

矩形ダクト内の衝撃波と乱流境界層の干渉現象

Shock Wave / Turbulent Boundary Layer Interaction in a Supersonic Rectangular Duct

○ 正 杉山 弘 (室蘭工大) 正 溝端一秀 (室蘭工大)
 正 福田浩一 (室蘭工大・院) 学 孫 立群 (室蘭工大・院)
 学 遠藤清和 (室蘭工大・院) 学 広島敬之 (室蘭工大・院)

Hiromu SUGIYAMA, Muroran Institute of Technology, 27-1, Mizumoto, Muroran 050-8585
 Kazuhide MIZOBATA, Muroran Institute of Technology
 Koichi FUKUDA, Muroran Institute of Technology
 Sun Li Qun, Muroran Institute of Technology
 Kiyokazu ENDO, Muroran Institute of Technology
 Takayuki HIROSHIMA, Muroran Institute of Technology

Key Words: Supersonic Flow, Shock Wave / Boundary Layer Interaction, Pseudo-Shock Wave

1. まえがき

流路内で流れが超音速から亜音速に減速する際に発生する衝撃波は、流路壁面境界層と干渉し、複雑な衝撃波システム、いわゆる擬似衝撃波 (pseudo-shock wave) になる場合がある。擬似衝撃波を伴う流れは、超音速ディフューザやスクラムジェットエンジン分離部等で見られ、擬似衝撃波の構造や振動現象の解明、およびその制御を行うことは工学上重要である^{(1)~(5)}。

本研究では、室蘭工業大学に新設された吹出し吸込み式マッハ4の超音速風洞を用いて、矩形ダクト内の上、中、下流に擬似衝撃波を発生させ、その流れの様相をカラーシュリーレン法により可視化するとともに、粒子画像流速計測法 (PIV) を用いて速度分布を計測し、擬似衝撃波の構造について調べた。また、壁面静圧変動を測定し擬似衝撃波の振動現象等を調べた。

2. 実験結果

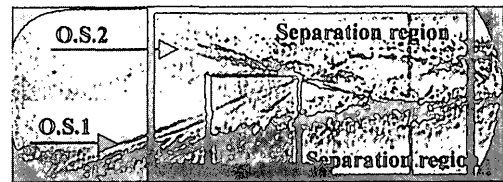
Fig. 1(a)に $X=620\text{mm}$ の位置に擬似衝撃波を発生させた場合の擬似衝撃波のシュリーレン写真を、Fig. 1(b)に同時刻にPIVで測定した詳細な流速分布を示す。流れの方向は左から右である。Fig. 1(a)中の太い実線で示した2つの矩形枠のうち、外側の枠はFig. 1(b)のPIV計測領域を示す。ここで、 X はノズル出口を原点とする流れ方向距離である。

Fig. 1(a)より擬似衝撃波の先頭衝撃波が発生している様子が分かる。先頭衝撃波の形状は中心部に垂直部分を持たないX形である。このX形衝撃波は、下壁側から発生する斜め衝撃波 O.S.1 と、上壁側から発生する O.S.2 よりなる。Fig. 1は、下壁に沿う境界層が早くはく離する場合で、O.S.1 と O.S.2 の交点は測定部中心線より上壁側となり、流れは上壁側に偏った非対称流れになる。

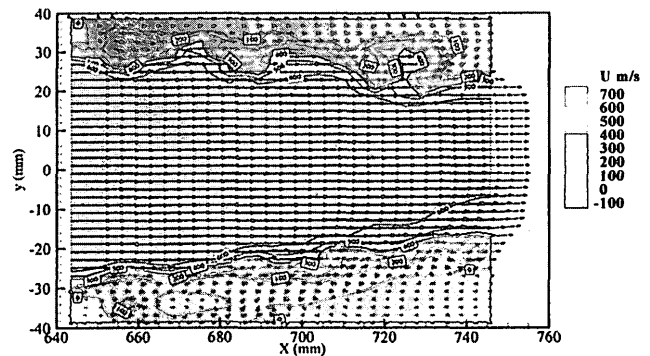
3. まとめ

実験結果を要約すると次のようになる。

- (1) 矩形ダクト内のマッハ4の超音速流中で擬似衝撃波が発生すると、いずれの位置 (境界制限の大きさ) において、上、下壁に沿う乱流境界層は、先頭衝撃波直後、特に上、下壁側のどちらか一方で大きくはく離し、流れは上壁側または下壁側に偏った非対称流れとなる。
- (2) 先頭衝撃波の形状はいずれも上下非対称なX形であり、このX形先頭衝撃波は、下壁側から発生する斜め衝撃波 O.S.1 と、上壁側から発生する斜め衝撃波 O.S.2 よりなる。
- (3) X形先頭衝撃波の形状は、下壁に沿う境界層が早くはく



(a) Schlieren photograph of the pseudo-shock wave



(b) Velocity vector distribution by PIV

Fig.1 Detailed velocity distribution in the pseudo-shock wave

離する場合には、O.S.1 と O.S.2 の交点は、流路中心線より上壁側に位置する。すなわち、流れは上壁側に偏った非対称流れとなる。また、上壁に沿う境界層が早くはく離する場合には、流れは下壁側に偏った非対称流れになる。

- (4) 先頭衝撃波下流において、流れの主要部を占める高速領域の流速の減速は少ない。
- (5) 先頭衝撃波下流で壁面境界層は早くはく離するが、先にはく離した領域の壁面近くで、流れは逆流している。

参考文献

- (1) Matsuo, K. et al., Progress in Aerospace Science 35, (1999), p.33-100.
- (2) Sugiyama, H. et al., JSME International Journal Series II Vol.31, (1988), p.9-15.
- (3) 杉山ほか, 機論 (B編), 61-586(1995), 2095-2101.
- (4) 奥井ほか, 機論 (B編), 67-655(2000), 704-711.
- (5) 福田ほか, 衝撃波シンポジウム講演論文集, (2001,3), p.53-56.