

船の長さの変化が操縦性におよぼす 影響について

本村紘治郎・高島末夫・田淵清春

Effect of Hull Elongation on Manoeuvrability of Ship

By

Kojiro MOTOMURA, Sueo TAKASHIMA, and Kiyoharu TABUCHI

The recent advance in ship building made it possible to construct economical ships of high transportation capacity such as huge and wide beam tankers. In order to make the already-built ships adapt themselves to this trend, some of them were reconstructed to enlarge either their length or breadth or depth.

A change in hull form has a great influence on manoeuvrability of a ship. Clear understanding of this is indispensable not only to ship builders but also to navigator. And many experiments with model or actual ships were made and their results have been clarified theoretically.

The training ship of our university, Tenyo-maru, was elongated from 43.30 m to 48.00 m in L_{oa} . For the purpose of clarifying the change of manoeuvrability caused by this hull elongation, a series of turning tests in the field with this actual ship was carried out. And the following results were obtained:

(1) As it is obvious in Fig. 6, little change in manoeuvrability was found when the rudder angle was about 10 degrees or less, in spite of 12.6% hull elongation (in L_{pp}). When the rudder angle was about 10 degrees or over, however, it was found the turning ability was lowered compared with that of the ship before reconstruction.

(2) It is necessary to take into careful consideration the effect on manoeuvrability by variations of d/L , C_b and the rudder area ratio with the change of L/B , when studying the effect on manoeuvrability by the change of hull length.

(3) It might be said that the characteristics of the effect on manoeuvrability by hull elongation differed according to the change of rudder angle. When the rudder angle was about 10 degrees or less the variations of d/L , C_b and the rudder area ratio had a great influence on manoeuvrability, but L/B became influential when the rudder angle was about 10 degrees or over.

* 水産大学校研究業績 第 796 号, 1977 年 6 月 10 日受理。
Contribution from the Shimonoseki University of Fisheries, No. 796.
Received June 10, 1977.

1. 緒 言

近年、建造される船舶は経済船型の考え方と造船技術の進歩から大型化・肥大化の傾向にある。また、輸送力を高めるため、既造の船舶の長さ・幅・深さを拡張する増トン改造工事も盛んに行なわれている。船体の大型化・肥大化や改造に伴う船型の変化が船の操縦性におよぼす影響については、各種の実験が行なわれ、その理論も次第に明らかにされている。しかし、これらの実験は船体の幅(B)だけを变化させた系統模型船によるものが多く、長さ(L)の変化に伴う L/B の变化が操縦性におよぼす影響については、模型船実験も少ないうえに実船実験ではまだ例をみない。

本校の練習船天鷹丸では、船体の長さを延長する改造工事が行なわれた。著者らは天鷹丸の改造に伴う操縦性の変化を調べるため、改造後実船実験を行ない改造前の操縦性¹⁾と比較検討したので、その結果を報告する。

2. 供試船および実験方法

実験に用いた天鷹丸の改造前と改造後の船体側面図を第1図、主要目を第1表に示す。

本実験では、改造後の供試船の進路安定性、追従性および任意の舵角における旋回能力を知るため、舵角を両舷それぞれ 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 25° 、 30° と指定して、旋回試験を行なった。

旋回軌跡を得るため、操舵開始時点を原点として、ジャイロコンパス(北辰プラートC-2型)およびサルログ(北辰圧力式3型)の指示より、航走中の供試船の船首方位および速力を5秒毎に同時に読み取り記録した。なお、ほぼ正確な定常旋回運動の軌跡を得るため、回頭角が操舵原点から 400° にわたるまでこれらの記録を続けた。

