

# 巾広船の操縦性能におよぼす舵面積の影響について†

辻 豊治\*・山本徳太郎\*\*・森 政彦\*\*

## On the Effects of Rudder Area upon Manoeuvrability of a Wide Beam Tanker

By

Toyoji TSUJI, Tokutaro YAMAMOTO and Masahiko MORI

### Abstract

This paper describes the model test on the manoeuvrability of a wide beam tanker with length beam ratio of  $L/B=5.2$ .

The effects of rudder area as well as stern form upon the manoeuvrability were investigated.

The variations of rudder area are;

$$A_R/L \cdot d = 1/60, 1/55, 1/50, 1/40, 1/35, M-1/55.$$

The results show that the manoeuvrability will be improved if the rudder area ratio be greater than 1/50.

### 目 次

1. まえがき	45	4.1.2 旋回性への影響	51
2. 供試模型船および舵	45	4.1.3 旋回中の速度低下	51
3. 実験の種類と方法	46	4.2 船尾形状の影響	51
4. 実験結果と考察	47	4.3 パラスト状態における操縦性能	55
4.1 舵面積の影響	50	5. むすび	55
4.1.1 針路安定性への影響	50		

## 1. ま え が き

大型油槽船は経済性の理由から、船型の大型肥大化、特に  $L/B$  の減小の傾向が目立ち、最近では  $L/B=5.0$  前後の巾広船型が採用される趨勢にある。

このような巾広船については、操縦性能特に針路安定性の低下が予想され、その具体的な把握は、就航時をもとより港内等制限水路において、安全かつ経済的な運航を計る上で、従来程度の肥大船にもまして重要である。

舵は操縦性能の低下をおぎなうためのコントロール

・サーフェイスとして有効であり、巾広船が良好な操縦性能を保持するためには、船型等に対する考慮とともに、最適の舵を選ぶことが重要である。

われわれは、このような観点に立って、自航模型船により、巾広船の操縦性能と舵面積の関係ならびに船尾形状の影響等について調査研究を行った。

ここにそれらの結果をまとめ報告する。

## 2. 供試模型船および舵

実験は 4.2m の木製模型船を使用して行った。

その主要寸法ならびに船首尾形状を **Table-1, Fig-1**

† 第22回 (昭和48年度秋季) 船舶技術研究所研究発表会講演概要に上記表題で発表したものは、本報告の抜粋である。

\* 運動性能部 (現造船学会) 原稿受付: 昭和48年12月6日

\*\* 運動性能部

**Table-1.** Principal Dimensions

	FULL CONDI.	BALLAST CONDI.
LENGTH BETW. PP. L	4.200M	4.200M
BREADTH (MLD.) B	0.807M	0.807M
DEPTH (MLD.) D	0.345M	0.345M
DRAFT (MLD.) $d_f$	0.265M	0.149M
$d_a$	0.265M	0.187M
$d_m$	0.265M	0.168M
TRIM	0.000M	0.038M
DISPLACEMENT	724.46Kg	440.45Kg
BLOCK COEFFT $C_b$	0.808	
POSITION OF CG. $l_{cb}$	-3.96 %L	
L / B	5.20	5.20
B / d	3.05	4.80

**Table-2.** Dimension of the Propeller

DIAMETER	0.1017M
PITCH	0.0727M
PITCH RATIO	0.6813
EXP. AREA RATIO	0.7100
BOSS RATIO	0.1758
MAX. BLADE WID. RATIO	0.3248
BLADE THICKNESS RATIO	0.0593
ANGLE OF RAKE	5° ~ 1'
NUMBER OF BLADES	5
DIRECTION OF TURNING	RIGHT HANDED

に示す。図中点線は船尾形状の影響を見るために、原型から船尾 dead-wood を 3 角型に切り落とした(切り欠き部側面積/水中側面積=0.002), Clear-Stern の形状を示す。

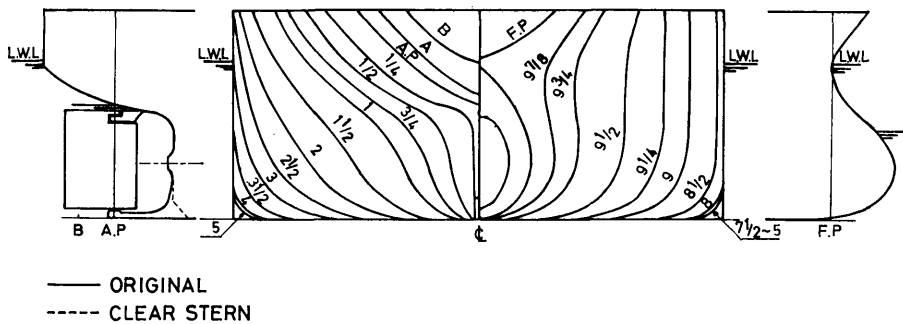
推進器は 5 翼一体型で、主要寸法を **Table-2** に示す。

使用した舵は、舵面積比  $A_R/L \cdot d = 1/60, 1/55, 1/50, 1/40, 1/35$  および  $M-1/55$  の 6 種類である。舵は高さを一定とし、舵面積に応じ断面の長さを異にする矩形舵である。したがって縦横比はそれぞれ異なっている。その要目を **Table-3** に示す。また舵の断面形状は翼厚比 17% の対称翼であり、舵軸中心は、 $A_R/L \cdot d = 1/60$  は前縁より 32%B,  $M-1/55$  は 30%B, その他はすべて 27%B である。

### 3. 実験の種類と方法

操縦性におよぼす舵面積の影響についての調査は、船尾形状が原型の模型船で行った。また舵面積比  $M-1/55$  の舵を用い、船尾形状を原型ならびに Clear-Stern とした場合のほか、原型でバラスト状態の操縦性能を調べた。

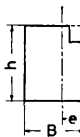
試験速度は実船の就航速度、港内全速(以下高速、低速と呼ぶ)に対応する速度を基準として行い、これ



