可変ピッチ推進器船の操縦性について—I.

高 島 末 夫*

On the Maneuverability of the Ship Equipped with Variable Pitch Propeller—I.

S. Takasima

Abstract

It is a well-known fact that variable pitch propeller improves the performance of the maneuverability of ship such as the propulsive efficiency, the control of speed either going ahead or stern, etc. In the variable pitch propeller, there are two controllable factors by which it is possible to make the ship go at a given speed; namely, the number of revolution is defined by the pitch angle or vice versa.

The author conducted a series of field experiments using a fishing boat, in an attempt to clarify the relation between the pitch angle and the maneuverability of the ship going at a given speed. Among many factors of maneuverability of the ship, the turning ability was analyzed in this report, and the following results were obtained:

1. The reduction in speed of ship during stationary turning towards starboard was larger than that towards port. And the speed reduction was out of relation to the pitch angle of propeller.
2. The better results in turning ability was brought by the smaller pitch angle, i. e. by the faster revolution.
3. The turning circle towards starboard was smaller than that towards port when the rudder angle was the same, but larger when the slip ratio of propeller was the same.
4. The larger slip ratio brought the better result in turning ability at small rudder angle.

1. 前 書

可変ピッチ推進器についての理論と設計, 構造ならびにその得失については, 従来多く発表〔1〕されている。そして固定ピッチ推進器に比較し短所となるところもあるが, それをカバー

*水産大学校 (下関市吉見永田本町)

する長所がある。即ちその長所の大部分は操船性能に関するものであり、これを大別すると(1)主機関に逆転装置を不要とすること(2)船の運航に適応した任意のピッチを選定出来ること、(3)ピッチ操作が簡単である等である。

したがって可変ピッチ推進器が船の操縦性に与える影響は、上述のように主として船の速力調整とその機械操作において有利である。これらの長所は、同一馬力に対して船の速力が広範囲に変化する船即ち曳船、漁船等に極めて有効で一般船舶も含め装備される隻数、馬力数は次第に大きくなっている。

ここでは運航上の立場より、可変ピッチ推進器船において任意に組合わせた推進器ピッチ角と主機の回転数に対して操舵した場合の船の旋回性について、実船を用いて実験を行ないその解析を行なったので報告する。

2. 供試船および計測、解析方法

実験に用いた船は水産大学校練習船天鷹丸で、その主要項目ならびに実験時の状況は次のとおりである。

(実験船の主要項目)

Lpp: 37.30(m) Rudder area: 3.719(m²) Ballance ratio: 1/2.87

Bmld: 8.30(m) Rudder area ratio (F.L. draft) : 1/35.1

Dmld: 4.30(m) Aspect ratio : 1.52

Main Eng.: D. 1000ps at 330 RPM

(実験時の状況)

実験月日: 1964. 8. 14

排水量: 666.5トン

場所: 五島西方北緯31°—40' 東経127°—5'

トリム: 2.25m (6.04%) 船尾

水深: 150m 海況: 0 風力: 0

係数: $C_b=0.600$ $C_r=0.690$

$C_w=0.925$ $C_{\text{ax}}=0.870$

吃水: 前部2.35m 後部4.60m 平均3.48m

推進器深度: 1.79

2.1 計測方法

船首方位の変化はジャイロコンパスにより5秒毎に読取つた。速力は動圧管が艀より0.188 Lpp前方に取付けられているサルログおよび、CM2型電気流速計、基線間15.0mの流木試験によりサルログの速度較正值を求め、実験中はサルログの値を読み、後で較正した。舵角は舵機室の実舵角を読み取つた。以上の方法で船首方位、速力および舵角を5秒毎に同時記録、解析に用いた。

実験はピッチ角変化の影響をみるため、ピッチ角を+側6.9°, 11.0°, 15.0°, 19.5°, 23.0°, の5種類に変化した。

旋回直前の速力を各ピッチ角についてはほぼ等しくなるよう主機の回転を調整した。したがって速力変動は割合小さく、実験種目の75%が旋回直前の速力フルード数0.136~0.150の範囲であつた。従来操舵前の速力がフルード数0.3以下では速力が旋回径に与える影響がない〔2〕といわれていたが実船例では影響がある〔3〕ともいわれている。これらの理由によつて、ここではフ

