

4軸コンテナ船の操縦性能について

森 信 篤*・森 政 彦*

On the Manoeuvrability of a Container Ship with Quadruple Propellers

By

Nobuatsu MORI and Masahiko MORI

Abstract

In order to investigate the effect of approach speed upon the manoeuvrability, the manoeuvring test was carried out using a model of container ship with quadruple propellers.

From the results, it was made clear that the effect of approach speed upon the manoeuvrability was considerably large, even if the approach speed was less than 0.35 in Froude's Number, and it was caused mainly by the heel of the model in turning.

In addition, the effect of initial heel and the number of rudders upon the manoeuvrability and differences of the manoeuvrability between the above-mentioned container ship with quadruple propellers and that of container ships with single, twin and triple propellers, which were previously tested and reported by one of the authors were discussed in this report.

1. はじめに

先に我々は1~3軸の高速コンテナ船の操縦性能について報告したが¹⁾、今回更に4軸の超高速コンテナ船の模型船を用いて、各種の状態での操縦性試験を行い、操縦性能に及ぼす速度影響を主眼に、初期横傾斜の影響、舵数の影響等について調査研究すると共に、前述の1~3軸のコンテナ船の試験結果と比較することにより軸数の影響についても明らかにすることができたので、とりまとめてここに報告する。

2. 供試模型船等について

今回使用した模型船は垂線間長5.0mの木製で、その主要寸法等を実船のものと対比してTable 1に、また正面線図と船首尾形状図の概要をFig. 1に示す。

Table 1に示すように試験時のGMの値は一般の

船のGMの値に比較してかなり小さい。この値は本試験より先に行われたこの模型船を用いての耐航性試験との対比、および先に報告した1~3軸のコンテナ船のGMの決定の経緯等を考慮して決められたものである。しかしながらGMをこのような値にしたた

Table 1 Principal Dimensions

	SHIP	MODEL
HULL		
M. NO.		141
LENGTH P.P. L(m)	300.000	5.000
BREADTH MLD. B(m)	40.000	0.667
DRAFT d(m)	12.000	0.200
VOLUME OF DISPT. ∇ (m ³)	84161.0	0.392
BLOCK COEFFICIENT C _b	0.588	0.588
LONGITUDINAL C.B. l_{cb} (m)	-5.410	-0.0902
HEIGHT OF C.G. KG(m)	16.390	0.273
METACENTRIC HEIGHT GM(m)	1.500	0.025
RADIUS OF GYRATION K _{yy}	0.24L	0.24L
ROLLING PERIOD T _r (sec)	25.0	3.23
A _R /L _d (INCLUDING HORN)	1/50.5	1/50.5
PROPELLER		
DIA. D(m)	6.900	0.115
PITCH RATIO	1.50	1.50
EXPANDED AREA RATIO	0.70	0.70
BOSS RATIO	0.18	0.18
BLADE THICKNESS RATIO	0.05	0.05
ANGLE OF RAKE	0	0
NUMBERS OF BLADES	6	6
NUMBERS OF PROPELLERS	4	4
DIRECTION OF TURNING	OUTWARD	OUTWARD

* 運動性能部

原稿受付：昭和53年7月17日

M. NO.	141
L	5.000 m
B	0.667 m
d	0.200 m
L/B	7.50
C _a	0.588

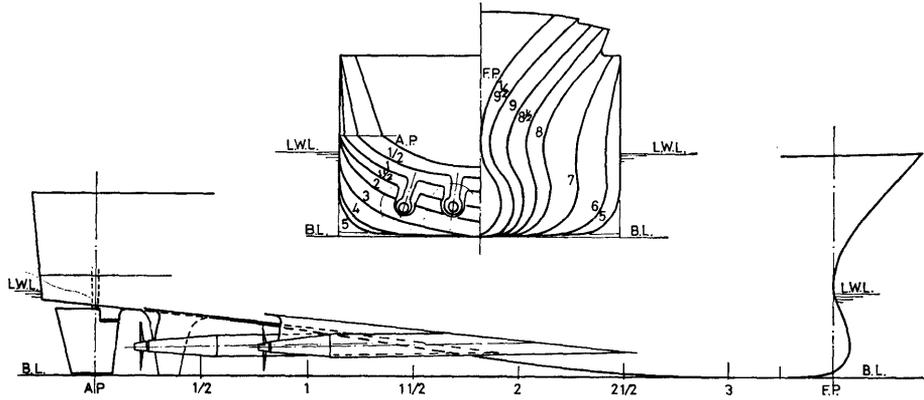


Fig. 1 Body Plan and Contour of Bow and Stern

めに後述のように試験結果に種々の影響が出ている。

また船型は船首側は先に報告した1~3軸のコンテナ船と比較して大差はないが、船尾側はかなり異なっている。すなわち船尾船底はS.S.3のやや船尾側の点より、船尾端で満載喫水の約9割の点までほとんど直線的に切れ上っていて、そこにボッシングが船体中心線面に対して内側の2軸は7.0°、外側の2軸は18.0°の角度で取り付けられている。更に内側の推進器よりやや船首側で船体中心線面上に、面積比 $A_s/L \times d$ が1/80.3のドッキングスケグがついている。(A_sはドッキングスケグの側面積)従って水中側面積の重心位置は先に報告した1~3軸のコンテナ船と比較してやや船首側に寄っている。

舵は1舵のときはホーン付きで、舵面積比 $A_R/L \times d$ が1/50.5のものを用い(A_Rは舵の側面積)、2舵のときはホーンは付けず、舵の高さは1舵のときと同じとし、長さのみを変えて2舵の合計の舵面積比が1舵のときと同様に1/50.5になるようにしたものを、内側推進器の中心の後方に垂直に装備した。

4つの推進器は、1台の直流分巻電動機の出力を1台の減速歯車を介して配分し、同一回転数で駆動した。

試験はTable 2に示すような諸元の組合せについて行った。いずれの場合も満載状態のみとし、試験の種類は旋回試験とスパイラル試験に、一部逆スパイラル試験を加え、試験の実施要領は当部常用の方法によった。

なお供試模型船は特別研究「大型超高速コンテナ船

(64)

Table 2 Combination of Rudders, Skeg and F_n

RUDDER	SKEG	F_n			
		0.142	0.190	0.285	0.332
SINGLE	WITH	○	○	○	○
	WITHOUT	—	—	○	—
TWIN	WITH	—	○	○	○

Remark :
 F_n above mentioned correspond to 15Kt, 20Kt, 30Kt and 35Kt for ship.