**Fig-1.** Profile and Body Plan of Model

**Table-3.** Kind of Rudders

$A_R/L \cdot d$	1/60	1/55	1/50	1/40	1/35	M-1/55
h (M)	0.170	0.170	0.170	0.170	0.170	0.170
B (M)	0.107	0.117	0.129	0.162	0.185	0.117
$\lambda (\lambda/B)$	1.589	1.453	1.318	1.049	0.919	1.453
e	0.32B	0.27B	0.27B	0.27B	0.27B	0.30B



らをまとめて Table-4 に示す。

実験は当部における操縦性試験の方法に準拠し、左右舷5度以上の舵角では旋回試験、それ以下の舵角については逆スパイラル試験を行った。

また模型船には定電圧装置を積載して、実験中駆動用モーターの入力電圧を一定に保ち、電池の消耗による速度変動は極力おさえている。

そのほか、模型船に舵をつけないで自航させた場合の航跡も計測した。

4. 実験結果と考察

Table-4 の実験の種類に対応する実験結果を Fig-2 ~9 に示す。

Fig-2~6 は、船尾を原型とし、舵面積比 1/60~1/35 の舵を装備した場合の実験結果であり、舵角  $\delta$  と  $r'$ ,  $A/L$ ,  $T/L$ ,  $T \cdot D/L$ ,  $V_i/V_a$  の関係を示す。

図中実線は高速、点線は低速の場合である。

Fig-7, 8 は、船尾形状の影響を調べるため、船尾が

Table-4. Kind of Experiments

LOAD CONDITION		FULL			BALLAST
STERN FORM		ORIGINAL		CLEAR STERN	ORIGINAL
TEST SPEED		$F_n=0.152$	$F_n=0.090$	$F_n=0.152$	$F_n=0.152$
RUDDER AREA	1/60	○	○		
	1/55	○	○		
	1/50	○	○		
	1/40	○	○		
	1/35	○	○	○	
	M-1/55	○	○	○	○

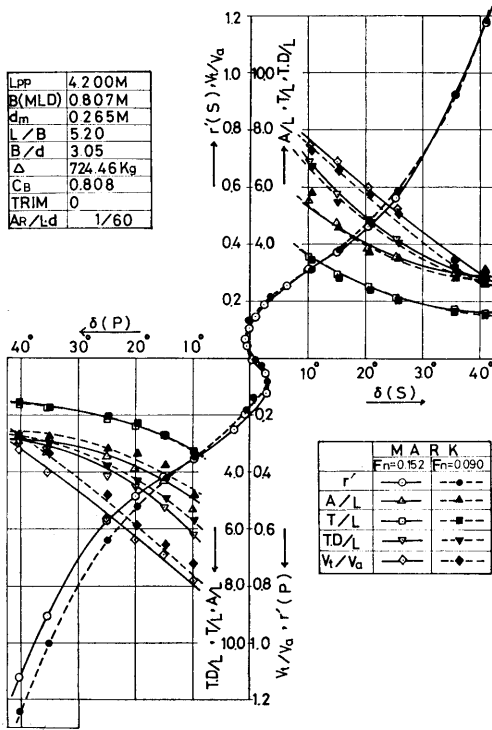


Fig-2. Manoeuvrability of Wide Beam Tanker (Stern Form: Original)

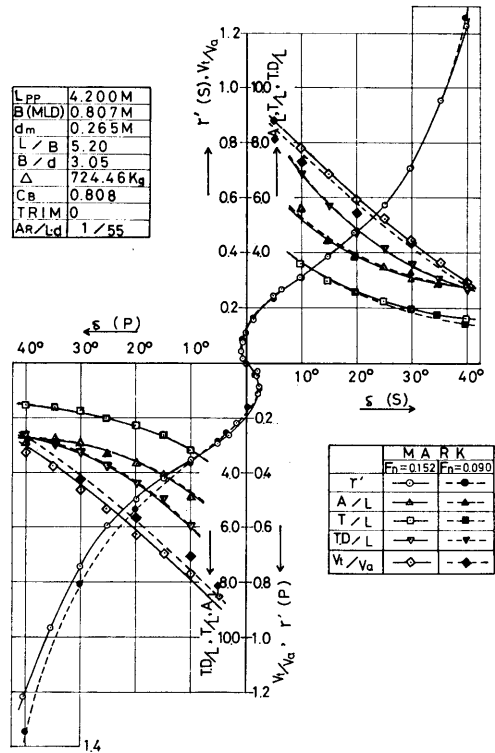


Fig-3. Manoeuvrability of Wide Beam Tanker (Stern Form: Original)

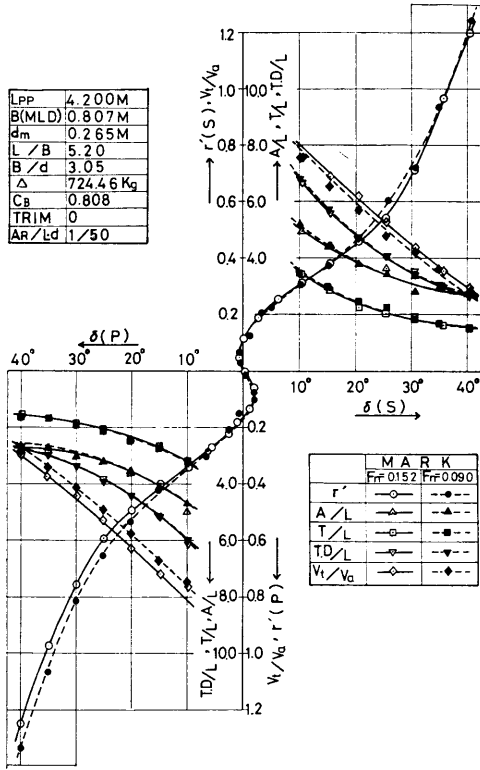


Fig-4. Manoeuvrability of Wide Beam Tanker (Stern Form: Original)

