

進器との相互作用を十分に考慮に入れた舵の設計が容易に行ない得るような手順や、そのための資料の確立もまた重要な課題の一つであろう。

自航模型船と拘束模型船のそれぞれを使用する試験法は現在、独立に行なわれている場合が多いが、両者の巧みな併用によって、さらによりよく解明される問題は多いであろうと思われる。

#### 引用文献

- 1) 野本謙作・田口賢士・本田啓之輔・平野進: “船の操縦性に就いて(1)”, 造協論文集第99号
- 2) 野本謙作・田口賢士: “船の操縦法に就いて(2)”, 造協論文集第101号
- 3) 志波久光・水野時雄・富田哲治郎・江田治三: “模型船による最適舵面積の研究” 造協論文集第105号
- 4) 江田治三・志波久光: “自航模型船による旋回性能の研究(船巾が旋回性能におよぼす影響)” 運研報告11巻12号
- 5) 小関信篤・高石敬史: “低速時の方向安定に関する一模型実験” 第16回運研研究発表会1958
- 6) 菅井和夫: “高速艇の操縦性能について” 運研報告12巻11号
- 7) 辻 豊治: “高速艇の旋回性能について(一軸一舵の場合)” 第1回船研研究発表会1963
- 8) Y. Yamanouchi: “A Proposal of Research on Manoeuvrability at Low Speed or at Unstationary Condition of Motion” A Collection of Papers Submitted by Dr. Motora, 10th ITTC Formal Contribution on Manoeuvrability” 1963
- 9) 山内保文・高石敬史・菅井和夫: “巡視船の低速航行時惰行時および後進時の操縦性能に関する模型実験について” 船研報告, 第1巻第3号
- 10) 荒木 浩・花岡達郎: “青函連絡船の風洞実験” 造協会報第84号
- 11) 中島康吉: “鉄道連絡船の操縦性能におよぼす風の影響について” 造協会報第84号
- 12) 小関信篤・辻 豊治: “船の旋回性能におよぼす浅水影響について” 第1回船研研究発表会1963
- 13) 菅 信・花岡達郎: “旋回性におよぼす浅水影響の計算” 造協論文集第115号
- 14) S. Motora & R. B. Couch; “Maneuverability of Full Bodied Ships in Restricted Waters” Univ. of Michigan, 1961
- 15) 辻 豊治: “双胴船の操縦性について” 船研報告発表予定(未公表)
- 16) 山内保文・富田哲治郎・安藤定雄: “舵型式の推進性能におよぼす影響” 第24回運研研究発表会1962
- 17) K. S. M. Davidson & L. I. Schiff: “Turning and Course Keeping Qualities of Ships” SNAME Vol 54
- 18) H. Eda & C. L. Crane Jr.: “Research on Ship Controllability” Part I. Survey and Long Range Program, DL R-922, 1962
- 19) H. Eda & C. L. Crane Jr.: “Research on Ship Controllability Part II. Steering Characteristics of A Cargos Ship”, DL R-923
- 20) H. Ede: “Research on Ship Controllability Part III. Analysis of Yawing Motion of A Ship in Waves”, DL R-967
- 21) H. Thieme: “Über Strömungstechnische zur Bestimmung von Steuereigenschaften,” Schiff und Hafen, 1954, H. 9
- 22) S. Tsakonas: “Effect of Appendage and Hull Form on Hydrodynamic Coefficients of Surface Ships”, DL R-740 July 1959
- 23) J. R. Paulling & L. W. Wood: “The Dynamic Problem of Two Ships”, Operating on Parallel Course in Closed Proximity”, Inst of Eng. Res., Univ of California No. 189-1

## 操縦性に関するトピックス

正員 元良 誠三

### 1 サイドスラスターの効果

#### 緒 論

近年船首または船尾に横向きの推力を与えることにより船の停止時または低速時の操船性を向上させる目的のサイドスラスターが使われるようになり、わが国でも数

隻の船に採用され、さらに普及しようとする勢にある。また昨年前に日本造船研究協会 59 部会で広範囲な調査研究が行なわれ貴重な資料が多く得られた。

本編では主として船体運動学より見たサイドスラスターの効果について説明しようとするものであるが、先ず順序として簡単な解説から始めることにする。なお解説の部分はメーカーのカatalogや文献より引用したものが

大部分である。

### 1.1 目的、適応する船種等

サイドスラスターの目的は普通の舵の働かない停止時または極く低速の場合の操舵を容易にするにあり、またバウスラスターでは drift out をしないで旋回できることから位置保持に効果あり、特に岸壁の発着や狭い港内での操舵あるいは海洋観測船のごとく一ヶ所に止る必要のある場合に威力を発揮する。また狭水路を通過する船についても効果が認められている。

したがって適応する船としては、a) ケーブルレジャー、海洋観測船、ピテンダー、ドレッジャー（以上何れも位置保持の必要あるもの）b) フェリー、連絡船等の発着の機会多くまたスケジュールが定められているもの、c) 狭水路を航行するもの、d) 極端に安全性を要求されるもの（大型商船、原子力船等）e) パイロットのいない港に出入するもの等である。これ以外の船でもつければ便利なことはもちろんで曳船の数を減じまたは省くことができよう。

使用例として筆者がアムステルダムの遊覧船で見たものは第1図のように狭い運河を直角に曲っていた。また別の例としては長さ 42.85 m のフェリーが第2図のごとく狭い港内で発着をしている由である。

