

(昭和 50 年 5 月日本造船学会春季講演会において講演)

## 操縦性指数の縮率影響の一推定法

—対舵力応答を考えた操縦運動の解析—

正員 湯 室 彰 規\*

A Simple Method to Presume Scale Effect of Steering Quality Indices  
—Analysis of Maneuvering Motion Based on Ship Response to Rudder Force—Akinori Yumuro, *Member*

## Summary

When discussing the performance of an actual ship based on the model experiment for maneuverability, the model-ship correlation is basically significant. Many correlative studies show that the steering quality indices obtained from Z-maneuver tests of actual ships considerably differ from those of model ships.

This paper introduces a new procedure to analyze maneuvering motions. In this new procedure, the response behaviour of a ship to rudder force is examined instead of the response to steering rudder angle in the conventional method. On the assumption that the discrepancy relates largely to the difference in rudder effectiveness, the author have suggested a new method to predict the scale effect of the steering quality indices through the procedure above-mentioned. This method will allow us to predict the indices of an actual ship by measuring rudder force during Z-maneuver test of the model ship.

The steering quality indices of a full size ship and the 30 meter long large size model ship were predicted based on the results of the test conducted for the model ship at the Experimental Tank by this method. As the result, the values predicted by this method are fairly in agreement with those measured for the large size model and the actual ship. This fact reveals that the suggested method will be reasonable.

## 1 緒 言

操縦性模型試験の結果から実船の性能を推定するに当って、両者の相関の問題は、実用上基本的に重要である。これまでの多くの試験結果が示しているように<sup>1)</sup>、実船と模型船の Z 試験から得られた操縦性指数にはかなり大きな差が存在する。現在まで Z 試験は基本的な試験の一つとして実船においても広く実施され、操縦性指数  $K$ ,  $T$  の形で多数のデータが集積されているが、これらの実船のデータを模型試験の結果と対照し、船型間の操縦性能の比較検討にさらに有効に活用するためにも、操縦性指数に及ぼす縮率影響の実用的な推定法が強く望まれるところである。

従来とられてきた縮率影響による不一致を補正する方法として、たとえば空中プロペラの方法<sup>2)</sup>、舵面積を補正することによって舵効果を等価にする方法<sup>1,3)</sup>などがあげられ、いずれも有効な方法と考えられるが、これらの方法をいわゆる定型的な試験に採用するに当ってはいくつかの問題があるようである。たとえば、前者の方法では特別な装置を必要とするの他に実験方法としても必ずしも確立されたものではなく、実験技術上においても若干の問題点があるとされている<sup>4)</sup>。また後者の方法に関しては、これまでの模型試験のほとんどが実船の相似舵で実施されていることを考えると、従来のデータとの比較という面からは相似舵による試験が最も基本的

\* 石川島播磨重工業(株)技術研究所

なものと考えることができるであろう。

本稿は、このような事情から、上述の方法とは異なった考え方より操縦性指数のこの不一致を補正する一つの簡単な実用的方法を示したものである。すなわち、まず自航模型試験において従来の操舵舵角に対する船の応答を考える代りに、実際に舵に作用する舵力に対する応答を考えるという新しい操縦性試験の解析法を示し、つぎにこの方法を用いることにより、実船相似舵を装備した模型船のZ試験時に舵力の測定を行なっておけば、この模型船の操縦性指数から実船のそれをある程度推定することのできる一つの方法を示した。この方法の有効性を確認する過程において、長さ30mの大型相似模型船の試験結果<sup>5)</sup>を使用している。なお、本稿では肥大船型の追従性能をさしあたり対象としていることから、例として操縦性指数  $T$  の結果について述べているが、 $K$  についても全く同様の取扱いができる。

## 2 舵力に対する船の応答の解析の考え方

従来、船の操縦性試験の解析においては、操舵舵角に対する船の応答という形で行なわれており、たとえばZ試験から求められている操縦性指数  $K$ ,  $T$  も舵角(入力)に対する応答(出力)の特性を示すものである。しかし、船の操縦運動は操舵舵角そのものによって惹起されるものではなく、操舵によって生ずる舵力が原動力となって誘発されるものであるから、舵角に対する応答を直接に論ずる他に、その中間に舵力を介在させて舵力に対する応答を考え合わせるにより、操縦運動の応答機構をより明確に把握することができるであろう。

自由航走模型試験の結果を、後者のこのような方法で解析すれば、船の運動によって舵に作用する力の影響を含まない船体自身の外力に対する応答特性を知ることができ、これはいわば拘束模型船によってプロペラ、舵のつかない船体だけの場合の特性を求めることに近似的に対応する。

