

多孔管およびスロット管の空力音響特性に関する研究*

瀬戸 邦聰 (佐賀大) 酒井 恵一郎 (佐賀大院) 姉川 憲永 (佐賀大院)
大高 歳門 (佐賀大院)

1. はじめに

多孔管やスロット管は、機械式ジェット騒音低減法の中のチューブタイプに属し、騒音の原因ともなる衝撃波を弱めるのに有効である。一方で、多孔管やスロット管の推力については、流速から計算して運動量を求めた報告は存在するが、測定した研究はない。本研究は、多孔管とスロット管の推力と音響特性を測定し、特に多孔管の流れに対する穿孔方向を変化した場合を調べた。

2. 実験装置および方法

7.5[kW]のレシプロコンプレッサより圧縮された空気をエア・クーリングセパレータと冷凍式エア・ドライアーに通し、清浄な空気にした後タンクに貯蔵する。この圧縮空気をバルブ操作により所定の集合胴圧に保ち、ノズルおよび多孔管を経て防音室内の大気中に放出する。集合胴圧内圧力を大気圧で割ったものを圧力比とする。

2.1 消音装置

基本ノズルは出口直径 10mm 先細角 30 度の軸対称円錐型ノズルである。このノズルに多孔管を取り付けた状態を Fig.1 に示す。多孔管は噴流に対する孔の角度()を変化させて 30 °、90 °、150 ° の3 つについて考察した。特に 150 ° 方向の多孔管については孔径()、数の変化による空隙率の変化についても比較した(Table.1)。

スロット管はスロット幅を 2mm に固定して、スロット長さ(S)、スロット数(N)を変化させて実験した(Table.2)。

多孔管、スロット管共に管長(L)50mm、内径(D)10mm に統一した。また、これらの管と比較するために寸法は同じで孔やスロットのない直管(Base tube)を用意した。

2.2 音響測定

所定の集合胴圧に保った圧縮空気が先細ノズル及び多孔管、スロット管を経て半

無響室内(概略寸法 3.5×3×2m)の空气中に噴出させるとき発生する音を 1/2 インチコンデンサーマイクロホンで拾い、その信号をメジャーリングアンプにより増幅して、FFT アナライザーによって音圧レベルの測定、周波数分析を行った。測定位置はマイクロホンと多孔管、スロット管出口中心(ノズルのみの時はノズル出口中心)から同一水平線上かつ 600mm 離れたところで噴流軸に対し 30 度方向の位置とした。圧力比は、1.2 から 3.0 までは 0.2 刻み、3.0 以上では 3.4、3.8、4.0、4.8、5.2、5.6、6.0 で減圧する方向にバルブ操作を行った。

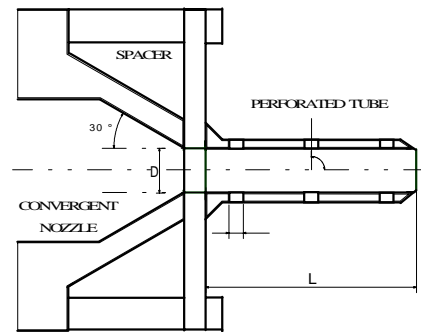


Fig.1 Configuration of a Convergent Nozzle and a Perforated Tube

Table.1 Dimension of Parameter

Perforated Tube			Porosity
O-type	30 °	1.5mm	0.063
N-type	90 °	1.5mm	0.164
B1-type	150 °	1.5mm	0.063
B2-type	150 °	3.0mm	0.240
B3-type	150 °	3.0mm	0.300

Table.2 Dimension of Parameter

Slotted Tube	N	S/D
4SL5	4	0.5
4SL10	4	1.0
4SL20	4	2.0
8SL5	8	0.5
8SL10	8	1.0
8SL20	8	2.0

* Study on aeroacoustic performances of perforated tubes and slotted tubes.
By K.Seto, K.Sakai, N.Anegawa and S.Otaka (Saga Univ.)

