

練習船耕洋丸 (2,000GT型) の操縦性能について—Ⅲ Skewed Propeller 装備による逆転停止性能

濱口正人^{*1}・高島末夫^{*1}・下川伸也^{*1}・田渕清春^{*2}

On the Maneuverability of Training Ship "KOYO-MARU" (2,000GT size)-Ⅲ

Stopping Ability of a Ship with a Skewed Propeller

Masato Hamaguchi^{*1}, Sueo Takashima^{*1},
Shin-ya Shimokawa^{*1}, and Kiyoharu Tabuchi^{*2}

A Highly Skewed Propeller (HSP) is reported to have less astern power than a Conventional Propeller (CP). Full-scale experiments were carried out using "KOYO-MARU" with a Skewed Propeller (SP) in order to evaluate the stopping ability. The results obtained are as follows:

- (1) The relation between S/U_{Ok} and ts is obtained by the following equation, when the ship's speed varies in headway and sternway.

$$S/U_{Ok} = 22.825 ts^{0.520}$$

where S : stopping distance (m)
 U_{Ok} : approach speed (knot)
 ts : stopping time (min)

- (2) Experimentally obtained stopping distance is in a good approximation to the following values calculated from Eq.(4):

- ① 70 per cent of the distance calculated from Eq.(4) at full astern
- ② 65 per cent of the distance calculated from Eq.(4) at half astern
- ③ 55 per cent of the distance calculated from Eq.(4) at slow astern

The stopping time is nearly equal to the 65 per cent of the values obtained by Eq.(5) at various sternway.

水産大学校研究業績 第1392号, 1992年1月21日受付.

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No. 1392. Received Jan. 21, 1992.

* 1 水産大学校漁業学科運用学講座 (Laboratory of Seamanship, Department of Fishery Science and Technology, Shimonoseki University of Fisheries).

* 2 水産大学校練習船耕洋丸 (Training Ship Koyo-MarU, Shimonoseki University of Fisheries).

- (3) The ship takes various tracks until she stops completely, depending on ship's speed and its general trend of turning motion can be summarized as follows:
- ① slow ahead → various astern: left turning
 - ② half ahead → various astern: right turning
 - ③ full ahead → various astern: uncertain
- (4) In case of collision avoidance maneuver, Fig.11 is criterions for taking a turning or a stopping maneuver. But at slow ahead or below, it is necessary to pay attention to incidental turning motion at the regulation for preventing collision at sea.

1 緒 言

Highly Skewed Propeller (HSP) の性能に関しては、実船実験を含む詳細な研究が、日本造船研究協会第183研究部会により行われ報告されている¹⁾。この報告の中で、HSPの後進力は Conventional Propeller (CP) に比し、やや弱いことが指摘されている。また、IMO (国際海事機関) では、船舶の航行安全を確保する上で、操船者に自船の操縦性を十分に熟知させるため、操船者に供与すべき操縦性能の表示方法を挙げている²⁾。これを性能別にみると、前2報^{3,4)}で報告した旋回性能、変針性能だけでなく、停止性能についても把握しておくことが求められている。

HSP を装備した船の停止性能に関する実船実験の報告は極めて少ないが、最近の研究の中では矢吹等が報告している^{5,6)}。停止性能には、非常の場合の緊急停止や、入出港離着岸時の中・低速航行からの停止等、前進速力と後進力に種々の組み合わせが考えられる。そこで、本校練習船耕洋丸を供試船として系統的に実船実験を行い、Skewed Propeller (SP) 装備後の逆転停止性能を解析した。さらに、II報で報告した旋回性能と合わせて実海面に対応した避航操船法について考察した。

2 供試船および実験方法

供試船は本校練習船耕洋丸で、船体およびプロペラの主要目を Table 1 に再掲する。主機関はディーゼル機関であり、連続最大出力×連続最大回転数は3800PS×230rpm である。

実験を出渠直後の試運転時に、蓋井島北西方の水深十分な響灘で行った。実験時の気象・海象および船体コンディションを Table 2 に示す。実験に際しては前進速度を微速(145rpm, 翼角10°), 半速(145rpm, 翼角15°), 全速(170rpm,

Table 1. Principal particulars

Hull		Propeller	
<i>L_{oa}</i> (m)	81.40	<i>Z</i>	4
<i>L_{pp}</i> (m)	72.20	<i>D</i> (m)	3.20
<i>B</i> (m)	13.00	<i>P.R</i>	0.75
<i>D</i> (m)	8.00	E.A.R	0.536
<i>L_{pp}/B</i>	5.55	Skew(deg)	40.0

Table 2. Conditions over full-scale experiments

Date	June 15,1988	<i>df</i> (m)	5.30
Place	Hibiki-Nada	<i>da</i> (m)	5.77
Depth (m)	54~65	Trim (m)	0.47(0.65%)aft.
Wind	North~NNW (4.1~4.4m/sec)	<i>W</i> (ton)	2825.0
Wave (m)	0.5	<i>C_b</i>	0.554
Swell	nil	<i>C_p</i>	0.646