このように船体自身の特性を分離して考えることにより、模型船間の操縦性能の比較を行なう場合にさらに分析的な取扱いが可能となり、またいわゆる異常安定現象の原因の説明に何らかの手掛りを与えるかも知れない。また、従来言われているように、操縦性の縮率影響の原因の大部分がプロペラ後流の強さの差による舵の有効度の差にあるということを仮定するならば、船体自身の特性を基にして舵効果に縮率影響を考慮することにより、操縦性指数の不一致をある程度補正できるものと想像される。以下に、このような考えに基づくZ試験の解析結果の例および操縦性指数の縮率影響の推定について述べる。

## 3 Z試験の解析例

### 3.1 対舵力応答の操縦性指数の定義

舵角に対する応答の場合の一次系近似に準じて、回転と横流れとの連成運動を単一の回転運動でおきかえ、そのときの等価慣性モーメント、等価旋回抵抗モーメントの係数、および舵力によるモーメントをそれぞれ  $I$ ,  $R$ , および  $M$  と表わし、運動方程式を

$$I \frac{d\dot{\psi}}{dt} + R\dot{\psi} = M + M_0 \quad (1)$$

で近似する<sup>6)</sup>。ここに  $M_0$  は舵角に対する応答の場合と同様に直進するための補正項とする。この式の  $I$ ,  $R$  および  $M_0$  を求める計算は最小自乗法によることとし、舵角に対する応答の場合と同様に次の方法による<sup>4)</sup>。

(1)式を一般に  $t=t_a$  から  $t_b$  まで積分して

$$I\{\dot{\psi}(t_b) - \dot{\psi}(t_a)\} + R\{\psi(t_b) - \psi(t_a)\} = \int_{t_a}^{t_b} M(t) dt + M_0(t_b - t_a) \quad (2)$$

ここで

$$\begin{aligned} a_i &= \dot{\psi}(t_i) - \dot{\psi}(t_s), & b_i &= \psi(t_i) - \psi(t_s) \\ \tau_i &= t_s - t_i, & m_i &= \int_{t_s}^{t_i} M(t) dt \end{aligned}$$

とおくと、次の連立方程式が得られる<sup>4)</sup>。

$$\begin{bmatrix} \sum a_i^2 & \sum b_i a_i & \sum \tau_i a_i \\ \sum \tau_i b_i & \sum b_i^2 & \sum \tau_i b_i \\ \sum a_i \tau_i & \sum b_i \tau_i & \sum \tau_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ R \\ M_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum m_i a_i \\ \sum m_i b_i \\ \sum m_i \tau_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここに  $t_i = t_s + i\Delta t$  で、 $\sum$  は  $\sum_{i=0}^n$  を表わすものとする。このようにして得られた  $I$ ,  $R$  を用いて、操縦性指数  $T$

に対応するものとして

$$T_m = I/R, \quad T_m' = T_m \times V/L \quad (4)$$

を新たに定義する。同様に操縦性指数  $K$  に対応するものとして、たとえば

$$K_m = \frac{d\psi}{dt} / M = \frac{1}{R}, \quad K_m' = \frac{1}{2} \rho V A L^2 K_m \quad (5)$$

を定義することもできる。ここに  $A$  は船体の水中側面積を示す。

操舵によって船に働く力は舵に働く力のみならず船体にも比較的大きな力が誘起されることが知られているが、本稿では極く近似的な取扱いを行なっている関係上、舵に働く力による船の重心まわりのモーメントに対する船の応答を考えることにする。また、近似的にこのモーメントを舵の直圧力  $N$  を用いて

$$M = N \cos \delta \cdot l \quad (l: A. P. \text{ と船の重心との距離})$$

より計算するものとする。

### 3.2 模型船および実験要領

ここには2隻の模型船の結果を示している。模型船の要目を第1表に示す。実験は計測器および記録器を船内に搭載したいわゆる完全自由航走の状態で行なっている。舵力（直圧力）の計測においては第1図に示すようなフレーム形式の検力素子を使用した。都合により比較的小さい模型船で実験を行なった関係上、舵力測定のための動歪計も極めて小型のもの（新興通信製 DS-6005 型）を使用した。第2図に示すような校正曲線からみてこのような検力素子および動歪計によっても十分な精度で舵力の計測が行なえるものと考えられる。荷重の作用点の上下位置の影響については、校正時の荷重作用位置が舵のほぼ全面に亘ってもこれによる差は問題にならない程度の大きさであることを確認している<sup>7)</sup>。