2.3 推力測定

噴流に対して垂直に直径 200mm の円盤を設置し、その円盤に噴流があたることによって生じる圧力をロードセルで測定し、ひずみゲージ式変換器用直流増幅器で増幅し、ビジグラフで読み取った。ノズル及び管の出口から円盤までの距離は 1cm、5cm、10cm、20cm、30cm で圧力比は 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 である。

3. 実験結果

3.1 音響測定結果

Fig.2 は圧縮空気が B 型管と O 型管、N 型管、ノズル及び直管から噴出する時に発する音の音圧レベルを、横軸に圧力比を取って比較したものである。最初は B 型管で比較を行う。図を見ると、B1 型管は直管に比べると約 2~6dB の消音効果が得られている。B2 型管は、直管と比べて最大約 11dB、ノズルに比べると最大約 13dB の消音効果が得られた。B3 型管も B2 型管に近い消音性能であった。消音効果を大きい順に並べると、B2 型管、B3 型管、B1 型管となる。次に空隙率の低い B1 型管と O 型管の音圧レベルを比較すると、圧力比 2.5 以下において、O 型管はノズル以上の音圧レベルになっている。これは噴流に対して 30° 方向の多孔管の時に発生するエッジトーンのためである。そのために O 型管は圧力比 2.5 以下では B1 型管を下回るが、圧力比 3 以上では正反対の結果となっていて、B1 型管に比べて約 1~3dB、直管に比べて最大約 7dB の消音効果が得られた。最後に空隙率の高い B2 型管と B3 型管及び N 型管の音圧レベルを比較する。空隙率の高い順に B3 型管、B2 型管、N 型管である。図から、N 型管の音圧レベルは直管に比べると約 1~5dB 低いが、B3 型管、B2 型管の消音効果を下回る結果となり、多孔管では最も消音効果が小さい結果となった。

Fig.3 は、Fig.2 と同じ条件でスロット管を用いて測定したものを比較した。図を見ると、4SL では 4SL10 が直管に比べて音圧レベルが最大 7dB、ノズルと比べると最大約 13dB の消音性能が得られ、8SL でも 8SL10 が直管に比べて最大約 3dB、ノズルと比べ

ると最大約 8dB の消音性能が得られた。この図からスロット管の違いにおける消音性能の差が現れている。つまり、スロットの数では 4 本が 8 本に比べて大きい消音効果が観測され、スロット長さでは $S/D=1.0$ が 4SL、8SL とともに大きい結果となったのである。このことから、スロット長さとスロット数には適正値があって 4SL10 がそれに近いと考えられる。

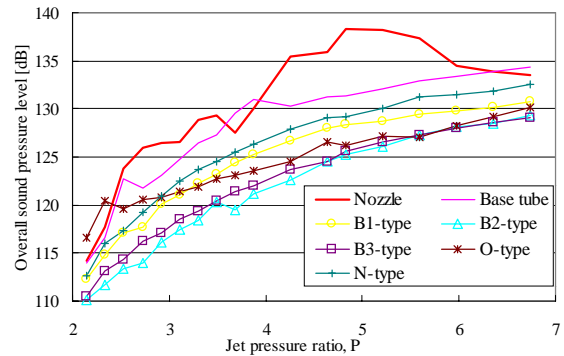


Fig.2 Variation of OASPL with Jet Pressure Ratio (measured at 30deg)

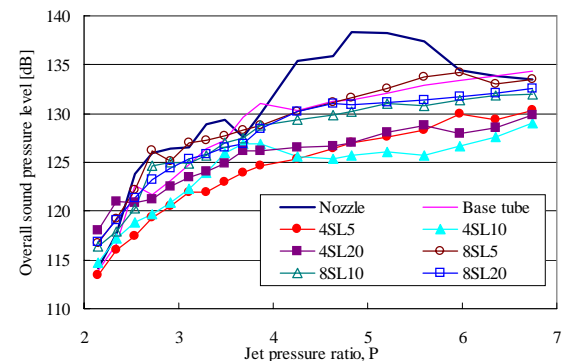


Fig.3 Variation of OASPL with Jet Pressure Ratio (measured at 30deg)

3.2 推力の理論値及び推力測定の結果

ノズルにおける推力(F)の理論値は、以下の式から求めた。

$$F = \dot{M}V_j + (P_j - P_0)A$$

ここで \dot{M} は質量流量、 V_j は出口速度、 P_j は出口静圧、 P_0 は大気圧、 A は出口面積である。Fig.4 は、算出されたノズル推力の理論値と実験によって得られた距離別のノズル推力の実験値を、横軸に圧力比をとって比較したものである。距離(h)とはノズル出口から円盤までのことで 1cm、5cm、10cm、20cm、30cm である。図より、 $h/D=1$ を除いては理論値に近い値になった。特に

