

## 船の剥離渦 : I

種子田, 定俊

天本, 肇

<https://doi.org/10.15017/4743438>

---

出版情報 : 應用力學研究所所報. 27, pp.1-15, 1967. 九州大学応用力学研究所  
バージョン :  
権利関係 :



## 船 の 剝 離 渦 (I)

種子田 定 俊  
天 本 肇

## 概 要

船底彎曲部附近から発生する剝離渦をフロービジュアリゼーションにより観測した。多くの場合、船体表面に斜めの剝離線が現われ、そこから渦層が後方へ吐出される。渦層の端は直ちに巻込んでスパイラル状になり、その部分に渦度が集中して渦糸を形成する。表面の曲率の方向により、渦層が水中に両端を持つ場合と一端のみを持つ場合の二種類がある。一つの船でもこの二種類の渦層が単独にあるいは同時に数箇所が発生して多数の剝離渦を伴うことが多い。これらの主流方向に軸をもつ渦糸は死水領域を伴わない。船体後部には、これらの渦糸の他に、死水領域を伴う剝離が独立に存在することがある。

## § 1 緒 言

最近の模型船での実験<sup>1)</sup>によれば、多くの場合船底彎曲部附近からほぼ水平な軸を持つ渦糸が発生して後方へ流れ出していることが観測されている。これらの渦糸は船の抵抗、推進性能、プロペラ起振力、針路安定等に影響をおよぼすものと考えられるので、更に詳しい研究が望まれているが、未だその正体はよく分っていない現状である。従来の渦糸観測法は糸くず、毛糸格子等を用いるものが多く、ある面内の流れの動きはかなり正確に捉えられるけれども、渦糸の三次元的広がりや運動、干渉、変形等の詳しいことは分っていない。

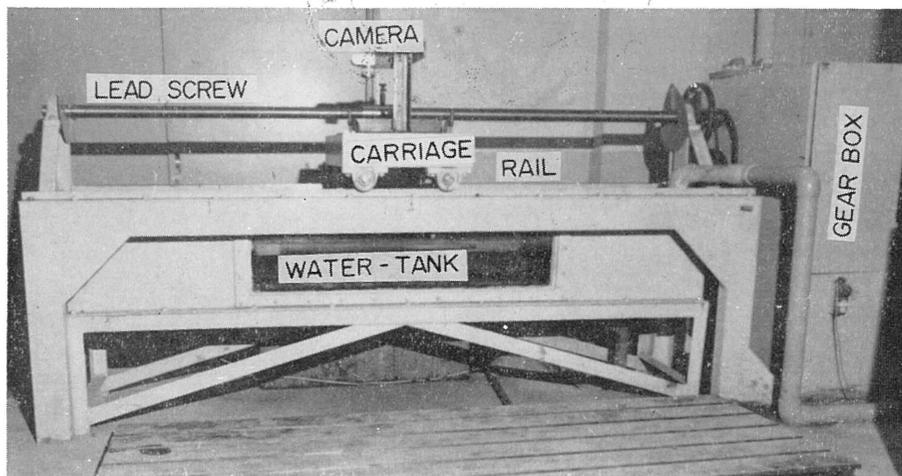
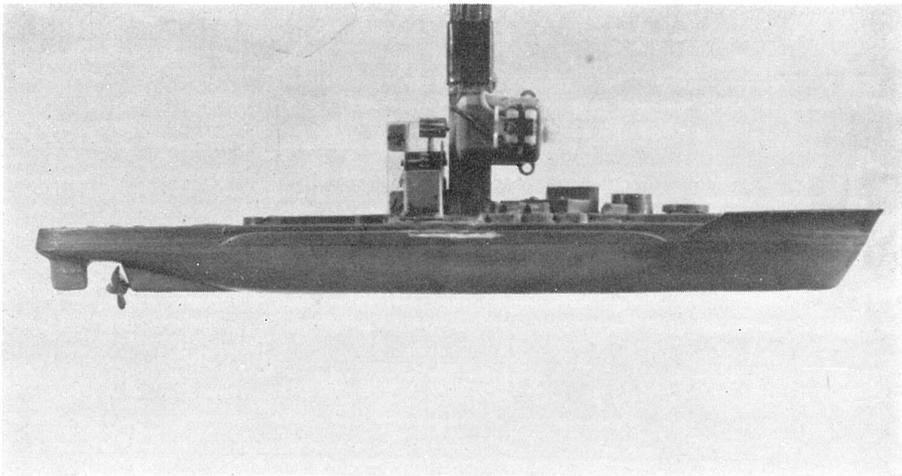


写真1 実 験 装 置

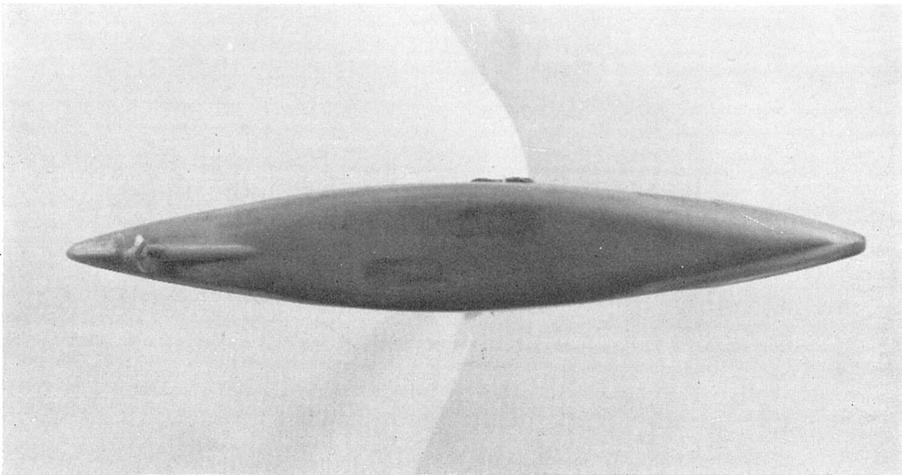
吾々は、水の運動をビジュアライズするのにアルミ粉を水中に浮遊させる方法とコンデンスミルクを船体表面に薄く塗りつける方法を用い、模型船の剝離渦の発生や成長の模様を詳しく観測することができたので報告したいと思う。

## § 2 実験装置と方法

実験は小型ガラス水槽（長さ 200 cm, 巾 30 cm, 深さ 30 cm）で行われた。水槽の上にレールを渡し、その上をモデル曳引車が走るようになっている。写真1に実験装置の外観を示す。曳引車のナットに結合しているリードスクリューを回転させることにより曳引車を一様な速度で進行させることがで



