

模型船による逆スパイラル試験法に関する一考察

森 信 篤*

Some Considerations on the Technique of the Reversed Spiral Test on Ship Model

by

Nobuatsu MORI

Abstract

As it is not so long since the reversed spiral test has been proposed and adopted as a test method on manoeuvrability, the test-technique itself has not yet been established sufficiently.

In order to examine the effect of the steering method upon the test results, the reversed spiral tests were carried out on the models of a mammoth tanker and a high speed container ship.

The conclusion are as follows,

- 1) If the half amplitude of rudder angle is smaller than 5° , no effect of the variations of the rudder angle is recognized.
- 2) Although the centre angle of steering on the test somewhat differs from the rudder angle corresponding to the set angular velocity, the effect of the difference is negligible.

In addition, as the results of the reversed spiral tests on the model of a mammoth tanker, two $r-\delta$ curves were obtained for one test condition. Such a unusual phenomenon had never been seen.

1. まえがき

船の針路安定性の良否は、スパイラル試験あるいは逆スパイラル試験により求められる小舵角の範囲における無次元角速度 γ' と舵角 δ との関係 ($\gamma'-\delta$ 曲線) および Z 操舵試験, 変形 Z 操舵試験等により求められる K , T 指数により判定されている。これらの試験法のうち、逆スパイラル試験は、比較的狭い水面において短時間で実施出来る上に、 $\gamma'-\delta$ 曲線に不安定ループがあるような場合には、原点附近の S 字形になった部分にそった実験点を求めることが出来、従って不安定ループの限界も明確に把握出来る等の利点があるので、各造船所、研究機関で急速に採用されるようになってきた。然しながらこの試験法が提唱されてから日も浅く、試験要領についても充分検討しつくされていとはいえない。そこで今回巨大油槽船型と、高速コンテナ船型の 2 種類について、逆スパイラル試験に

おける操舵要領の変化が、その試験結果にどのような影響をおよぼすかを模型試験により調査研究した。尚巨大油槽船型の試験では、同一試験状態に対して 2 本の $\gamma'-\delta$ 曲線が得られる等、従来この種の試験ではみられないような結果が得られたので、実船試験結果との比較を含めて、ここに報告する。

2. 供試模型船、試験状態等

この試験では 20 万トン型油槽船の模型船と 3 軸 1 舵の高速コンテナ船の模型船を 3 軸 2 舵に改造したものを使用した。いずれも垂線間長 4.5 米、木製ラッカー仕上げで、その主要寸法等を表-1 に、又その船首尾形状を図-1, 2 にそれぞれ示す。

舵は木製ラッカー仕上げで、両模型船共に舵軸取付部の形状が若干実船と異り、且コンテナ船では舵の後方上部の形が少し実船の舵と異なる外は、断面形状、舵軸位置等は共に実船の舵と相似とした。尚コンテナ

* 運動性能部 原稿受付：昭和48年1月8日

表1 模型船の主要寸法等

HULL			
LENGTH (P.P.) OF ACTUAL SHIP			305.000 M.
MODEL NO.	114	116	
LENGTH (P.P.) (L.)	4.5000 M.	4.5000 M.	
BREADTH (MLD.) (B.)	0.5750 M.	0.7820 M.	
DEPTH (MLD.) (D.)	0.4357 M.	0.3733 M.	
DRAFT (MLD.) (d.)	0.1964 M.	0.2877 M.	
TEST CONDITION			
d_f (MLD.)	0.1964 M.	0.2881 M.	
d_a (MLD.)	0.1964 M.	0.2881 M.	
d_m (MLD.)	0.1964 M.	0.2881 M.	
L/B	7.826	5.755	
B/ d_m	2.928	2.714	
TRIM IN % OF L	0.00	0.00	
DISPLACEMENT	291.135 Kg	834.023 Kg	
C_B	0.573	0.823	
l_{cb} FROM MIDSHIP	2.83%L	-2.90%L	
$A_R / L \times d_m$	1 / 43.55	1 / 57.78	
PROPELLER			
POSITION	CENTER	WING	
P. NO.	79	80, 81	83
DIAMETER	0.1161M.	0.1054M.	0.1269 M.
PITCH	0.1431M.	0.1361M.	0.0933 M.
PITCH RATIO	1.233 *1	1.292 *1	0.735 *2
EXPANDED AREA RATIO	0.8188 *3	0.7850 *3	0.600
BLADE WIDTH RATIO	0.3126 *4	0.2983 *4	0.267 (MAX.)
BLADE THICK. RATIO	0.0466	0.0442	0.04908
BOSS RATIO	0.192	0.193	0.186
ANGLE OF RAKE	0°	0°	0°
NUMBER OF BLADE	6	6	5
DIRECTION OF TURNING	RIGHT	PORT R. STARBD. L.	RIGHT

*1 AT 0.7R INCREASED PITCH

*2 CONSTANT PITCH

*3 DEVELOPED AREA RATIO

*4 AT 0.7R

一船では1舵を2舵に改造した際に、船型は変えず、且両翼推進器軸の中心も動かさず推進器のみ後方に移した為に、舵固定部の高さも新たに取りつけたシャフトブラケットの大きさがやや大きい目になった。これらの舵の外形と断面をそれぞれ図-3、4に示す。

