

K7-57

## 開放型衝撃波管から発生する衝撃波と渦輪の研究 Study of a shock wave and a vortex ring from an open-end shock tube

中澤佳祐<sup>1</sup>, 伊豫部玲奈<sup>1</sup>, 村松旦典<sup>2</sup>, 菊池崇将<sup>2</sup>  
Keisuke Nakazawa<sup>1</sup>, Rena Iyobe<sup>1</sup>, Akinori Muramatsu<sup>2</sup>, Takamasa Kikuchi<sup>2</sup>

**Abstract:** The Mach number of the shock wave driven by a diaphragm-less shock tube was smaller than the theoretical value. When the pressure of the supporting gas approached the pressure of the high pressure chamber, the Mach number approached the theoretical value. A method of introducing the point diffraction interference method is shown as a visualization method of shock waves and vortex rings. For numerical simulation with different gases, it is necessary to investigate an appropriate value of Courant Number.

### 1. 緒言

衝撃波現象は火山の噴火や自動車のマフラー内部、高速列車がトンネルに突入した際のトンネル微気圧波など身近な場所でも現れ、圧力の影響のみならず、渦輪との干渉により音波が発生している。そのため、衝撃波と渦輪の解析をすることは環境的・工学的観点で重要である。

本研究の目的は、衝撃波と渦輪の減衰方法の確立である。一昨年、衝撃波現象を模擬する実験装置として開放型衝撃波管を作成したが、衝撃波のマッハ数が理論値より小さい値となった。本稿では衝撃波のマッハ数を理論値に近づける為の装置の改良案を示す。また、衝撃波の可視化方法として点回折干渉計(PDI)を導入し、その方法を示す。さらに衝撃波と渦輪を数値模擬する簡易モデルを作成してその考察を記述する。

### 2. 実験概要及び装置

#### 2.1 実験概要

実験装置模式図を Figure 1 に示す。開放型衝撃波管は、高圧室(内径 150mm×100mm)、低圧室(内径 30mm×1000mm)、支持気体室によって構成されている。低圧室へ流れ込んだ高圧室の駆動気体がピストンとして衝撃波を駆動し、衝撃波が大気へ放出される。低圧室壁面に取り付けた圧力センサーで衝撃波圧力を計測し、異なるセンサー間での圧力検出時刻差と距離から衝撃波マッハ数を得る。大気へ放出した衝撃波は光学可視化装置を用いて可視化し高速度カメラで撮影する。

支持気体室に充填した高圧のヘリウムガス圧力で膨張したゴム膜で、高圧室と低圧室が隔てられている。すなわち、ゴム膜が擬似的な隔膜として機能している。支持気体室のヘリウムガスを開放することでゴム膜は急速に収縮し、高圧室に充填された駆動気体が低圧室

に流れ込む仕組みとなっている。Figure 2 にゴム膜による衝撃波管作動原理を示す。

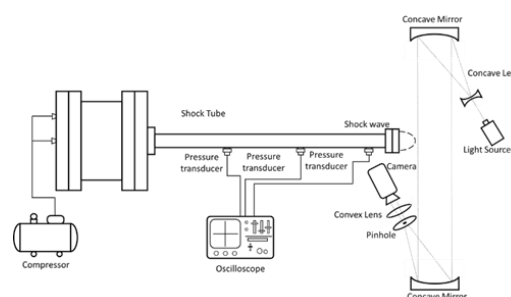


Figure 1. Schematic diagram of Experimental set-up

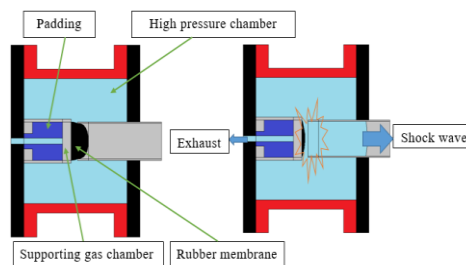


Figure 2. Mechanism of a rubber type shock tube

昨年度の装置改良では、高圧室と低圧室の疑似隔膜をピストンからゴム膜に変更し、支持気体開放方法をバルブによる手動開口から膜破断に変更した。ゴム膜はピストンより軽量で、伸縮性を利用した機構であるため瞬間的に収縮し、開口時間を短縮できる。膜破断開口は手動開口と比較し、瞬間的に開口できる事からゴム膜が急速後退する。その結果、衝撃波を確認することが出来たが理論値の衝撃波マッハ数を得ることが出来ず、さらに装置改良をする必要があった<sup>[1]</sup>。衝撃波を形成する為に必要な支持気体排出時間は理論値 1ms に対して実験値 9.7ms であり、支持気体室の内径