ルード数が小さくその変動範囲が狭いので、各実験について速力の影響は考慮していない。

2.2 解析方法

実験中の転心位置における速力を正確に求めることが出来なかつたので、較正されたサルログ速力をもつて近似した。5秒毎に同時測定された船首方位 θ (deg.)、速力 V (m/sec) を用い、旋回中の転心軌跡を $x = \int V(t) \sin \theta(t) dt$, $y = \int V(t) \cos \theta(t) dt$ により求めた。重心と転心の距離を $0.23L_{pp}$ と仮定し、転心軌跡より重心軌跡を作図し、定常旋回半径 R (m) を求めた。

3. 解析と考察

3.1 旋回中の速力低下

船が直進から旋回に入ると旋回抵抗と舵の抗力により旋回速力は低下する。ここではこの速力低下の状況が旋回方向、舵角、ピッチ角により変化する過程を解析し、その結果を図1に示す。

Fig. 1 A comparison of starboard turning with port one, in respect of the reduction in speed during stationary turning. Note δ : Rudder angle in degrees

前述のとおり旋回に入る直前の速力が各ピッチ角により少し違うので、図1では旋回前の速力に対する定常旋回中の平均速力の比で示してある。旋回中の速力低下は船型、舵面積、舵角等の総合影響としてその時の旋回径により決定出来る〔2〕といわれている。この船の場合も同様な傾向を示し、舵角 20° 位まではほぼ舵角に比例して減少し、それ以上の舵角では減少率は小さくなっている。また推進器のピッチ角を変化してもその減少率には明確な影響は認められない。

また速力の減少率は旋回方向により差異があり、左旋回に比べ右旋回が大きい。例えば舵角 $20^\circ \sim 30^\circ$ で右旋回している場合は左旋回に比べ速力減少率は約30%多い。この旋回方向による速力減少率の差は、旋回抵抗と舵抗力の差のほか、推進器後流の舵に対する影響等複雑な要素の総合された結果であり、この状況を説明した文献も見当たらない。これは旋回方向と旋回力の大きさにも直接関係するので後述する。

3.2 旋回方向と旋回力

従来推進器の旋回方向と左右の旋回半径の相違については多く論じられている。実船試験の場合には、風および潮流の大きさ方向の影響が直接的でかつ大きく、また旋回圏計測上の誤差も含まれ、旋回半径の左右の相違を明確に説明するのは要素が多く難かしい。

一般的には一軸船では推進器後流が振れているから旋回方向により推進器後流の舵に当る様子

が異り旋回半径も等しくない〔4〕。その理由として例えば右旋推進器では推進器後流中の推力中心が右に偏っているので常に左舵をとらねば直進せず、同一舵角では右舵が旋回半径が小さい〔4〕ともいわれているし、一方漁船の実船旋回試験を解析した結果〔5〕や模型試験結果〔2〕では右旋推進器で右旋回の場合が左旋回に比べて旋回径は大きくなっている。

ここでは以上のような旋回方向と旋回力の関係を見出すほか船の操縦性について考察するため、各種のピッチ角と左右 5° 毎の舵角について定常旋回を行ない解析した。この結果を舵角 δ (deg.) と旋回角速度は無次元化して L_{pp}/R の関係を、それぞれのピッチ角をパラメータとして示すと図2のようになる。

図2に示すようにこの船の小舵角のときの無次元旋回力指数 K' ($K' = K/V/L$, K = 旋回力指数)

〔6〕は一般の船より小さい。したがって旋回力と追従性安定性は舵面積比と V/L^2d を一定とする限り相反関係にあるので、必然的にこの船の小舵角の場合には追従性安定性は良いと考えられる。この場合 K' が小さくなった原因として船型等の一般的なものの以外に船尾に漁撈装置としてユニバーサルガントリー（重量約5トン）をつけたためトリムが大きくなり、その影響と思われる。旋回運動に対するトリムの影響は大きく宝田〔3〕によるものをこの船に転用すると、トリムを半分にすると小舵角に対する旋回力は約1.2倍になる。漁船では一般にトリムが大きく、この例に示すように旋回性にかなり影響しているものと思われる。