の開発研究」の耐航性能の研究に使用したものと同一であるが、その船型、特に船尾形状は、多軸船の船尾形状の研究で開発されたM.S. No. 192²⁾を採用している。

3. 試験結果と考察

Table 2に示す諸元の組合せについて操縦性試験を行って求めた無次元角速度 r' と舵角 δ との関係を示すいわゆる $r'-\delta$ 曲線のうち、1舵でスケグ付きのものをFig. 2~5に、2舵でスケグ付きのものをFig. 6~8に、1舵でスケグなしのものをFig. 9にそれぞれ示す。更に縦距A、横距T、旋回圈TDのそれぞれと船長Lとの比 A/L 、 T/L 、 TD/L 及び旋回中の速度 V_i と直進速度 V_a との比 V_i/V_a のそれぞれと δ との関係を示すいわゆる A/L etc- δ 曲線のうち、1舵でスケグ付きのものをFig. 10~13に、2舵でスケグ付きのものをFig. 14~16に、1舵でスケグなしのものをFig. 17にそれぞれ示す。

なおこれらの図の中で、 r' や A/L 等の δ に関す

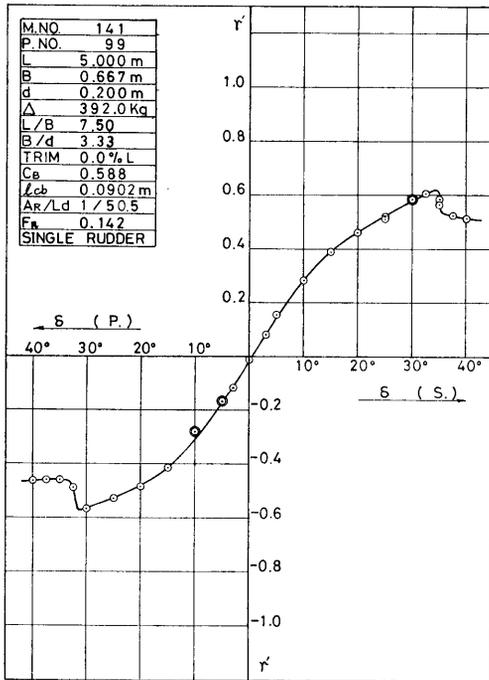


Fig. 2 $r' - \delta$ Curve, Single rudder $F_n=0.142$

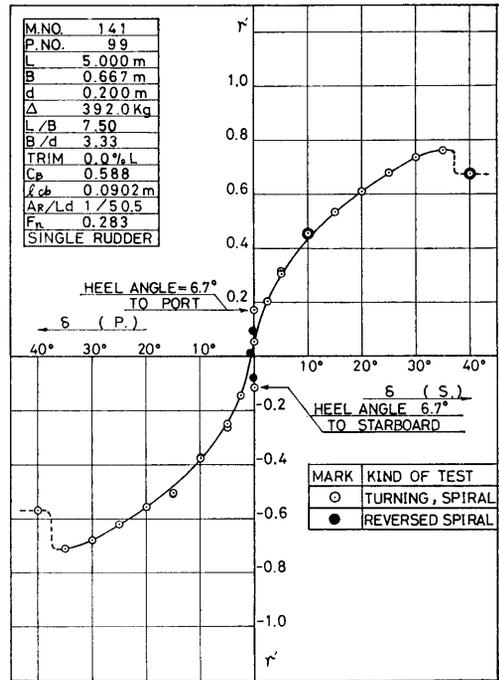


Fig. 4 $r' - \delta$ Curve, Single rudder $F_n=0.283$

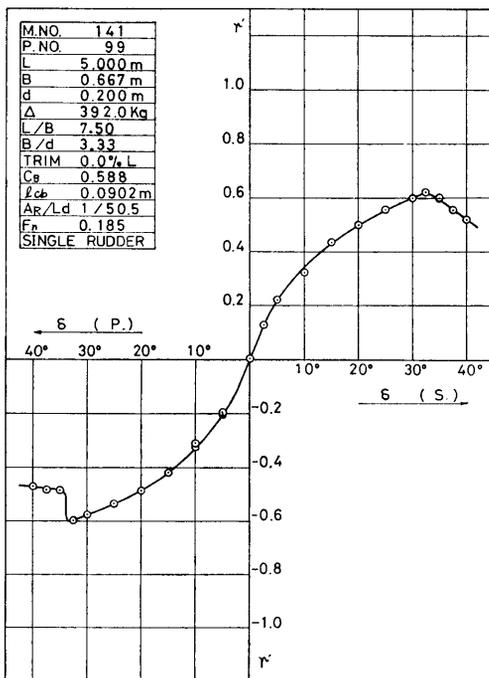


Fig. 3 $r' - \delta$ Curve, Single rudder $F_n=0.185$