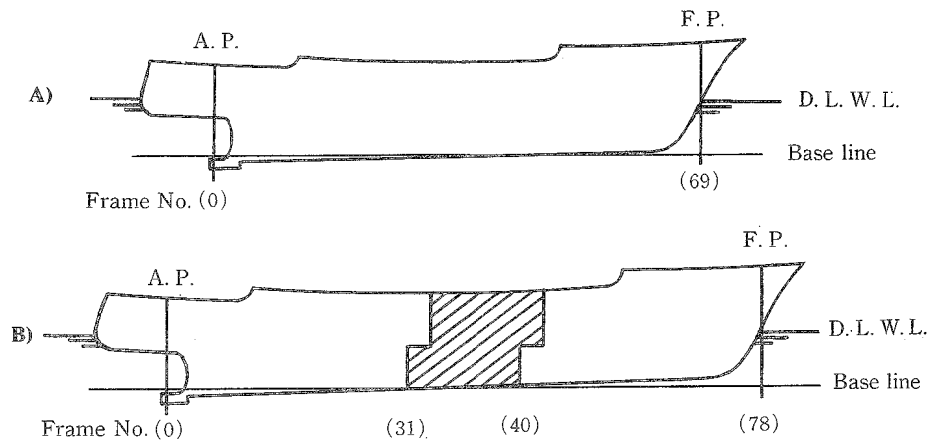


Fig.1. Hull contour of the Tenyo-maru.

Notes A): Before reconstruction
 B): After it
 Hatched part : New block inserted

Table 1. Principal dimensions.

	Before reconstruction	After reconstruction
L_{oa} (m)	43.30	48.00
L_{pp} (m)	37.30	41.974
B (m)	8.30	8.30
D (m)	4.30	4.30
Gross tonnage (t)	447.98	518.31
Displacement tonnage (t)	623.60	743.10
d_f (m)	3.00	2.937
d_a (m)	4.00	4.063
d_m (m)	3.50	3.50
Normal trim (m)	1.00	1.126
Rudder area ratio (F. L. draft)	1/35.1	1/39.5
L_{pp}/B	4.494	5.057
d/L_{pp} (F. L. draft)	0.094	0.083
B/d (F. L. draft)	2.371	2.371
C_b	0.584	0.619
C_p	0.679	0.718

前報¹⁾にならって各舵角毎の重心位置を決定し、作図された旋回軌跡から旋回縦距 (A_d)、横距 (T_r)、旋回径 (T_d) および定常旋回半径 (R) を求めた。この方法で重心位置を決定する場合、測定方位の誤差・サルログの誤差・サルログ検出部が旋回中に受ける斜流の影響・重心と転心との距離の仮定等が、旋回軌跡の誤差の大小におよぼす影響を考える必要がある。しかし、今回の実験についてこれらの影響を調べた結果、いずれも誤差は小さく無視できる範囲であった。

改造前と改造後の実験時の状況を第2表に示す。同表によると、風向・風力・海況に若干の相違はみられる。しかし、総トン数500トン程度の船の旋回試験では、同表に示した風力および海況による影響は無視できしつかえない²⁾。また、今回の実験時の水深は喫水の5倍以上あるため、十分であるとみなすことができる²⁾。

Table 2. The condition during the field experiments.

	Before reconstruction	After reconstruction
Date	Aug. 14, 1964	Feb. 2, 1973
Area	Eastern China Sea (31°40.0' N, 127°05.0' E)	Osaka Bay (off Sakai)
Depth (m)	150	30
Wind direction	—	North
Wind force	Calm	2
Sea condition	Calm	1
d_f (m)	2.35	2.35
d_a (m)	4.60	4.51
d_m (m)	3.48	3.43
Trim (m)	2.25(6.04%) aft	2.16(5.15%) aft
Displacement tonnage (t)	666.50	743.69
C_b	0.600	0.619
C_p	0.690	0.718

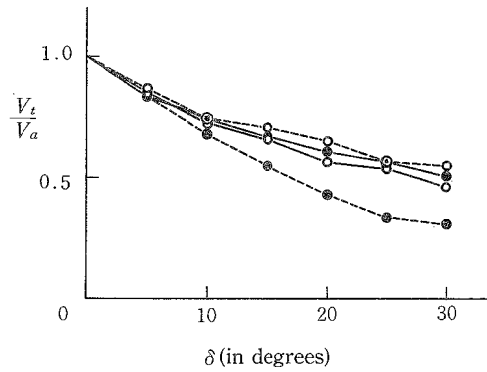
3. 結果および考察

3. 1 旋回中の速力低下, 旋回縦距, 横距および旋回径

直進中の速力 (V_a) に対する定常旋回中の速力 (V_t) の低下率 (V_t/V_a) と舵角 (δ) の関係を第2図に示す。同図から, 改造後の舵角 30° における定常旋回中の速力は直進中のその約50%も減少することがわかる。

Fig. 2. Speed reduction during stationary turning.