推進器は両船共に軽合金製で、実船の推進器と相似

のものを用いた。

試験状態は両船共に実船の公試運転状態と相似とし、試験速度は油槽船では試運転速度、コンテナ船では港内全速(約11.0kt)に対応する速度を基準とした。

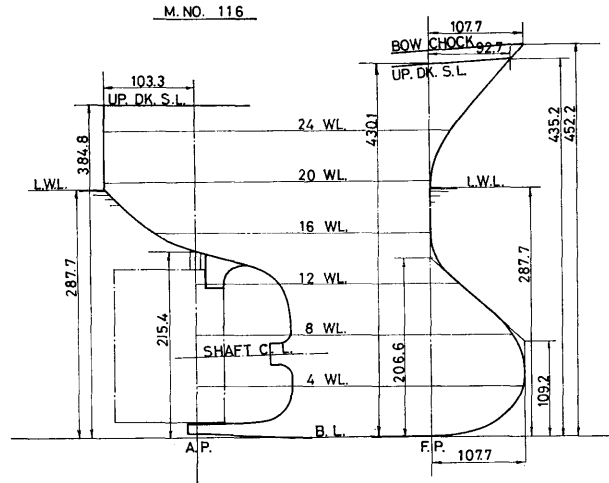


図1 油槽船の船首尾形状

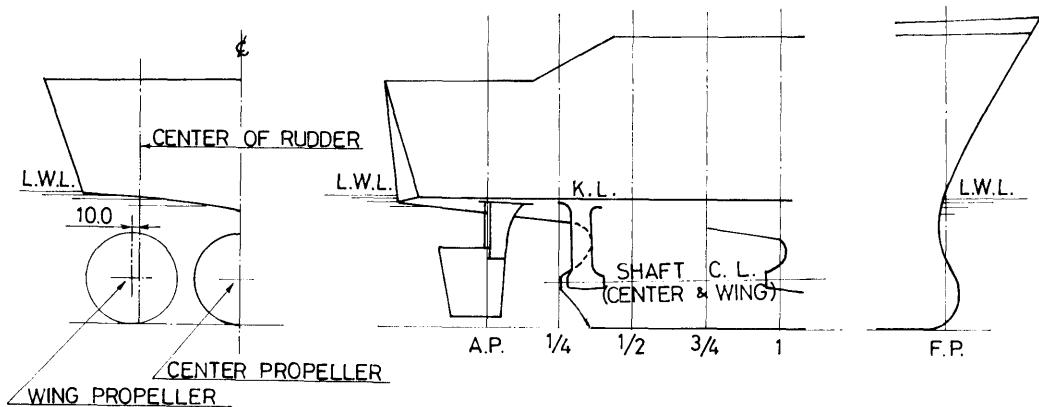


図2 高速コンテナ船の船首尾形状

3. 試験結果と考察

3.1 操舵要領が試験結果に及ぼす影響について

逆スパイラル試験とは、旋回試験結果等より設定角速度に対応する舵角を推定し、その舵角を中心にして、航走中の船の角速度が設定角速度を正又は負の方向に越え、これをもどす方向に一定の舵角だけ操舵して（この一定舵角を以下舵角半振幅と称することにする。）、船の角速度が常に設定角速度と同一の値を保持しつづけるようにして、その間の平均舵角と角速度との関係を求めようとするものである。この際に左右に操舵する時間間隔が略等しい方がよい結果を得られるであろうことは推測出来る。

実船の場合には舵角の連続記録をみながら、操舵手に適宜舵角を指示して、漸次操舵の中心を移動して、

左右の操舵時間の間隔が略等しくなるようにすることが出来るから先ず問題はない。

模型船の場合には、出発前に設定しておいた舵角を航走中に遠隔操作で修正出来るような特殊の操舵機を使用しているときは別として、通常の操舵機では発走後は設定舵角を変更することは出来ないから、操舵が適当でないときには試験をやり直さなければならない。試験中どのように操舵がくり返されているかは、操舵標示灯（操舵機が動いている間だけ旋回する側の舷の標示灯が点灯して、その動いている方向を示す）の点滅の具合で判断出来る。

設定角速度に対応する舵角 δ_0 と設定舵角の中心 δ_m とが略等しければ、操舵間隔も略等しくなり、操舵標示灯も左右略等しい間隔で点滅し、又舵角の記録も左右舷略等しい台形になる。若し δ_m が δ_0 に対して例え