翼角19°)の3段階として、各前進速度から回転数は一定のまま後進速度を微速(翼角-7°)、半速(翼角-10°)、全速(翼角-13°)と計画して、それぞれを組み合わせて行った。舵を操舵角による影響を除くため舵中央に保ち、前進速度が一定となった時点で後進を発令して、船体が停止するまでの船首方位、船速、プロペラ回転数、翼角、軸馬力の変化を測定し、データレコーダに記録した。船首方位はジャイロ・コンパスにより、船速は電磁ログにより測定した。得られたデータをサンプリングタイム5秒でA/D変換し、前2報と同じ数値積分法により航跡計算を行った。なお、実験時に風がある場合は、極力これを正船首尾に受けて実験を実施した。

3 結果および考察

逆転停止時の船体運動は、後進発令時の前進速度(初速) U_0 (m/sec)と後進回転数 n (1/sec)で決まる見かけ前進常数 $J_s = U_0/nD$ (D :プロペラ直径)をパラメータとして整理できることが知られている^{6,7)}。これは、 U_0 と n の組み合わせを変えることにより幅の広い J_s で停止性能を検討することができる。しかし、本報告では操船者が常用している前後進速力を用いて、供試船の停止性能を調べることに主眼をおいたため、 J_s の変化は小さく、 $-4.19 \geq J_s \geq$

-0.698 と狭い範囲であった。実験例をTable 3に示す。また、後進発令時から船体停止までの時間経過による船速、回転数、翼角、軸馬力の変化の例として、全速前進から微速後進とした場合をFig. 1に、半速後進とした場合をFig.

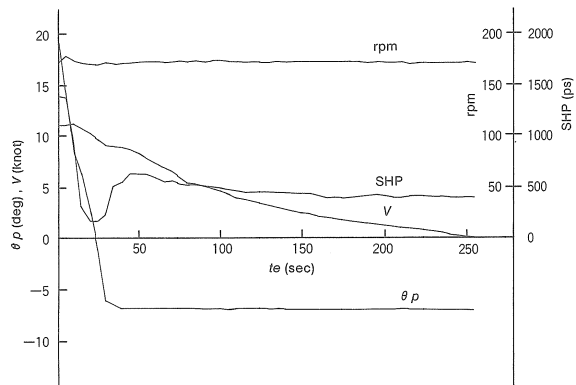


Fig. 1 Time history of stopping motion. (full ahead → slow astern)

- Notes
- t_e : Elapsed time (sec)
 - V : Ship's speed (knot)
 - rpm : Propeller revolution (1/min)
 - θ_p : Propeller blade angle (deg)
 - SHP : Shaft horse power (ps)

Table 3. Experimental states and results

Exp. No.	Wind Direction	rpm	Blade angle (ahead→astern)	t_r (sec)	t_s (sec)	S (m)	$-J_s$
1		145	10° → -7°	19.5	255	315.6	0.452
2		145	10° → -10°	34.0	165	241.1	0.452
3		145	10° → -13°	30.1	120	202.0	0.419
4		145	15° → -7°	24.7	310	480.4	0.605
5		145	15° → -10°	25.0	185	339.1	0.512
6		145	15° → -13°	34.2	145	294.4	0.525
7		170	19° → -7°	34.7	255	532.2	0.624
8		170	19° → -10°	39.9	195	536.5	0.664
9		170	19° → -13°	44.5	140	425.9	0.698

- Notes
- rpm : Engine revolution per minute
 - t_r : Time to astern of propeller blade angle
 - t_s : Stopping time
 - S : Stopping distance

- J_s : $= U_0/nD$
- U_0 : Approach speed (m/sec)
- n : Engine revolution per second
- D : Propeller's diameter (m)

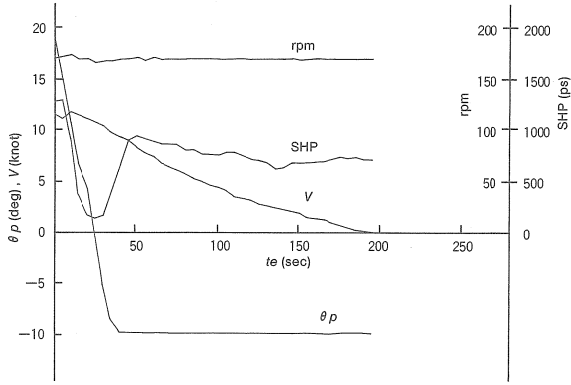


Fig. 2 Time history of stopping motion. (full ahead → slow astern)