(A) 側 面 図

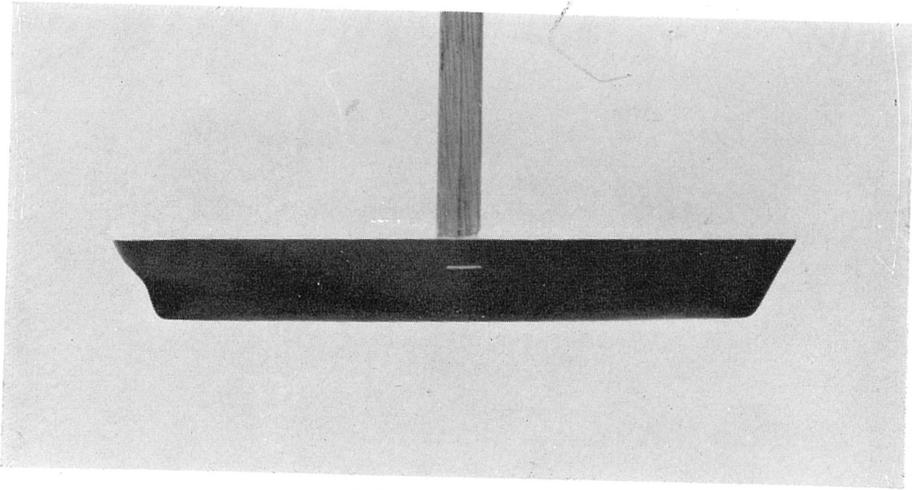


(B) 底 面 図

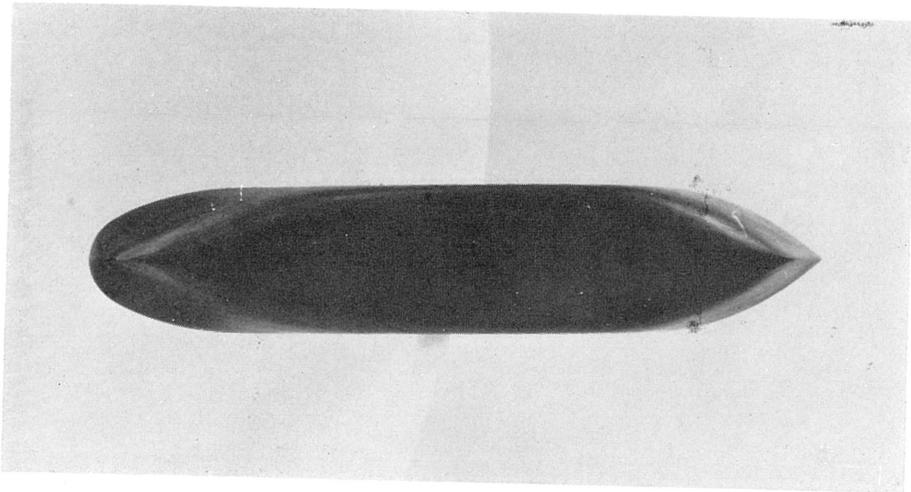
写真2 戦艦 M 模型

$L_{WL}=25.5$  cm,  $B=4.5$  cm,  $d=1.80$  cm

きる。速度を連続的に変化させるためにモーターとリードスクリーンの間に無段変速機を使用して、1 mm/s から 100 mm/s の範囲を自由に変えることができる。模型船は長さ ( $L_{WL}$ ) 約 25 cm, 巾 ( $B$ ) 約 5 cm のものを四種類使用した。写真 2 は戦艦 M のモデル, 写真 3 は貨物船 A のモデル, 写真 4, 写真 5 は渦の性質を調べるのに特に曲率の特徴を強調して製作した実験用模型船である。便宜上, 写真 4 の船を R 型, 写真 5 の船を S 型と名付けることにする。なお, 戦艦 M のモデル以外は舵とスクリーンが付いていない。



(A) 側面図

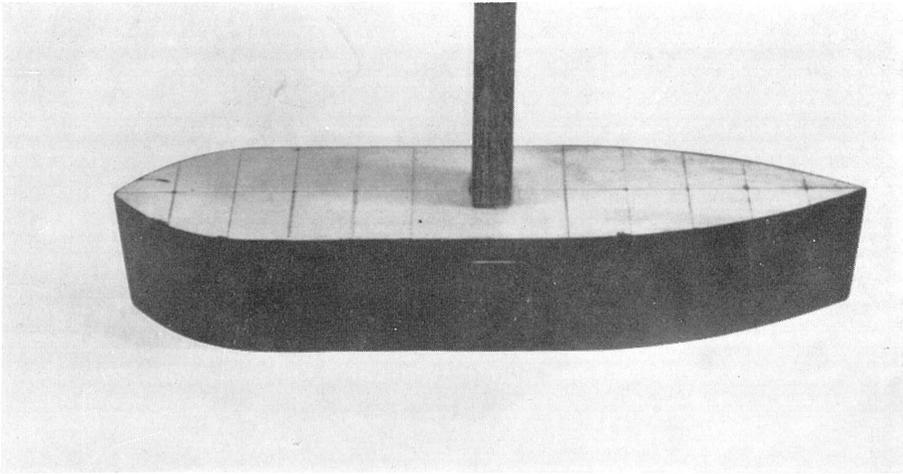


(B) 底面図

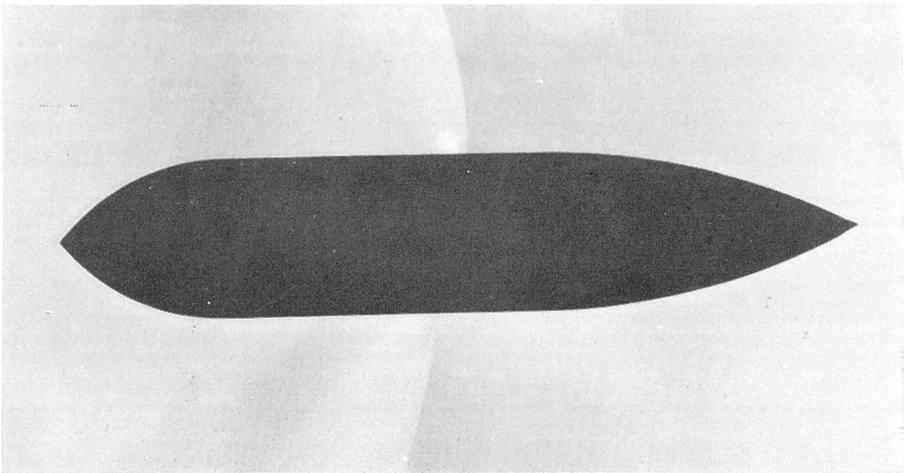
写真 3 貨物船 A 模型

 $L_{WL}=25$  cm,  $B=5.0$  cm,  $d=2.0$  cm

この実験に用いたフロービジュアリゼーションの方法は、アルミ粉を水中に浮遊させる方法とコンデンスミルクを船体表面に薄く塗りつける方法の二つである。アルミ粉法は流れの速度場を知るのに有効であり、コンデンスミルク法は渦糸を観測するのに好都合である。これらの方法については既に発表<sup>3)</sup>しているので省略する。