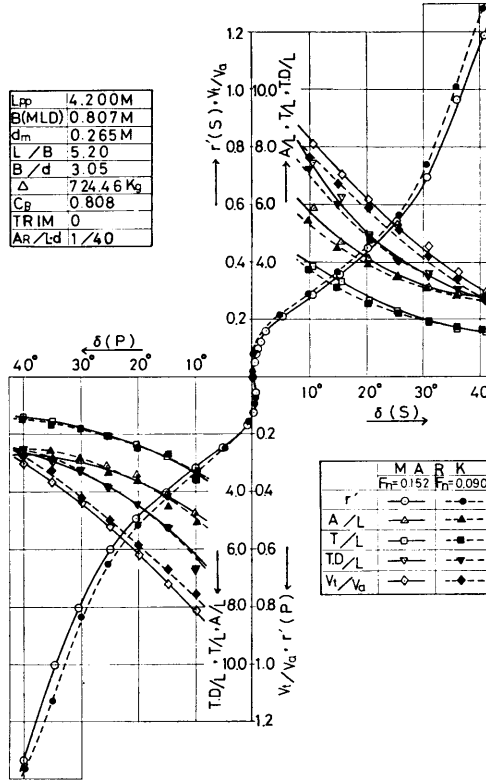


Fig-5. Manoeuvrability of Wide Beam Tanker (Stern Form: Original)

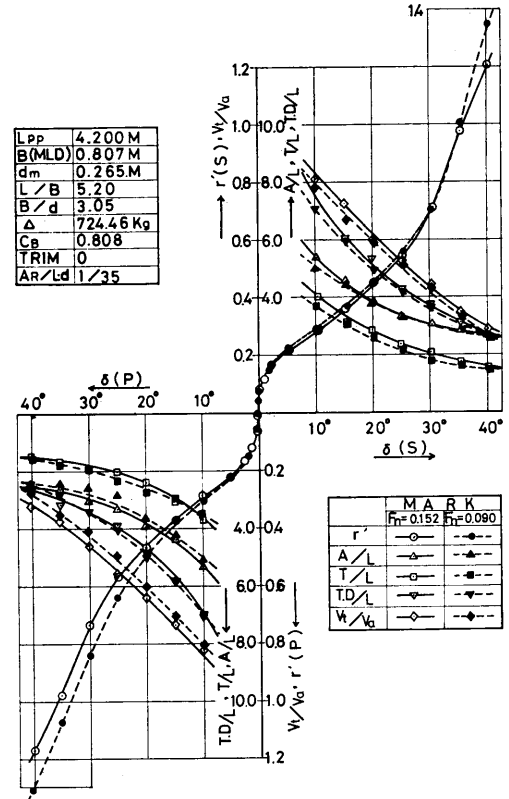


Fig-6. Manoeuvrability of Wide Beam Tanker (Stern Form: Original)

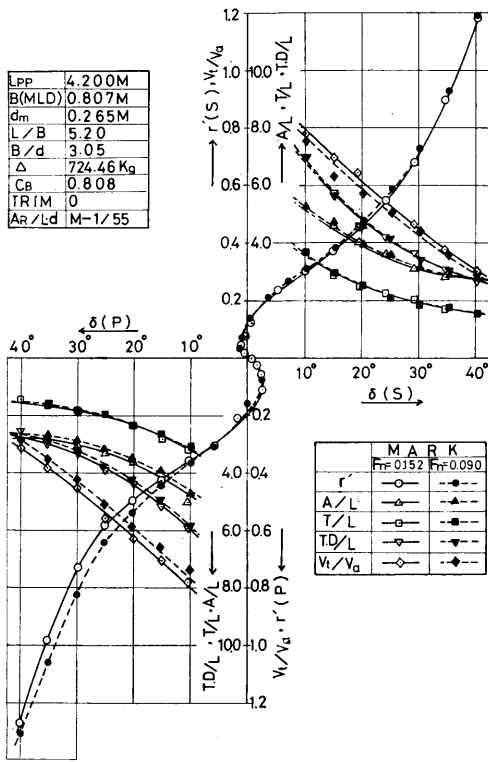


Fig-7. Manoeuvrability of Wide Beam Tanker  
(Stern Form: Original)

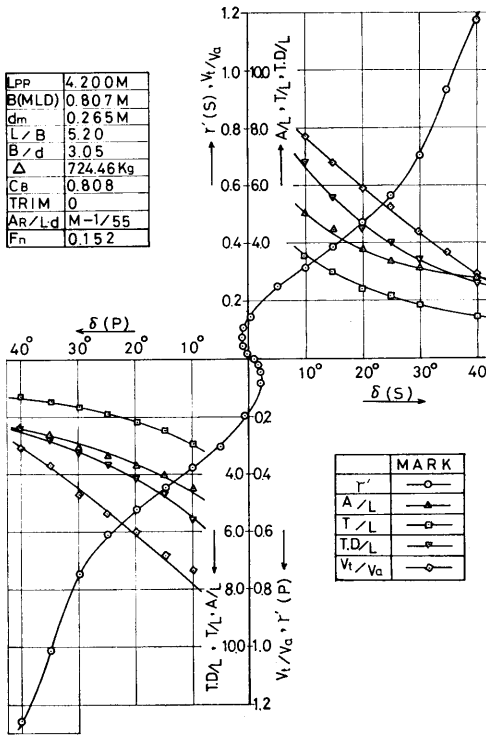


Fig-8. Manoeuvrability of Wide Beam Tanker  
(Stern Form: Clear Stern)