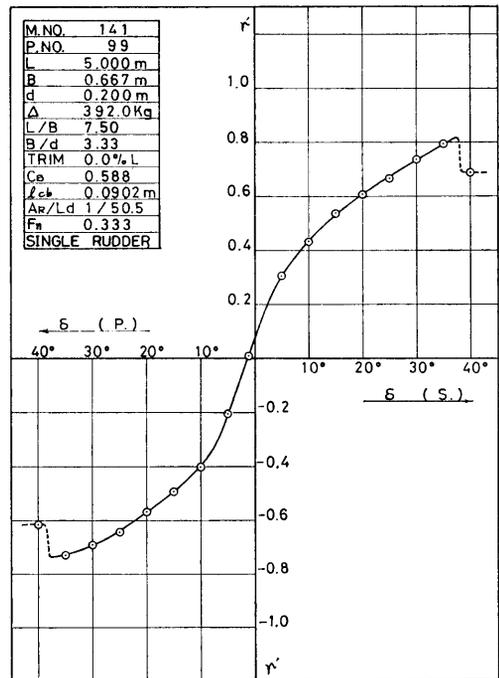


Fig. 5 $r' - \delta$ Curve, Single rudder $F_n=0.333$

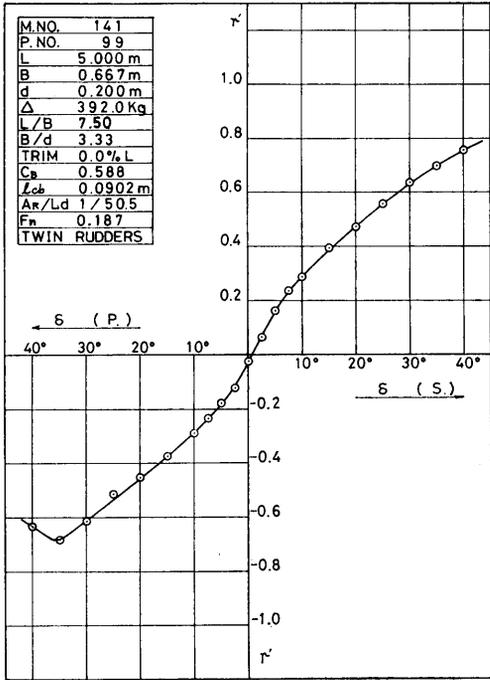


Fig. 6 $r' - \delta$ Cu rve, Twin rudders $F_n=0.187$

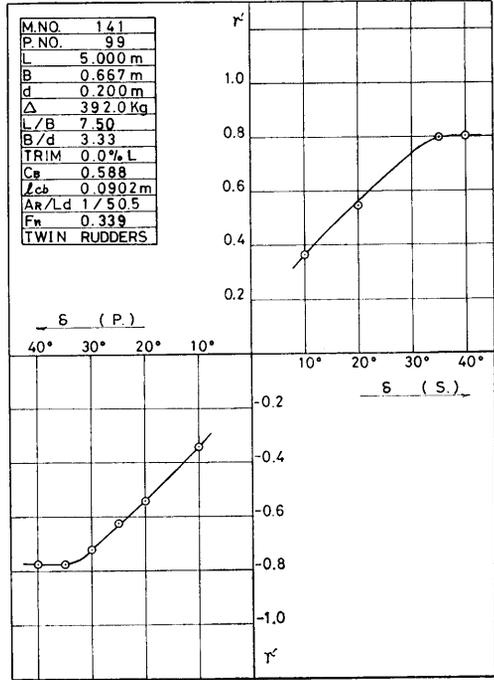


Fig. 8 $r' - \delta$ Curve, Twin rudders $F_n=0.339$

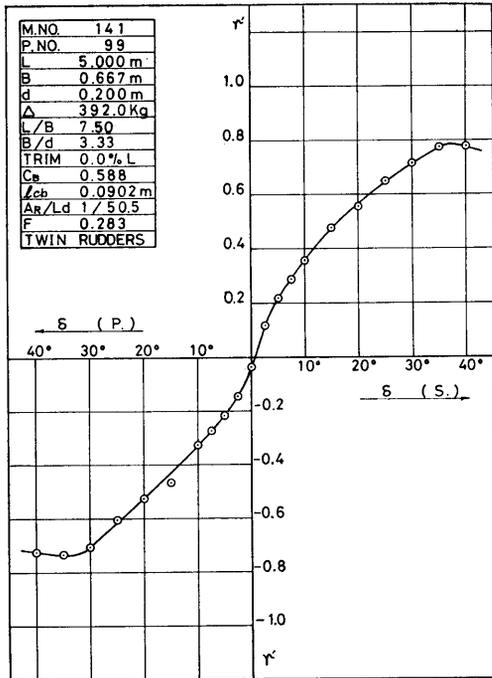


Fig. 7 $r' - \delta$ Curve, Twin rudders $F_n=0.283$

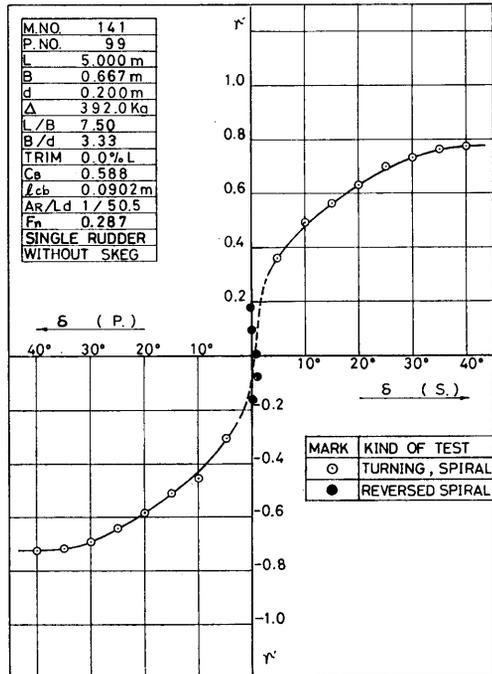


Fig. 9 $r' - \delta$ Curve, Single rudder without skeg, $F_n=0.287$

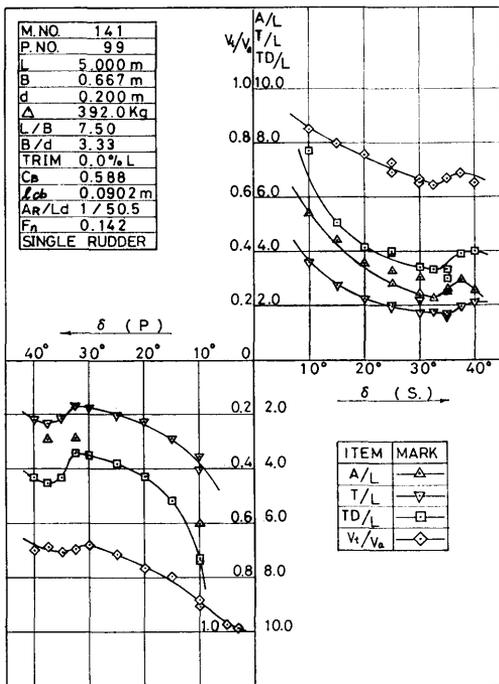


Fig. 10 A/L etc- δ Curves, Single rudder
 $F_n=0.142$

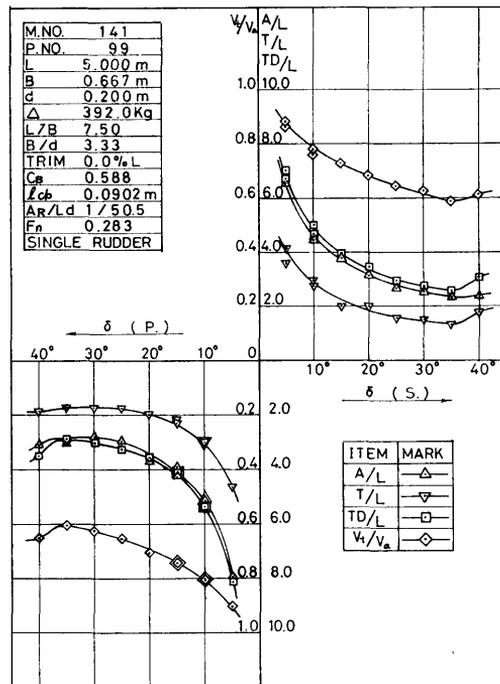


Fig. 12 A/L etc- δ Curves, Single rudder
 $F_n=0.283$

