

図4 実験装置の概略

この主翼とサイド翼を結合した模型を取り付け用円盤を介して天秤に取り付け、図4に示すように風洞の開放型測定部に設置し、揚力 L と抗力 D を測定した。

また、図4の天秤の向きを変えてサイド翼に働く揚力も測定した。この揚力は主翼先端から取り付け円盤に向かって働き、エアロトレインにおいては進行方向に直角に横方向から作用する力なので、横力 (Side force) と呼ぶことにする。実験ではサイド翼の迎え角 α_w を 4° とした。

実験は、東北大学流体科学研究所の気流計測施設に設置されている検定風洞²⁾を使用して行った。

模型は、図4に示すように、翼の中心軸が風洞吹き出し口端から 83mm 下流に位置するように取り付けた。模型の取り付けに当たっては、風洞吹き出し口の1辺の壁面を下流に延長し、それに天秤取り付け用円盤が通る貫通穴を設け、円盤の流れに接する面が延長した壁面と一致するようにした。風洞吹き出し口の対向する1辺にも天秤側と同一寸法の延長壁を取り付け、それら両方の壁面に渡るように地面板を設け、更に地面板上にはそれと直角に側板を立てた。

地面板及び側板の前縁位置は、模型の中心軸から翼弦長 c の 1.5 倍 ($=105\text{mm}$ 、主翼前縁からは 70mm) 上流である。また、それらの前縁を、流れが滑らかに流入するように楕円形に整形した。

地面板と側板上の翼前縁の位置における境界層厚さを見積ると、主流速度 U_∞ が 30~50m/s の本実験範囲では高々 2~3mm で、フィレットの効果を比較する上で特に支障はないと考える。

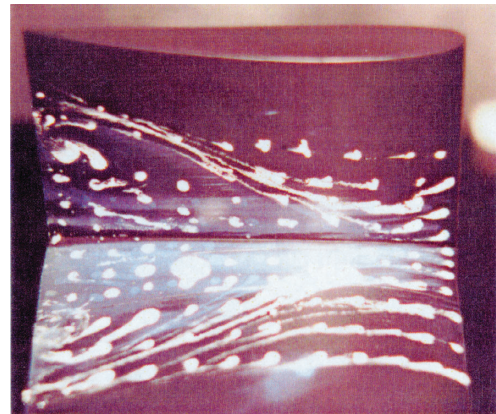


図5 サイド翼と主翼の交叉部周辺の流れ

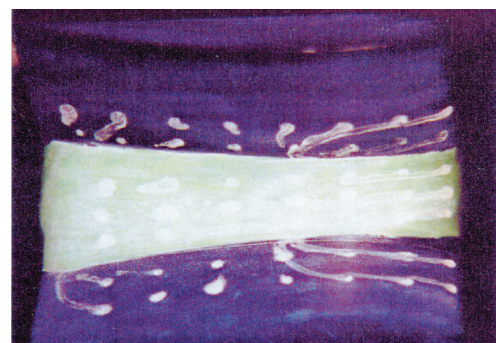


図6 フィレットによって改善された流れの様相

3. 実験結果及び考察

3・1 フィレット形状の最適化 フィレットの最適な形状を求めるために、主翼の迎え角 α を 3° にして、主翼とサイド翼の交叉部付近の流れの様相を油点法を用いて可視化・観測した。

図5は、フィレットがない場合の可視化結果である。写真の右側が上流である。翼の最大厚さ (前縁から $0.3c$) 付近から下流の交叉部近くにおいて、主翼及びサイド翼面上の流れ方向の圧力上昇が干渉して、大規模な剥離領域が形成されている。

これにフィレットを取り付け、空力特性の計測と流れの可視化からその最適形状を求めた。その結果として得られた最適形状フィレット周りの流れの様相を図6に示す。図5に見られた交叉部付近における大規模な剥離領域が消滅し、比較的滑らかな流れとなっている。