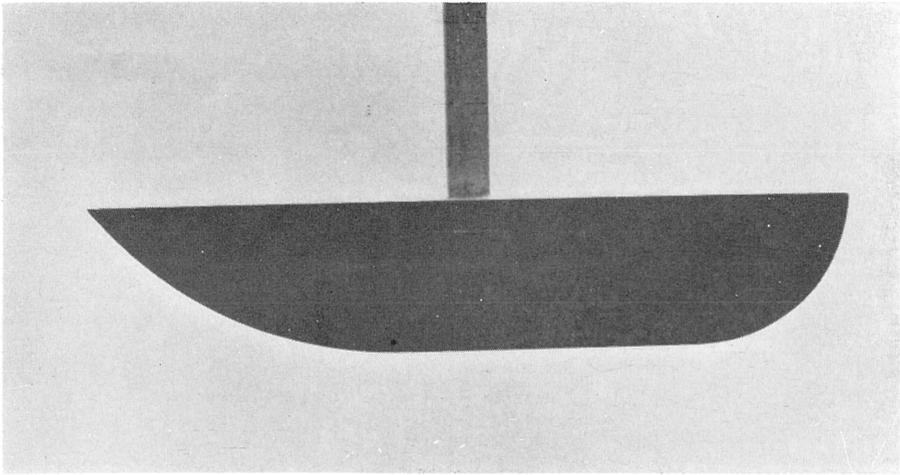
(A) 鳥 瞰 図



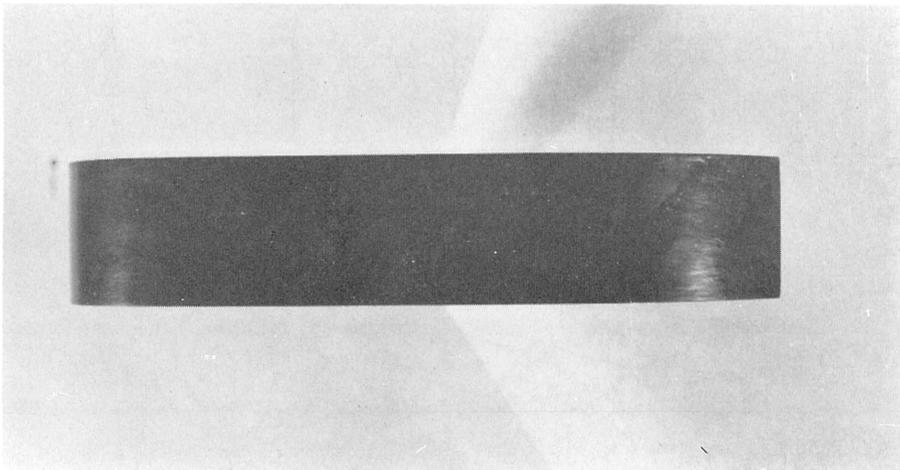
(B) 底 面 図

写真4 R 型 模 型 船

$L_{WL}=25$  cm,  $B=5.0$  cm,  $d=3.0$  cm



(A) 側面図



(B) 底面図

写真5 S型模型船

 $L_{WL}=24\text{ cm}, B=5.0\text{ cm}, d=4.0\text{ cm}$ 

### §3 実験結果

写真6は直進する戦艦Mの模型船(写真2)の船尾附近をコンデンスミルク法で上方から撮影したものである。但しスクリューは回転していない。明瞭に二本の大きなスパイラル状渦が後方へ伸びているのを見ることができる。この渦の回転方向は後方から見て第1図の如くである。剥離開始の位置は  $AP$  から約  $0.3L_{pp}$  だけ前方の船底彎曲部にあり、そこから主流に対して斜めの剥離線に沿って剥離が行われている。剥離した渦層は直ちにその両側端を上方に巻始め、スパイラル状の渦層を形成する。船体

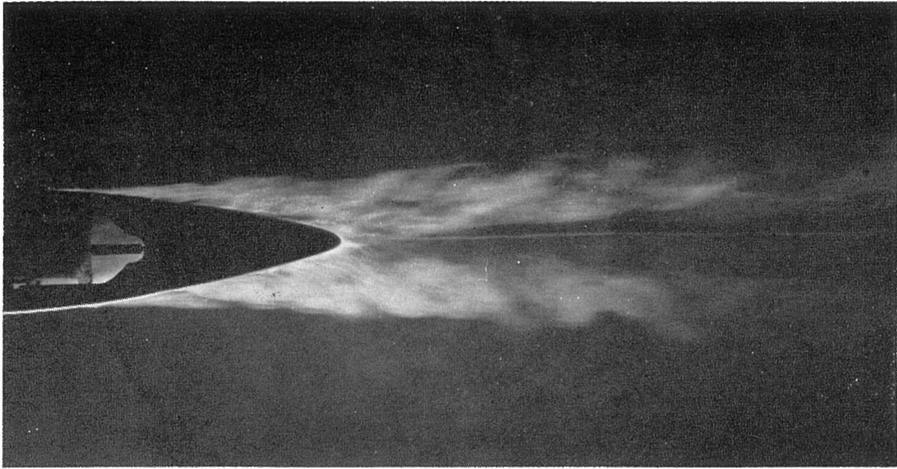
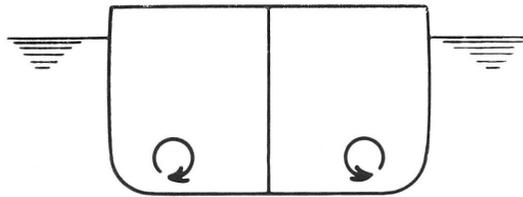
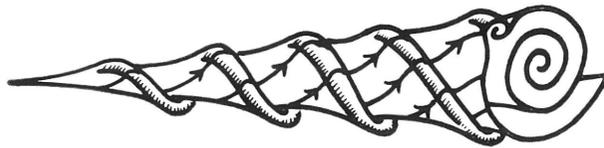


