(昭和 50 年 5 月日本造船学会春季講演会において講演)

超肥船型の操縦性能に関する研究

(尺度影響と実用化の確認)

正員 梶 田 悦 司*	正員 森 正 彦**
正員 矢 木 孝 宣*	正員 魚 崎 誠 也***
正員 湯 室 彰 規*	正員 田 中 稔**
正員 田 中 満 佐 人*	正員 溝 口 純 敏*

On the Manoeuvrability of Ship having Small Length-beam Ratio

(Scale Effect and Confirmation for Application)

by Etsuji Kajita, <i>Member</i>	Masahiko Mori, <i>Member</i>
Takanobu Yagi, <i>Member</i>	Seiya Uosaki, <i>Member</i>
Akinori Yumuro, <i>Member</i>	Minoru Tanaka, <i>Member</i>
Misato Tanaka, <i>Member</i>	Sumitoshi Mizoguchi, <i>Member</i>

Summary

The radical growth in the transportation of crude oil has brought forth the enlargement of crude oil carriers, and the systematic studies on the economic potential have proposed the possibility to change the hull form by reducing length-to-beam ratio (L/B).

As a consequence, it has become quite inevitable to investigate the manoeuvrability at an early stage in the design of large tankers.

Under such circumstances, one of the greatest concerns of the authors is the manoeuvrability of a newly designed ship which is characterized by the stocky hull form with such a smaller L/B ratio as 5.0.

In order to find out the scale effect upon manoeuvrability and to confirm the accurate performances, two large 30m models, one for a conventional V.L.C.C. now in service and the other for a newly designed U.L.C.C., have been subjected to various tests at sea. Systematic model tests by geosim small models, of course, have been conducted in an experimental tank.

The result of these tests reveals that the new ship has rather superior performances to those of the conventional one, mainly due to the larger rudder fitted with the former.

In addition, the scale effect on the normal force of rudder has been examined, and also the flow around rudder has been analyzed from the records of rudder force generated by a steering.

These data contribute to refine a simulation program which has been developed so far for the prediction of the manoeuvrability.

A whole aspect of the research is outlined in this paper.

1 緒 言

石油輸送量の増加に伴い、タンカー船型の大型化が漸次進展して来たことは周知の通りである。船型の大型化

* 石川島播磨重工業(株)技術本部 技術研究所

** 石川島播磨重工業(株)船舶事業本部 基本設計室

*** 石川島播磨重工業(株)船舶事業本部 管理室

は原油1トン当りの輸送費を低減させ経済性の向上をもたらしたが、同時に1隻当りの建造投資額、運航費、維持費等の絶対額の増大となり、その結果、より運航性能の高い船を建造しようとする努力が払われて来ている。その一環として、基本設計段階でもどのような船型がトン当り船価および輸送費の面で秀れているかということについて、単に船の大きさだけでなく、主要寸法比、あるいは肥瘠度の大小をも考慮に入れた検討が大型電子計算機を用いて試みられるようになった¹⁾。その結果からは、長さ幅比 (L/B) に関しては極端に小さくなることはないにしても、現状よりもさらに小さい船型が出現することが予想された。事実、船型の大型化と共に L/B は年々小さくなる傾向をたどり、かなり近い将来には $L/B=5$ 程度の船が建造される情勢にある。

さて、 L/B の小さい船型を実船に採用するためには、種々の技術的問題が検討されなければならない。著者らは昭和44年よりこの問題に取組み、推進性能、船体構造でその可能性を確認すると同時に、今1つの重要課題である操縦性能の面についても小型模型船による基本的な系統試験²⁾およびシミュレーション計算³⁾などによる検討を行ない、可能性に対する一応のめどを得た。しかし、ここで最大の問題は尺度影響の把握と実船性能の予測精度である。これまで数多くまとめられている小型模型船・実船間の相関関係を見ても、プロペラ荷重度の大小ひいては舵への流入速度の大小を考えれば当然のことではあるが、全般的には小型模型船の方が針路安定側にあり、尺度影響の様相をより適確に把握した上でなければ、こと操縦性能に関しては小型模型船の試験結果から直接実船性能を判定することは極めて危険であることから、実用化へのひとつの段階として下記の如き大型実験船による確認試験が計画された。すなわち、昭和46年初めより、社内委員会が持たれ、実験船の船型、寸法、製作精度、運航維持、試験法等の検討を行ない、在来船型と超肥船型*の2隻の大型実験船で実験を行なうこととなった。

