

# 船楼に作用する圧力抗力減少に関する研究

角田 哲也\* 吉田 年輝\*\*

## Pressure drag reduction acting on superstructure

Tetsuya SUMIDA and Toshiteru YOSHIDA

### Abstract

A purpose of this study is to investigate possibility of pressure drag reduction acting on superstructure. Vortex generator is placed on the top of superstructure model to reduce pressure drag. If by vortex generator, longitudinal vortex is introduced into behind of model and the back pressure is increase, pressure acting on the model would decreased. The wind tunnel has a measuring section of 0.7m width, 0.3m height and length about 2m. In all the experiments Reynolds number based on the representative length scale of the model and free stream velocity will be about 30000. From the measured pressure distribution, it was shown that the back pressure of superstructure model was increased to 17.4%.

Key words: Vortex generator, Superstructure, Pressure drag, Longitudinal vortex, Back pressure

### 1. 緒言

一般に、物体に作用する抗力は圧力抗力と摩擦抗力の和で表される。従来の船体抗力減少技術は海水と接する船体部分に力点が置かれていた。これは空気よりも海水の方が密度が大きい。そのため、空気と接する部分よりも表面摩擦抗力および圧力抗力が大きいためである。しかしながら、密度の小さい空気と接触する船体部分の抗力も無視できない。特に船体上甲板に設置されている居住区構造物は、船舶の航行時に大きな風圧抗力を受けるために航行が阻害されて燃費の増加を招く。タンカーやバルクキャリアのような肥大船の場合、満載状態ではシーマージンの約3分の1、バラスト状態では約2分の1が風圧抗力によるものであるとされている<sup>[1]</sup>。

船楼に作用する圧力抗力を減少させる試みとして船楼縁部に、該縁部と回転軸が平行になるようにサボニウス型風車を設けることが提案されている<sup>[2]</sup>。この原理は前面で風車が回り、外側部の流れが居住区構造物の側面側に誘引され、はく離領域を減少させることによって風圧抗力

が減少する。風圧抗力測定の結果、風圧抗力が10～15%低減し、満載状態で約5%、バラスト状態で約7%のシーマージンの低減が達成されると報告されている。

一方、抵抗部材を前方甲板上に設置することによって、構造物周辺の空気流を変化・制御し、上部構造物に作用する空気抵抗を低減する提案がある<sup>[3]</sup>。

前出の関連研究の欠点は、前者の場合、風車の製作コストに加え、強風時における風車の損傷の可能性が挙げられる。一方、後者の場合、風向および風速変化に対して、常に上部構造物に風が衝突しないとは限らず、安定した空気抵抗の低減効果が得られない可能性がある。

本研究では渦発生器を船楼上面に設置し、船楼背面に縦渦を導入することによって背圧を上昇させ、圧力抗力を減少させる方法を提案する。

以上のことをふまえて、船楼模型周りの速度および圧力分布測定を実施し、船楼に作用する圧力抗力減少の可能性について調査した。

## 2. 主要記号

- h : 模型高さ [mm]
- U : 局所速度 [m/s]
- $U_1$  : 主流速度 [m/s]
- Re : 模型高さに基づくレイノルズ数 ( $=U_1 \cdot h / \nu$ ) [-]
- $\rho_a$  : 空気密度 [kg/m<sup>3</sup>]
- P : 圧力 [Pa]
- $P_\infty$  : 大気圧力 [Pa]
- $C_p$  : 圧力係数 ( $= (P - P_\infty) / (1/2 \rho_a U_1^2)$ ) [-]
- x : 模型中心座面からの流れ方向距離 [mm]
- y : 模型中心座面からの高さ方向距離 [mm]
- z : 模型中心座面からのスパン方向距離 [mm]
- x/h : 流れ方向無次元距離 [-]
- y/h : 高さ方向無次元距離 [-]

## 3. 実験装置および方法

### 3.1 風洞および測定平板

実験に用いた風洞はモーター，送風機，拡がり部，集合胴，絞り部および測定部で構成される。装置全長は約 13m，測定部の断面寸法は 700mm×300mm で長さが約 2m である。測定平板は厚さ 1/2inch(12.5mm)のベークライトを使用した。上壁面は可変式の屋根でその高さを調節することによって圧力勾配が調整可能である。

### 3.2 供試模型

船樓の模型を三州丸（日本郵船）を参考にして決定した。三州丸の船樓部分の寸法は 12.8m×12.8m×27.4m である。模型の寸法は風洞測定部での閉塞比が 5%以下となるように設計した。風洞測定部の幅から模型の幅を 100mm とし，その他の寸法は三州丸の船樓と相似になる寸法とした。その結果，模型寸法は 45mm×45mm×100mm となる。模型は厚み 5mm の透明アクリル板で製作した。なお，この模型寸法の測定部における閉塞比は 2.1% である。

