

高速コンテナ船の操縦性能について

森 信篤*・辻 豊治*・山本徳太郎*

On the Manoeuvrability of High Speed Container Ship

By

Nobuatsu MORI, Toyoji TSUJI and Tokutaro YAMAMOTO

Abstract

As the size and the speed of a container ship become greater, multiple-screw ship, namely the ship with twin or triple screws has appeared recently. However, only a few data on the manoeuvrability of the container ship with triple screws are available at the present time.

As the first stage of the research into the manoeuvrability of the container ships, the ships with triple screws in particular, the authors carried out the model tests on manoeuvrability, using four model container ships, namely the ships with single screw and single rudder, twin screws and single rudder, triple screws and single rudder and triple screws and twin rudders.

This paper deals with the results of the model tests in the above. The effects of the following items on the manoeuvrability are investigated.

- 1) variation of approach speed
- 2) numbers of screws
- 3) numbers of rudders
- 4) numbers of shafts rotating in low ship speed
- 5) variation of load condition

In addition, the results of inertia stop and crash astern tests are described.

1. 緒 言

最近のコンテナ船の運航は、一般の貨物船と比較して、運航予定を厳守することが強く要求されている。この要求を満足しながら、かつ安全に航行するためには、運動性能上解決しなくてはならない点が多くなる。操縦性能の向上もその一つで、外海での高速運航時ばかりでなく、港湾内での低速運航時を含めて操縦性能の改善、向上は直ちに安全性につながる重要な問題でもある。

一方、最近のコンテナ船はその経済的な要求から、益、大型、高速化の傾向にある。したがって、その推進器軸数も次第に2軸のものが多くなり、最近になって3軸のものまで出現する等、多軸化の傾向も見られ

るようになってきた。

1, 2軸船の操縦性能については今までに各種船型について研究され、かなりの資料も発表されているが、3軸船という形は従来からその数も少なく、かつ、限られた船種に用いられてきたために、その操縦性能についての資料も殆んど見当たらず、どんな問題点が介在するかも明らかでない現況にある。

ここにおいて、多軸船の操縦性能の向上のための研究の第1段階として、1軸、2軸、3軸でそれぞれ1舵のコンテナ船型について、その操縦性能を自航模型試験法により求めて比較検討するとともに、3軸船については、1舵と2舵の場合について比較検討した結果基礎的な資料を得ることができたので、ここに報告する。

* 運動性能部 原稿受付: 昭和48年5月11日

2. 供試模型船等

試験には1軸1舵船, 2軸1舵船, 3軸1舵船および3軸1舵船を3軸2舵船に改造したものと合計4種の模型船を用いた。

船体と舵はいずれも木製ラッカー仕上げで, その主要寸法等を表-1に, 船首尾形状を図-1~4にそれぞれ示す。すなわち, その船首は大きさは多少異なるけれども, いずれも Bulbous bow である。船尾はいずれも sole piece はなく, 1軸船は普通の巡洋艦型の船

表-1 PRINCIPAL DIMENSIONS

HULL					
NO. OF PROP.	1	2	3		
NO. OF RUDDER	1			3	
L_{pp}	5.2250M	5.0000M	4.5000M		
BREADTH (MLD.)	0.6531M	0.625M	0.5750M		
DEPTH (MLD.)	0.396M	0.500M			
DRAFT (MEAN. MLD.)	0.2443M	0.208M	0.1964M		
TRIM	0.00% L	0.00% L	0.00% L		
DISPLACEMENT	476.6 kg	365.0 kg	291.1 kg		
l_{cb}	0.0813M	0.1254M	0.1273M		
C_B	0.572	0.561	0.573		
L/B	8.000	8.000	7.826		
B/d	2.673	3.005	2.928		
$A_R/L \times d$	1/51.57	1/44.04	1/43.55	1/43.55 (TOTAL)	
PROPELLER					
POSITION	CENTER	WING	CENTER	WING	
DIAMETER	0.1941M	0.1231M	0.1161M	0.1054M	
PITCH	0.2048M	0.1533M	0.1431M	0.1361M	
PITCH RATIO	1.055	1.245	1.233	1.292	
EXP. AREA RATIO	0.73	0.8372	*10.8188	*10.7850	
BOSS RATIO	0.1846	0.180	0.192	0.193	
MAX. BLADE WID. RATIO			0.3126	0.2983	
MAX. BLADE T. RATIO	0.0446	0.057	0.0466	0.0442	
ANGLE OF RAKE	5°-42.6'	10°	0°	0°	
NUMBER OF BLADE	5	5	6	6	
DIRECTION OF TURNING	RIGHT	P. LEFT S. RIGHT	RIGHT	P. RIGHT S. LEFT	

