

モデルロケットの回収装置の空気抵抗特性に関する研究

[研究代表者] 今野 彰 (工学部機械学科)

研究成果の概要

本研究では、モデルロケットの安全な回収のための減速装置として、スリット付きパラシュートについて、風洞実験により抗力を計測し、各種のパラメータ（風速、基準正方形長さ、スリット比）が、抗力係数に及ぼす影響を調べ、以下のことが明らかとなった。矩形形状を基本としたスリット付パラシュートの抗力係数データが、風速 $4\text{ m/s} \sim 11\text{ m/s}$ の範囲で得られた。スリット付パラシュートでは、基準正方形寸法が同じであれば、スリット部の側面面積が増えなくても修正抗力係数はほぼ同じ値を示す。即ち、スリット付パラシュートでは、天頂の正方形面積が抗力の主要因で、スリット寸法を増加させ側面面積を増やしても抗力は増加しないので、回収装置の設計上注意を要する。

研究分野： ロケット工学, 宇宙推進工学

キーワード： モデルロケット, スリット付きパラシュート, 抗力係数

1. 研究開始当初の背景

モデルロケットの安全な回収のための減速装置として、パラシュートまたはストリーマが用いられている。パラシュートは横風に流されやすく、回収することが困難な場合が生じる。ストリーマは横風に流されにくいですが、抗力係数が小さく安全な降下速度を確保するのが難しいという特徴がある。2017年度には、ストリーマの抗力係数に関する研究を行った¹⁾。今年度は、通常のパラシュートより横風に流されにくいと考えられるスリット付パラシュートについて研究を行うこととした。

風洞を用いて、ストリーマやスリット付パラシュートの抵抗係数についてデータを取得することは、安全なモデルロケットを設計する上で不可欠である。この実験で確立した微小抗力を計測する技術を発展させることも意義があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、風洞実験によりスリット付パラシュートの抗力を計測し、パラメータ（風速、基準正方形長さ、スリット比）が、抵抗係数に及ぼす影響を調べる。研究の目的としては、確立した微小抗力の計測技術をさらに発展させるため、ロードセルを改良すること、スリット

付きパラシュートの抗力係数のデータを取得することである。

3. 研究の方法

3.1 ロードセルの改良試作

最大荷重 1.5 N を計測する改良型のリン青銅製 Ω 型ロードセルを試作し、校正係数の直線性、再現性、ばらつき誤差の確認を行った。ロードセルの形状を図1に示す。各部の寸法は、板厚 0.4 mm 、板幅 10 mm 、高さ $H\ 35\text{ mm}$ 、円弧部半径 $R\ 22.5\text{ mm}$ 、取付部全長 $A\ 100\text{ mm}$ である。

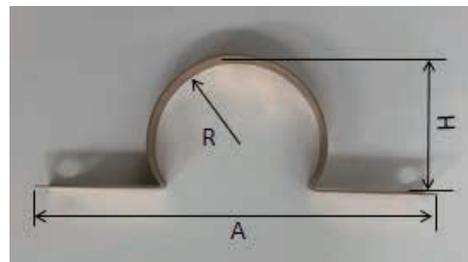


図1 Ω 型ロードセルの形状

3.2 供試体の形状・寸法

スリット付パラシュート供試体の写真と形状を図2に示す。パラシュートの素材はポリエチレンフィルムで、ライン取付け部には、補強するための紙製シール(白丸)を貼付している。パラシュートの展開形状は十字形で、

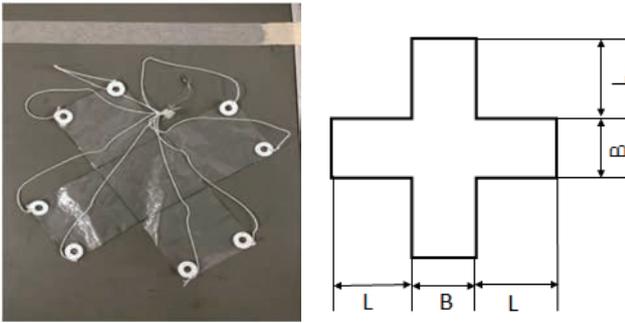


図2 供試体の写真と形状

試験に供したパラシュートの基準正方形長さ (B)、スリット長さ (L) を表1に示す。表中、同じマークの物は相似形を示す。パラシュートの形態は、4桁の数字 (最初の2桁は基準正方形長さ、後の2桁はスリット長さを示す) で示すこととする。ライン長さはほぼ (L+B) とした。