渦発生器は航空機の翼に設置され，縦渦を翼面上に導入することによってはく離を防止する。この装置を船樓上部に設置することを本実験室は提案するが，翼寸法，設置位置，翼の枚数，設置角度など不明な点が多く，これらを明らかにするには系統的に実験する必要がある。そこで，予備実験として模型にゴムひもを連結し，ゴムひもの伸び量を計測した。その結果，もっともゴムひもの伸び量が小さかった条件である間隔が 15mm の片側 2 枚の翼を主流に対して 30° の角度で設置したケースのみ本実験の調査対象とする。設置した渦発生器はプラスチック製で寸法が底辺 10mm，高さ 5mm の三角形状である。図 1 に渦発生器を設置した模型を示す。

渦発生器

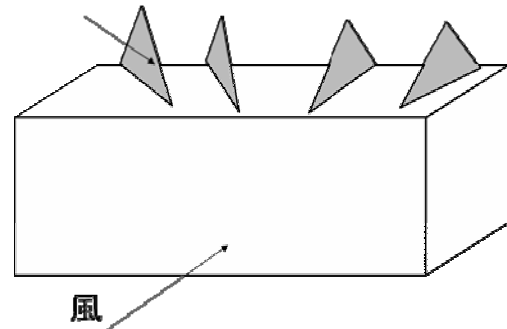


図 1 船樓の模型

### 3.3 測定条件

模型は水槽実験との対応を考慮して，測定平板前縁から 1000mm 下流に設置した。主流速度  $U_1$  は 10m/s に固定し，模型高さ h を代表長さとしたレイノルズ数 Re は約 30000 である。図 2 に座標系を示す。座標の原点は模型中心座面とする。なお，測定部の流れ場は零圧力勾配を実現している。

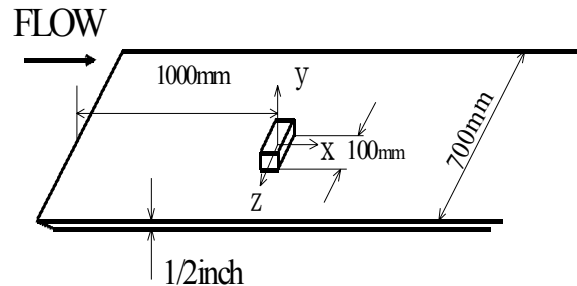


図 2 座標系

## 4. 実験結果

### 4.1 平均速度分布

渦発生器を模型上面に設置した場合の中心断面における平均速度分布を図 3 に示す。流速測定には標準ピトー管（岡野製作所）を使用した。測定最上流である  $x/h = -5.1$  の位置における境界層は層流でも乱流でもない遷移状態である。壁面近傍において変曲点が認められないため，この位置ではまだ物体による逆圧力勾配の影響を受けていない。物体背後直後位置である  $x/h = 1.78$  では，逆流域の存在のため  $y/h < 1.1$  までの速度は計測不能であった。 $y/h = 1.5$  において大きな速度勾配が存在する。この位置は逆流域から順流域へと急速に回復する位置に相当する。 $x/h = 4$  の位置では，壁近傍の速度は激しく乱れ，その速度勾配も小さい。これより  $x/h = 4$  の位置は再付着点近傍であることが予想される。測定最下流である  $x/h = 9.6$  の位置において，速度分布は回復傾向を示すが，依然，変曲点が存在する。

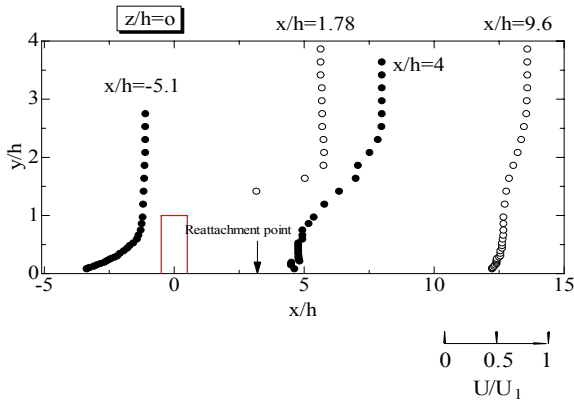


図3 平均速度分布



図5 圧力の取り出し(平板裏側より)

