

# ストリーマ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使われるストリーマについて、風洞実験により抗力を計測し、各種のパラメータ（風速、ストリーマのアスペクト比、ストリーマの材質）が、抵抗係数に及ぼす影響を調べ、以下のことが明らかとなった。アスペクト比 10 のストリーマでは、風速が増加するにつれ、抵抗係数は小さくなる。同じアスペクト比でも、長さが長くなる程抵抗係数は小さくなる。またアスペクト比 15 では、風速が増加しても、抵抗係数はほぼ一定である。ストリーマの材質即ち比重の影響については、比重が大きいストリーマは抵抗係数が大きくなる。

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，ストリーマ，抵抗係数

## 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、抵抗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。モデルロケットを設計するうえで、ストリーマの抵抗係数のデータは不可欠である。またパラシュートについての研究は数多くあるが、ストリーマについての研究報告は少ない。(1) (2)

風洞を用いて、ストリーマの微小抗力を計測する技術を確立し、抵抗係数について研究することは、意義があるものと考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、風洞実験によりストリーマの抗力を計測し、パラメータ（風速、ストリーマのアスペクト比、ストリーマの材質）が、抵抗係数に及ぼす影響を調べる。研究の目的としては、微小抗力を計測するロードセルを試作し微小抗力の計測技術の確立すること、ストリーマの抗力係数のデータを取得すること、抗力を増加させる方策を見つけ出すことである。

## 3. 研究の方法

### 3-1 ロードセルの試作

最大荷重 300mN を計測する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。歪ゲージを貼り付けたリン青銅製 II 型ロードセルの外観を図 1 に示す。各部の寸法は、板厚 0.2mm、板幅 10mm、歪ゲージ貼付部 70mm、高さ 30mm、取付部 30mm である。

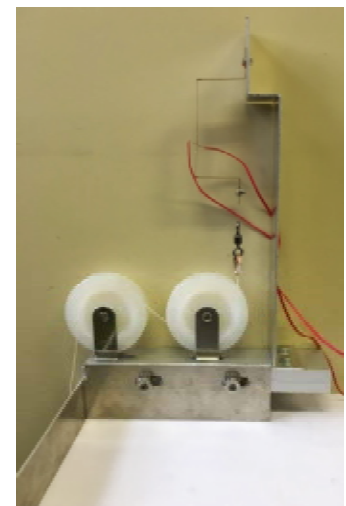
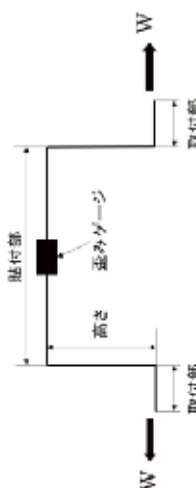


図 1 II型ロードセルの外観

### 3-2 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、ストリーマの抗力を計測し、抵抗係数を求めた。ストリーマの抵抗係数  $C_d$  は、

$$C_d = 2D/(\rho Av^2)$$

で与えられる。ここで  $D$  は抗力、 $\rho$  は空気の密度、 $A$  はストリーマの面積、 $v$  は風速である。供試したストリーマの材料は、アルミ蒸着 PET フィルム 1 種類（比重量  $46.0 \text{ g/m}^2$ ）およびポリエチレンフィルム 2 種類（比重量  $29.6 \text{ g/m}^2$  および  $44.0 \text{ g/m}^2$ ）である。PET フィルム製ストリーマは、素材が薄いので 2 枚折りにして内側の外周部を接着剤（アロンアルファ）で接着して作製した。その寸法を表 1 に示す。

表 1 PET フィルム製ストリーマの寸法

アスペクト比	15	10	5
長さ/幅 [mm]	750/50	500/50	250/50
		600/60	
		700/70	

ポリエチレンフィルム製ストリーマの寸法は、長さ 500/幅 50mm、アスペクト比 10 である。他に、寸法が長さ 500/幅 50mm、アスペクト比 10 で、折り目（三角、四角）を付けた PET フィルム製ストリーマを作成した。