写真6 戦艦 M 模型の船尾剥離渦  
 $R=3720$ , コンデンスミルク法



第1図 戦艦 M 模型  
 後方より見たときの剥離渦の回転方向



第 2 図  
 スパイラル状渦の表面に現われるひだ

から少し離れた後方では渦層の主流方向の渦度はほとんどこのスパイラル状の渦の部分に集中して、二本の大きな主流方向の軸を持つ渦糸に成長する<sup>4)</sup>。この二本の渦糸は多数のひだを有するが、そのひだの方向は渦糸表面の流れに対してほぼ直角である。第2図にそのスケッチを示す。このひだの発生は三次元渦糸に特有の性質であり、航空機の翼端から流れ出す翼端渦の場合も同じである。例えば写真7は迎え角  $8^\circ$  の矩形翼の翼端渦を示し、ひだは船の場合よりも更に強く現われているのが見える。

なお、写真6において、船尾からほとんど一直線に後方へ延びている一本の白いミルクの線が見えるが、これは船体の wake の中心線を現わすものである。この白い線は主流に直角な渦度を持つ複渦層であり、上述の二本のスパイラル状渦とは独立なものである。注目すべきことは死水領域が全く現われな

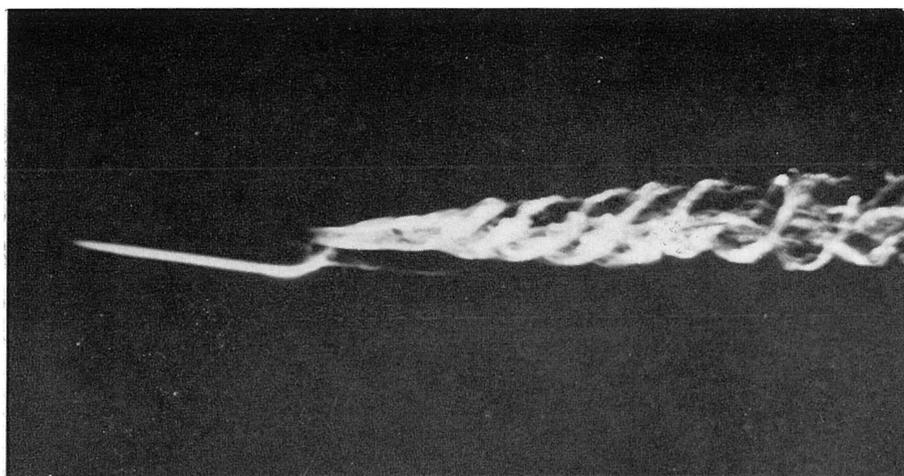


写真7 翼端渦  
矩形翼, 迎角8度,  $R=3070$

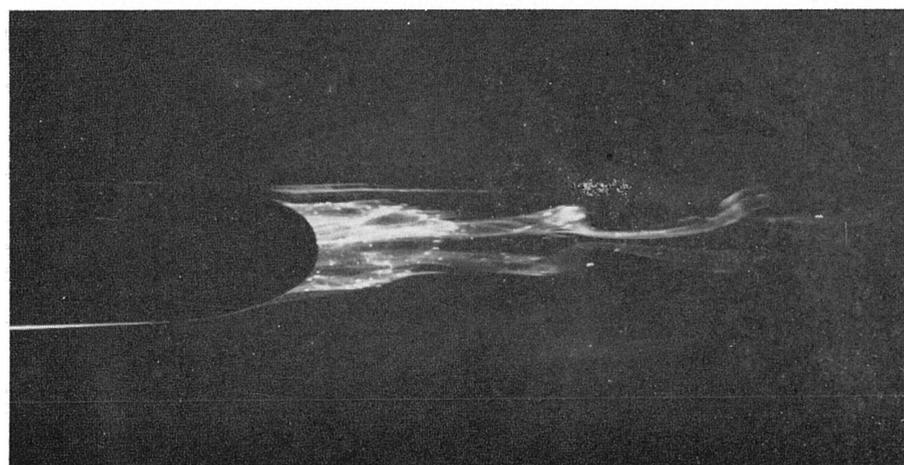
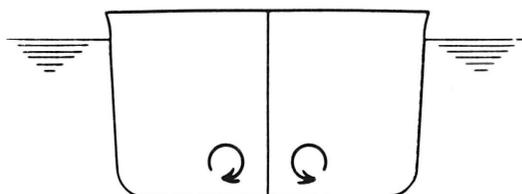