### 1.2 要求性能

この目的のためにはつぎのごとき性能が要求される。

- (1) 命令一下直ちに最大スラストを発生すること。
- (2) 左右スラスト同一。
- (3) 左右の転換が成るべく早いこと。
- (4) スラストは0から最大まで連続に変化できること。
- (5) リモートコントロールができること。

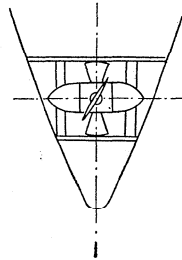
(6) 信頼性があり据付が簡単なこと。

### 1.3 種類、配置

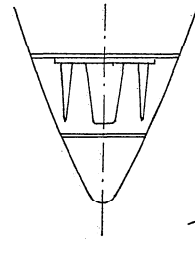
#### (1) 種類

大きな推力を得るため、低圧大流量の軸流ポンプあるいはダクトとインペラーの組合せを用いたものと、フォイトシュナイダープロペラを用いたものがある。

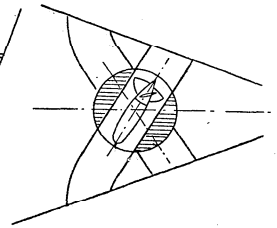
左右の切換の機構としては大きく分けて可変ピッチと固定ピッチ逆軸の2種があり前者では Kamewa が有名であり後者には Vickers, Pleuger 等がある。



第3図 a



第3図 b



第3図 c

フォイトシュナイダープロペラのものものはもちろんそれ自体で左右切換ができ、またインペラーの向きを変える方式もある。(第3図 (a), (b), (c))

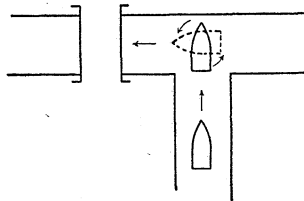
#### 1.4 寸法形状と性能の関係

寸法、形状等と性能の関係についてはインペラー型サイドスラスターにつき前記 SR 59 の部分の仕事として三菱造船船型試験場で詳細な実験が行なわれた。ここでは紙数の関係で詳しく述べられないが同部会の報告より大雑把な結編を述べると、

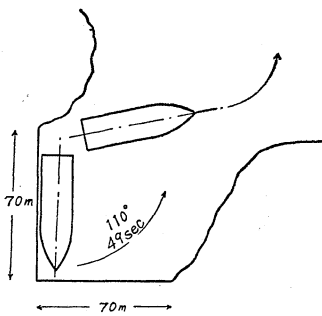
#### (1) 取付位置

取付位置としては後述のごとくなるべく船首寄りがよくまたダクトの上下位置は第4図において、

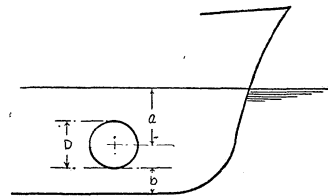
- (i)  $a$  は大きい程よく、少くとも  $a \geq D$  が必要。
- (ii)  $b$  は  $D/2$  以上あればよい。



第1図



第2図



第4図

インペラーによる圧力変化は大体出口付近で直径 1.5 D の円内に収まるようである。

#### (2) 形状

インペラーの tip-clearance はもちろん小さい程よく clearance が増大するにつれて推力が低下する。ダクトの開口部の丸みは曲率が小さい程効率が増すが、曲率半径  $R$  が  $1/20D$  を越えれば事実上大きな変化はない。

### (3) 岸壁の影響

吐出口が岸壁に近いと案に相違して推力は減少する。これは吐出された水が船体と岸壁の間のせまい所を高速で流れるために低圧となって船体を吸い寄せるためであろう。吸込口が岸壁に近い場合には余り大きな影響はない。

### (4) 船体との干渉

インペラーによる圧力差が船体に及ぶため、全体としての推力はインペラーだけの推力より大きくなる。全推力とインペラーだけの推力の比は大体 1.5 : 1 程度である。一方インペラーの推力は単独の時に比べてダクトの影響で約 4 割程減少するので結局全推力はインペラー単独の推力より稍々大きくなる程度である。

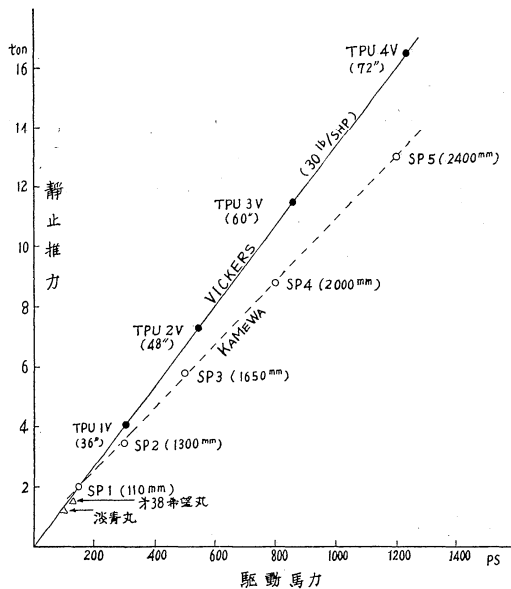
### (5) ダクト長さの影響

推力はダクトの長さにほとんど無関係であり、効果もダクト長さとは  $2D$  以下ではほぼ一定である。ダクト長さが  $2D$  を越えると効率は徐々に低下する。