$h/D=5$ の場合には、ほぼ理論値と同じ結果となった。 $h/D=1$ だけが理論値を下回る理由としては、ノズル出口と推力測定で使用した円盤との距離が接近しすぎてノズル出口を塞ぐような形となり集合胴圧と背圧の差が小さくなったからと考えられる。以上のことから、本実験で得られた推力は相対的な比較、検討する上で十分であると考えられる。距離の違いにおけるノズル以外の多孔管、スロット管の推力の変化についても、 $h/D=1$ を除いてはほとんど変化の小さい結果となった。噴流の流速は距離に従って減衰するが推力にあまり変化が見られない理由は、噴流が拡散してその分断面積が広がり運動量の変化は小さかった為である。よってここでは、Fig.4 と安定な測定が可能だったことから考慮して、距離 5cm を用いて推力の議論を行う。

Fig.5 は圧縮空気が多孔管、ノズル及び直管から噴出する時に発生する推力を、横軸に圧力比を取って比較したものである。B2 型管、B3 型管は直管に比べると推力が半分以下となっていた。空隙率の高い B3 型管の方が B2 型管より推力がすべての圧力比、距離において大きいことは意外な結果であった。B1 型管は B 型管の中では一番推力は大きいものの、空隙率が同じ O 型管がすべての圧力比において推力が大きい結果となった。

Fig.6 は、Fig.5 と同じ条件で 4SL を用いて比較したものである。Fig.6 で圧力比 2.9 以下においてスロットによる推力の違いが見られなかったので省略した。Fig.6 から 4SL5 と 4SL20 の推力が圧力比全体を通してほぼ同じ結果となり、4SL10 はそれを下回る結果となった。4SL5 は直管に近い形状だから推力も同様に直管に近い値になると予想できたが、スロットの長い 4SL20 の推力の大きさは意外な結果となった。その傾向は 8SL にも当てはまる。

4. 考察

過去の研究において先細ノズルに多孔管及びスロット管を装着することによって孔およびスロットから流出する噴流により流れが膨張加速し管出口で適正膨張に

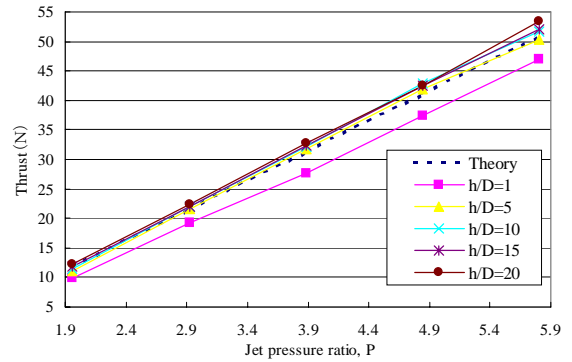


Fig.4 Comparison between measured and theoretical thrust of nozzle

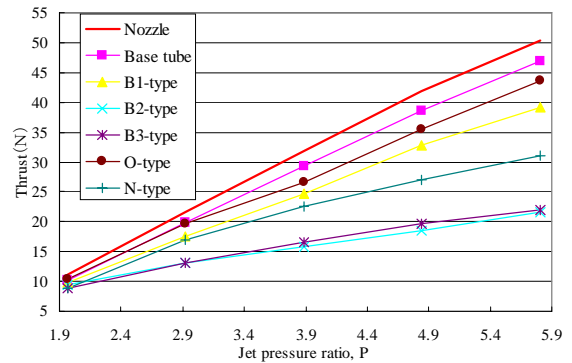


Fig.5 Variation of Thrust with Jet Pressure Ratio for Perforated Tube

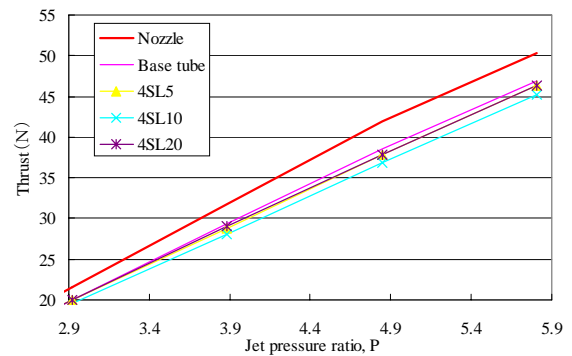


Fig.6 Variation of Thrust with Jet Pressure Ratio for Slotted Tube

近い状態が得られることによって推力は増加されると考えられてきた。しかし、どの管もノズルを越えることは出来なかったが、これはノズルや直管の場合、ノズル出口における静圧が大気中で膨張することにより過大評価したためでもある。多孔管やスロット管では出口でほぼ完全に膨張しているの正しい推力に近いが、摩擦力により低めの値しか示されなかったと考えられる。