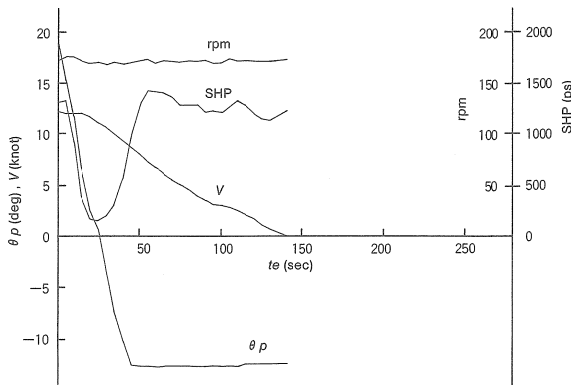


Fig. 3 Time history of stopping motion. (full ahead → slow astern)

2に、全速後進とした場合をFig. 3に示す。

3.1 停止時間、停止距離

緊急避航操船や港内操船で、後進発令時から前進の行き脚がなくなるまでに要する時間（停止時間： t_s ）とその間の進出距離（停止距離： S ）は逆転停止性能上最も重要な要素である。Fig. 4は初速 U_{Ok} (knot) に対する t_s , S の関係を示している。 S は U_{Ok} が微速では各後進速力による差が約90m (1.25Lpp)で、 U_{Ok} が半速、全速では約130m (1.80Lpp)であった。また、 S は中速程度までは U_{Ok} にほぼ比例して増加しているものの、これ以上の高速域になると若干飽和の傾向にある。この原因としては、低速前進中の抵抗は小

さいが、高速前進中に後進をかけると前進中の抵抗が大きくなり、後進力に付加される方向に影響するためと考えられる。また、前進の場合の微速、半速は同じ回転数であるが、全速の場合回転数は高くなっている。後進の翼角が同じであってもそれだけ全速の後進力は強く停止時間が短くなっている。

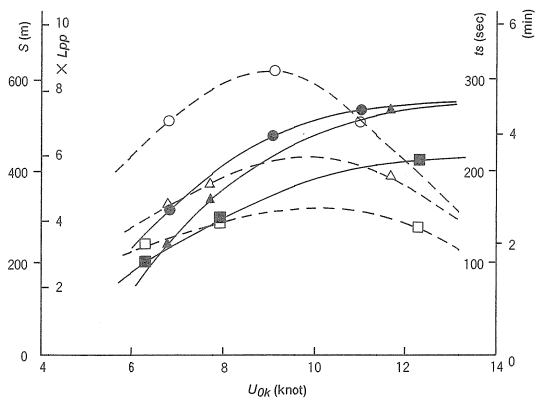


Fig. 4 Influence of U_{Ok} on stopping ability. (U_{Ok} and S , t_s)

- Notes U_{Ok} : Approach speed (knot)
 ■ : S at full astern
 ▲ : S at half astern
 ● : S at slow astern
 □ : t_s at full astern
 △ : t_s at half astern
 ○ : t_s at slow astern

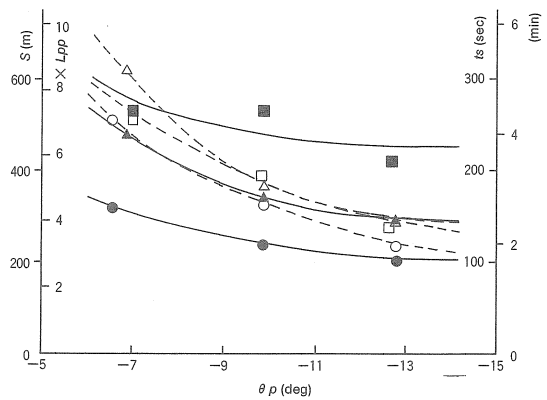


Fig. 5 Influence of U_{Ok} on stopping ability. (θ_p and S , t_s)

Note Symbols are the same as in Fig. 4.

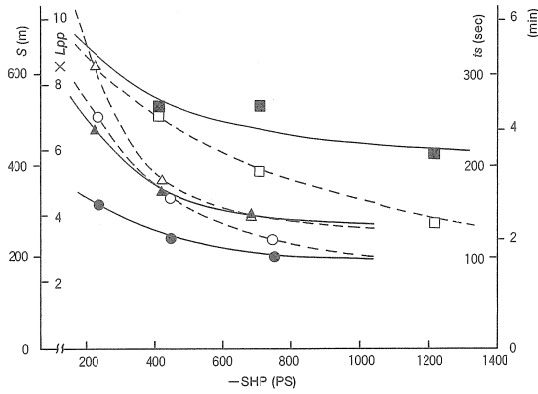


Fig. 6 Influence of U_{0k} on stopping ability. (SHP and S , t_s)
 Note Symbols are the same as in Fig. 4.