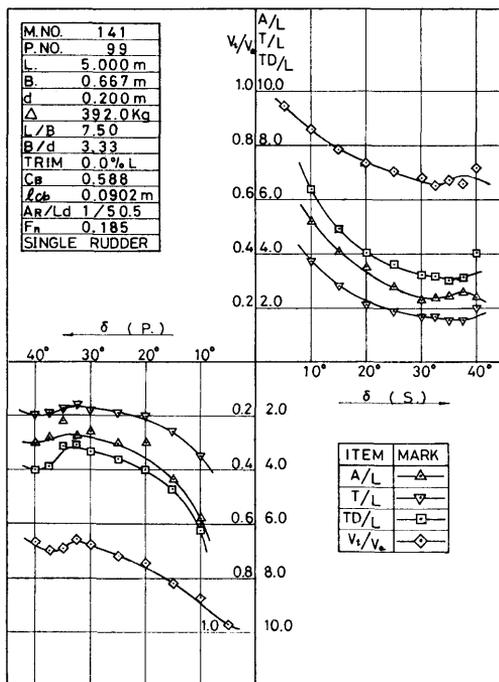


Fig. 11 A/L etc- δ Curves, Single rudder
 $F_n=0.185$

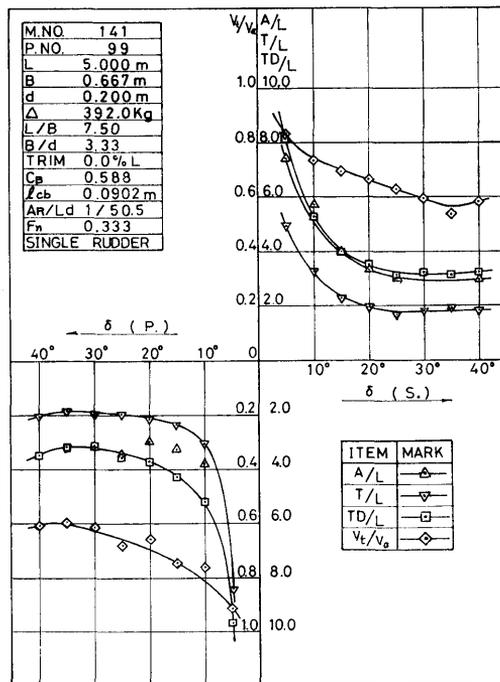


Fig. 13 A/L etc- δ Curves, Single rudder
 $F_n=0.333$

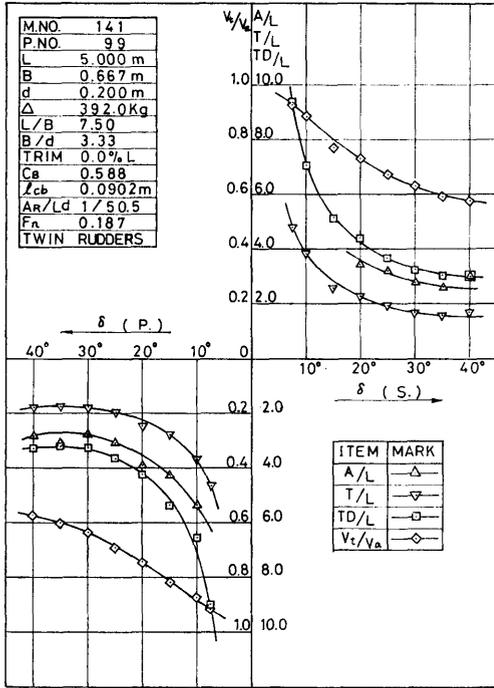


Fig. 14 A/L etc- δ Curves, Twin rudders
 $F_n=0.187$

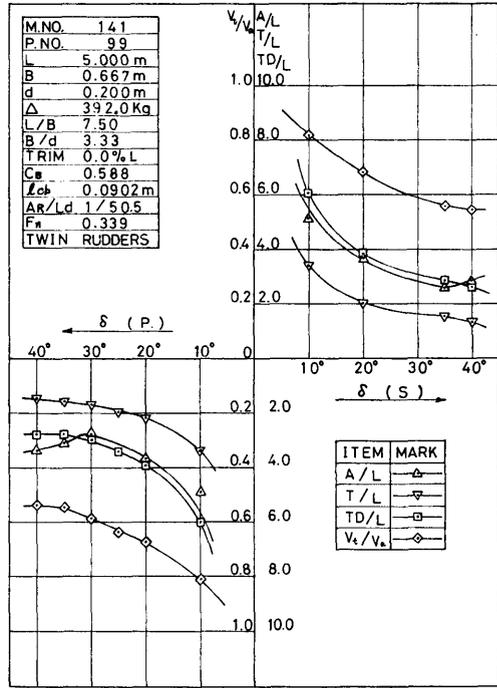


Fig. 16 A/L etc- δ Curves, Twin rudders
 $F_n=0.339$

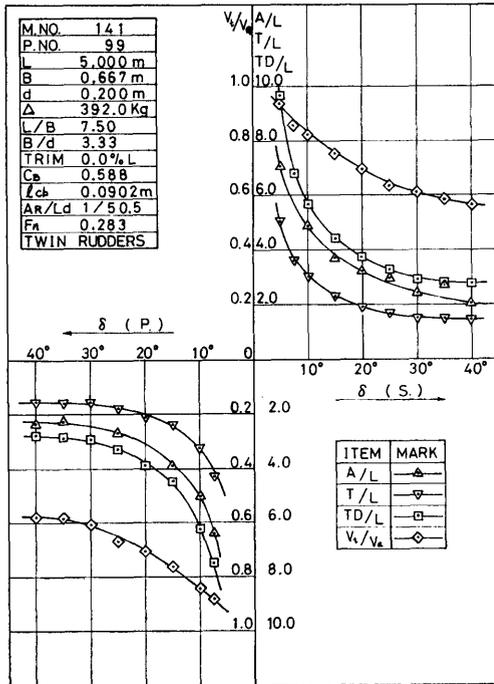


Fig. 15 A/L etc- δ Curves, Twin rudders
 $F_n=0.283$

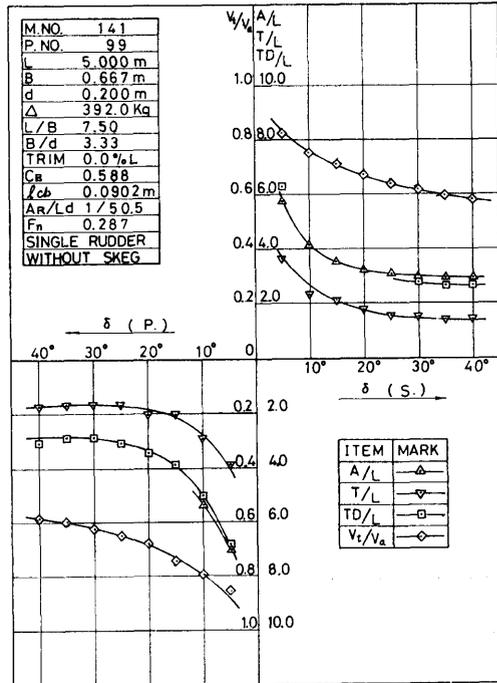


Fig. 17 A/L etc- δ Curves, Single rudder
without skeg, $F_n=0.287$

る変化の様子に若干の非対称性がみられるものがあるが、本船型は左右舷対称で本質的に非対称性を生ずる原因は考えられない。これはむしろ屋外水槽での実験のため天候の影響を受け易いことと、長期間にわたる実験のために生ずる模型船や模型推進器の多少の変形や舵、スケグ等の取り付け誤差等の二次的原因によるものと考えられる。