*1 DEVELOPED AREA RATIO

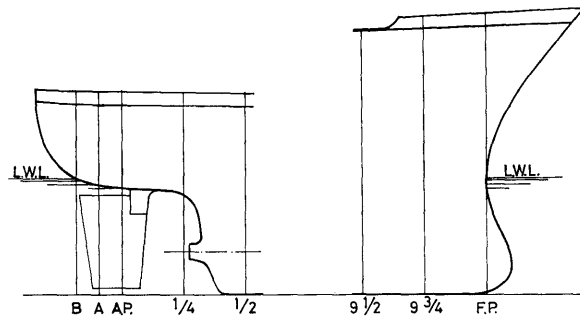


図-1 1軸1舵船の船首尾形状

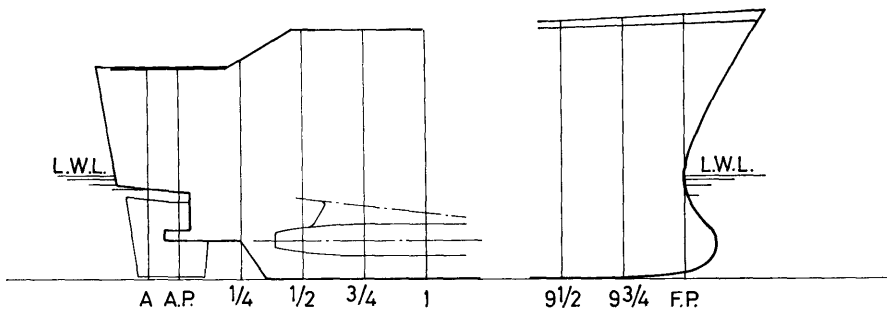


図-2 2軸1舵船の船首尾形状

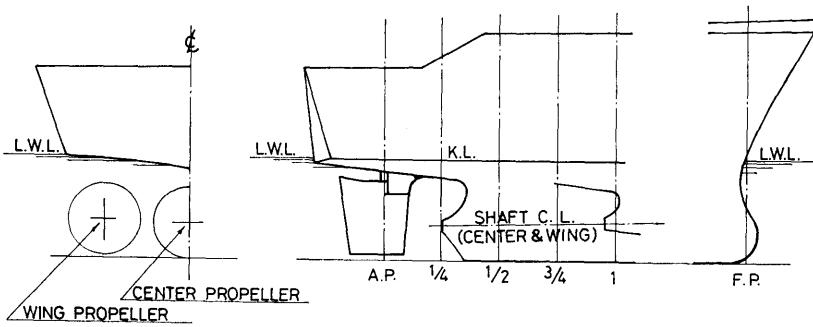


図-3 3軸1舵船の船首尾形状

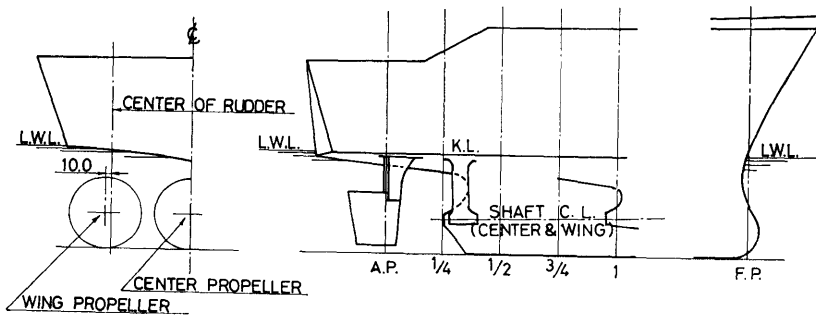


図-4 3軸2舵船の船首尾形状

尾, 2, 3 軸船はともに駆逐艦に似た船尾をしている。また 2 軸船, 3 軸 1, 2 舵船の両翼の推進器軸の船体貫通部は普通の 2 軸船と同様の比較的大きい Bossing で, 3 軸 2 舵船のみは推進器軸の先端に比較的大型のシャフトブラケットが取付けてある。

1 舵で 1~3 軸船の操縦性能の比較検討のためには, 本来ならば主要寸法等のうち, L/B , B/d , C_B , $A_R/L \times d$ 等が等しいものを用いることが望ましかつたが, 種々の制約から止むなく 表-1 に示すように主要寸法等の近似した船型を用いた。

また, 3 軸 2 舵船も最初より 3 軸 2 舵として設計された船型を用いることが望ましかつたが, これもまた種々の制約から, 3 軸 1 舵船を船型はそのままして, 推進器軸と舵の部分に次項に述べるように改造したものをを用いた。したがって, 試験結果には最初より 3 軸 2 舵船として設計された船型でないためにおきる問題が包含されていることになった。

その改造の要点は次のとおりである。

1. 両翼の推進器をその軸中心は動かさずに, 中央推進器より 10mm 船首側の点まで船尾側によせた。これに伴い $A_B/L \times d = 1/118$ のシャフトブラケット (A_B はシャフトブラケット 1 ケの側面積) を各舷 1 ケ宛取りつけた。
2. 舵は上面を後端まで水平にした。したがって, 側面形状で後方上部がわずかに異なるほかは断面形状, 舵軸位置等すべて 3 軸 1 舵船の舵と相似とし, 舵面積のみ 1/2 にしたものをを用いた。
3. 舵の装備位置は舵軸中心を両翼推進器の中心より 10mm 船体中心線側によせたところとし, かつ, 舵軸中心における舵可動部の中点が翼推進器軸の中心線の延長上にくるようにした。したがって, 舵固定部の高さと同面積が 1 舵の場合と比較して, かなり大きくなった。

推進器はいずれの模型船も軽合金製のものをを用い, 1~2 軸船は 5 翼, 3 軸船は 3 ケ共 6 翼のもので, その要目は 表-1 に示す。

多軸船の推進器は 1 台の分捲電動機の出力を, 減速歯車を介して各軸に伝達し駆動した。減軸運転の場合は駆動しない推進器軸は減速歯車の出力軸のところで切り放ち固定した。