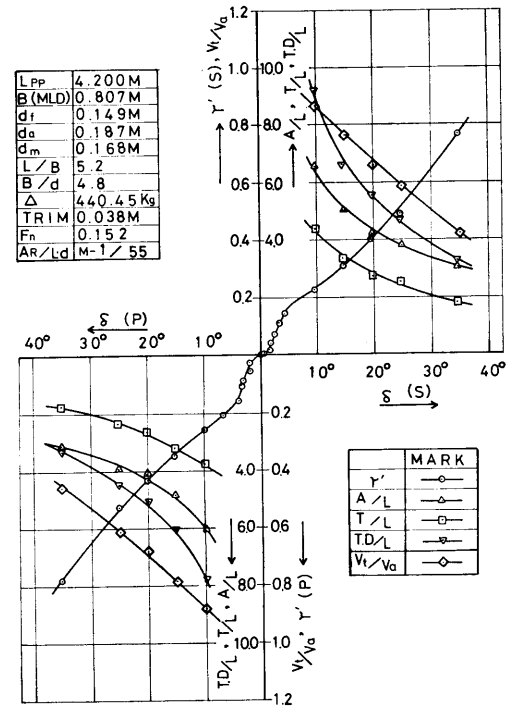


Fig-9. Manoeuvrability of Wide Beam Tanker  
(Stern Form: Original)

原型および Clear-stern で M-1/55 の舵を装備した場合、Fig-9 は、船尾を原型とし M-1/55 の舵を装備したバラスト状態での実験結果で、それぞれ舵角  $\delta$  と  $r'$ ,  $A/L$ ,  $T/L$ ,  $T \cdot D/L$ ,  $V_i/V_a$  の関係を示す。

4.1 舵面積の影響

4.1.1 針路安定性への影響

Fig-10 は、Fig-2~6 に示す  $\delta \sim r'$  曲線から、左舷 20 度から右舷 20 度の範囲を抽出し、各舵面積ごとに比較したものである。図中実線は高速、点線は低速の場合を示す。

同図から舵面積と、小舵角旋回時の  $\delta \sim r'$  曲線との関係について、大略の様相を把握することができる。

すなわち、高速、低速いずれの場合も、舵面積が  $A_R/L \cdot d < 1/50$  では  $\delta \sim r'$  曲線は舵角 0 度附近でループを描き、針路不安定であることを示す。しかし、子細に見れば舵面積の増大とともに徐々にループ巾は小さくなっていることがわかる。一方  $A_R/L \cdot d > 1/50$  の舵では、ループ巾に対する改善は著しく、1/40 ではループがわずかに認められる程度で、限界安定を示す  $\delta \sim r'$  曲線に近づき、1/35 では針路安定を示す  $\delta \sim r'$

曲線に移行する。

自航模型船による肥大船型の操縦性試験では、小舵角での  $\delta \sim r'$  曲線が安定化する現象がしばしば見られ、しかも小型模型船ほどあらわれ易いといわれている。<sup>1)</sup>

しかし Fig-10 で見るとおり、本船型による満載状態での実験結果には、小型模型船であるにもかかわらず高速、低速ともにそのような安定化する現象はあらわれていない。

これは本船の  $l_{cb}$  が、相当大きく船首側にあるため、船尾が比較的ファインな形となり、剝離が起り難くなったことが原因と考えられる。

Fig-11 は、舵面積と針路安定性との関係をさらに明確にするため、Fig-10 に示す  $\delta \sim r'$  曲線で、不安定ループ巾  $\Delta \delta^\circ (+\delta^\circ \sim -\delta^\circ)$  および舵角 0 度における高さ  $\Delta r' [(+r') \sim (-r')]_{\delta=0^\circ}$  と舵面積の関係を示したものである。

図は高速の場合であるが、低速についても Fig-10 から明らかのごとく、高速と同じ傾向を示すと見て良い。

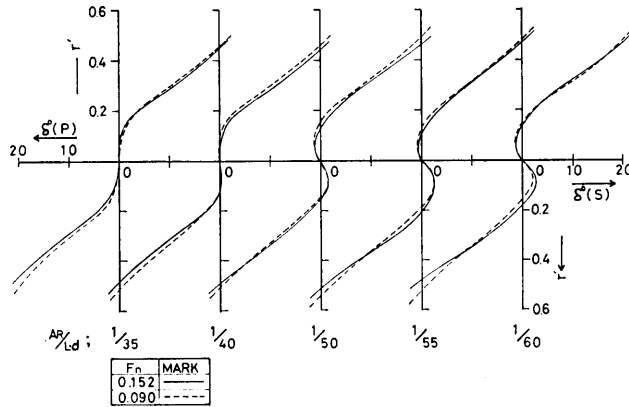


Fig-10. Effect of Rudder Area on  $\delta \sim r'$  Curve

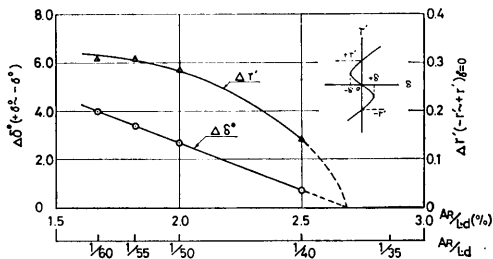


Fig-11.  $A_R/L \cdot d \sim \Delta \delta^\circ, \Delta r'$  Curve

同図によれば、舵面積と不安定ループ巾  $\Delta \delta^\circ$  とは、1本の直線であらわれ、互に逆比例の関係にある。

一方、不安定ループの高さ  $\Delta r'$  は図示のごとき曲線となり、目視によっても明瞭なごとき  $A_R/L \cdot d = 1/50$  を境として曲線の傾斜が異なる。すなわち、 $A_R/L \cdot d = 1/50$  の  $\Delta r'$  を基準として、1/60、1/40 それぞれの舵での  $\Delta r'$  を比較すると、前者との差 15% に対し後者では 50% と半減する。

$A_R/L \cdot d \sim \Delta \delta^\circ$  曲線を延長し横軸との交点を求め

ば  $A_R/L \cdot d = 2.7\% (1/37)$  である。すなわち舵面積比が  $1/37$  で限界安定となり、これ以上の舵面積では針路安定を示す  $\delta \sim r'$  曲線に移行することを示す。

