

# 再突入物体システムの超音速空力制動特性

辛島 桂一・佐藤 清・楯 篤志\*

## Supersonic Aerodynamic-Braking Characteristics of a Reentry Body System

By

Keiichi KARASHIMA, Kiyoshi SATO and Atsushi TATE

**Abstract:** This paper gives the results of a force test on aerodynamic braking characteristics and attitude stability of a reentry body system. The system consists of a reversed frustum of a cone as the main body, a heat protection umbrella attached to the front face of the body and a drag augmentation plate mounted on the base. The experiment is conducted in a blowdown type supersonic wind tunnel of Mach number 2, and the effects of geometrical factors associated with the additional facilities are examined in detail on the aerodynamic characteristics of the system.

It is shown that the drag plate consisting of multiple separated element-plates has better area effectiveness for drag augmentation than that of a single disk, and the increase in diameter of each element-plate is more effective than the increase in width if the total area of the element-plates is kept constant. In view of these results, it is suggested that the drag reduction due to spike effect of the heat protection umbrella can be compensated by the drag plate having relatively small area, if the plate geometry is selected adequately.

From the viewpoint of static stability, the attitude of the present system is longitudinally stable within a range of small angles of attack ( $|\alpha| < 10^\circ$ ). However, the increase in detachment of the heat protection umbrella seems to be unfavorable because of significant drag reduction due to the spike effect and also because the movement of the centre of pressure of the system becomes increasingly considerable.

---

\* 航空宇宙技術研究所

\* National Aerospace Laboratory

註) 本研究は宇宙特殊環境工学総合研究費及び特別事業基礎開発研究費によって行われたものである。

## 概 要

本報告は、逆円錐台形状の本体に補助装置として傘状熱防御板及び抵抗板を装着した再突入物体システムの空力制動特性並びに姿勢安定性に関する風洞試験の結果である。マッハ数2の超音速風洞を用いてシステムの3分力空力特性が測定され、それに対する補助装置の形状や面積等の幾何学的諸要因の効果が詳細に検討されている。

傘状熱防御板のスパイク効果によって生じた抗力減少は、比較的小さな面積の抵抗板によって補うことが可能で、抵抗板の形状は、単一の円板よりは複数の要素板で構成される切り欠き形状の方が抗力増加に対する面積効率は良く、更に、要素板の幅よりは外径を大きくする方がより有効である。

小迎角の範囲内では ( $|\alpha| \leq 10^\circ$ )、システムは縦揺れに対して安定であるけれども、熱防御板の突き出し距離を大きくすることは、風圧中心位置の移動が大きく、またスパイク効果による抗力減少の観点からも好ましくない。

## 1. 諸 言

宇宙飛行体の回収に伴う重要な空気力学的研究課題は、大気圏再突入時の空力加熱防御及び空力制動である。熱防御に関しては、短時間再突入を前提にした場合、アブレーション冷却 [1], [2], [3] が既に実用化されている。しかし、この方法では、飛行体は表面損傷を受けるので再使用が困難であるという欠点がある。一方、飛行体の表面損傷を伴わない方法として、冷却気体の吹き出しを利用した発汗冷却 [4], [5] や、フィルムクーリング [6], [7], [8] が境界層方程式に基づいて検討されて来たが、これらの方法はアブレーションに比較して冷却効果が劣り、かつ吹き出し機構が必要になるために、短時間再突入の際に受ける過酷な空力加熱の防御方式としては実用性に乏しい。

近年、大型計算機を用いた数値計算方法の開発と発展のために、剥離を伴う流れに対する N-S 方程式の数値解 [9], [10], [11] を求めることが比較的容易になったが、その結果によれば、大規模な剥離領域内の壁面熱伝達率は、付着流のそれに比較してかなり大幅に減少することが指摘されている [11]。このような熱伝達特性を大気圏再突入時の熱防御に利用する最も簡単な方法としては、加熱が最も厳しい飛行体の前面よどみ点から傘状熱防御板を突き出し、それによって生じる剥離流で飛行体の前面を実質的におおうことが考えられる。

もちろん、傘状熱防御板は可能な限り小さくする必要があり、その前面は過酷な空力加熱にさらされるので表面損傷を受けるであろう。しかし、それによって本体の損傷がまぬがれ、かつ加熱に対する安全性が保証されるならば、熱防御板の更新は簡単にできるので本体の再使用に重大な障害とはならないと考えられる。傘状熱防御の実用性を検討する際には、その熱防御特性が判断の重要な要因であることは当然であるが、本体に対して突起物的補助装置として装着されるために、再突入物体システムとしての空力制動特性及び姿勢安定性もまた重要な要因となる。

超音速で飛行する鈍頭物体の前方に本体に比較して小さな突起物を突き出せば、一般的には抗力減少が生じる。この現象はいわゆるスパイク効果 [12] として知られており、超音速鈍頭飛行体の抗力低下に利用されている。再突入本体の前方に傘状熱防御板を突き出せば、当然スパイク効果によって抗力の減少が予想され、これは空力制動の観点からは好ましくない。

従って何らかの方法で抗力減少を補う必要が生じ、本体の底面部に抵抗板の装着が考えられる。

本研究は、逆円錐台形状の再突入本体の前面に空力加熱防御を目的とした傘状熱防御板を、更に、それによる抗力減少を補う目的で底面部に抵抗板を装着した物体システムに働く空気力及びモーメントを風洞試験で測定し、システムの空力制動特性並びに姿勢安定性を明らかにすることを目的としている。実験はマッハ数2の超音速風洞を用いて行われ、模型の3分力空力特性に対する熱防御板及び抵抗板の形状、面積、突き出し距離等の幾何学的要因の効果が詳細に調べられ検討されている。