Notes V_a : Ship's speed during sailing along straight course (m/sec)
 V_t : Ship's speed during turning (m/sec)
 δ : Rudder angle (degree)
 Solid circle : Starboard-side turning
 Open circle : Port one
 Solid line : After reconstruction
 Broken line : Before it



改造後の供試船が定常旋回運動に入るまでの過渡現象を表わすため, 各舵角における旋回縦距, 横距, 旋回径と船長 ($L = L_{pp}$) の比を第3図および第4図に示す。これらの図から明らかなように, 右旋回の場合の操舵に対する追従性・旋回性は左旋回の場合に比べてよく, 旋回軌跡から得られた定常旋回半径も改造前の実験結果と同様に右旋回の場合が小さかった。

Fig. 3. A comparison of starboard-side turning with port one, in respect to A_d/L or T_r/L (After reconstruction).

Notes A_d : Advance turning circle (m)
 T_r : Transfer turning circle (m)
 L : Ship's length (m)
 Solid line : A_d/L
 Broken line : T_r/L
 And other symbols are shown in Fig. 2.

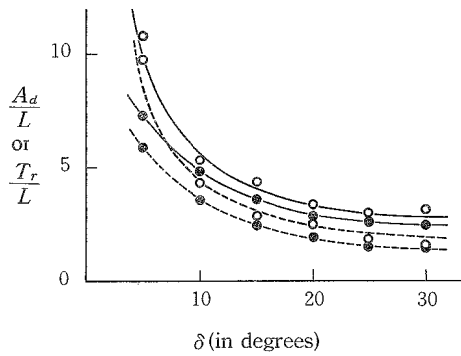
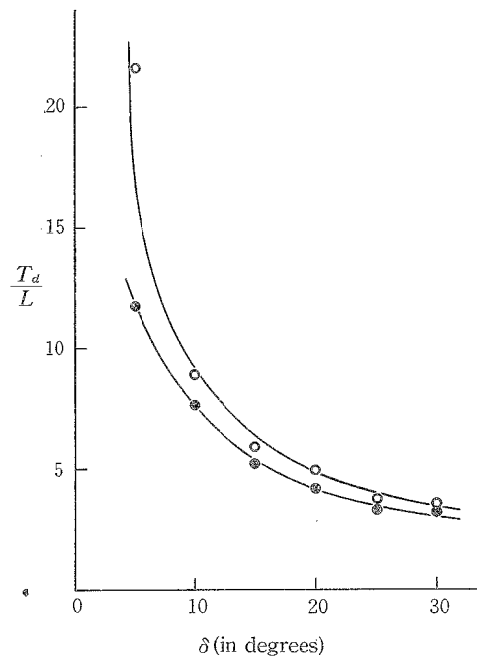


Fig. 4. A comparison of starboard-side turning with port one, in respect to T_d/L (After reconstruction).

Notes T_d : Tactical diameter (m) and other symbols are shown in Figs. 2 and 3.



供試船の A_d/L , T_r/L および T_d/L の各舵角毎の値を他の模型船実験の結果³⁻⁵⁾と比較すると、これらは舵面積比 1/40 の普通型貨物模型船 ($L=2.5$ m, $B=0.3425$ m, $C_b=0.7$) の値とほぼ同じであった。また、操縦性に関する模型船と実船の相関については、いくつかの報告がある^{2, 6-9)}。一般に、模型船ではプロペラ後流が実船のそれよりも強いため、小舵角の場合の舵効果は実船より大きく現われるといわれている²⁾。これらのことから、小舵角の運動では、供試船の針路安定性・操舵に対する追従性は普通型貨物実船より良好であると考えられる。旋回径に関する模型船と実船の相関については、模型船の大きさ・船型・舵角等により異なった結果が報告されている^{2, 6-9)}。しかし、供試船と上述の普通型貨物実船との間で、旋回性に大差はないと考えられる。