在来船型としては、就航実績が多く、且つ運航上とくに問題もなく、さらに比較的実船実験データが豊富に手もとに揃っている当社標準船型ということで、 $L/B=6.0$ の20万 DWT 型のタンカー船型を選定した。また実験船の大きさは、前述の系統試験に使用した小型模型船が1/100のオーダの縮尺であることから、これと実船との中間の縮尺を選ぶということで、実船の丁度1/10の長さ30mとした。一方超肥船型はこの実験のために $L/B=5.0$ の36万 DWT 型のタンカーを想定して設計したものであり、実験船は在来船型と同一長さの30mとした。

まず、 $L/B=6.0$ の実験船の海上実験が昭和47年4月から10月にかけて行なわれ、これに小型模型船、および実船を加えて構成される相似船型群の試験データを基に、尺度影響の調査と開発中のシミュレーションプログラムの精度の確認が行なわれた。次いで、 $L/B=5.0$ の実験船の海上実験を昭和48年3月から9月にかけて行ない、試験データの対比ならびにシミュレーション計算による予測を行なって超肥船型実用化のための確認を行なった。大型実験船では満載状態と軽荷状態について試験を実施した。また、操縦性能試験と同時に船尾流場の調査の一環として大型実験船を用いて伴流計測⁴⁾も行なった。本研究とあい前後して、この種実験船による試験が実施されているが^{5,6)}、ここに著者らが2隻の大型実験船により行なった実験のあらましを、満載状態の場合についてごく簡単に報告する。詳細については別の機会にゆずりたい。

2 実験船と計測項目

海上実験に使用した実験船は、20万 DWT 型タンカー ($L/B=6.0$) の1/10縮尺相似模型と36万 DWT 型超肥タンカー ($L/B=5.0$) の1/11.3縮尺相似模型の2隻である。両実験船の主要目を Table 1 に示す。同表には対比検討に使用した両船型の水槽試験用小型模型船、および実船の要目も示した。Fig.1に両実験船の一般配置図を示す。又 Fig.2は $L/B=6.0$ の船型の正面線図である。 $L/B=5.0$ の船型も肋骨線形状は同様の傾向であり、且つ前者と同じく、船首はバルバスバウ付、船尾は逆G型である。試験は、実船の舵と相似形の舵（以後A舵と呼称）を装備した場合と、この他に計算⁷⁾上、舵力が実船に等価となるように決められた小舵（B舵と呼称）を装備した場合について実施した。Table 2に舵の要目を、Fig.3に舵とプロペラの関係図を示す。

実験船には、主機関、バラストポンプ、計測電源用発電機等を納める機関室と、試験時の重量、重心位置、慣動半径等の調整のための6つのバラストタンクを配置し、上甲板上に計測室を置いた。この計測室は、風圧抵抗に関係するので極力小さくすることを考えたが、結果として、実船の上部構造物の約3倍の側面積となり、かなりの大きさとなった。参考のために Fig.1に実船の上部構造物の外形を太い破線で示した。その他、実験船と

* 船型の肥大度として ($C_B/L/B$) の値が考えられるが、在来船型はこの値が0.14程度であるのに対し、この値が0.16程度の船型を考え、これを超肥船型とした。

