

練習船耕洋丸(2,000 GT型)の操縦性能について— I ^{*1}

旋回試験による操縦性指数 T , K と新針路距離

本村紘治郎・実藤 了・高島末夫・浜口正人
片岡昭吉・乾 栄一^{*2}・長友洪太・田淵清春

On the Maneuverability of Training Ship
“KOYO-MARU” (2,000 GT size)— I
Maneuverability Indices T , K and Distance to
the New Course by a Series of Turning Tests

Kōjirō Motomura, Satoru Sanetō, Sueo Takashima,
Masato Hamaguchi, Akiyoshi Kataoka, Eiichi Inui^{*2},
Kōta Nagatomo, and Kiyoharu Tabuchi

For the purpose of clarifying the maneuverability of training ship “KOYO-MARU”, a series of full scale turning tests was carried out. And the following results were obtained.

- (1) When the rudder angle is 35° , the speed in steady turning motion decreases to 55 % of the speed in straight advancing. Both of right and left turning have almost the same value of reduction in each rudder angle.
- (2) Little differences are found out between right and left motion. Right and left turning have almost the same ability.
- (3) The approximate values of R are obtained by the following equation, when δ is about 15° or over.

$$R = 4300 / \delta$$

where R : steady turning radius (m)

δ : rudder angle (deg.)

- (4) The materials with the recent truck recoder are useful, when maneuverability is examined.
- (5) The values of maneuverability index K differ at any rudder angle. But those of index T are almost the same, when the rudder angle is about 20° or over.
- (6) The type of both T' and K' are concave.

*1 水産大学校研究業績 第1154号, 1988年1月13日受理.

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No. 1154. Received Jan., 13, 1988.

*2 西海区水産研究所

Seikai Regional Fisheries Research Laboratory

- (7) When the turning circles in case of a large rudder angle are calculated, using T and K , it is necessary to pay special attention to the speed which is to be substituted to the calculation.
- (8) It is very available for coastal navigation to get the distance to the new course from the results of turning tests.
- (9) A nomogram of α in relation to ϕ , δ , D_{nc} and D_{ist} was obtained.
 where $90-\alpha$: angle on bow of the abeam-scheduled mark to alter course, on the position some distance (the distance to the new course) short of the course-altering point on chart (deg.)
 ϕ : altering course angle (deg.)
 δ : rudder angle (deg.)
 D_{nc} : distance to the new course (m)
 D_{ist} : distance from the course-altering point on chart to abeam-scheduled mark (miles)

1. まえがき

新造船の建造直後、あるいは就航船舶の改造後等に行われる海上公試運転の中に、旋回試験がある。この旋回試験では、直進状態から舵を左右各舷一杯に転舵して行う方法がその主流を占めている。

しかし、この方法では突発的、急迫的危険時の回避能力を知ることはできるものの、通常の操船、すなわち任意の舵角における船舶の操縦性能を把握するには十分でない。したがって、一般航行中、また、港内および狭水域航行中、あるいは海洋観測、漁労等各種の作業中に、操船者は経験的に総合的操縦性能をもって操船判断の目安とすることが多い。

言うまでもなく船舶の操縦性に関しては、古くからは旋回試験が、また、大型タンカーの建造が盛んであったころは、模型船および実船を用いた旋回試験に加えて、Z試験、スパイラル試験、逆スパイラル試験等各種の操縦性試験が行われ、数多くの研究成果が発表されている¹⁻¹⁶⁾。しかし、船舶の操縦性能は船型、トリム、舵面積、その他種々の要因によって異なり、操船者に最も的確な判断資料を与えるものは当該船舶を用いた実船実験の結果であろう。

著者らは今回 2,000 GT クラスの漁業練習船を用いて、自船の操縦性能を把握する目的で旋回試験を行ったので、その結果を報告する。

2. 供試船および実験方法

供試船は本校練習船耕洋丸 (1,990.17 GT スタント

ロール型)で、主要目および実験時の状態を Table 1 に、線図を Fig. 1 にそれぞれ示す。

実験は日本海の浜田市北西 20 海里沖の水深十分な水域で行われた。実験当日 (1979年 8月 24日 09:00~16:00) の天候は晴、風向は東南東~南南東~西と変化した。風速は常時 2.0~2.5 m/sec で、海面にはうねりがなく、海況 1 (波高約 10 cm 以下) の状態であった。

本実験では任意舵角の操縦性を知るため、舵角を各舷 2°, 4°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35° と計画して実施した。また、直進中の速度はほぼ 11 kt であった。

旋回軌跡を得るため、船首方位および速度をジャイロコンパス (東京計器 TG-100) および電磁ログ (北辰 EML-12) の指示から、5 秒毎に同時に読み取り記録した。また、転舵と同時に航跡自画器 (北辰 TR-102A) を作動させ、転心の旋回軌跡を作図した。これらの計測は操舵開始時点を原点とし、回頭角が 400° にわたるまで続けられた。

実船実験の場合は、当時の外力の大小、測定時に介入する種々の誤差および転心位置の仮定等が旋回軌跡に影響を及ぼすが、今回これらの影響は小さく、無視できる範囲であった。