3.1 大舵角での r の減少について

1 舵でスケグ付きの場合舵角が $30^\circ \sim 35^\circ$ をこすと r' が急激に減少している。図中 F_n が 0.142 と 0.185 のときは舵角 30° 以上では舵角間隔を 2.5° として試験をしたので、曲線の変化の様子も比較的是っきりしているから実線で結んであるが、其の他のときは舵角間隔は 5.0° で試験をしたし、また r' が急激に変化した後の点数も少ないので、前者に準じた形で一応点線で結んである。

2 舵でスケグ付きの場合は舵角が $30^\circ \sim 35^\circ$ をこすと $F_n = 0.187$ の右舷旋回の場合を除き r' は緩く減少している。

更に 1 舵でスケグ無しの場合には、 F_n が 0.287 についてのみであるが、舵角が 30° をこえても r' が減少するような傾向は見られない。

また A/L 等も速度により多少の差異はあるが舵角 30° 以上で r' の変化に対応して、1 舵スケグ付きのときは急に大きく変化し、2 舵スケグ付きのときは緩くわずかに変化し、1 舵スケグなしのときは特に変化は認められない。

このように 1 舵スケグ付きのときのみ舵角が 30° をこすと r' が急激に減少し、 A/L 等もこれに応じて急変する原因は、スケグに作用する流体力の計測や船尾船底部の流線の観測等を行っていないので断定はしがたいが、実験中の航走の状態や舵力計測の記録等から総合的に判断して、次のように考えている。すなわち舵角が小さいうちはスケグの偏角も小さく、従ってスケグ後方の流れは余り乱れてないが、舵角が大きくなるとスケグの偏角も大きくなり、まずスケグが剝離をおこすか、またはこれに近い状態になり、従ってスケグ後方の流れは著しく乱れる。この影響をうけて舵の剝離が促進されることが主な原因ではないかと考えている。

3.2 初期傾斜の影響について

Fig. 4 で横傾斜角左(右)に 6.7° と表示してある点は、初期横傾斜を左(右)に 6.7° と与えた状態で、舵角を 0° として航走させたときの r' の値を示す。本

船型では左(右)にこの程度の横傾斜を与えても、右(左)、すなわち傾斜方向と反対の方向に、かなり旋回し易くなることを示している。この傾向は先に当部で大傾斜時の旋回性を調査したときに得られた結果⁹⁾と同じ傾向を示している。

3.3 旋回中の横傾斜について

Fig. 18 は 1 舵スケグ付きの場合で、旋回がほぼ整定した後の平均横傾斜角 ϕ と舵角 δ との関係を速度をパラメーターにして示したものである。本船型はやせ形で KG は大きく GM は小さいけれども、乾舷はかなり大きいために、同じ速度では δ のある値までは横傾斜角は急増しているが、それ以上では横傾斜角の増大は漸次緩くなり、 δ が約 $25^\circ \sim 30^\circ$ をこすと逆に横傾斜角は若干減少している。例えば F_n が 0.283 の場合、右舷 5° 旋回では横傾斜角は左舷に約 11° と急増しているが、右舷 25° 旋回では横傾斜角は左舷に約 14° でさほど増大していない。更に右舷 40° 旋回では横傾斜角は左舷に約 12° と減少している。

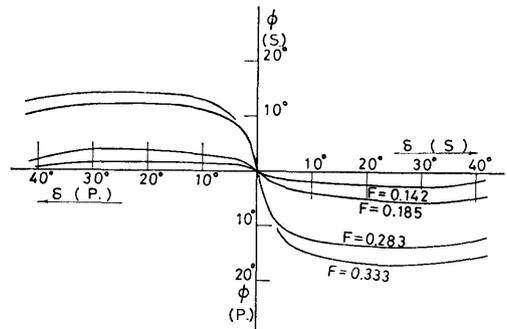


Fig. 18 Heel Angle in Turning
(Single Rudder with Skeg)

また同じ舵角に対しては、例えば右舷 25° では F_n が 0.142, 0.185, 0.283 および 0.333 に対して、 ϕ は 2.5° , 5.2° , 13.7° および 17.0° であり、 F_n の増大による ϕ の増大の割合は F_n が 0 より 0.142 まではかなり小さいが、 F_n が 0.142 をこすとこの割合は漸次増大し、 F_n が 0.283 をこすと減少してゆく。他の舵角でも同様な傾向を示している。

2 舵スケグ付きの場合の旋回中の平均横傾斜角は 1 舵スケグ付きの場合に極く似た傾向を示している。

3.4 逆スパイラル試験結果について

Fig. 4 の小舵角の範囲で、白丸はスパイラル試験の結果を示し、黒丸は逆スパイラル試験の結果を示しているが、後者の方が若干針路安定性が悪くなっている。これは本船型のように旋回により非常に横傾

斜し易く、かつ旋回性の良い船で、発振法による逆スパイラル試験を行うと、最初の操舵により、設定した無次元角速度 r'_1 に対応する横傾斜角 ϕ_1 よりかなり大きい横傾斜をする。次に反転操舵をしても、横傾斜が十分に戻りきらないうちに次の反転操舵に移る。このようにして ϕ_1 より大きい横傾斜角を中心に横揺れしながら反転操舵を繰り返すことになる。これも十分長い時間をかければ構揺れの中心は漸次 ϕ_1 に収束するであろう。しかし今回は水槽の大きさからくる制約のために、十分な時間をかけられずに試験を終了しているために、得られる平均舵角は横傾斜の影響により r'_1 に対応する舵角より若干小さい値となり、上記のような結果になったものと判断される。なお Fig. 4 に示す逆スパイラル試験のときの設定角速度 r' に対する平均横傾斜角は、スパイラル試験のときの同じ r' に対する平均横傾斜角より若干大きい値が得られている。

