

# 次世代型帆装船のための高揚力複合帆の風洞実験

海洋開発研究領域

\*北村文俊

輸送高度化研究領域

上野道雄、宮崎英樹

住友重機械マリンエンジニアリング(株)

竹川正夫、中山一夫、一色 洋

## 1. はじめに

地球温暖化問題により、CO<sub>2</sub>の排出を抑制することが急務になっている。このたびはバルクキャリアー用としての実用化を想定したクレーン兼用の高揚力複合帆を開発し風洞実験を行ったので、報告する。

## 2. 実験概要

図 - 1、写真 - 1 に高揚力複合帆模型を、また表 - 1 に主要寸法を示す。供試模型は縮尺率 3/100(風洞閉塞率約 8%)のスラット・硬帆・軟帆からなる複合帆模型で、バラ積み船のクレーン装置と一体化して装備することを前提としている。

ラット・硬帆・軟帆が乗っている。スラットと硬帆の主要部は平面形が矩形で翼型は円弧翼形状であり、軟帆の平面形は三角形である。またクレーン細部や硬帆・スラット開閉機構等は簡略化した。

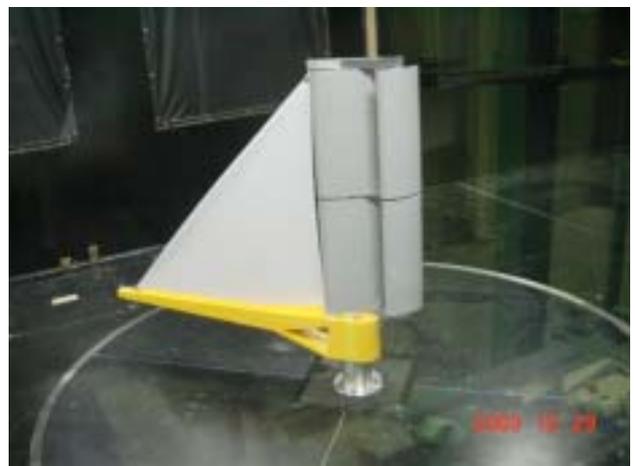


写真 - 1 高揚力複合帆模型

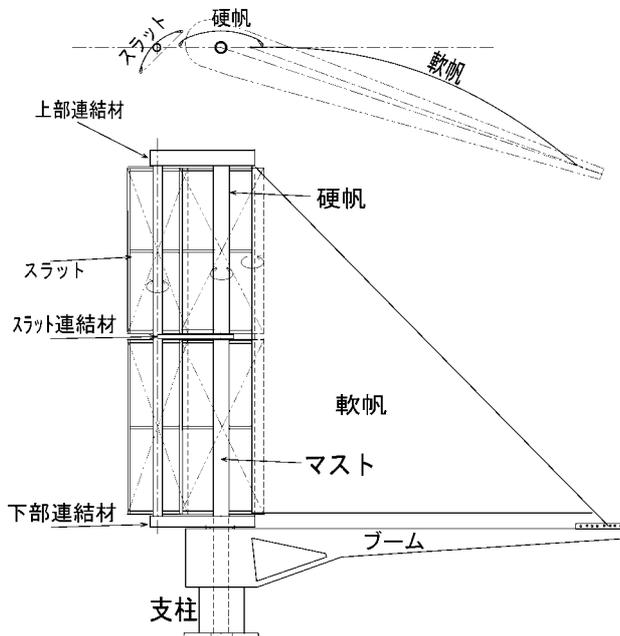


図 - 1 高揚力複合帆風洞実験模型

模型の基本的な構造としては、クレーン基部を模した支柱の上にブームと一体となったクレーン機械室が乗り、さらに連結材に取り付けられたス

表 - 1 高揚力複合帆模型主要寸法

	実機	模型
デッキ面からの高さ (m)	31.3	0.939
ブーム長 (m)	26.7	0.801
帆高さ (m)	22.3	0.669
スラット弦長 (m)	4.0	0.120
硬帆弦長 (m)	5.6	0.168
軟帆底辺長 (m)	22.3	0.669
スラット面積 (m <sup>2</sup> )	88.0	0.0792
硬帆面積 (m <sup>2</sup> )	123.2	0.1109
軟帆面積 (m <sup>2</sup> )	248.7	0.2238
帆面積合計 (m <sup>2</sup> )	459.9	0.4139
平均弦長 (m)	20.6	0.619
アスペクト比 (帆高さ / 平均弦長)	1.08	1.08