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・教員・航宇

を排出口径と等しくし、支持気体室体積を小さくすることが排出時間短縮に有効であった。その結果、理論排出時間は  $90\mu\text{s}$  まで小さくなるという結果が得られた為、今年度は支持気体室内に詰め物を入れ、支持気体室体積を小さくする改良を施した。しかし、実験の結果、詰め物のみでは衝撃波マッハ数の値は、変化しなかった。その為、実験方法を再検討し支持気体室に充填するヘリウムの圧力と高圧室に充填する空気の圧力の差を小さくした。その結果、ゴム膜の開口時間が短縮され、衝撃波マッハ数が理論値に近づけることが出来た。Figure 3 に実験結果を示す。

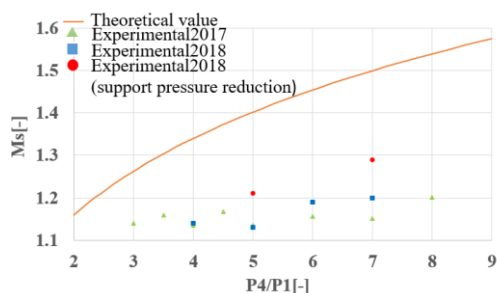


Figure 3. Theoretical value and experimental value of the Mach number for the pressure ratio

## 2.2 光学可視化装置

衝撃波の可視化には、PDI を用いる。この手法は昨年度までの光学可視化手法であるシュリーレン法と同様の光学素子の構成で可視化出来る。特徴は広範囲の流れ場の密度分布を定量的に評価し、計測することである。点光源から出た光は凹面鏡で平行光束となり測定部を通過した後ピンホールを通過する。ピンホール位置はシュリーレン法のナイフエッジの位置と等しい。このピンホールが干渉計となり干渉縞を計測する。

PDI に用いるピンホール部の干渉原理について Figure 4 に示す。ピンホールは半透明プレートをを用い、プレート上で光の一部が回折され球波面として放出される。球波面の光は参照光となり、ピンホールプレートを通る物体光と参照光が重なることで干渉縞が生じる<sup>[2]</sup>。本実験ではピンホールに写真乾板を用い、これをレーザー照射によって感材を焼くことで、ピンホールを製作する。

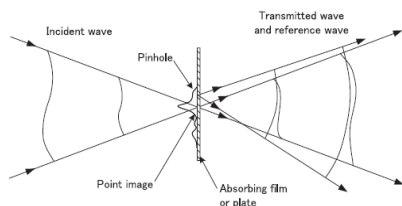


Figure 4. Interference principle of the pinhole <sup>[2]</sup>

## 3. 数値模擬

汎用の数値解析コード ANSYS Fluent を用いて実験の数値模擬を行うことで、衝撃波の減衰手法の設計に役立てる。実験装置と同形状モデルでの数値模擬の予備段階として、2次元軸回転対象単純衝撃波管モデルでの数値模擬を行った。単純衝撃波管モデルを Figure 5 に示す。昨年度までの研究では、高圧室、低圧室共に空気を入れた場合の数値計算は成功しているが、高圧室に異種気体(ヘリウム)を充填した場合の結果は、発生する衝撃波マッハ数の理論値と数値解の誤差が 4% 以上であった。この原因として、空気よりも音速の速いヘリウムの現象を、空気での計算条件では捉えられなかったことが考えられた。より高速現象を捉える為にクーラン数の値を小さくし、計算を行った。高圧低圧室の圧力比 7、温度 300K、非定常計算の結果を Figure 6 に示す。クーラン数 0.1 で、理論値との誤差が急激に減少し、0.76% となった。これは、妥当性のある結果といえる。クーラン数 0.2 以上では誤差は改善されないため、ヘリウムの現象は捉えきれないと考えられる。

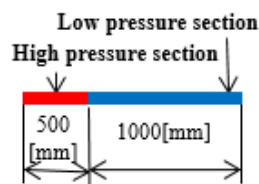


Figure 5. Coputational domain of shock tube model

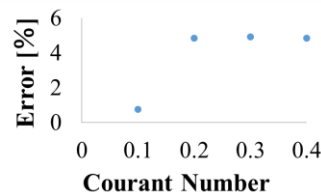


Figure 6. Comparison of Courant Number

## 4. まとめ

- ・ 衝撃波管の改良を行い、衝撃波のマッハ数が理論値に近づいた。
- ・ 可視化は広範囲の定量解析が可能である PDI の確立を目指す。
- ・ 数値模擬では、クーラン数の値を 0.1 にすることによりヘリウムの現象を捉えることができる。

## 5. 参考文献

- [1] 下島侑馬：開放型衝撃波管から発生する衝撃波と渦輪の研究，2017 年
- [2] 樫谷賢士，山口裕，沖元海：点回折干渉計による衝撃波管翼型流れの試験気体の影響に関する研究，日本航空宇宙学会論文集，Vol.59, No.685, pp.34-41, 2011 年