

第 66 回 宇宙科学技術連合 講演会に参加して

目片 慎一郎

Shinichirou MEKATA

機械システム工学専攻修士課程 2022 年度修了

1. はじめに

11 月 1 日から 4 日に熊本城ホールで行われた第 66 回宇宙科学技術連合講演会の 2 日のポスターセッションに参加した。

バルートは、バルーンとパラシュートの 2 つの単語を組み合わせたものでガスによる膨張を利用して、高高度での再突入飛行の抗力を高めるように設計されている。再突入体システムは、再突入カプセル、バルート、およびケーブルで構成されている。バルートは、複数のケーブルで再突入体につながるように設計されており、再突入体システムの空力特性は、ケーブルの長さを変更することで調整できる。このシステムの問題点の一つは、ガスによる膨張構造のバルートの柔軟性である。バルート内のガス圧が十分に高くない場合、バルート表面に作用する空気力によってバルートが変形する可能性があり、面圧によってバルートの形状が変化すると、バルートが生み出す抗力も変化する。したがって、バルートの変形に対する柔軟性の効果と、バルートによる抗力に対する変形の効果を見積もることは重要である。

本研究では、超音速風洞実験を行い、柔軟なバルートの変形を観察し、バルートの抗力に対する柔軟性の影響を測定した。

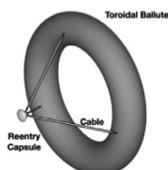
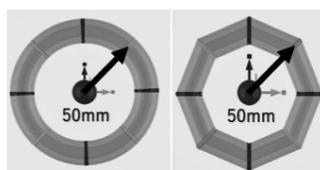


図 1 バルートを備えた再突入システムの概略図



(a) トラス型 (b) 八角形
図 2 バルートの試験模型の正面形状

2. フレキシブルバルートの試験模型の設計

本研究では、トラス及び多角形の平面形状のバルートを用意した。実用上、トラス形状は曲面のみで気密性を保つのが難しいため実用性を考慮し多角形のバルートの使用を想定しているため 2 つの形状を用意した。曲面を円柱や角に置き換えることができれば、より製作しやすくなることが期待されるためである。したがって、この研究ではトラス型と八角形のバルートを用いた。

3. 実験結果と考察

3.1 バルートの変形に対するケーブル本数の影響

図 4 に通風前の試験模型を示す。試験模型は風洞のスティングに取り付け、天秤で抗力を計測した。図 5 と図 6 の画像よりケーブルの増加によりバルートの変形が大幅に減少したことが分かる。図 7 と図 8 の画像よりトラス型の結果と同様の傾向がみられる。これらの結果からケーブルの本数の増加に伴い、バルートの変形が大幅に減少することが確認された。図 9 に実験で測定したバルートの内径と変形量の関係を示す。8 本のケーブルの場合と 4 本のケーブルの場合を比べると 4 本のケーブルの場合はいずれも変形が多いことが確認できる。

3.2 バルートの変形に対する内径の影響

図 10 と図 6 と比較すると内径 12mm の場合、バルートの変形が増加していることが確認できる。上記の結果は、次の簡単な理論によって定性的に推定できる。変形に推定のために、バルートはいくつかの円柱の組み合わせたはりの最大変位量の式で計算した。

$$\delta_{\max} = \frac{wL^4}{384EI} \quad (1)$$

ここで、 w , L , E , および I はそれぞれ分布荷重、はりの長さ、ヤング率、および断面二次モーメントである。荷重は、抗力をバルートの前面形状の全長で割ることで概算でき、円柱の長さはケーブル

の数で割った値で概算できる。ケーブルの数が増えると、 L が減少し、変形量は L^4 に比例して増加する。このように、ケーブルの本数を増やすことは、バルートの変形量を減らすのに効果的であるといえる。

内径は、断面二次モーメントに直接影響すると考えられ、断面二次モーメント I は次式で計算できる。

$$I = \frac{\pi}{64}(d_{out}^4 - d_{in}^4) \quad (2)$$

式(2)から、 d_{in} が増加すると、最大変形量が増加すると予想される。

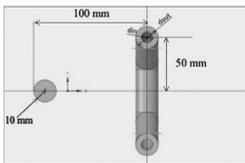


図3 バルートとケーブルを含む試験模型の側面図



図4 スティングと天秤を含む試験模型の実験画像

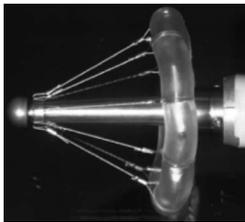


図5 トーラス型バルートの実験画像
($d_{in}=10\text{mm}$, 8本ケーブル)

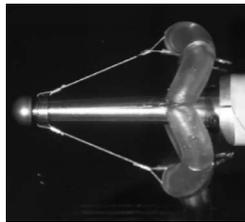


図6 トーラス型バルートの実験画像
($d_{in}=10\text{mm}$, 4本ケーブル)

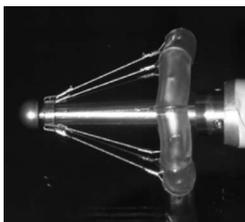


図7 八角形バルートの実験画像
($d_{in}=10\text{mm}$, 8本ケーブル)

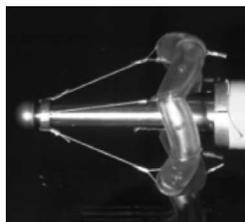


図8 八角形バルートの実験画像
($d_{in}=10\text{mm}$, 4本ケーブル)

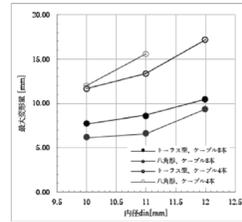


図9 バルートの変形に対するケーブル本数と内径の影響

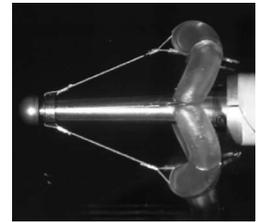


図10 トーラス型バルートの実験画像
($d_{in}=12\text{mm}$, 4本ケーブル)

3.3 バルートの抗力が及ぼすケーブルの本数と内径の影響

図11は実験で測定されたバルートの抗力に及ぼすケーブルの内径と本数の影響を示している。ケーブル8本の八角形バルートの場合、内径による抗力への影響はほとんどないことが分かる。一方、トーラス型と八角形バルートの4本ケーブルの場合、内径が大きくなるにつれて抗力が減少することが確認できる。これらの結果から、バルートの変形が比較的大きい場合、バルートの変形がフレキシブルバルートの抗力に大きな影響を与えることが確認された。

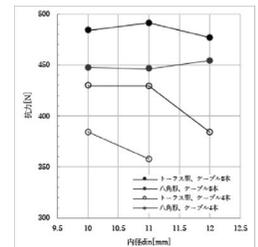


図11 バルートの抗力に対するケーブル本数と内径の影響

4. おわりに

本研究では、超音速風洞実験を行い、フレキシブルバルートモデルの変形を再現し、ケーブルの柔軟性と本数がバルートの変形と抗力に及ぼす影響を測定した。変形はケーブル本数の影響を強く受けることが分かった。トーラス型と八角形バルートのケーブル8本より4本の場合にバルートの変形は内径の影響を大きく受けることが確認できた。バルートの抗力も同様の傾向であるといえる。

対面での学会だったので多くの人から意見や質問をいただきとても良い経験になった。次の機会があれば積極的に他の発表を聞きたいと思う。