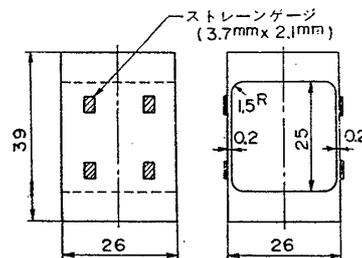
### 3.3 解析結果の例

まずZ試験の記録例を第3図に示す。(2)式の  $M(t)$  の積分の計算は、直圧力  $N$  を同図に示すように折線で近似して行なっている。上述したような方法より求めたこれらの模型船の等価慣性モーメント、等価旋回抵抗の係

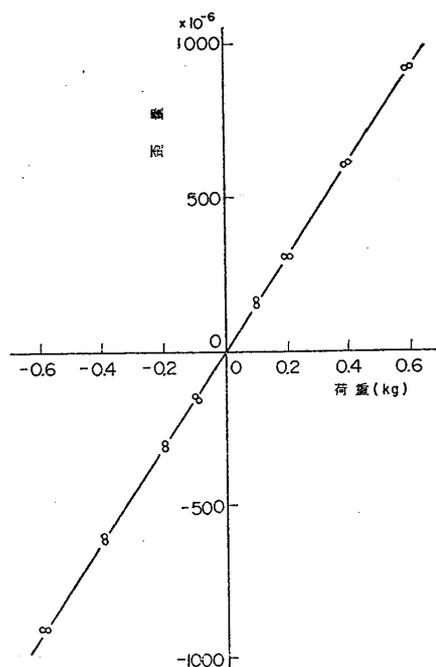
第1表 模型船の要目

	模型船 A	模型船 B
$L_{pp}$ (m)	2.250	2.500
$B$ (m)	0.375	0.500
$d$ (m)	0.143	0.166
$C_b$	0.83	0.80
舵の高さ (m)	0.0840	0.1066 (0.1066)
舵の幅 (m)	0.0623	0.0787 (0.0425)
舵面積比, $A_r/L_{pp} \cdot d$	1/61.3	1/49.5 (1/91.6)
$h'/h$	0.746	0.661
プロペラの直径 (m)	0.0627	0.0704
ピッチ比	0.72	0.67
翼数	5	5
慣動半径, $\kappa/L_{pp}$	0.251	0.233
試験船速, $F_N$	0.15	0.14

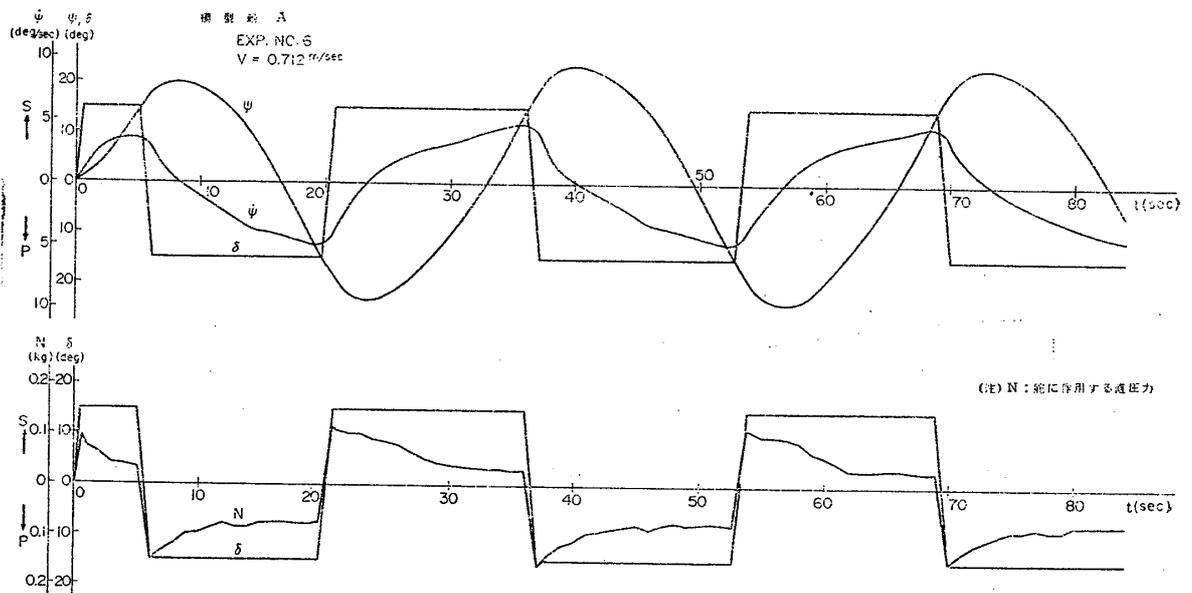
- (注) 1. 模型船 B には舵が2種類あり、それぞれを舵 No.1, No.2 と呼称する。( ) 中の数値は舵 No.2 に対するものを示す。  
 2.  $h$  は舵の高さ、 $h'$  はプロペラ後流の当たっている部分の高さ（プロペラ直径分とする）を示す。