### 1.5 馬力と推力の関係および必要馬力

主なメーカーの馬力と推力の関係は第5図に示すごとくで概略 100 馬力当り推力 1 トン強となっている。

必要馬力については明確な数字は得られない。船種や



第5図 バウスラスタメーカー品の馬力と推力

用途によって大巾に変わるべきものだからである。

通常風に抗して操舵する能力を持たせる意味から風圧面積によって馬力を算定するつぎの式が提案されている。

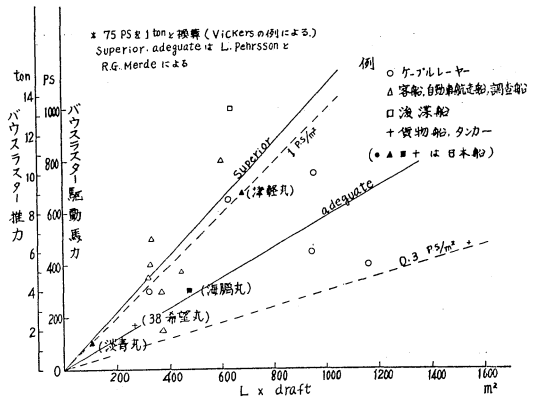
$$\text{船の水面上側面積 } A_1, \text{ 必要スラスト } T_1 = k_1 A_1$$

$$\text{〃 下 〃 } A_2, \text{ 〃 } T_2 = k_2 A_2$$

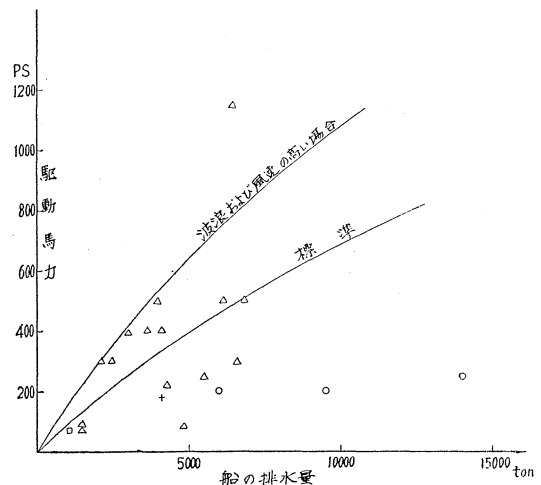
$k_1 = k_2 = 7 \sim 15 \text{ kg/m}^2$  として  $T_1, T_2$  の内大なるものを取る。

あるいは風圧側面積 (ft<sup>2</sup>) 当りの必要推力 (lb) として 0.65~4.02 という値も提案されている。

第6図はインペラータイプのバウスラスタを装備した船の船長と馬力の関係を、また第7図にはフォイトシユナイダータイプのバウスラスタを装備した船の船長対馬力の関係を示す。これから大体の馬力の目安はつけることができよう。(東大竹鼻助教授の資料による。)



第6図 バウスラスタの馬力と推力の推定法



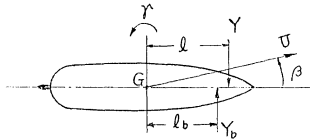
第7図 フォイトシユナイダーバウスラスタを装備船の実例と標準

1.6 バウスラスタの効果に対する運動学的考察

(特に位置影響および速度影響)

バウスラスタは停止時またはごく低速の間は効くが少し前進速度が大きくなると急激に効果が減ることが認められているが、その原因として、(1) 推力が前進速度とともに急激に減少する、(2) 船体運動の性質として前進速度とともに回転しにくくなる要素がある、の二つが考えられる。(1) については前記三菱造船船型試験場での実験により、推力は前進速度とともに減少し、高速では停止時の約半分位まで落ちることが認められたが、それと同時に(2)によって前進速度とともに急激に効果が落ち、取付場所によっては推力の方向と逆方向に旋回することもあり得ることがSR 59 部会に関連して藤野正隆氏により卒業論文として行なわれた研究で判明した。詳細はSR 59 報告に載っているが、ここではその概要を紹介したい。

第8図に示すように重心より  $l_b$  だけ前に横推力  $Y_b$  を作用させるとする。この推力のため、船体は偏角  $\beta$ 、で斜行し角速度  $\gamma$  で廻転すると考える。



第8図

船体が斜行することにより  $Y$  なる垂直力を水から受ける。 $Y$  は重心  $G$  より  $l_Y$  だけ前に働くものとする。

この状態における船の運動方程式は無次元化してつぎのごとく書くことができる。ただし前進速度がかなり大きく、偏角  $\beta$  や旋回角速度  $\gamma$  は小さいものとする。

$$\left. \begin{aligned} -(m' + m_y')\beta' &= Y_{\beta'} \cdot \beta' + \{-(m' + m_x') \\ &+ Y_{\gamma'}\}\gamma' + Y_{\delta'}\delta' + Y_b' \\ (I_z' + J_z')\dot{\gamma}' &= N_{\beta'}\beta' + N_{\gamma'}\gamma' + N_{\delta'}\delta' + N_b' \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