写真8 貨物船A模型の船尾剥離渦  
 $R=9000$ , コンデンスミルク法



第3図 貨物船A模型  
後方より見たときの剥離渦の回転方向

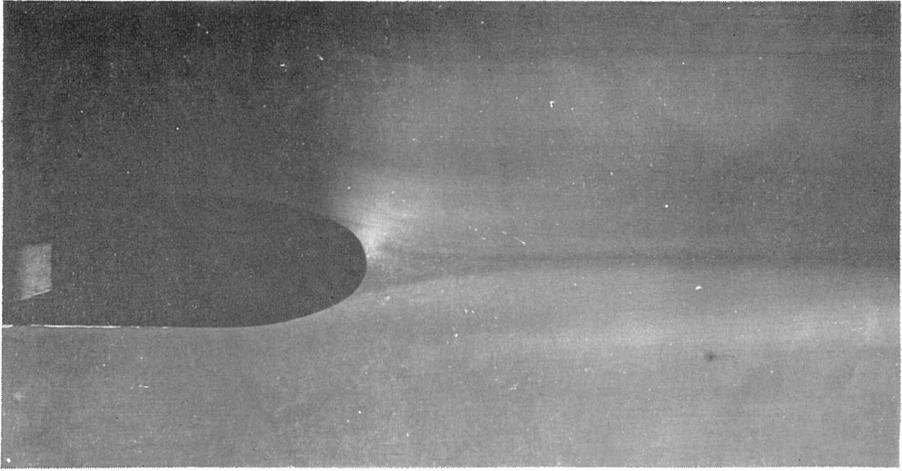


写真9 貨物船A模型の死水領域  
 $R=1980$ , アルミ粉法

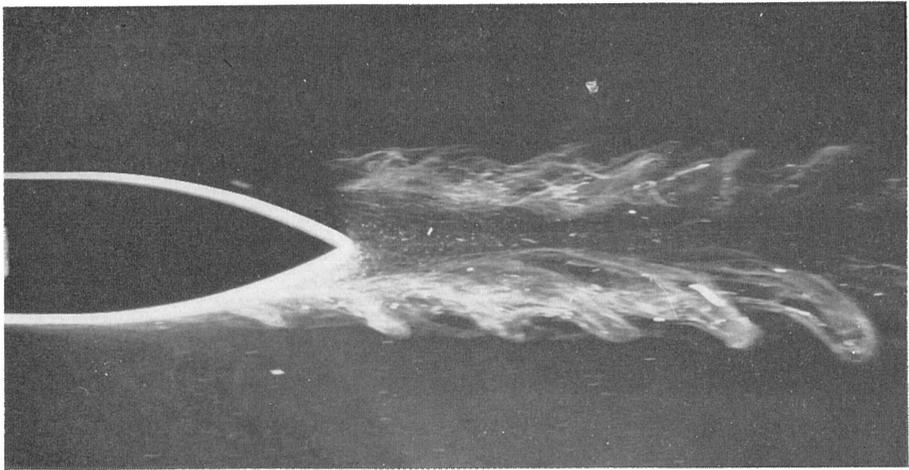
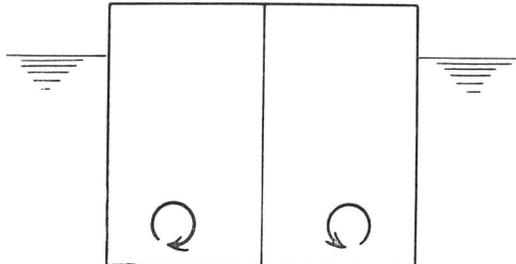


写真10 R型模型船の船尾剥離渦  
 $R=3690$ , コンデンスミルク法



第4図 R型模型船  
 後方より見たときの剥離渦の回転方向

いことであり、優秀な船型であることが分る。

写真8は貨物船Aのモデル(写真3)の場合であり、船尾から後方に向かって二本の渦糸が流れ出しているのが見える。後方から見た渦の回転方向は戦艦Mの場合と同じである(第3図)。しかし写真に見られる通り、渦の形は戦艦Mの場合とかなり異なり、二本の渦は船尾から少し離れると間隔が狭くなり、更に後方ではチェーン状を呈する。また渦糸表面のひだも見られない。

写真9は同じモデルの流れのアルミ粉法による写真である。かなり大きな死水領域\*の発生が見られる。これは露出時間を十分に長く(20秒)与えて撮影されたもので、このようにアルミ粉法は死水領域の存在等の平均速度場の模様を知るのに極めて有効な方法である。

写真10はR型模型船(写真4)のコンデンスミルク法による写真である。この場合も船尾附近からの強い剥離渦の発生があり、後方における渦糸の回転方向や変形はほとんど戦艦Mの場合と同様である(第4図)。ただ異なるのは船尾の所はかなり大きな死水領域が存在することである。このように死水領域が現われる場合でもそれは二本の剥離渦とは本質的に独立なものである。写真11はアルミ粉法による死水領域の写真であつて、一組の双子渦が整然と並んでいる有様がよく示されている。この双子渦の軸は主流に直角であり、且つその中心は船尾より少し離れた後方に位置している。写真12は同じR型であるが船尾の形がずんぐりした場合であり、この場合には非常に大きな一対の双子渦が現われ、形状抵抗の大きいことを示している。

写真13はS型模型船(写真5)のアルミ粉法による写真である。この場合はアルミ粉法でも明瞭に二本の剥離渦糸の存在を見ることが出来る。後方から観測した時の渦の回転方向はR型の場合と逆であり(第5図)、また水平位置もR型の場合よりもかなり上方の液面近くにある。写真14は同じS型模型船