試験法は当部常用の旋回試験法および逆スパイラル試験法を用いた。

3. 試験結果と考察

3.1 操縦性能に及ぼす速度影響について

(1) 1 軸 1 舵船 (2) 3 軸 1 舵船 (3 軸推進) (3) 3 軸 2 舵船 (3 軸推進) (4) 3 軸 2 舵船 (2 軸推進, 中央固定) の 4 つの場合について, 舵角は右舷 25° 一定として速度を漸次変えて旋回試験を行ない, 旋回性能に及ぼす速度影響を調査した結果を r' , A/L , T/L , $TD/L \sim F_n$ の形で, 図-5~8 に示す。

さらに (1)(2)(3) の各場合で, 高速と低速で旋回試

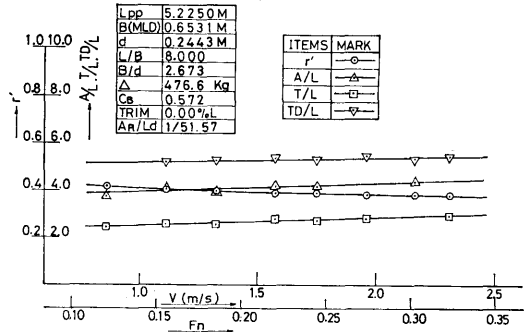


図-5 1 軸 1 舵船の速度影響 $\delta = S 25^\circ$

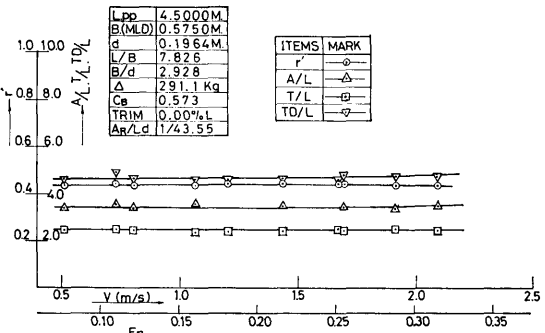


図-6 3 軸 1 舵船の 3 軸推進時の速度影響 $\delta = S 25^\circ$

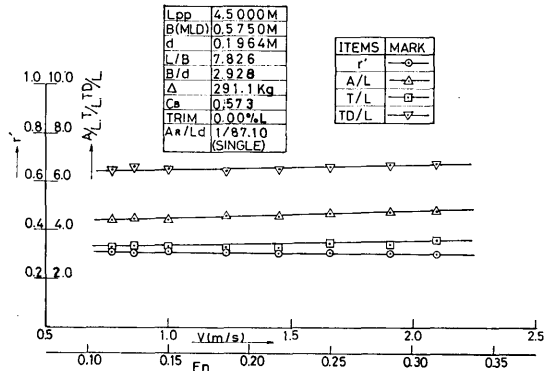


図-7 3 軸 2 舵船の 3 軸推進時の速度影響 $\delta = S 25^\circ$

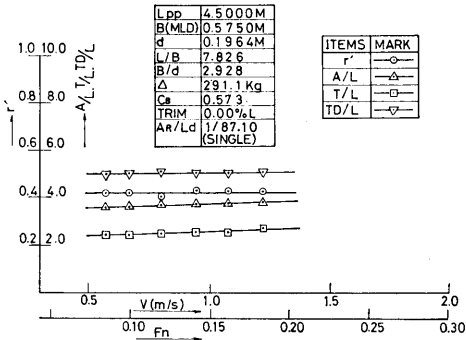


図-8 3軸2舵船の2軸推進時の速度影響 $\delta = S 25^\circ$

験と逆スパイラル試験を行なった結果を r' , A/L , T/L , $TD/L \sim \delta$ の形で、図-9~11 に示す。

これらの図について、旋回性能、針路安定性能を最も端的に表す $r' - F_n$ 曲線、 $r' - \delta$ 曲線に着目して速度影響を考える。

1軸1舵船の場合は図-5よりわかるように、速度の増加に伴わずかではあるが r' は減少し、旋回性能の低下がみられる。この右舷 25° 旋回で示した速度の変化による r' の差異は図-9よりわかるように、右舷では舵角に比例して増大し、右舷 35° での差異は高速の r' の約10%にも及んでいる。これに対し左舷旋回では速度による r' の差異は、舵角に関係なく略一定である。