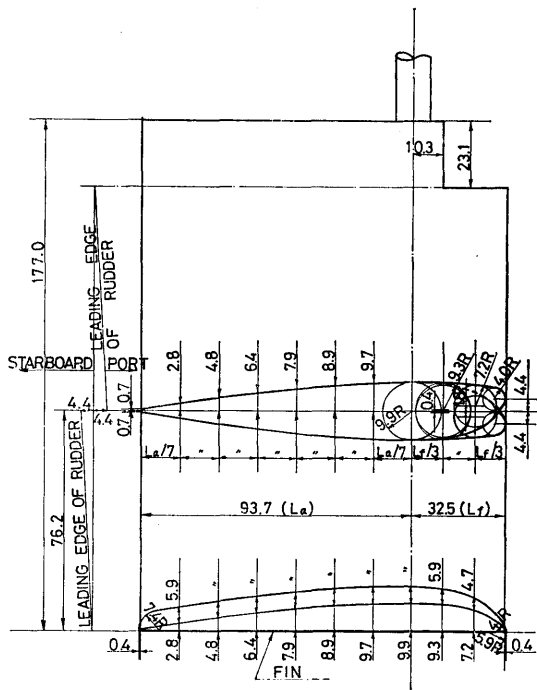


図3 油槽船の舵形状

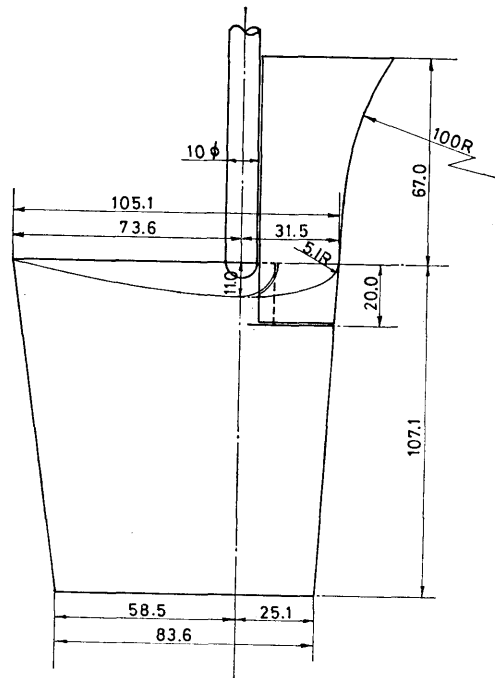


図4 高速コンテナの舵形状

M. NO. 116

HALF AMP. OF RUDDER ANGLE $\doteq 3^\circ$

CENTER OF STEERING = S $2.7^\circ \sim 2.3^\circ$

SET. ANGULAR VELOCITY $\doteq 1.15\%$

$F_n = 0.152$

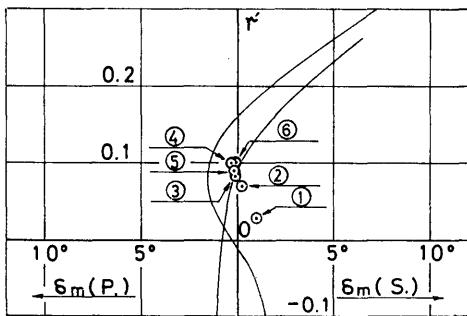


図5 油槽船の操舵中心移動の影響(1)

ば右舷方向にかたよっていたとすると、右舷に操舵している時間は短くなり、操舵標示灯も右舷が消えて間もなく左舷がつき、左舷が消えてやや間をおいて右舷がつく。舵角の記録も右舷側が短い台形になる。更に δ_m が δ_0 に対し右舷にかたよると、標示灯は右舷が消

RECORD OF STEERING	
①	0° CENTER P. 2.3°
②	0° CENTER P. 1.3°
③	0° CENTER P. 0.3°
④	0° CENTER S. 0.7°
⑤	0° CENTER S. 1.7°
⑥	0° CENTER S. 2.7°

*1 STABILIZATION OF TURNING RATE WAS YET INSUFFICIENT.

えると同時に左舷がつき、舵角記録は右舷は三角形になる。更に δ_m が δ_0 に対し右舷にかたよれば、左舷に操舵したままで右舷に操舵なくなり、標示灯も左舷が点滅した後は右舷は点灯しない。舵角の記録も一本の直線となり、丁度普通のスパイラル試験と同じよう

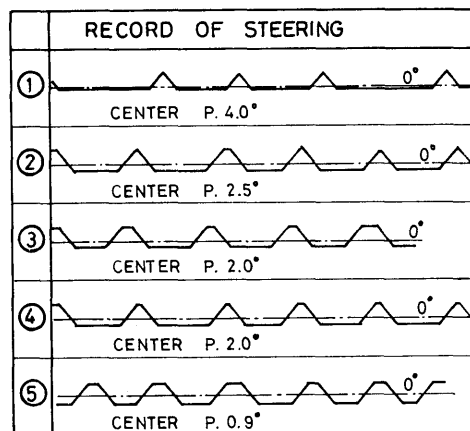
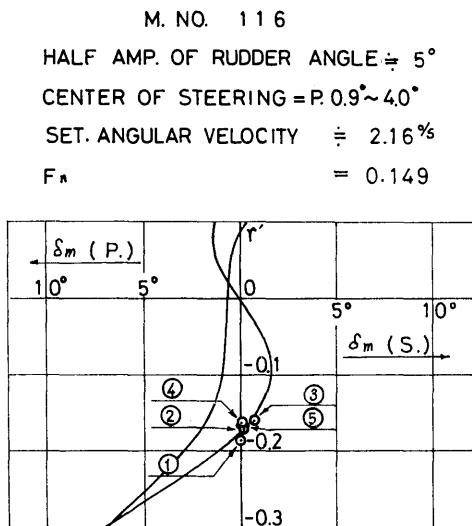
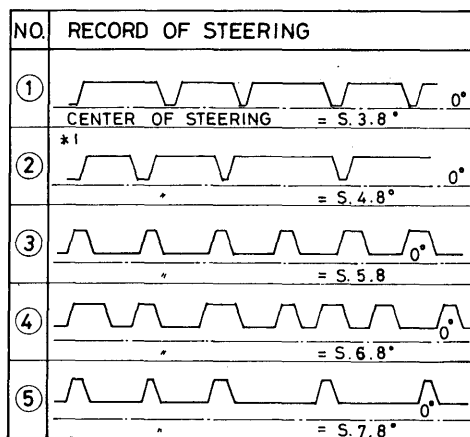
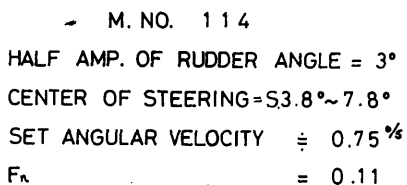


図6 油槽船の操舵中心移動の影響(2)



*1 STABILIZATION OF TURNING RATE WAS YET INSUFFICIENT.