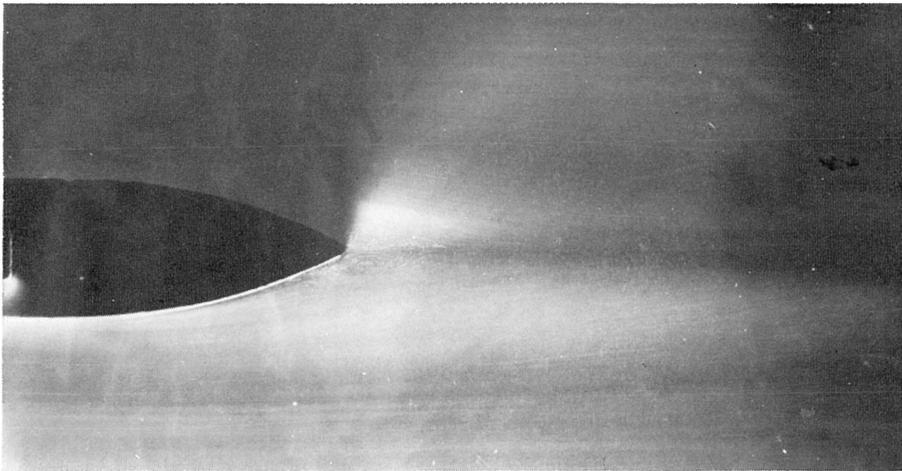


写真 11 R 型模型船の船尾双子渦  
R=2550, アルミ粉法

\* 本論文で、死水領域とは物体近傍から離れることのできない流体の部分の意味する。

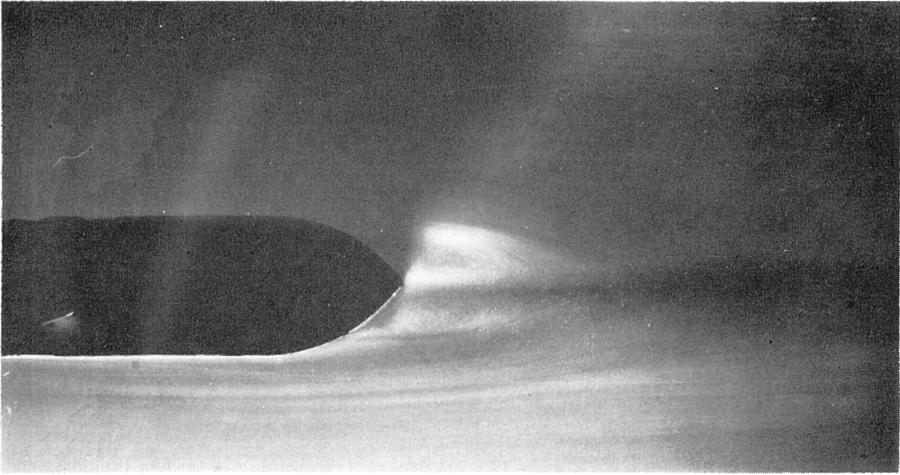


写真 12 R 型模型船の船尾双子渦  
 $R=2550$ , アルミ粉法

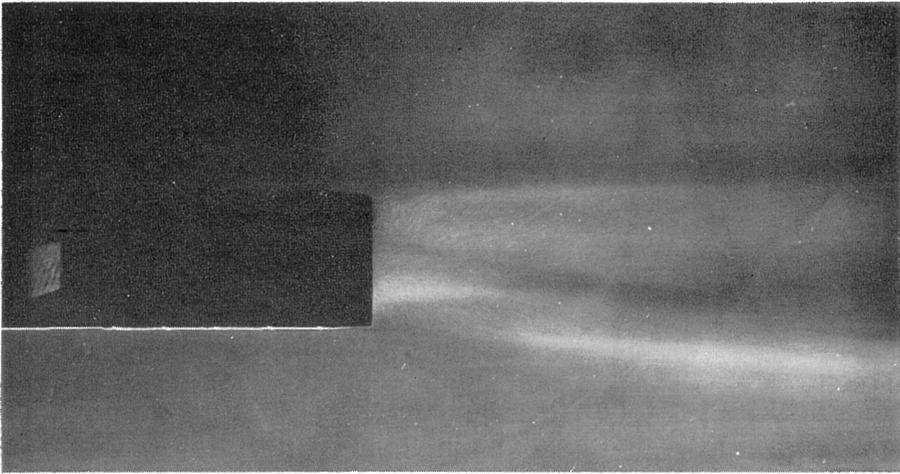
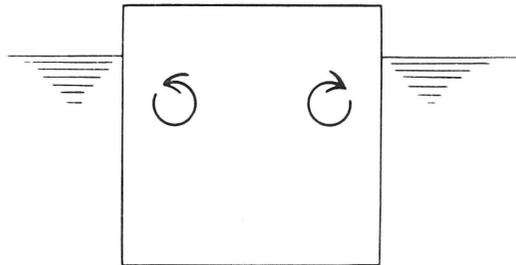