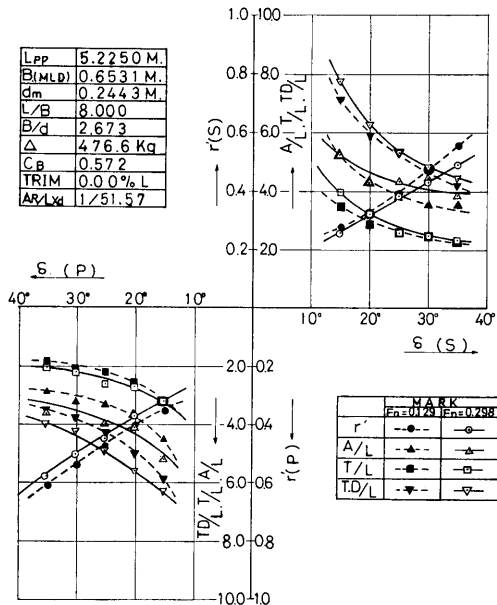


図-9 1軸1舵船の操縦性能

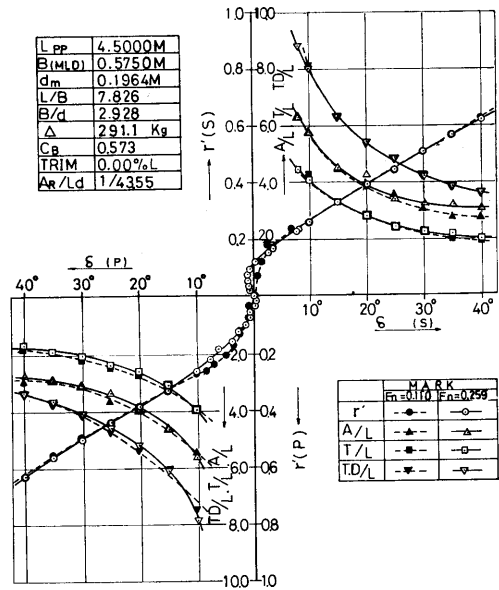


図-10 3軸1舵船の3軸推進時の操縦性能

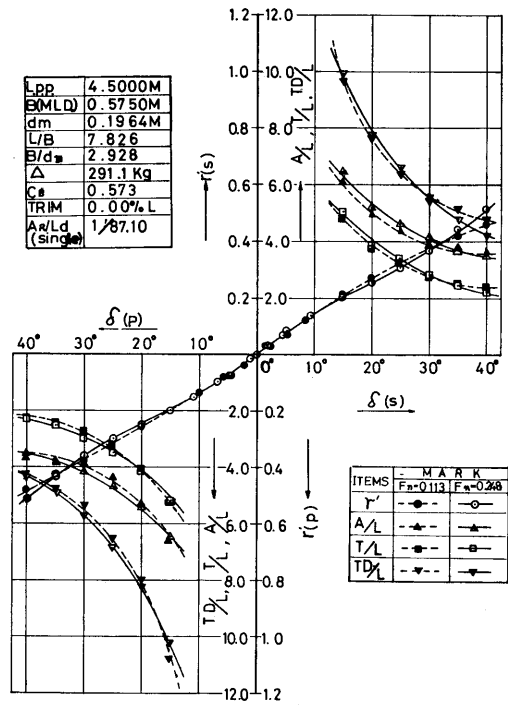


図-11 3軸2舵船の3軸推進時の操縦性能

3軸1舵船の3軸推進の場合は、図-6よりわかるように速度が増加しても実験した範囲では r' は殆んど変化していない。しかも図-10のよりわかるように、 10° 以上の大舵角旋回では、左右舷ともに速度が変わっても r' は殆んど変わらない。むしろ 10° 以下の小舵角に於て速度影響が出て、低速では針路安定な性質を示しているのに、高速ではわずかではあるが、 $r'-\delta$ 曲線は原点付近でS字型を画き、不安定領域の存在することを示している。

3軸2舵船の3軸推進の場合は、図-7よりわかるように速度の増大に伴い r' はわずかに減少し、旋回性能の低下がみられる。しかし図-11よりわかるように、左右舷ともに速度の変化に伴う r' の差異は 25° 附近が最も大きく、その前後では漸減し 40° 附近では逆に高速の r' の方がわずかに大きくなっている。しかも 10° 以下の小舵角では、高低両速度での r' は殆んど一致して針路安定な性質を示している。

3軸2舵船で2軸推進の場合は、図-8よりわかるように低速の範囲のみではあるが、 r' に及ぼす速度影響は殆んどみとめられない。

以上を総合すると、今回実験に使用したコンテナ船型では、操縦性能に及ぼす速度影響は船型により影響のしかたは異なるけれども、僅少か、殆んど認められない程度であるといえる。

なお、尚一般の貨物船型では、速度が増加するに伴い r' は漸減して旋回性能は低下してゆき、 $F_n=0.25\sim 0.30$ 附近からその低下の割合が急に増加する傾向があるが、(1)(2)(3)のコンテナ船型では、 $F_n=0.32$ 附近まで r' は殆んど直線的に変化し、途中で r' の変化の割合が急激に変わることはない。

3.2 操縦性能に及ぼす軸数の影響について

2軸1舵船の旋回試験結果を r' 、 A/L 、 T/L 、 $TD/L \sim \delta$ の形で図-12に示す。

図-13は1軸1舵船(図-9)、2軸1舵船(図-12)、3軸1舵船(図-10)の旋回試験結果のうち、高速の $r'-\delta$ 曲線を比較に便利のように重ねたものである。

前述のように、これら3隻の模型船は主要寸法比も多少異なり、かつ、旋回に重要な関連のある船尾形状や舵面積比も多少異なるために、試験で得た値をそのまま比較して、その操縦性能の良否を決めることは適当ではないが、大体の傾向を比較検討するには差支えないと考える。