図7 高速コンテナ船の操舵中心移動の影響(1)

になる。

δ_m と δ_0 とがへだたり、左右舷に操舵している時間間隔がことなる場合には、特に操舵速度の早い操舵機を用いる時は別として、普通の実船の操舵速度に略々対応する操舵速度の操舵機を用いるときは、角速度の記録は設定角速度の上下でオーバーシュートの形も大きさも異なり、且舵角半振幅が大きい程オーバーシュートも大きくなるから、その平均角速度をよみとる際に

は充分注意をしなければならない。

このように模型船の場合には δ_m と δ_0 のへだたり具合がその結果にどのような影響をおよぼすか、換言すれば、どの程度迄のへだたりが許容しうるかが問題になるので、この点について検討した。

図一5は油槽船で設定角速度は約 $1.15^\circ/s$ 、舵角半振幅を 3° とした場合、図一6は同じく設定角速度を $2.16^\circ/s$ 、舵角半振幅を 5° とした場合、図一7、8は

M. NO. 114

HALF AMP. OF RUDDER ANGLE = 4°
 CENTER OF STEERING = $5.8^\circ \sim 7.8^\circ$
 SET ANGULAR VELOCITY $\doteq 0.75 \text{ }^\circ/\text{s}$
 $F_n = 0.11$

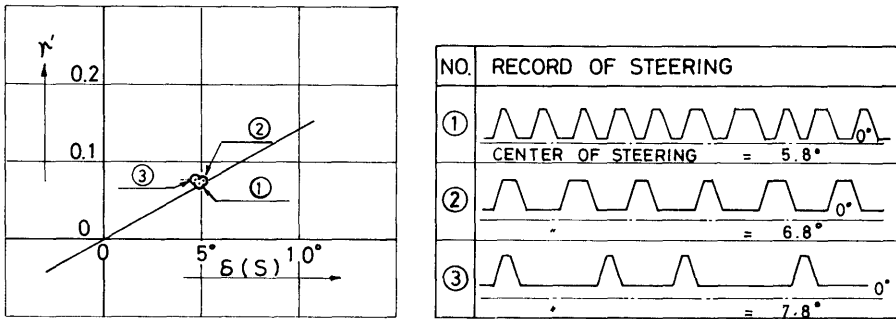


図8 高速コンテナ船の操舵中心移動の影響(2)

コンテナ船で設定角速度を約 $0.75^\circ/\text{s}$ 、舵角半振幅をそれぞれ 3° 、 4° とした場合で、操舵の中心を漸次移動したときの結果を示すものである。これらのうち、図-5の①と図-7の②の点は、航走状態が充分に整定しなかった為に図示のように点がはなれている。

今迄に著者が実施した模型試験に関する限り、 δ_m と δ_0 とのへだたりが大きい程実験点のばらつきが大きかった例が多かったが、今回実験した操舵に対する応答の遅い巨大油槽船でも、応答の早い高速コンテナ船でも、これらの図より判るように、 δ_m と δ_0 が多少へだたっている、航走状態が充分整定した部分について解析するならば、実験点のばらつきは僅少であり、屋外で行う水槽試験の精度から考えると、この程度のばらつきは誤差範囲内と考えてよい。

次に舵角半振幅の変化がその結果におよぼす影響について検討した。

元来小舵角の範囲での船の運動は極く弱い運動であるから、これに対して比較的大きい舵角半振幅を用いてその特性を求めようとする事は適当でないことは容易に推測出来る。一部の実船試験の例では舵角半振幅を $7^\circ \sim 10^\circ$ にとつた例もないでもないが、一般に実船、模型船共に 5° 前後に抑えられているものが多いようである。

この舵角半振幅を変えた実験例は少なく、著者が先に行った実験例では、舵角半振幅が 5° 以下であれば、その結果は殆ど変わらないか、或は舵角半振幅が小さい方が心もち不安定側になるという結果を得ている⁽¹⁾。

今回更にこのことを確認する為にこの2船型についても舵角半振幅を変えた実験を行った。

巨大油槽船型で舵角半振幅を 3° と 5° とした場合を図-9、10に、高速コンテナ船型にて舵角半振幅を $2^\circ \sim 5^\circ$ に変えた場合を図-11にそれぞれ示す。

これらの図より判るように、巨大油槽船型では舵角半振幅を 3° にしても 5° にしても、多少の点のばらつきはあるがその平均曲線は両者殆ど変わらない。又高速コンテナ船型でも、1つの角速度ではあるが、舵角半振幅を $2^\circ \sim 5^\circ$ に変えると、点は僅かにばらつくが、特に舵角半振幅の変化に比例したものでなく、誤差範囲内の点のばらつきと考えられる。要するに舵角半振幅は前述のように余り大きくすることは適当でないと考えられるが、 5° 程度迄で、且航走状態が充分整定した範囲について解析するならば、実験点のばらつきは誤差範囲内と考えると差支えない。