表1 供試体寸法

| | | 基準正方形長さ B [mm] | | |
|---------------|----|----------------|----|----|
| | | 40 | 50 | 60 |
| スリット長さ L [mm] | 40 | ● | なし | なし |
| | 50 | ▲ | ● | なし |
| | 60 | ■ | なし | ● |
| | 62 | なし | ▲ | なし |
| | 75 | なし | ■ | ▲ |

3-3 風洞実験

総合研究所に設置してある小型低速風洞 (A1D5A-112, 昭和電機製) を用いて、スリット付パラシュートの抗力を計測し、抵抗係数を求めた。風洞の風速は、ベーン式風速計 (Testo 416, テストー社製) を用いて計測した。テストセクションの風速分布については、参考文献を参照のこと。

パラシュートの抗力係数 C_d は、一般的に

$$C_d = 2D / (\rho S v^2)$$

で与えられる。ここで D は抗力、 ρ は空気密度、 S はパラシュートの展開面積、 v は風速である。スリット付パラシュートの場合、スリットが側面排気口の働きをするので、スリット長さ拡大し側面の面積を増やしても、抗力増加に寄与しないと考えられた。従って、データ整理に当たって、スリット長さによらず天頂の正方形を基準とした面積 ($5 \times B \times B$) を展開面積 S として用いた「修正抗力係数」を導入して評価した。

4. 研究成果

4-1 ロードセルの校正結果

精密天秤 (AUX120, 島津製作所製) で質量を測定したおもりを用いて、ロードセルの校正を8回行った。縦軸に歪ゲージの出力電圧、横軸に負荷荷重をとった校正結果を図3に示す。線形近似に対する相関係数は0.995以上、比例係数 (K-factor) の平均は $7.04[\text{mV/N}]$ 、 3σ 誤差は7.70%となった。

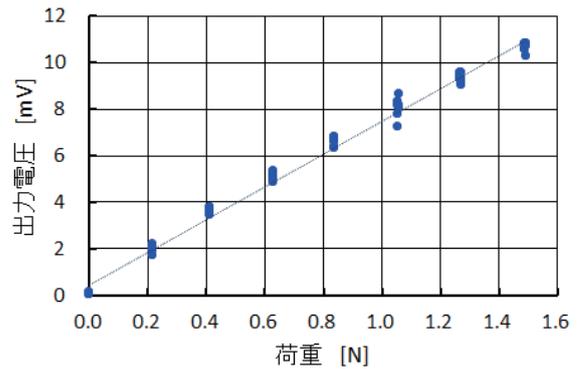


図3 荷重-出力電圧校正カーブ

4-2 スリット付パラシュートの抗力係数

矩形形状を基本としたスリット付パラシュートの抗力係数データが得られた。基準正方形長さが同じスリット付パラシュートの修正抗力係数を比較したものを図4-1, 図4-2, 図4-3, に示す。

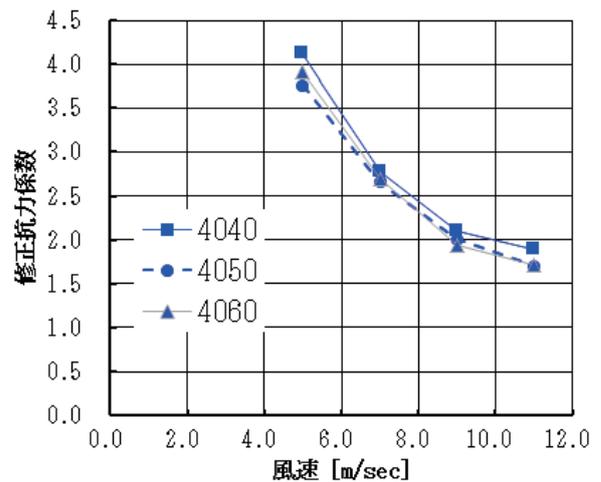


図4-1 修正抗力係数 (B=40mm のケース)

これらの結果によると、修正抗力係数は、基準正方形寸法が大きくなるにつれ小さくなり、風速が大きくなるにつれ小さくなっている。また、基準正方形寸法が同じ場合には、スリット部の側面面積が増えても修正抗力係

