

小型超音速風洞主流変動量変化計測結果

澤田 秀夫、河野 敬、国益 徹也 (航技研)

Main Flow Fluctuations Measurements at the NAL 0.2m Supersonic Wind Tunnel

Hideo SAWADA, Takashi KOHNO, Tetsuya KUNIMSU

National Aerospace Laboratory

ABSTRACT

In order to analyze causes of large pitot pressure fluctuations at the NAL 0.2m supersonic wind tunnel test section, the contraction coordinates and total pressure fluctuations were measured at the settling chamber and contraction exits. Velocity fluctuations were also measured at the contraction exit with a hotwire. The coordinates were verified in the tolerance of 1/250 maximum diameter. Total pressure fluctuations along horizontal lines perpendicular to the tunnel centerline showed uniform at the both exits. They also decrease with the test section Mach number increment although the fluctuations increase rapidly at the test section. The large fluctuations observed at the Mach numbers not less than 2 grow somewhere downstream the contraction although the causes could originate upstream much more. On the contrary, pressure fluctuations increment was small at the low Mach numbers not large than 1.8. If the fluctuations are enough less at the chamber, it could be less than 0.1% at test section in its rms value ratio to pitot pressure even if the boundary layers on the test section walls are turbulent.

Key Words: ground facilities, wind tunnels

1. 序論

超音速における境界層遷移位置は、特別に乱れの小さい超音速風洞（静圧変動率で0.1%未満）を用いなくては、飛行試験結果と大幅に異なることが知られている。¹⁾ 1995年に完成した0.2m超音速風洞はこうした低乱れの超音速風洞に必要な技術を研究することを一つの目標として設計、製作された。²⁾

本風洞の低乱れに関連する特徴としては、低速低乱風洞並の整流網構成、大きな縮流比

(28.3)、境界層吸い取り機構の設置、縮流洞内面磨き仕上げ等である。しかしながら、測定部の圧力変動レベルは、通常の超音速風洞の変動レベルよりも大幅に小さな圧力変動ではあるが、ピト圧に比して圧力変動の実効値が0.1%未満という指針を達成することはできなかった。³⁾ また、測定部壁上の境界層も乱流境界層であることが測定の結果、判明している。⁴⁾

この原因を特定すべく、1996年以来、集合洞出口から縮流洞下流出口までの圧力変動、速度

変動、境界層速度分布、圧力、速度相関等を計測してきている。^{5),6)} ここでは、縮流洞内面形状計測結果、及び集合洞と縮流洞の出口水平方向の圧力変動量分布、縮流洞出口速度変動分布計測結果について報告する。

2. 0.2m 超音速風洞集合洞構成及び縮流洞

集合洞要素は東北大学の低速低乱風洞の集合洞要素に関する研究報告を参考に、⁷⁾ 集合洞出口における速度変動率を1%未満にする事を目標にして設計した。集合洞から縮流洞までの構成と配置は図1の様になっている。整流網のメッシュ番号、素線径は東北大学の試験データと同じものを表1の様に用いた。集合洞内速度も、3m/s～6m/s程度と通常よりも低いものとした。

縮流洞は、Thwaitesの方法使い、⁸⁾ 入口半径600mmから半径223.71mmまで軸対称とし、その上流部60mmをレジメッシュによる境界層吸い取り板とした。また、その下流350mmにわたり、軸対称設計時の縮流洞断面積を保持しながら、高さ、300mm幅200mmの矩形断面形に徐々に移行す

る部分を設けた。その更に下流は、超音速流れを形成する2次元可変ノズル部となっている。

全長さ1400mmにおよぶ固定縮流胴は境界層吸い取り部分を除き、鋳造品で、製造精度は $\pm 1/250$ を目標とすると規定されている。縮流胴内部は図2の縮流胴内面写真に示すように、手仕上げによる磨き仕上げとなっているが、一部に鑄巣や表面のうねりが観られた。