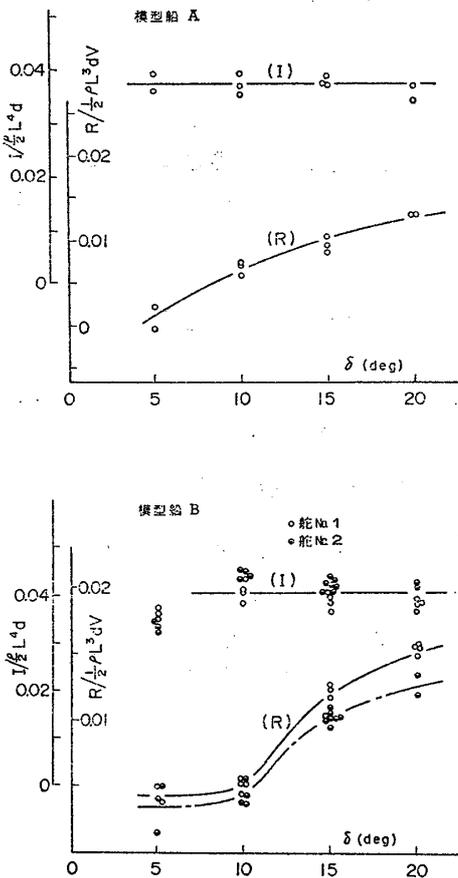
第1図 舵力検出素子



第2図 舵力検出装置の校正曲線



第3図 Z 試験の記録例

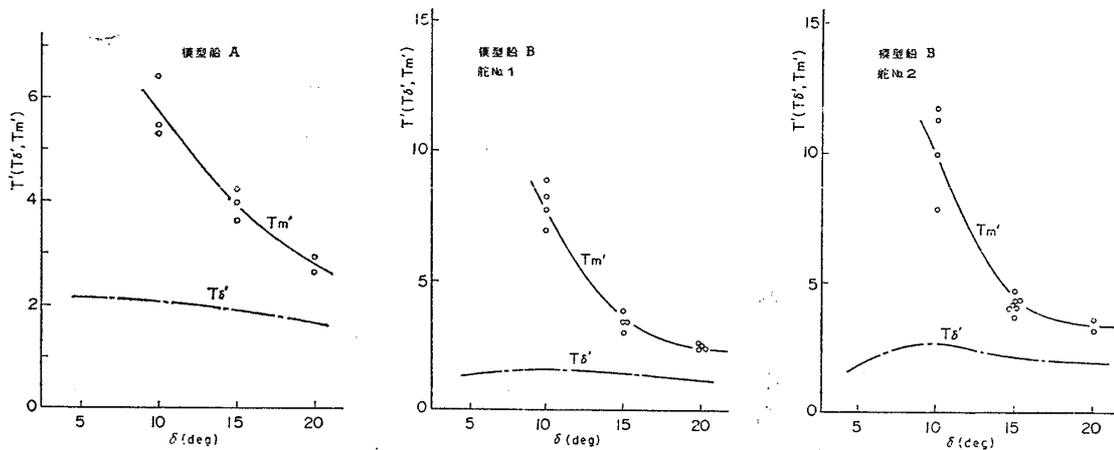


第4図 等価慣性モーメントおよび等価旋回抵抗係数

数の値を第4図に示す。これらの結果によると、等価旋回抵抗の係数は運動が強くなるにつれて大きくなってかなり大きな非線型変化を示しており、一応もってもらしい結果を示している。両船型とも5°程度の微弱な運動のところでは、等価旋回抵抗の係数はほとんど0に近いかあるいは極めて小さな値となっているが、変化の傾向は第4図に示すように幾分異なっているようである。また等価慣性モーメントについて、A船型では運動の強さに無関係にほぼ一定であるのに対しB船型では5°Zのところでは少し変化している。これらの結果と両船型の操縦性指数  $T'$  の変化の様子の差 (異常安定現象の有無)<sup>8)</sup> および  $r'-\delta$  特性の差 (A船型は幅3°程度の不安定ループを有し、B船型は原点付近で小さな傾斜をもつ、いわゆる Super Stable の形状を呈する<sup>8)</sup>) には密接な関係があるものと推測されるが、詳細な検討を行なうにはさらに多くの実験例を必要とする。

これらの等価慣性モーメント、等価旋回抵抗係数から(4)式の  $T_m'$  を求めた結果を示したのが第5図である。同図には通常の操縦性指数  $T'$  も併記しており<sup>8)</sup>、区別を明確にするために後者の指数に  $T_s'$  の記号を用いている。さきに述べたように  $\delta=5^\circ$  では  $R$  が0に近い値になるために  $T_m'$  が大きな値を示すことや信頼度を考慮して、第5図では  $\delta=10^\circ$  以上の  $T_m'$  の値を示している。 $T_m'$  は舵力に対する船の追従性能を示す指数で