3. 2 $L/R-\delta$ 曲線

改造前と改造後の供試船の針路安定性・追従性・任意の舵角に対する旋回性等の操縦性に関する諸性能を比較するため、両船の無次元化された旋回角速度 (L/R) と舵角の関係を第 5 図に示す。

船の操縦性、特に針路安定性と追従性に関しては、旋回試験のほかにスパイラル試験、Z 試験等も行なって検討することが望ましい。しかしながら、今回は旋回試験だけから得られた $L/R-\delta$ 曲線を用いてそれらの検討を行なった。

第 1 表および第 2 表に示した状態のうち、船の操縦性に影響をおよぼすものは主として排水量、トリム、 L/B , d/L , C_b および舵角横比 ($A_r/L \cdot d$) である。

系統模型船を用いた実験によると、排水量が 35% 増加しても旋回径に大きな変化はみられなかったと報告されており³⁾、排水量の変化が旋回径におよぼす影響は小さいとみなすことができる。したがって、ここでは排水量の変化が定常旋回半径におよぼす影響について特に取り上げなかった。

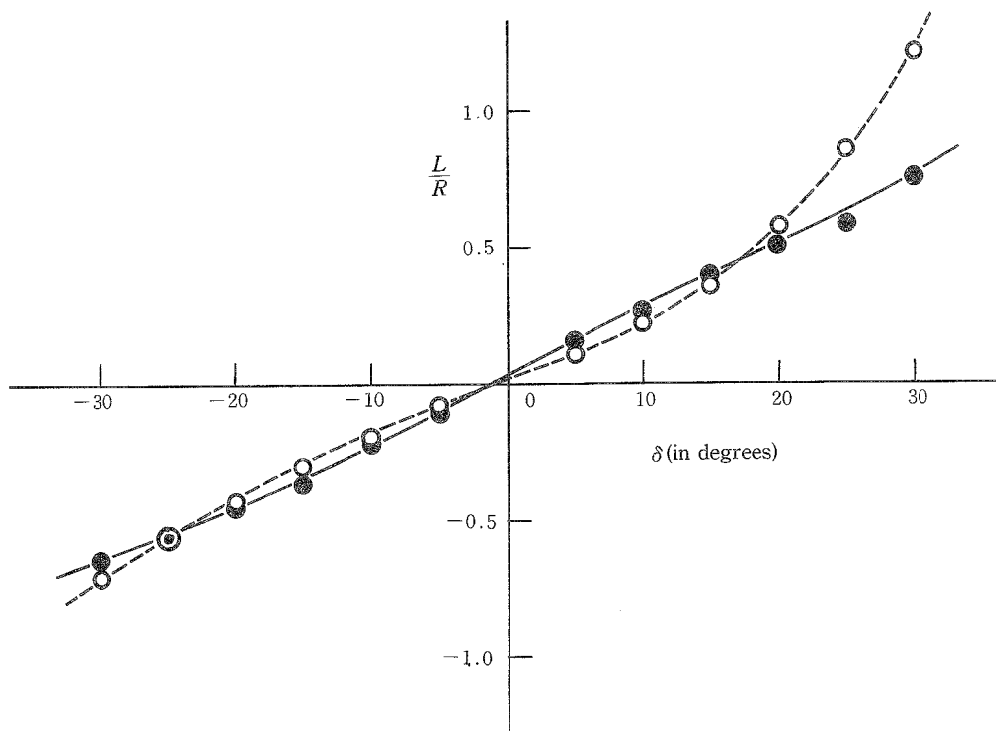


Fig. 5. L/R in relation to rudder angle.

Notes R : Stationary turning radius (m)
 Solid line with solid circle : after reconstruction
 Broken line with open circle : Before it
 And other symbols are shown in Figs. 2 and 3.