3.2 $\gamma-\delta$ 曲線の形状について

図-9、10に示す舵角半振幅を 3° および 5° とした場合、設定角速度を漸次変えて実験を進めてゆくうちに、或る設定角速度で突然に操舵の平均舵角がそれ迄の実験経過より推定される線上から別の処に移動し、何回同じ設定角速度で実験を繰返しても、推定される線上にもどらず、止むなく設定角速度を漸次変えて実験を進めると平均舵角は新しい線上をたどっていったが、或る設定角速度で再びもとの推定曲線上に戻った。このような現象があったので、念の為に同一実験を繰返した結果、同一設定角速度の実験でも異なる2つ

の平均舵角を示す場合があり、又図-12、の記録例に示すように同一実験中に操舵反復の状態が突然に変化し、その前後を別々に解析した結果、明らかに2つの異なる平均舵角を示す場合もあり、更に操舵反復の状態が安定せず、これを解析すると2つの線上の点の平均値を示す場合もあった。又同一設定角速度で何回実験しても一方の線上にのる点のみで、他の線にのる値が出ない場合もあった。然しながらこれらの実験を総合すると、図-9、10に示すように2本の平均曲線を引くことが出来た。

尚この2本の曲線のうち一方は図-13に示す普通のスパイラル試験結果に極く近い値を示した。

一般に小舵角における $r'-\delta$ 曲線は、針路安定性の良否に従い図-14(a)、(b)、(c)に実線で示すような形状になる。一般に船型が肥大するにつれて針路安

定性は劣化する傾向にあるから $r'-\delta$ 曲線も図-14(a)より(c)の方向に変化してゆく。又 L/B が小さく、 C_B が大きくなるに従い、これらの図中点線で示すような変化、いわゆる異常現象が出やすくなることが報告されている⁽²⁾。一般に異常現象を起す場合でも、異常現象を起し始める点、すなわち実線より点線に移行する附近では若干不安定になり、実線上の点と点線上の点が得られることはあるが、一度異常現象を起す範囲に入れば、点線上の点のみで実線上の点が出ることはまずなかった。本船型のように、小舵角の全般にわたり不安定で、結果的には2本の $r'-\delta$ 曲線がひけ、実験時の角速度の前歴や外乱により、いつれの線上の点もとりのうような例は今迄にみられなかった特異な例である。

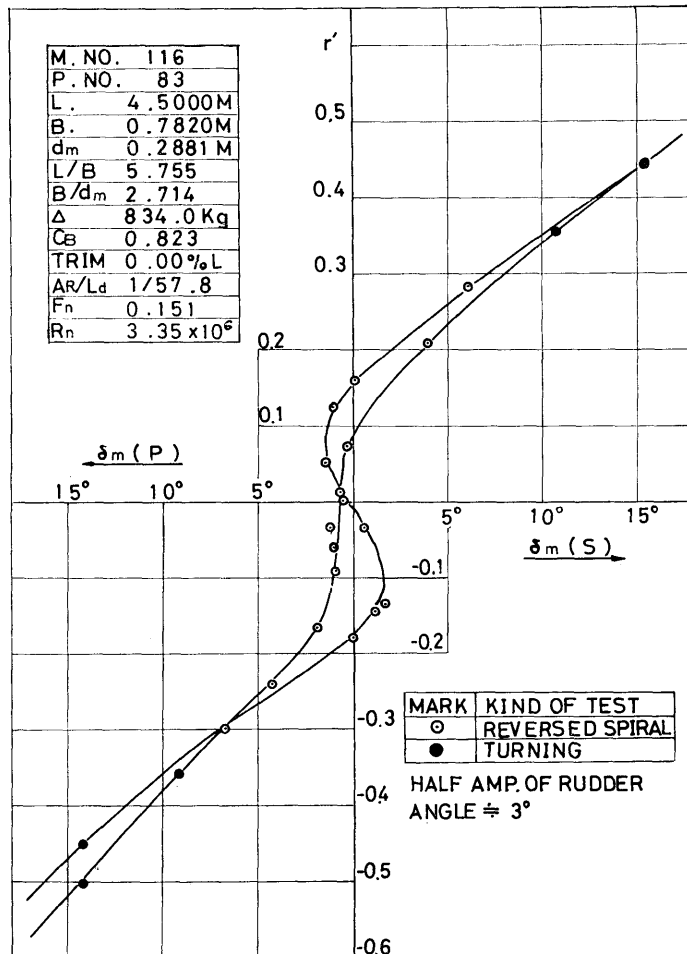


図9 油槽船の逆スパイラル試験結果(1)