小舵角のときピッチ角変化の影響は、ピッチ角が 6.9° の場合 K' が大きくなっているが、その他のピッチ角では大きい変化はみられない。

δ - L_{pp}/R 曲線は小舵角の場合舵角0の点を通らない傾向がある。即ちこの曲線は僅かではあるが $L_{pp}/R=0$ の点が左舷舵角に偏し、その偏する角度の大きさはピッチ角が小さいほど大きく最大 2.5° に達する。この原因が船型上のものでないとすると、ピッチ角が関係していることより可変ピッチ特有の旋回流の影響が大きいものと思われる。

特に大舵角でもこの曲線が上反り傾向をもつことは大きい特徴で原因は複雑である。旋回が発達すると図1のように速力が低下し、さらに横流れが生じ舵の有効角が減少するため直圧力は減少する。しかし可変ピッチ推進器でピッチ角の小さい場合は、旋回中の回転数の変化が少く従って舵面に当る水流は直進中とあまり変わらず、前者の直圧力の減少量を打消し、結局舵角に比例した舵効を発生するものと考えられる。舵角が 25° 以上の旋回ではピッチ角が小さいほど旋回力は大きい傾向がみられる。

また舵角が 15° 以上になると左旋回より右旋回が旋回半径は小さい。このことは右旋回が左旋回に比べて旋回中の速力減少率が大きいことを伴って考慮すると当然である。ここに旋回方向と旋回力ならびに旋回中の速力減少率等の関係には、可変ピッチ推進器後流の舵に与える特徴がみられるように思われる。可変ピッチ推進器を装備した船の旋回性能例を表1に示す。いずれも公試成績より得たもので、 D_A , D_T しか判らず定常旋回径については不明なものが多い。船の操縦性指数 K , T の組合せにより D_A , D_T は異なるが $D_T \approx 2R$ と仮定すると、これらの資料の範囲では右旋回が左旋回より旋回径は小さいようである。

Fig. 2 L_{pp}/R in relation to rudder angle (δ) at Various grades of pitch angle.

Note R : stationary turning radius in m

	Reserch boats							Tuna long liner	Bull trawler
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Gros.ton	700.04	602.95	289.90	117.34	257.79	98.93	562.98	344.55	93.69
Main engine (PS)	1,200	1,200	500	300	500	300	1,200	800	340
R. P. M.	270	280	320	375	320	375	305	300	385
Propeller (N×D)	3×2.50	3×2.50	3×1.80	3×1.63	3×1.80	3×1.50	3×2.15	3×2.20	3×1.60
Trial trim (%)	5.25	4.55	4.82	7.44	5.74	8.67	3.18	5.63	5.77
Rudder area(m ²)	5.32	4.71	—	—	—	—	4.42	3.79	2.04
Rudder area ratio	1/39.0	1/38.9	1/34.8	—	—	—	1/36.0	—	1/32.0
D_A/L {	S	3.67	2.64	3.66	3.50	1.85	—	3.00	3.05
	P	3.88	2.94	3.62	2.37	1.90	—	3.22	3.14
D_T/L {	S	3.28	3.02	3.68	3.97	3.41	2.47	3.10	0.73
	P	3.46	3.23	3.65	2.93	3.43	2.27	3.26	0.75

Table 1 Comparison of starboard turning with port one in the fishing boats equipped with variable pitch propeller.

3.3 スリップ比と旋回力

可変ピッチ推進器船ではピッチ角を任意に選んで操船するので、推進器後流の舵に当る様子は一般の船と若干違っていると思われる。この実験ではピッチ角と主機の回転数を変化したので推進器後流には回転流の影響も大きく現われていると考えられる。この複雑な推進器後流の舵に与える影響即ち船の旋回力に与える影響をみるため、任意の舵角で定常旋回中の平均されたプロペラスリップ比 $S(S=1-V/NP)$ と L_{pp}/R の関係を各ピッチ角に対して示したものが図3である。

Fig. 3 Increase in L_{pp}/R with slip ratio of propeller by optional rudder angle.

Note Pitch angle.....○ : 6.9°, ● : 11.0°, △ : 15.0°, □ : 19.5°, × : 23.0°.