#### 4.1.2 旋回性への影響

Fig-12, Fig-13 は、右舷および左舷に舵を取った際の舵面積と旋回径の関係を、舵角をパラメーターとして示したものである。

同図によれば、操舵方向に関係なく舵角が10度の場合、舵面積が  $A_R/L \cdot d < 1/50$  では旋回径にほとんど影響はない。しかし  $A_R/L \cdot d > 1/50$  では舵面積の増加にしたがい旋回径は、左舷の場合  $1/60$  に対し  $1/35$  は25%、右舷の場合は12%程度増大している。

それ以上の舵角では、同じ傾向をとりながらも、舵角が大きくなるにしたがい、舵面積の増加による旋回径の差は暫減する。

左25度以上の大舵角では、 $1/60$  と  $1/35$  の舵面積に対する旋回径はほとんど等しく、 $1/50$  付近で若干小さい目になる。しかしその差は高速の場合に2%程度であり、低速ではさらに小さい。一方、右舷の場合は高速、低速ともに、舵面積に関係なく旋回径はほぼ一定である。

従来より1軸肥大船型についていわれているように、舵面積を順次大きくした場合、ある舵面積で旋回径が最小になる、すなわち旋回性に対する最適舵面積は<sup>2)</sup>、上述のごとく巾広船型については認められない。

1軸船の旋回性能は、プロペラが船の進行方向に向けて右回りのときには、一般に左舷旋回の方が優る。

Fig-12, 13 を比較すると全般的な傾向としては上述のとおりである。しかし舵角が10度で右舷、左舷の旋回性能を比較すると、 $A_R/L \cdot d < 1/50$  の場合、後者の  $D/L$  が12%程度小さいのに対し、 $A_R/L \cdot d > 1/50$  では、その差は舵面積の大きさに逆比例して暫減し、 $1/35$  では数%弱となる。

このような傾向は、それ以上の舵角でも同じであるが舵角の増大にともない、旋回性能の差異は僅少となるように、舵面積と舵角によって若干の開きがある。

従来、 $F_n = 0.20$  以下の船速では旋回性能に対する速度影響はないといわれてきた。本実験結果でも右舷についてはその影響は小さい。しかし左舷の場合は20度以上の大舵角で、高速に対し低速の  $D/L$  は7%余り小さく若干の速度影響が認められる。

Fig-14, 15 は、右舷および左舷を取った際の  $A_R/L \cdot d \sim A/L$  の関係を、Fig-16, 17 は同様に  $A_R/L \cdot d \sim T/L$  の関係をそれぞれ舵角をパラメーターとして

示す。

大舵角操舵の際の旋回縦距は旋回径の場合と同じ傾向を示す。

しかし15度前後の操舵に対する旋回縦距は、旋回径の場合と異なり舵面積に関係なくほぼ一定である。

すなわち、 $A_R/L \cdot d > 1/50$  とすることは、針路安定性とともな追縦性をも大いに改善することを示す。

旋回横距と舵面積の関係は、旋回縦距と良く似ている。

#### 4.1.3 旋回中の速度低下

Fig-18, 19 は、右舷および左舷での、直進時の船速 ( $V_a$ ) に対する定常旋回中の船速 ( $V_t$ ) の低下率  $V_t/V_a$  を、舵角をベースにして示す。図中下方の横軸と、左側の縦軸はそれぞれ低速に対する座標軸である。

同図によると、大舵角における  $\delta \sim V_t/V_a$  曲線は舵面積に関係なくほぼ1本の曲線であらわされ、さらに右、左舷ともに40度の舵角における旋回中の船速は、直進時の30%弱まで低下している。

一方、20度以下の舵角では、舵面積の大きい方から小さい方へ順次速度低下が大きくなっている。

従来より旋回中の速度低下は舵面積によって変化するというわれている<sup>2)</sup>。図はこれと異なった結果を示す。

旋回中の速度低下は、主として斜航による抵抗増加、遠心力の抵抗成分および舵の抵抗によって起こる。

肥大船型では、前項で述べたごとく、大舵角における旋回径は舵面積に関係なく一定であり、したがって偏角一定であることから、斜航と遠心力の影響は舵面積に関係ないと見て良い。一方、舵角の小さい場合には、旋回径は舵面積の大きさに比例し、したがって偏角は舵面積の小さい方が大きいと見られること等から、本船型の速度低下は、舵の抵抗以外の要素によって支配される可能性が強いと考えられる。しかし舵力、偏角等の計測を行っていないので、確認はしていない。

Fig-20, 21 は、右旋回、左旋回における旋回径 ( $D/L$ ) と速度低下 ( $V_t/V_a$ ) の関係を示す。

右旋回では  $D/L < 4.0$  のように運動の大きい場合には、旋回径と速度低下は舵面積、船速に関係なく1本の曲線であらわされる。しかし  $D/L > 4.0$  では船速により速度低下率が異なり、低速の方が高速よりも小さく、かつ旋回径が大きくなるほどその差は大きくなっている。またこの傾向は左舷の場合も同様である。

#### 4.2 船尾形状の影響

Fig-22 は、模型船に舵を装備しないで  $F_n = 0.108$  の速度で自航させた場合の自航軌跡を示す。実線は船

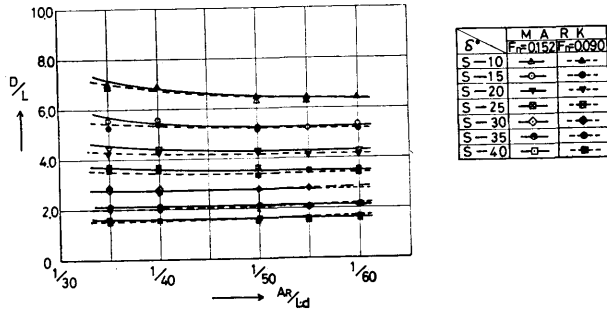


Fig. 12. Effect of Rudder Area on Turning Diameter (Starboard)