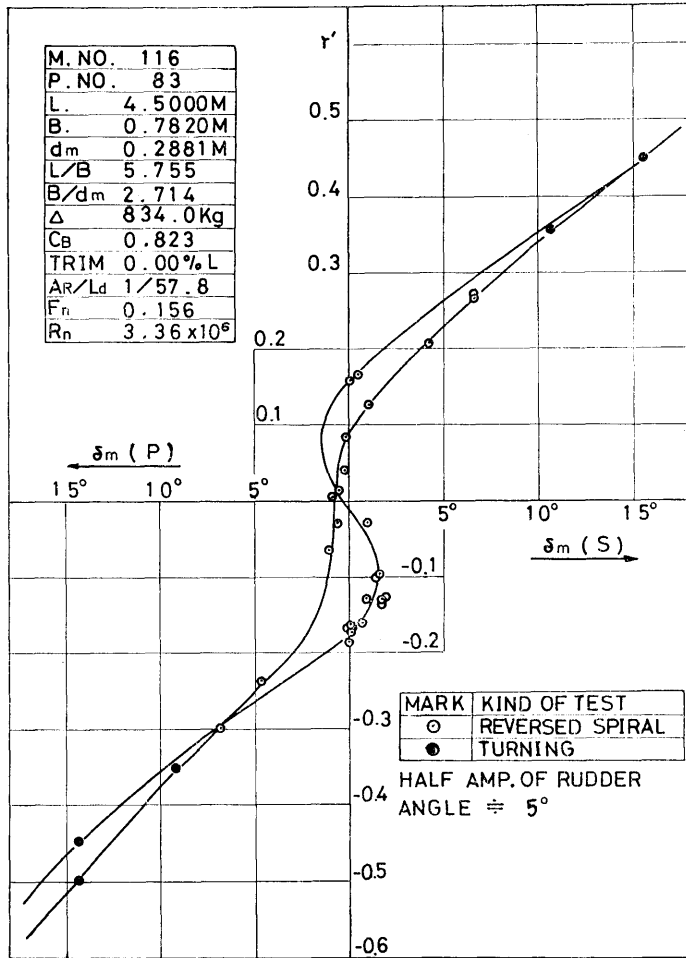


図10 油槽船の逆スパイラル試験結果(2)

M. NO. 114

HALF AMP. OF RUDDER ANGLE = 2~5°
 CENTER OF STEERING = S. 6.8°
 SET ANGULAR VELOCITY ≅ 0.75%
 F_a = 0.11

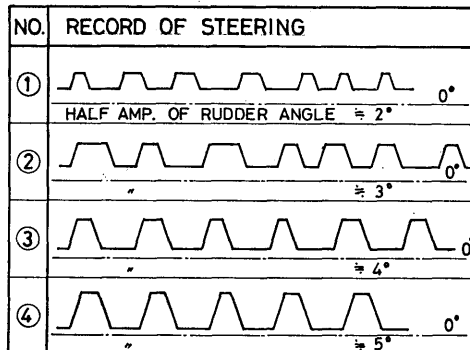
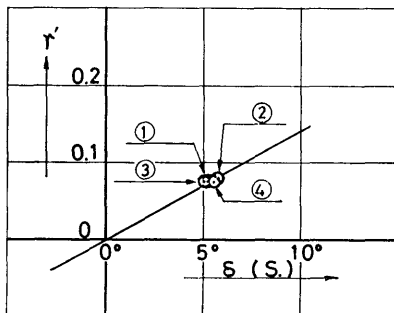