本風洞の座標軸は、流れ方向にx軸、鉛直上方にz軸を取り、これらと右手系を成すようにy軸を取りついている。座標計測では、原点を風洞中心軸上の縮流胴入口とした。境界層遷移評価時の指標とすべく、集合胴分解時に縮流胴内部座標を45°毎の母線上で計測した結果、座標値と計測値は、下流350mmの縮流胴出口手前75mmと100mmの所を除き、上記精度を満たしていた。計測結果の一例として、上流縮流胴の頂部母線に沿った設計値と計測値を比較した結果を図3に示す。また、軸対称縮流胴部で窪みの様に観察された部分の計測結果では、指定座標値と実際の計測値の間は高々0.5mm程度であった。表面が磨かれているために、目視による窪み量が大きく見えたものと考えられる。

3. 集合胴内圧力変動

集合胴出口壁から100mm位置での測定結果では、総圧変動率が0.1%未満の変動量であったが、速度変動率では3%~1%程度有り、初期の1%未満という目標は達成されなかった。

集合胴出口位置で中心を通る水平線上の圧力変動を計測した結果を図4に示す。一部、集合胴壁付近で変動が大きくなっている部分が有るが、全体としては水平面内にわたってほぼ一様な圧力変動であった。

4. 縮流胴出口圧力、速度変動

図5の写真に示すように、測定部側壁に計測用の溝を作り、ここから圧力変換器、ホットワイヤを挿入して主流の変動量を計測した。圧力変動計測位置は断面形が高さ300mm幅200mmの可変ノズル入口から57mm下流位置である。速度変動計測位置は、それよりも更に4mm下流位置となっている。

下流縮流胴出口の水平方向の総圧変動計測では、図6に示すような、ほぼ一様な変動であった。但し、南側の壁から30mm程度の所から南壁までは、2~4kHzの特定の周波数を有した変動が観測された。

また、風洞中心軸上の総圧変動率の実効値では、図7のように、集合胴出口のものと同測定部マッハ数依存性は同じ傾向を示しており、その値も互いに近い値である。

ホットワイヤを用いた速度変動率計測を図8に示す。集合胴出口での変動に比して、ほぼ1/10程度にまで減衰している。更に、測定部マッハ数の増加に対して総圧変動率が減少するのと、ほぼ同様な傾向を示している。

測定部でのピトー圧変動率と集合胴出口、縮流胴出口の総圧変動率の測定部マッハ数に対する関係は図9の様になっている。測定部マッハ数1.8以下では測定部中心で測定されたピトー圧変動率に比べて、他の2つの総圧変動率はほぼ同じ量だけ大きい。一方、測定部マッハ数1.8より大きい場合は、測定部ピトー圧変動率が数倍も大きくなっている。この事実は、測定部ピトー圧変動率を大きくする主要な過程は縮流胴出口より下流で起こっていることを示唆している。

測定部マッハ数が1.6前後では、可変ノズル部でのピトー圧変動率の増加は高々0.03%程度であり、集合胴出口で十分に総圧変動率を小さくしておけば、たとえ測定部壁上で境界層が乱流境界層となっても、測定部でピトー圧変動率を0.1%未満にすることは可能と考えられる。本風洞圧縮機はマッハ数1.6前後で圧縮効率が大幅に低く、マッハ数2以上の時に比べ、高い圧力変動を風路に供給していることが計測の結果判明している。³⁾ 圧縮機を高効率で圧力変動の小さい運転域でマッハ数1.5を出せれば、測定部ピトー圧変動率も0.1%という指標は達成できる可能性が高い。

5. 結論

縮流胴内面の座標はほぼ設計精度を満たしており、設計座標値は今後の数値計算などに利用できる。

集合胴出口、縮流胴出口の水平方向の総圧変動量分布を計測した結果、計測範囲にわたってはほぼ一様な変動量分布となっており、集合胴内流れ全体に影響を及ぼす大規模な剥離流れのような現象は起きていない。

集合胴出口から縮流胴出口の間では、主流の総圧変動率は大きく変わらない。

測定部マッハ数2.0以上で見られる大きな測定部ピトー圧変動率をもたらす擾乱は縮流胴出口から測定部の間で主流に供給されている。

測定部マッハ数 1.6 前後の流れでは、集合胴出口の総圧変動率を十分に下げれば、測定部壁の境界層が乱流であっても、ピト圧変動率 0.1%未満という指針は達成できる可能性がある。