後進時の翼角（後進時の翼角が落ちついてからの平均翼角）と t_s , S の関係を Fig. 5 に、同じく後進時の軸馬力 (SHP : 後進時の翼角が正転してからの平均軸馬力) と t_s , S の関係を Fig. 6 に示す。翼角を前進から後進に変えるための操作時間は固定ピッチプロペラ (FPP) 船では、主軸が停止、逆転して所要回転数になるまでの時間に相当するものである。本実験の場合 Table 3 に示すように 19.5~44.5sec であった。また、ディーゼル船で FPP の場合、主軸回転停止迄の時間は 15~45sec が最も多いが⁸⁾、本実験では 7.6~25.6sec で、可変ピッチプロペラ (CPP) の翼角が零になるまでの所要時間が非常に短いことがうかがえる。

両図からも、後進力が大きくなる程、曲線的に t_s も S も減少している。制動力としての後進スラストは後進回転数の 2 乗に比例するが、停止距離は後進スラストに対してほとんど逆比例で変化する状況が、Fig. 5, Fig. 6 においても明らかに表れている。

Fig. 7 に t_s と S の関係を示す。これは初速を変えた時の停止性能を表している。 S は U_{0k} が微速の場合と全速の場合とでは約 215~292m (2.98~4.04Lpp) の差があった。 t_s は各前進速度から微速後進とした場合と全速後進とした場合では約 2.1 分の差があった。また、 t_s は前進速度が大きくなる程、前述したように全速後進では回転数の違いがあり頭打ちの状態となっている。

S/U_{0k} と t_s の関係を Fig. 8 に示す。常用速力から後進全力をかけた場合は、主機型式や載荷状態が異なっても、 S/U_{0k} は t_s とほぼ次式的関係にあることが示されている⁸⁾。

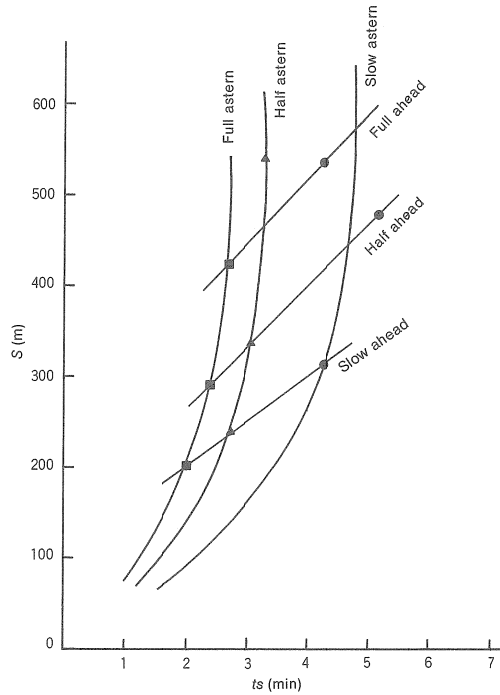


Fig. 7 Relation between t_s and S .
 Note Symbols are the same as in Fig. 4.

$$\frac{S}{U_{0k}} = 16 t_s \quad \dots\dots\dots (1)$$

t_s : 停止時間 (min)

(1) 式の線上に近い 3 点はいずれも全速後進中の実験値である。しかし、今回の実験は前述のとおり各前進船速からそれぞれ各後進としたものであり、一概には比べられないが、(1) 式のように直線で近似するのは無理がある。そこで、これを曲線として最小自乗法により近似計算すると次の式のようになった。

$$\frac{S}{U_{0k}} = 22.825 t_s^{0.520} \quad \dots\dots\dots (2)$$

初速に比例して S もやや大きくなっているが、 t_s は (1) 式に比べると S よりも大きくなっており、HSP の特徴である後進力がやや弱いということが SP 装備の供試船にも言えそうである。

3.2 逆転停止距離の推測

船体の全抵抗を R , プロペラスラストを T , スラスト減

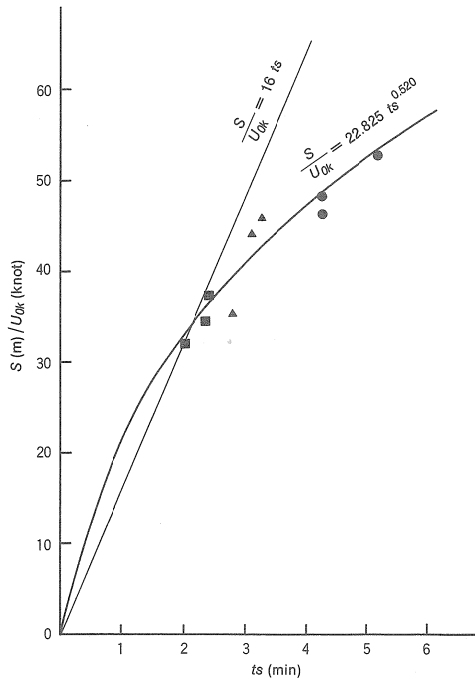


Fig. 8 Relation between ts and S/U_{0k} .
Note Symbols are the same as in Fig. 4.

