216 地面効果翼まわりの流場計測

船舶技術研究所 堀 利文[○], 塚田吉昭, 平田信行

Flow Measurements for a Wing in Ground Effect

Toshifumi Hori *, Yoshiaki Tsukada*, Nobuyuki Hirata*

ABSTRACT

Once again, the recent trend of super high-speed ships is to use a Power-Augmented Ram Wing In Surface Effect Ship(= PAR-WISES). A PAR-WISES is a wing in free-surface effect, whose lift is enhanced by using the air flow of a thruster, which is placed upstream of the wing, so as to create a high pressure region under the wing. The PAR effects enable the vehicle to take off and land at lower speed and the structural weight and engine power can be reduced compared with conventional WISES.

In order to understand the mechanism of PAR effects, measurements of pressure distribution on the lower surface of the wing and the ground, flow visualization for a low aspect ratio wing with end plates were performed in the wind tunnel at the Ship Research Institute. Aerodynamic characteristics and interactions among the wing, ground and thruster are discussed.

1. はじめに

飛行する翼が高度を下げて地面に近づくにつれ、翼下面と地面の間に囲いこまれた気流がせき止められ翼を押し上げる圧力が高まる。その結果、上空を飛行する場合に比べ揚力が増すが、これは地面効果あるいは海面の場合は海面効果と呼ばれている。この効果を利用して高速で海面上を航行する海面効果翼船(WISES; Wing in Surface Effect Ship)が研究され既に実用化されている。

水面を掠めて航行する WISES は、空気流を翼下面にせき止めることにより生じる動的なエアークッションで重量を支持する点が既存の船舶と異なる。これにより水から受ける抵抗は無く、在来的高速艇、水中翼船等を越える高速化が実現され、航空機より効率の良い輸送ができる。しかし、海面効果が期待できるのは離水後であり、離水するため翼前方に取り付けたスラスターから吹き出す気流を翼下面に押し込む高揚力装置(PAR; Power Augmented Ram)を使用し、低速での離水を容易にしている WISES も現存している。この場合は翼とスラスターからの気流、および水面とが相互に影響し、翼まわりは複雑な流場を形成する。

本報告は、実験的に海面効果現象の基本的な特徴の把握、および現象の解明を目的とし、翼まわりの流場の観測を風洞で行ったので、その結果を報告する。

2. 供試模型

低アスペクト比の主翼はWISESの一つの特徴でもある。ここでは船舶技術研究所で実施中の一連のWISESの研究¹⁾に使用したNACA6409の断面形状を持つ翼弦長 $c=0.5\text{m}$ 、アスペクト比0.6の矩形

* Ship Research Institute, 6-38-1, Shinkawa, Mitaka, Tokyo

翼を用いた。Photo.1に実験時の翼およびスラスターの配置を示す。翼端には翼下面の圧力を保持するため、翼端板を地面と平行に翼後縁と同一高さに取り付けた。PARの実験時にはスラスターとして一対の模型飛行機用の2翼プロペラを翼の前方に配置した。

Photo.1 Experiment arrangement.

3. 実験法

実験は、船舶技術研究所の変動風水洞で行った。地面と海面では境界条件に差異があるが、基本的なメカニズムは類似しており、一般的にその差異は小さい。ここでは現象の基本的な特徴を調べるために地面板を用いて実験を行った。地面板上に発達する境界層の影響を極力軽減するため、Fig.2に示すように翼前方の地面板上に境界層吸い込み用のスロットを設けている²⁾。翼はストラットを介して6分力計に取り付け迎角 $\alpha=6\text{deg.}$ とした。PAR用のスラスターは $(X_P/c, Z_P/c, \theta_P) = (-1.0, 0.36, 31\text{deg.})$ で配置した。翼位置の平均風速は $U_0=7.28\text{m/s}$ で翼弦長 c に基づくレイノルズ数 Re は約 3×10^5 である。

Fig.1 Coodinate system.