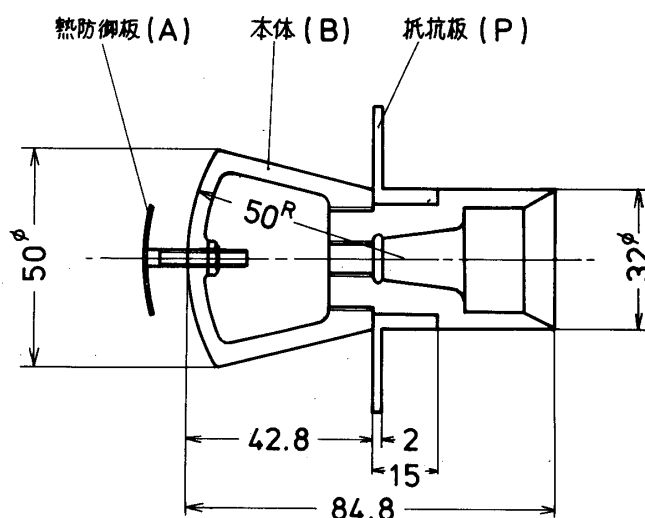
## 2. 風洞及び模型

実験は、測定室が40cm×40cmの正方形断面を持つ吹き下し型超音速風洞を用いて行われ、その運転条件は以下のとおりである。マッハ数2，よどみ点圧力2.1 kg/cm<sup>2</sup>，よどみ点温度290°K，単位長さ当りレイノルズ数 $2.5 \times 10^5$ /cm。

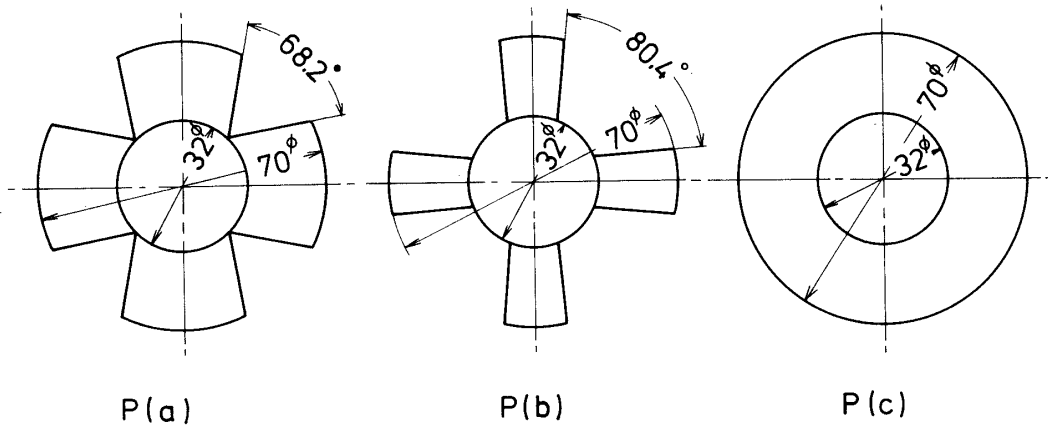
模型は、図1に示す如く、本体(B)，熱防御板(A)，抵抗板(P)，及び円筒状アタッチメントで構成されている。本体は半頂角14°の円錐の一部分で作られた逆円錐台形状の回転対称体で、その前面直径は50mm，後部の底面直径は32mm，前面曲率半径は50mmである。なお以後は、本体，熱防御板及び抵抗板をそれぞれ記号B，A及びPで表示することにする。

熱防御板は前面曲率半径50mm，厚さ1mmの円形の傘と直径4mmの支持棒より成り、本体前面の中心にねじ込み方式で装着されており、その突き出し距離は最大16mmまで連続的に変えることができる。熱防御板の最大直径は50mmで、本体の前面直径に等しく、これを切削することにより抗力に対する熱防御板の面積効果を調べた。

抵抗板の形状は、図2に示す如く、円板を基準にして3種類を用いた。但し、各抵抗板の



第1図 模型



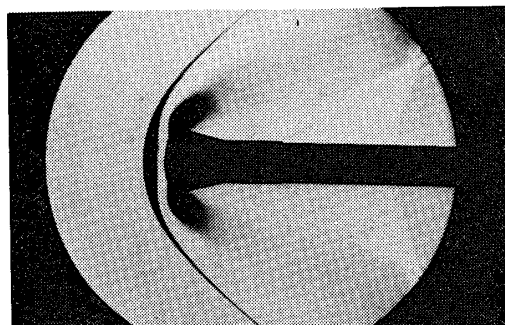
第2図 抵抗板の形状

中央に存在する直径 32 mm の円形部分は本体の底面に相当しており、この部分の面積は抵抗板面積とはみなさない。抵抗板 P(a) は、本体の後部側面を 4 等分割して展開した形状に相当し、抵抗板 P(b) は、それを構成する各要素板の間隔が大きい形状になっている。抵抗板の最大外径は 70 mm で、この場合の面積比は  $P(a) : P(b) : P(c) = 1.0 : 0.5 : 1.42$  である。抵抗板は模型の迎角変化に対して左右対称になるように取付けられており、その外径を切削することにより抵抗板の面積効果を調べた。

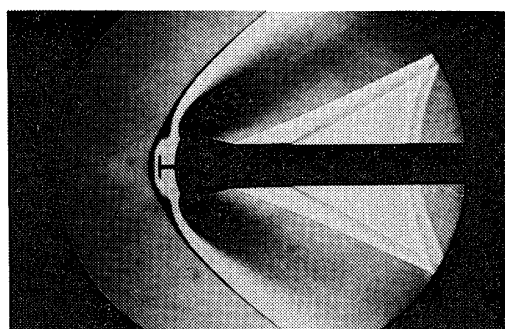
模型に働く力及びモーメントは  $|\alpha| \leq 10^\circ$  の範囲でモーメント型スティング天秤で測定し、揚力係数  $C_L$ 、抗力係数  $C_D$  及び縦揺れモーメント係数  $C_m$  を求めた。但し  $\alpha$  は迎角である。これらの空力特性係数に使用されている基準面積及び基準長は、それぞれ本体の前面投影面積 ( $S_B = 1964 \text{ mm}^2$ ) 及び全長 ( $L_B = 42.8 \text{ mm}$ ) である。 $C_m$  は本体の先端回りを意味し、頭上げを正符号にとってある。抗力係数には本体の底面抗力の修正が行われていないことに注意を要する。なお、以後の議論で用いられている記号  $D$ ,  $S$ ,  $\Delta$  はそれぞれ直径、面積及び熱防御板の突き出し距離を意味し、添字 B, A, P はそれぞれ本体、熱防御板及び抵抗板を示す。

