

超音速矩形ダクト内のマッハ4 擬似衝撃波の構造と壁面せん断応力分布

Structure and Wall Shear Stress Distribution of the Mach 4 Pseudo-Shock Waves in a Supersonic Rectangular Duct

○ 学 員 原 陽平 (室蘭工大・院) 正 杉山 弘 (室蘭工大)
 正 溝端 一秀 (室蘭工大) 正 湊 亮二郎 (室蘭工大)
 学 東條 啓 (室蘭工大・院) 学 武藤 洋平 (室蘭工大・院)

Yohei KAIHARA, Muroran Institute of Technology, 27-1, Mizumoto, Muroran, 050-8585
 Hiromu SUGIYAMA, Muroran Institute of Technology
 Kazuhide MIZOBATA, Muroran Institute of Technology
 Ryojiro MINATO, Muroran Institute of Technology
 Akira TOJO, Muroran Institute of Technology
 Yohei MUTO, Muroran Institute of Technology

Key Words: Supersonic Internal Flow, Pseudo-Shock Wave, Shock Wave/Boundary Layer Interaction, Color Schlieren Photography, Shear-Sensitive Liquid Crystal, Shear Stress Transducer

1. 結 言

管路内において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、流路壁面の乱流境界層と干渉し、複雑な衝撃波システムである擬似衝撃波 (pseudo-shock wave) ⁽¹⁾ を形成する。擬似衝撃波を伴う流れは、高圧ガス配管系内の流れやスクラムジェットエンジンの分離部等で発生し、圧力変動を伴い、騒音や振動、流路の破壊等を引き起こす場合があるため、その構造や特性を解明することは工学上重要である。

本研究では吹出し吸込み式超音速風洞を用いてマッハ4擬似衝撃波を発生させ、カラーシュリーレン法による流れ場の可視化、せん断力感応液晶を用いた壁面せん断応力の定性的な可視化、およびせん断応力センサー⁽²⁾を設計・製作し、壁面せん断応力を定量的に測定して、その構造等を調べた。

2. 実験結果および考察

Fig.1 に実験結果の一部を示す。Fig.1 (a) と Fig.1 (c) は上壁面および下壁面に働くせん断応力の分布、Fig.1 (b) はマッハ4 擬似衝撃波のシュリーレン写真である。せん断力感応液晶はせん断応力の絶対値が零、または非常に小さい領域で赤色を示し、大きくなるにつれて緑色、青色へと変化していく。図中の各値はせん断応力の定量的な測定結果であり、単位はPaで主流方向を正、逆流方向を負の値で示している。

Fig.1 (b) より、マッハ4 擬似衝撃波の先頭衝撃波の形状は、中心に垂直部分を持たない上下非対称なX型であり、先頭衝撃波直後には広範囲に渡って離領域が存在している。

Fig.1 (a) と Fig.1 (b) を比較すると、先頭衝撃波付近が赤色で示されており、はく離領域に対応していると考えられる。この領域では約 -16~0 Pa のせん断応力が働いており、逆流していることが分かった。赤色の領域は $x/D \approx 2.0$ で緑色から青色と変化しており、流れが再付着していると考えられる。再付着後は中央部が最も青色が強く表れており、それを囲むように緑色の領域が存在している。青色の領域では約 140~180Pa、緑色の領域では約 100~130Pa のせん断応力が働いており、その差は最大で 50Pa 程度であることが分かった。

また、Fig.1 (b) と Fig.1 (c) を比較すると、先頭衝撃波以降は赤色の領域となっており、はく離領域に対応していると考えられる。この領域では約 -25~-1Pa のせん断応力が働いており、逆流していることが分かった。上流側の主流部に対応する黄色で示された領域では約 40~60Pa のせん断応力が働いていることが分かった。

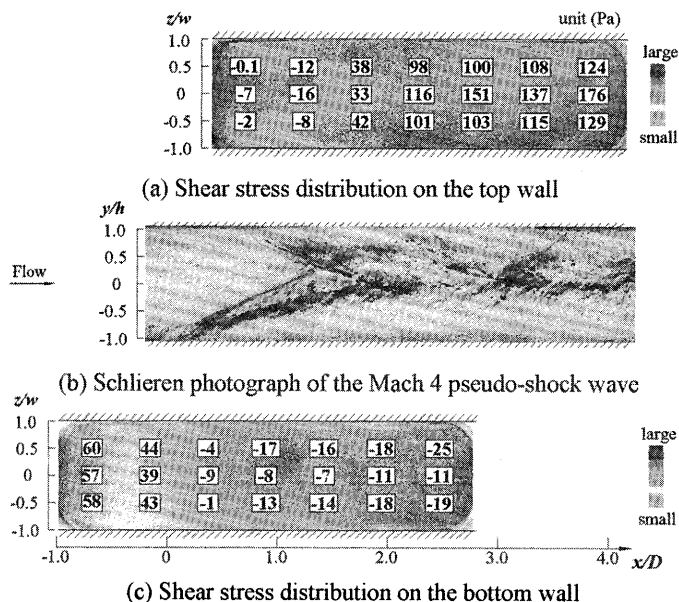


Fig.1 Schlieren photograph of the Mach 4 pseudo-shock wave and shear stress distribution on the top and bottom walls

3. 結 言

マッハ4擬似衝撃波の構造と壁面せん断応力分布を調べた。結果を要約すると以下ようになる。

- (1) マッハ4 擬似衝撃波の先頭衝撃波は中心に垂直部分を持たない上下非対称なX型となり、先頭衝撃波後方には大きなはく離領域が存在する。
- (2) 各壁面に働くせん断応力は、高速流領域に対応する領域で大きく、はく離領域に対応する領域では小さい。
- (3) 側壁面には、約 4~150Pa、上壁面には約 -16~180Pa、下壁面には約 -25~60Pa のせん断応力が働いている。

参考文献

- (1) 杉山・福田・溝端・遠藤・孫・新井, 衝撃波を伴う超音速内部流動に関する研究, 日本機械学会論文集(B 編), 68-676 (2002, 12), pp.3295-3301.
- (2) 笹尾・邊見・宇野, 正方形直管路を有する吹出し式超音速風洞内の超音速境界層の流れ特性に関する研究, 日本機械学会北海道学生会第 32 回学生員卒業研究発表講演会前刷集, (H.15.03.08), pp.21-22.