205 超音速内部流中のキャビティ周りの流れの可視化

東京農工大学工学部 松尾繁、東野文男

東京農工大学大学院 渡辺安、工藤諭

I H I 松永康二、黒田眞一

Visualization of a Supersonic Internal Flow with Cavities

Shigeru MATSUO*, Yasushi WATANABE*, Satoshi KUDO*, Fumio HIGASHINO*,
Koji MATSUNAGA** and Shinichi KURODA**

ABSTRACT

In recent years, research and development activities for next generation supersonic transport are being carried out actively by the world aeronautical community. In a supersonic intake, a cavity plays a important role in the control of shock waves. The study of the supersonic internal flow with the cavity is important not only for research on industrial applications but also for basic research in gasdynamics. In the present study, the supersonic internal flow with backward facing steps and cavities were investigated experimentally in the case of the flow Mach number 1.5 at the step and cavity entrance. A schlieren optical system, and a Mach-Zehnder interferometer composed of an Argon laser (CW) as the light source with acoust-optic modulators (AOM) were used to visualize the flow.

1. まえがき

近年、次世代の超音速、極超音速輸送機の研究開発が世界各国で行われている。わが国でも低速からマッハ5までの飛行を可能とする超音速輸送機用推進システムの開発に必要な技術確立するため、基礎技術の研究開発が進められている。ところで、エアープリージングエンジンのインテークでは、衝撃波、膨張波、せん断層及び境界層が相互に干渉することで流れ場が非常に複雑となっている⁽¹⁾。特にこのような流れ場に生ずる衝撃波の制御において、キャビティの役割が注目されている。従来から超音速から極超音速にわたる、いわゆるキャビティ流れに関する研究⁽²⁾⁻⁽³⁾は数多く行われてきたが、超音速内部流路に取り付けたキャビティ周りの流れに関する研究は少ない。よって、超音速内部流路内のキャビティ周りの流れを研究解析することは工学的に重要であるとともに、流体力学的にも大変興味ある流れ場であると考えられる。

本研究では、キャビティを有する超音速内部流路の研究の一環として、超音速流路内に取り付けた後ろ向きステップとキャビティ周りの流れ場を実験的に観察した。流れの可視化には、シュリーレン法及びマッハツェンダー干渉計による等密度干渉縞法を用いた。な

* Faculty of Engineering, Tokyo Noko University, Koganei-shi, Tokyo 184, Japan

**Research Institute, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.,

Toyosu, Koto-ku, Tokyo, 135, Japan

お干渉編法では、光源にアルゴンレーザー、シャッターに光変調器であるAOMを用いた。作動及び駆動気体には空気を用い、ステップ及びキャビティ入口での流れのマッハ数は1.5の一定とした。

2. 実験装置及び方法

図1は、本実験で用いた衝撃波管と計測装置の概要図を示している。衝撃波管は内径190mm、長さ1500mmの鋼製のパイプの高圧部と、内径77mm、長さ3mのステンレス製のパイプの低圧部から構成されている。実験では、キャビティ及びステップ入口の流れのマッハ数 M_2 がほぼ1.5となるように、特性曲線法より設計したノズルをモデルの上流側に取り付けた。図2は本実験で用いたキャビティとステップの詳細図を示している。ステップとキャビティの入口高さは20mmの一定であり、圧力センサー（PCB社製、113A22）S2、S3はステップ、キャビティとも同じ位置に取り付けた。

可視化方法にはシュリーレン法とマッハツェンダー干渉計による等密度干渉編法⁽⁴⁾を用いた。図1にはマッハツェンダー干渉計の詳細な配置図も示している。シュリーレン法の光源にはキセノンフラッシュランプ（菅原研究所株式会社製、MF-80）を、干渉編法では光源に600mmのアルゴンレーザー（Spectra Physics社、164-08）を使用した。マッハツェンダー干渉計では光源に連続光のレーザーを使用しているため、シャッターに音響光学効果を利用したAOMを2台使用した。このシステムの利点としては、変調器に

入力する信号のパルス幅を変えることで、露光時間を自由に変更できることである。なお本実験では、パルス幅を2μsecに設定し写真撮影を行った。また写真撮影は、テストセクションの上流20mmの位置に取り付けた圧力センサーS1に伝達衝撃波が到達した瞬間から任意の時間が経過した後にいった。