主要寸法比、船尾形状、舵面積比等において多少の差異があるにもかかわらず、3隻の模型船の $r'-\delta$

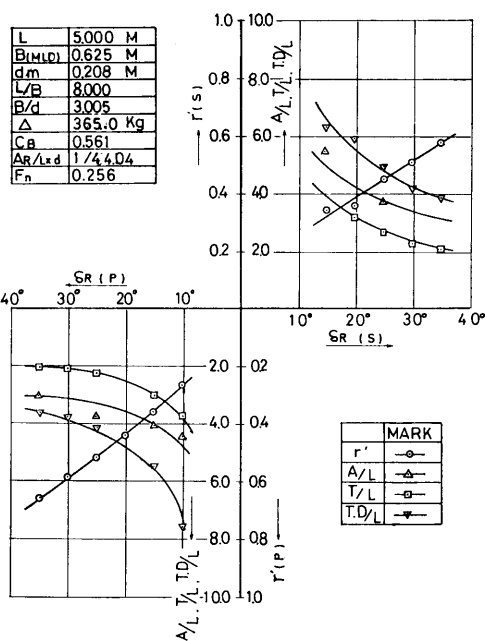


図-12 2軸1舵船の操縦性能

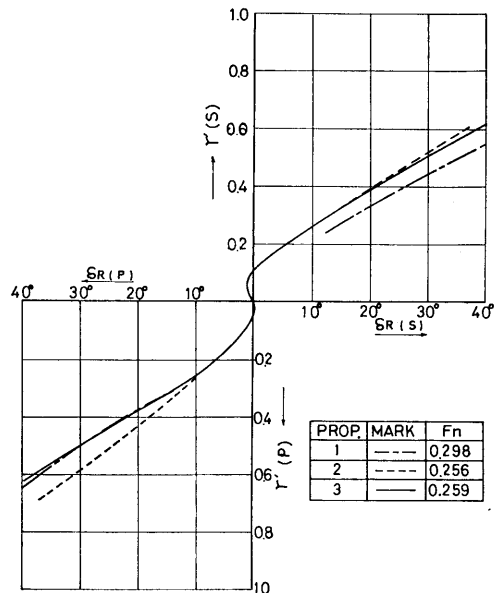


図-13 操縦性能に及ぼす軸数の影響 (1~3軸1舵船の比較)

曲線の傾斜は概ね似ている。1軸船の旋回性能は2軸船に比較して若干劣り、 r' の値で約15~18%小さい。これは1軸船の舵面積比が2軸船の舵面積比に比較して小さいことが主な原因になっていると考えられ

る。3軸船の r' の値は右舷旋回では2軸船の r' と、左舷旋回では1軸船の r' と略等しい値をもっている。

次に各模型船の左右舷の旋回性能を比較してみると、1軸船、2軸船ともに左舷旋回の方が旋回性能がよく、 r' の値で約10~15%大きい。一般に1軸船では推進器が船尾より船首側にみて右まわりの時には左舷旋回の方が旋回性能がよく、2軸船で推進器の回転方向が左右舷で逆方向ならば、内まわりか外まわりかに関係なく、左右舷の旋回性能は略等しいのが普通である。1軸船では普通の1軸船と同様に左舷旋回の方が旋回性能がよいが、2軸船では普通の2軸船と異なり、1軸船と同様に左舷旋回の方が旋回性能がよい。この原因については今のところ、きめてとなるようなものはつかめていない。

3軸船の場合は左右舷で略等しい旋回性能を示している。これは中央の推進器が左右舷非対称の力を出しているが、船全体の推力を3軸で分担しているので、中央推進器の左右非対称の力も1軸の場合と比較して小さくなり、旋回の非対称性も余り目立たなくなったためと、旋回の外側の翼推進器の後流と中央推進器の相互作用が関係しているのではないかと推察されるが、詳細は今後の船尾流線観測等による研究にまたなければならぬ。

低速の場合にも略々、高速の時と同様の傾向を示し

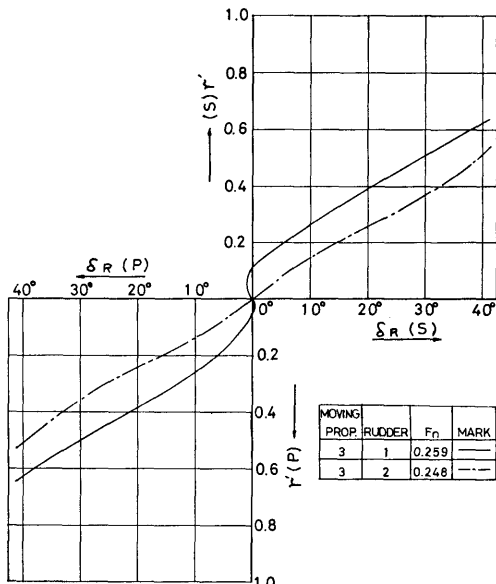


図-14 操縦性能に及ぼす舵数の影響 (3軸1舵船と3軸2舵船の比較)

ている。

3.3 操縦性能に及ぼす舵数の影響について

図-14は3軸1舵船で3軸推進の場合(図-10)と3軸2舵船で3軸推進の場合(図-11)の試験結果のうち、高速での $r' \sim \delta$ 曲線を比較し易いように重ねたものである。

同図よりわかるように大舵角の旋回性能は1舵の方が2舵に比べかなり良好であるが、針路安定性は2舵の方がすぐれている。これは前述のように、船型を変えずに1舵を2舵に改造したために、舵の固定部も比較的大きくなり、かつ、側面積の大きなシャフトブラケットが2ケもついた。これらがかなりのfine効果をもったので、このような結果となったものと考えられる。したがって、最初より2舵として設計された船型を用いたならば、これほどの差異は生じなかったであろう。

3.4 操縦性能に及ぼす減速運転の影響

3軸船で低速で航行する場合には、推進のために駆動する軸数により操縦性能は異なってくる。図-15は3軸1舵船で1軸で推進した場合、図-16は3軸2舵船で2軸で推進した場合の操縦性能を示す。3軸1舵船を両翼の2軸で推進する場合と3軸2舵船を中央の1軸で推進する場合には、単に舵に推進器の後流を利用できないばかりでなく、さらに舵の前に停止してい

