

K7-82

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

下島侑馬¹, 福本隆介¹, 菊池崇将²Simojima Yuma¹, Hukumoto Ryusuke¹, Kikuchi Takamasa²

To clarify the propagation the relationship between the propagation distance and the attenuation of a shock wave and a vortex ring generated from the open end of shock tube, a shock tube with diaphragmless system was produced. In the experiments of last year, many compression waves instead of a shock wave released from the open end of the shock tube was observed. This false reason is that the piston of the diaphragmless system moved slowly and it took long time for the releasing of high-pressure gas energy. The moving time of the piston was shortened by changing the piston support gas type and the valve for support gas release. The rising time of compression waves, but a shock waves was not still observed. The diaphragmless system has to be improved.

1. 緒言

昨年、衝撃波管を用いて開放端より放出される衝撃波や渦輪、膨張波の挙動を観測することを目的に無隔膜式開放型衝撃波管を製作した。しかしシュリーレン法によって可視化した結果、複数に重なった圧力波のみが観測され、衝撃波の発生を確認できなかった。^[1]

また一般的に衝撃波管で発生する衝撃波の立ち上がり時間は 10~20 μ sec とされているが、実験で得られた圧力波の立ち上がり時間は 1msec 以上であった。衝撃波が発生しなかった原因として、高圧室から低圧室に流れ込む駆動気体の開放が瞬間的に行われず、エネルギー放出に時間がかかってしまったと考えている。ピストン機構を利用した本実験装置では、ピストンが低圧室と高圧室を隔離する役割をもつ。エネルギー放出時間は本実験装置におけるピストン開口時間と考えることができ、ピストンの後退速度が遅いことが衝撃波が発生しなかった原因だと推測している。この結果をふまえ、ピストンの動きを速くすることを目的に (1)支持気体を空気からヘリウムに変更、(2)支持気体室の排出口におけるバルブを変更、の二点の改良を施し、その特性試験を行った。

2. 実験概要および装置

2. 1 実験装置

本研究では、無隔膜式の衝撃波管を用いている。無隔膜式も一般的な衝撃波管と同様に、高圧室と低圧室の 2 つの領域からなり、隔膜の代わりにピストンを用いる。ピストンは、ピストン支持気体室に充填された高圧気体により前方に押し付けられ、高圧室と低圧室を分離する。ピストン支持気体室に充填された高圧気体をバルブで手動開放することでピストンは急速に後退し、

高圧室内に充填された駆動気体が低圧室に開放される。

Fig.1 に衝撃波管作動原理を示す。

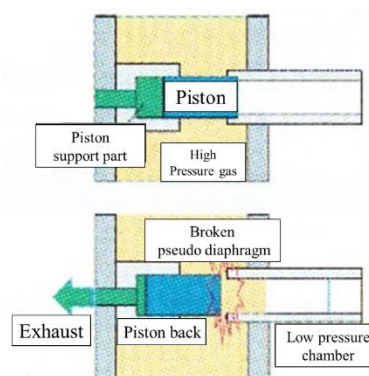


Fig.1 Diaphragmless system

2. 2 実験概要

実験概略図を Fig.2 に示す。開放型衝撃波管は、低圧室の下流側管端を大気へ開放しており、衝撃波を放出出来る。本装置は、高圧室(内径 150mm×100mm)、低圧室(内径 30mm×1000mm)からなる。ピストンの作動により低圧室内に衝撃波が駆動され、開放端へ向けて伝播する。伝播する衝撃波を低圧室に設けた圧力変換器で計測し、複数のセンサ間の距離と計測時刻差から衝撃波の伝播速度を得る。管内を伝播する衝撃波は管開端部へ到達し、放出される。

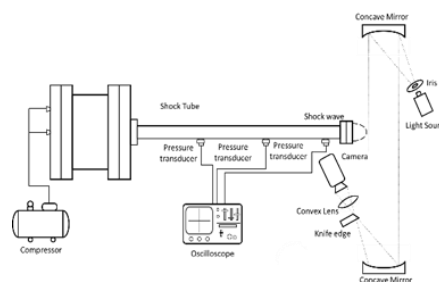


Fig.2 Schematic diagram of Experimental set-up

2. 3 実験装置改良点

昨年の実験では衝撃波を発生させることができず、得られた圧力波形は爆燃現象に似た波形となった。爆燃とは燃焼による爆発のうち、膨張速度が音速に達しないものであり、エネルギーの放出時間が長いという特徴がある。このエネルギー放出は衝撃波管におけるピストン開口と考えることができ、ピストン開口に長時間を要したため爆燃現象のような波形となったと考えられる。支持気体室内に封入された高圧気体をバルブの手動開放で放出することで、ピストンは後退する。よってバルブから排出する流量を大きくすることでピストンの動きを速くすることができる。流量は以下の式で表される。