本模型は様々な形状に対応するため、多くの可動部を持っている。変更可能な箇所は、各帆の取付角（スラット取付角、硬帆取付角 $\mu$ 、ブーム取付角）および、スラット回転軸とマストの距離 $L_s$ (120~137.5mm)、スラットとスラット回転軸との距離 $L_{ss}$ (0~15mm)、軟帆前縁ファラー位置とマストの距離 $L_f$ (60~84mm)である。実験ではこれら6項目を変えて高揚力係数の得られる組合せを探した。図-2にこれらの可動部と風軸系座標を示す。

また完成状態のほか、各要素単独、2要素の組合せの形態について実験を行った。

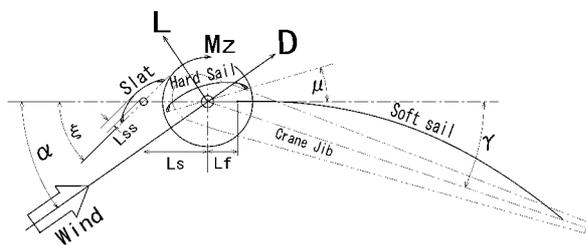


図-2 模型可動部および風軸系座標

実験は当所変動風水洞にて実施し、風速、各軸方向の力およびモーメントをターンテーブル上に固定した6成分検力計で測定した。迎角の設定はターンテーブルを回転して行い、迎角 $-30 \sim 110^\circ$ を $2.5 \sim 10^\circ$ ステップで計測した。各計測出力はADコンバーターよりパソコンに取り込んだ。サンプリングは50Hzで5秒間行い、その平均値を1つのデータとした。

実験風速については8m/sを超えると特性がほぼ一定となることを確認し、軟帆の強度を考慮して高揚力係数を発生する設定を探す実験は主として8m/sで行い、性能の良い設定については12~15m/sでも確認した。

### 3. 解析

帆や翼などの特性は一般に風向きに対して設定された座標系によって評価される。検力計の座標系からまず風軸座標系に座標変換を行い、さらに船に取り付けた場合の性能を評価するために、船体軸座標系に変換を行った。図-3に両座標系の関係を示す。

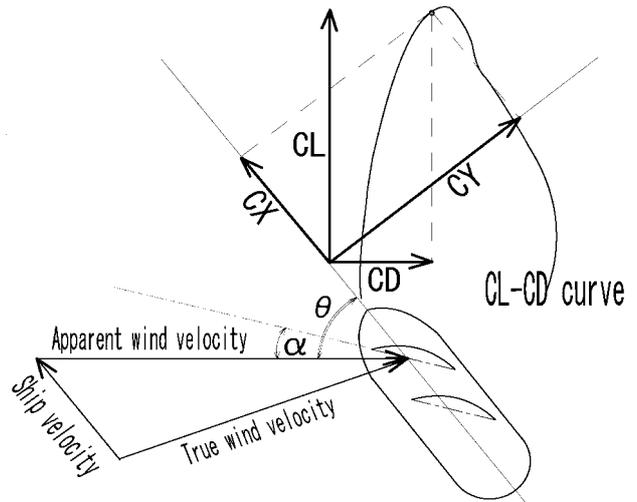


図-3 船体軸座標系

データを一般的に表現するために無次元化を行った。基準面積としては完成状態の実験に対しては表-1にある各帆の合計面積 $S=0.4139 \text{ m}^2$ を用いたが、要素単独、あるいは組み合わせの実験については対象とする要素面積の合計とした。基準アーム長としては、旋回モーメントについては平均翼弦長( $l_m=S/l_h$ )を、また傾斜モーメントについては、モーメント中心をデッキ面(マスト基部)とし、帆面の高さ $l_h=0.669\text{m}$ を用いて無次元化した。

動圧を $q=U^2/2$ として、

風軸系に対しては

$$\text{揚力係数} \quad C_L=L/qS$$

$$\text{抗力係数} \quad C_D=D/qS$$

$$\text{旋回モーメント係数} \quad C_{Mz}=Mz/qSl_m$$

$$L \text{ 軸周り傾斜モーメント係数} \quad C_{ML}=M_L/qSl_h$$

$$D \text{ 軸周り傾斜モーメント係数} \quad C_{MD}=M_D/qSl_h$$

船体軸系に対しては

$$\text{推進力係数} \quad C_X=X/qS$$

$$\text{横力係数} \quad C_Y=Y/qS$$

$$\text{旋回モーメント係数} \quad C_N=Mz/qSl_m$$

$$\text{傾斜モーメント係数} \quad C_K=Mx/qSl_h$$

である。

閉塞率が約8%とやや大きめなので、風洞壁影響の補正<sup>1)</sup>について検討したが、揚力効果による抗力係数の補正量および阻害効果による抗力係数の補正量がほぼ打ち消し合う結果となり補正は行