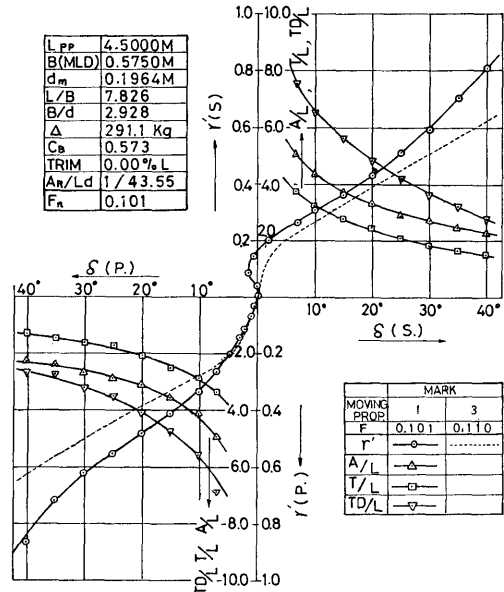


図-15 3軸1舵船の1軸推進時の操縦性能と3軸推進時の r' との比較

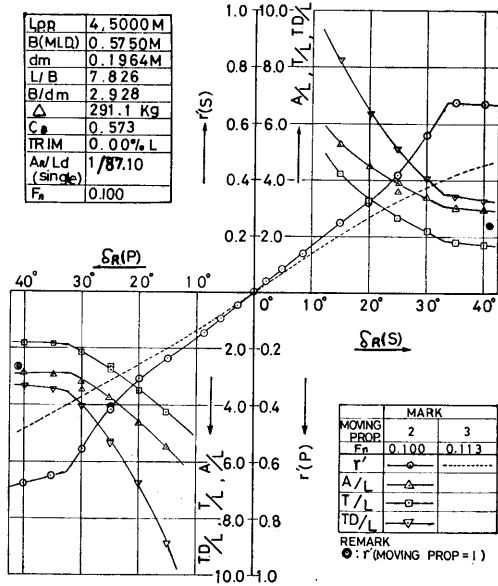


図-16 3軸2舵船の2軸推進時の操縦性能と3軸推進時のr'との比較

る推進器があるために舵に流入する水流が阻害され操縦性能は極端に低下することが推測される。また、実際にもこのような運転は機関故障等の極く特殊な場合にのみ行なわれるものと考えられるので、3軸1舵船では試験を行わず、3軸2舵船で中央の1軸で推進し、舵角を±41°として試験した結果を図-16中に○印にて示す。2軸または3軸推進の場合と比較して±15°~±20°程度の旋回力しかなく旋回性能は非常に低下していることがわかる。

図-15中の点線は3軸1舵船の3軸推進の場合のr'-δ曲線を、また図-16中の点線は3軸2舵船の3軸推進の場合のr'-δ曲線をそれぞれ比較し易いように重ねたものである。これらの図よりわかるように、3軸推進の場合よりも減軸された方が旋回性能が良くなっている。また、いずれも舵角20°をこすとその差は急増している。これは1軸なり2軸なりに減軸された軸数で3軸と同じ速度、換言すると同じ推力を出すために推進器の後流はそれだけ強く、したがって、舵の発生する力も大きくなり、このような結果となったものとする。3軸2舵船の場合に、舵角が32°付近で曲線が不連続になっている。これは舵の失速に起因しているものとする。

3軸1舵船では旋回性の向上に反して針路安定性は低下し、r'-δ曲線が原点付近でゆるいS字をかいて

いるが、今回の試験のみでは、図示のような差異を生じた原因を明らかにすることは困難である。なお、3軸2舵船でも3軸推進時より2軸推進の方が針路安定性は劣っているが、その差異は僅少である。

3.5 操縦性能に及ぼす載貨状態の変化の影響について

図-17は3軸1舵船の軽荷状態で3軸推進の時の操縦特性を示す。軽荷状態では排水量の関係で逆スベイル試験装置がつかめなかったために、旋回試験のみ実施した。図中点線は同船の満載状態で3軸推進の場合のr'-δ曲線(図-10)を比較のためにのせたものである。ただし、軽荷状態では推進器が充分没水するように1%の船尾トリムをつけているので、2つの曲線の比較は排水量の変化とトリムの変化の影響を合わせたものになっている。

2本のr'-δ曲線を比較すると、曲線の傾斜は略々似ているが、δ=25°における軽荷のr'の値は満載のr'の値に比較して右舷では約20%、左舷では約10%それぞれ小さく、軽荷の方が旋回性は劣っている。また、満載では左右舷のr'の値は略等しいのに、軽荷では左舷の方が約8%ほどr'が大きい。