Table 1 Principal particulars of model and ship

	$L/B=6.0$			$L/B=5.0$		
	Ship	Large model	Small model	Ship	Large model	Small model
Scale ratio	1/1	1/10	1/133.3	1/1	1/11.3	1/136
L_{pp} (m)	300.0	30.0	2.25	340.0	30.0	2.50
B (m)	50.0	5.0	0.375	68.0	6.0	0.50
d (m)	19.0	1.9	0.143	22.6	1.99	0.166
C_b	←	0.83	→	←	0.80	→
L/B	←	6.0	→	←	5.0	→
B/d	←	2.63	→	←	3.01	→
k/L	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.23
Speed (m/sec)	8.26	2.61	0.71	8.08	2.40	0.69
Propeller						
Dia (m)	8.36	0.836	0.063	9.58	0.845	0.070
Pitch ratio	←	0.72	→	←	0.67	→
Number of blade	←	5	→	←	5	→

Fig. 1 General arrangement of large models

して法規上必要な艤装品を装備した。主機関の型式と性能は、実船をそのまま模擬するという考えから、船体運動に伴って、回転数の低下の様子も実船と同程度となることが望ましいという議論がある⁹⁾。しかし、模型船と実船とですでにプロペラ荷重度が相違している状態で、このように考えることがそれほど明確な意味のあることではないと思われたので、小型模型船にならって運動中もほぼ回転数が一定である主機を選定した。また、操舵の時間経過を実船と対応するように操舵機の動作時間を調整した。

計測項目は、船首方位、回頭角速度、舵角、船速の他に、主軸回転数、スラスト、トルク、舵直圧力、舵トルク

Table 2 Particulars of rudder

	$L/B=6.0$				$L/B=5.0$			
	Ship	Large model		Small model	Ship	Large model		Small model
Type of rudder	—	A	B	A	—	A	B	A
Rudder area ratio $Ar/L \cdot d$	1/64	1/61*	1/113	1/61*	1/52	1.50*	1/92	1/50*
Aspect ratio	1.35	1.35	2.49	1.35	1.36	1.36	2.51	1.36
Prop. dia./rudder height		← 0.75 →				← 0.66 →		

* Because the model rudders have rectangular shape including horn part.

 Fig. 2 Body plan ($L/B=6.0$)

Fig. 3 Arrangement of rudder and propeller

操縦性試験の殆んどが精度よく自動的に実施できる試験制御装置を設計製作し、計測室内に設置使用した。試験場所は本試験に必要な水深および海面広さを検討し、さらに技術研究所との連絡の便宜等を考慮したうえで、東京湾内磯子沖に選定した。

3 試験結果

大型実験船による海上実験で実施された試験項目は、従来実船あるいは小型の自航模型船で実施している操縦性能試験と同じく、 5° 、 10° 、 15° 、 20° Z試験、 $5^\circ-1^\circ$ 、 $5^\circ-2^\circ$ 、 $5^\circ-3^\circ$ の変形Z試験、舵角 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 35° の

 Fig. 4 Zig-zag test results (Large model of $L/B=6.0$ with rudder "A")

 Fig. 5 Zig-zag test results (Large model of $L/B=5.0$ with rudder "B")

等である。船首船底に3孔ピトー管を出し流速の他に流向をも計測した。この流向と回頭角速度記録から、対水横流れ角を算出した。また、船速は、特にこの試験のために設置した標柱間隔200mのマイルポストを各試験日の最初と最後に航走して、流速計の検定を行ない、速度の正確を期した。旋回時の航跡は、ポテンシオメーターを組込んだトランシットを船上に設置し、これから浮遊式のブイを見通す三角測量と、ジャイロによる方位変化の記録とから算出する方法をとった。舵直圧力は今回の海上実験の主要計測項目であり、文献9)の例に倣って特に本実験用に電気抵抗線歪計式の検力計を設計製作し、検力計単体の検定および実験船に設置したあとの現場検定も行なう等、慎重を期した。主軸スラスト、およびトルク計測は磁歪管式のものによった。試験には人為的な誤差が入らないように、旋回試験、Z試験、逆スパイラル試験等の

旋回試験, スパイラル試験, 逆スパイラル試験およびオートパイロットによる保針ならびに変針試験などである。それぞれの試験はデータの信頼性を高めるため, 海象の穏かな時を選び最低2回以上実施した。特にスパイラル試験および逆スパイラル試験は風速 1.5 m/sec 以下の風を狙って実施した。