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。実験をするにあたって、風洞のテストセクションの断面にわたる風速分布の有無も確認した。

## 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 3 回行った。

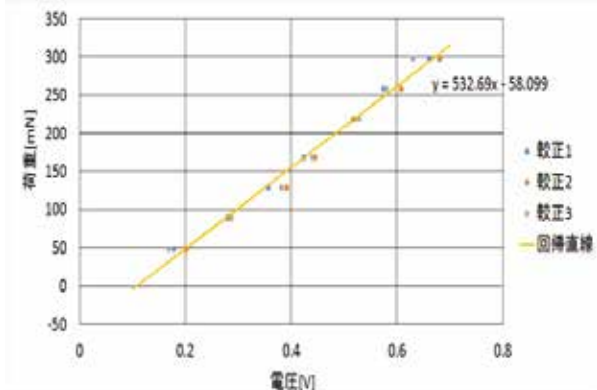


図 2 荷重-出力電圧校正カーブ

横軸に歪ゲージの出力電圧、縦軸に負荷荷重をとった校正カーブを図 2 に示す。負荷荷重は 0mN から 450mN まで計測した。負荷が 50mN から 300mN の範囲では、比較的良好的な線形性と再現性を有しており、 $3\sigma$  のばら

つき誤差は 10%程度となった。精度 10%であるが、微小抗力を計測できる計測装置を開発ができた。

## 4.2 風洞実験結果

### 4.2.1 風速分布

風洞のテストセクションの風速分布の計測結果は、風速が  $4\text{m/s}$  のとき各ポイント計測値の最大/最少の差が  $0.4\text{m/s}$ 、風速が  $12\text{m/s}$  のとき最大/最少の差が  $0.6\text{m/s}$  となった。風速分布は許容可能なレベルであることが判明した。

### 4.2.2 ストリーマの抵抗係数

#### (1) アルミ蒸着 PET 製ストリーマ

アルミ蒸着 PET 製ストリーマ供試体の写真を図 3 に示す。図 4 にはアスペクト比を変えたときの抵抗係数、図 5 にはアスペクト比 10 でストリーマの長さや幅を変化させたときの抵抗係数を示す。