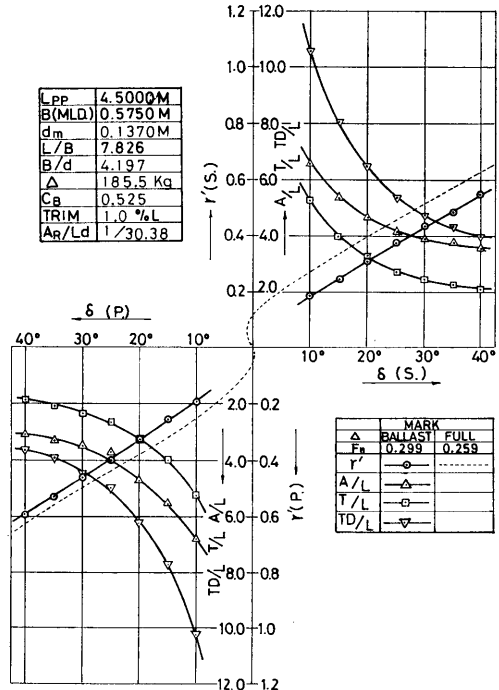


図-17 3軸1舵船の軽荷3軸推進時の操縦性能と満載3軸推進時のr'との比較

また、満載の $r'-\delta$ 曲線は原点付近でS字を描き不安定領域のあることを示しているが、軽荷では逆スパイラル試験をしていないので正確なところはわからないが舵角 10° 以上の $r'-\delta$ 曲線から推して原点付近でS字を描くことはまずないと判断される。すなわち、針路安定性では軽荷の方がすぐれている。

3.6 惰力停止, 急速停止後進試験結果について

惰力停止, 急速停止後進試験は3軸1舵船についてのみ実施した。

満載と軽荷の両状態で3軸推進の高速および低速での惰力停止試験と急速停止後進試験の結果をそれぞれ図-18, 20に, また, 満載状態で1軸推進の低速での両試験の結果を図-19, 21に, いずれも重心の軌跡と速度減衰曲線の形で示す。

今回の試験では機関停止より実際に推進器が停止するまでの時間と回転数の時間的変化の調整は特に行わず, 単に機関停止発令より約5秒後を目途に後進をかけた。推進器の回転数は電動機の入力電圧で規制し, 後進の時の電圧は, 満載の時には前進時の電圧と同じとし, 軽荷の時は後述のように若干変えてみた。また, 1軸推進の両試験で機関停止後操舵したときは管制装置の都合で機関停止の約1秒後に操舵を開始し

た。

惰力停止試験の軌跡上に停止距離の比較の目安として, 船速が 0.15 m/s (実船で 2.2 kt 相当) に達した点を図示してある。機関停止よりこの点までの軌跡に