少係数を t とすれば、制動運動方程式は次のようになる。

$$(m + m_x) \frac{du}{dt} = T(1-t) - R \quad \dots\dots\dots (3)$$

m : 船体質量
 m_x : 付加質量

(3)式の右辺の R を $R = kU^2$ と表し、さらに、 $\frac{du}{dt} = U \frac{du}{ds}$ と置き換え、初期条件を $S = 0, U = U_0$ として積分すると、 S と ts は次式によって求めることができる⁸⁾。

$$S = \frac{m + m_x}{2k} \log_e \left(1 + \frac{kU_0^2}{T(1-t)} \right) + \frac{1}{2} U_0 tr \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$ts = \frac{m + m_x}{k} \sqrt{\frac{k}{T(1-t)}} \tan^{-1} \left(U_0 \sqrt{\frac{k}{T(1-t)}} \right) + \frac{1}{2} tr \quad \dots\dots\dots (5)$$

k : 比例常数
 tr : プロペラ逆転停止時間 (sec)

m_x は元良の図表⁹⁾により求めた。また、供試船はCPPであることから、 $tr = 0$ として計算を行った。船体抵抗 R は摩擦抵抗 R_F と剰余抵抗 R_R の合計として計算した。 R_F はITTC 1957 model ship correlation line の式 $C_F = 0.075$

$(\log_{10} Rn - 2)^{-2}$ により求めた (Rn : レイノルズ数)。また、船体表面粗度の修正係数 ΔC_F は、二次元外挿法の標準値として供試船の水線長さから $\Delta C_F = 0.0004$ とした。さらに、 R_R を Taylor 水槽の図表より、 $\nabla/L^3, C_p, B/d, V/\sqrt{Lg}$ の関数 C_R として求めると R は次式となる。

$$R = R_F + R_R = (C_F + \Delta C_F + C_R) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_N \cdot U^2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

ρ : 海水密度 ($\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$)

S_N : 浸水面積 (m^2)

今回の実験では後進時のプロペラスラストの計測ができなかった。また、FPP 船の場合、プロペラスラストは主機回転数 n 、推進器の直径 D 、スラスト係数 K_T の関数として示されるが、供試船はCPP 船でSP 装備であるため K_T を算出する適当な図表が見当たらない。そこで、前進速度一定の場合の船体抵抗 R と軸馬力(SHP)の関係を $R = a(\text{SHP})^b$ として、実験時のSHPを代入し最小自乗法により係数 a, b を求めた。そして、 $T(1-t) = a(\text{SHP})^b$ として、前進時の係数 a, b と後進になってからのSHPを用いて後進スラストを計算した。後進の推力は船体効率の低下やプロペラ効率の減少などのため前進の場合と比べ非常に低下し、スラスト係数は約30%程度小さくなると言われている¹⁰⁾。ここでは、以上の方法で(4)、(5)式の計算要素を求め、 S と ts を計算し実測値と比較した。その結果、(4)、(5)式による計算値はいずれも実測値より大きくなった。このため実用的手法として(4)、(5)式で求めた S, ts の70%の値を $S1, ts1$ として進出距離と停止時間を推定値とし、再度実測値と比較した。その結果、 $S1$ は実測停止距離 S の0.99~1.39倍の値であった。また、 $ts1$ は実測停止時間 ts の1.08~1.19倍であった。

次に、Fig. 1~Fig. 3のように船速の時間経過の曲線と時間軸で囲まれる面積は S に相当するということから、 S は次式で表わせる。

$$S = \int_0^{ts} v dt = c \cdot U_0 \cdot ts \quad \dots\dots\dots (7)$$

c : 係数值 (一般貨物船で0.25~0.27)

(7)式に相当するものとして、谷は多くの実船例を解析した結果、前述の(1)式を与えている。供試船の実験時実測された U_{0k} と ts を(1)式に代入して得た $S2$ は、 S の0.97~1.53倍となった。

さらに、貴島は経験的な略算式として(8)式に示す Topley の式を紹介している²⁾。

$$S_0 = 0.024 tu \cdot U_{0k} \quad \dots\dots\dots (8)$$

S_0 : 停止距離 (mile)

$t_u : U_{0k}$ の1/2の速力になるまでの時間 (min)

(8)式に供試船実測の U_{0k} , t_u を代入して S_0 を計算し, m 単位とした S_3 は S の1.12~1.44倍となった。以上の結果を Table 4 に示す。同表に示すように, S_1 , S_2 では, Exp. No. 3, 6, 9 の値が実測値に近い値を示した。この3実験はいずれも各前進速度から全速後進としたもので, 供試船の場合は一般船舶に比較して, 微速・半速の後進力はやや弱いようである。