あるが、このような意味の指数は通常の操縦性指数  $T'$  に比べて、運動の強さに対する非線型変化が極めて大きいことが分かる。このことから、元来船体自身の追従性能の運動の強さに対する非線型変化は極めて大きいものであるが、舵の効果によってこの変化がかなり緩和されて通常見られる程度の操縦性指数の変化となって現われていると考えることができる。第4図によると、本稿に示す程度に舵面積比が変化すると  $I$  にはほとんど差は現われないが、 $R$  にはかなり明瞭に差が現われるようである。このために  $T_m'$  にも第5図に示す程度の舵面積比



第5図  $T_{m'}$  と  $T_{\delta'}$  との比較

の影響が現われることになる。

なお、第4図、第5図の表示の横軸には後述するように操縦性指数の尺度影響の問題の関連から回頭角速度の平均値  $r_{m'}$  をとらずに便宜上 Z試験の操舵舵角をそのまま用いている。また、 $R$  や  $T_m$  などの無次元化には直進時の船速を用いている。

#### 4 操縦性指数の縮率影響

操縦性の縮率影響のほとんどが舵の効果の差に起因するという仮定を前提として、さきに求めた舵力に対する船の応答特性を用いることにより模型船のZ試験の結果から大型模型船、実船の操縦性指数を推定することを試みる。

##### 4.1 操縦性指数に及ぼす舵効果の推定

一つの近似的な取扱いとして、(1)式の右辺の旋回モーメントの項  $M$  を、有効舵角を用いて次のように表わすことができるものとする。

$$M = \frac{1}{2} \rho \{ V_w^2 (S_1 + S_3) + V_r^2 S_2 \} C_{\delta} \left\{ \delta - C \left( \beta + \frac{l \dot{\psi}}{V} \right) \right\} \cos \delta \cdot l \quad (6)$$

ただし  $V_w$ : 伴流の速さ  $l$ : A.P. と船の重心との距離  
 $V_r$ : 舵に入るプロペラ後流の速さ  $S_1 + S_3 = A_r \times \frac{h-h'}{h}$ ,  $S_2 = A_r \times \frac{h'}{h}$   
 $C_{\delta}$ : 舵の直圧力係数勾配  
 $C$ : 整流係数

ここで横流れ角  $\beta$  と回頭角速度  $\dot{\psi}$  との間に比例関係  $\beta = k \dot{\psi}$  を仮定し、近似的に  $\cos \delta \approx 1$  と見做し得るとすると  $M$  は次のように書ける。

$$M = M_{\delta} \cdot \delta - R' \dot{\psi} \quad (7)$$

ここで

$$M_{\delta} = \frac{1}{2} \rho \{ V_w^2 (S_1 + S_3) + V_r^2 S_2 \} C_{\delta} l$$

$$R' = \frac{1}{2} \rho \{ V_w^2 (S_1 + S_3) + V_r^2 S_2 \} C_{\delta} C \left( k + \frac{l}{V} \right) l$$

(6)式のように回頭運動と横流れ運動の連成方程式から回頭の単一微分方程式に直した後に  $\beta$  を導入する点は極めて近似的ではあるが、方程式の面からみれば、たとえば非線型微分方程式の近似解法としてしばしば用いられる、方程式内の同一の変数の一部だけを一時定数と見做してこの変数を消去する方法<sup>9,10)</sup> に相当するものと考えることができる。

(7)式の表示を用いると(1)式は

$$I \frac{d\dot{\psi}}{dt} + (R+R')\dot{\psi} = M_{\delta} \cdot \delta \quad (8)$$

と変形できるから、舵の効果を含んだ場合の操縦性指数は

$$\left. \begin{aligned} T &= I / (R+R') \\ K &= M_{\delta} / (R+R') \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

で表わせる。この式から、船の運動によって生ずる舵効果を含まない  $I, R$  の値を求めておけば、 $R'$  に縮率影響を考慮することによって一般に大きさの異なる船の操縦性指数を推定することができる。