3. 結果および考察

船首方位から求めた回頭角 (θ) と速度 (V) を用いて、次式により積分計算を行うと、操舵開始時点を原点とした転心の座標 X , Y は簡単に求められる。この転心の座標から重心の軌跡を作図し、以後の検討に用いた。なお、転心

Table 1. Principal dimensions and conditions

Item		Experiment Condition	Light Condition	Designed Load Condition
<i>Loa</i>	(m)	81.40		
<i>Lpp</i>	(m)	72.20		
<i>B</i>	(m)	13.00		
<i>D</i>	(m)	8.40		
<i>df</i>	(m)	5.05	3.55	5.70
<i>da</i>	(m)	6.07	5.45	5.70
Trim	(m)	1.02(1.41%) aft	1.90(2.63%) aft	0
<i>W</i>	(t)	2,890.0	2,048.2	3,000.0
<i>Cb</i>		0.562	0.496	0.568
<i>Cp</i>		0.653	0.602	0.660
Rudder area ratio		1/44.1	1/35.7	1/45.2

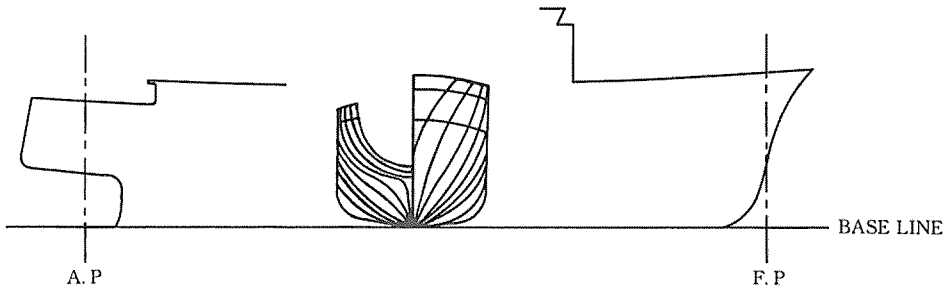


Fig. 1. Body plan and contours of stem and stern of the ship.

と重心の距離を $0.4 L_{pp}$ と仮定した^{7, 8)}。

$$X = \int_0^t V(t) \cdot \sin \theta(t) \cdot dt \dots\dots\dots(1)$$

$$Y = \int_0^t V(t) \cdot \cos \theta(t) \cdot dt \dots\dots\dots(2)$$

θ : 回頭角 (deg)

V : 速度 (m/sec)

3.1 旋回中の速度低下, 旋回軌跡及び旋回力

船の操縦性に関する旋回試験の結果については、数多くの報告が見られる¹⁻¹⁰⁾。ここでは操船に必要な旋回中の

諸現象を知るため、速度の低下、縦距、横距、旋回径および定常旋回半径等について検討した。

直進中の速度 (V_a) に対する定常旋回中の速度 (V_t) の低下率 (V_t/V_a) と舵角 (δ) の関係を Fig. 2 に示す。定常旋回中の速度は舵角の増加とともに低下するが、供試船では舵角 35° の場合、直進中の速度の 55% まで低下した。また、左右いずれの旋回も低下率はほぼ同様であった。したがって、供試船の定常旋回中の速度は、直進中の速度および舵角が同じであれば、旋回方向にかかわらずほぼ等しいものと思われる。

各舵角における縦距 (A_d), 横距 (T_r) および旋回径 (T_d)

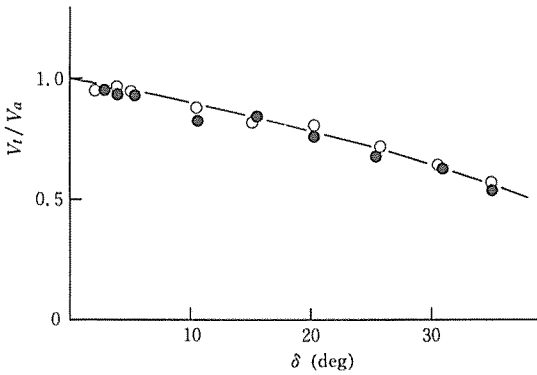


Fig. 2. Speed reduction ratio during steady turning.
 Note V_a : Ship's speed during sailing along straight course (m/sec)
 V_t : Ship's speed during turning (m/sec)
 δ : Rudder angle (degrees)
 ●: Starboard-side turning
 ○: Port-side turning

と船長(L_{pp})の関係を Fig. 3 に示す。一般に、右旋単暗車船では右旋回よりも左旋回の方が優れていると言われている^{9, 10, 11)}が、実船実験の結果では右旋回の方が優れているという報告^{12, 13, 14)}もあり、一概に言えないようである。今回の供試船の場合は、旋回方向の違いによるこれらの値の差は小さく、左右ほぼ同程度の旋回性能を持つものと思われる。また、図には示されていないが、定常旋回半径(R)も同じ傾向を示した。

定常旋回中の無次元旋回角速度(L/R)と舵角(δ)との関係を Fig. 4 に示す。同図では原点付近に非線型の傾向が見られるが、不安定ループは見られず、操船上の問題は特にないと考えられる。