また逆スパイラル試験の方が幾分か針路安定性が悪くなる傾向は、横傾斜角が急増する速度範囲において顕著に出るものと考えられる。

今後本船型のように GM が小さく、横傾斜し易い船で逆スパイラル試験を行う場合には、試験要領に対する工夫、例えば角速度の検出感度の調整をするとか、反転操舵の振幅を種々に変えて試験を行い最適と判断される振幅をつかんだ上で改めて全体の試験を行うとか、試験装置を改良して航走中に操舵の振幅を調整し、場合によっては追随型の逆スパイラル試験に移行することができるようにするとか、水槽の大きさに適した方法を工夫する必要がある。

なお 1 舵でスケグなしの場合の小舵角の範囲の実験点は逆スパイラル試験によって得られたものであるから、前記の事柄を考慮して、 $r'-\delta$ 曲線を引くときにこれらの実験点は参考とするに止めた。(Fig. 9 参照)

3.5 速度影響について

1 舵と 2 舵で共にスケグ付きの場合のそれぞれで各速度に対する $r'-\delta$ 曲線と、1 舵でスケグ付きの場合の各速度に対する A/L etc- δ 曲線の、実験点を除き曲線のみを重ねて速度影響が分り易くしたものを、Fig. 19~22 に示す。

従来の普通の船型では同一の舵角に対する r' は、低速より F_n が 0.20~0.25 (船によっては 0.30) 位までは、わずかに増加または減少するけれども、その変化量はほとんど速度影響を受けないとみなせる程度であり、 F_n がそれ以上になると F_n の増加に伴い r' は

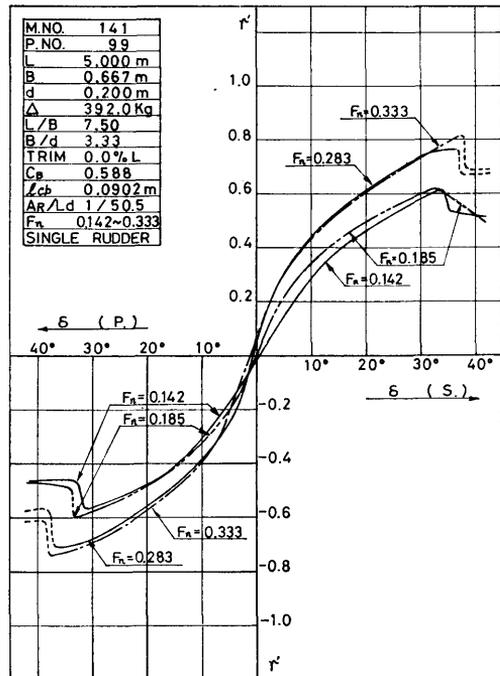


Fig. 19 Comparison of $r'-\delta$ Curves (Effect of Approach Speed, Single Rudder with Skeg)

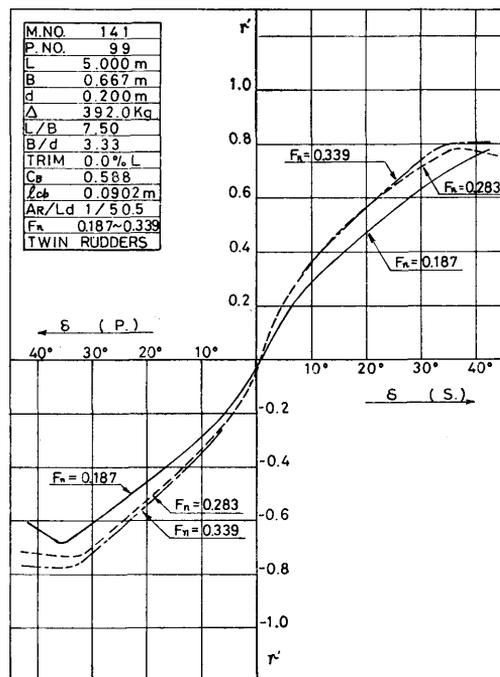


Fig. 20 Comparison of $r'-\delta$ Curves (Effect of Approach Speed, Twin Rudders with Skeg)

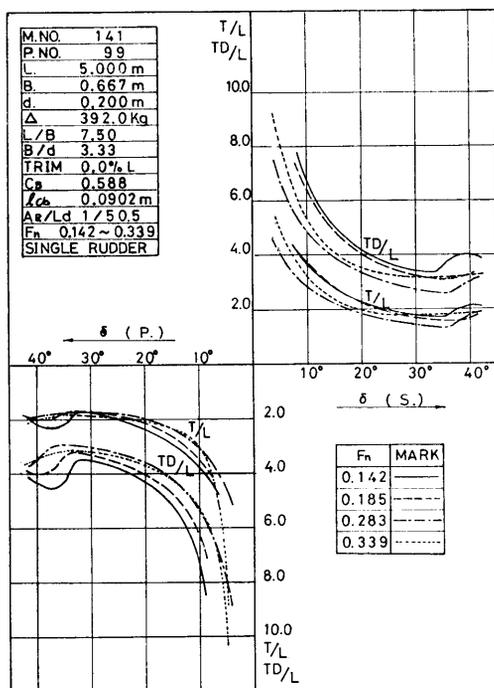


Fig. 21 Comparison of A/L etc- δ Curves (Effect of Approach Speed, Single Rudder with Skeg)

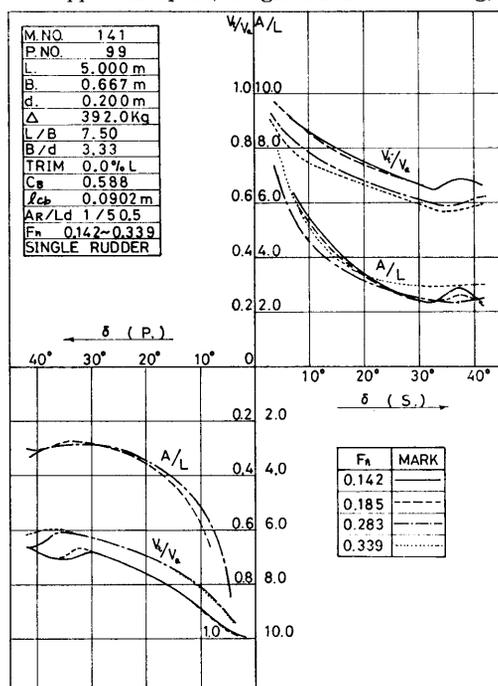


Fig. 22 Comparison of A/L etc- δ Curves (Effect of Approach Speed, Single Rudder with Skeg)