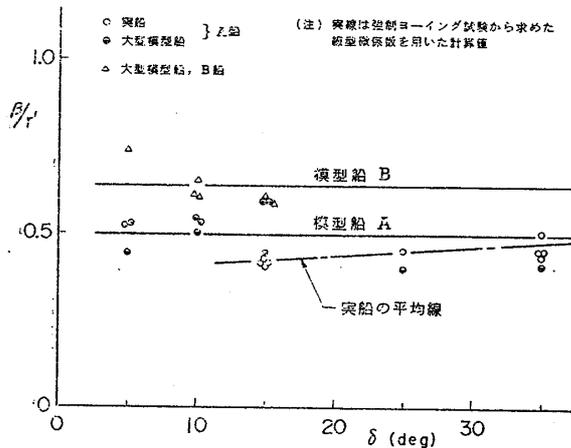
4.2 操縦性指数の推定値と実測値との比較

まず、(9)式から操縦性指数を推定するに当って実際に用いた(7)式中の諸量の算定方法について述べる。

(7)式中の  $V$  は Z 試験時の平均船速とし、別に用意された Z 試験時の船速低下率の結果 (この値は模型船と実船でほとんど変わらない<sup>8)</sup>) を直進時船速に掛けたものを用いる。  $V_w$  はこれに  $1-w$  を掛けたものとする。  $V_r$  はこの  $V_w$  を基に文献 11) の方法より求めたものを用いる。ここで伴流係数  $w$  は、実船および大型模型船については実測値 (試運転解析結果) を、小型模型船\*の場合は抵抗推進関係の試験の行なわれた 7m 模型船の自航要素の結果と文献 12) の関係式

$$w = w_f + w_p \doteq w_f + t \quad (10)$$

を用い、模型船間の  $w_f$  の比が近似的に摩擦抵抗係数 (シェーンヘルの式) の比に等しいと仮定して求めた値を使用する。文献 13) の相似模型船の伴流係数をこの方法で推定した結果は実測値に比較的近く、ここで求めた値も実際値から極端にかけ離れたものとは考えられない。また、 $V_r$  の計算に必要なプロペラ回転数はそれぞれの実測値を、 $C_{\delta}$  は文献 14) の式を用いる。  $\beta$  と  $r' (= \dot{\psi}L/V)$  との比は近似的に第 6 図に示す定常旋回時の実船の実測値、あるいは微係数の実測値からの計算値で代用する。計算に使用した数値の一部を第 2 表に示す。



第 6 図 定常旋回時の  $\beta$  と  $r'$  との比

第 2 表 舵力の計算に用いた数値

		$1-w$	プロペラ 回転数 (rpm)	プロペラ 直 径 (m)
船型 A	小型模型船 ( $L_{pp}=2.25\text{m}$ )	0.36	1530	0.0627
	大型模型船 ( $L_{pp}=30\text{m}$ )	0.52	335	0.836
	実 船 ( $L_{pp}=300\text{m}$ )	0.58	88	8.36
船型 B	小型模型船 ( $L_{pp}=2.5\text{m}$ )	0.27	1330	0.0704
	大型模型船 ( $L_{pp}=30\text{m}$ )	0.48	325	0.845

整流係数については、これ自体に尺度影響があり<sup>7)</sup> 定量的には今後の研究にまつところが多いが、本稿では一応小型模型船の定常旋回時の舵の直圧力から次のような方法より求めた結果を用いた。さきと同様の近似を用いて定常旋回時の舵に作用する直圧力が次の式により計算されるものとする。

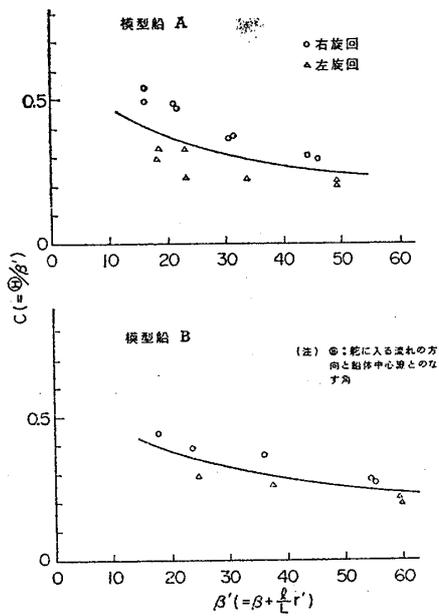
$$N = \frac{1}{2} \rho \{ V_{wt}^2 (S_1 + S_3) + V_r^2 S_2 \} C_{\delta} \left\{ \delta - C \left( \beta + \frac{l\dot{\psi}}{V} \right) \right\} \quad (11)$$

これから整流係数は

$$C = \left( \delta - \frac{N}{1/2 \rho \{ V_{wt}^2 (S_1 + S_3) + V_r^2 S_2 \} C_{\delta}} \right) / \left( \beta + \frac{l\dot{\psi}}{V} \right) \quad (12)$$