操縦性に影響を及ぼす要素のうち、主たるものはトリム、喫水/船長(d/L)、舵面積比($A_r/L \cdot d$)、船長/船幅(L/B)、方形肥瘦係数(C_b)である。トリムの影響は修正することができる^{9, 15)}。操縦性の向上に有効な最適舵面積比は1/40~1/45とされ^{9, 15)}、一方、漁船の場合は1/30~1/40とも言われている¹⁰⁾。供試船の実験時の舵面積比が1/44.1であり、Fig. 4 に示す旋回特性と合せて考えると、適切な舵面積比であることを示している。

任意の舵角における定常旋回半径を把握しておけば、港内や狭水域、あるいは一般航行中の操船の目安として役立つ

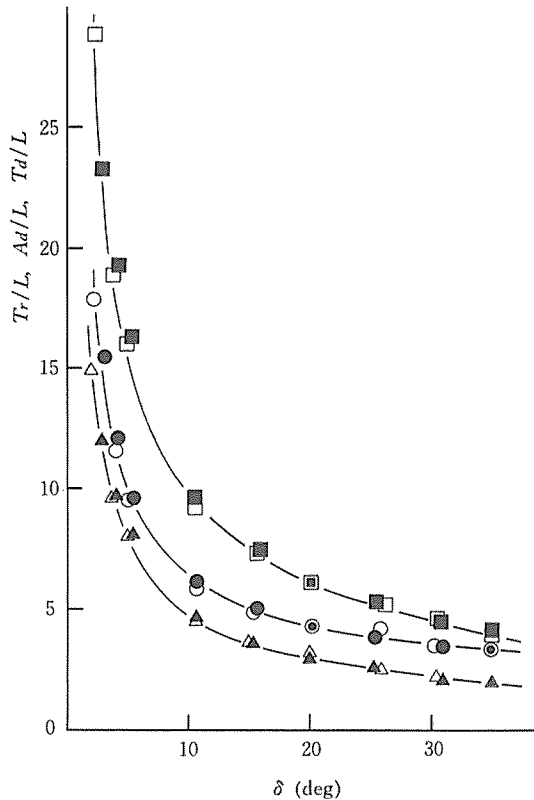


Fig. 3. Relations between δ and T_d/L , A_d/L and T_r/L .
 Note T_d : Tactical diameter (m)
 A_d : Advance (m)
 T_r : Transfer (m)
 L : Ship's length (m)
 ■: T_d of Starboard-side turning
 □: T_d of Port-side turning
 ●: A_d of Starboard-side turning
 ○: A_d of Port-side turning
 ▲: T_r of Starboard-side turning
 △: T_r of Port-side turning

と思われる。実験で得られた定常旋回半径(R)と舵角(δ)の関係を Fig. 5 に示す。また、両者の関係を次式で近似させることができた。

$$R = 1887.71 \cdot \delta^{-0.7356} \dots \dots \dots (3)$$

R : 定常旋回半径(m)

δ : 舵角(deg)

舵角が15°以上であれば、

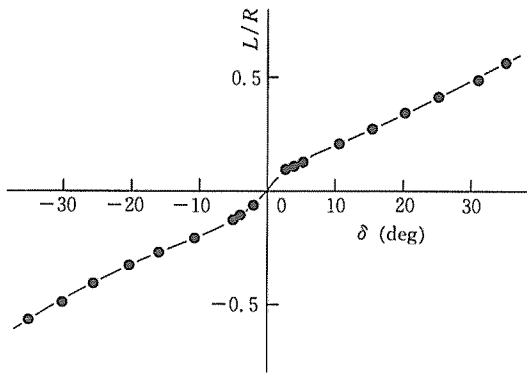


Fig. 4. Relation between δ and L/R .
Note R : Steady turning radius (m)

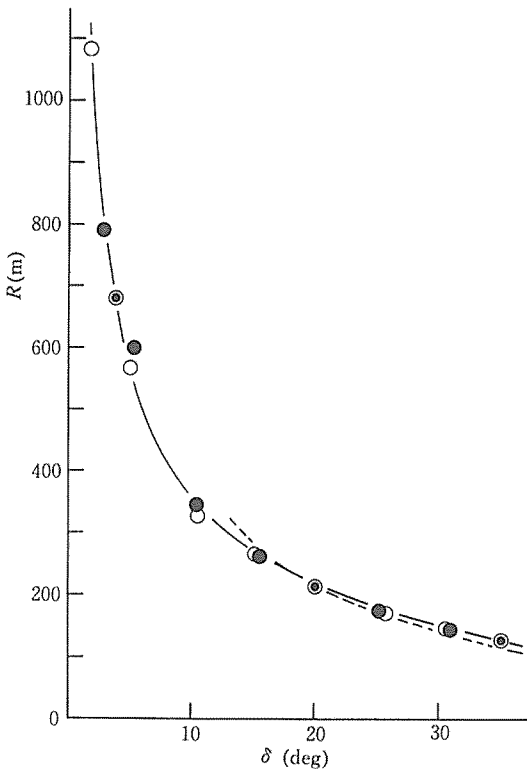


Fig. 5. Relation between δ and R .
Note —: Obtained by Eq. (3)
-----: Obtained by Eq. (4) ($\delta \geq 15^\circ$)
Symbols are the same as in Fig. 2.