急激に減少し、 F_n が 0.5 付近をこえると再び急増するとされている。また A/L 等も r' の変化に伴う D/L (D は旋回直径) の変化におおむね準じた変化をする とされている。例えば先に試験した¹⁾ 1 軸のコンテナ船では 25° 旋回で $F_n=0.30$ に対する r' は $F_n=0.10$ に対する r' に比べ約 6% 増であり、3 軸コンテナ船では $F_n=0.30$ と 0.10 に対する r' はほぼ等しい。

しかしながら本船型の 1 舵スケグ付きの場合には、 F_n が 0.142 と 0.185 の間では右旋回するときには r' は F_n の増加に伴わずかに増加するが、左旋回ではほとんど変わらず、 F_n が 0.185 より 0.285 に増加すると r' は両舷旋回共に急増し、更に F_n が 0.285 より 0.333 に増加する間は r' はほとんど差異がなくなっている。また A/L 等は F_n が 0.142 と 0.185, 0.285 と 0.333 のそれぞれでは大体似た値であるが、 F_n が 0.185 と 0.285 の間にはかなりの差があり、且つ V_i/V_a は F_n が大きくなるのに従って小さくなるけれども、 A/L , T/L , TD/L は F_n が 0.142 より 0.283 までは F_n が大きくなるのに伴って小さくなるが、 F_n がそれより 0.333 になると、これらの値は逆に大きくなっている。

なお 2 舵スケグ付きの場合も r' , A/L 等の変化の様子は大体 1 舵スケグ付きの場合と似ている。

このように大きな速度影響がある主な原因は、旋回中の大きな横傾斜によるものと考えられる。換言すると本船型は旋回により横傾斜し易く、かつ旋回中の外側への傾斜は旋回性をよくする傾向がある。Fig. 18 に示すように F_n が 0.185 位までは全般に旋回中の横傾斜角は小さく、その影響もほとんどあらわれないので r' 等もほとんど変化しないが、 F_n が 0.185 から 0.283 になると同一舵角に対する横傾斜角は急増し、 r' は大きく A/L 等は小さくなる。しかし F_n が更に 0.333 と大きくなっても横傾斜角は前程大きくならないので r' もさほど大きくなり、 A/L 等も余り変化せず、従って前述のような結果になったものと考えられる。

3.6 舵数の影響について

各速度ごとにスケグ付き 1 舵と 2 舵の r' - δ 曲線の曲線のみを重ね、更に F_n が 0.285 のときにはスケグなし 1 舵の r' - δ 曲線も重ねて、舵数の影響が分り易くしたものを Fig. 23~25 に示す。

スケグ付き 1 舵と 2 舵の場合には各速度ともに舵角が約 5° より約 25° の間では 2 舵より 1 舵の方が旋回性がよく、舵角が約 25° をこすと逆に 2 舵の方が旋回性がよくなっている。

1 舵でスケグなしの場合は 1 速度のみであるが、ス

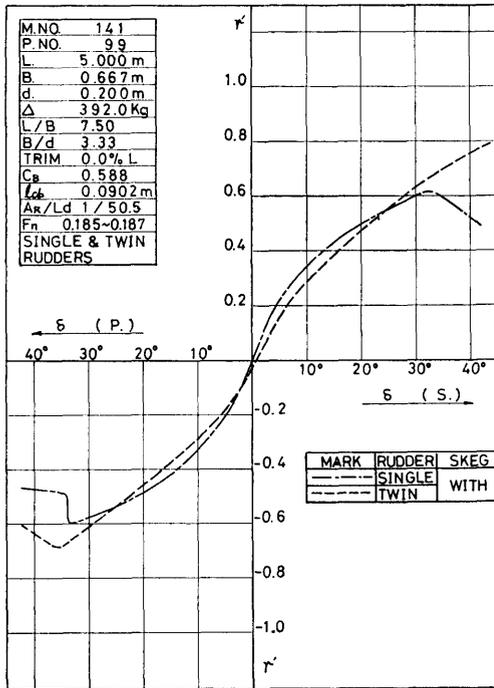


Fig. 23 Comparison of $r'-\delta$ Curves (Effect of Numbers of Rudders)

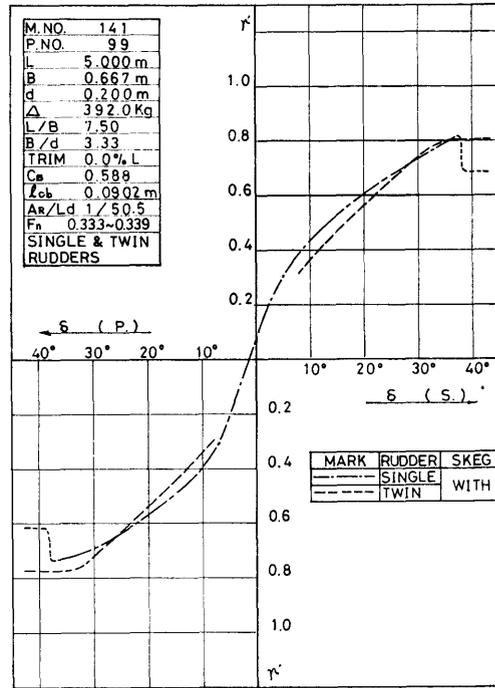


Fig. 25 Comparison of $r'-\delta$ Curves (Effect of Numbers of Rudders)

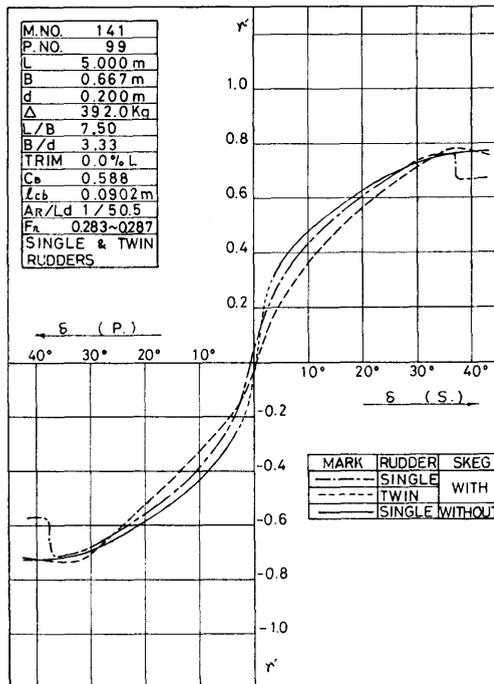


Fig. 24 Comparison of $r'-\delta$ Curves (Effect of Numbers of Rudders)

ケグ付きの1舵より全般にわたり若干旋回性はよくなっている。またスケグ付き2舵と比較すると、舵角約5°より約30°までは1舵の方が旋回性がよく、約30°をこえると両者は大差がなくなっている。