なわないこととした。

## 5. 試験結果および考察

### 5.1 完成状態

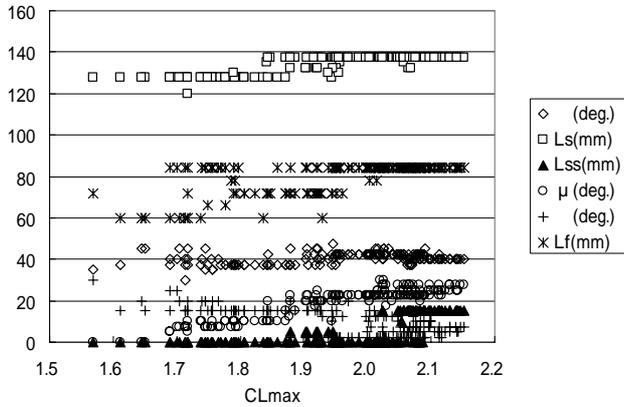


図 - 4 完成状態実験結果

各実験の結果の最大揚力係数を横軸に、各設定値を縦軸にプロットしたものを図 - 4 に示した。

実験を行った範囲で、最大揚力係数を大きくする構成を以下に列記する。

- ・ スラット軸 / スラット間  $L_{ss}$  は離す(15mm)
- ・ スラット軸 / マスト間  $L_s$  も最大(137.5mm)
- ・ マスト / ファーラー距離  $L_f$  も最大(84mm)
- ・ ブーム角 は  $5 \sim 7.5^\circ$  程度。
- ・ 硬帆取付角  $\mu$  は  $22.5 \sim 27.5^\circ$  付近
- ・ スラット取付角 は  $40 \sim 42.5^\circ$  付近
- ・ 上下スラット間、硬帆間の隙間を塞ぐことは効果がある、がその効果は大きいものではない。

これらの構成の特徴としては、スラットおよび硬帆の後のスロット（隙間）が当初航空機主翼の高揚力装置のイメージから考えていたよりもはるかに大きいことである。航空機用では高揚力装置が主翼で支持されかつ離着陸時以外は主翼に収納される必要があるため、寸法や可動範囲も自ずと制約されているためと考えられる。図 - 5 に風軸系の迎角に対する各係数を示す。最大揚力係数を与える迎角がきわめて大きいのが特徴で、スロットを通る流れが下流の要素の剥離を押さえて、失速角を大きく伸ばしていることが伺われる。