$$R = 4300 / \delta \dots\dots\dots(4)$$

という非常に簡単な式で近似できる。近似式(4)による R と δ の関係を同図に破線以示す。

供試船の旋回軌跡によると、 Ad と R の関係は旋回方向および舵角にかかわらず、どの場合も $Ad < 2R$ であった。とすると、この近似式を用いることにより、舵角が 15° 以上の場合は転舵時点から船体が 90° 回頭するまでに、原針路方向に進出する距離、すなわち安全限界を、航行中必要に応じて、端的かつほぼ的確に推測することができる。また、この結果と供試船の逆転停止性能とを併用すると、緊急時や操業時の有力な操船資料となる。

ところで、トリムの変化が旋回性に及ぼす影響は大きく、トリムが変化すると旋回径および定常旋回半径も異なってくる^{9, 15)}。しかし、供試船は練習船であるため貨物船や漁船と異なり、トリムおよび排水量の大幅な変化は少なく、したがって、今回これらの変化がこの近似式に及ぼす影響については検討しなかった。また、本実験の直進中の速度は 11 kt 前後であったが、港内および狭水域では、減速することが度々あり、外力の影響を大きく受けやすい。これらの理由から、この近似式を過信することは避けたいが、旋回による船首前方の危険物回避の可能性について一応の目安は得られたと考えられる。

今回の実験では、転舵と同時に航跡自画器による作図を行った。この結果の Ad 、 Tr 、 Td および R について、舵角ごとに積分計算の結果と比較すると、それらの値の差の最大値は、右舵角 2.8° の場合の Ad の差で 51.7 m であった。また、差が積分計算値の 5% 以上のものは 2 例、その他 70 例はすべて 5% 未満であった。もともと供試船の航跡自画器はジャイロコンパスと電磁ログの信号を積分して運動の軌跡を作図するものであるから、航跡自画器の結果と積分計算の結果は同じはずである。ここで起こった両者の差の主な原因は、積分計算に用いた速度を速度データのフェア曲線より得たこと、計算方法と自画器の機構の違い、作図の読み取りおよび縮率の誤差等が考えられる。しかし、この程度の差であれば無視して差し支えないものと思われ、旋回軌跡により Ad 、 Tr 、 Td および R を求めるには、従来の積分計算を行わずとも、航跡自画器の資料で十分と判定できるようである。

3.2 操縦性指数 T , K

追従性指数を T (sec)、旋回性指数を K (1/sec)、舵角を δ (rad)、回頭角速度を γ (rad/sec) とすると、操舵に伴う船の運動方程式は

$$T\dot{\gamma} + \gamma = K\delta \dots\dots\dots(5)$$

で近似される。これを回頭角速度 γ について解くと、

$$\gamma = K\delta + Ce^{-t/T} \dots\dots\dots(6)$$

t : 経過時間(sec),
 C : 積分定数

舵中央で直進中に操舵を開始したとすれば、初期条件は $t = 0$ および $\gamma = 0$ であるから、 γ の経過は

$$\gamma = K\delta(1 - e^{-t/T}) \dots\dots\dots(7)$$

ここで $t = T$ とおけば、

$$\gamma = K\delta(1 - 0.3679) = 0.6321K\delta \dots\dots\dots(8)$$

これにより、 T は原点からの回頭角速度が定常旋回時の角速度の 63.2% に達するまでの時間(sec)である。また、定常旋回中の運動は(5)式の $\dot{\gamma} = 0$ とおくことにより、

$$\gamma = K\delta \dots\dots\dots(9)$$

で表わされる。したがって、横軸を t 、縦軸を γ として、作図により T および K を求めることができる。この方法で求められた T, K と δ の関係を Fig. 6 に示す。

同図によると、 T 曲線では舵角 15° を境として、また、 K 曲線では舵角 5° を境として、旋回方向による違いが多少見られる。しかし、左右両旋回の差がこの程度であれば、前述したように試供船の操縦性能は左右ほぼ同様と見なしよい。また、 K の値は各舵角により異なるが、 T の値は舵角 20° 以上ではほぼ一定である。

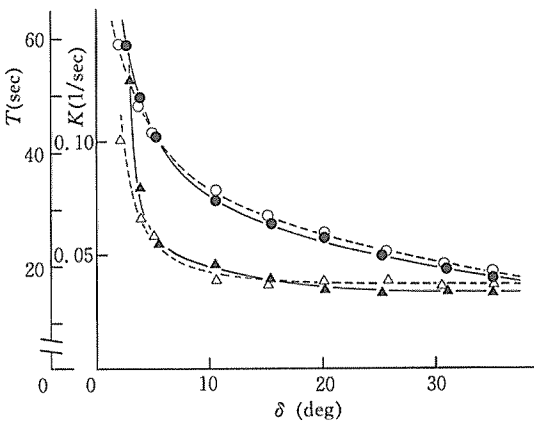


Fig. 6. Relations between δ and T, K .
 Note T, K : Maneuverability indices.
 \blacktriangle : T of Starboard-side turning
 \triangle : T of Port-side turning
 \bullet : K of Starboard-side turning
 \circ : K of Port-side turning

T, K は次元を持っているので、 $T' = T(V/L)$ 、 $K' = K(L/V)$ の形で無次元化し、Fig. 7 に示す。無次元化するための速度として、 T では直進時の速度と原点から T 秒後の速度との平均値を、また、 K では定常旋回中の速度を用いた。

