

K3-46

開放型衝撃波管から発生する衝撃波と渦輪の研究

中西耕大, 葉山諒平, 藤生拓見, 菊池崇将

Kodai Nakanishi, Ryohei Hayama, Takumi Fujii, Takamasa Kikuchi

Abstract:

The study of a shock wave released from an open-end is important for technology and environment. A shock wave and a vortex ring released from a shock tube open-end are measured by optical visualization and pressure transducer to clarify the relation between shock wave propagating distance and attenuation of the shock wave. This experiment was simulated numerically by using the software FLUENT. In the results, the shock Mach number derived by pressure ratio between front and behind shock wave and the shock propagating Mach number were different from setting Mach number condition.

1. 緒言

平面衝撃波が開放端から空間へ放出される時衝撃波は回折し、衝撃波形状が平面から湾曲した形状へ変形する。衝撃波は減衰しながら空間を伝播する。衝撃波の後に渦輪も開放端から放出される。渦輪と衝撃波の干渉により散乱波が発生し、音波へ遷移する。回折した衝撃波の現象は火山の噴火や火薬の爆発で発生する爆風と類似の現象である。高速列車のトンネル突入時に、トンネル内に圧縮波が駆動され、長いトンネルを伝播する過程で弱い衝撃波へ遷移する。この弱い衝撃波がトンネル出口から放出される時、トンネル微気圧波と呼ばれる騒音問題が生じる。開放端より放出された衝撃波の研究は、環境的にも工学的にも重要である¹⁾。

本稿は、開放型衝撃波管から放出される衝撃波と渦輪の減衰過程を明らかにする目的で、製作した実験装置と実験手法を提示する。実験を再現した数値模擬の初歩的な結果を報告する。

2. 実験概要および装置

実験概要を Figure1 に示す。コンプレッサから圧縮空気を開放型衝撃波管に充填する。瞬間的に圧縮空気を開放すると、衝撃波管内に衝撃波が駆動・伝播し、開放端から衝撃波が空間へ放出される。衝撃波が伝播する衝撃波管内に取り付けた圧力センサで衝撃波圧力を計測する。異なるセンサ間での圧力検出時刻差と距離

から、衝撃波伝播マッハ数が得られる。放出された衝撃波を点回折干渉計法(PDI)を用いて可視化し、高速度ビデオカメラで連続撮影する。

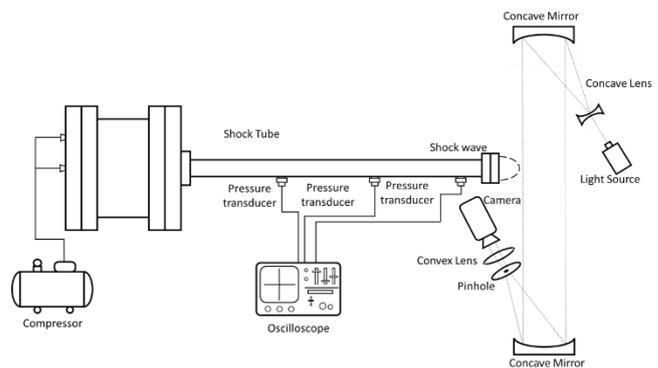


Fig. 1 Schematic diagram of Experimental set-up

無隔膜式開放型衝撃波管を Figure2 に示す。衝撃波管は、高圧室、低圧室の2つの領域からなり、2つの領域を隔離する隔膜を瞬間的に取り除くことで低圧室側へ衝撃波を駆動する装置である。開放型では、低圧室下流端を開放し、衝撃波を空間へ放出できる。無隔膜式は、隔膜の代わりにピストンを用いる作動方式であり、駆動させる衝撃波の条件を任意に設定できる利点がある。本装置は、高圧室(内径 150mm×100mm)、低圧室(内径 30mm×1000mm)からなる。