Z試験は文献10)に倣って運動方程式を1次系近似とし, 1山目を除き, 5山目までを最小2乗法で解析して, T, K 指数を求めた。Fig. 4に $L/B=6.0$ の大型実験船にA舵を装備して実施したZ試験の解析結果を示す。Fig. 5に $L/B=5.0$ の大型実験船にB舵を装備した場合のそれを示す。Fig. 6は $L/B=6.0$ の船型について実船, 大型実験船および小型模型船の $1/T'$ を比較した図である。本図によると, 相似舵を装備した場合は, 全体として, 実船, 大型実験船, 小型模型船の順で針路安定の傾向にあることがよく解る。この傾向は, $10^\circ \sim 15^\circ$ Z試験に相当する $r_m' = 0.1 \sim 0.15$ の範囲で顕著で, 運動の小さい所, および大きい所ではその差はあまり大きくない。同図にはまた大型実験船にB舵を装備した場合の解析結果も併記してあるが, 前述のB舵計画の意図に沿って実船の解析値にかなり近い位置に来ており傾向的にも対応している。紙面の都合で掲示は省略するが $1/K'$ についても $1/T'$ と同様の傾向が得られている。Fig. 7は $L/B=5.0$ の船型について, 小型模型船, 大型実験船の $1/T'$ を比較した図である。図中には比較のために, $L/B=6.0$ 船型の $1/T'$ も併記したが, 縮率と針路安定性の関係は両船型とも同様である。本図により両船型間の性能を比較してみると, 比較的大きな舵面積を採用したためと思われるが, $L/B=5.0$ の船型は肥大度の割には $L/B=6.0$ の船型と比べて針路安定側にある。

Fig. 8は $L/B=6.0$ の大型実験船にA舵を装備した場合の旋回試験, スパイラル試験および逆スパイラル試験の結果をまとめて

Fig. 8 δ - r' curve (Large model of $L/B=6.0$ with rudder "A")

Fig. 6 Comparison of $1/T'$ between model and ship ($L/B=6.0$)

Fig. 7 Comparison of $1/T'$ ($L/B=5.0$ and $L/B=6.0$)

Fig. 9 Comparison of δ - r' curves between model and ship ($L/B=6.0$)

Fig. 10 Comparison of δ - r' curves ($L/B=5.0$)

がわかった。 δ - r' 曲線の原点付近で特異な針路安定現象が現われている報告例はこれまでにもあるが^{11,12)}、本試験に供した大型実験船では、オートパイロットあるいは手動操舵による直進時に船首方位角の大きな振れや、不都合な大舵角の操舵は全く認められなかった。

以上これらの図と $L/B=5.0$ 船型の性能は、小型模型船、A 舵および B 舵装備の大型実験船のいずれの場合についても $L/B=6.0$ 船型のそれに勝っている事、および $L/B=6.0$ の大型実験船に B 舵を装備した場合の性能は実船のそれにほぼ近いことに注目して、 $L/B=5.0$ の船型は A 舵並の比較的大きな舵を装備すれば、十分実船として成立ち、且つその場合の性能は B 舵装備の大型実験船のそれに近いであろうと類推できる。

4 舵力特性の検討

尺度影響の検討上重要な位置をしめる、船後ならびにプロペラ後流中の舵性能については、すでにいろいろの研究がある^{13,14)}が、いずれも比較的小型の模型によるものである。ここでは、大型実験船で舵力計測を行ない、小型模型船によるそれと対比して舵力に対するプロペラ荷重度の影響を検討した。本来ならば船を拘束曳航し、舵力を計測すべきであるが、ここでは大型実験船で可能な便宜的方法を考えて実施した。すなわち、自航で直進中に転舵し、転舵完了直後の舵力の計測値をとり、船体運動があまり発達せず、直進状態に近く、また操舵によってプロペラに与える 2 次的な影響が小さいと仮定して操舵直前の後流を基に解析した。解析にあたって舵角の大きさにより、計測時の船体運動の影響が入るので、ピトー管位置の流向の変化と、回頭角速度による船尾の幾何学的流向から求めた舵位置での流向の変化がほぼ 1.5° 以下となる転舵 20° 以下の計測値を使用した。大型実験船の結果と対比するため、小型模型船でも同様な実験を行なった。但し小型模型船による舵力試験の解析には、自航時のスラスト計測の信頼性が良くないので、7m 模型の自航試験を基にして推定した伴流係数を使用した。