T', K' にはそれぞれ異なったタイプがあると言われて¹⁶⁾。一つは $K' \sim \delta$ 曲線が上に凸型のもの、別のタイプは凹型のものである。試供船のそれらは後者のタイプに属しているようである。しかし、同型船であってもその時の船の状態により、曲線の傾向が異なるとも言われている¹⁶⁾。したがって、試供船の場合もトリム、排水量、プロペラなどの状態が変われば、 T', K' のタイプも変わるであろうということを考えておく必要がある。

各舵角における T, K の値を用いて、前述の旋回運動方程式(5)により数値計算を行い、舵角ごとの旋回軌跡を求めた。 Ad, Tr, Tu および R について、実験値と計算値を比較すると Fig. 8 のようになる。図中それぞれ実験値を 1.0 とした。大舵角の場合の Ad, Tr および Tu を除けば、両者は非常に近い値を示している。特に R では全般的によく合致している。したがって、 K は満足できる値と思われる。 K は旋回が十分発達した定常状態、すなわち γ が一定となった値から得られるので精度がよいと考えられる。

Ad の実験値と計算値の差が最も大きいものは、右舵角 35° の場合で、実験値の約 13.7% (約 $31.7 \text{ m} = 0.44 L$) で

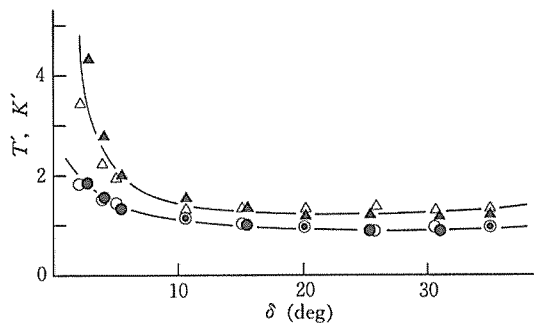


Fig. 7. Relations between δ and T', K' .
 Note $T' : T \times (V/L)$
 $K' : K \times (L/V)$
 \blacktriangle : T' of Starboard-side turning
 \triangle : T' of Port-side turning
 \bullet : K' of Starboard-side turning
 \circ : K' of Port-side turning

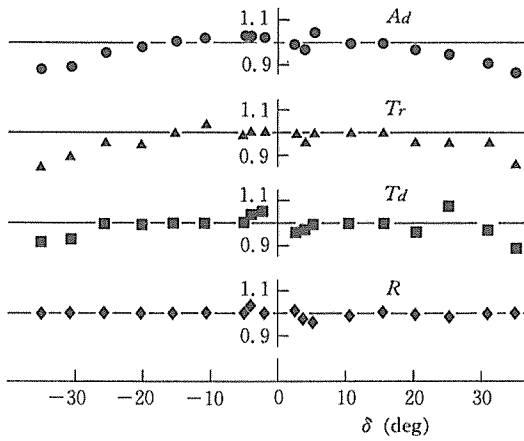


Fig. 8. Ratios of calculated values of A_d , T_r , T_d and R to experimental values.

あった。また、 T_r では左舵角 35.1° の場合で、実験値の約 14.2% (約 22.1 m = 0.31 L) であった。 T_d では右舵角 35° の場合で、実験値の 11.5% (約 34.0 m = 0.47 L) であった。 K についてはよい結果が得られたので、計算値の A_d , T_r および T_d に影響を及ぼす要素は、主として T , 操舵時間 (t_1) および速度 (V) であると考えられる。 T は旋回が発達するまでの過渡状態、すなわち γ が 0 から次第に増加している状態から求めざるを得ないので、ある程度の誤差を含むと思われる。また t_1 には測定上の誤差が介入すると思われる。 V には定常旋回中の速度を代入している。そこで、 T , t_1 および V の数値を考えられる誤差の範囲内で適当に変えて検討を試みた。しかし、この範囲内で T , t_1 の値を変化させても、 A_d , T_r および T_d に与える影響は小さかった。ところが、 V を原点から 6 T 秒後経過した時点の速度 (定常旋回中の 13~14% 増し) として計算を行い A_d , T_r および T_d を求めると、実験値に近い値を得ることができた。以上のことから、計算値の A_d , T_r および T_d に及ぼす影響は、 T , t_1 の誤差よりも V の誤差の方が大きいと考えられる。 V には定常旋回中の速度を用いたため、旋回が発達するまでの軌跡を正しく近似できず、 A_d , T_r および T_d それぞれの実験値と計算値に多少の差が見られたと思われる。小舵角の場合は速度の低下が小さく、定常旋回中の速度を代入計算しても A_d , T_r および T_d に与える影響が小さかったと考えられる。以上のことから、ここでは T および t_1 に含まれる誤差を無視

しても差し支えないと思われ、本実験で得られた T , K の値はほぼ満足できるものと認められる。

3.3 新針路距離

港内や狭水域、あるいは一般航行中の変針操船において、その船の新針路距離が定量的数値として得られていない場合、操船者は経験的な操縦性能により、転舵開始時機を判断する。この場合、変針後の針路線 (新針路線) から船の位置が外れることがある。したがって、各舵角と変針角による新針路距離を把握しておく、実務上有効な判断資料となる。

新針路距離測定試験や計算方法についての文献^{7, 8, 10)}は見られるが、実船実験の報告^{17, 18)}は極めて少ない。著者等はこれらとは異なった方法、すなわち旋回試験の結果から新針路距離を求めることを試みた。