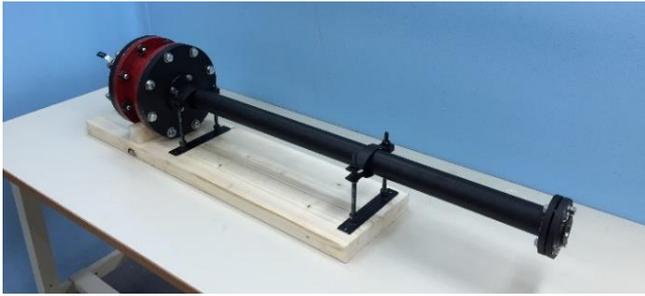


Fig. 2 Diaphragm-less open-end shock tube

PDI はシュリーレン法と同じ光学素子の組み方で組むことができる光学可視化法であり、流れ場の密度分布を定量計測できる。光源から出た光はミラーまたはレンズにより平行光にされ、現象を通過し、再びミラーまたはレンズにより集光される。集光部には、微小なピンホールを持った半透明プレートを設置しておく。現象を通過した光は密度変化によって屈折しピンホール周りの半透明の部分を通る。これが物体光となる。現象を通過しなかった光はピンホールを通過し、回折され球面波となる。これが参照光となる。物体光と参照光が干渉して干渉縞写真が得られる²⁾。

3. 数値模擬

実験を数値模擬で再現する。数値模擬に、汎用の解析コード ANSYS Fluent を用いる。数値模擬は、衝撃波管内の衝撃波発生フェーズと、衝撃波管外の衝撃波減衰フェーズの二つのフェーズで構成されている。本稿では、衝撃波発生フェーズの結果を示す。両端が閉鎖された衝撃波管内に、高圧気体と低圧気体を接した状態で配置し、時刻 0 で隔膜が瞬間的に破断したと仮定する。解析条件を Table1 に示す。初期状態と解析結果をそれぞれ Figure3, Figure4 に示す。Figure4 から衝撃波マッハ数 Ms を求めた。衝撃波前後の圧力比からランキン・ユゴニオの式を用いて求めた結果と 0.001[s] 秒間で進んだ距離から算出した結果は、それぞれ $Ms = 1.57$, $Ms = 1.20$ であり、設定条件 $Ms = 1.5$ と異なる結果となった。

Table 1 Calculating Condition

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Solver | Density based |
| Calculation gas | Ideal-gas inviscid |
| High pressure section | 7092. 75[hPa] |
| Low pressure section | 1013. 25[hPa] |

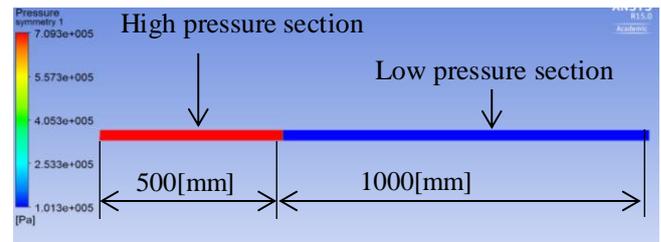


Fig. 3 Shock tube model

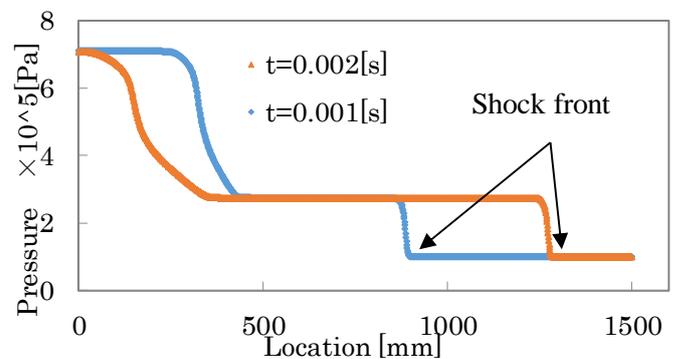


Fig. 4 p-v diagram of the shock tube

4. 結言

無隔膜式開放型衝撃波管を用いた衝撃波減衰過程の実験計画を提示した。汎用流体解析コードを用いて衝撃波管内の衝撃波発生過程を数値模擬した。発生した衝撃波の前面と背面の圧力比から求められる衝撃波マッハ数と伝播速度から得られる衝撃波マッハ数は、設定した衝撃波マッハ数と異なる値になった。

参考文献

- 1) 高藤亮一, 山中昭央, 小原哲郎: 回折する衝撃波の挙動に関する研究, 日本機械学会文集, 65 巻, 639 号, P64, 1999 年
- 2) 沖元海, 山口裕, 樫谷賢士: PDI 法による定量解析に向けた予備実験, 可視化情報, Vol.29, P325-326, 2009 年