図11 高速コンテナ船の舵角半振巾の変化の影響

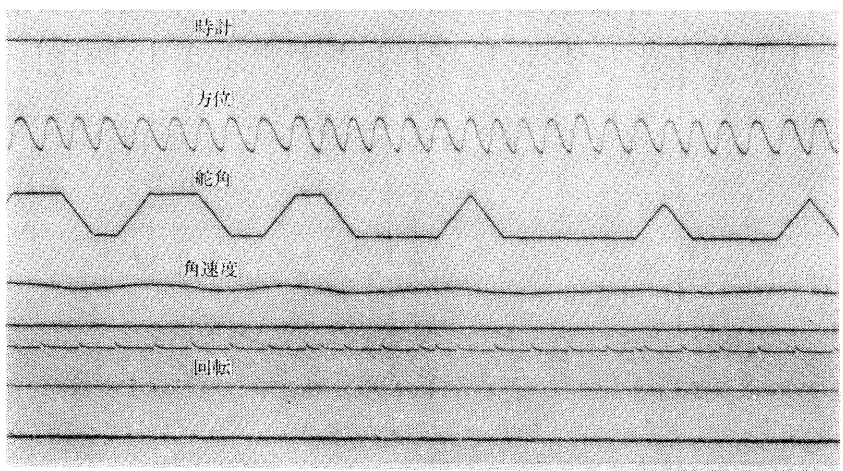


図12 記録の1例

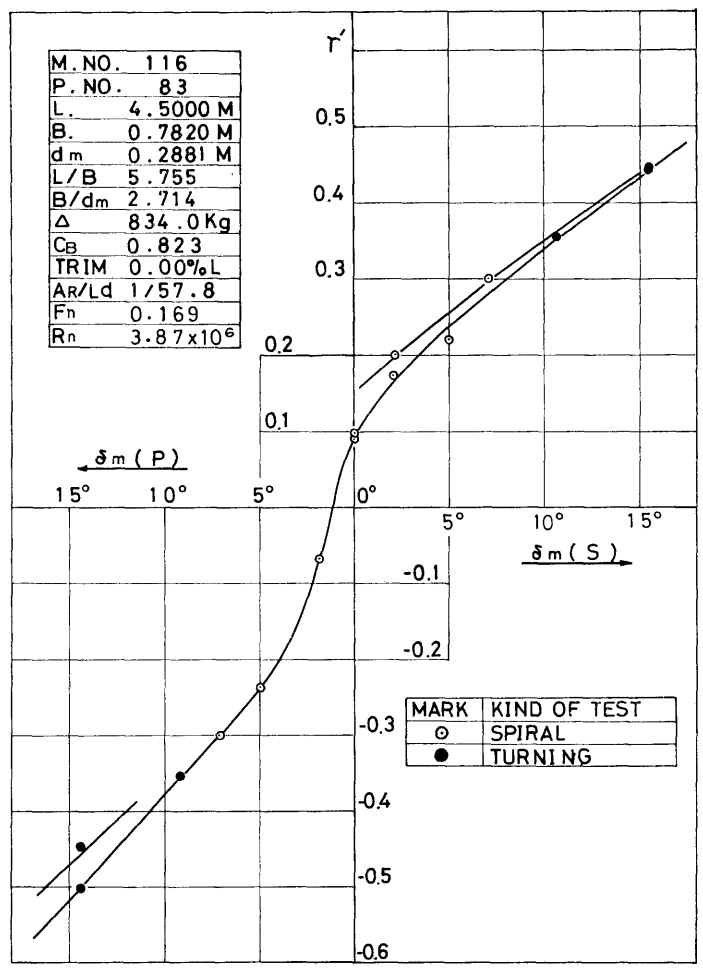


図13 油製船のスパイラル試験結果

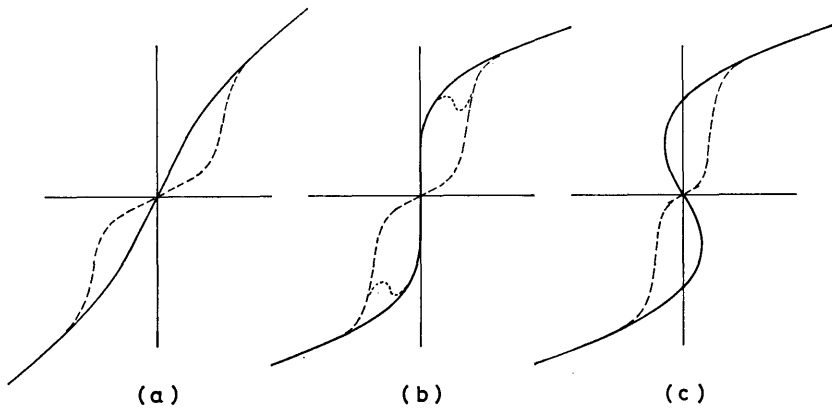


図14 $r'-\delta$ 曲線の代表例

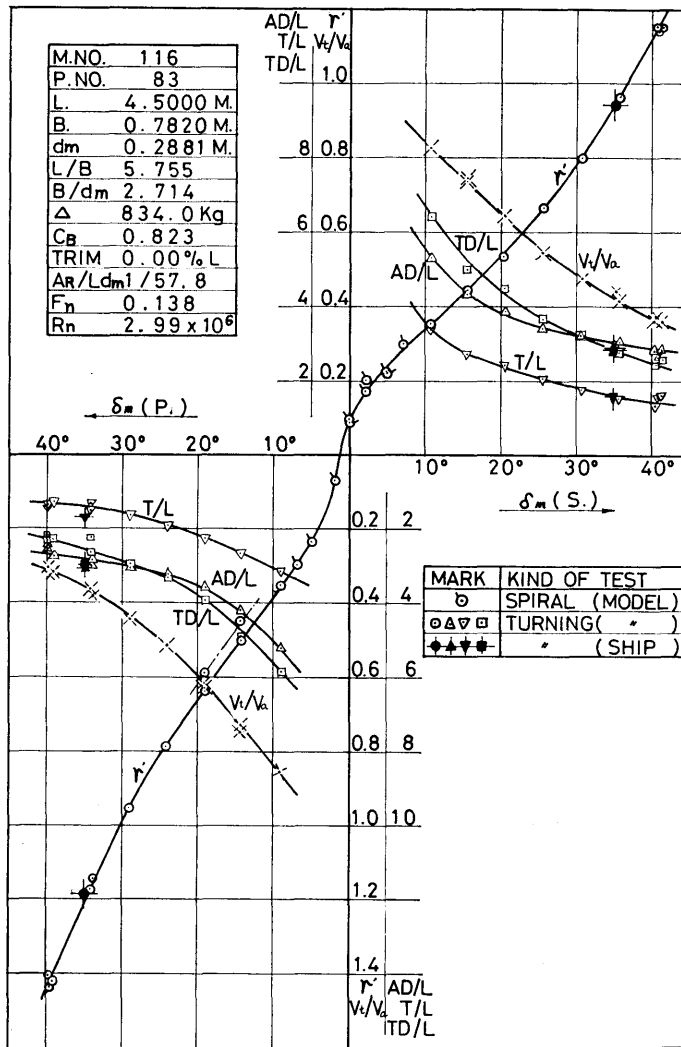


図15 油槽船の旋回試験結果

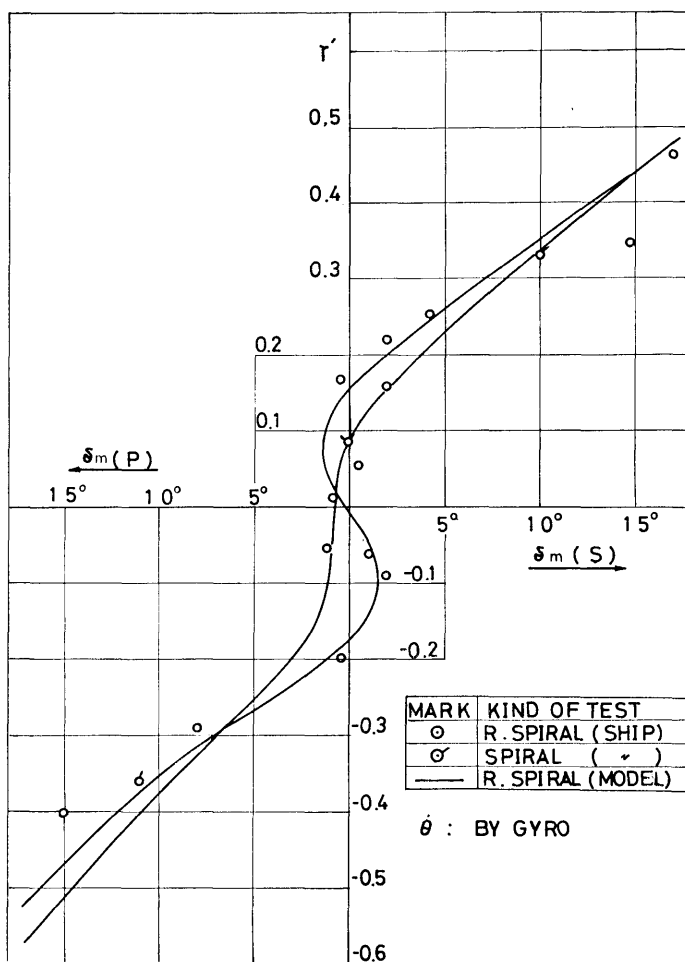


図16 油槽船の実船と模型船の逆スパイラル試験結果の比較

3.3 実船と模型船との相関について

巨大油槽船の模型船による旋回試験およびスパイラル試験結果に実船の旋回試験結果を加えたものを図—15に、又実船と模型船の逆スパイラル試験結果を比較したものを図—16に示す。

これらの図より判るように、本船型の旋回性は従来この種の船の内でも良好の部類に属し、針路安定性も安定である。

本船型の旋回性の特徴として次の2点を挙げる事が出来る。

第一に旋回状態が整定する迄に相当な時間を要することである。通常の船では $90^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 回頭すればほぼ旋回状態は整定するが、本船型では 180° 回頭しても尚旋回状態が整定しない場合もあった。

第二に図—17に1例を示すように、一定条件で旋回

しているのに、1周目と2周目で旋回半径が明らかに異なる場合があった。

以前著者は模型試験において同一条件で旋回しても、その旋回運動の前歴の如何により異なる旋回運動をする場合があることを指摘したことがあるが⁽⁸⁾、本船型でもこれと同様な現象があったものとする。

以上の点を考慮し図—15には、 $225^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 回頭間の平均の線速度と回頭角速度より求めた実船の r' の値を示す。