舵の直圧力係数は

$$C_N = \frac{N}{\frac{1}{2} \rho A_R V_m^2}$$

N : 舵直圧力, ρ : 流体密度, A_R : 舵面積

$V_m = \sqrt{\frac{V_0^2 S_1 + V_r^2 S_2}{A_R}}$: 舵にあたる平均流速

S_1 : プロペラ後流の範囲外にある部分の舵面積

S_2 : プロペラ後流の範囲内にある部分の舵面積

δ - r' 曲線としたものであり、Fig. 9 は同船型の小型模型船、大型実験船および実船についての δ - r' 曲線の比較図である。Fig. 10 は $L/B=5.0$ の船型についての δ - r' 曲線の比較図である。Fig. 9 および Fig. 10 を見ると相似舵を装備した限りでは、これまでに良く知られているように、運動の大きい所においては縮率の大小を問わず δ - r' 曲線は大略一致しており、また運動の小さい所でも、巨視的には Z 試験の解析結果と同様に、実船、大型実験船、小型模型船の順で針路安定である。ただし原点付近で、三者それぞれ特徴のある傾向を示している。特に大型実験船では A 舵、B 舵装備の場合、共に特異な針路安定現象が現われている。これは Fig. 4~7 に示す Z 試験の解析結果で r_m' がある程度小さい所において $1/T'$ が大きくなる傾向と密接に関係しているものと想像される。そこでこの点について今少し調査を進め、上述の如き特異な δ - r' 曲線の形を模擬して簡単な操縦運動シミュレーション計算を別途実施した所、このような関係もあり得る事

V_r : プロペラ後流 (平均値)

V_0 : 船体の後流 (平均値)

Fig. 11 Normal force coefficient of rudder "A" ($L/B=6.0$)

Fig. 12 Normal force coefficient of rudder "A" ($L/B=5.0$)

とし、舵にあたる流速は計測したスラストからプロペラ後流を神中の式¹⁵⁾で推定し、プロペラ後流の範囲外にある部分の面積を考慮した上式より求めて平均流速とした。Fig. 11, 12 は $L/B=6.0$ と $L/B=5.0$ の船型についての直圧力係数でそれぞれ大型実験船と小型模型船の値を比較したものである。

上述の便宜的な舵性能試験法の妥当性を確かめるために、これとは別に、 $L/B=6.0$ と $L/B=5.0$ の両船型について、船長 4m の小型模型船を拘束曳航して求めた舵性能¹⁶⁾を併記した。この 4m の模型船により得られた舵性能は大型実験船のプロペラ荷重量度に対応させたものである。4m 模型船と大型実験船の実験から得られた舵力係数の勾配を比較すると、4m 模型船によるものが多少大き目であるが、ほぼ大型実験船によるものと程度である。このことは、大型実験船で実施した便宜的な舵特性試験はほぼ妥当なものであることを示している。これと同じ方法で得られた Table 1 に示す小型模型船の値は、両船型共に舵力勾配はやや小さく、特に $L/B=6.0$ の船型ではその差が大きい。この相違は、例えば長さ 2m 程度の小型模型船ではプロペラ荷重量度が極端に高いこと、その上後流のあたる部分が舵の高さに対して小さいために後流強さの影響が助長されること、船体後流の推定に問題があること、また小型になるほど舵が小さくなりレイノルズ数が小さくなることなどの影響が考えられる。特に $L/B=6.0$ の船型の舵は小さく、レイノルズ数が約 5×10^4 程度である。

Fig. 13 は舵直圧力を船体要目と船速で無次元化し

$$C_{NL} = \frac{N}{\frac{1}{2} \rho L^2 V_a^2}$$

C_{NL} : 舵直圧力係数 (船体要目で無次元化)