写真 13 S 型模型船の船尾剥離渦  
 $R=1980$ , アルミ粉法



第5図 S 型模型船  
 後方より見たときの剥離渦の回転方向

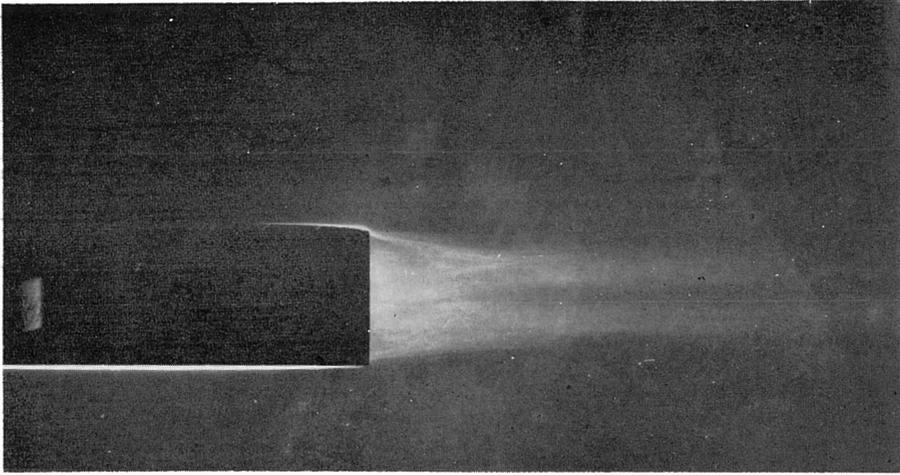


写真 14 S 型模型船の船尾剥離渦  
 $R=2550$ , コンデンスミルク法

のコンデンスミルク法による写真である。露出時間を長くかけてあり、渦糸の平均位置を知ることができる。

以上は主として船尾附近に注目したのであるが、船首附近にも同様の剥離渦が発生する場合が多い。

写真 15 は S 型模型船の船首附近に発生する剥離渦を示す。船底の斜めの角に沿って剥離が起り、そこから外側上方へ巻込む渦層が吐出される。

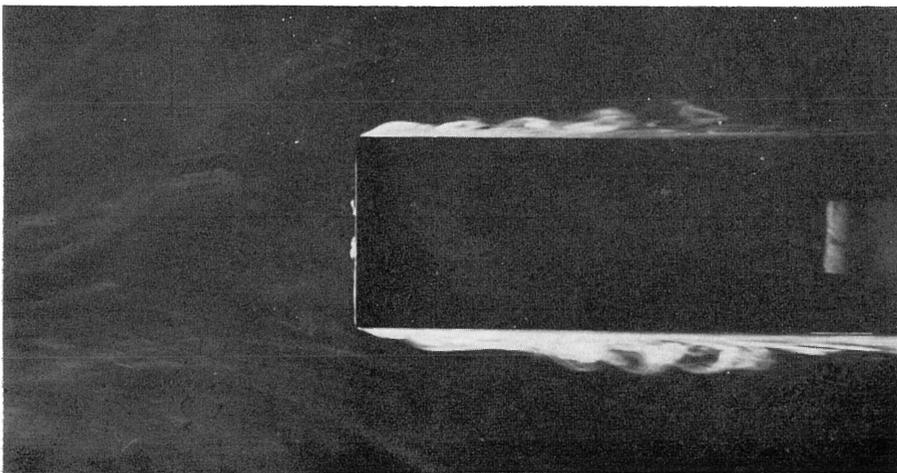


写真 15 S 型模型船の船首剥離渦  
船首剥離渦を上方より撮影したもの  
 $R=7810$ , コンデンスミルク法

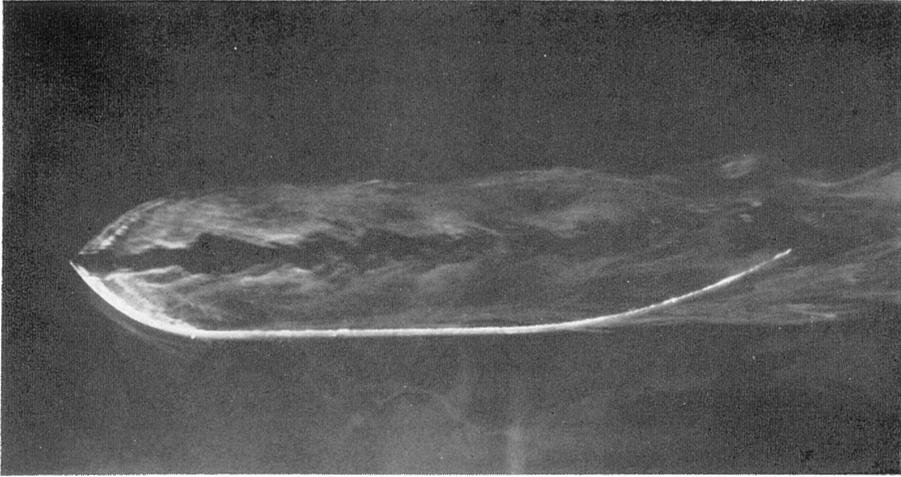
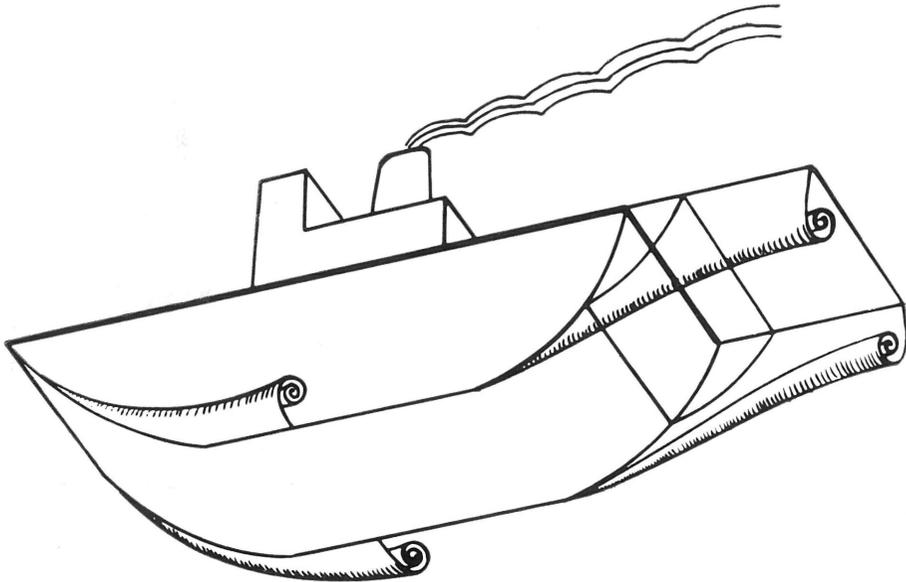


写真 16 R 型模型船の船首剥離渦  
 船首剥離渦を下方より撮影したもの  
 $R=4450$ , コンデンスミルク法

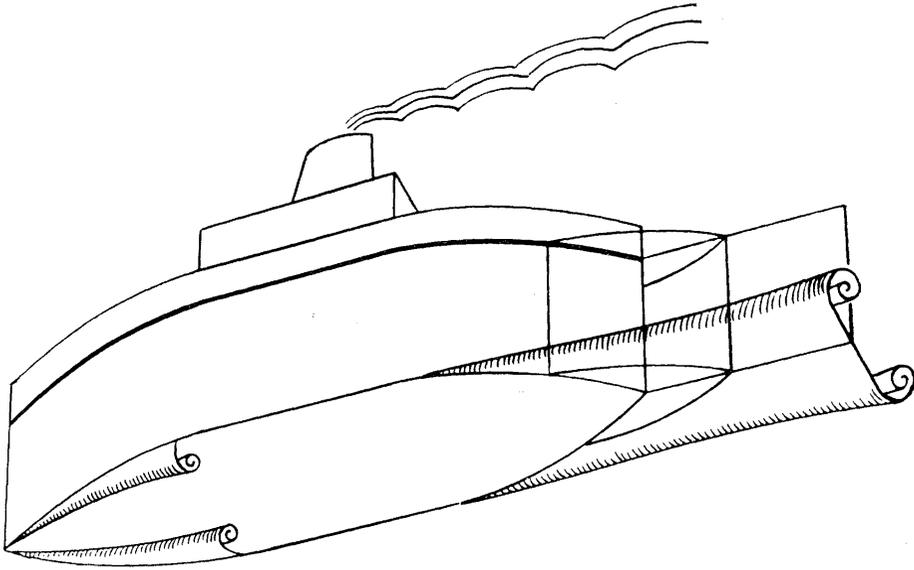
写真 16 は R 型模型船の船首附近からの剥離渦の発生を示す。この場合には船底の斜めの角に沿って下方内側へ巻込む剥離層が吐出される。したがって渦糸の回転の方向は S 型の場合と逆向きである。

#### § 4 実験結果の検討

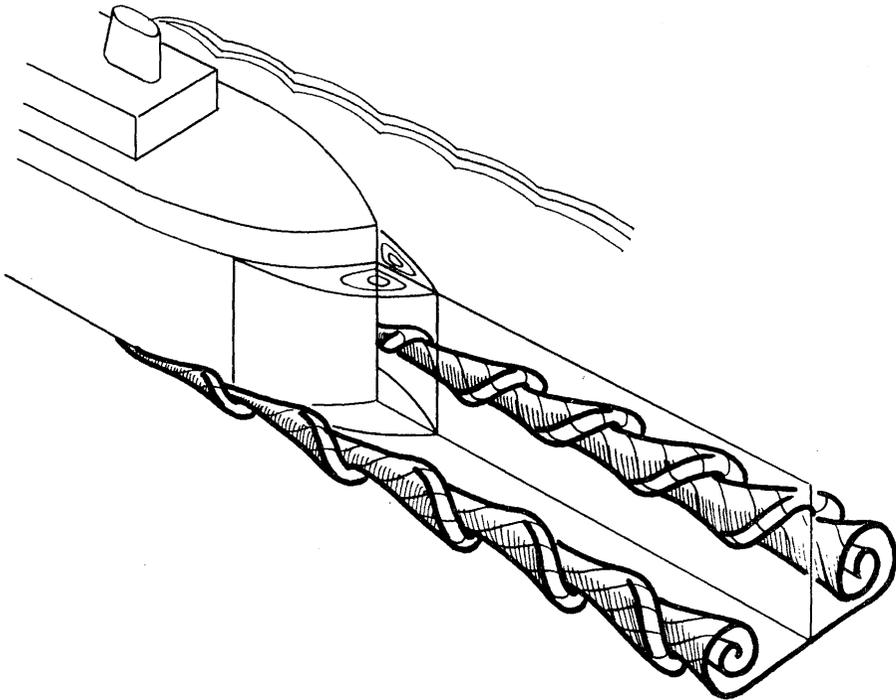
以上の実験結果を分かり易く図解したものが第 6 図, 第 7 図である。図から分る通り, S 型と R 型とは全く同じ原理で剥離渦が発生しているのであつて, 例えば R 型の船を船の長さ方向の中心線を軸にして