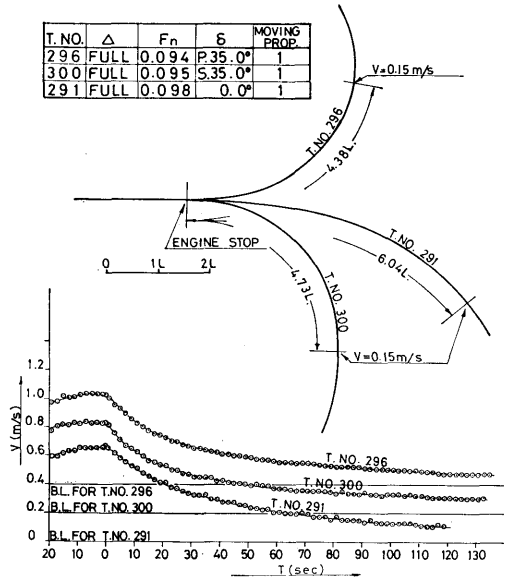


図-19 3軸1舵船の1軸推進時の惰力停止試験結果

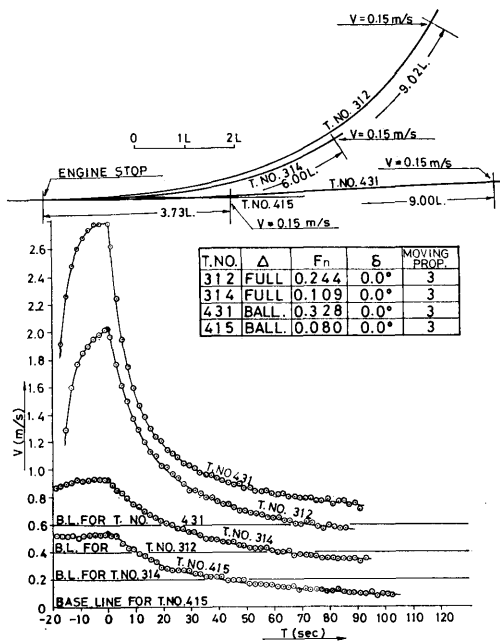


図-18 3軸1舵船の3軸推進時の惰力停止試験結果

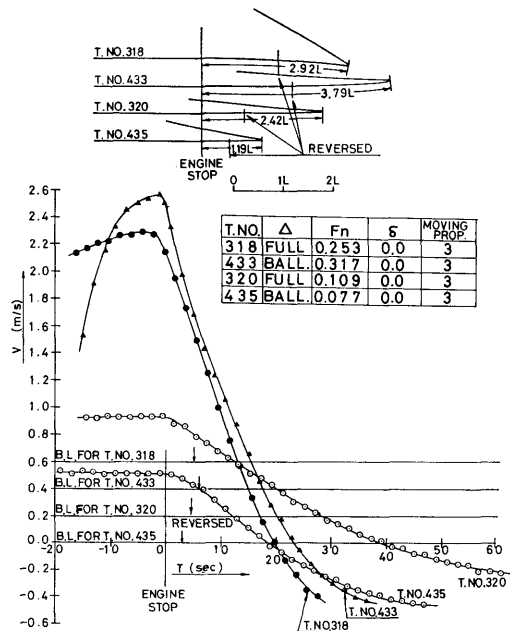


図-20 3軸1舵船の3軸推進時の急速停止後進試験結果

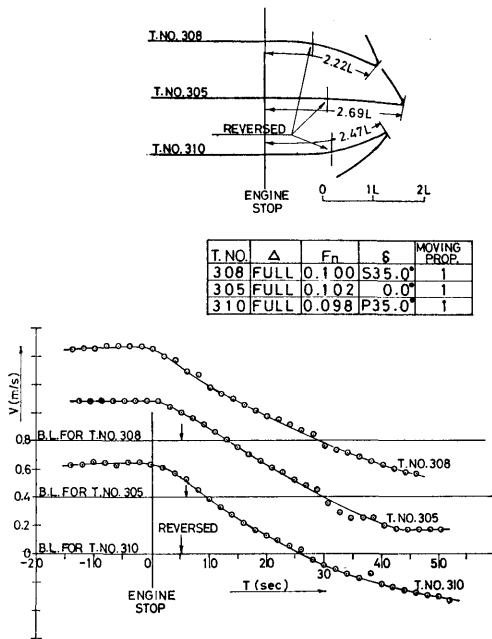


図-21 3軸1舵船の1軸推進時の急速停止後進試験結果

沿った距離を停止距離 D_A と表現する。図-18, 19 に示すように満載と軽荷で機関停止時の速度が異なるために直接 D_A を比較することは困難であった。また、模型船では電動機の電源を切ると極く短時間で推進器は停止し、殆んど遊転はしないので、満載低速の場合は3軸推進でも1軸推進でも D_A は殆んど変わらない。

機関停止後左右にそれぞれ35°操舵した場合は、旋回による抵抗増加のために D_A は左右舷平均して操舵しない場合の約75%程度まで減少している。

急速停止後進試験では図-20, 21よりわかるように、停止距離は満載では高速の方が低速より約半船長大きい、低速では3軸推進の方が1軸推進より約1/4船長短かい。軽荷では電動機の入力電圧は高速の時は前進20Vに対し後進は12Vとし、低速のときは前進6V(港内半速相当)に対し後進8V(港内全速相当)としたために D_A はかなりの差が出てきた。

また、機関停止後操舵した場合は、余り回頭しないうちに船が停止し後進を始めているため、旋回による抵抗増加の効果も余り現われず、停止距離は左右舷平均して操舵しないときの約90%弱に止まった。

なお、以上のいずれの場合も停止距離は

1) 機関停止時の船速

2) 機関停止より実際に推進器の停止するまでの時間と、この間の回転数の変化の状態

3) 後進の回転数

等により大きく左右され、2) 3) は機関の種類とその特性によりかなりの差があり、かつ、実船と相似の条件で模型試験を行なうことはなかなか困難なことで、実船と模型船の相関については今後の研究にまたねばならない。また、模型試験要領についても未だ確立されていないので、さらに検討を必要とする。

4. むすび

今回1舵で1~3軸および2舵で3軸の高速コンテナ船の操縦性試験を実施し、次のことを明らかにすることができた。

1. 操縦性能に及ぼす速度影響は船型によりその影響のしかたが多少異なるけれども、いずれもごく僅かまたは殆んど認められない程度である。

また、一般貨物船型でみられる $F_n=0.25\sim0.3$ の附近で起きる r' の急激な変化はみられず、 $F_n=0.32$ 附近まで r' は殆んど直線的に変化する。

2. 操縦性能に及ぼす推進器軸数の変化の影響は、主要寸法比、船首尾形状、舵面積比等に多少の差異があるために厳密な比較はできなかったが、概略の傾向としては、1軸船2軸船ともに右舷旋回に比べ左舷旋回の方が旋回性はよく、 r' の値で10~15%大きい。3軸船では左右舷略等しい。また、1軸船と2軸船では1軸船の方が旋回性は劣り、 r' の値で約15%ほど小さい。これは舵面積が1軸船の方が小さいことが主原因と考えられる。3軸船の r' は右舷では2軸船の r' 、左舷では1軸船の r' に略等しかった。

3. 操縦性能に及ぼす舵数の変化の影響は、3軸船と比較したが、旋回性は1舵の方がかなりすぐれているが針路安定性は2舵船の方がすぐれている。これは側面積が比較的大きい舵固定部とシャフトブラケットとを装備していたために、両者の fin 効果が大きく影響したためと考えられる。

4. 操縦性能に及ぼす減軸の影響は、3軸1舵船では旋回性は1軸で推進する方がすぐれているが、針路安定性は3軸で推進する方がすぐれており、 $r'-\delta$ 曲線の原点附近のS字形は前者では若干あるが後者はなくなっている。

3軸2舵船では3軸で推進するときと2軸で推進するときで針路安定性は略々等しいが旋回性は、後

者の方がすぐれている。3軸2舵船の1軸推進のときは旋回性は極端に悪い。

5. 操縦性能に及ぼす載貨状態の変化の影響は、旋回性は軽荷の方が劣り、 r' の値で満載のときの80~90%である。
6. 惰力停止、急速停止後進試験の結果は機関停止発令時の船速、機関停止発令後、実際に推進器の停止するまでの時間とその間の回転数の変化の具合、後進回転数等により結果が大きく変わり、かつ、これ

らは機関の種類やその特性に左右されるので、実船と模型船との相関に関しては今後の研究にまたなければならぬ。また、この種試験では模型試験要領も未だ確立されていないので、今回はそのうちの数例の結果を示すに止めた。

最後に、この研究を実施するに当たり、三井造船株式会社および当部耐航性研究室の方々の御協力をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。