参考文献

- 1) C. B. Rumsey and D. B. Lee: MEASUREMENTS OF AERODYNAMIC HEAT TRANSFER AND BOUNDARY-LAYER TRANSITION ON A 10° CONE IN FREE FLIGHT AT SUPERSONIC MACH NUMBER UP TO 5. 9, NASA TN D-745 (1961)
- 2) Hideo SAWADA, Kouichi SUZUKI, Asao HANZAWA, Takasi KOHNO and Tetsuya KUNIMASU: "The NAL 0. 2m Supersonic Wind Tunnel", NAL TR-1302T, (1996)
- 3) 澤田 秀夫、河野 敬、国益 徹也、「0.2m 超音速風洞の圧力変動計測結果」,NAL TR-1355,(1998)
- 4) A. Murakami, C. Iwasaki: Pressure "fuctuations due to Shock-Wave/Turbulent Boundary-Layer Interaction induced by Blunt Fin", AIAA 96-4538 (1996)
- 5) 澤田 秀夫、河野 敬、国益 徹也、「0.2m 超音速風洞集合胴内流れの変動量計測結果について」,第 29 回流体力学講演会,(1997)
- 6) 澤田 秀夫、河野 敬、国益 徹也、「0.2m 超音速風洞集合胴内流れの変動量計測」,第 30 回流体力学講演会,(1998)
- 7) 小濱泰昭:「整流金網による風洞測定部乱れ強さの減衰について」、ながれ 9 (1990) pp.19-33
- 8) B. Thwaites : "On the Design of Contractions for Wind Tunnels", A. R. C. TR R. & M. No. 2278, 1949

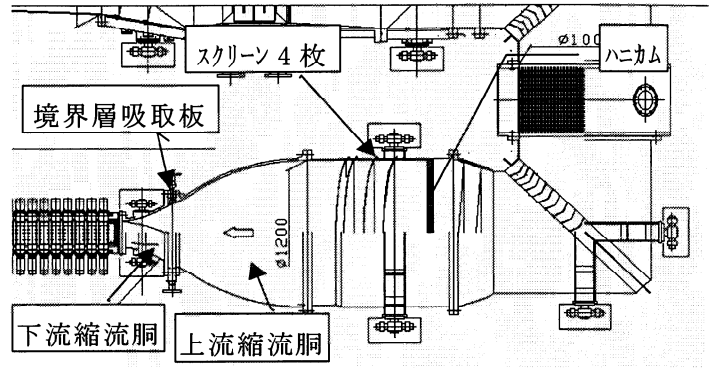


図1 0.2m 超音速風洞の集合胴及び縮流胴



図2 上流縮流胴部内面写真

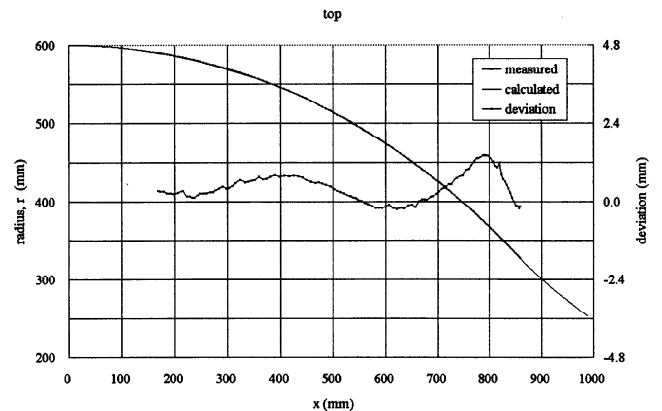


図3 上流縮流胴表面座標計測例

部位名称	名称	素線径 (mm)	メッシュ番号	間隔 (mm)
急拡大部	第1スクリーン	0.27	20	
	第2スクリーン	0.27	20	136
集合胴	ハニカム	セルサイズ: 1/8"	箔厚: 0.038mm	幅: 40
	第1スクリーン	0.27	20	250
	第2スクリーン	0.27	20	150
	第3スクリーン	0.112	50	150
	第4スクリーン	0.112	50	60
	自然減衰部	スクリーン無し		288