L : 船長

V_a : 転舵直前の直進時の船速

で表わしたもので、小型模型船と大型実験船との比較図である。この図では舵力のプロペラ後流の差による影響の程度がわかる。但し、小型模型船に関する値は、Fig. 11 と Fig. 12 で見られるように舵特性が大型実験船のものと異なるのでこのことを考慮して見る必要がある。 $L/B=6.0$ と 5.0 の船型について、舵力の推定式⁷⁾で算出した舵力勾配の値と Fig. 13 の実験結果のそれぞれについて、小型模型船と大型実験船の比の形で表わしたものを Table 3 に示す。これによると $L/B=5.0$ の船型では計算と実験とが殆んど一致しているが、 $L/B=6.0$ の船型では若干異なっている。以上の検討で模型船の舵に及ぼすプロ

Fig. 13 Comparison of normal force coefficient of rudder "A" ($L/B=5.0$ and $L/B=6.0$)

Fig. 14 Typical time history of 10° zig-zag test ($L/B=5.0$)

Table 3 Ratio of rudder force derivative

$\left(\frac{\partial C_{NL}}{\partial \delta}\right)$		$L/B=6.0$	$L/B=5.0$
$\left(\frac{\partial C_{NL}}{\partial \delta}\right)$ Small model	Experiment	1.08	1.09
$\left(\frac{\partial C_{NL}}{\partial \delta}\right)$ Large model	Calculation	1.31	1.10

の舵力は大型実験船のそれに対して約 10~15% 大きく、Table 3 に示した相関関係に対する妥当な裏付けとなっている。また、運動の経過に従った舵力変化の様相についても小型模型船と大型実験船との間に差違があることが明瞭にわかる。

ペラ荷重度の影響はある程度把握できた。但し、小型模型船の舵特性については、従来よりもプロペラ荷重が高く、舵高さに対しプロペラ直径がかなり小さい状態での特性等について、さらに研究する必要がある。小型模型船と大型実験船との舵力特性が計算と対応している $L/B=5.0$ の船型について、小型模型船と大型実験船の Z 操舵運動中の舵力の時間経過を対比し Fig. 14 に示す。図中の運動のごく初期の段階で、小型模型船

5 船尾流場の検討

直進状態で操舵して舵特性を求めたと同じ要領で、定常旋回中に舵を中央に戻し、その時の舵力変化を計測し、第 4 節の場合と同様の考えで、舵の切返し直後の後流を基に舵力を解析して、旋回中の有効舵角と整流係数を求めた。旋回中の舵力係数を

$$C_N(\alpha) = k \sin \alpha$$

α : 有効舵角 k : 舵力係数勾配

とし、また、模擬的な船尾流れを Fig. 15 の如くと考え、転舵により舵力係数の勾配が変化しないものと仮定すると、

$$\frac{C_N(\alpha)}{C_N(\tau)} = \frac{k \sin \alpha}{k \sin \tau} = \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha - \delta)}$$

$C_N(\alpha)$: 舵角 δ で旋回中の舵力係数

$C_N(\tau)$: 舵を中央に戻した直後の舵力係数

δ : 操舵の角度

τ : 船尾流向

Fig. 15 Schematic model of flow around rudder

から

$$\tan \alpha = \frac{C_N(\alpha) \cdot \sin \delta}{C_N(\alpha) \cdot \cos \delta - C_N(\tau)}$$

が得られ、定常旋回中の舵力、および舵を中央に切返した時の舵力から、旋回中の有効舵角が得られる。このようにして得られた船尾流向から、整流係数が

$$C = \frac{\tau}{\beta + \beta'}$$

C : 整流係数 β : 偏角

$\beta' = r' \frac{l_R}{L}$: 舵位値に於ける回頭角速度による幾何学的斜流角

l_R : 船の重心から舵力中心までの距離

から得られる。Fig. 16 はこの方法で得られた $L/B=6.0$ と、 $L/B=5.0$ の大型実験船の整流係数である。図中に $L/B=6.0$ 船型の 4m 模型船の斜航試験での舵力をもとに解析して求めた結果¹⁰⁾を示す。4m 模型船によるものは、プロペラ回転数を変化させたものを記してある。大型実験船で求めた整流係数は 4m 模型船により求めたものと傾向的にはよく一致している。

