

216 直管に衝突する軸対称噴流せん断層の自励振動現象 (直管径がノズル径と異なる場合の自励振動現象)

Self-Excited Oscillation in an Axisymmetric Jet with a Coaxial Pipe (With different diameter between Pipe and Nozzle)

○学 中川 拓 (帝京大・院) 学 笹沼 和弘(帝京大・院)
正 小幡 輝夫(帝京大・理工)

Taku NAKAGAWA, Graduate Student, Teikyo University, Utsunomiya, Tochigi,
Kazuhiro SASANUMA, Graduate Student, Teikyo University, Utsunomiya, Tochigi,
Teruo OBATA, Teikyo University, Utsunomiya, Tochigi

Key Words: Axisymmetric Jet, Fluid Oscillation, Feedback Phenomenon, Sound Pressure Level

1. 緒論

軸対称噴流中に有限長直管(以下、パイプ)を噴流軸と同心上に配置した系で生じるせん断層の自励振動現象を実験により究明することを目的としている。これは流れに物体が作用した場合の空力騒音の観点から重要な意義を持つと考えられる。本報では自励振動の卓越周波数成分とパイプの気柱共鳴周波数成分が一致する場合を含めた条件にするようにパイプ径、流速を変化させ自励振動の特徴について考察している。

2. 実験装置と方法

テストセクションおよび座標系を図1に示す。空気は送風機により供給し、吸収型消音器で減音した後ノズル部へ導いた。ノズルは絞り比 8、口径 $d_0=28\text{mm}$ で長さ $l_0=100\text{mm}$ の直管部を設け、出口端部には 6° のテーパ加工を施した。挿入したパイプはノズル径との直径比 $d/d_0=0.7, 1.0, 1.3$ の3種類とし、パイプ前縁部にはノズル同様 6° のテーパ加工を施した。また開口端補正した実長 $l=392\text{mm}$ とした。このパイプを噴流と同心軸に配置し、微動装置により z 軸方向に移動させノズル-パイプ前縁部距離 l/mm (以下、エッジ距離)を変化させた。噴流速度は $u_0=10, 20\text{m/s}$ ($Re=18800, 37600$) とした。音圧測定には直径1インチの無指向性マイクロフォンと精密騒音計、FFTを用いマイクは z 方向に対し 45° とし中心軸から 300mm の位置に配置した。流れの可視化にはスモークワイヤ法を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 自励音特性および卓越周波数特性

噴流せん断層の離散渦がパイプ前縁に衝突したときの可視化を図2(a)に示す。かく乱(渦)がパイプ前縁に衝突すると圧力変動が上流に音速で伝ばし、遷移初期段階のせん断層を刺激する結果、かく乱周期が固定される。換言すると音の発生が自励振動現象を維持するうえで重要な役割を担っている。

次に $u_0=10\text{m/s}$ の場合のパイプにおけるエッジ距離に対する自励音の SPL および、その最大卓越周波数 f_p 特性を図3に示す。SPL はエッジ距離の増加に伴い極大 P_1 、極小 B_1 がいくつか見られ、パイプの気柱共鳴周波数 $nf_p (=436\text{Hz}, n=1)$ と f_p が一致する条件で P_1 が現れていることがわかる。またパイプ径の違いによって SPL の P_1, B_1 の値が異なることがわかる。この理由は、図2(b)、(c)からわかるように

渦輪がパイプ径の違いによりエッジの外側を移流する場合と内側を移流す場合があることから、渦がエッジに与える衝撃に違いがあるためであると考えられる。 f_p はロッド⁽¹⁾、リング⁽²⁾の場合と同様にエッジ距離が増加するのに伴い低周波数側に移行し、のこ歯状に変化している。しかしロッド、リングの場合と違い nf_p に引き込まれる傾向がある。比較のためにロッド、リング、パイプの初期運動量厚さ $\theta (=0.664(l_0 v/u_0)^{1/2})$ を用いて表示した無次元周波数 $St_\theta (=f_p \theta/u_0)$ と l/θ の関係を図4に示す。実線はリングの自励振動から得た回帰曲線⁽²⁾である。

