緩習船おしよろ丸に関する風洞実験

稲葉 恭人*・坂本 有隣*

Wind Tunnel Experiments on T.S. Oshoro Maru

Y. Inaba and Y. Sakamoto

Abstract

In order to investigate the safety and manoeuvrability of a ship, it is necessary to clarify the effects of wind on them. The wind tunnel experiments were carried out with an image model of above and under-water portions of the training ship Oshoro Maru, changing the direction of wind relative to the model over the whole ranges. The forces acting on them were respectively measured. In the first half part of this paper, there are given the results of them as shown in Figs. 2, 3, 4, 5 and 6. A ship may be said to hold manoeuvrability when she is fully possible to turn to both sides. Manoeuvrability become impossible at high ratio (wind velocity/ship's speed), viz. at higher wind velocity as compared with ship's speed. In the latter half part, the motion of Oshoro Maru under strong wind was analyzed using the above experimental data, and the range where she is manoeuvrable, and those where she turns both windward and leeward are respectively obtained as shown in Fig. 8.

1. ま え が き

船舶の操縦性や安全性を考え場合、その風圧影響を無視することは出来ない。この問題の解決のためには、先ず船の受ける風圧力を、風向別、風速別に正確に知る必要がある。

著者等は、北大水産学部所属練習船おしよろ丸の模型を使つて風洞実験を行ない、その結果を用いて考察を試みた。その内容についてここに報告する。

2. 風 洞 実 験

2.1 風洞および天秤

風洞および天秤は本学部漁業航海学講座の Göttingen 型 0.5m 風洞および付属の 4 分力天秤 [1] を使用した。

2.2 供 試 模 型

模型は風洞測定部の径を考慮しておしよろ丸の 1/200 の寸度を有する、マホガニー製ニス塗仕上げの、水線上および水線下船体の鏡像模型であり、Fig.1 に示すように、甲板上の各種艤装品は簡略化している。模型の状態における実船の要目を Table に示す。

* 北海道大学水産学部 (函館市港町)

Fig. 1 供試模型

Table 実験状態における実船の要目

全長	Loa	66.7m
垂線間長	Lpp	60.5m
水線下全長	Lw	63.6m
型幅		11.0m
吃水	F.	3.65m
	A.	4.97m
水線上正面投影面積	A	89.0m ²
水線上側面投影面積	B	365.0m ²
水線下側面投影面積	B'	256.0m ²
排水量		1,795ton
重心位置	艤後方	2.39m

2.3 実験方法

模型は4本のピアノ線で、緊締金具を介して模型取付棒[1]に固定し、模型取付棒の回転により、自由に船首尾線に対する風の迎角を変えることが出来る。迎角は0°から180°まで5°間隔で測定し、その中60°ないし120°の測定値変化の簡単な部分は10°間隔とした。水線下船体の鏡像模型についても、ほぼ前記同様の4分力測定を行なった。測定中の風速は、23.70m/secないし24.56m/secと変動があり、 L_{pp} を長さとする Reynolds No. では $(5.03 \sim 5.21) \times 10^5$ となる。最後に水線上鏡像模型について、迎角を30°に固定し風速を変えて、Reynolds No. による揚力および抗力の変化を測定した。

3. 実験結果

3.1 水線上船体部分

水線上船体の風圧特性は無次元係数で表示する。即ち揚力係数 C_L 、抗力係数 C_D 、圧力中心係数 C_P 、合力係数 C_R および $C_{R'}$ 、船体重心に関するモーメント係数 C_M 、船首尾線船尾方向よりの風圧合力偏角 θ degree は次式で求める。

$$\left. \begin{aligned}
 C_L &= \frac{L}{\frac{1}{2}\rho v^2 B} & C_R &= \frac{R}{(A \cos^2 \alpha + B \sin^2 \alpha) \frac{1}{2}\rho v^2} \\
 C_D &= \frac{D}{\frac{1}{2}\rho v^2 B} & C_{R'} &= \frac{R}{\frac{1}{2}\rho v^2 B} \\
 C_P &= \frac{a}{Loa} & \theta &= \alpha \pm \tan^{-1} \frac{C_L}{C_D} \\
 C_M &= \frac{M}{\frac{1}{2}\rho v^2 B Lo a}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

但し v : 相対風速 (m/sec)

ρ : 空気密度 ($\text{kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}^4$)

α : 船首方向より計った相対風向角 (degree)

a : 船首から風圧中心までの水平距離 (m)

L : 水線上の船体を受ける揚力 (kg)

D : 水線上の船体を受ける抗力 (kg)

R : 水線上の船体を受ける合力 (kg)

M : 重心回りの風圧によるモーメント ($\text{kg} \cdot \text{m}$)

Fig. 2 水線上船体の揚力係数および
モーメント係数

Fig. 3 水線上船体の抗力係数, 圧力
中心係数および合力係数

Fig. 4 水線上船体の合力係数および風圧合力偏角

この場合風洞気流の境界影響は揚力も小さいので無視し、ピアノ線の抗力と、無揚力角よりの迎角のみを修正した。その結果を、Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4 に示す。圧力中心係数 C_P 、従つてモーメント係数 C_M の迎角が小さい時の変化の不規則性、および迎角 120° 付近の C_R や、長船尾楼甲板型のためと推察される係数 C_R の左右の山の不均衡、 C_L の差等に特長が見られる。