の形で求められる。(12)式中の  $V_{wt}$  は旋回時の舵位置の伴流の速さを示し、斜航時の舵への流入速度の実験結果<sup>7)</sup> を近似的に適用してさきの  $V_w$  を若干修正したものを使用している。その他の諸量は旋回モーメントの推定の場合と同じ方法で求めている。このような要領で求めた整流係数を第 7 図に示す。この図の横軸は  $\delta=10^{\circ}$  ~  $35^{\circ}$  の旋回試験に対応している。

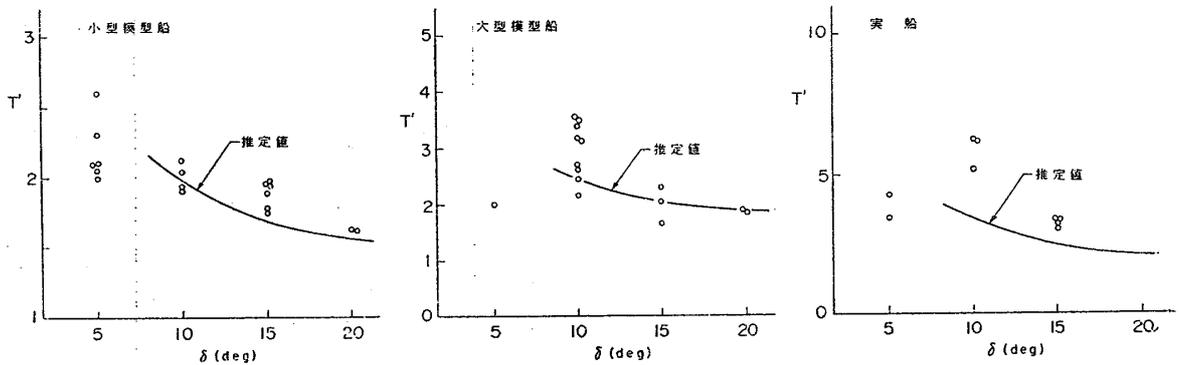
\* 以後、大型模型船と区別するために水槽試験の模型船を小型模型船とも呼ぶ。



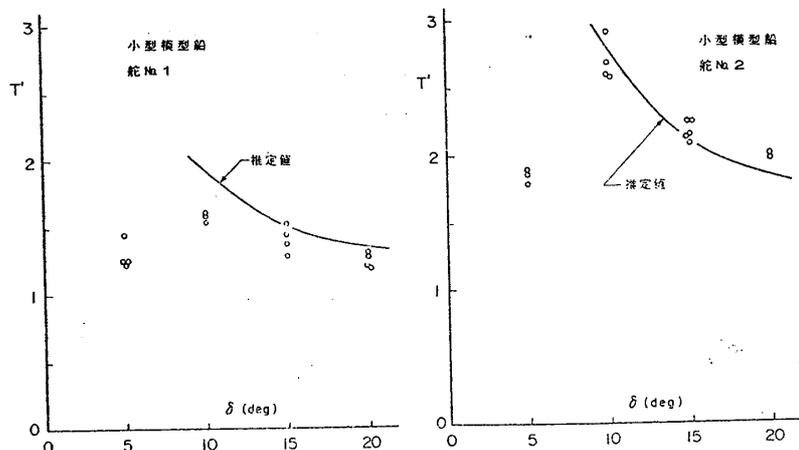
第 7 図 計算に用いた整流係数

さきに著者は運動の比較的緩やかな部分の整流係数を拘束模型船を用いて求め、この値は運動が緩やかになるにつれて増加して運動の極く小さいところでは大略 1 に近いことを指摘したが<sup>7,15)</sup>、この結果からも第 7 図の整流係数は  $\delta$  の小さい部分で急激に大きくなるものと考えられる。このことを考慮すれば、第 8 図の推定曲線の左

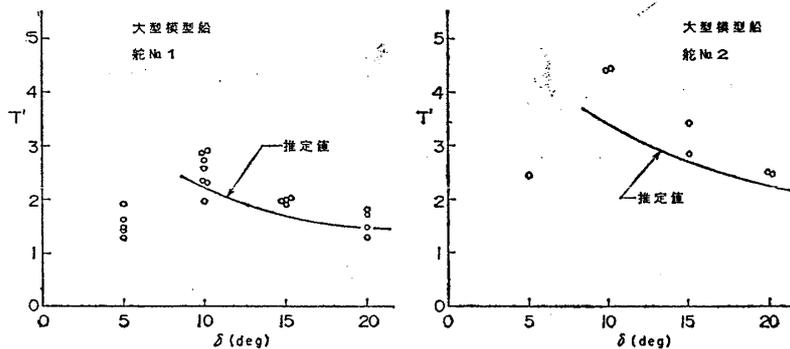
以上の諸数値を用いて、さきに求めた等価慣性モーメント、等価旋回抵抗の結果から小型、大型の各模型船および実船の操縦性指数  $T'$  を(9)式より求め、実測値と比較したのが、第 8-a 図～第 8-c 図である。このようにして求めた小型模型船の結果は舵の効果を含んだ場合の特性をかなりよく再現している。また、船の大きさが順次変化した場合および舵の種類が異なった場合についても、これらの推定値は実測値に比較的近い値を示している。ここに示した実船実測値は同型船の結果の一部であり、実船データには同型船でもかなり大きなばらつきがあることを付記しておく。この結果から、ここで述べた方法としてある程度有効なものであることが想像される。なお運動の小さいところについては、整流係数が求められていないこと、また異常安定現象の問題とも関連することから、ここでは一応  $10^\circ Z$  以上の範囲を対象とすることにしてこの部分の結果を示している。