3.2 噴流速度の違いによる影響

例として $u_0=20\text{m/s}$ 、 $d/d_0=1.0$ のパイプにおけるエッジ距離に対する自励音の SPL および、その f_p 特性を図5に示す。また比較のために $u_0=10\text{m/s}$ 、 $d/d_0=1.0$ の場合の自励音の SPL を図中に示す。 $u_0=20\text{m/s}$ の場合は $n=2, 3, 5$ の高い f_p が観測できる。この理由はエッジ間に存在する渦間隔が関係してくると考えられる。また $u_0=10\text{m/s}$ 場合に比べ、ノズル側にフィードバックされる圧力変動が大きくなるため SPL の P_1, B_1 の値が増加している。そして、エッジ距離の増加に伴い P_1 と B_1 の値の差が減少している。

3.3 SPL の極大の発生

エッジ距離の増加に伴い発生する自励音の SPL の P_1 を図6に示す。 $u_0=10\text{m/s}$ の場合は $u_0=20\text{m/s}$ の場合に比べ P_1 の発生が多く確認できる。この理由として、図5に示したように $u_0=20\text{m/s}$ の場合はエッジ距離の後半で f_p と nf_p に大きな差がないためである。パイプ径の違いで比較すると $d/d_0=1.0$ の場合が最も多く確認できる。

4. 結論

軸対称噴流と同心軸にパイプを配置した系で生じる自励振動現象について実験を行い、以下の結論を得た。

- (1) 卓越周波数がパイプの気柱共鳴周波数に近づくと強い音が発生し、これがフィードバックされせん断層の振動形態が音波の周波数と一致する。その結果卓越周波数は降下し、気柱共鳴周波数へ引き込まれた形態となる。また噴流速度が大きいと渦の移流速度も増加することなどから倍音が発生しやすくなる。
- (2) 噴流速度が一定の流れでは、パイプの径の違いにより渦輪がエッジの外側を移流する場合と内側を移流する場合があるため自励音の SPL の極大、極小の発生に影響が及び、 $d/d_0=1.0$ の場合に極大の発生が増加する。

参考文献

- (1) 笹沼・中川・小幡、ブロック合同講演会'01 鳩山 講論、219-220
- (2) 倉澤・小幡・平田・笠木、機論、53 - 488、B(1987)、1254

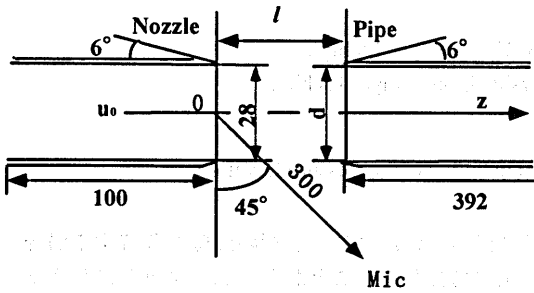
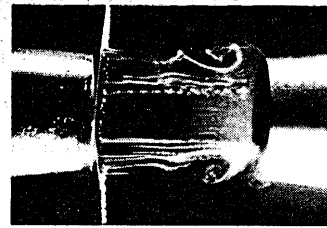
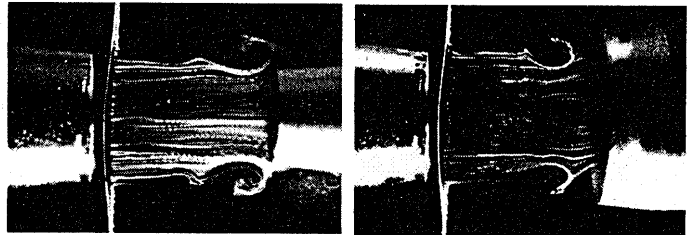


Fig.1 Impinging shear layer-pipe arrangement.