3・2 自由流中における模型の空力特性 自由流中におけるフィレット付き模型の揚力係数 C_L 、抗力係数 C_D 及び揚抗比 L/D などの空力特性を図7に示す。横軸は主翼の迎え角 α である。 C_L 及び C_D の算出に用いた代表面積は、角度調整用翼片を含む主翼の平面形の面積とサイド翼の翼型面積の和である (図3参照)。

図7には主流速度 U_∞ が 40m/s と 50m/s の場合を示したが、特性にはほとんど違いが見られなかった。従っ

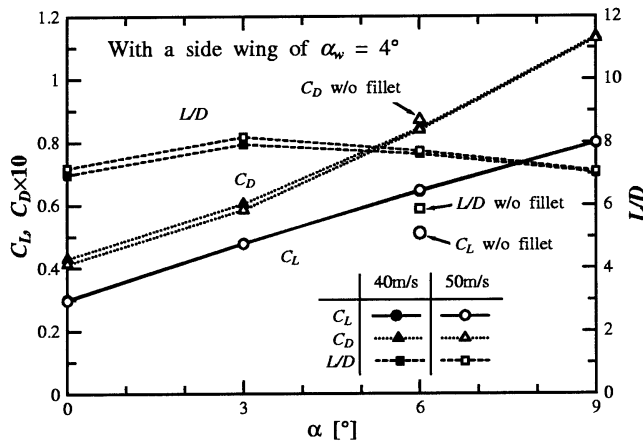


図7 フィレットつき模型の自由流中における空力特性

て、次節以降では 50m/s の場合について述べることにする。その場合の翼弦長を代表長さとするレイノルズ数は、約 1.6×10^5 である。

図7において、 C_L 及び C_D は α とともに単調に増大している。揚抗比 L/D が最も大きくなるのは、 $\alpha=3^\circ$ の場合で、この L/D が最大となる迎え角は、主翼のみの場合³⁾と合致している。

これをフィレットを取り付けない場合と比較すると、一例として図7中に示したように、 $\alpha=6^\circ$ においては、フィレットを取り付けることによって C_L は約 27%(0.14) 上昇し、 C_D は 3% 減少し、結果として L/D が約 30% 増大した。

図6に示したように、最適形状のフィレットは交叉部に大きな隅肉を盛った形となっており、フィレットのない場合に比較して模型の前面投影面積が大きくなっている。そのため C_D が増大することが予想されたが、測定では僅かではあるがむしろ減少した。このことは、フィレット取り付け以前に存在していた剥離領域(図5参照)の実質的な前面投影面積よりも、フィレットの前面投影面積の方が小さいことを示していると考えられる。

3・3 地面板の影響 図8は、 $\alpha=6^\circ$ において主翼後縁の地面板からの高さ h を変化させて測定した模型の空力特性である。中実記号はフィレットを取り付けない場合の、中空記号はそれを取り付けた場合の実験点である。

図7の $\alpha=6^\circ$ における C_L , C_D 及び L/D と比較すると、フィレット取り付けの有無に係らず $h=25\text{mm}$ ($h/c=0.36$) において既に顕著な地面効果が認められ、 h の減少とともに更に地面効果が強くなり、模型の空力特性が向上している。

フィレットは地面効果の下においてもその威力を発揮し、 $h=4\text{mm}$ の場合を例に取ると、 C_L を約 13%(0.13) 増大させて C_D を 17%(0.014) 減少させ、結果として L/D を 37% も増大させている。