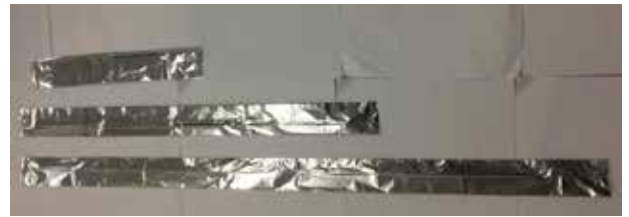


図 3 アルミ蒸着 PET 製ストリーマ供試体

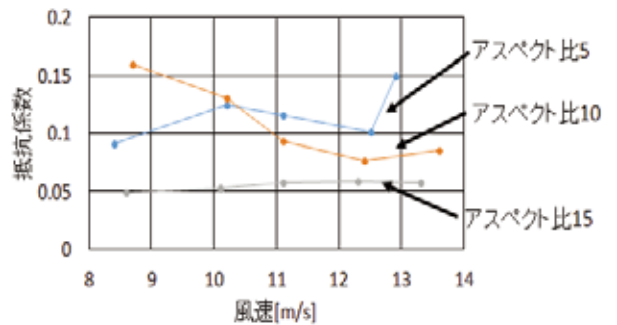


図 4 アスペクト比を変えたときの抵抗係数

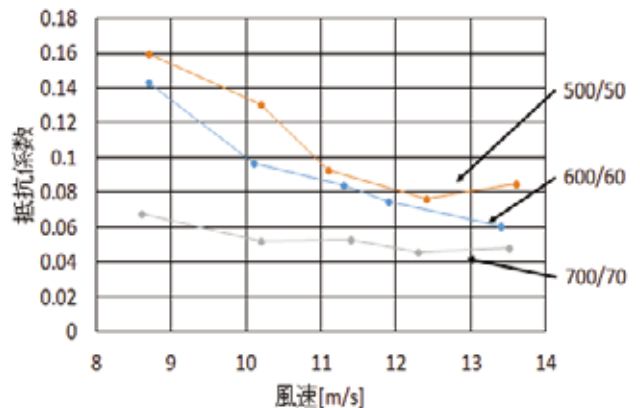


図 5 アスペクト比 10 の抵抗係数

これらの結果から、ストリーマの抵抗係数について以下のことが明らかとなった。

- ① アスペクト比5では、長さが短いためか抵抗係数が風速に対して一定の傾向が現れない。
- ② アスペクト比10では、風速が増加するにつれ、抵抗係数は小さくなる。
- ③ 同じアスペクト比10で比較すると、長さが増加するにつれ、抵抗係数は小さくなる
- ④ アスペクト比15では、風速が増加しても、抵抗係数はほぼ一定である。

(2) 比重量が異なるストリーマ

比重量が異なる素材（PET フィルム、ポリエチレン厚手、ポリエチレン薄手）で製作されたストリーマの抵抗係数を図6に示す。

比重量が大きいストリーマは抵抗係数が大きく、アスペクト比が10のとき、風速の増加に対して抵抗係数が減少する傾向がある。

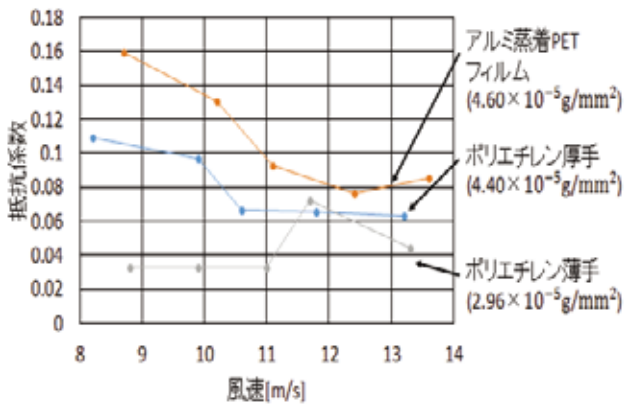


図6 比重量が異なるストリーマの抵抗係数

(3) 折り目付きストリーマ

抵抗係数を増加させるアイデアとして、折り目付きストリーマを製作して、抵抗係数のデータを取得した。

図7に供試体の写真を、図8に抵抗係数を示す。図7の上段は三角折り目付き、下段は四角折り目付きストリーマである。



図7 折り目付き供試体

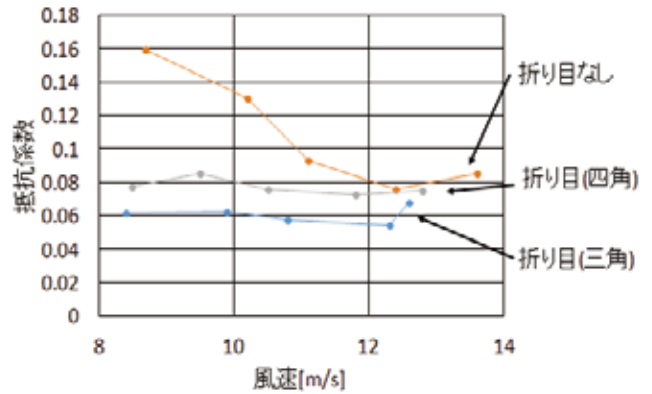


図8 折り目付きストリーマの抵抗係数

期待に反し、折り目を付けた方の抵抗係数が小さくなり、風速の増加に対して抵抗係数がほぼ一定であることが明らかとなった。

5. 参考文献他

- (1) A.C.Carruthers and A. Filippone, "Aerodynamic Drag of Streamers and Flags", J. of Aircraft, Vol.42, No.4, pp.976-982, Jul.-Aug. 2005.
- (2) 小河利行, 中村昌尚, 他: フラッタを生じる旗に作用する風荷重測定, 建築学会構造工学論文集, 54B, 313-318, 2008.

なお、本実験に従事した黒川和将君, 川畑裕輝君の働きに深く感謝いたします。