$$Q = C_v A \times \sqrt{\frac{2P_m}{\rho}}$$

Q：流量， C_v ：流量係数，A：流路断面積

P_m ：大気圧と支持気体室の圧力差

ρ ：支持気体密度

ピストンの動きを速くするために2点改良を行った。第一に支持気体を空気からヘリウムに変更した。上式から支持気体密度に反比例して流量が大きくなる。昨年は支持気体として空気を使用していたが、本実験では空気より密度の小さいヘリウムを使用した。

第二に、支持気体室の排出口におけるバルブを変更した。従来のバルブの C_v 値は 1.2 であった。これをより流路面積の大きい $C_v=7.5$ のバルブに変更し、排出される流量の増加を目指した。

3. 実験結果及び考察

一般に、開放型衝撃波管の高圧室に充填された高圧気体を瞬間的に開放すると、先頭に衝撃波が誘起され、放出される。高圧気体として空気、ヘリウムの二種で実験を行った。空気充填に対してヘリウム充填では、どの圧力比でも圧力ピークまでの立ち上がり時間が小さくなった。同じ圧力比でもショットごとに M_s 、立ち上がり時間、最大圧力等にばらつきがあるのは、バルブ開口が手動のため、気体排出の様子が毎回異なることが影響していると考えられる。一般的に立ち上がり時間は $1\mu s$ と言われている。Fig3 にグラフを示す。空気とヘリウムの圧力比と立ち上がり時間の関係を Fig4 に示す。今回得られたデータ

では最も小さい立ち上がり時間でも支持気体；ヘリウム、高圧室と低圧室の圧力比 4 条件での 1.8992ms であり、かなり大きい値となった。今回の実験結果から立ち上がり時間の短縮を目的に更なる実験装置の改良が必要となった。ピストンからゴム膜を利用した無隔膜方式へ変更し、開口時間を短縮する。

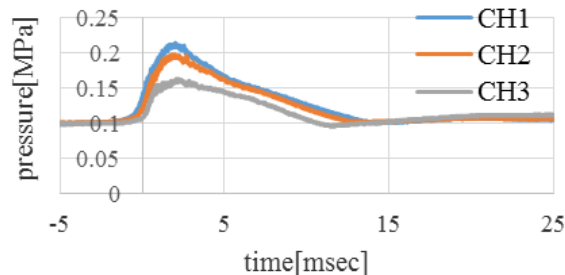


Fig.3 pressure waveforms

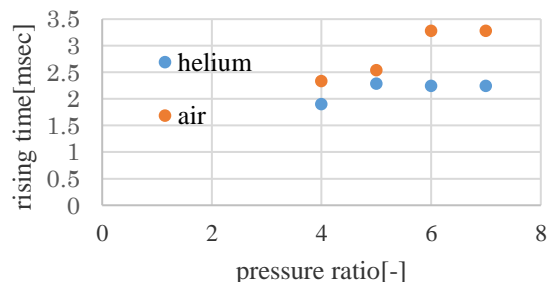


Fig.4 Pressure rising time

4. まとめ

衝撃波管の正常動作のためにピストン開口の高速化を目指し、支持気体とバルブを変更し、衝撃波管駆動試験を行った。立ち上がり時間の短縮が見られたが、衝撃波の立ち上がり時間より大きな値となった。

5. 参考文献

- [1]中西耕大, 葉山諒平, 藤生拓見：開放型衝撃波管から発生する衝撃波と渦輪の研究, 2016 年
- [2]貝沼美帆：衝撃波管開口端から放出される衝撃波と渦の挙動に関する研究, 東北大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻博士学位論文, 2004 年, P9
- [3]楊基明, 小野寺収, 高山和喜：弱い衝撃波の生成を目的としたゴム膜を急速開口弁に用いる衝撃波管の特性について, 日本機械学会, 60 巻, 570 号, 1994 年