停止距離の目安を考える場合, 少し大き目の方が船舶航行上安全である。また, 逆転停止する時は大略回頭運動を伴うものであるが, 余り停止距離を大きく見積り過ぎても実際と合わなくなる。回頭運動しながら進出する距離を今回の実験の航跡図から計算すると, S に対して平均1.025倍長くなっている。また, (1), (8)式を用いると停止時間または初速の1/2の速力になるまでの時間を計測することによって停止距離が得られる。しかし, このことは港内操船時や緊急操船時の逆転停止性能を推定する場合には不合理であると思われる。このような場合, 操船者はあらかじめ任意の前進力から任意の後進をかけた場合の S , t_s を把握しておくことが必要である。以上のことから, (4)式によって S を, (5)式によって t_s を推測しておく方が合理的であると思われる。しかし, Table 4 のごとく(4), (5)式で求めた値の70%

と仮定しても, 推測値は多少大きい。そこで, 各後進速度別に試算して実測値に近い値となる比率を算出した。その結果, 全速後進の場合は(4)式による計算進出距離の70% (1.05倍), 半速後進の場合は同様に65% (1.06倍), 微速後進の場合は55% (1.02倍) の値とすれば, また, t_s は各後進とも(5)式による計算停止時間の65% (1.05倍) とすれば, 大略実測値の近似値が得られる。

3.3 回頭運動

推進器が逆転すると, 船体は停止するまでプロペラ後流の影響により, FPP 船では船首の右偏が顕著である。CPP 船の場合はプロペラの回転方向は変わらず, 翼角が前進方向から後進方向へ変化する。これにより逆転中は放出流が船尾左舷側に作用し, 船首の左偏が顕著になるはずである。上記の事項を検討するため供試船の重心位置の航跡を調べ Fig. 9 に示した。同図より回頭運動について整理すると次のことが言える。

- 1) 前進微速から各速後進とした場合: 船首左転
- 2) 前進半速から各速後進とした場合: 船首右転
- 3) 前進全速から各速後進とした場合: 不定

以上のように, 前進行脚が小さい時の後進は放出流に影響され船首が左転しているが, 行脚が中程度になると船首は右転の傾向になり, さらに, 行脚が大きくなると左転右転両方の傾向となった。また, 船体が停止する迄の回頭運動による原針路上から左右への偏倚は, S が長くなる程大きく, 同図のごとく-90~130mで最大1.8Lppの横移動があった。

逆転中の船首の振れは風向, 風速によっても左右されるが, 今回の実験中は4 m/sec位の風速で, また, 風向を極力船首又は船尾から受けて行っていることからこれらの影響による船首の振れはなさそうである。後進とした場合, 放出流の影響もさることながら, 船尾の形状, その時の波の影響等が複雑にからみ合って船首の振れを起こしたのではないと思われる。このような後進による針路不安定については保針性を確保する対策が必要であり, 武田等¹¹⁾はCPP翼角変換装置を考案し, 東京水産大学練習船「神鷹丸」の実船に装備して実験を行った。これは減速, 停止までに「遊転翼角」を与えて減速時の保針性を確保することを目的としており, その有効性を確認している。また, 停止時の回頭角度を見ると, FPP 船の場合には原針路から90°以上回頭して船体停止する例が多いが^{8,12)}, 供試船の場合は-48.8°~50.0°であった。このことから後進することによる旋回の影響は一般船舶に比べて少ないようである。

Table 4. Ratio of S to S_1 , S_2 , or S_3

Exp. No.	S_1		S_2		S_3	
	(m)	$\frac{S_1}{S}$	(m)	$\frac{S_2}{S}$	(m)	$\frac{S_3}{S}$
1	439.7	1.39	450.8	1.43	353.6	1.12
2	312.3	1.30	291.7	1.21	311.3	1.29
3	207.9	1.03	196.6	0.97	291.2	1.44
4	636.9	1.33	733.5	1.53	683.6	1.42
5	383.3	1.13	370.4	1.09	462.0	1.36
6	313.3	1.06	297.8	1.01	407.3	1.38
7	637.9	1.20	729.3	1.37	645.4	1.21
8	533.4	0.99	593.2	1.10	691.7	1.29
9	451.3	1.06	447.7	1.05	585.0	1.37

Notes S_1 : 70 per cent of the distance calculated from Eq. (4)

S_2 : Stopping distance calculated from Eq. (1)

S_3 : Stopping distance calculated from Eq. (8)

