49 有翼飛しょう体まわりの剝離渦の可視化について

九州大学 工学部 麻生 茂[○]
 西日本工業大学 工学部 林 正徳
 九州大学 工学部(院) 藤本 淳

Flow Visualization of Separated Vortex around Winged Space Vehicle

by

* Shigeru ASO, ** Masanori HAYASHI and * Atsushi FUJIMOTO

Flow visualization of flow field around a winged space vehicle has been conducted. Flow visualization techniques using color oil and smoke are used. Interacting flow between body and wing and separation lines and reattachment lines on the body surface are visualized by oil flow technique. Also vortical flow field around body is visualized by smoke method. Adding to those experiments measurements of aerodynamic characteristics of winged space vehicle are conducted. The results from flow visualization show same tendency of aerodynamic characteristics of the body.

1. 序論

有翼飛しょう体等の宇宙往還機が大気圏再突入後、地上に戻って来る場合の空力特性を知ることは重要な問題である。特に有翼飛しょう体は、かなりの高迎角で飛行する機会が多いために、その鈍頭からの剝離渦の発生状況、剝離渦とフィンとの干渉、および翼胴体結合部の干渉などかなり複雑な流れとなっており、その状況を正確にとらえることは重要な問題である。

このような有翼飛しょう体まわりの流れ場を解明するためには、対象とする流れ場をいくつかに分け、物体表面近くの流れ場は、オイルフロー法等を用い、物体より離れた流れ場は煙をトレーサとする方法等を用いる必要がある。

本研究は、オイルフロー法(特にカラーオイルフロー法)および煙を用いた方法を併用することにより、このような有翼飛しょう体の鈍頭からの剝離渦の発生状況、剝離渦とフィンとの干渉、および翼胴体結合部の干渉空力特性を調べ、又、得られた知見と風洞試験との比較を行い、その空力性能との関係について考察を行ったものであり、流れの可視化法がこのような有翼飛しょう体の設計の基礎資料を得るのに有効な手段であることを示したものである。

2. 実験装置と方法

実験は、九州大学工学部航空工学教室所有のゲッチンゲン風洞(吹き出し口径 2 m)を用いて行った。実験に用いた有翼飛し

Fig.1 Model Configuration

* Faculty of Engineering, Kyushu University, 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812, JAPAN

** Nishinippon Institute of Technology, 1633 Niiizu, Kanda-machi, Miyako-gun, Fukuoka Prefecture 800-03, JAPAN

よう体の模型を Fig.1 に示す。同機体の前半は円形断面より構成されており、主翼は後退角 40° の NACA 0012、また垂直尾翼は後退角 40.1° の対称翼 (NACA 0012) 二枚を鉛直面より 22° 傾けて後部胴体上に取り付けている。

流れの可視化に先立ち、有翼飛しょう体の空力特性を吊線式三分力天秤を用いて調べた。さらに、オイルフロー法および煙をトレーサとする方法を用いて流れの可視化を行った。

オイルフローは、ケロシンをベースにして流動パラフィンを加えることにより粘性を調整した。また模型を白色で塗り、黒鉛のほかに赤色、青色、および黄色の顔料を油脂に加えて流れのパターンをより明確に識別できるように工夫した。煙をトレーサとする方法では、流動パラフィンのミストをモデルの上流から注入し、その流脈を観察することにより有翼飛しょう体まわりの剝離流、とくに剝離渦を可視化した。実験条件は、風速 $5.2 \sim 5.4$ m/s, $Re = 7.4 \sim 7.7 \times 10^4$ である。

Fig.2 Aerodynamic characteristics

(1) $\alpha = 20$ deg

(2) $\alpha = 40$ deg

Fig.3 Flow visualization using oil (carbon-black)

Fig.4 Flow visualization using oil, $\alpha = 40^\circ$
(color)