### 3. 結果と討論

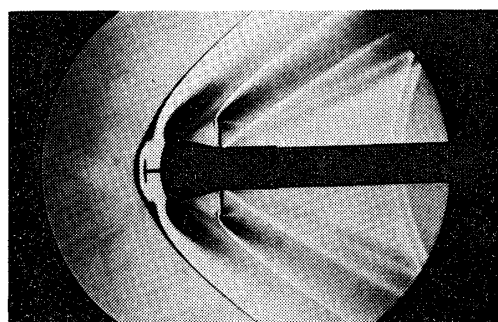
図 3 は、 $\alpha = 0^\circ$  における流れ場の模様を示すシュリーレン写真の代表例である。図 3(a) は模型 (B) の場合で、強い bow wave と肩における膨張及び流れの弱い剥離一再付着が特徴的である。図 3(b) は模型 (A+B) の場合で、 $D_A = 17.4 \text{ mm}$ ,  $\Delta = 12 \text{ mm}$  である。対称軸の近傍で bow wave の曲率と離脱距離が明らかに増加している。このことは、模型に働く抗力が図 3(a) の場合に比較して減少していることを意味し、熱防御板が一種のスパイクの役割を果していることを定性的に示している。図 3(c) は更に抵抗板 P(b) を装着した場合で  $D_P = 70 \text{ mm}$  である。Bow wave の形状は図 3(b) に比較して特に著しい変化はない。し



(a) 模型 (B)



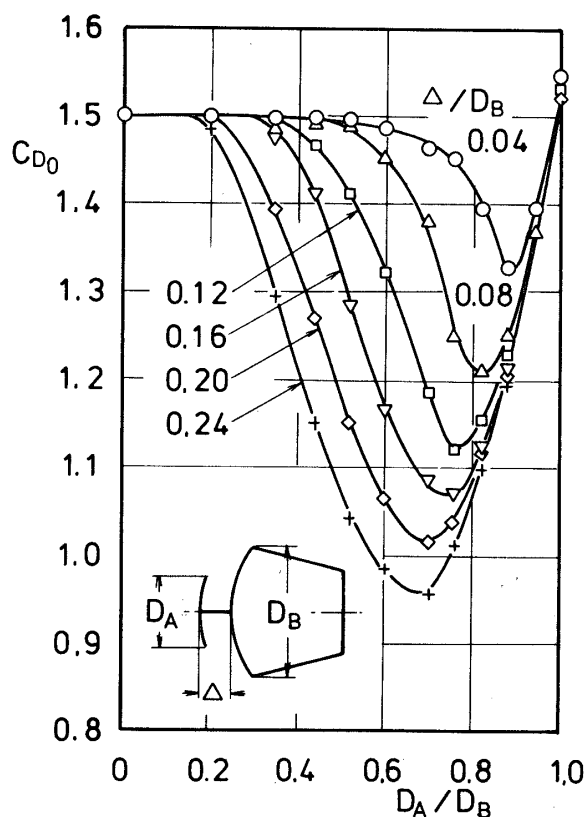
(b) 模型 (A+B)



(c) 模型 (A+B+P(a))

第3図 シュリーレン写真

;  $M_\infty = 2$ ,  $D_A = 16$  mm,  $A = 12$  mm,  $D_P = 70$  mm.

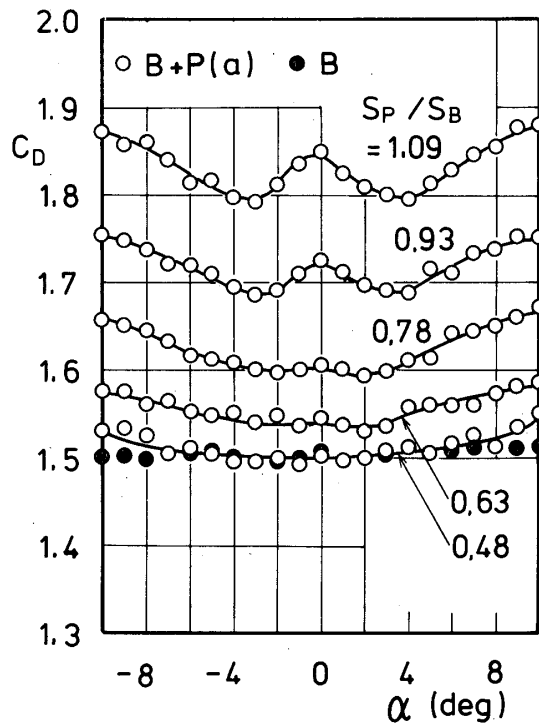


第4図 熱防御板のスパイク効果  $\alpha = 0^\circ$

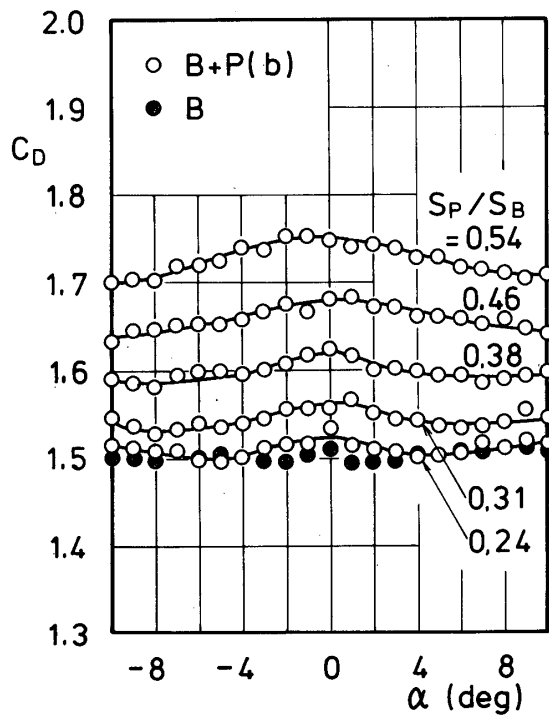
かし、抵抗板による衝撃波は板端のわずかに内側から出発しており、このことは本体の肩における流れの剥離がかなり大規模な亜音速死水領域を抵抗板の上流側に形成していることを意味する。一方、抵抗板の板端には強い膨張波が存在するので、その下流面の圧力は十分低いことが予想され、結果としてかなり大きな抗力が抵抗板に働くことが期待される。