3.2 水線下船体部分

同様にして、水線下船体の流体力学的特性は添字 W をつけて、水線上船体と区別すると次式に求まり、その結果は Fig. 5, Fig. 6 のようになる。

Fig. 5 水線上船体の揚力係数およびモーメント係数

$$\left. \begin{aligned} C_{LW} &= \frac{L_W}{\frac{1}{2}\rho v^2 B'}, & C_{R'W} &= \frac{R_W}{\frac{1}{2}\rho v^2 B'}, & C_{MW} &= \frac{M_W}{\frac{1}{2}\rho v^2 B' L_W} \\ C_{DW} &= \frac{D_W}{\frac{1}{2}\rho v^2 B'}, & C_{PW} &= \frac{a_W}{L_W} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

3.1 と比較して一般的に変化はなめらかであるが、迎角 50° 前後において C_{PW} , 従つて C_{MW} に急激な変化が見られ $C_{R'W}$ にも特長がある。

3.3 本実験の最高 Reynolds No. は 2.3 で述べたように 5.21×10^5 である。おしよ丸が海上で 30m/sec の風を受けたとすると、その Reynolds No. は 12.73×10^7 となり約 2 桁以上違うことになるので、本実験で求めた諸係数をそのまま実船の計算に使用するには、相似則上の難点がある。

殊に Reynolds No. の影響の大きい摩擦抗力が全抗力に占める割合が多いと考えられる水線下船体の船の場合に問題がある。風洞の性能上 Reynolds No. を一致させることは不可能であるが、2.3 の最後に述べた実験の結果は Fig. 7 に示すようになり、少なくとも本実験の範囲内では係数は一定とみなされる。

Fig. 6 水線上船体の抗力係数, 合力係数および圧力中心係数

Fig. 7 Reynolde No. による係数変化

4. 強風下の操縦性

風圧による回頭モーメント、船体斜航による不安定モーメントの和が、舵の与え得るモーメントより大きくなると、船は操縦の自由を失うことになる。旋回運動方程式より定常旋回の角速度を求め、風洞実験の結果を代入し、その正負を判定して操船可能な限界を計算した報告には、鉄

道連絡船[2] や鰹鮪漁船[3] に関するもの等がある。本実験の結果を利用し、前記の計算と同じ仮定、手順のもとに、おしよ丸の舵角 35° をとる場合の操船限界を試算した。但し、推力については推進効率を 52%, 伝達効率を 1 とし、海水および空気の密度を夫々 $104.5\text{kg}\cdot\text{sec}^2/\text{m}^4$, $0.1268\text{kg}\cdot\text{sec}^2/\text{m}^4$ とした。又舵の直圧力の算出には beaufoy の式を使用した。その結果を Fig. 8 に示す。釣合角が約 23° で風上に旋回する範囲が広く、又 quarter wind で風速/船速が小さくなること等に長船尾楼甲型の特長が現われている。おしよ丸の通常航海状態は F.D. 2.6m, A.D. 4.8m 位で trim が実験状態の 2 倍程あり、モーメントに差を生ずるので若干この釣合角は大きくなる。尚この計算には、現在装備している bow thruster によるモーメントは考慮していない。

Fig. 8 強風下の操縦性

5. あとがき

海面上では高さの方向に風速の変化があるので、本実験のように一様な流れの中の鏡像模型では、風下の剝離部分で海面を通す速度が存在することと併せて、流れの幾何学的相似が成立しない。これに対する方法として二、三の[4], [5] 例も考えられている。その他前記のように、Reynolds No. の相違、艤装品の簡略化、吃水、trim の差等本実験には実際との誤差の原因はいろいろ考えられるが、一応の結果が得られたのでここに報告する。一面の参考になれば幸いである。

参考文献

- [1] 日向, 坂本, 稲葉: 北大水産学部 0.5m 風洞について, 北海道大学水産学部研究彙報, 第18巻, 第1号, (昭和42年5月)
- [2] 中島: 鉄道連絡船の操縦性に及ぼす風の影響に就いて, 造船協会論文集, 第84号, (昭和27年2月)
- [3] 木下, 花岡, 中島: 鰹鮪漁船の操縦性に及ぼす風圧の影響に就いて, 造船協会論文集, 第86号 (昭和29年3月)
- [4] 岡田: 小型船舶に対する風圧に因る傾斜モーメントについて, 造船協会論文集, 第92号 (昭和32年4月)
- [5] 加藤: 小型航洋船の復原性能に就いて, 造船会々報, 第83号, (昭和26年2月)

〔質問〕

- ① 風速限界の最小値 (V/U) は?
- ② C_m の計測点について

$45^\circ \sim 60^\circ$ 付近の変形は各点細かく取った結果か否か。

(岩井 聡)

〔解答〕

- ① 鰹鮪漁船では 5 以上が普通となつておりますが、本計算結果では (turn windward) で

3.72, (turn leeward) で 9.95 となつております。

② 迎角を 5° 間隔で測定した部分ですから大きな違いは無いと思いますが、このような不規則は変形が予想されるならば、もつと細かく測定点をとるべきだと考えます。

〔質問〕

造船協会の論文集の中にまぐろ漁船の操縦限界を計算されたものがありましたがその結果と比較した場合について御伺いしたい。 (鞠谷宏士)

〔解答〕

turn leeward と turn windward の範囲の境界にある 釣合角が小さいこと、および turn windward の範囲が quarter wind で下方に張り出していること等が特長で、共に長船尾楼型の船型に因るものと思われます。尚実船の通常航海状態では、船首吃水が約 1 m 浅くなりますのでこの特長は減少すると考えられます。