#### 4.2 圧力分布

圧力抗力の低減効果を評価するため模型背面の背圧を測定した。模型前面の圧力を渦発生器の有無に関わらず不変と仮定すれば、渦発生器によって模型背面に縦渦が導入されると背圧が上昇し、ひいては圧力抗力が減少するものと考えられる。

圧力分布測定は模型背面にφ0.5mmの圧力測定孔を5mm間隔に63箇所あけ、その圧力をビニールチューブを介してゲッチングマンノメーターに伝達し、ガラス管に封入されたアルコールの液面上昇を読み取り顕微鏡で求め、圧力係数 $C_p$ を算出した。圧力測定孔および圧力取り出しのチューブの詳細をそれぞれ図4, 5に示す。模型背面における圧力分布を図6に示す。図中の数値は圧力係数の値を示す。図6から渦発生器の設置によって低圧の領域( $C_p = -0.35$ )が消滅し、全体的に圧力上昇が認められる、また、圧力上昇が認められる圧力測定孔は47箇所、圧力測定孔総計の74.61%の箇所、圧力が上昇した。平均圧力係数の値が-0.268から-0.224まで上昇し、その上昇率は17.4%であった。このことは船楼上面に渦発生器を設置することにより渦発生器から船楼背面に縦渦が導入され、船楼背面の背圧が上昇し、ひいては船楼に作用する圧力抗力が減少する可能性を示唆する。

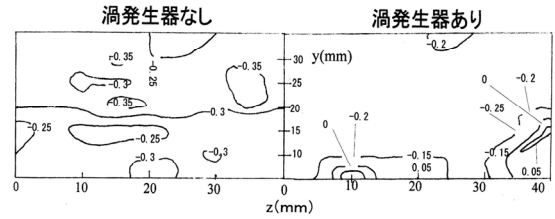


図6 模型背面の圧力分布

次に渦発生器によって導入された縦渦の経路を予測するために、模型下流の平板上における圧力分布を測定した。測定平板にはφ0.5mmの圧力測定孔を50mm間隔に25箇所施している(図7, 8)。図9に圧力分布を示す。図9から渦発生器の設置の有無に関わらず、同じ分布傾向を示した。また、模型背面直後では負圧を示している。この位置では逆流域であることを示す。中心線上の $x/h = 3.42$ の位置では高い圧力を示すが、これは流れの再付着によるものと想像される。再付着点は圧力係数が0となる位置と定義すれば、再付着点位置は $x/h = 3.42$ である。以上から、図10のように渦発生器で発生した渦は底面壁に衝突せず、下流に対流することが予想される。平均速度分布および圧力分布から予想した中心断面における流れ場の模式図を図11に示す。