旋回径におよぼすトリムの影響は大きく^{3,6)}、改造前と改造後の実験時のトリムに違いがあると、 $L/R-\delta$ 曲線にもその影響が現われる。これに関する報告は少ないが、ここでは志波⁶⁾を参考にして、改造後の定常旋回半径を改造前の実験時のトリム (6.04% 艀) における定常旋回半径に修正した。この結果から第5図を修正したものが第6図である。

第6図において、改造前の曲線と改造後のその違いは L/B 、 d/L および C_b 等の船型要素の変化と舵面積比の変化による影響と考えられる。同図から、舵角約 10° 以下の運動が比較的小さい範囲における操縦性 (針路安定性・追従性・旋回性) は船体の改造にもかかわらず変化しなかったが、舵角がそれ以上になると改造後の旋回性は低下したことが認められる。

船型の変化や舵面積比の変化が操縦性におよぼす影響については、多くの模型実験がある^{3-5,7,10,11)}。これらの報告を参考として今回の実船実験を考察すると、次のようである。すなわち、舵角約 10° 以下では、改造後の L/B の増加による針路安定性を向上させる作用と、 d/L の減少・ C_b の増加・舵面積比の減少による逆の作用とが打ち消し合った結果、改造に伴う操縦性の変化として現われなかったものと考えられる。このため、船体の長さを延長しても、針路安定性および追従性は必ずしもよくなるとはいえず、これらの向上を計るためには、同時に舵面積 (比) の適当な増加を十分考慮する必要がある。また、舵角約 10° 以上では、船体の長さの増加による影響と舵面積比の減少による舵効果の低下の影響が強くなり、改造後の旋回力を弱めたものと考えられる。

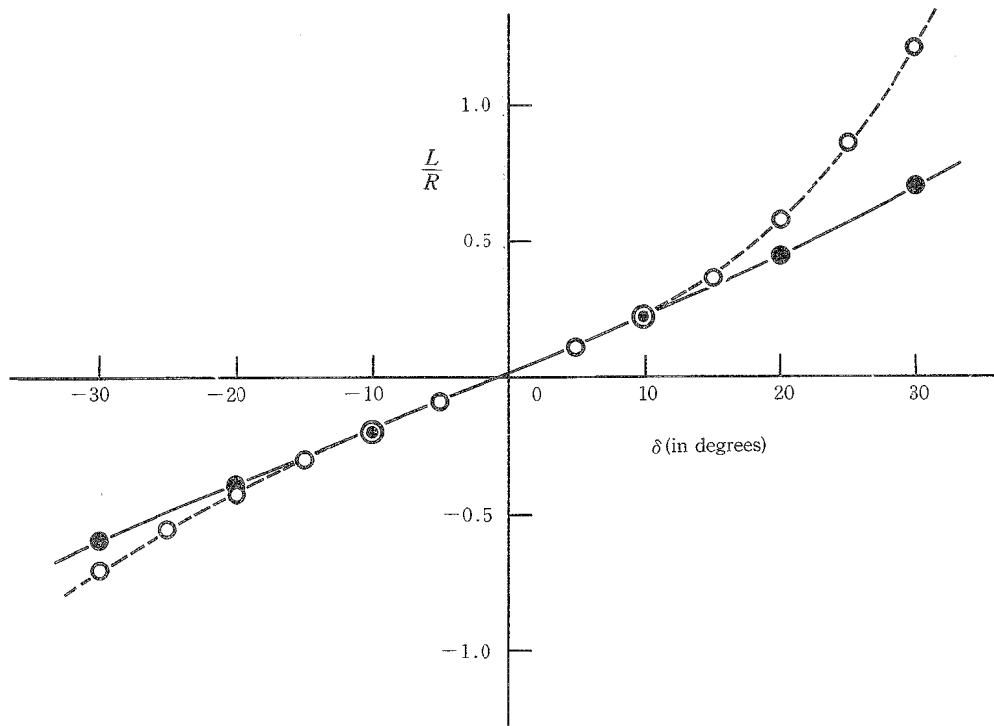


Fig. 6. L/R in relation to rudder angle.
(the modification of Fig. 5 regarding the effect of trim)

Notes Symbols are shown in Fig. 5.