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig.2 Detail of model (Units: mm)

3. 実験結果及び考察

図3(a)～(d)は、それぞれステップの高さ D_1 が、20mm、15mm、10mm及び5mmの場合のマッハツェンダー干渉計による等密度干渉縞写真を示している。図よりステップ角部より膨張波及びせん断層が生じており、ステップ後方の上下壁面上の境界層と干渉しているのがわかる。また、ステップとせん断層に囲まれた領域では、大きな密度変化は観察されないが、せん断層がステップの入口側下壁面となす角 α はステップの高さ D_1 が小さくなるに従い小さくなっているのがわかる。これは、ステップの高さ D_1 が小さくなると流路の高さが小さくなりステップ前後での膨張の程度が小さくなるためであると考えられる。

図4、図5及び図6は、それぞれ L/D_1 が1、1.5、2のキャビティの場合の等密度干渉縞写真を示している。これらの図は、衝撃波管の持続時間内で撮影されており、それぞれの条件における流れ場の代表的な写真である。図4では、キャビティ前縁及び後縁部で形成された斜め衝撃波が上壁及びキャビティ後方の下壁面で反射を繰り返しており、キャビティ内部では強い循環領域が観察される。

図5と6では、衝撃波がキャビ

ティ前縁部付近に定在している写真を示しているが、連続写真からは流れ方向に振動しているのが観察された。特に図6の場合には、前縁部の衝撃波はより激しく振動しているのが

Fig.3 Infinite fringe interferograms (Step)

 Fig.4 Infinite fringe interferograms ($L/D_1=1$)

 Fig.5 Infinite fringe interferograms ($L/D_1=1.5$)

 Fig.6 Infinite fringe interferograms ($L/D_1=2$)

観察された。また、 L/D_1 が 1.5 と 2 の場合の連続写真からは、キャビティ周りの流れ場の様相を大きく 2 つに分類することができる。つまり、大きな循環領域がキャビティ内部領域に観察される場合と、等密度干渉縞がキャビティ内部から流路上壁側に及ぶ範囲にわたり広がるため、大きな循環領域が観察されない場合である。これらは流れの非定常性に大きな原因があると考えられる。

図 7 は、図 4～6 に対する静圧の時間履歴を示している。なお静圧測定は、図 2 で示すセンサー S3 の位置で行った。図より衝撃波管の持続時間（約 3～7 msec）内では、 L/D_1 が大きくなると圧力の変動が大きくなり、その周期は L/D_1 が 1 の場合に比べ大きくなっているのがわかる。これは $L/D_1 = 1.5$ と 2 の場合のキャビティ前縁部付近の垂直衝撃波の位置の変動が原因であると考えられる。

Fig.7 Pressure time history
(Cavity)

4. まとめ

超音速内部流中に取り付けたキャビティおよびステップ周りの流れをマッハツェンダー干渉計による等密度干渉縞法により可視化した。そして、入口マッハ数が 1.5 の場合のステップ高さとキャビティの長さの影響を調べた。その結果、 L/D_1 が 1 の場合にはキャビティ内部に比較的強い循環領域が観察され、キャビティ前縁及び後縁部から生じた斜め衝撃波が上下壁面上で反射を繰り返す流れとなった。また、 L/D_1 が 1.5 と 2 のキャビティの場合、衝撃波はキャビティ前縁部付近で激しく振動しており、キャビティ周りの流れの様相には 2 つのパターンが現れることがわかった。

参考文献

- (1) Seddon, J. and Goldsmith, E.L., Intake Aerodynamics, (1985), AIAA education Series.
- (2) Zhang, X. and Edwards, J.A., An investigation of supersonic oscillatory cavity flows driven by thick shear layers, Aeronautical J., 94-940(1990), pp.355-365.
- (3) Charwat, A.F., Roos, J.N., Dewey, F.C. and Hitz, J.A., An Investigation of Separated Flows - Part 1: The Pressure Field, J. Aerospace Sci., 28-6(1961), pp.457-470.
- (4) 渡辺安・松尾繁・東野文男、可視化情報、12 Suppl-1(1992)、pp.147-150.