回頭角 (θ) と座標 (X , Y) を用いると、変針角 (ϕ) に相当する角度だけ船が回頭した位置は、 $\theta = \phi$ として旋回軌跡上に求められる。その位置において船の船首尾線を引き、原針路線との交点を求めると、原点からその交点までの距離を新針路距離とみなすことができる。つまり、新針路距離は旋回中の転心、または重心の軌跡から作図により求められる。

実際の操船では、ある程度船が回頭した時点で、舵を中央に戻すか、または当て舵をする等の操作を行う。したがって、上述の方法で求めた新針路距離と実際の新針路距離は多少異なるが、これらの違いはごく僅かであり、無視して差し支えない。

新針路距離は次式により近似的に求めることもできる。

$$D_{nc} = V \{ T + t_1/2 + \tan(\phi/2)/K \delta \} \dots\dots\dots(10)$$

また、 R の値が既知ならば、 $K = V/R\delta$ であるから K を用いず R を用いて次式で計算できる。

$$D_{nc} = V (T + t_1/2) + R \cdot \tan(\phi/2) \dots\dots\dots(11)$$

- D_{nc} : 新針路距離 (m)
- V : 速度 (m/sec)
- R : 定常旋回半径 (m)
- t_1 : 操舵時間 (sec)
- T : 追従性指数 (sec)
- K : 旋回性指数 (1/sec)
- ϕ : 変針角 (deg)
- δ : 舵角 (rad)

作図により求めた新針路距離 (実験値) と計算により求めた新針路距離 (計算値) には多少の差が見られた。この原因は前述したように、旋回が発達するまでの過渡期における

船体運動の軌跡を計算では正しく近似できなかつたためと思われる。特に、上式の $V(T+t_1/2)$ で表わされるリーチは、 δ および ϕ の大小にかかわらず、船が原針路上を直進するものとして近似しているため、この影響もあろうかと思われる。

しかしながら、新針路距離を把握する今回の目的は、変針後の新針路線上にできるだけ的確に船を乗せることであるから、実験値と計算値の差そのものについてはここでは言及することを避け、その差の大小が変針後の位置に及ぼす影響を調べてみた。実際の航海においては、小舵角による大角度変針や大舵角による小角度変針はまれである。したがって、各変針角に応じた実用的な転舵角を用いて、実験値と計算値の差による2本の針路線の間隔を求めたところ、最大値は38.1 m (2.93 B)、最小値は3.0 m (0.23 B) であった。供試船の要目および操縦性能を考慮すると、実験値と計算値の新針路距離にある程度の差が見られても、2本の針路線の間隔がこの範囲であれば、前述の近似式を用いても実務上差し支えないと判断される。

作図から求めた舵角 (δ)、変針角 (ϕ) および新針路距離 (D_{nc}) の関係を Fig. 9 に示す。

ところで、実際の沿岸航海では、最適航路で目的地に向かうため、あらかじめ海図上で適切な変針目標を選び、変針点および針路線を設定する。この変針点は変針目標を望む方位と距離により設定されるが、通常、針路線上で変針目標を正横に見る位置がよくとられる。変針目標を正横に見る位置が変針点として適切でない場合は、ある妥当な方位角で変針目標を望む位置に定められる。そこで、変針後、船を新針路線上に正確に乗せるため、操船者は変針目標が正横、または定められたある方位に近づいた時、新針路距離だけ手前から変針動作に入る必要がある。したがって、このいわゆる「手前の位置」が変針目標を望む方位で得られるならば、操船上非常に都合がよい。

海図上の変針点に変針目標を正横に見る位置である場合は、その変針目標を正横より何度手前に見て転舵を開始すればよいかというその角度(ここでは正横手前角と呼ぶことにする)を知っておけば、転舵開始時機を直ちに判断できる。変針目標の正横手前角 (α) と船首角 (β) の間には次の関係があるので、変針目標までの距離による α 、または β の値を把握しておけば、実務上極めて有益である。

$$\alpha + \beta = 90 \dots\dots\dots (12)$$

α : 変針目標の正横手前角 (deg)

β : 変針目標の船首角 (deg)

そこで、変針時機が端的に得られるよう、変針目標の正

横手前角 (α) と変針角 (ϕ)、転舵角 (δ)、新針路距離 (D_{nc}) および変針目標までの正横距離 (D_{ist}) などについて検討を試み、計算図表を作成した。その結果を Fig. 10 に示す。同図の右上がりの斜線は転舵角を、左上がりの斜線は海図上の変針点から変針目標までの正横距離を示す。また、下横軸は変針角、上横軸は正横手前角、縦軸は新針路距離である。

この図表の使用方法について述べる。まず、変針目標を正横に見る場合は、下横軸に所定の変針角をとり縦軸に平行に移動すると、予定転舵角の線と交わる。その交点の縦座標は新針路距離を表わす。さらに、その交点から横軸に平行線を引くと、該当する正横距離の線との交点を得る。この交点の横座標を上横軸で読み取れば、転舵開始時機における変針目標の正横手前角が得られる。変針目標の船首角を求めたい時は正横手前角を 90° から減ずる。

