

クラウン型ノズルによる超音速ジェットノイズの低減

高坂祐顕 , 上地哲史 , 中園与一 (九州東海大学)

1 はじめに

衝撃波を伴う超音速ジェット騒音を低減させるのに幾つかの方法が研究されている。そのうち、この10年間では混合を促進させる方法が代表的である。即ちタブを用いる方法、スロットを用いる方法、楕円ノズルによる方法、円形ノズルを斜めにカットして非軸対称ジェットにする方法、フリップフロップノズルを用いる方法、ノズル出口部に細長いリボンを用いる方法等がある。本研究ではスロット方式のフィンガー部が下流側にいくほど細くなるクラウン型のノズル形状に着目した。この形状はスロット付きのノズルより推力損失が小さい利点がある¹⁾。従来クラウンノズルによる低速ジェットの噴流特性の研究は行なわれているが、高速ジェットについては実施されていず、音響特性についても明らかにされていない。本研究は不足膨張ジェットから発生される騒音の低減に有効なクラウンノズルの最適形状を探ることを目的とする。ここではクラウンノズルのエッジ数がジェットの音響特性に及ぼす影響について述べる。

2 実験装置及び方法

Fig. 1 に実験装置の概略図を示す。常温の空気がプレナム室に接続されたノズルから大気に噴出される。ノズルの形状は直径10mmの収縮ノズルで、このノズルの先端部に長さ8mmの各種クラウンノズル(内径10mm)が取り付けできるようになっている。なお、基準となる円形ノズルも同様に収縮部の先端に装着できるようになっている。クラウンノズルの種類は切り欠き部の長さを4mmと一定にし、エッジ数2, 3, 4, 6, 8の5個である。また切り欠き部長さ4mm、切り欠き角度20°と一定にしたエッジ数2, 4, 6, 8の4個のクラウンノズルについても実験した。Fig. 2 にノズルの写真を示す。

音響測定はノズル出口から600mm、床から1160mmの位置に1/4 inchのコンデンサマイクフォンにおき、得られた結果をFFTにて周波数分析した。実験室は完全な無響室ではないが、部屋は床を除くと吸音材で囲まれた部屋となっている。床からの反射が考えられたので、音響測定時には、床に50mmのウレタンフォームを敷き詰めた。実験は貯気槽圧0.89~4kgf/cm²g(0.087~0.392MPag)にて行った。

ジェット中心軸上の総圧を、総圧用ピトー管を用いて測定し、得られた圧力から超音速流ではレーリのピトー管の式、亜音速流では等エントロピの式にてマッハ数を

求めた。またシュリーレン装置を用いて流れの可視化を行った。

3 実験結果

Fig. 3 に $\theta = 90^\circ$ における貯気槽圧力比 $NPR(=p_0/p_a)1.86$, 3.9の音圧スペクトルを示す。圧力が小さい場合、エッジ数により音圧スペクトルの形はそれ程影響されない。エッジ数が増えると低周波成分の変化はないが、高周波成分が大きくなっている。即ち亜音速ジェットではエッジ数の増加により発生騒音は大きくなる。圧力比が3.9のように大きくなると、円形ノズル(Normal)の場合、25000Hzと12500Hzに卓越した周波数が見られる。これはPowell²⁾によりスクリーチノイズと呼ばれ、超音速ジェットの周囲を下流に移動するコヒレントな渦構造と上流側に伝播する音波とからなるフィードバックループにより発生される。この現象はエッジトーンの発生機構と類似している。スクリーチノイズは2エッジではさらに高周波数で現れている。しかし4エッジではこのスクリーチノイズは消えている。8エッジでも同様にこのスクリーチはみられない。8エッジの高周波数成分(23kHz~38kHz)の音圧レベルは4エッジより大きいことがわかる。これはエッジ数の増加により乱れスケールの小さな成分が増加したことによる。図から4エッジの場合がもっとも騒音が低減されることがわかる。

Fig. 4 はスクリーチ周波数を各ジェットマッハ数について調べたものである。マッハ数は貯気槽圧力から完全膨張したジェットのマッハ数で求めている。図には本実験値³⁾及びTam⁴⁾とKevin⁵⁾の予測式も載せているが、実験値は彼らの値と殆ど一致している。2エッジではスクリーチ周波数はNormalより高くなっている。なお、このスクリーチ音が現れる貯気槽圧の2エッジでのオーバーオール音圧レベルはNormalより大きくなる。

そこで、4エッジで騒音が最も低減する理由を調べるために、噴流内部の総圧分布を測定した。Fig. 5 にジェット軸方向の総圧分布を示す。図からNormalは上流部で衝撃波に起因する圧力の変動が激しいことがわかる。エッジを設けると、この圧力の変動は小さくなる。即ち、衝撃波が緩和される。2エッジでは他のエッジよりコア長さが短くなり、エッジ数を増やすと、コア長さが徐々に長くなることがわかる。8エッジではNormalとコア長さも同程度で、速度の減衰もほぼ類似している。即ち、エッジ数を増やすと、衝撃波は緩和され、Normalと同じような流れを示す。流れの状態を表したシュリーレン写真をFig. 6に示す。図から、エッジにより複雑に干渉した衝撃波がみられる。またエッジによって垂直衝撃波の大きさが小さくなり、噴流の拡散が著しくなっている。