図4は、 $\alpha = 0^\circ$ における模型(A+B)の抗力係数である。シュリーレン写真の結果から既に予想された如く、熱防御板の装着は抗力減少を起しスパイク効果が顕著である。熱防御板の直径を一定に保った場合、抗力減少は突き出し距離の増加に対して単調であるのに反し、突き出し距離を一定に保った場合には、抗力減少に関して最適直径又は最適面積が存在するという結果は注目に値する。

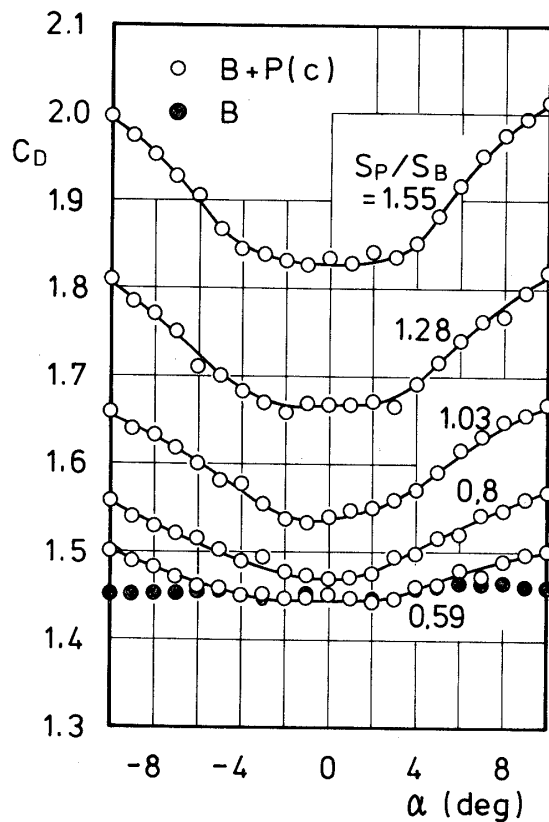
シュリーレン写真の観察から流れ場の定性的な模様は以下の如く要約できる。熱防御板端で音速に達した流れは膨張波により超音速に加速されて剥離し、下流の本体前面に再付着する。流れの再付着に伴って発生した再圧縮衝撃波は bow wave と干渉して、対称軸近傍の bow wave の曲率と離脱距離を増加させるけれども、この変化は局所的に止まり、本体の肩より下流では特に顕著な流れ場の変化は認められない。このような流れ場の定性的傾向は、熱防御板の装着によって生じた抗力減少が、主として本体の肩より上流側の表面圧力分布で



第5(a)図 模型(B+P(a))の抗力曲線



第5(b)図 模型(B+P(b))の抗力曲線



第5(c)図 模型 (B+P(c)) の抗力曲線

決定される前面抗力の減少に起因していることを示唆している。更に、熱防御板と本体との間に存在する剥離死水領域の圧力は、その一般的な性質からほぼ一定であると推定されるので、死水領域に面する壁面に働く抗力は相互に打ち消し合うため小さくなり、従って、模型の前面抗力は熱防御板の前面及び本体の前面露出部分の圧力分布が作る抗力の和で近似的に与えることができると考えられる。以上の定性的推論から、熱防御板による抗力減少の機構は、再付着点位置が重要な役割を果しているという仮定の下に、以下の如く説明出来る。

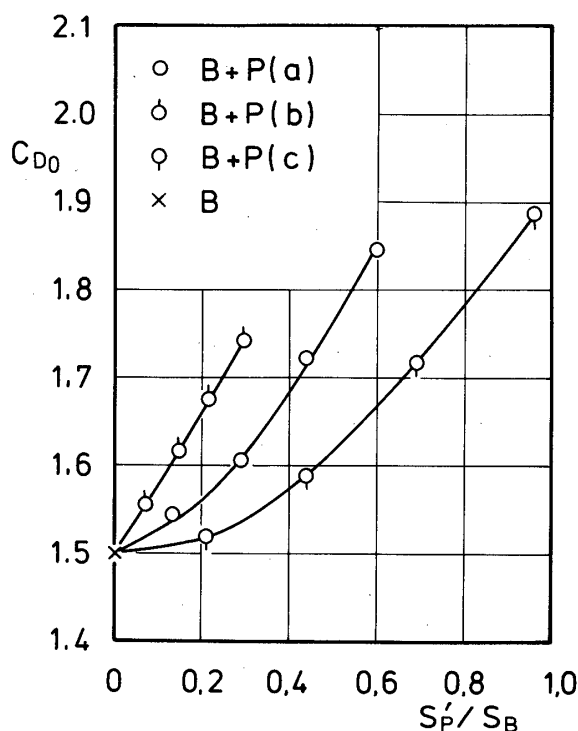
まず、面積効果について考えれば、熱防御板の直径が十分小さい場合、それが流れ場を与える影響も小さく、従って、抗力変化も小さい。熱防御板の直径が増加すると、その前面圧力分布の相似性は近似的に保存されると考えられるので、熱防御板の前面抗力は面積増加にほぼ比例して増加することになる。一方、本体に関しては、熱防御板の直径の増加と共に、その前面露出面積が減少するのみならず、再付着点位置が肩に向かって移動するために再圧縮衝撃波が弱くなり、これらの相乗効果のために本体の前面露出部分に働く抗力の減少が一層促進されることになる。このようにして、熱防御板の直径が比較的小さい範囲では、その面積効果は熱防御板の抗力増加よりはむしろ本体の抗力減少の方により効果的に作用し、結果として模型の全抗力を減少させる。



