlinear behavior of three-dimensional ocean waves interacting with obstacles,
J. Soc. Nav. Archit. Jpn. 157 (June 1985), 141-154.
- 195) M. Namimatsu, S. Ogiwara, H. Tanaka, M. Hinatsu and H. Kajitani:
An evaluation of resistance components