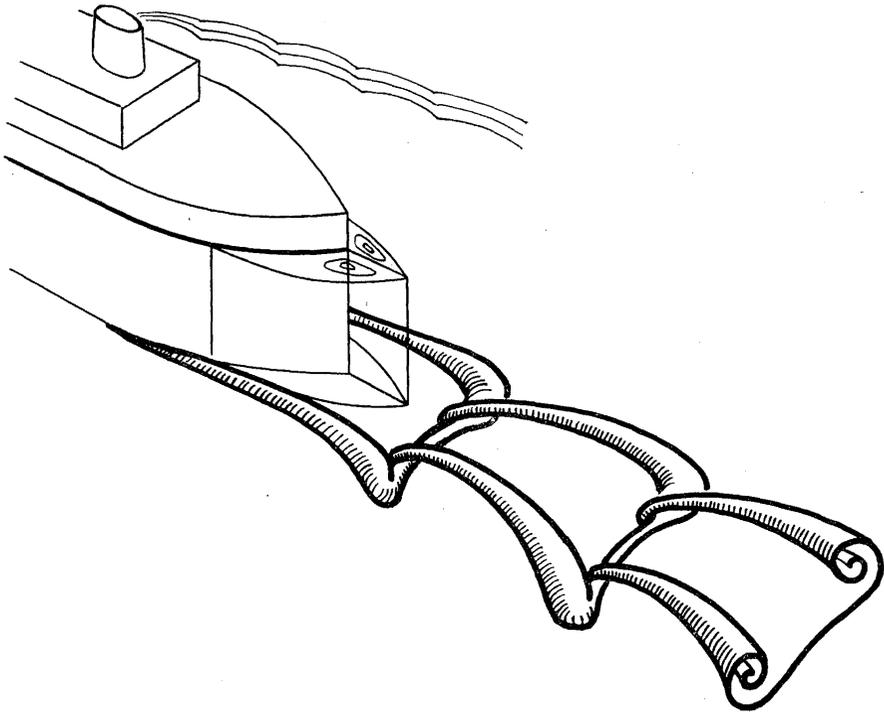
第 6 図 S 型模型船の剥離渦



第7図 R型模型船の剝離渦



(イ) スパイラル状渦系



(ロ) チェーン状渦系  
第8図 剥離渦の発達の様式

直角だけ回転させればS型に一致するわけである。ただ異なる点は、船尾からの剥離において、R型では剥離渦層が一枚であるのに対してS型では二枚であることである。そのため渦糸の後方における干渉の仕方が異なる。しかし船体近傍のみを考える場合にはこのことはあまり問題にならない。後方の渦糸の変形の有様は第8図に示される。このような三次元的な渦層は主流に対して斜めの渦度を持つているので、渦層の不安定は主流方向とそれに直角な方向の二つの方向が同時に起り、図に示されるような変形をするわけである。第8図(イ)のスパイラル状渦糸に現われるひだも、第8図(ロ)のチェーン状の渦も共に本質的には同じものであり、主流方向と主流に直角方向の渦度のコンセントレーションの結果として現われるものである。

ところで本実験において最も大きな問題は Reynolds 数のことである。実船の Reynolds 数が  $10^8 \sim 10^9$  であるのに比べて、本実験は  $10^3$  の程度である。このような大きな Reynolds 数の相違があるのに、果して実船の渦が同じに現われるであろうかということが懸念されるわけである。しかしこのことについてはさほど問題は無いように思われる。渦糸は、剥離という粘性に直結した現象から発生するのであるが、剥離した後は渦糸の中心付近を除けばもはや粘性の作用する余地は極めて少いことと思われる。粘性は単に剥離をもたらす引金の役目をするだけであつて、それに充分な Reynolds 数以上でありさえすればその大きさはほとんど無関係であるように思われる。

よく知られているように、物体表面の境界層は Reynolds 数  $(\frac{Ux}{\nu})$ ,  $U$  は主流の速度,  $x$  は前端からその位置までの距離,  $\nu$  は流体の動粘性係数) が  $5 \times 10^5$  の附近で層流から乱流へと遷移する。乱流になつた後はもはや分子粘性は意味を失い, その代りに乱流粘性が支配的となる。乱流粘性係数は分子粘性係数に比べてけた違いに大きいので, 実船の Reynolds 数も層流に換算すればいわゆる有効 Reynolds 数は  $10^3$  の程度であろうことが想像できる。もちろん細かい点は異なるかも知れないが, 少なくとも渦発生の機構や渦系の主な形は実船の場合と本実験とで定性的には同じであろう。このことは  $10^6$  附近における大型模型船の毛糸格子による実験結果が,  $10^3$  附近の本実験と定性的に一致していることから保証される。吾々はこの点を更に確める目的で  $R=10^8$  程度の実船における観測を計画しているので, その実験が成功すればこの問題は一層明瞭になるものと期待している。

本報告では単に四種類の船について直進時の剝離渦について実験した結果を報告したのであるが, 今後更にスクリューを回転させた時の変化, 舵の影響, 船首バルブの影響, 斜航の影響等を調べる予定である。

終りに, 本実験の計画を示唆された船舶流体力学懇談会 (会長, 九大造船学教室上野敬三教授) のメンバーの方々に対して, また実験に協力された若林大三君に対して深く感謝の意を表する次第である。なお, 九大航空教室の光安教授, 林助教授には航空機の翼渦について色々御教示を頂いた。ここに併せてお礼を申し上げたい。

## 文 献

- 1) 田古里哲夫: 造船協会誌第 450 号 (昭 42) 14
- 2) 仲渡道夫: 船舶流体力学懇談会で発表 (昭 41 年 5 月, 11 月)
- 3) S. Taneda: Rep. Res. Inst. Appl. Mech. **1** (1952) 131
- 4) D. Küchemann and J. Weber: Z. A. M. M. **45** (1965) 31

(昭和 42 年 3 月 10 日 受理)