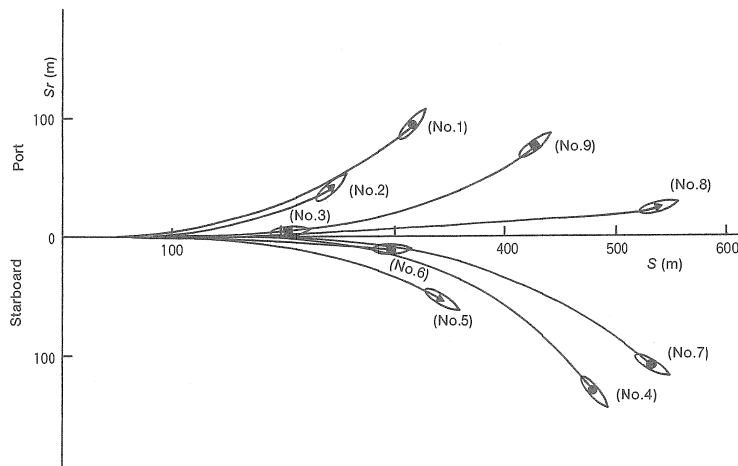


Fig. 9 Ship's path.
 Notes S_r : Side reach (m)
 ● : Full astern
 ◐ : Half astern
 ◑ : Slow astern

3.4 避航操船法

港内操船や避航操船時の操船手段には、次の3方法がある。

- 1) 舵一杯にして変針避航
- 2) 全速後進にして急速停止
- 3) 舵一杯と全速後進の併用

Fig. 10 にこれら3方法の模式図を示す。これら3方法の中で、3)については実験を行っていないので、1)と2)の2方法について検討した。Fig. 11 に供試船のⅡ報の旋回実験で得た、各舵角における U_{ok} と最大縦距の関係と、今回の実験の U_{ok} と S との関係とを合わせて示した。供試船はⅡ報で述べたごとく左右の旋回に差があり、最大縦距で約40m ($0.55L_{pp}$)であった。そこで、左右の旋回の平均の最大縦距を算出して同図に示した。この図より、微速付近(約6.5knot)で、最大縦距と後進による停止距離の線が交差していることがわかる。避航操船を考える場合、いかに早く相手船または障害物をかわすかが問題となる。このことから、微速で前進中は後進停止する方が S は小さく有利であるが、半速(約8.5knot)では舵角 $20^\circ \sim 35^\circ$ で旋回有利、舵角 15° 以下では後進停止有利となる。全速(約11.5knot)では舵角 15° 以上で旋回有利となっている。しかし、供試船の U_{ok} が小さい時の後進では、停止するまでに船首が左転する傾向にある。海上衝突予防法では、他船と真向かいました

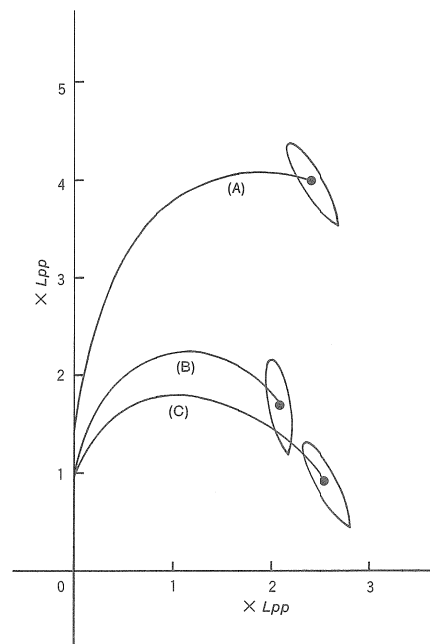


Fig. 10 Illustration of collision avoidance maneuver.
 Notes ● : Ship's center of gravity
 (A) : Crash astern maneuver
 (B) : Turning maneuver
 (C) : Crash astern and turning maneuver