改造前と改造後の操縦性の相違は実験時の主機回転数やプロペラスリップ比の違いによっても起こるが、今回の実験では、これらの正確な測定が行なわれなかった。

L/B と船の操縦性に関する実験には、 L を一定として B を変化させた場合と、 B を一定として L を変化させた場合とがある。本実験は後者に相当する。この点に関しては、湯室^{10,11)}が系統模型船を用いて実験を行ない、詳細に解析している。それによると、運動が小さい範囲では、 L/B の値が小さい船型ほど操縦性指数 $T' (= T \times V/L)$ と $K' (= K \times L/V)$ の値は小さくなり、したがって針路安定性・追従性がよくなるとされている。また、横田¹²⁾は旋回運動方程式を解析した結果、舵面積比等の変化と操縦性指数との関係について同様の結論を得ている。本実験の結果も湯室や横田の結果とほぼ同様の傾向を示している。

4. 結 言

船の長さの変化が操縦性におよぼす影響を調べるため、船体改造後の実船を用いて実験を行ない、改造前の操縦性と比較検討した。実船実験は実験環境や条件等から種々の制約を受けるが、本実験の結果を要約すると、次のようになる。

- (1) 船体平行部を L の 12.6% 程度延長しても、舵角約 10° 以下の運動が比較的小さい範囲では、操縦性に变

化がみられなかった。しかし、舵角がそれ以上大きくなると、旋回力の低下が認められた。

(2) 船の長さの変化が操縦性におよぼす影響を調べるときには、 L/B の変化に伴う $d/L \cdot C_b$ の舵面積比の変化が操縦性におよぼす影響についても十分考慮する必要がある。

(3) 船の長さの変化が操縦性におよぼす影響は舵角の大きさによって異なるように考えられる。すなわち、舵角約 10° 以下では、 $d/L \cdot C_b$ の舵面積比の変化による影響が大きく、舵角がそれ以上大きくなると、 L/B の変化による影響が大きかった。

本研究では、実船実験の結果から船の長さの変化が操縦性におよぼす影響を検討した。実船の運航に寄与するため、今後とも多くの実船および模型船による実験を行ない、操縦性の変化を各指数、係数および微係数の点からも検討し、明確にしたい。

なお、実験は天鷹丸の練習航海の途に行なわれたものである。実験を行なうにあたり、終始御協力を戴いた天鷹丸船長隅川芳雄助教授、当時の一等航海士乾栄一講師、同内田和良講師、二等航海士長友洪太講師、次席三等航海士深田耕一氏および乗組員各位に深く感謝の意を表する。

文 献

- 1) 高島末夫, 1965: 可変ピッチ推進器の操縦性について— I, 日本航海学会誌, 34, 37~43.
- 2) 藤井斉・野本謙作, 1970: 操縦性試験法. 第2回操縦性シンポジウムテキスト, 1~39.
- 3) 志波久光・水野時夫・富田哲次郎・江田治三, 1959: 模型船による最適舵面積の研究. 造船協会論文集, 105, 71~82.
- 4) 辻豊治・山本徳太郎・森政彦, 1974: 幅広船の操縦性能におよぼす舵面積の影響について. 船舶技術研究所報告, 11(2), 89~99.
- 5) 森信篤・山本徳太郎・森政彦, 1975: 巾広肥大船の操縦性能について. 船舶技術研究所報告, 12(6), 375~394.
- 6) 志波久光, 1971: 舵と旋回. 成山堂, 1~84.
- 7) 湯室彰規, 1966: 船の操縦性に関する2, 3の模型実験. 石川島播磨技報, 6(29), 207~215.
- 8) 高島末夫, 1971: 船の操縦性に関する実験的研究— I. 本報告, 20(2), 97~122.
- 9) 岡本洋・玉井浩正・鬼木博文, 1972: 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, 131, 189~202.
- 10) 湯室彰規, 1975: 幅広大型タンカー船型の操縦性に関する研究(1). 石川島播磨技報, 15(2), 169~182.
- 11) 湯室彰規, 1975: 幅広大型タンカー船型の操縦性に関する研究(2). 石川島播磨技報, 15(5), 586~596.
- 12) 横田富, 1963: 舵面積比等の変化が船の操縦性指数におよぼす影響について. 浦賀技報, 11, 80~84.