主翼と地面板との間における流れの停滞による圧力上

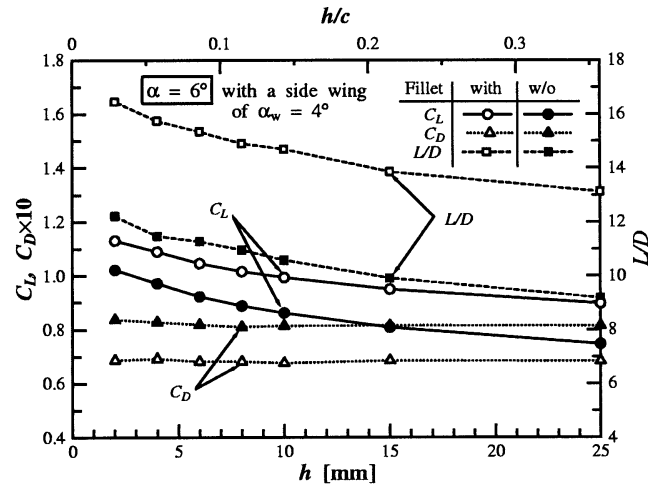


図8 模型の空力特性に及ぼす地面板の影響

昇(ラム圧)は、フィレットの有無によらずほぼ等しいと考えられるので、図8におけるフィレットの取り付けによる空力特性の向上は、前節の自由流中の場合と同様に、主翼とサイド翼の交叉部付近における剥離領域の消滅による主翼上面の流れの改善によるものと考えられる。

このことは、 C_L の各実験点を結ぶ曲線が、フィレットを取り付けることによって平行に移動するだけで、 h による性能変化、すなわち地面効果がフィレットのない場合に類似していることから推察できる。

C_D のフィレットによる変化量は、自由流中の場合に比べ地面板のある場合の方が大きく、フィレットの取り付けによって C_D が大幅に減少している。

3・4 地面板と側板の影響 『はじめに』において述べたように、エアロトレインの翼は地面と側壁双方から地面効果を受ける。その状態を模擬するために $h=4\text{mm}$ ($h/c=0.057$) において地面板の上に側板を立て、それとサイド翼後縁との距離 g を変化させて模型の空力特性を測定した。

側板を地面板の上に直角に立てたので、その交叉部付近に翼と翼の場合(図5)と同様な剥離領域が形成される可能性が考えられたが、流れを可視化した結果ではその様相は認められなかった。従って、本実験結果からガイドウエー内を走行するエアロトレインのサイド翼付き主翼の性能を評価しても、妥当性を欠くことはないと考えられる。

$g=4\text{mm}$ ($g/c=0.057$) における実験の結果を、図9及び表1に示す。図9は、主翼とサイド翼が同時に地面効果を受けている場合にもフィレットが模型の空力特性を向上させることを示している。

C_L 曲線は、図8の場合と同じようにフィレットの取り付けによって平行に上昇していて、 g による変化の様相はフィレットのない場合とほぼ同じである。このフィレットを取り付けたことによる C_L の上昇量は、表1に

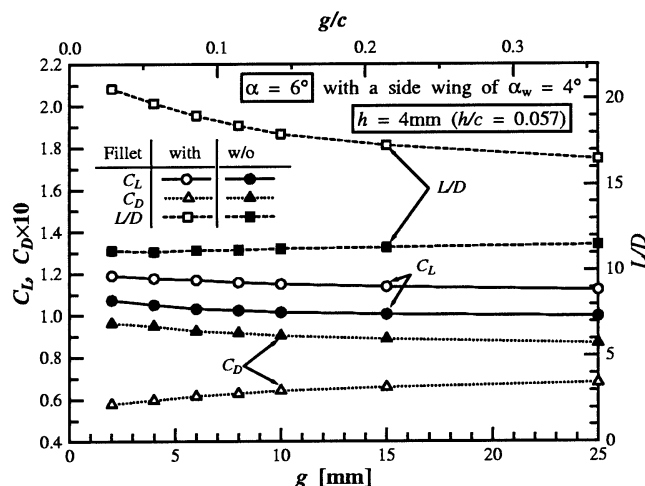


図 9 模型の空力特性に及ぼす地面と側板の影響

表 1 $h=4\text{mm}$ 及び $g=4\text{mm}$ における空力特性の向上

	W/o fillet	With fillet	Diff.	Rate
C_L	1.05	1.18	+0.13	12% Up
C_D	0.095	0.060	-0.035	37% Down
L/D	11.1	19.7		77% Up