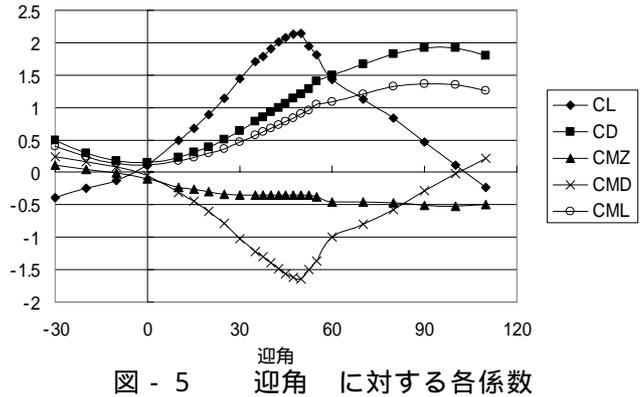


図 - 5 迎角に対する各係数

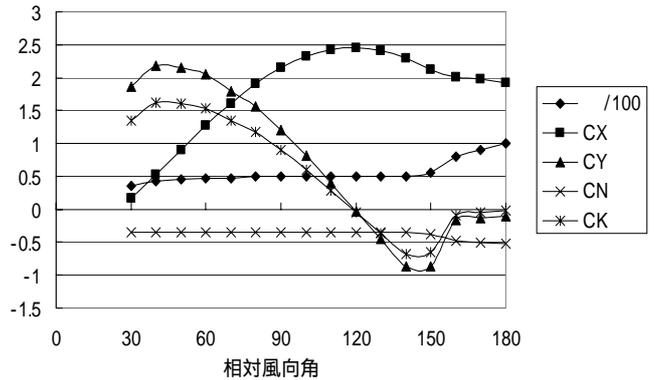


図 - 6 船体軸に対する各係数

図 - 6 に船体軸座標系に対する各係数を示す。推進力係数  $C_x$  は風向角  $120$  度付近で最大の約  $2.5$  になっている。

### 5.2 完成状態以外の結果

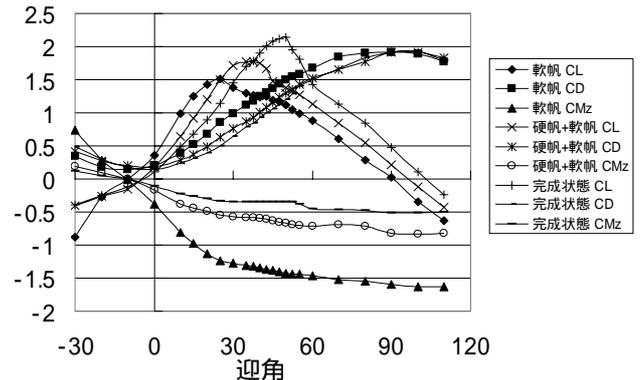


図 - 7 要素組合せ時の特性

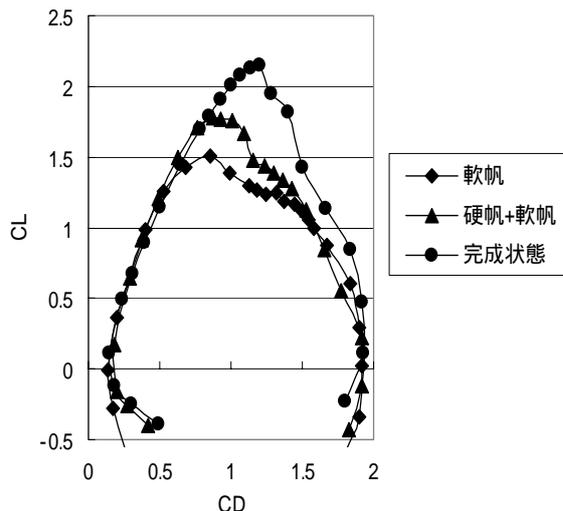


図 - 8 要素組合せ時の CL-CD 図

図 - 7 に軟帆単独、軟帆 + 硬帆、完成状態時の迎角に対する特性を示す。要素を追加するに従って、最大揚力係数と、それを与える迎角が増加していくのが特徴である。また、マスト周りのモーメント係数は小さくなっていく。図 - 8 は同じデータの  $C_L$ - $C_D$  図である。軟帆単独形態から、前方に要素が加わるに従ってカーブが右上方に伸び最大揚力係数が増加していく様子が見られる。スラットの効果は、スラット後のスロットからの噴流が下流の帆の失速を押さえ、より大きな迎角まで失速を送らせることである。軟帆に対しては硬帆がスラット的な役割を果たしていることがわかる。

このほかにも軟帆、硬帆、スラットなどの各要素単独あるいは組み合わせた実験を行った。要素の面積をベースとした最大揚力係数は概略以下の通りである。

- ・ 軟帆単独  $C_{Lmax}$  1.5
- ・ 硬帆単独、スラット単独  $C_{Lmax}$  1.8
- ・ スラット + 硬帆  $C_{Lmax}$  2.3
- ・ 硬帆 + 軟帆  $C_{Lmax}$  1.8

### 5.3 可視化実験

流動パラフィンの煙により帆周りの流れの状況を観察し以下のことが確認された。

最大揚力係数付近の迎角ではスラット上面の流れもかるうじて付着し、硬帆軟帆上面の流れも、スロットからの吹き出しによってしっかり付着している。写真 - 2 に示すように帆上端では各要素

それぞれから発生した渦が合流して1つの強い翼端渦を形成している。ブームが矩形断面のため、ブーム付近の流れはかなり乱れている。

最大揚力係数の迎角を過ぎると、先ずスラット上面の流れの剥離が始まる。硬帆上面、軟帆上面の流れは、スロットを通る流れの効果によりかなり大きな迎角まで付着していることがわかった。



写真 - 2 最大揚力係数発生時の翼端渦

### 6. まとめ

- ・ 実用化を考慮した高揚力複合帆の実験を行い、最大揚力係数 2.15 を得た。
- ・ 複合帆においてはスロットからの流れが、下流帆上面の流れの剥離を押さえ、失速角を大きくして最大揚力係数を増加させていることが確認された。

帆装商船においては、風向角  $90^\circ$  以下の領域で運行する機会が多いと考えられ、最大揚力係数を与える迎角までの揚抗比が小さいことも重要である。風向角に応じてスラット、硬帆およびブーム角などの設定を変更して運用すること、さらには帆装装置全体のデザインの洗練化などが今後の検討課題と考える。

本研究の一部は(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構の助成金を受けた(社)日本造船研究協会「次世代型帆装船の研究開発」一部として実施したものである。関係各位に厚くお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 航空評議会、風洞試験規定、p61 ~ 67、1942