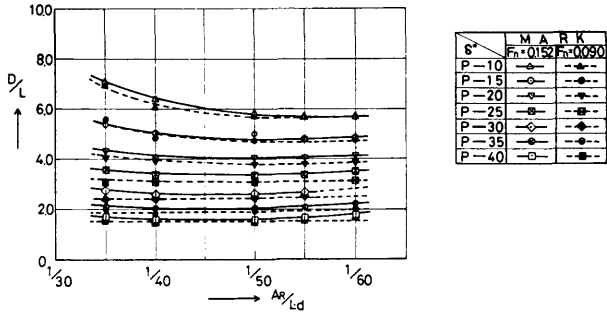


Fig. 13. Effect of Rudder Area on Turning Diameter (Port)

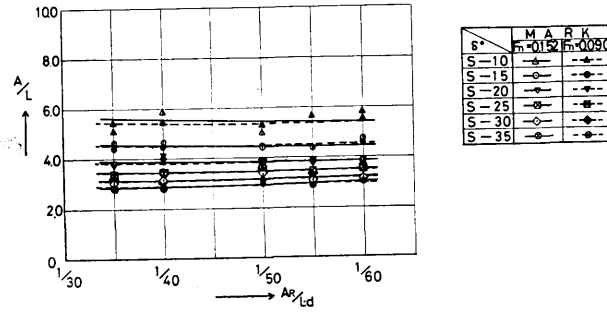


Fig. 14. Effect of Rudder Area on Advance (Starboard)

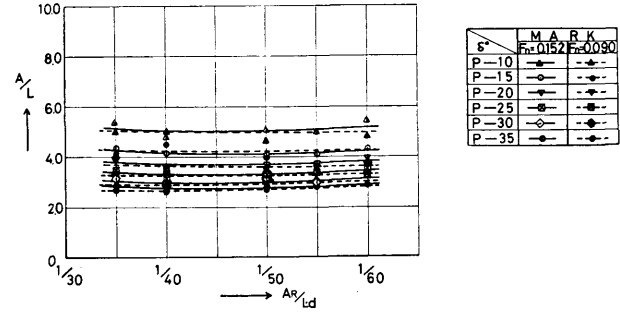


Fig. 15. Effect of Rudder Area on Advance (Port)

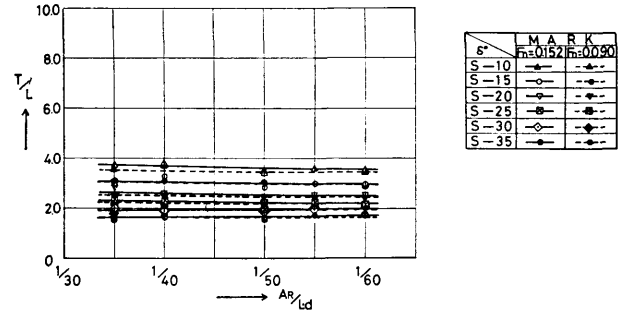


Fig. 16. Effect of Rudder Area on Transfer (Starboard)

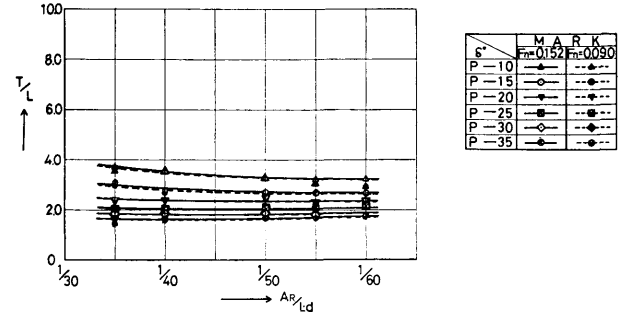


Fig. 17. Effect of Rudder Area on Transfer (Port)



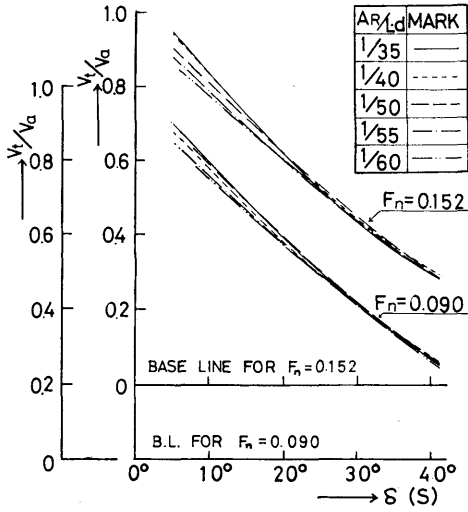


Fig-18. Speed Reduction in Turning (Starboard)

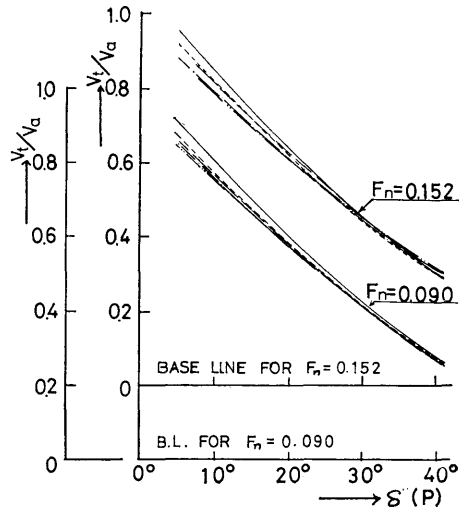


Fig-19. Speed Reduction in Turning (Port)