式中  $Y$  は垂直力、 $N$  は  $Z$  軸周りのモーメント  $\delta$  は舵角、 $Y_b$ 、 $N_b$  は横推力およびその重心に対するモーメントを表わす。また、記号は無次元化を表わし、例えば、

$$\begin{aligned} m' &= \frac{m}{\frac{1}{2}\rho l^3} & I' &= \frac{I}{\frac{1}{2}\rho l^5} \\ Y' &= \frac{Y}{\frac{1}{2}\rho l^2 U^2} & N' &= \frac{N}{\frac{1}{2}\rho l^3 U^2} \end{aligned}$$

また Sub-suffix  $\beta$ 、 $\gamma$  はそれぞれに偏微分を表わす。例えば、

$$Y_{\beta} = \frac{\partial Y}{\partial \beta}, \quad N_{\gamma} = \frac{\partial N}{\partial \gamma}$$

等。

船が  $t < 0$  で直進して来て  $t = 0$  の瞬間に推力  $Y_b$  が加えられたとすると角速度の時間的な変化はつぎの形になる。(ただし舵中央のままとする)。

$$\gamma' = \frac{Y_b' N_{\beta'} - Y_{\beta'} N_b'}{C'} \{1 + f(t)\} \dots (2)$$

ただし  $C'$  は舵の方向安定の判別式で、

$$C' = Y_{\beta'} N_{\gamma'} - \{-(m' + m_x') Y_{\gamma'}\} N_{\beta'} \dots (3)$$

また  $f(t)$  は指数関数の和で時間が経つにつれて指数的に0に近づく。 $f(t)$  の中には横推力の大きさを、作用位置は含まれずもっぱら船体の性質だけで定まる。

したがって角速度は時間が経つにつれて定常値、

$$\gamma_s' = \frac{Y_b' N_{\beta'} - Y_{\beta'} N_b'}{C'} \dots (4)$$

に近づいて行く。

$N_b' = Y_b' l_b'$  を考慮して(4)式をかき換えると、

$$\gamma_s' = \frac{Y_b' Y_{\beta'} (l_{\gamma}' - l_b')}{C'} \dots (5)$$

となり、

$$\begin{aligned} l_{\gamma}' &= \frac{l_Y}{l} \\ l_b' &= \frac{l_b}{l} \quad (\text{重心より前を正}) \end{aligned}$$

であるから、 $l_{\gamma}' - l_b'$  はモーメントレバーを表わし、横推力  $Y_b$  による旋回モーメントのレバーは重心から  $Y_b$  までの距離でなく垂直力  $Y$  の着力点から  $Y_b$  までの距離であることが判る。

したがって、

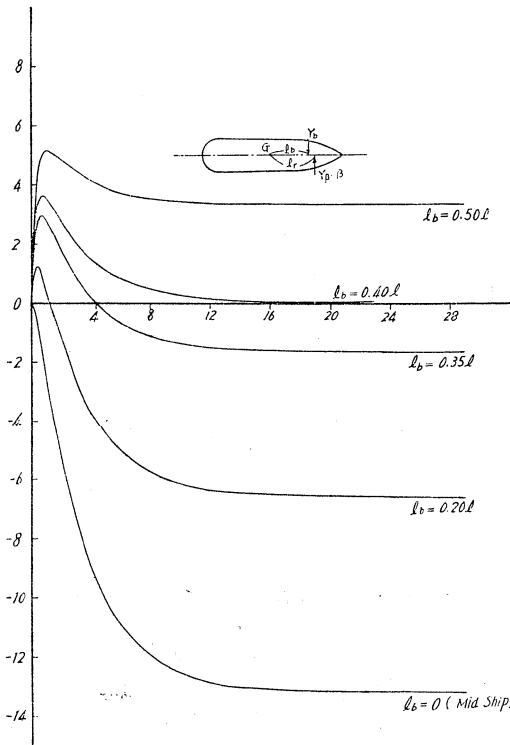
(1) 横推力  $Y_b$  が垂直力  $Y$  の着力点より前にあれば船は推力の方向に船首を振る。(正回転)

(2) 横推力が垂直力の着力点より後にあれば船は推力の方向に船首を振る。(逆回転)

ただし(2)の場合、船が前進速度を持たないときは正回転をし、また前進速度を持つ場合も第9図に示すように横推力を加えた初期には正回転をし、後に逆回転に転ずる。

このことから、スラスタを船首につける場合、垂直力の着力点より前につけることが望ましいことが判る。推力を船尾に加えるスターンスラスタの場合はモーメントレバーはバウスラスタに比べて格段に大きくなるので旋回効果は大きい。しかしながら旋回と同時に必ず外向にドリフトするので、バウスラスタのようにドリフトを止めて位置を保持する目的には不向である。

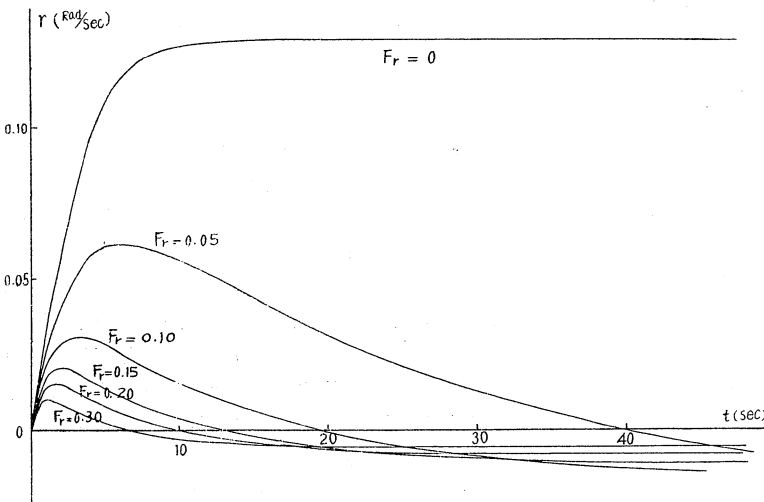
Series 60,  $C_b = 0.60$  の船型につき、種々の位置に横推力を加えた場合の角速度の時間的な変化を第9図に示して