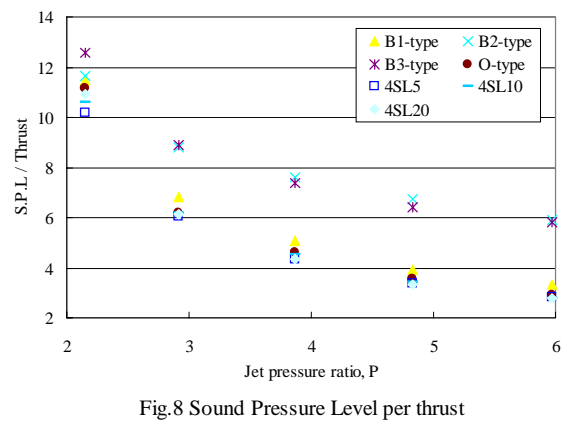
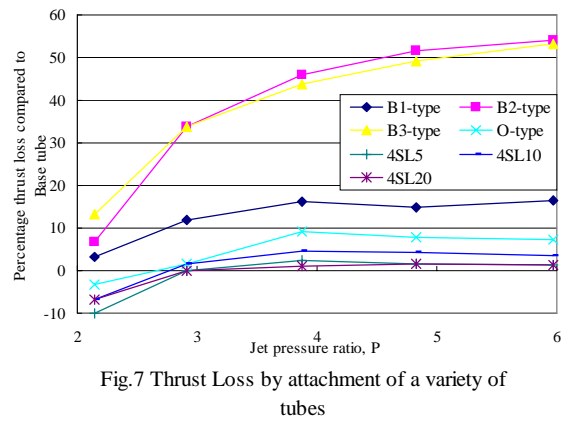
多孔管について音響結果と推力結果から考えると、噴流軸方向に対する孔の角度は小さい方が良い結果となった。空隙率は

の違いで音響結果と推力結果を考えると、音響結果では規則性はないが、推力結果については空隙率が低いほうが推力は増加し、大きい方が推力は減少する傾向がある。だが、B型管において空隙率がある値を越すとそれまでの傾向は影を潜め、変化は見られない。それは空隙率に適正値が存在するのではないかと考えることができる。一方、スロット管について4SLは8SLよりも騒音低減及び推力は大きい結果となった。スロット長さの違いで音響結果と推力結果を考えると、音響結果ではスロット長比 $S/D=1.0$ が騒音低減は最も大きく、推力は $S/D=0.5$ と 2.0 の場合が大きかった。

Fig.7は、直管に孔やスロットを入れることによる推力損失を知るため、直管の推力を他の管の推力で割ることで直管に比する推力損失を求めた。この図を見ると、B2型管、B3型管は全圧力比域で急激な推力の減少が見られ、圧力比6では約54%の推力損失であった。B1型管は圧力比4以上では推力損失に変化は無く最大約16%であった。O型管は、多孔管で最も低い推力損失で最大約9%であった。4SLは、圧力比3以下では推力が増加していて圧力比3以上でも最大約2~4%の推力損失に抑えられていた。スロット管は、多孔管に比べると推力損失はかなり小さい結果となった。スロット管の推力損失が小さい理由として、スロットから流出する噴流がそれ程推力損失をもたらさず、場合によっては不足膨張を緩和し推力を増加させたためであると推測される。ただ、この装置では出口静圧が大気圧より高いと過大評価されるので、その差が少ない多孔管では相対的な損失が過大評価された面もある。

Fig.8は各管の音圧レベルをそれぞれの推力で割ったものを縦軸に、圧力比を横軸にとったものである。この図から、スロット管は多孔管に比べて、騒音低減に伴う推力のロスが小さいことが分かった。スロット管では、低圧力比で4SL5が最も小さい値だが、圧力比の増加に伴いスロット管同士の差は小さくなっていった。

以上から、多孔管の中で消音性能の良かったB2型管は騒音低減が最大10dBで



52%の推力損失があり、推力損失の最も小さいO型管は騒音低減が最大7dBで9%の推力損失であった。スロット管については、消音性能の良かった4SL10では、騒音低減は最大7dBで推力損失は4%であり、推力損失の最も小さい4SL20は騒音低減が最大5dBで推力損失が1.4%であった。

5. 結論

- 1) スロット管は多孔管に比べて騒音低減に伴う推力損失は小さく、特に4SL10は、直管と比して最大7dBの騒音低減を推力損失4%で得られ、今回の消音装置の中では最良の結果を得た。
- 2) B型管は多孔管の中では騒音低減が最も大きい、それに伴う推力損失も他の多孔管に比べて大きいことが分かった。
- 3) 今回の実験結果から多孔管ではO型管、スロット管では4SL10が適正に近いと思われる、さらに最適化することにより推力当たりの音圧レベルは減少する可能性がある。