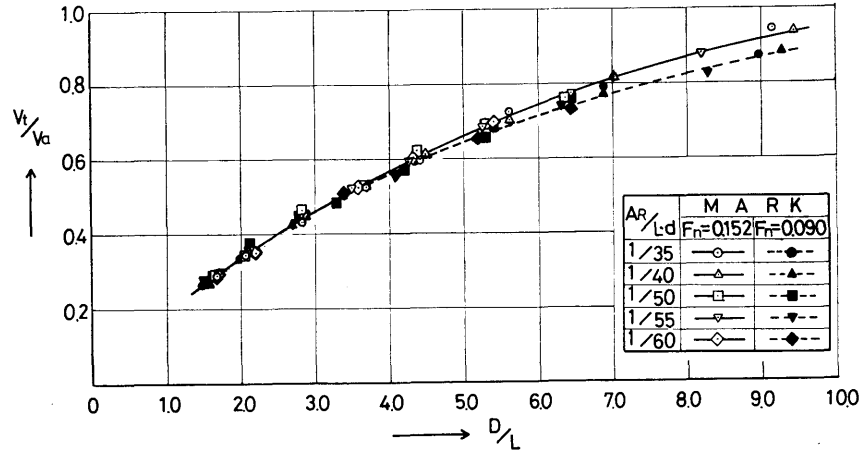


Fig-20. Speed Reduction in Turning (Starboard)

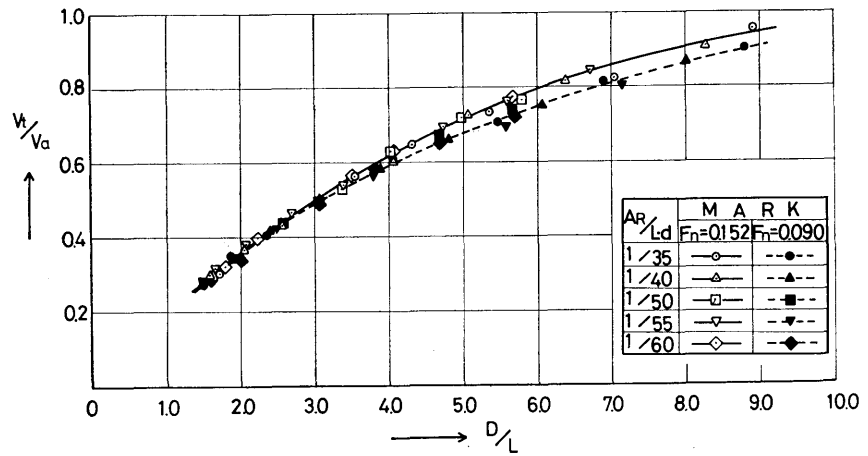


Fig-21. Speed Reduction in Turning (Port)

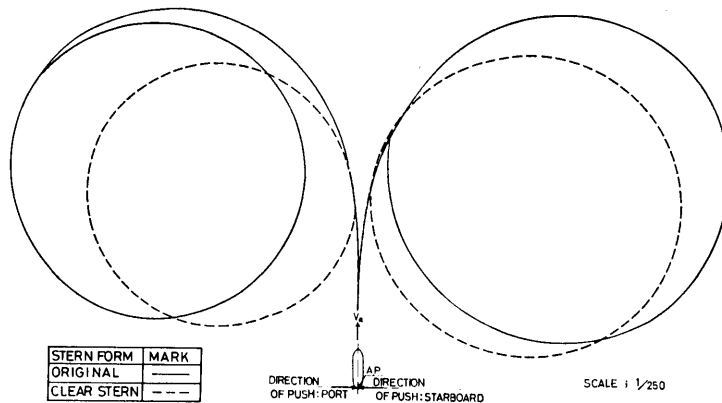


Fig-22. Turning Path (Without Rudder)

尾形状が原型の場合、点線は Clear-Stern の場合の軌跡である。

舵なし自航試験では、模型船を静かに発進させると、ゆるやかな左旋回運動を始める。しかし旋回が定常になるまでの助走距離が長く、実験水面で定常旋回まで計測を行うことが不可能になったので、やむなく、A・Pの位置で右、左回頭を起こさせる力を、模型船の発進とほとんど同時に与えた。このようにしても運動が十分に発進し定常になれば、静かに発進させた場合最終的に到達する旋回運動と全く同じである。

その結果を Table-5 に示す。

Table-5.

STERN FORM	DIRECTION OF FORCE	$F_n$	$D$ (m)	$D/L$
ORIGINAL	LEFT	0.108	29.700	7.071
	RIGHT	0.108	33.850	8.060
CLEAR STERN	LEFT	0.108	26.875	6.399
	RIGHT	0.108	30.962	7.372

船尾形状を原型から Clear-Stern にするために切り落とした dead-wood の側面積は、水中側面積の 0.2% である。しかし、そのために旋回径は原型に対し Clear-Stern では 9% 程度減少している。

舵なしでの旋回運動を、M-1/55 の舵をつけた場合と比較すると、原型では左旋回は左舵 5 度、右旋回は右舵 6 度に相当し、Clear-Stern では前者が左舵 6 度、後者が右舵 7 度に相当する。これは従来の肥大船型で舵なしの旋回とくらべ相当小さい。

すなわち、本船型の船体自身の旋回抵抗は、従来の肥大船型にくらべ意外に大きい。

船尾形状を原型、Clear-Stern としそれぞれ M-1/55

の舵を装備して行った操縦性試験結果のうち、 $\delta \sim r'$  曲線を  $r' = 0$  の点を  $\delta = 0$  に合わせ重ねたものを Fig-23 に示す。