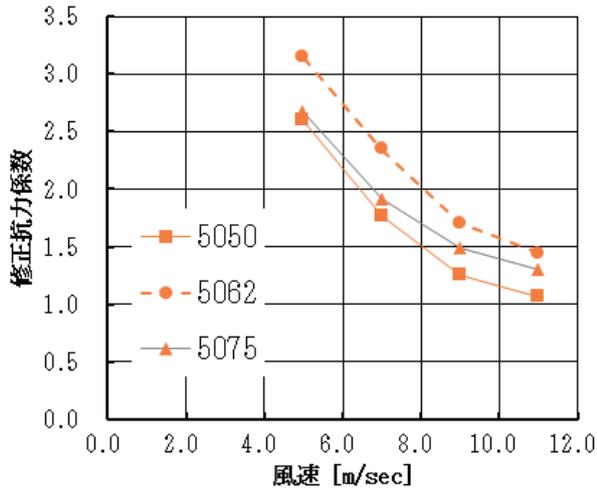


図4-2 修正抗力係数 (B=50mm のケース)

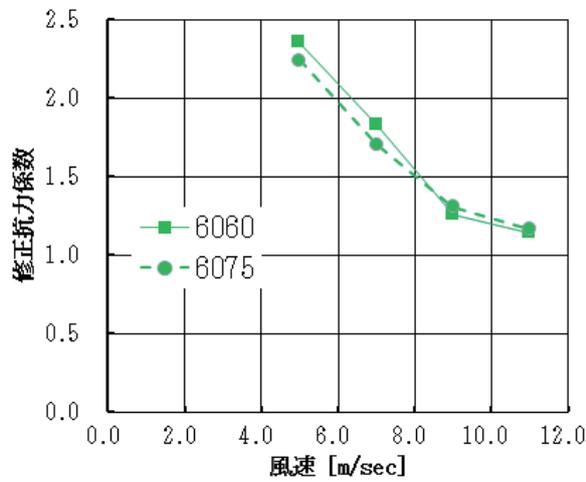


図4-3 修正抗力係数 (B=60mm のケース)

数はほぼ同じ値を示すことが明らかとなった。B = 5.0 mm のケースでは、抗力係数のばらつきが大きくなっているが、ばらつきの範囲でほぼ同じ値と評価できる。修正抗力係数の定義により、B寸法が同じ場合には、

同じ面積($S = 5 \times B \times B$)で割る操作をしているので、係数が同じということは抗力が同じだということを意味している。実験した形状のスリット付パラシュートでは、天頂の正方形面積が抗力の主要因で、スリット寸法を増加させ側面面積を増やしても抗力は増加しないので、回収装置の設計上、注意を要する。

展開寸法が相似形 (スリット比 $L/B = 1.25$) の修正抗力係数を図5に示す。相似形でも係数が異なる値を示すので、必要なサイズのデータを取得する必要がある。

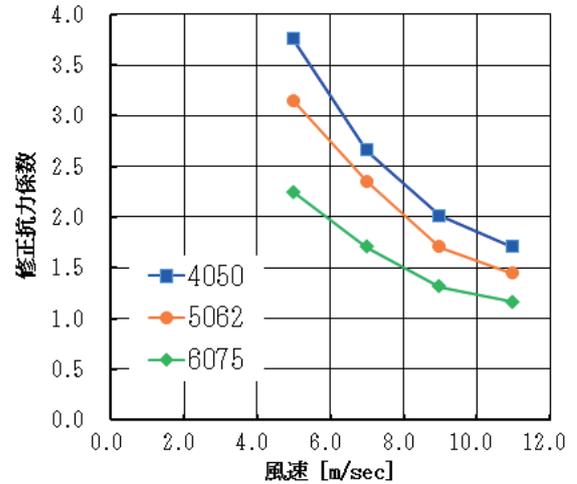


図5 修正抗力係数 (L/B=1.25 のケース)

5. 参考文献他

1) 今野彰：ストリーマの空気抵抗に関する研究，愛知工業大学総合技術研究所研究報告，第20巻，103-105，2018.

なお，本実験に従事した木村誠君，岸本恵助君，嵯峨原亮太君の働きに深く感謝いたします。