3. 実験条件と考察

3.1 有翼飛しょう体の空力特性

Fig.2 に有翼飛しょう体の空力特性の測定結果を示す。図より明かなように、本モデルは迎角 20° で C_L が極大を示している。その後、迎角が増すにつれて C_L は一度減少した後、今回実験を行った迎角 40° までは増加する傾向を示している。これは、煙による可視化で後述するように、有翼飛しょう体の胴体背後に強い剥離渦が発生し、その渦が生じる強い負圧によるものであると考えられる。一方 C_D は単調に増加しており、同モデルが全体的には比較的良好な空力特性を示していることがわかる。

3.2 オイルフローによる可視化

有翼飛しょう体の表面近傍における流れの状況を調べるため、飛しょう体の迎角を -4° から 40° まで 4° ごとに变化させて、オイルフロー（色：カーボン・ブラック）による可視化を行った。その代表例として $\alpha = 20^\circ$ と $\alpha = 40^\circ$ におけるオイルフローを Fig.3 に示す。 $\alpha = 20^\circ$ では飛しょう体先端部より流れが剥離していることがわかる。また主翼付け根部と胴体との流れの干渉が存在していることがわかる。この干渉により物体先端より来た流れは翼-胴体結合部付近で上方に押し上げられて再び下方へ戻される様子がわかる。このことは $\alpha = 40^\circ$ ではさらに顕著になり、翼胴干渉部で上方へ押し上げられた流れが物体先端からの剥離線をさらに上方へ押し上げているのがわかる。

これらの流れは単一色だと前部からの流れのおよぶ範囲などを決めるのが困難である。もし、物体表面をいくつかの区分に分割しておいて異なった色のオイルを塗布すれば流れ場の境界は自動的に判別することができる。Fig.4 はこのことを $\alpha = 40^\circ$ の場合について試みた例である。ここでは判別がつかないが Fig.4 (a), (b) と領域により色分けしたオイルが用いられている。Fig.4 (a) は側面からのもので、前部から来た流れは翼-胴体結合部との干渉により決して中に入り込むことなく上へ曲げられ、再び下方へ押し下げられているが、その部分は非常に狭くなっていることがわかる。Fig.4 (b) は上方から撮ったもので、胴体背面の剥離線・再付着線の形成がより明確に見出せる。また胴体、翼および垂直尾翼にそれぞれ赤、青および黄色を用いているが、これらの面では通風後もそのまま同じ色に保たれており、流れ込まないことがわかる。

3.3 煙による可視化

次に、有翼飛しょう体まわりの流れをとらえるために流動パラフィンを用いた煙による可視化を行った。実験は流れの中へ煙を導入するノズルを上流側に配管し、位置を変えながらその流脈線をとらえた。その代表例として $\alpha = 20^\circ$ および 40° における可視化結果を Fig.5 に示す。いずれも (a) は、物体の

中心軸の先端付近から煙を導入した場合、(b) は物体の側方より煙を導入した場合である。まず (a) の場合、 $\alpha = 20^\circ$ では物体先端からの流れは物体にほぼ平行に流れているが、 $\alpha = 40^\circ$ では初めは物体に平行に流れるものの途中で物体から離れている。これは胴体まわりの前縁剝離渦の breakdown によるものではないかと考えられる。しかしながら、胴体の長さの半分以上にわたって剝離渦が胴体背面に存在していることは、この物体の C_L が 40° まで増加していることと対応しているように考えられる。一方、(b) の場合 $\alpha = 20^\circ$ では前方からの流れはほとんど偏向は受けないが、 $\alpha = 40^\circ$ では前方からの流れは大きく上方へ曲げられており、主翼前縁からの剝離渦の影響を強く受けているものと考えられる。

4. 結論

オイルフロー法（特にカラーオイルフロー法）および煙による方法を用いて有翼飛しょう体まわりの流れ場の可視化を試みた。その結果、高迎角飛行時の有翼飛しょう体まわりの先端からの剝離渦の状況、翼-胴体結合部における流れの干渉問題等が明らかとなった。またこれらの可視化結果は、飛しょう体の空力特性をある程度説明することができた。これより、ここで用いたような可視化法は有翼飛しょう体の設計の基礎資料を得るのに有効な手段であることが明らかとなった。

(1) $\alpha = 20$ deg

(2) $\alpha = 40$ deg

Fig.5 Flow visualization using smoke