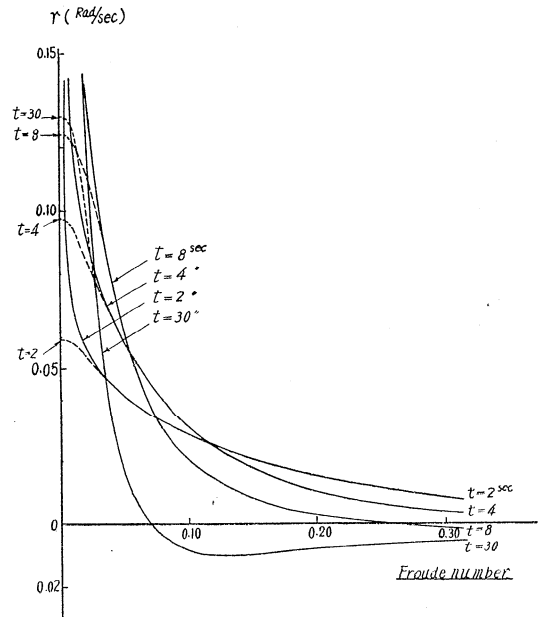
第9図 位置の影響

ある。この船は垂直力の着力点がほぼ重心より  $0.4l$  の所にあるので、それより後に推力を加えると時間とともに逆回転に転じている。

つぎに前進速度の影響を考えて見ると、前進速度  $0$  のときは、斜行による垂直力や回転モーメントを生じない



第10図



第11図 前進速度の影響

ために旋回モーメントは単純に横推力が重心に対して作るモーメントとなり、必ず横推力を加えた方向に船首を振る。旋回角速度は近似的につきのごとくなる。

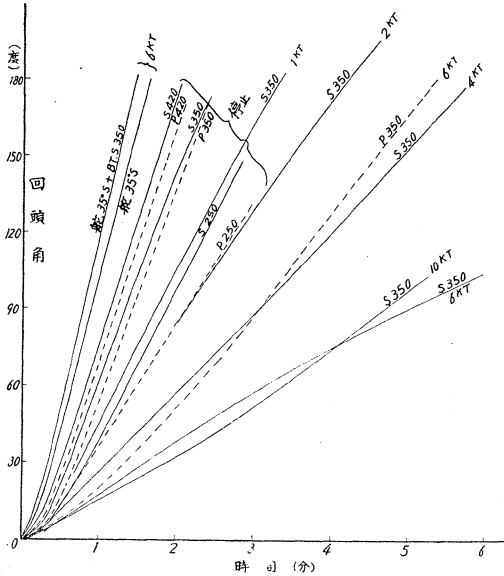
$$r' = \sqrt{-\frac{N_b'}{N_{rr}'}} \tanh\left(\sqrt{\frac{-N_{rr}' N_{bl}'}{I_z' + J_z'} t'}\right) \dots (6)$$

ただし  $N_{rr}'$  は角速度の二乗に比例する旋回抵抗の係数である。

前進速度がわずかにあると、運動方程式は非線型になり速度が旋回角速度に比べて大きくなると(1)式のようになる。前進速度をいろいろに変えた場合の角速度の時間的変化を、 $l_b = 0.35l$  の場合につき計算すると第10図のごとなり、また経過時間をパラメーターとして表わすと第11図のようになる。これより見て、フルード数、 $0.06$  あたりからバウスラスターの効果が急激に減じていることが判る。

以上は推力が前進速度に無関係に一定であるとした結果であるが、推力は前記のごとく前進速度とともに減少するので、上記の傾向は一層助長されるわけである。

淡青丸の旋回試験結果が第 12 図に示してあるが、やはり前進速度とともに旋回角速度は急激に減少している。しかしながら同船ではスラスタは垂直力の着点より前にあり、逆回転はしない。



第 12 図 停止時および前進時の BT の効き

以上のことからバウスラスタの場合、前進速度の大きいときは効果は少ないか場合によっては逆効果で、低速時または停止時に船の向きを変えたり、drift out をしないで旋回するとか、定位置を保持するとかいう場合にその真価を發揮するものであることがわかる。