Fig. 16 Flow straightening coefficients

6 操縦性シミュレーション

船舶の大型化、船型の肥大化あるいは多様化に対処するために、船体主要目を決定する段階で、操縦性能の良否を予測するシミュレーションプログラム³⁾を本実験に先立って開発して来た。このシミュレーション計算は小川の方法¹⁷⁾に倣って非線形の操縦運動方程式を大型電子計算機を駆使して解いて行くものである。この中で船体微係数は、小型拘束模型船による計測値を用いるか、あるいは数多くの計測結果を整理してまとめた推定式、および図表より得た値が用いられる。一方、舵力およびプロペラにより発生する力は、舵尾流場に対する尺度影響が非常に大きいので、縮尺率に応じてプロペラ荷重度を介して修正されたものが用いられるようになっている。舵に入る流速は、伴流係数およびプロペラ荷重度で決まり、流向については船体整流係数およびプロペラ荷重度で変るプロペラ整流係数で定まる計算モデルを使用している。

今回、大型実験船で計測された船尾流場も前述のごとくそれが妥当であることを示している。しかし細部につ

Fig. 17 Comparison of Z-maneuvre between experiment and simulation ($L/B=6.0$)

いては不明の点があったため、これらの点については定量的な修正をほどこし、プログラムの精度向上を図ることができた。一例として $L/B=6.0$ の実験船の Z 操舵運動について計算結果と計測値の対比を Fig. 17 に示した。周期に若干のずれがあるが、回頭角の振れ幅、舵力および船速の変化については両者間で非常によい一致が認められる。従来、専ら実船の操縦性能の検討に使用されてきた本シミュレーション計算は大型実験船に対しても非常によい一致が得られることが確認された。なお、シミュレーションに使用した船体微係数は、線形項は小型拘束模型による計測値であるが、非線形項については、当時の試験設備では正確な値が求められなかったため、推定図表によるものである。

7 ま と め

在来船型と超肥船型の 2 隻の大型実験船を用いて海上実験を行ない、この結果に小型模型船さらには実船の試験結果を加えた一連のデータに基づき操縦性能についての尺度影響の調査と、超肥船型実用化のための確認を行なった。また便宜的な方法により舵特性および船尾流場についての検討も行なった。その結果をまとめると次の如くである。

1) 相似舵を装備した場合の Z 試験から得られた結果によると、中程度の運動では実船、大型実験船、小型模型船の順で針路安定の傾向にある。

2) 比較的大きな舵面積を採用した事が主因と思われるが、 $L/B=5.0$ の船型は保針性能において小型模型船、大型実験船のいずれの場合についても、肥大度の割には $L/B=6.0$ の船型に比べて針路安定側にある。

3) $L/B=6.0$ の大型実験船に実船の舵力に等価な舵 (B 舵) を装備したものは実船とほぼ同程度の操縦性能が得られた。

4) 上記の 2), 3) 項より $L/B=5.0$ の船型は、本試験に採用した程度の大きさの舵を装備すれば、十分実船として成立ち、且つ、その場合の性能は本船型に B 舵を装備した大型実験船のそれに近いと類推できる。

5) 自航模型船による便宜的な方法で舵特性を調べた結果は、4m 模型船を拘束曳航して求めたものとはほぼ等しく、この方法が妥当であることを確認した。この方法によって小型模型船と大型実験船の舵特性を調べ、推定計算と対比し、舵力のプロペラ荷重度による影響の程度がある程度把握できた。

6) 長さ 2m 程度の小型模型船の舵性能については、プロペラ荷重度の高い場合、およびプロペラ直径が舵高さより小さい場合など、さらに研究する必要がある。

7) 実船用に使用している操縦運動のシミュレーションプログラムは、今回の大型実験船による試験結果をもとに若干の修正を加えたことにより、より一層精度向上を図ることができた。

