A103 凝縮法による衝撃波形状の三次元観察

佐賀大理工学部	瀬戸口 俊明
佐賀大理工学部	中野 智弘○
佐賀大院	喜多 信之
佐賀大理工学部	金子 賢二

THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION OF SHOCK WAVE CONFIGURATION USING VAPOR-SCREEN METHOD

Toshiaki SETOGUCHI*, Toshihiro NAKANO*, Nobuyuki KITA**
and Kenji KANEKO*

The vapor-screen method, a simple and practical method of flow visualization for high speeds, has been applied to the three-dimensional shock waves generated in a supersonic nozzle with the obstacle. The shock wave profiles at each of the cross-sections have been shown clearly. As a result, it has been demonstrated that the vapor-screen method is very useful to visualize the three-dimensional shock wave configuration.

1. まえがき

水蒸気や湿り空気などの凝縮性気体が急激に加速膨張する場合、これらは過飽和状態で非平衡凝縮を起こし微細な水滴を発生する。この水滴を流れの可視化に利用する凝縮法（ベイパ・スクリーン法）は、極めて簡単な装置で行える圧縮性流体の流れ場の可視化法として注目されている⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾。特に、流れ場の二次元面の重ね合わせにより、その三次元表示が可能となることは、凝縮法の有利な点である。

ところで、最近、衝撃波の三次元表示に関する凝縮法以外の研究が盛んに行われている⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾。しかし、これらの方法では、装置などの点で容易に可視化が行えず、また得られた像も鮮明ではないようである。なお、凝縮法による衝撃波の三次元表示についても、ミサイルの前面に発生する離脱衝撃波の観察⁽⁹⁾が行われているが、衝撃波形状が単純な場合に限られているようであり、三次元可視化の可能性をさらに明確にする必要がある。

本研究は、凝縮法を三次元の衝撃波の可視化に適用し、可視化の技術を明らかにするとともに、本手法の有用性を示すことを目的とする。なお、可視化例としては、吸込み式超音速ノズル内に、段付き平板や円柱を設置した場合に発生する三次元衝撃波を採用した。

* Dept. of Mech. Eng., Saga Univ., 1 Honjo, Saga 840

** Saga Univ., Graduate Student

2. 可視化装置と方法

本実験で使用した大気吸い込み式超音速風洞は、図1に示すように、貯気槽（ 15m^3 ）、観測部（流路断面 $60\text{mm}\times 38\text{mm}$ ）、および真空タンク（ 1.5m^3 ）より構成され、観測部にハーフノズル（円弧ノズルで、曲率半径： 160mm 、スロートにおける流路高さ： 32mm ）が取り付けられている。また超音速部には、三次元衝撃波を発生させるため、図1(b)に示すような段付きの平板（下段の前縁がノズルスロートより下流 55mm 、下壁より 12.5mm ）や円柱（円柱中心がスロートより下流 60mm 、下壁より 18mm ）が設置できる。

実験に際しては、貯気槽の圧力 P_0 および温度 T_0 はそれぞれ大気圧と大気温度に保ち、相対湿度 ϕ_0 は蒸気発生器を用いて所定の値に設定し、真空タンクを 670Pa 程度に排気する。観測部下流のバルブ開放後に観測部において得られる定常な超音速流れの持続時間は約3秒で、この間に写真撮影を行う。なお撮影用カメラは一眼レフ 35mm （撮影距離 12cm 、 $F3.5$ 、露光 $1/15\sim 1/8$ ）、フィルムはフジフィルム・ネオパン400を使用した。また可視化の光源はHe-Neレーザー（ 5mW ）を用い、厚さ約 1mm のライトシートとした。

3. 可視化結果と考察

図2は、超音速流れ場に平板が挿入された場合の可視化例を示す。図2(a)に示すように、平板まわりには離脱衝撃波が発生し、それは三次元性を示す。図2(a)中の記号(1)～(5)の断面における衝撃波の可視化写真が、それぞれ図2(b)～(f)に対応する。写真より各断面の衝撃波の形状が明確に示され、凝縮法の有用性が分かる〔可視化の信頼性は文献(4)で明らかにされている〕。

図3は、超音速流れ場に円柱が挿入された場合の可視化例を示す。図より明らかなように、円柱の上流に離脱衝撃波が発生し、図3(b)～(g)はその三次元的な様子を明確に表わしている。

以上の観察結果より、凝縮法によれば、非常に簡単な装置で複雑な衝撃波の三次元観察が可能となることが明らかである。今後は、凝縮法に画像処理技術を組み合わせた可視化法の開発が望まれ、これにより衝撃波はもちろん圧縮性流体中のはく離域⁽²⁾や渦⁽¹⁾などの三次元可視化が容易に行えるものと思われる。

Fig.1 Experimental apparatus

(a) Schematic view of shock waves

(b) Case (1)

(c) Case (2)

(d) Case (3)

(e) Case (4)

(f) Case (5)

Fig.2 Typical photographs showing 3-D shock waves generated around a plate ($p_0=101\text{kPa}$, $T_0=300\text{K}$, $\phi_0=70\%$)

Fig.3 Typical photographs showing 3-D shock waves generated around a cylinder ($p_0=101\text{kPa}$, $T_0=303\text{K}$, $\phi_0=75\%$)

4. まとめ

凝縮法を三次元衝撃波に適用する際の可視化技術を明らかにするとともに、可視化例を示すことで本手法の有用性を確認した。

文献

- (1) McGregor, I., J. Fluid Mech., 11-4 (1961), 481.
- (2) 瀬戸口・ほか 5 名, 流れの可視化, 6-22 (1986), 279.
- (3) 瀬戸口・ほか 6 名, 流れの可視化, 7-26 (1987), 321.
- (4) 瀬戸口・ほか 5 名, 流れの可視化, 8-Suppl. (1988), 97.
- (5) 瀬戸口・ほか 6 名, 流れの可視化, 9-Suppl. (1989), 81.
- (6) 安・ほか 4 名, 流れの可視化, 8-30 (1988), 289.
- (7) 安・ほか 2 名, 流れの可視化, 9-34 (1989), 325.
- (8) 西尾, 第 18 回流れの可視化シンポジウム, (1990).
- (9) Morris, O.A., et al., NASA TM 86384, (1985).