これに反しスターンスラスタの場合は、止っていても前進していても効果がある代り、drift out をするので定位置の保持には不適当である。

### 1.7 後進時のサイドスラスタの効果

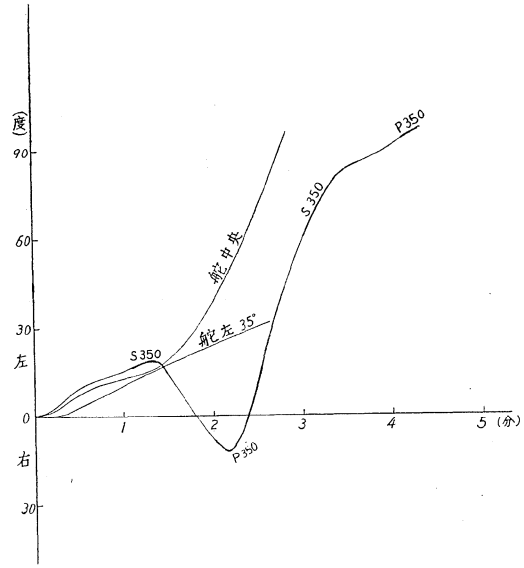
後進時には着力点の関係が丁度バウスラスタとスターンスラスタの場合で逆になり、バウスラスタは後進時に極めて有効である ( $|l_T' - l_B|$  が大) のに反し、スターンスラスタはほとんど効果が無くなる。

第 13 図に淡青丸の後進時のバウスラスタによる操舵試験結果を示す。普通の船尾舵が後進に対してほとんど無力であることはよく知られているが、バウスラスタは後進に対し非常に効果があることがわかる。

## 2 自動操舵による操縦性能の改善

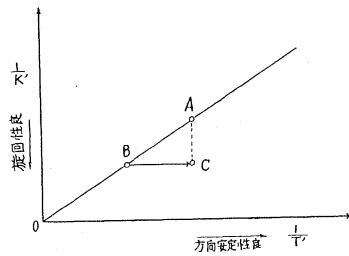
### 2.1 方向安定性と旋回性の関係

操縦性の二大性質である方向安定性と旋回性とは通常



第 13 図 後進時の BT の効き (船速 6.7 KT)

相反する性質で、同一船型で両方を向上せしめることは舵面積を画期的に大きくする以外には不可能であり、また船型を変えても両方を同時に向上させることはほとんどできない。その関係は第 14 図に示すごとくである。



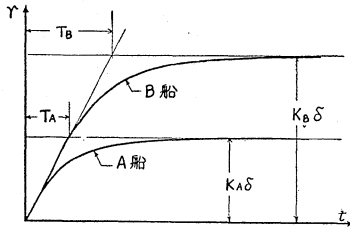
第 14 図

第 14 図は野本氏の表示法を使って方向安定性 (あるいは追従性) と旋回性との関連を表わしたもので、横軸に方向安定性  $1/T'$  を縦軸に旋回性 (の逆数)  $1/K'\delta$  を取ってある。舵面積が一定なら船型を変えたための操縦性の変化は  $K'\delta/T'$  がほとんど一定になるような形ではか起きないから、図上では原点を通る直線上を移動することになる。従って旋回性がよく方向安定性の悪い B 船型を変えて、(具体的には dead wood 等をつけて) 方向安定性を向上させると、旋回性は必ず損われて A 船のような船となるわけである。

舵面積を変えると直線の傾きが少し変わり、舵面積を増大すると傾きが小さくなるので、舵面積を増加すること

により旋回性を損うことなしに方向安定性を向上させることは可能であるが、もちろんこれには限度があって、大巾な変化は望めない。

さて、 $K\delta$  と  $T$  の比が一定ということは近似的に操舵直後の角加速度が一定ということの意味する。したがって船型を変えて見ても操舵直後の角加速度は変わらないということで、step 操舵をした時の舵の角速度の変化を前述の A, B 2 船について示すと第 15 図のようになる。



第 15 図

第 15 図からわかるように、B 船は旋回性が良い ( $K_B$  が大) ために方向安定性が悪い ( $T_B$  が大きい) のに対し、A 船は旋回性が悪い ( $K_A$  小) ために方向安定性が良く ( $T_A$  小) なっていると考えられる。

そこでもともと旋回性のいい B 船に適切な自動制御を掛けて実際の舵角が命令舵角より小さくなるようにし、 $K_B \cdot \delta_B$  が  $K_A \cdot \delta_A$  に等しくなるようにしてやれば B 船は丁度 A 船と同じような方向安定性 (正確には追従性) を持ちかつ、旋回性もまた A 船と同じ程度に低下するであろう。ところかもともと B 船は自動操舵を解けば旋回性の良い船であるから、急速旋回の必要が出たら自動制御を切ってやればよいわけで、結局実質的には B 船と同じ良い旋回性を持ち、A 船と同じ安定性を持つような船 (第 14 図 C 船) が作り出されたことになるわけである。

ある任意の操縦性を持つ船を自動操縦により他の任意の船と同等の操縦性にすることが可能かどうか、また実際にはどのような制御が必要かは東大工学部船舶工学科で大学院修士論文として小山樾夫氏により研究されたのでここにその概要を紹介したい。

## 2.2 自動操縦の条件

舵が 1 個ある場合の船の運動の方程式はつぎのように線型化して書かれる。

$$\left. \begin{aligned} -(m' + m_y') \ddot{\beta}' &= Y_{\beta}' \beta' + \{ -(m' + m_x') \\ &+ Y_{\gamma}' \gamma' + Y_{\delta}' \delta' \} \dots (11) \\ (I_z + J_z) \dot{\beta}' &= N_{\beta}' \beta' + N_{\gamma}' \gamma' + N_{\delta}' \delta' \end{aligned} \right\}$$