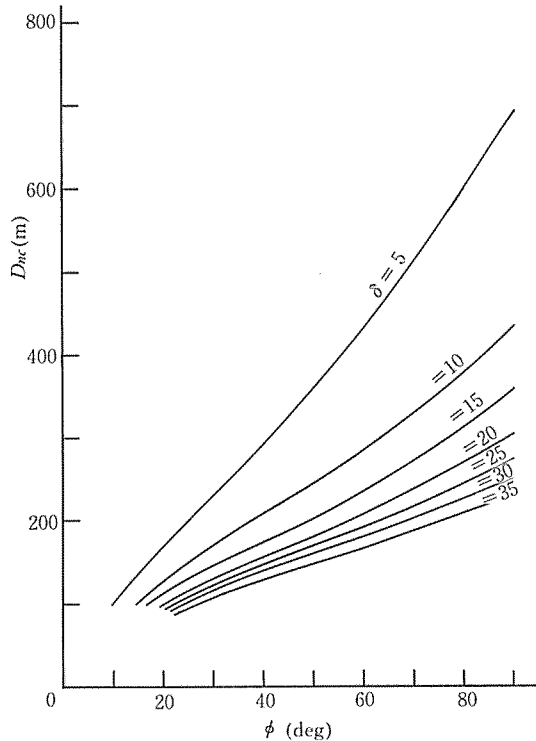


Fig. 9. D_{nc} in relation to ϕ by each δ .
 Note D_{nc} : Distance to the new course (m)
 ϕ : Altering course angle (degrees)

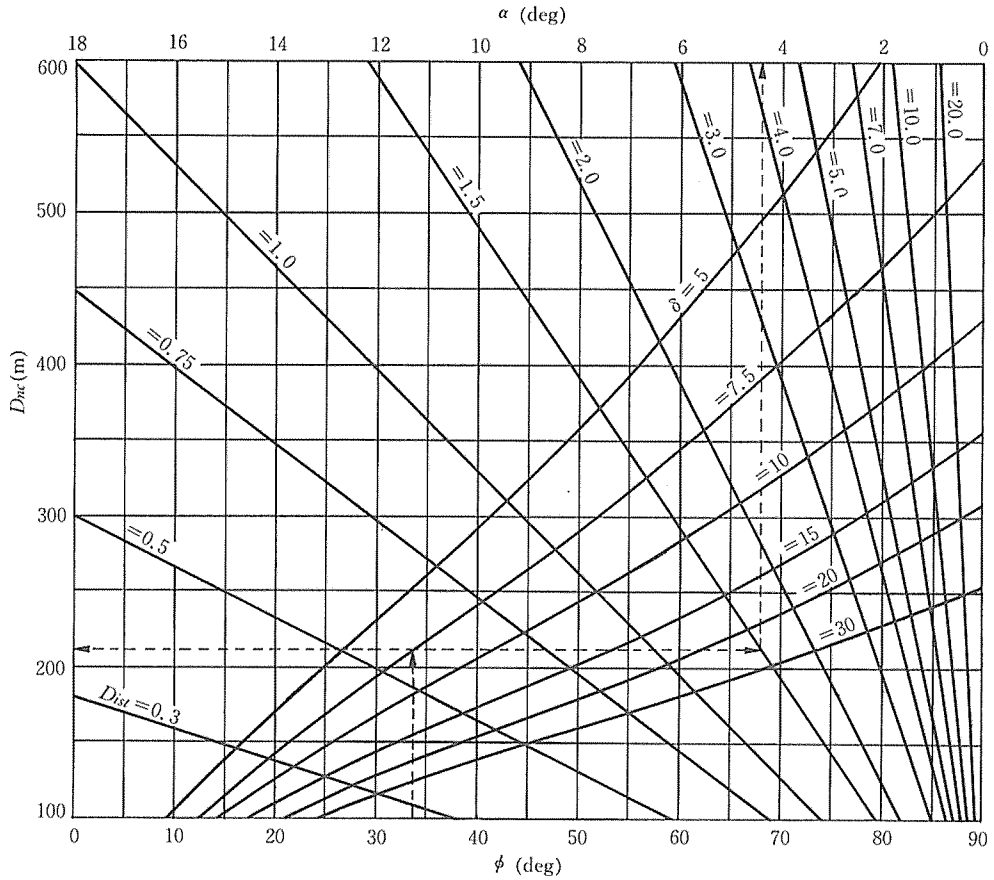


Fig. 10. α in relation to ϕ , δ , D_{nc} and $Dist$.

Note $90 - \alpha$: Angle on bow of the abeam-scheduled mark to alter course, on the position some distance (distance to the new course) short of the course-altering point on chart (degrees)

$Dist$: Distance from the course-altering point on chart to abeam-scheduled mark (miles)

次に、正横以外の変針目標の場合は、変針角と転舵角により新針路距離を求め、海図上の原針路線上に転舵開始位置をマークする。そのマーク点からの変針目標の方位を海図上で調べておけば、その方位により転舵開始位置を容易に知ることができる。

この図表は、海図上の変針点の変針目標を正横に見る位置であるかどうかで、使用方法が若干異なるが、合理的に利用すれば沿岸航海における変針操船の際に、実務上十分役立つと考えられる。