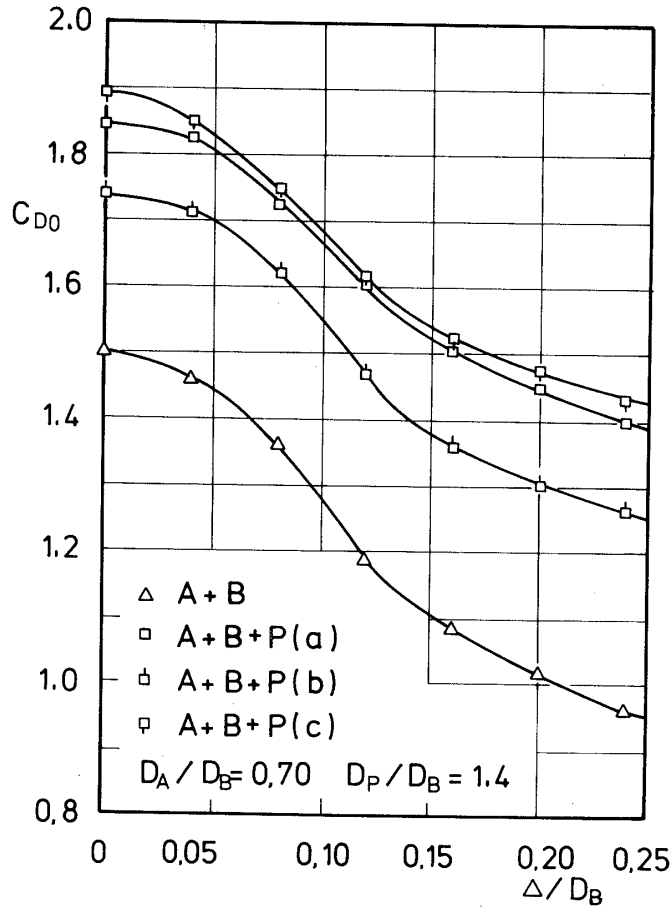
熱防御板の直径が更に増加して再付着点が肩に接近するようになれば、本体前面はほぼ剥離死水領域でおおわれることになるために、熱防御板面積の増加による本体の抗力変化は急速に小さくなり、模型の全抗力は増加に転じる。熱防御板が本体全面をおおう程度に大きくなれば、流れ場は熱防御板の突き出し距離だけ本体を平行に伸長した場合と実質的に等価になり、従って、模型の抗力は本体のみの場合の値に回復する。

熱防御板の突き出し距離の効果についても同様に説明できる。すなわち、熱防御板の直径を一定に保ってその突き出し距離を増加させた場合、再付着点は肩の方へ移動するので模型の全抗力は減少する。更に、突き出し距離が大きくなれば、熱防御板の直径が小さくても再付着点が肩に到達することになるので、模型の最小抗力を与える熱防御板直径は突き出し距離が大きいく程小さくなる。以上の定性的推論は図4に示す実験結果と矛盾しない。

熱防御板のスパイク効果による抗力減少は、大気圏再突入時の空気力学的減速の観点からは好ましくないので、抗力減少を補う必要が生じる。この目的のために模型(B+P)に関し、抗力増加に対する抵抗板の面積の効果を調べ、結果を図5に示す。但し、図5(a)~図5(c)は、それぞれ抵抗板P(a)~P(c)の場合に対応している。図中、黒丸は模型(B)の抗力係数であり、それは $|\alpha| \leq 10^\circ$ の範囲では迎角に依存せずほぼ一定である。抵抗板面積 $S_p$ と本体前面投影面積 $S_B$ との比( $S_p/S_B$ )が最も小さい値は、抵抗板の外径が本体の前面直



第6図 模型(B+P)の抗力に対する抵抗板の有効面積効果  $\alpha = 0^\circ$



第7図 システムの抗力に対する熱防御板の離脱距離効果  $\alpha = 0^\circ$

径に等しい場合に対応しており、迎角が比較的小さい範囲では、抵抗板の形状によらずその外径が本体前面直径より小さい場合には、抵抗板による抗力増加はほとんどないことに注目すべきである。シュリーレン写真の観察によれば、このような場合には本体の肩において流れは大きく剥離し、抵抗板はその剥離流の中に埋没している。従って、抗力増加に關与する抵抗板の有効面積  $S_p'$  は本体全面によってしゃへいされる部分を除いた露出面積によって与えられると考えることが出来る。

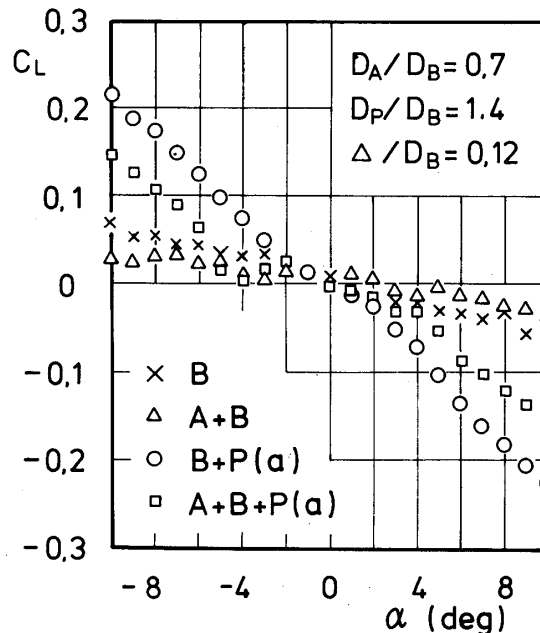
抵抗板の形状効果は  $C_D - \alpha$  曲線に關して顯著である。抵抗板 P(c) に關しては、その面積の大きさによらず、 $C_D - \alpha$  曲線の振舞は単調であるが、抵抗板 P(a) 及び P(b) では  $\alpha = 0^\circ$  において抗力係数は極大値を持ち、特に抵抗板 P(a) は、その有効面積が大きくなると、比較的小さい迎角に対して抗力係数は明らかに極小値を持つ。一方、抵抗板 P(b) は迎角の変化に伴う抗力変化が小さく、かつ、極小値の存在も明確ではない。しかしながら、切り欠きのある抵抗板の  $C_D - \alpha$  曲線の一般的な振舞は抵抗板 P(a) のそれと定性的には同じであ