ただし、

$Y_{\delta}' \delta'$  は舵の力の横成分

$N_{\delta}' \delta'$  は舵の力の重心周りのモーメント

を表わす。

いまは自動操縦といっても定まった方位角の方向に船を向けるのではなくて方位角は任意であるから、制御の要素としては方位角  $\varphi'$  は入らず角速度  $\dot{\varphi}' = r'$  および角加速度  $\ddot{\varphi}'$  の関数として舵を制御することになる。いま操舵手の命令舵角を  $\delta^*$  とすると、制御された舵角をつぎの形で表わすことができる。

$$\delta' = -\sigma_1 \dot{\gamma}' - \sigma_2 \gamma' + \sigma_3 \delta^{*'} \dots (2)$$

これを (1) 式の  $\delta'$  に代入して見ると、任意に選べる係数が 2 個 ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) であるのに、船によって変りうる係数は 6 個あることから、1 個の舵では完全に二つの船の操縦性を自動操縦により合致させることは不可能で、2 個の舵を要することがわかる。またその 2 個も同じ位置では  $Y_{\delta}'$  と  $N_{\delta}'$  の比が同じであるから任意係数が増えたことにはならないので、成るべく離れた方がいい。結局船尾舵と、船首舵またはバウスラスターとを組合せ、それぞれに (2) のような自動制御を掛ければよいことになる。

しかしながら実際的なことを考えると必ずしも A, B 両船が厳密に同じ操縦性を持つ必要はないので、例えば方位角変化に対する性質が合っていれば、drift の量は少々違って差支えないわけである。

そこで (1) 式より drifting angle  $\beta'$  を消去して (3) の形の方程式に直して考えることにする。

$$\ddot{\gamma}' + 2a_{1A} \dot{\gamma}' + a_{2A} \gamma' = c_{1A} \dot{\delta}' + (a_{4A} c_{1A} + a_{3A} c_{2A}) \delta' \dots (3)$$

ただし、

$$\begin{aligned} 2a_1 &= \frac{Y_{\beta}'}{m' + m_y'} - \frac{N_{\gamma}'}{I_z' + J_z'} \\ a_2 &= \frac{-Y_{\beta}' N_{\gamma}' - \{ (m' + m_x') - Y_{\gamma}' \} N_{\beta}'}{(m' + m_y')(I_z' + J_z')} \\ a_3 &= \frac{N_{\beta}'}{I_z' + J_z'}, \quad c_1 = \frac{N_{\delta}'}{I_z' + J_z'} \\ a_4 &= \frac{Y_{\beta}'}{m' + m_y'}, \quad c_2 = \frac{Y_{\delta}'}{m' + m_y'} \end{aligned}$$

かりに (3) 式は目標とする A 船に対するものであるとして諸係数に A なる Suffix をつける。B 船について舵角を (2) 式で表わすように制御するとし、諸係数を A 船と区別するために B なる Suffix をつけると、

$$\ddot{\gamma}' + 2a_{1B} \dot{\gamma}' + a_{2B} \gamma' = c_{1B} (-\sigma_1 \dot{\gamma}' - \sigma_2 \gamma' + \sigma_3 \delta^{*'}) + (a_{4B} c_{1B} + a_{3B} c_{2B}) (-\sigma_1 \dot{\gamma}' - \sigma_2 \gamma' + \sigma_3 \delta^{*'}) \dots (4)$$

(3) と (4) から条件を満たすべき  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  が求められる。

(3) 式を見ると船により変りうる係数が 4 個あるのに

対し、(4)式では任意に選べる係数が3個であから完全に条件は満たさないが、そのための誤差は調べて見ると小さいものであることがわかる。

### 2.3 数 値 例

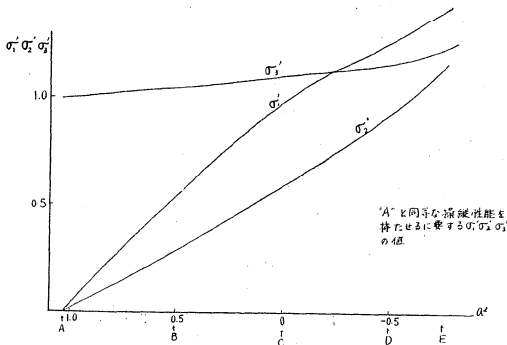
Series 60  $C_b=0.60$  の船型を規準船Aと考え方向安定性は一応満足すべきものであると考える。

A船の derivatives 中  $N_\beta$  を変化せしめて安定度はA船より低く、したかつて旋回性はA船より良好なB, C, D, E 船を仮想する。(これはA船の側面積中心を前にずらせたことに相当する)。

それぞれの船の安定指数  $a_2$  はつぎのごとくでD, E船は方向不安定船である。

A	$a_2=1.029$
B	0.5146
C	0
D	-0.5146
E	-0.7683

これらの船に適当な制御をかけてA船と同じ方向安定性を持たせるに必要な  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  の値を計算して見ると第16図のごとくなる。