それ故、噴流の拡散、即ち周囲大気との混合促進がスクリーチノイズの低減をしたものと考えられる。

3 まとめ

エッジ数 4 個の場合が最も不足膨張ジェットのスラッシュ騒音低減が著しい。本報では、基本的音響特性に限定した。騒音低減機構については別の機会に譲る。

参考文献

- 1) Kim, J.H. & Samimy, M.: AIAA Paper 98-0696, 1998.
- 2) Powell, A.: Proc. Phys. Soc. B66 (1953), pp. 1039-1056.
- 3) 上地、中園: 機械学会九州支部第 54 回講演集, 2001.
- 4) Tam, A.: AIAA Paper 84-2276, 1984.
- 5) Messey, K.C. & Ahuja, K.K.: AIAA Paper 97-1625, 1997.

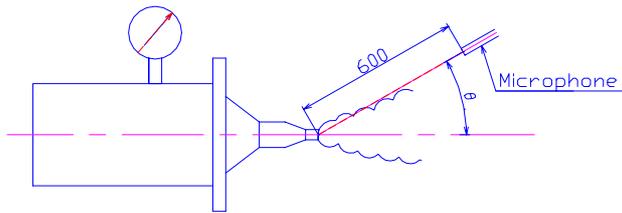


Fig.1 Microphone Locations

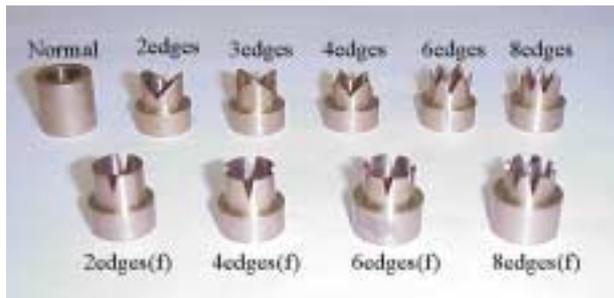
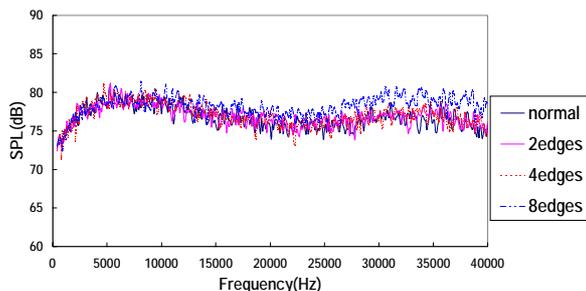
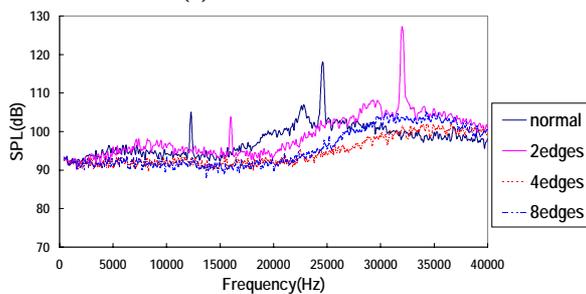


Fig.2 Photographs of Nozzle



(a) NPR=1.86



(b) NPR=3.9

Fig.3 Sound Pressure Spectra

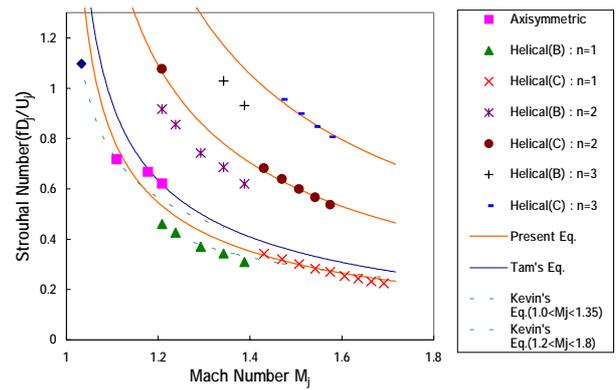


Fig.4 Frequency of Screech-Tone

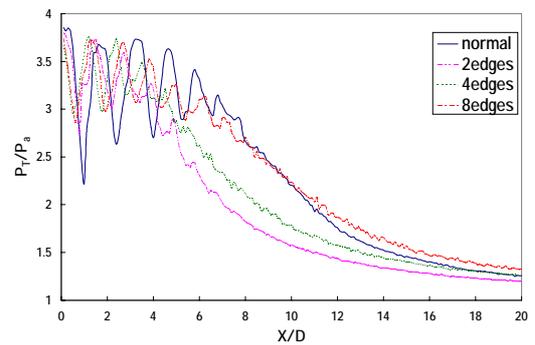


Fig.5 Axial total pressure distributions (NPR=3.9)



(a) Normal



(b) 4edges



(c) 8edges

Fig.6 Instantaneous Photographs (NPR=3.9)