ると推定され、抵抗板P(b)の場合には極小値を与える迎角が本実験の範囲を超えているものと考えられる。いずれにしても、 $C_D-\alpha$  曲線の複雑な振舞は抵抗板を構成している4枚の要素板の相互干渉効果によるものであり、抵抗板P(b)に関する結果は、要素板間の間げきが大きくなれば干渉効果が小さくなることを示唆している。

図6は、 $\alpha=0^\circ$ における抗力係数と抵抗板の有効面積 $S_p'$ との間の関係である。既に述べた如く、有効面積は抵抗板の前面投影露出面積で定義されている。抗力増加に関する有効面積効率(単位有効面積に対する抗力増加量)は、抵抗板P(b)が最も良いという結果は注目し値する。この結果は、要素板の相互干渉効果が抗力増加を抑制する方向に働いていることを意味しており、従って、抵抗板の有効面積を一定に保った場合、要素板の幅を大きくするよりは外径を大きくした方が抗力増加に対して有効であることを示している。

図7は、熱防御板の突き出し距離に対する模型(A+B+P)の抗力変化の代表例であり、比較のために対応する模型(A+B)、模型(A+B+P)の場合の抗力変化も示してある。図で明らかな如く、抵抗板の抗力増加に対する寄与は、その形状や有効面積に主として依存しており、熱防御板との干渉効果の寄与はほとんど認められない。この結果は図6に示された結果と共に、熱防御板の存在が本体の肩より下流の流れ場に重大な影響を及ぼさないという定性的な推論を定量的に支持するもので、模型(A+B+P)の抗力変化は模型(A+B)及び、模型(B+P)に関するそれぞれの抗力変化の和で近似的に評価することが出来ることを意味している。

以上の抗力に関する実験結果は、以下の如く要約される。すなわち、空力加熱防御の目的



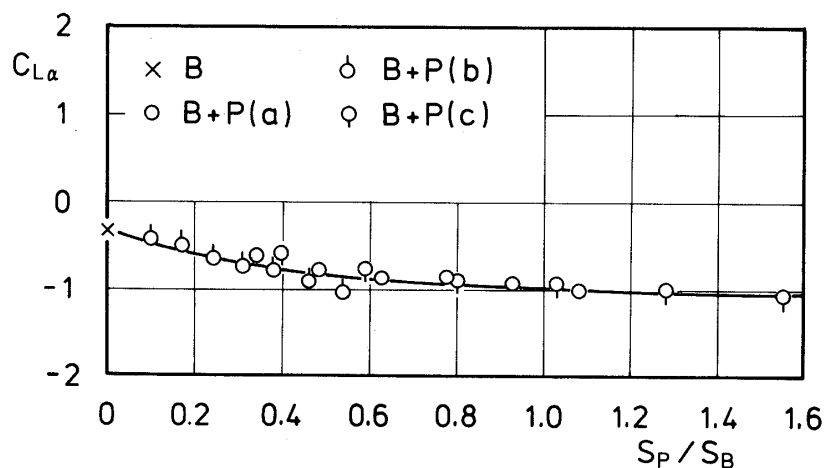
第8図 システムの揚力曲線

で装着された熱防御板はスパイク効果のために抗力を減少させるが、その抗力減少は適当な有効面積を持つ抵抗板の装着によって十分補償し得る。その際、抵抗板の形状としては、面積効率が最も良く、かつ、迎角の多少の変化に対して抗力変化が少ないという意味で抵抗板 P (b) が好ましい。

熱防御板や抵抗板を装着した場合の模型の揚力及び縦揺れモーメント特性も興味ある点である。図8は、本体に対して熱防御板と抵抗板 P (a) を種々に組合わせたシステムに関する  $C_L - \alpha$  曲線の代表例である。通常の翼型や軸対称物体に関する  $C_L - \alpha$  曲線とは逆に、いずれの場合にも正迎角に対して負揚力が発生していることに注意を要する。

模型 (B) について考えれば、このような物体形状は大きな抗力を発生させるけれども、揚力の発生には適していない。事実、模型 (B) に働く力を軸方向成分(軸力係数  $C_x$ ) とそれに垂直な成分(垂直力係数  $C_N$ ) に分解した場合、 $C_N$  は  $\alpha$  に比例して増加するけれども  $C_x$  に比較して十分小さい。結果として、 $C_L = C_N \cos \alpha - C_x \sin \alpha$  で与えられる揚力係数は、その右辺第2項が卓越するために、正迎角に対して負符号を取る。このように、模型に働く力の軸方向成分が揚力の決定に主要な役割を果しているという観点に立てば、各種模型に対する  $C_L - \alpha$  曲線の相対的な振舞は定性的に理解出来る。