翼端渦の可視化は流動パラフィンにヒータで熱し発生させた煙を上流から注入し、X断面にスライドプロジェクタを用いたスリット光をあて観測する方法によりPAR無しの状態で行った。なお、PAR作動時の可視化は、今回用いたスモーク法の可視化範囲を越えたため行っていない。

また、定量的な計測により流れの様子を把握することを目的として、直径4mmの球形5孔ピトー管を用いて、翼の後縁から4mm後方のX断面で流速と流向の平均値を測定した。

地面上の流れの観測は油膜法³⁾を用いた。厚さ0.8mmのアルミ板に流動パラフィンと二酸化チタンを100:3の割合で混ぜ合わせ、油膜として薄く塗布し、地面板上に固定した後約10分間風を吹かせ写真撮影を行った。また、地面効果現象の特徴である翼と地面板の間に発生する圧力の高い領域の流場を測定するために、地面板と翼下面に圧力孔を設け地面効果による圧力変化を計測した。

4. 結果および考察

Fig.4に流体力の測定結果を示す。揚力と推力は $1/2 \rho U_0^2 S$ (ρ :空気密度, S :翼面積)、高度は翼弦長 c で無次元化を行いそれぞれ C_L , $C_T, h/c$ で示している。翼と地面との距離が接近すると急激に揚力が増加する地面効果現象が確認できる。また、PARの使用で著しく揚力が増加している。

Fig.2 Lift coefficients.

Photo.2はスモーク法による翼端渦の映像のビデオプリンター出力で、前縁の翼端板下端から発生した渦は、後方に移動するに従い渦中心の高度を上げながら発達している。また、 $X/c=0.4$ 付近で翼上面エッジからも渦が発生し、翼上面に沿って後方に移動している。この2つの渦は同方向に回転している。後縁をすぎると翼上面エッジから発生した渦はしだいに弱まり消滅する。前縁付近から発生した渦はその後大きく発達していることが観測される。

$X/c=0.2$

$X/c=0.4$

$X/c=0.7$

$X/c=1.0$

$X/c=1.2$

$X/c=1.4$

Photo.2 Cross-sectional views of the tip vortex in the Y-Z plane.

Fig.3はPAR無しの場合について5孔ピトー管を用い計測した翼後縁から後方4mmのX断面の流速分布である。翼と地面板の隙間から流れ出る高速の流れと渦が示されている。渦の中心はスモーク法による結果と良く対応している。

Fig.4はスラスタを用いた時 ($C_T=3.2$)の結果で、スラスタからの流れは翼と翼端板によりせき止められ、圧力が高まり、翼の揚力を増加させる。その後、翼端板と地面の隙間から高速で吹き出す。気流の速度はPAR無しの場合と比較して増加している。また、渦は弱くなりその中心は翼から遠ざかる。

Fig.3 Axial velocity contour map and Crossflow vectors at $X = X.T.E. + 4mm$ (without PAR).

Fig.4 Axial velocity contour map and Crossflow vectors at $X = X.T.E. + 4mm$ (with PAR $C_T=3.2$).

油膜法による写真をPhoto.3に示す。地面上の流れはPAR無しの場合、翼の前縁から発生した渦により、気流の流れが後方に広がってゆく様子が示されている。翼下面では油膜の移動は殆ど無く、流れはせき止められて速度を落としていることがわかる。その後地面板と翼端板の隙間から外側へ流れ出ている。なおPAR無し時の油膜法試験は一樣流 $U_0=15\text{m/s}$ で行っている。同じ高度でPARを用いると、スラスターからの流れは地面板に当たりそこから周囲に広がる。スラスターにより翼下面へ送り込まれた流れは翼の中央線付近ではほぼ一樣流方向に向かう遅い流れであるが、翼端板近くになると急激に外側へ向きを変え、地面板との隙間から高速で流れ出ている。撮影はISO400のフィルムを用い $f=8$ 、 $1/60$ 、で写真電球2灯を使用して行った。

Photo.3 Surface flow picture (Oil film method, $h/c=0.05$).

Fig.5は翼下面および地面板の表面圧力計測の結果を $1/2\rho U_0^2$ で無次元化した圧力等高線で示している。スラスターの推力は一定とし高度を変化させているが、地面板と翼下面の両方で高度が下がるほど圧力が上昇し、前述の空力特性に対する地面効果現象と良く対応している。

5. あとがき

渦の挙動を中心に翼まわりの流場観測を風洞で行い、海面効果現象を考察した。また油膜法を用いることで地面上の気流の流れが把握できた。ピトー管による計測では翼の後流、そして圧力測定では地面効果による圧力変化が定量的に計測された。

Fig.5 Pressure contour maps from top view ($Cr=0.32$, Contour interval is $0.5C_p$). Dotted line show negative values).

参考文献

- 1) 堀 利文他, "海面効果現象と WISES の特性に関する検討", 第 64 回船研研究発表会 (1994)
- 2) Sowdon, A., "Removing the Boundary Layer on a Ground Plate", 64th General Meeting of SRI (1994)
- 3) 流れの可視化学会, 新版流れの可視化ハンドブック, 朝倉書店 (1989)