4. あとがき

練習船耕洋丸を用いて旋回試験を行い、操縦性能および新針路距離について検討を試みた。言うまでもなく実船実験には、種々の誤差が介入するうえ、実験当時の環境状況による影響もある。一方、理論計算は様々な仮定に基づくことが多い。ここではこれらの影響を実務上無視できるものとして検討した。今回の実験結果について要約すると次のようである。

- (1) 定常旋回中の速度は最大舵角 35° の場合、直進時の 55% まで低下する。また、舵角ごとの速度の低下率は右旋回、左旋回ともほぼ同程度である。
- (2) 旋回方向による旋回軌跡および旋回力の差は小さく、左右ともほぼ同程度の旋回能力を持つ。
- (3) 任意の舵角 (δ) における定常旋回半径 (R) は次式で近似できる。

$$R = 4300 / \delta$$
 R : 定常旋回半径 (m)
 δ : 舵角 (deg. ただし、 15° 以上)
- (4) 操縦性を検討する資料として、最近のトラックレコーダから作図された旋回軌跡を用いてもよい。
- (5) 試供船の操縦性指数 K は各舵角により異なるが、 T は舵角 20° 以上ではほぼ一定値に収束する。
- (6) T 、 K のタイプは上に対し凹のタイプである。
- (7) 操縦性指数 T および K を用いて、計算により大舵角の場合の旋回軌跡を求める時は、代入する速度に注意する必要がある。
- (8) 旋回試験の軌跡から新針路距離を求めておけば、沿岸航海において役に立つ。
- (9) 変針目標の正横手前角と変針角、舵角、新針路距離および正横距離との関係は Fig. 10 に示すとおりである。

船の操縦性を検討する時は、旋回試験だけでなく、Z試験およびスパイラル試験も行うべきであるが、実船実験は種々制約をうけるため、今回これらの実験は行われなかった。この点については、今後も実船の操縦性能試験を行い検討していく予定である。なお、別に行われた予備実験の結果を参考までに検討してみたところ、今回の実験結果とはほぼ同様の傾向を示した。

終わりに実験を行うに当たり、御協力を戴いた漁業学科専攻科昭和54年度入学生、同56年度入学生および乗組員各位に対し厚く御礼申し上げる。

文 献

- 1) 高島末夫・大村千之：水産大研報，17(3)，109～116 (1969)。
- 2) 高島末夫：水産大研報，20(2)，97～122(1971)。
- 3) 湯室彰規：石川島播磨技報，6(29)，207～215(1966)。
- 4) 湯室彰規：石川島播磨技報，15(2)，169～182(1975)。
- 5) 森信篤・山本徳太郎・森政彦：船舶技術研究所報告，

- 12(6)，375～394(1975)。
- 6) VLCC研究会：VLCCに関する十章，初版，成山堂，東京，1977，pp.43～86。
- 7) 航海便覧編集委員会：航海便覧，5，海文堂，東京，1984，pp.603～621。
- 8) 日本造船学会：第2回操縦性シンポジウムテキスト，1～173(1970)。
- 9) 志波久光・水野時雄・富田哲治郎・江田治三：造船協会論文集，105，71～82(1959)。
- 10) 岩井聡：新訂操船論，初版，海文堂，東京，1977，pp.1～50。
- 11) 辻豊治・山本徳太郎・森政彦：船舶技術研究所報告，11(2)，89～99，(1974)。
- 12) 高島末夫：日本航海学会論文集，34，37～43(1965)。
- 13) 本村紘治郎・高島末夫・田淵清治：水産大研報，26(1)，89～96(1977)。
- 14) 大串雅信：理論船舶工学(下巻)，9，海文堂，東京，1981，pp.237～276。
- 15) 志波久光：舵と旋回，初版，成山堂，東京，1971，pp.1～57。
- 16) 稲葉恭人・川島利兵衛：日本航海学会論文集，69，41～48(1983)。
- 17) 森弼一：航海，70，1～5(1981)。
- 18) 森弼一：航海，72，1～5(1982)。

使用記号

Ad	縦距 (m)
Ar	舵面積 (m^2)
$Ar/L \cdot d$	舵面積比
B	型幅 (m)
C	積分定数
Cb	方形肥瘦係数
Cp	柱形肥瘦係数
D	型深さ (m)
d	喫水 (m)
da	船尾喫水 (m)
df	船首喫水 (m)
$Dist$	変針目標までの正横距離 (miles)
Dnc	新針路距離 (m)
K	旋回性指数 ($1/sec$)
K'	無次元旋回性指数
$L(Lpp)$	船長(垂線間長) (m)

L/R	無次元旋回角速度	V_t	定常旋回中の速度 (m/sec)
Loa	船長 (全長) (m)	W	排水量 (t)
R	定常旋回半径 (m)	X	旋回軌跡の横座標
T	追従性指数 (sec)	Y	旋回軌跡の縦座標
T'	無次元追従性指数	α	変針目標の正横手前角 (deg)
t	経過時間 (sec)	β	変針目標の船首角 (deg)
t_1	操舵時間 (sec)	γ	旋回角速度 (rad/sec)
T_d	旋回径 (m)	δ	舵角 (deg, または rad)
T_r	横距 (m)	θ	回頭角 (deg)
V	速度 (m/sec)	ϕ	変針角 (deg)
V_a	直進中の速度 (m/sec)		