示したように $h=4\text{mm}$ 及び $g=4\text{mm}$ のとき約 0.13 であった。この値は、地面のみの場合 (図 8) の $h=4\text{mm}$ における C_L の上昇量の 0.13 及び自由流中におけるその 0.14 (図 7, $\alpha=6^\circ$) にほぼ合致している。従って、フィレットの取り付けによる C_L の増大は、フィレットによって翼上面の流れが改善された結果であって、その効果は地面及び側板の有無には関係なくほぼ一定であると考えることができる。

一方 C_D は、フィレットを取り付けない場合には g の減少とともに増大しているが、フィレットを取り付けると逆に減少して、 g が小さくなるにつれて両者の差が開いている。そのため、 L/D は g が減少するにつれて急激に増大し、表 1 によれば、 $g=4\text{mm}$ では L/D が 70% 以上も上昇する。

3・5 側板によるサイド翼の地面効果 エアロトレインの開発では、左右方向の方向制御がサイド翼の地面効果によって自己安定的に行なわれることを期待している。そこで、サイド翼に働く揚力、すなわち横力に及ぼす側板の地面効果について計測を行なった。横力を揚力・抗力と同様に無次元化して、それを横力係数 C_{SF} と呼ぶことにする。横力の無次元化に用いる代表面積にはサイド翼の弦長と翼幅の積を採った。

図 10 に $h=4\text{mm}$ ($h/c=0.057$) における実験結果を示す。主翼の迎え角 α 及びサイド翼の迎え角 α_w は、これまでと同じくそれぞれ 6° 、 4° である。

図 10 ではフィレットの有無に関係なく側板との距離 g が小さくなるにつれて C_{SF} が増大しており、通常の地面効果が認められる。フィレットの効果は顕著で、フィ

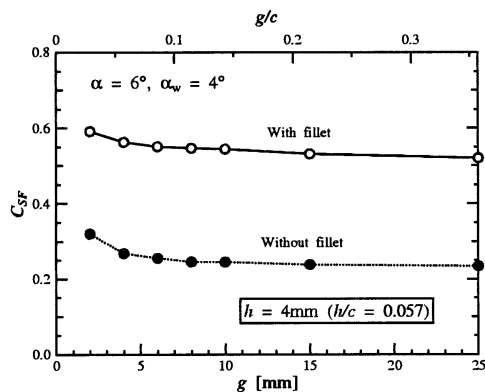


図 10 横力に及ぼすサイド翼と側板との距離の影響

レットを取り付けることによって C_{SF} が大幅に増している。その増大の割合は g の値によらずほぼ一定で、前節で述べた C_L の場合と同様に、フィレットの効果は g の影響を受けない。すなわち、サイド翼上面の流れに及ぼす側板の影響が小さいことを示している。従って、エアロトレインの左右の走行制御に関してはフィレットを取り付けても特に有利になることは期待できないと思われる。

4. 結 論

エアロトレインの翼を模擬した要素模型を用いて実験を行い、次のような結論を得た。

1. サイド翼と主翼の交叉部に取り付けられたフィレットは、両者の干渉による大規模剥離領域の形成を防ぎ、翼性能を向上させる。
2. 揚力及び横力の地面効果特性はフィレットの取り付けによってほとんど変化しない。
3. 一方、抗力に及ぼす側壁の影響はフィレットの取り付けによって変化し、側壁とサイド翼との距離が小さくなるにつれて抗力係数が減少する。

本研究の一部は、文部科学省から『革新的技術開発研究推進費補助金』(平成 12 年度 ~ 14 年度) の交付を受けて行ったものである。また、実験には、東北大学工学研究科学生本田和幸君の助力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 久保田弘敏ほか 4 名, 低速における翼端板の効果に関する風洞実験, 日本航空宇宙学会誌, 31(1983), 684-689.
- 2) 伊藤英覚ほか 13 名, 東北大学高速力学研究所附属気流計測研究施設低乱流伝達風洞設備および風洞性能について, 東北大学高速力学研究所報告, 44(1980), 93-151.
- 3) 渡部英夫ほか 2 名, 小型水平軸風車の性能向上に関する研究, 東北大学流体科学研究所報告, 11(2000), 1-11.