

第 63 回宇宙科学技術連合講演会 に参加して

吉村 勇人

Yuto YOSHIMURA

機械システム工学専攻修士課程 2019 年度修了

1. はじめに

私は 2019 年 11 月 6 日から 8 日にかけて徳島市で開催された第 63 回宇宙科学技術連合講演会に参加し、「インフレータブルバルートの柔軟性が空力特性に与える影響」という題目でポスター発表を行った。

2. 研究概要

小惑星探査機のサンプルリターンカプセルにおける最重要課題として、地球に持ち帰ることのできる試料の量（ペイロード）の増加が挙げられる。このペイロードを増加させるために、バルートと呼ばれる減速装置を展開し、高高度で減速することで空力加熱を軽減し、耐熱材やアブレータの体積を減少させることを本研究の目的としている。

しかしながら、バルートにも多くの課題があり、その中でも、空気力による形状変化が挙げられる。この形状変化により、投影面積が減少することで、抗力値も減少してしまうと予想される。つまり、バルートの形状変化が抗力値にどのような影響を与えるか把握する必要がある。したがって、本研究では、バルートの柔軟性を変化させた模型を用いて遷音速風洞実験を行い、流体構造連成解析の結果と比較し、バルートの柔軟性と空力特性の関係を調査した。

3. 遷音速風洞実験および流体構造連成解析

3.1 遷音速風洞実験

本研究では、宇宙科学研究所（ISAS/JAXA）が所有する遷音速風洞を用いて実験を行った。実験条件はマッハ 1.3、静圧 53.1 kPa、動圧 62.8 kPa で 6 分

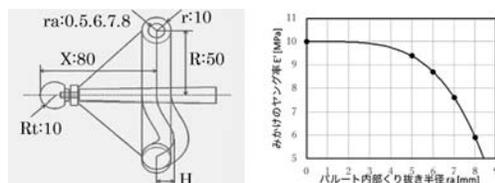


図 1 模型の寸法 [mm] 図 2 ra と E' の関係

力天秤を用いて空力特性値を測定した。また、実験模型はヤング率 10 MPa のフレキシブルレジンをを用いて、3D プリンタで製作した。本来であれば、インフレータブル構造であることから、空気の充填圧によって柔軟性を変えるべきであるが、天秤の許容値内で製作できる大きさの模型では充填圧 0.7 MPa が限度である。したがって、本研究では、バルート内部をくり抜き、みかけの縦弾性係数を変化させた模型を用いて遷音速風洞実験を行った。なお、実験模型の寸法を図 1 に、バルート内部のくり抜き半径（以下 ra ）とみかけの縦弾性係数（以下 E' ）の関係を図 2 に示す。

3.2 流体構造連成解析

実験結果を検討するにあたり、解析ソフト ANSYS AIM を用いて流体構造連成解析を行った。通風条件、モデルの寸法は風洞実験と同じであるが、解析モデルはバルート内部をくり抜くのではなく、図 2 にプロットした E' をパラメータとして解析を行った。

4. 結果および考察

4.1 通風中の模型の形状変化

図 3 は通風中の実験模型の様子を 4K カメラで撮影したものであり、(a) (b) (c) (d) では ra の増加に伴い、通風方向の変化量（以下 H ）も増加していることが確認できる。ただし、(a) では通風開始 5 秒後に座屈し破断したため、破断直前の静止画としている。

4.2 柔軟性と形状変化の関係

図 4 は E' と H の関係を示しており、 E' の増加に伴い、 H が減少していることが確認できる。また、 $E' = 5.9$ MPa の塑性域と剛体模型を除き、 E' と H は

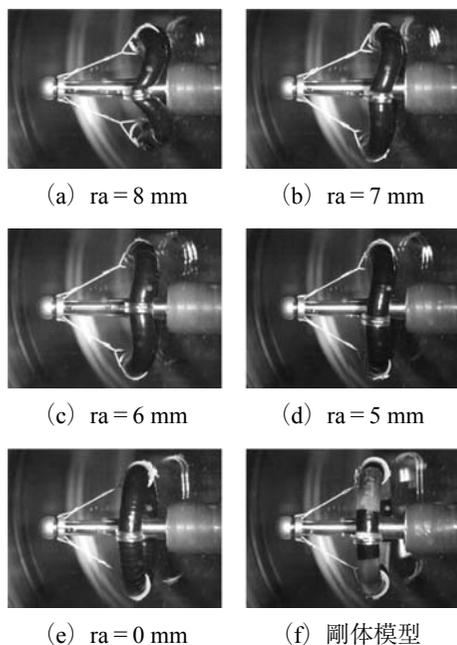


図3 通風中の実験模型の様子

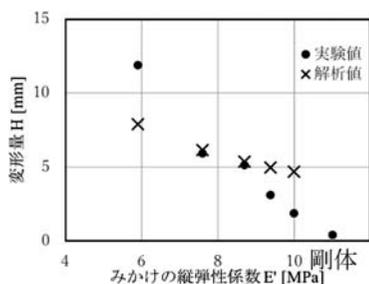


図4 E' と H の関係

比例関係にあることも読み取れる。

4.3 柔軟性と抗力値の関係

図5は E' と抗力値の関係を示しており、遷音速風洞実験では、 $E'=8.7$ MPaのとき抗力値が最大となり、 $E'=7.6$ MPaのときの抗力値が続き、どちらも剛体模型や H が小さな $ra=0$ mmのときの抗力値よりも大きいことが確認できる。また、(○)は遷音速風洞実験で得られた変形量を模擬したモデルの解析値、(×)は流体構造連成解析で得られた変形量を模擬したモデルの解析値であり、どちらも弾性範囲では実験値よりも小さな値であることが確認できる。

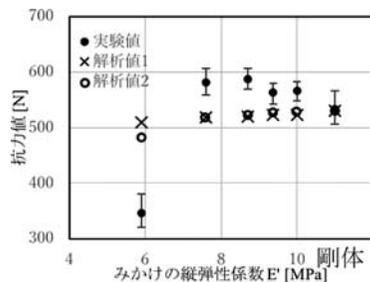


図5 E' と抗力値の関係

これらの結果から、 H だけでなく、断面が変形することで、投影面積が変化し抗力値に影響を与えていると考えられる。

4.4 空洞が投影面積に与える影響

柔軟性と抗力値の関係を考慮するにあたり、バルート内部の空洞による形状変化を解析によって可視化した。解析は長さ50 mm、円筒半径10 mm、空洞半径 ra の円筒モデルの両端を固定し、風洞実験と同じ条件で行った。図6は円筒の中間断面の形状変化を示しており、 ra の増加に伴い、楕円形状に変形していることがわかる。また、この形状変化は投影面積の増加にも寄与していると考えられる。



(a) $ra=8$ mm (b) $ra=7$ mm

図6 空洞による形状変化

5. まとめ

以上の結果より、風洞実験条件下では、バルートを用いることで最大586.3 Nの抗力値を得ることができる。また、 H だけでなく空洞による投影面積の変化も考慮する必要があることが示唆された。

6. おわりに

本学会は自身初めての発表であり、多くの学びがありました。ご指導下さった大津広敬教授、助言を下された研究者の皆様へ深く感謝いたします。