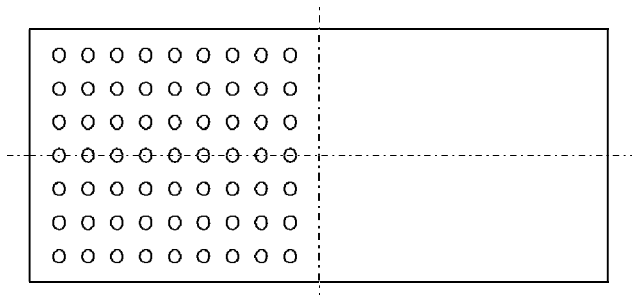


図4 模型背面における圧力測定孔の位置

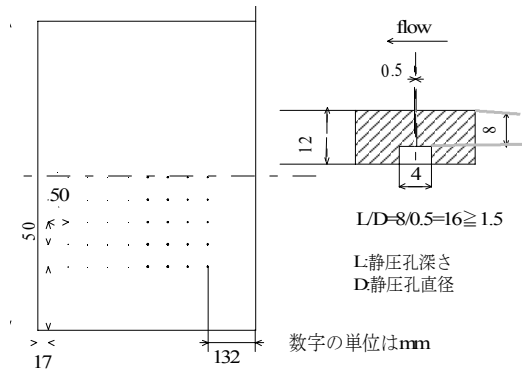


図7 測定平板上における圧力測定孔

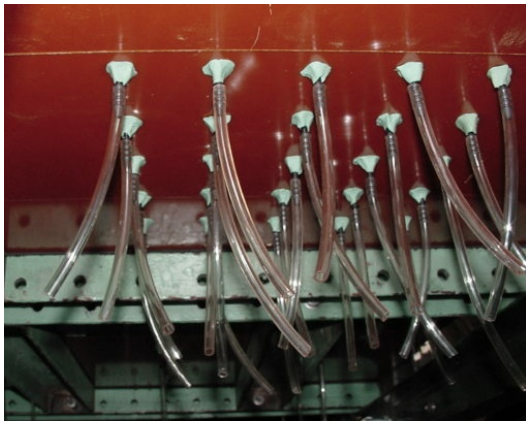
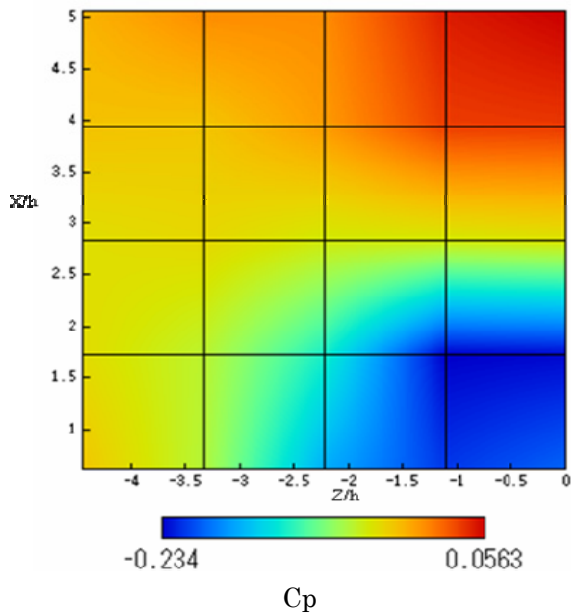
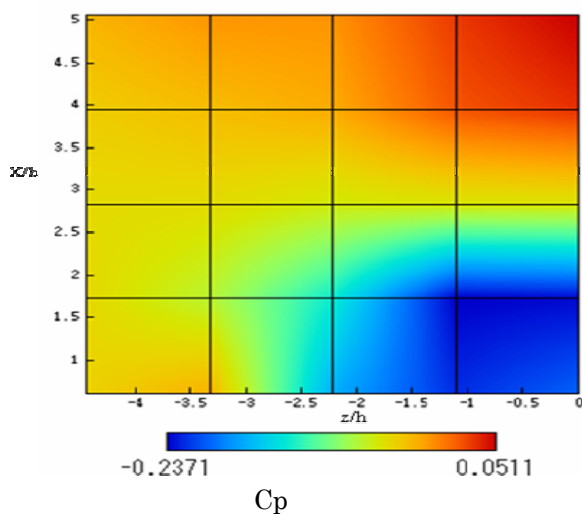


図8 測定平板上圧力の取り出し(平板裏側より)



(a) 渦発生器がない場合



(b) 渦発生器がある場合

図9 模型後方の測定平板上における圧力分布

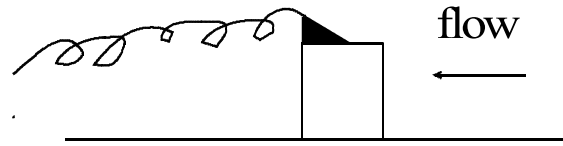


図10 渦の経路

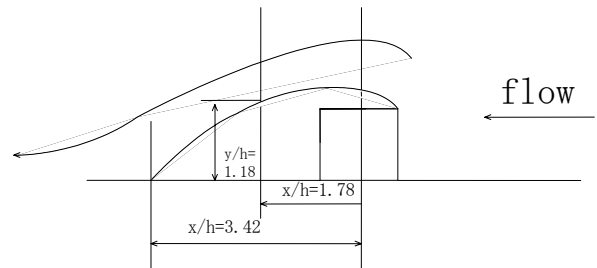


図11 中心断面における流れ場の模式図

## 5. 結言

船楼模型周りの平均速度分布および圧力分布測定を実施し、以下の結論を得た。

### (1) 模型背面の圧力分布

渦発生器の設置により模型背面の圧力は17.4%上昇する。このことは圧力抗力減少の可能性を示している。

### (2) 模型背後の測定平板上における圧力分布

- ①渦発生器を設置したにも関わらず、圧力分布の差異がほとんど認められない。
- ②模型背後で負圧を示す逆流域が認められる。
- ③中心断面において、模型上流角部ではく離れた流れは  $x/h = 3.42$  で再付着する。

(3) 圧力分布と速度分布の結果から総合的に判断すると、渦発生器で生じた渦は模型背面の圧力上昇を引き起こすものの、測定平板上の圧力変化には影響を及ぼさない。また、渦発生器で発生した縦渦は壁面に付着せず下流へ対流する。

## 参考文献

- [1] 公開特許公報フロントページ特許開平 11-129976.
- [2] 公開特許公報 (A) 特開 2000-85677.
- [3] 公開特許公報 (A) 特開 2001-328587.