表1 集合胴要素構成

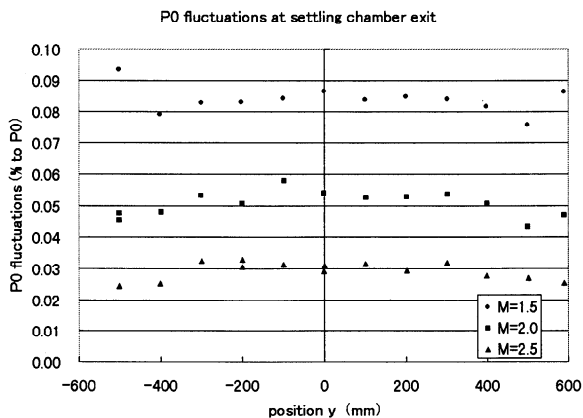


図4 集合胴出口水平線上の圧力変動量



図5 縮流胴出口部のホットワイヤ挿入写真

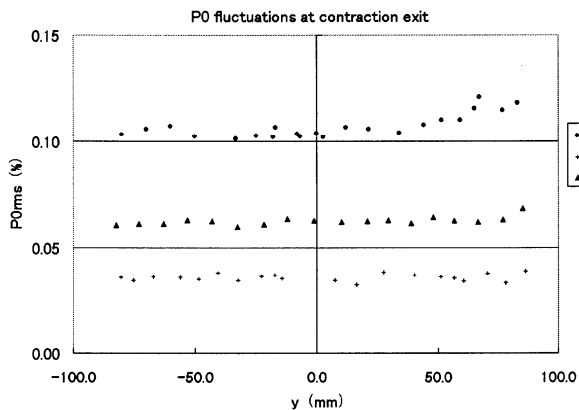


図6 縮流胴出口水平線上の総圧変動量率

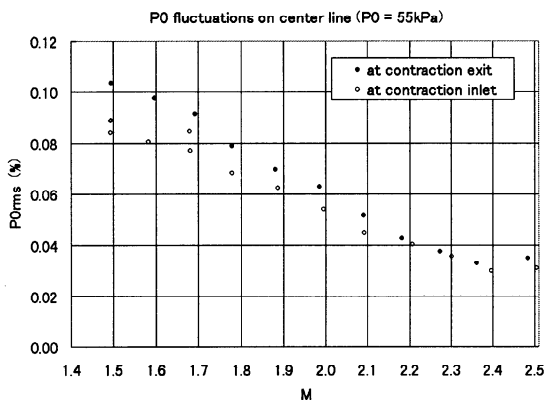


図7 集合胴と縮流胴出口の総圧変動率変化

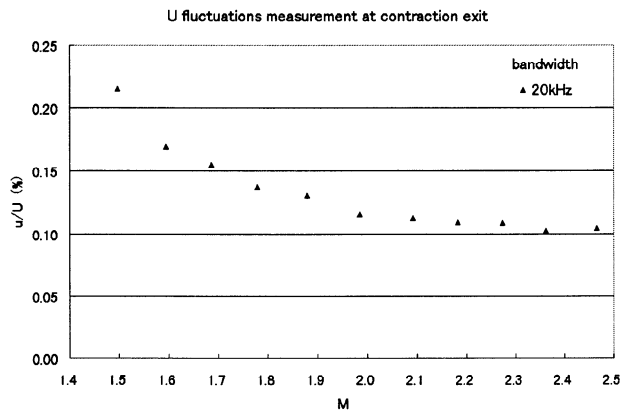


図8 縮流胴出口の速度変動量率

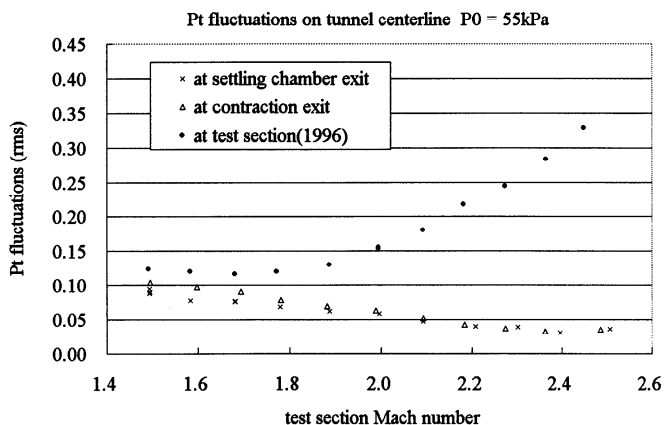


図9 集合胴と縮流胴出口の総圧変動率変化