小型模型船による舵力あるいは船尾流場等について、より詳細な研究を進め、これとシミュレーション計算を用いることにより、小型模型船による実験から直接実船の操縦性能をより確実に予測することが期待され、今後の研究に待つ所が大きいと思われる。

謝 辞

本研究にあたり 2 隻の 30m 大型実験船の建造に対し絶大なるご理解とご協力をいただいた運輸省関東海運局の関係各位に心中から感謝致します。

本研究の実施に際し、いろいろご鞭撻をいただいた石川島播磨重工業矢野副社長に、また研究期間中細かくご指導くださった同船舶事業本部国安基本設計室長、技術研究所神中部長、田崎部長に厚くお礼申しあげます。さらに、実験船の建造にあたられた東京第 2 工場のかたがた、実験に協力をおしめなかった横浜第 2 工場のかたがた、および実験ならびにデータ解析に従事した船舶事業本部基本設計室の早川政雄、宇井和夫、手塚信親、技術研究所の山本久一、蒲谷達雄の諸氏に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 国安常雄：タンカーの巨大化に関する考察，日本造船学会，巨大船の構造強度についてのシンポジウムテキスト，(昭和 49 年 3 月)。
- 2) 湯室彰規：幅広大型タンカー船型の操縦性に関する研究，石川島播磨技報，第 15 巻，第 2 号。
- 3) 森 正彦他：船の操縦性シミュレーションプログラムとその適用例，石川島播磨技報，第 14 巻，第 5 号，(昭和 48 年 9 月)。

- 4) 並松正明他：肥大船における実船と模型船の伴流分布，日本造船学会論文集第 134 号，(昭和 48 年 12 月)，および肥大船型の船尾の流れ，石川島播磨技報，第 14 巻，第 1 号，(昭和 49 年 1 月)。
 - 5) 岡本 洋他：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)。
 - 6) 佐藤 茂他：大型模型による幅広船の操縦性に関する研究，日本造船学会論文集第 134 号，(昭和 48 年 12 月)。
 - 7) 森 正彦：プロペラ後流中に置かれた舵の直圧力計算について，関西造船協会誌第 153 号，(昭和 49 年 6 月)。
 - 8) 野本謙作他：操縦性に関する実船，模型船の相関，日本造船学会第 2 回操縦性シンポジウムテキスト I-5，(昭和 45 年 11 月)。
 - 9) K. Suhrbier : Rudderkraft messungen und manövrier versuche auf dem Forschungsschiff "Meteor", Jahrbuch Schiffbautechnik Gesellschaft Bd. 59, (1965)。
 - 10) 野本謙作他：操縦性試験法，日本造船学会第 2 回操縦性シンポジウムテキスト I-3，(昭和 45 年 11 月)。
 - 11) 元良誠三他：針路不安定な船の特質，日本造船学会第 2 回操縦性シンポジウムテキスト II-2，(昭和 45 年 11 月)。
 - 12) 元良誠三他：異常現象を伴う船の操縦性の一解析，日本造船学会論文集第 128 号，(昭和 45 年 12 月)。
 - 13) 岡田正次郎：船の背後における舵の性能に関する実験結果について (舵の流体力学的研究，その 5)，造船協会論文集第 105 号，(昭和 34 年 7 月)。
 - 14) 藤井 齊：自航模型船による舵特性の研究，その(1)，(2)，(3)，造船協会論文集，第 107，110，111 号。
 - 15) 神中竜雄他：高速船型の旋回に関する 2，3 の問題，造船協会論文集第 111 号，(昭和 37 年 6 月)。
 - 16) 湯室彰規：斜航する船体の舵位置における流向に関する実験的研究，石川島播磨技報，第 14 巻，第 4 号，(昭和 49 年 7 月)。
 - 17) 小川陽弘：外力を受ける船の操縦運動の計算 (その 1) — 様な風と流れの中の直進および旋回 —，日本造船学会論文集第 126 号，(昭和 44 年 12 月)。
-