この図に示すように、ピッチ角による旋回力の変化は大きくないがピッチ角が小さいほど同じスリップ比に対して旋回力は大きくなる傾向がみられる。これは舵直圧力に対する回転流の影響が相当大きいことを示している。図3の各ピッチ角に対する平均値を近似すると図4のようになる。

この図よりスリップ比が同じであれば左旋回が旋回力は大きく従って旋回半径は小さい。このことは舵角が同じであれば左旋回が右旋回に比べ旋回半径が大きく現われた図2とは反対になっている。これは運航者として注目すべきで、低速時の操船、曳網曳船時の操船ではスリップ比が大きく、同じ舵角でも旋回力は変化しているものと思われる。

Fig. 4 Difference of L_{pp}/R during stationary turning towards different direction, in respect of the relation to slip ratio of propeller.

の関数として表わし、その比例常数（論文中 k で示している）が左右で異なり右舵に対して $k=3.37$ 左舵に対して $k=3.84$ で表わせるとしている。いまこの直圧力係数の増加が、舵の直圧力ひいては旋回力の増加と考えると模型実験と同様に、実船についても同じスリップ比に対しては左旋回が旋回力は大きく図4の傾向が理解出来る。

4. 後 書

船の操縦性に関する要因は多数あり、可変ピッチ推進器の影響もその一つである。これが他の要因と結合してその船の操縦性の特徴を示すことになる。この実験に用いた実船も船型的に特徴があり、そこに可変ピッチ推進器をつけた場合は総合されたものが現われているとみて良い。以上の前提のもとに、この解析結果を要約すると次のようである。

- 1 定常旋回中の速力減少量は旋回方向により違い、舵角 20° 以上の旋回では左旋回に比べ右旋回が約30%大きい。またピッチ角を変化しても速力減少量は明確な変化をしない。
- 2 舵角が 25° 以上ではピッチ角が小さいほど旋回力は大きい。
- 3 同じスリップ比では左旋回が旋回力は大きい。
- 4 同じ舵角でもスリップ比が大きいくほど旋回力は大きい。
- 5 スリップ比を考慮しないときは右旋回が旋回力は大きい。
- 6 旋回力は舵角以外にその時のスリップ比を併わせて考慮する必要がある。

以上実船について可変ピッチ推進器の操縦性特に旋回性に与える影響を解析したが、なお多くの実船、模型実験により定量的普遍的な特性を見出し、運航上に資するべきと考えている。終りに終始御助言と御指導を賜った本学杉原喜義教授と前田弘博士に深く感謝し、実験に協力して戴いた天鷹丸士官各位に御礼申上げる。

Fig. 5 Increase in L_{pp}/R with slip ratio during stationary turning by various grades of rudder angle.

次にこの実験で得られた舵角、スリップ比および旋回力の関係を図5に示す。各舵角についてスリップ比変動範囲が狭いので十分ではないが、大舵角の場合を除いて、同じ舵角でもスリップ比が大きくなると旋回力は強くなる傾向がみられる。藤井〔7〕は模型実験より、推進器後流中の舵の直圧力係数の増加量をスリップ比

参 考 文 献

- [1] J. H. Strandell : 可変螺距推進器, 造船協会雑纂, No. 228 (1940)
米原 令敏 : 船用可変ピッチプロペラ, 船舶 26—I (1953), 27—I (1954)
土 田 陽 : 可変ピッチ推進器の性能に関する模型単独試験, 船舶, 28—I (1955)
- [2] 志波久光他 : 模型船による最適舵面積の研究, 造船協会論文集, 105号 (1959)
- [3] 宝田直之助 : 実船解析による旋回性能の研究, 造船協会論文集, 110号 (1961)
- [4] 大串 雅信 : 理論船舶工学 (下巻) P. 254
- [5] 杉原 喜義 : 単螺旋船の旋回性能についての一考察, 日本航海学会誌, 7 号 (1952)
- [6] 野本 謙作 : 船の操縦性について, 造船協会論文集, 99号 (1956), 101号 (1957)
- [7] 藤井 斉他 : 自航模型による舵特性の研究 (2)
造船協会論文集, 110号 (1961)