第 8-a 図 操縦性指数  $T'$  の推定値と実測値との比較 (船型 A)



第 8-b 図 操縦性指数  $T'$  の推定値と実測値との比較 (船型 B)

第 8-c 図 操縦性指数  $T'$  の推定値と実測値との比較 (船型 B)

上りの傾向は運動の緩やかなところでかなり緩和される方向にいく<sup>7)</sup>。

なお、第 8 図の横軸には通常の  $r_m'$  を用いずに操舵舵角を用いているが、これは  $r_m'$  の段階で縮率影響があり、実用的には舵角を横軸にした方が考え易いことを考慮したためである。

## 5 結 言

本稿は、実用的な観点から、Z 試験から得られる操縦性指数の縮率影響を推定する従来のものとは異なる一つの簡便法を示したものである。すなわち、模型試験において従来の操舵舵角に対するものではなく、実際に舵に作用する力に対する船の応答特性を求め、この結果をもとにして舵効果に縮率影響を考慮することにより、操縦性指数の不一致をある程度補正できる一つの方法を示した。今後、さらに多くの例についてこの方法の有効性を確認する必要があるが、また最終的には実用的な意味での修正係数を必要とするであろうが、この値はかなり 1 に近いものであることが期待できる。

終わりに、日頃ご指導をいただいている IHI 技術研究所の神中竜雄部長に心から謝意を表します。また、ご援助をいただいた田崎 亮部長、梶田悦司主任研究員、五十嵐雅行氏、ならびに実験結果の引用に対し大型模型船の試験に関係された各位に厚くお礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) たとえば、川野浩一 他：操縦性試験における実船模型船の相関実例，造船協会論文集，第 113 号，(昭 38. 6)。
- 2) 藤井 斉：自航模型による舵特性の研究 (1)，造船協会論文集，第 107 号，(昭 35. 7)。
- 3) 藤井 斉：船の操縦性能に関する相似則，三菱重工技報，第 4 卷，第 2 号，(昭 42)。
- 4) 藤井 斉 他：操縦性試験法，第 2 回操縦性シンポジウムテキスト，日本造船学会，(昭 45. 11)。
- 5) 梶田悦司 他：超肥船型の操縦性に関する研究 (尺度影響と実用化の確認)，昭和 50 年 5 月日本造船学会春季講演。
- 6) 野本謙作：船の操縦性，第 1 回操縦性シンポジウム・テキスト，造船協会，(昭 39. 6)。
- 7) 湯室彰規：斜航する船体の舵位置における流向に関する実験的研究，石川島播磨技報，第 14 卷，第 4 号，(昭 49. 7)。
- 8) 湯室彰規：幅広大型タンカー船型の操縦性に関する研究 (1)，石川島播磨技報，第 15 卷，第 2 号，(昭 50. 3)。
- 9) 山上順雄：船の操縦運動について，日本造船学会論文集，第 126 号，(昭 44. 12)。
- 10) D. Clarke: A New Non-Linear Equation for Ship Manoeuvring, ISP, Vol. 18, No. 201, (1971)。
- 11) 神中龍雄 他：高速船型の旋回に関する二、三の問題，造船協会論文集，第 111 号，(昭 37. 6)。
- 12) 笹島秀雄 他：肥大船の伴流分布，造船協会論文集，第 120 号，(昭 41. 12)。
- 13) 谷口 中：Study on Scale Effect of Propulsive Performance by Use of Geosims of a Tanker, 造船協会論文集，第 120 号，(昭 41. 12)。
- 14) 藤井 斉 他：自航模型による舵特性の研究 (2)，造船協会論文集，第 110 号，(昭 36. 12)。
- 15) 湯室彰規：A Model Experiment on Incoming-Flow Direction to the Rudder of a Ship Sailing Obliquely, 14th I. T. T. C. Written Contribution, (1975)。