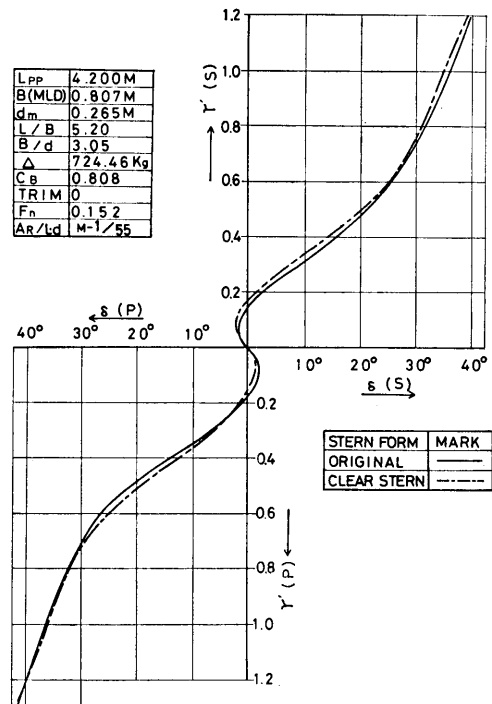


Fig-23. Effect of Stern Form on Turning Characteristics

dead-wood を切り落とした場合、針路安定性に対する影響を見ると、不安定ループ巾  $18^\circ$ 、高さ  $\Delta r'$  もも原型とほとんど差がない。上述のごとく、本船は大型

肥大船型としては船体の旋回抵抗が比較的大きく、かつ装備した舵が 4.1.1 で述べたように、針路安定性に対する効果の少ない部類である等が原因ではないかと考えられるが確認はしていない。

旋回性は Clear-Stern が若干すぐれるが、その差は 35 度の大舵角で  $r'$  の値が、原型にくらべ 3% 大きい程度である。

### 4.3 バラスト状態における操縦性能

Fig-24 は、原型船尾で、 $M-1/55$  の舵を装備した満載、バラスト両状態における  $\delta \sim r'$  曲線を、 $r'=0$  の点を  $\delta=0$  に合わせて重ね、比較したものである。

図中実線は満載状態、点線はバラスト状態の結果を示す。

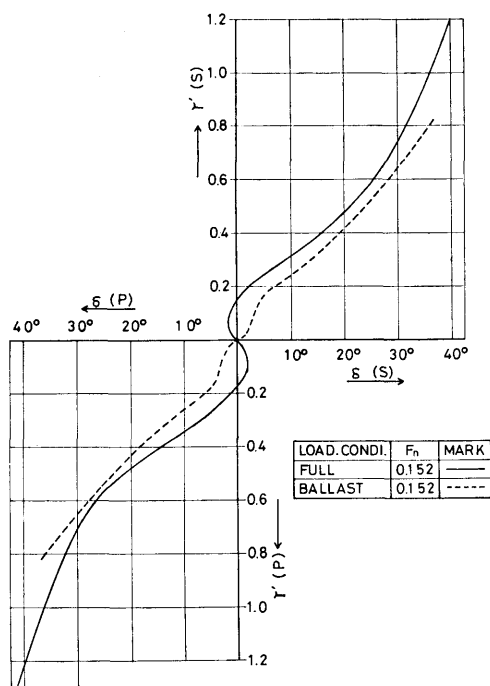


Fig-24. Effect of Loaded Condition on Turning Characteristics  
(Stern Form; Original,  $A_R/L \cdot d = M-1/55$ )

4.1.1 で述べたごとく、満載状態では  $\delta \sim r'$  曲線上小舵角での安定化は見られないが、バラスト状態では明らかに安定化する現象があらわれる。

小舵角旋回時の  $\delta \sim r'$  曲線に、安定化する現象があらわれるか否かには、船尾形状の微妙な変化が影響をおよぼす<sup>14)</sup>。

本船の場合、バラスト状態では、Table-1 に示す船

尾トリムがあり、そのため  $l_{ob}$  を前に移した効果が相殺され、舵尾剝離が促進されたことによる異常現象が原因と考えられる。

大舵角旋回における旋回性の低下は、浅吃水による舵力の低下と、舵尾トリムの影響によるものであろう。

## 5. む す び

自航模型船により、巾広船型の操縦性能を調べた。舵面積ならびに船尾型状が操縦性に与える影響について、得られた結果のうち主なものを挙げると、

1.  $A_R/L \cdot d = 1/60 \sim 1/35$  の範囲で舵面積を増減した場合、 $A_R/L \cdot d > 1/50$  の範囲では針路安定性、追従性ともにその改善に効果が期待できる。しかし  $A_R/L \cdot d < 1/50$  の範囲での効果は少ない。
2. 従来より 1 軸肥大船型についていわれている。旋回性に対する最適舵面積は、巾広船については認められない。
3. 旋回中の速度低下は大きく、40 度の大舵角旋回時では、直進速度の 30% 前後まで低下する。
4. 船尾 dead-wood を三角形に切り落とした場合、操縦性能への影響は本実験例では小さい。
5. 満載状態における操縦性試験結果では、 $\delta \sim r'$  曲線上小舵角付近で、安定化する現象はあらわれないが、バラスト状態ではあらわれる。

この安定化現象は、本船型の場合  $l_{ob}$  の位置と関係があると考えられる。

巾広船型の操縦性能については、舵面積のみならず、 $L/B$  についてもさらに範囲を広げて、系統的な調査研究を行う必要がある。

終りに本研究の遂行あたっては、当部森信篤室長、松元主任研究官のご協力を載いた。また実験には住友重機械工業株式会社、小保方準氏のご協力を載いた。ここに衷心より感謝の意を表します。なお、この研究の一部は住友重機械工業株式会社よりの受託によって行ったものであることを附記します。

## 参 考 文 献

- 1) 岡本 洋, 玉井浩正, 鬼木博文; “肥大船型の操縦性試験例と模型船/実船の相関について” 日本造船学会論文集第 131 号 (昭和 47 年 6 月)
- 2) 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” 造船協会論文集第 105 号 (昭和 34 年 7 月)
- 3) H. Shiba; “Model Experiments about Manoeuvrability and Turning of Ship” D.T.M.B Report 1461, 1960.
- 4) 第 2 回操縦性シンポジウム・テキスト, 1970.10