旋回試験の r' は両舷共に実船と模型船とは、非常に近い値を示している。縦距、横距、旋回圏については右舷旋回では両者は近い値を示しているが、左旋回では実船の方が僅かに大きい値を示している。

又逆スパイラル試験では、実船の r' の値は角速度をジャイロを用いて計測した時の値を示した。図—16

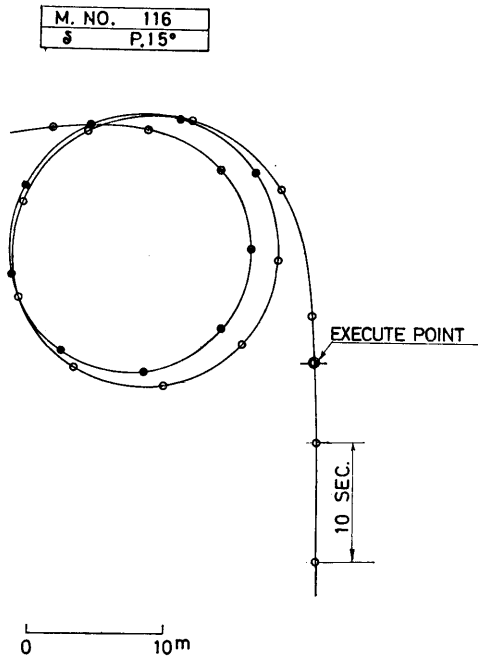


図17 油槽船の旋回軌跡の一例

より判るように、実船でも模型船と同様に、2つの安定した旋回状態があると判断されるような結果を示している。又通常実船試験よりも模型試験の方が安定側にでるのが普通であるのに、本船型ではかなり近似した値を示している。

4. む す び

以上の結果を総合して、次の諸点を明らかにすることが出来た。

1) 操舵に対する応答の遅い巨大油槽船型でも、応答の早い高速コンテナ船型でも、逆スパイラル試験において舵角半振幅が約 5° 以下であれば、舵角半振幅が多少変化してもその結果に対する影響は殆ど認められない。

又設定角速度、舵角半振幅を一定として、操舵の中心が平均の舵角から多少ずれていても、その結果のばらつきは殆ど誤差範囲内とみなせる。但しいかなる場合も航走状態が充分整定した部分について解析することに留意する必要がある。

2) 今回実験した巨大油槽船型では実船、模型船共に、中小舵角の範囲で2本の $\gamma-\delta$ 曲線がひけ、2つの安定した旋回状態が存在すると判断されるような結果を示した。このような現象は今迄に見られなかった。

3) 実船試験と模型試験の結果を比較すると、一般には旋回性はよく一致するが針路安定性は模型船の方が安定側に出る。今回実験した巨大油槽船型では第2項の事柄を含め、旋回性、針路安定性共に両者はかなり近似した特性を示した。

参 考 文 献

- (1) 森信篤外2名
「模型船による逆スパイラル試験例について」
第16回船研究発表会講演概要 昭和45年11月
- (2) 日本造船学会
「第2「回操縦性シスボジュームテキスト」」
昭和45年11月
- (3) 日本造船研究協会
「SR-98 委員会資料」