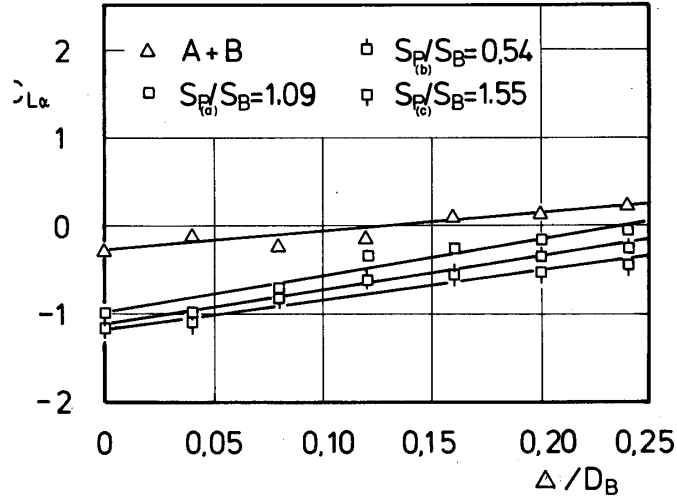
前述の抗力に関する議論において、熱防御板の存在が本体の肩から下流の流れ場に与える影響は小さいと指摘された。この観点からいえば、模型 (B) と模型 (A+B) との間の揚力差は、同一迎角に対して、模型 (B+P) と模型 (A+B+P) との間の揚力差にほぼ等しくなるはずであるにもかかわらず、実際は図8のデータが示す如く、明らかに両者の間に相違が存在しており、揚力に関しては熱防御板と抵抗板との間に干渉があることを示している。しかしながら、この結果は揚力自身が小さいために干渉効果が相対的に顕著であることを意味するのみで、上述の抗力に関する指摘を否定するものではない。なぜならば、熱防御板と抵抗板との間の干渉効果は抗力に関しても認められるけれども(図7参照)、その大き



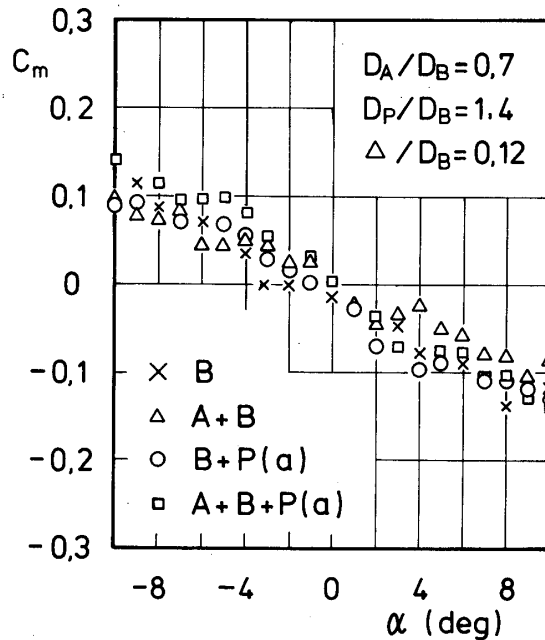
第9図 模型 (B+P) の零迎角揚力係数傾斜に対する抵抗板の面積効果

さは模型の全抗力に比較して十分小さく、近似的に無視出来るからである。

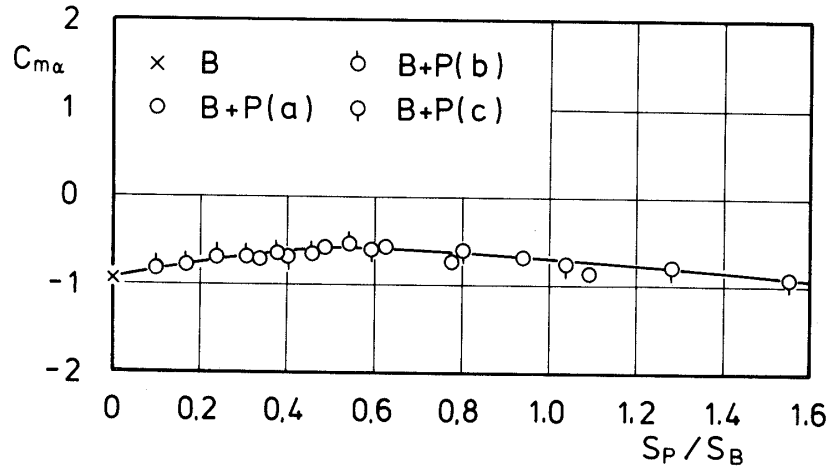
図9は、模型(B+P)の $\alpha=0^\circ$ における揚力係数傾斜 $C_{L\alpha}$ であり、抵抗板の面積効果を示している。データに多少のばらつきが存在するが、 $C_{L\alpha}$ は抵抗板の形状によらずその面積に対して一本の平均曲線で精度良く表示でき、 $S_{P(0)}/S_B > 0.6$ の範囲ではほぼ一定になる。図10は模型(A+B+P)の揚力係数傾斜で、熱防御板の突き出し距離の効果を示している。



第10図 システムの零迎角揚力係数傾斜に対する熱防御板の離脱距離効果



第11図 システムの縦揺れモーメント曲線



第12図 模型(B+P)の零迎角縦揺れモーメント係数傾斜に対する抵抗板の面積効果

いずれの模型の場合にも、 $C_{L\alpha}$ は $\Delta/D_B$ に対してほぼ直線的に増加しており、その増加率は抵抗板の形状に依存しているけれども、その依存性は小さい。

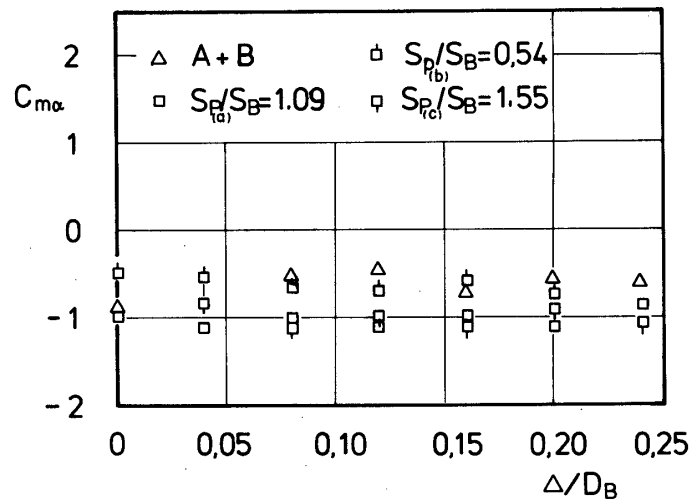
熱防御板や抵抗板のごとき突起物を装着した再突入物体システムの姿勢安定に関する特性は、そのシステムの実用可能性を検討する際に極めて重要な要因となる。図11は、本体に対して熱防御板及び抵抗板P(a)を種々組合わせたシステムの $C_m-\alpha$ 曲線の代表例である。データが分散しているけれども、縦揺れモーメント係数は迎角に対してほぼ直線的に変化しており、模型の相違による変化も揚力係数の場合に比較してかなり小さいことは明らかで、この点は注目に値する。図12は $\alpha=0^\circ$ における模型(B+P)の縦揺れモーメント係数傾斜 $C_{m\alpha}$ であり、抵抗板の面積効果を示している。揚力係数傾斜の場合と同様に、 $C_{m\alpha}$ は抵抗板の形状によらずその面積に対して一本の曲線で与えられ、かつ、面積に対する依存性も小さいという結果に注目すべきである。