(a) $d/d_0=1.0, l=38\text{mm}$



(b) $d/d_0=0.7, l=38\text{mm}$ (c) $d/d_0=1.3, l=38\text{mm}$

Fig.2 Visualization of shear layer-pipe interaction pattern, $u_0=10\text{m/s}$

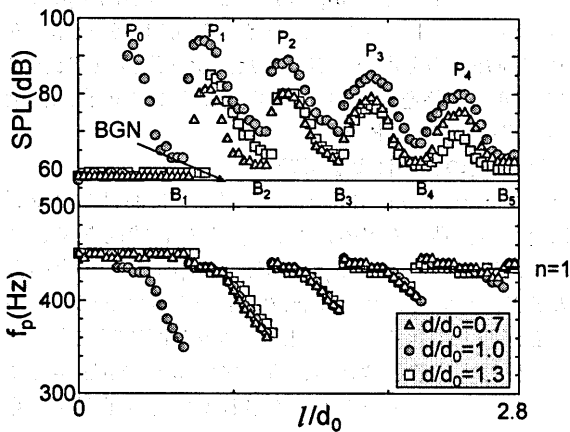


Fig.3 Variation of SPL and the dominant components of sound pressure with impingement distance. $u_0=10\text{m/s}$

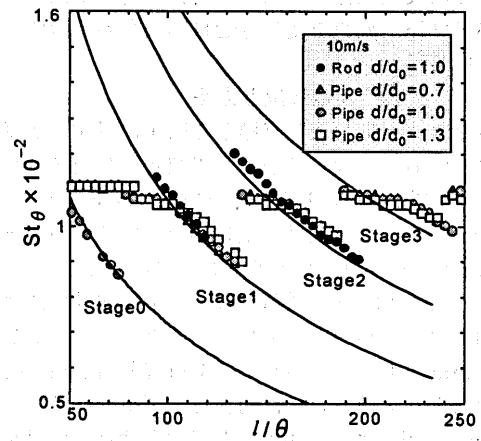


Fig.4 Strouhal number $St_\theta (=f\theta/u_0)$ as a function of l/θ for different stage. Solid lines show the ring's empirical curves.

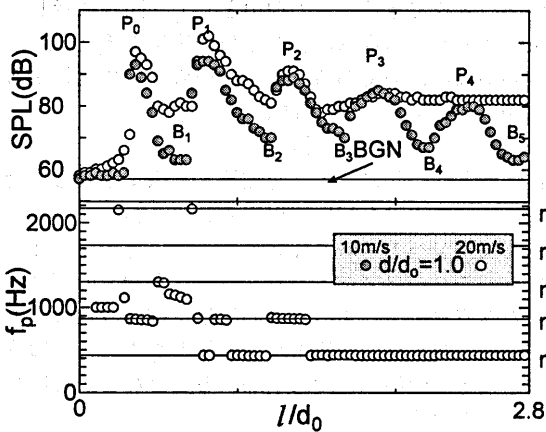


Fig.5 Variation of SPL and the dominant components of sound pressure with impingement distance. $u_0=20\text{m/s}$

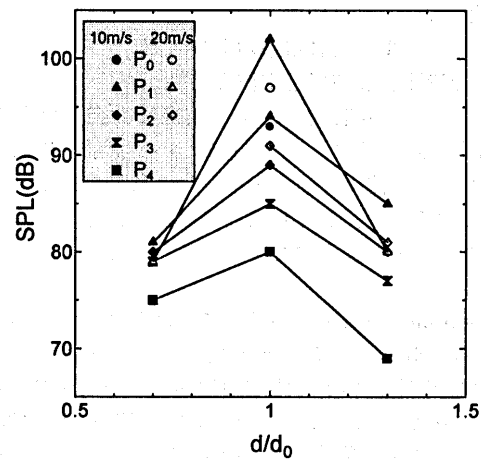


Fig.6 Relationship among peak SPL, pipe diameter and Jet velocity.