第 16 図

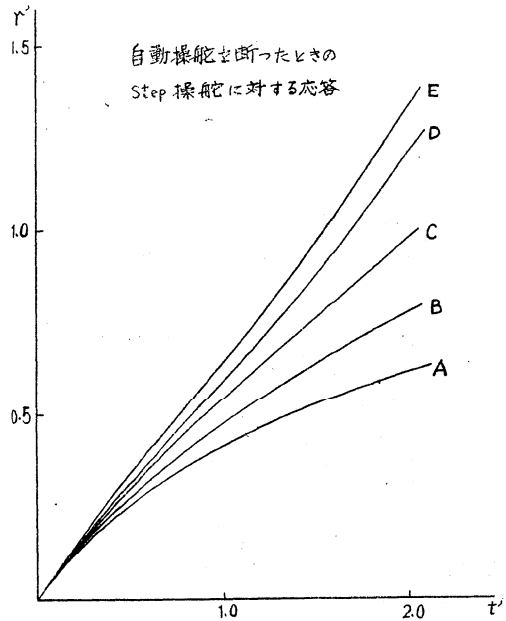
D, E は不安定船であるが、安定船 B, C に比べて制御量に特別な変化がないのは注目に値しよう。

このような制御によってどの程度各船がA船の操縦性に近づくかを見るために、段階的な操舵に対する各船の反応を調べて見る。

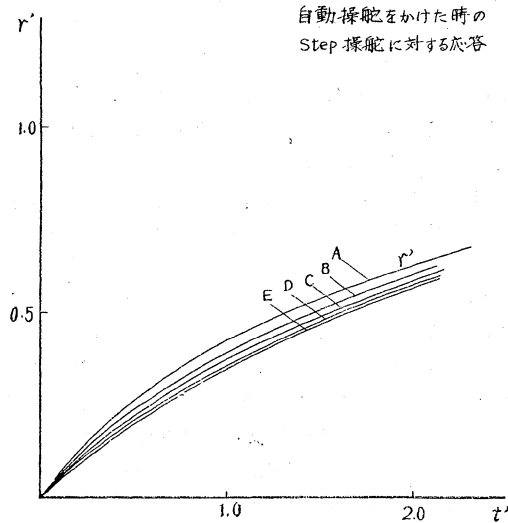
第17図は制御を掛けないときの各船の角速度変化で、当然最も安定なA船が一番旋回が遅い。

第18図は第16図のような量の制御をかけたときの各船の反応で、ほとんどA船に等しくなっていることがわかる。制御を解けば第16図の反応に戻ることはもちろんである。

またこのときの各船の実際舵角は第19図のごとくなり、安定度の悪い船程制御の量が大きく、また不安定船



第 17 図

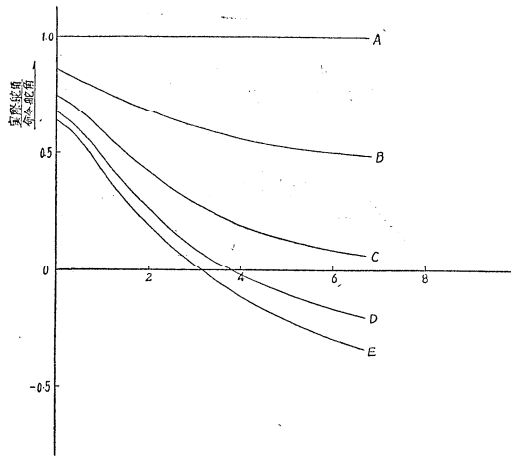


第 18 図

D, E では舵角が一時負になることがわかる。

以上の結果からある一つの船の操縦性を自動操縦により他の任意の船の舵の操縦性に略々等しくすることが可能なこと、したがってもともと旋回性のいい船を作り、自動操縦により旋回性を低下させ方向安定性を向上させた状態で使用し、急速に旋回する必要があるときだけ自動操縦を切って元来の良好な旋回性を利用することが可能であることがわかる。





第 19 図

もちろんこの自動操縦は人力操舵と重複してかけられ、操舵手は普通の安定性のいい船を操縦しているように感じるわけである。

#### 2.4 自動操縦の限界

以上のことから非常に旋回性のよい（したがって方向不安定な）船を作りそれに自動操縦をかけて方向安定性をよくすることが望ましいわけであるが、元の舵が無制限に不安定であってよいわけではなく、何か限界があるはずである。その限界は結局不安定度の強い船程安定にするために要する操舵角度が大きくなることから生ずる。

前に例に挙げた A, B, C, D, E 等の船がある普通にありうべき風圧や波等の外乱を受けながら航走することを考えよう。A 船は基準船であるから人力操舵以外舵は外乱によっては動かされないが、B, C……となるにしたがって、外乱による影響を A 船程度に喰い止めるための自動操縦により舵が取られる程度が増すわけである。

風速 20 kn の完全発達波の中を上記各船が波の主流と  $30^\circ$ （追波）および  $120^\circ$ （向波）で航走するときの平均操舵角を計算した例を見ると、 $30^\circ$  の時は C 船以下では平均操舵角が  $35^\circ$  以上に達し、 $120^\circ$  では D 船以下が  $35^\circ$  を越している。したがってこのままだと追波では B 船、向波では C 船位までしか実用にならないことになる。

ところが操舵の内容を調べて見ると、角加速度制御のための操舵角が波浪中では大部分を占めていることがわかる。そこで角加速度制御を切り、角速度制御を強めて、近似的に上記各船と同程度の安定度を得るようにしてみると、同じ条件で  $30^\circ$  のとき、E 船でさえ平均舵角  $12^\circ$  程度となる。角加速度制御はもともと任意の船の操縦性を他の操縦性にできるだけ近づけようとするために必要だったわけで、実際上はそれ程厳密に二つの船の操縦性が等しい必要はなく、安定性が同程度であればいいわけであるから、少なくとも波浪中は角加速度制御を省くことによって過度の操舵が避けられよう。