再突入物体システムの縦の姿勢安定を議論する場合には風圧中心の位置 $x_{c\cdot P}$ が重要であり、それは次式で与えられる。

$$x_{c\cdot P}/L_B = -(C_{m\alpha}/C_{L\alpha})_{\alpha=0}$$

図9及び図11に示す結果を用いて $x_{c\cdot P}$ の符号を検討すると、抵抗板の面積や形状によらず $C_{m\alpha} < 0$ 、 $C_{L\alpha} < 0$ であるから $x_{c\cdot P} < 0$ となり、風圧中心の位置は常に本体先端より上流に存在することになる。一方、物体の重心は特別な場合を除いて通常物体内部に存在すると考えられ、従って、模型(B+P)に対しては、常に重心回りに迎角を0にする方向のモーメントが発生し、姿勢の安定性が保証されている。

図13は、 $\alpha=0^\circ$ における模型(A+B+P)の縦揺れモーメント係数傾斜で、熱防御板の突き出し距離の効果を示している。抵抗板の形状による多少の相違を除いて、縦揺れモー



第13図 システムの零迎角縦揺れモーメント係数傾斜に対する熱防御板の離脱距離効果

ント係数傾斜は常に負符号を持ち、かつ、その絶対値の突き出し距離に対する依存性は低い。この模型の揚力係数傾斜の結果（図10参照）からわかる如く、比較的小さな $\Delta/D_B$ に対しては姿勢の安定性は保証されている。しかし、 $\Delta/D_B$ を大きくすると $|C_{L\alpha}|$ は小さくなるので、熱防御板の突き出し距離を大きくすることは、姿勢安定の観点から好ましくない。すでに明らかにされた如く、抗力減少の観点からも同様のことが言える。

#### 4. 結 論

逆円錐台形状の再突入本体に、補助装置として傘状熱防御板を装着した再突入物体システムの超音速空力特性が3分力天秤を用いて測定され、システムの空力減速特性及び姿勢安定性に対する各補助装置の効果が調べられた。

本体のみの場合に比較して、熱防御板を装着した場合には、その直径と突き出し距離に依存してシステムの全抗力はかなり減少するけれども、 $D_A/D_B < 0.4$ で、かつ、突き出し距離を本体前面曲率半径の10%程度に止めるならば抗力減少はほとんどない。

抵抗板の外径が本体の前面直径より小さい場合には、抗力増加に対する抵抗板の効果はほとんど認められない。従って、抗力増加に寄与する抵抗板の有効面積は、その投影露出面積であると考えることが出来る。また、単位有効面積当りの抗力増加量で定義される面積効率、抵抗板が単一の円板であるよりは複数の要素板に分割された切り欠き形状の方が高く、更に、要素板の幅よりは外径を大きくした方が面積効率が高い。

熱防御板の装着によって生じた抗力減少は、適当な形状を選択すれば比較的小さな有効面積を持つ抵抗板で補うことが出来、その際、熱防御板と抵抗板との間の相互干渉効果は十分小さいので、それぞれの効果の和としてシステムの全抗力を近似的に評価することができる。揚力に関しては、本体のみならずシステムについても正迎角に対して負揚力が発生するこ

とが特徴的である。ゼロ迎角における揚力係数傾斜は、熱防御板の突き出し距離に対する依存性が最も顕著であり、補助装置の他の幾何学的要因に対する依存性は比較的小さい。突き出し距離が増加すれば、揚力係数傾斜の絶対値はほぼ直線的に減少する。

一方、ゼロ迎角におけるシステムの縦揺れモーメント係数傾斜は補助装置の幾何学的要因によらず常に負符号を保ち、かつ、その絶対値もほぼ一定である。この結果は、システムの重心回りの縦安定性を保証している。しかし、熱防御板の突き出し距離を大きくすることは、揚力の絶対値が急速に減少するため風圧中心位置が大きく移動する難点を生じさせ、更に、抗力減少の観点からも好ましくない。

1980年5月6日 航空力学部

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Adams, M.C.: ARS Jour., Vol. 29, Sept., 1959.
- [ 2 ] Bartlett, E.P., Nicolet, W.E. and Howe, J.T.: AIAA Paper 70-202, 1970.
- [ 3 ] Arai, N. and Karashima, K.: AIAA Jour, Vol. 17, NO. 2, 1979.
- [ 4 ] Bethel, H.E.: AIAA Jour., Vol. 6, No. 2, 1968.
- [ 5 ] Pallone, A.: JAS Vol. 28, No. 6, 1961.
- [ 6 ] Goldstein, R.J.: Advances in Heat Transfer, Vol. 7, Academic Press, 1971.
- [ 7 ] Crawford, M.E., Kays, W.M. and Moffat, R.J.: NASA CR-2786, 1976.
- [ 8 ] Kubota, H. and Karashima, K.: JSASS Transactions, Vol. 14, No. 26, 1971.
- [ 9 ] Allen, J.S. and Cheng, S.I.: Phys. Fluids, Vol. 13, No. 1, 1970.
- [10] Carter, E.J.: NASA TR R-385, 1972.
- [11] 加藤純一：孤立したスロットからの垂直吹き出しを伴う平板上の超音速粘性流に関する数値的研究, (学位論文) 1979.
- [12] Perkins, C.D. and Hage, R.E.: Airplane Performance, Stability and Control, John Wiley and Sons, New York, 1950.