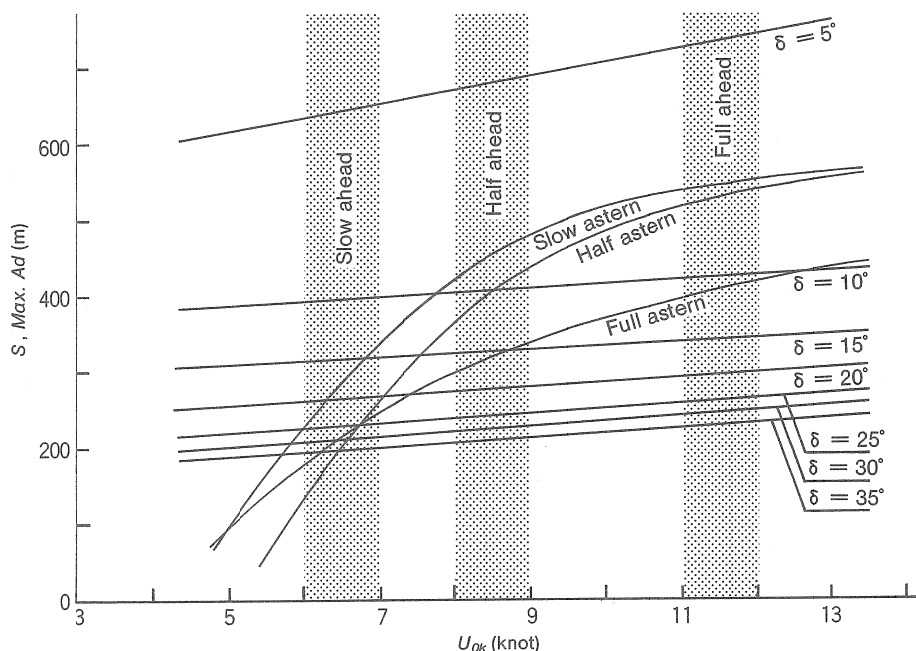


Fig. 11 Relations between U_{0k} and $S, Max. Ad.$
 Note $Max. Ad$: Maximum advance

はほとんど真向かいに行き合う場合は両船共に右転することが定められており、供試船の場合左転して停止することは予防法上好ましくない。 S と最大縦距だけから考察すれば U_{0k} が微速以下であれば後進が有利ではあるが、衝突予防の面からは船体の回頭運動により一概に有利とは言えない面がある。谷等は停止性能の概略値を予測する各種の手法を報告している^{13, 14, 15}。しかし、停止性能を安全運航の面から考えると、従来の手法は回頭運動や横運動の予測に関しては十分とは言えない。特にCPP船においてはデータが少なく、その集積が待たれている。

4 結 論

練習船耕洋丸が推進器をSP装備とした機会に、逆転停止性能について実船実験し解析した。結果を要約すると次のようになる。

- (1) 停止距離は初速が微速と全速とでは2.98~4.04 L_{pp} の差があり、停止時間は微速後進と全速後進とした場合では約2.1分の差があった。
- (2) S/U_{0k} と t_s の関係は、各前進速度から各後進としたもので一概には比べられないが次式で与えられる。

$$\frac{S}{U_{0k}} = 22.825 t_s^{0.520}$$

- (3) 停止距離は(4)式で推測した値の、全速後進の場合は70%、半速後進の場合は65%、微速後進の場合は55%とすると実測値とよく合う。また、停止時間は(5)式で推測した値の65%とすると実測値とよく合う。
- (4) 停止するまでの船体の回頭角は $-48.8^\circ \sim 50.0^\circ$ の間にあり一般船舶に比べて小さい。また、その回頭方向は各前進速度によって異なり次のような傾向になった。
 - ① 前進微速から各速後進とした場合：船首左転
 - ② 前進半速から各速後進とした場合：船首右転
 - ③ 前進全速から各速後進とした場合：不定
- (5) Fig. 11を使用することによって、避航操船時に旋回する方が有利か、逆転停止する方が有利かの目安となる。
- (6) 避航操船する場合、前進速度が微速以下では、逆転停止する方が有利であるが、船体の回頭運動を考慮すると、海上衝突予防法上からは一概に有利とは言えない。
 終わりに実験を行うに当たり、御協力を戴いた耕洋丸船長大村千之教授、同機関長日笠純扶教授および乗組員各位に対し厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 日本造船研究協会第183部会：船尾振動・騒音の軽減を目的としたプロペラ及び船尾形状の研究報告書, 61-194 (1983).
- 2) 日本造船学会：運動性能研究委員会第2回シンポジウムテキスト, 1-40 (1985).
- 3) 本村紘治郎・実藤 了・高島末夫・濱口正人・片岡昭吉・乾 栄一・長友洪太・田渕清春：水産大研報, **36**(2・3), 49-59 (1988).
- 4) 濱口正人・高島末夫・田渕清春・下川伸也・本村紘治郎：水産大研報, **40**(1), 1-10 (1991).
- 5) 矢吹英雄・飯田敏夫・日下治夫：日本航海学会論文集, **71**, 29-36 (1984).
- 6) 矢吹英雄・磯崎道利・塩田重須：日本航海学会論文集, **74**, 1-7 (1985).
- 7) 野村士平：日本航海学会論文集, **59**, 183-192 (1978).
- 8) 日本造船学会：第2回操縦性シンポジウムテキスト, 85-100 (1970).
- 9) 元良誠三：造船協会論文集, **106**, 59-62 (1959).
- 10) 大串雅信：理論船舶工学(下巻), **9**, 海文堂, 東京, 1981, pp.221-223.
- 11) 武田誠一・佐藤 要・芳村康男：日本航海学会論文集, **86**, 31-38 (1992).
- 12) 日本造船学会：第3回操縦性シンポジウムテキスト, 101-136 (1981).
- 13) 谷 初蔵：日本航海学会論文集, **33**, 1-5 (1965).
- 14) 谷 初蔵・石倉 弘：日本航海学会論文集, **37**, 153-157 (1967).
- 15) 谷 初蔵：日本航海学会論文集, **42**, 29-34 (1969).