2舵の場合はプロペラの後流が有効に利用できるしまた舵の縦横比も大きいので旋回性がよくなるのが期待されたが、舵力計測の結果左右旋回共に旋回内側の舵に作用する力は旋回外側の舵に作用する力に比べてかなり小さく、これは旋回中の外側への横傾斜が大きいために旋回内側の船体中心線よりのプロペラまでも空気を吸込み、これが舵に影響するためと考えられるが、このことが舵角が約25°位まで2舵の方が旋回性が劣る原因の一つと考えられる。舵角が約25°をこすとスケグ付き1舵は剥離をおこしはじめ舵力も余り増大せず、舵角35°付近で急激に減少するためにこの範囲では2舵スケグ付きの方が旋回性がよくなるが、1舵スケグなしの場合は舵が剥離をおこすのはもう少し大きい舵角になるために、この範囲では2舵と大差なくなるものと考えられる。

なお1舵でスケグなしとスケグ付きでは前者はスケグの分だけ旋回抵抗も少なくかつ水中側面積の重心も船首側に寄っているために、全般に前者の方が旋回性

がよくなっているものと考えられる。

3.7 軸数の影響について

先に当部で操縦性試験を行った1～3軸のコンテナ船の $r'-\delta$ 曲線に、今回試験をした4軸船のステグ付き1舵の場合の $r'-\delta$ 曲線を重ね合わせて、軸数による操縦性の相違が分るようにしたものを Fig. 26 に示す。いずれも1舵であるが、主要寸法、舵面積比、速度等に多少の差異があるので、旋回性に多少の相違があることは当然ではあるが、そのことを考慮してもなお4軸船の旋回性は1～3軸の旋回性に比べて相当に良いことが分る。

これは1～3軸船の水中側面形状は Fig. 27 に示してある通り、球状船首や推進器孔附近の寸法に多少の相違はあるが、大体よく似かよった普通の形のものであるのに対し、4軸船の水中側面形状は Fig. 1 に示すように船首部は1～3軸船に似ているが、船尾部は前3者と大分異なり船底が大きく切れ上っていて、そこにボッシングが取り付けられているが、基線とボッシングの下縁の間がかなりの長さにわたりあいていて、水中側面積が小さくなっている。したがってこの分だけ旋回抵抗も少なく、かつ水中側面積の重心も船首側に寄っていることが旋回性をよくした主な原因と考え

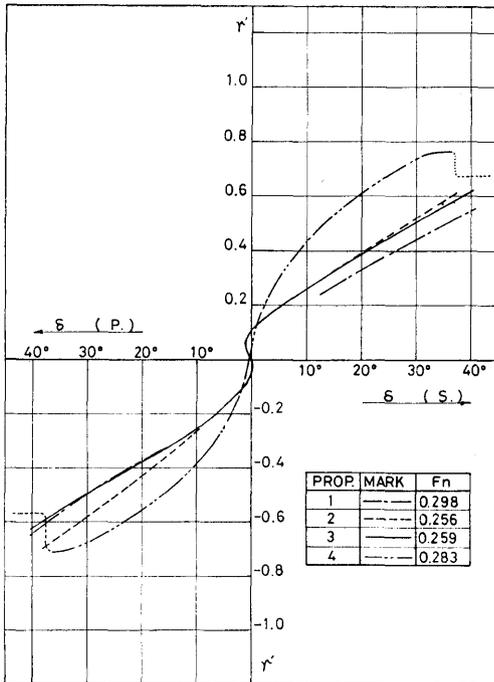


Fig. 26 Comparison of $r'-\delta$ Curves (Effect of Numbers of Propellers)

られる。この外に旋回中の横傾斜の大きいことが更に旋回性をよくしている。要するに4軸にするために船型を変えたことが旋回性の向上につながったと言える。

4. むすび

4軸の超高速コンテナ船の各種状態について操縦性試験を行った結果、次の諸点を明らかにすることができた。

- 1) 舵角が約 30° をこすと1舵ステグ付きのときは r' は急激に減少し、2舵ステグ付きのときは緩く減少し、1舵ステグなしのときは1速度のみであるが r' が減少するような傾向はみられない。1舵ステグ付きのときの r' の急激な減少はステグが早く剝離をおこし、その影響をうけて舵の剝離が促進されるためと考えられる。
- 2) 右(左)舷側に初期傾斜を与えると左(右)に旋回し易くなる。
- 3) 本船型では δ のある値までは旋回中の横傾斜は急増するが、それ以上ではさほどでなくなる。またこの傾向は高速になるほど顕著である。
- 4) 本船型のように横傾斜し易い船型で、発振法による逆スパイラル試験を行うときには、試験要領を充分検討してから行う必要がある。

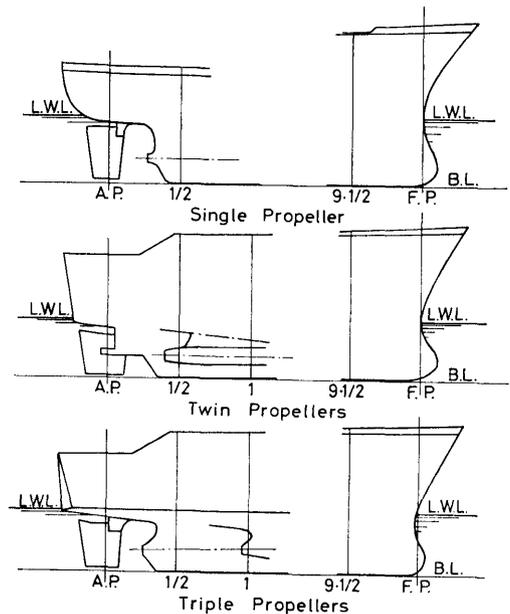


Fig. 27 Comparison of Contours of Bow and Stern

5) 速度影響は相当に大きい。この原因は旋回中の大きな横傾斜によるものと考えられる。

6) 舵数は1舵スケグなしが旋回性が最もよく、1舵スケグ付きがこれにつき、2舵スケグ付きが最も劣る。

7) 1～4軸のコンテナ船の旋回性は4軸の場合が他に比較して非常に良好である。これは水中側面形状の相違と旋回中の横傾斜の大きいことによるものと考えられる。

5. 参考文献

- 1) 森 信篤, 辻 豊治, 山本徳太郎;
高速コンテナ船の運動性能について, 船舶技術研究所報告, 第10巻第4号, 昭和48年7月
- 2) 川上善郎ほか; 多軸コンテナ船の船尾形状に関する実験的研究, 船舶技術研究所報告, 第15巻第6号, 昭和53年11月
- 3) 小川陽弘, 野中晃二, 猿田俊彦;
原子力第1船の大傾斜時の操縦性能について, 第12回船舶技術研究所研究発表会講演概要, 昭和43年11月