

不足膨張噴流が薄肉平板に衝突する際に平板に作用する力の変動

On oscillation of force acting on thin plate on which underexpanded jet impinges

○古谷 太一 (東電大) 高野 達也 (東電大) 遠藤 正樹 (東電大) 榎原 洋子 (東電大) 鈴木 宏昌 (産技高専)
Taichi FURUYA, Tatsuya KONO, Masaki ENDO, Yoko SAKAKIBARA,
Tokyo Denki University, Ishizaka Hatoyama-machi, Hiki-gun, Saitama, 350-0394,
Hiromasa SUZUKI, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, 1-10-40 Higashi-Ohi, Shinagawa-ku, Tokyo 140-0011

1. 序論

先細ノズルから臨界圧力比以上で大気中に気体を噴出すると、不足膨張噴流と呼ばれる超音速噴流が形成される。不足膨張噴流は様々な工業的場面で利用されており、レーザ加工時のアシストガスや、高い熱伝達特性を生かした熱強化ガラスの冷却噴流などその応用は多岐にわたる⁽¹⁾⁽²⁾。

不足膨張噴流は加工物に衝突することで不足膨張衝突噴流となり、プレート衝撃波が生じる。プレート衝撃波の形成によって流れ場には激しい振動が生じ、被衝突物表面における圧力も変動する。この際に高周波の騒音であるスクリーチ音が生じるため⁽³⁾、加工精度や作業効率に悪影響を及ぼすことが懸念されている。

このような背景から本研究では、薄肉平板上の力の変動から噴流の挙動を調べ、スクリーチ音との関係についても調査を行った。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

不足膨張噴流の構造と実験装置の概略図を図 1 に示す。実験装置下部に設置されたプレナムタンク内の圧力と実験室内の圧力の比は 3.0、ノズル直径 $D = 10$ mm、ノズル曲率半径 $R = 20$ mm である。また平板には昇降可能な機構が設けられており、ノズル出口から平板までの距離 L とノズル直径 D の比である L/D を 3.0 から 4.5 まで 0.1 刻みで変化させて測定を行った。

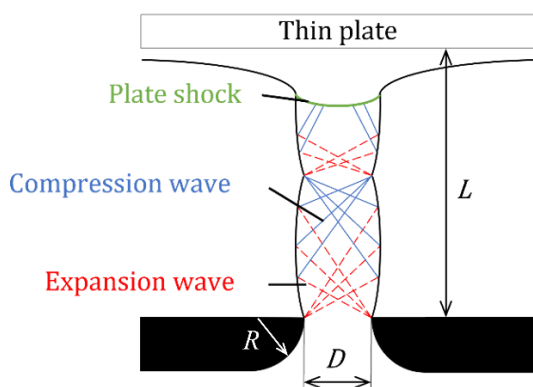


Fig. 1 Experimental equipment

2.2 ひずみの測定実験

ひずみゲージの配置を図 2 に示す。平板はアルミ製で直径 100 mm、厚さ 0.8 mm である。また、ひずみゲージは噴流衝突面の反対側に平板の中心を基準とした直径 20 mm の同一円上に等間隔で配置した。

ひずみゲージから得られた信号はアンプで増幅されたのち、PC に取り付けられた AD ボードへと送られ記録される。また、そのサンプリング周波数は 1 MHz である。

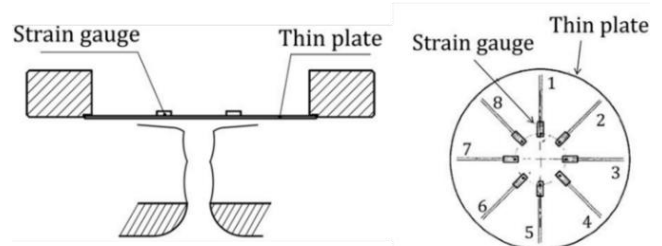


Fig. 2 Strain frequency measurement equipment

2.3 音響測定実験

音響測定に使用したマイクロホンの配置を図 3 に示す。マイクロホンとノズル中心軸の距離は 300 mm、高さは平板から噴流上流側に 5 mm の位置に設定した。

マイクロホンから得られた信号はアンプで増幅されたのち、PC に取り付けられた AD ボードへと送られ記録される。また、そのサンプリング周波数は 1 MHz である。

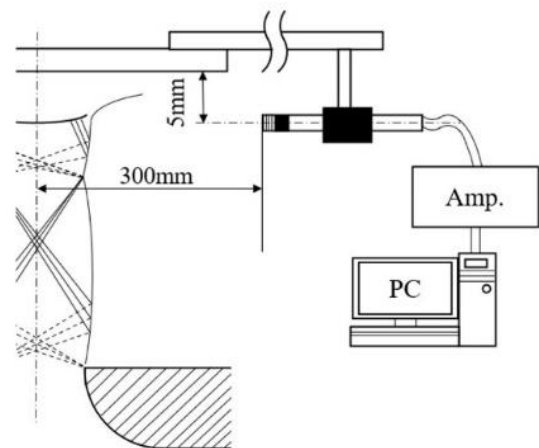


Fig. 3 Acoustic measurement experimental equipment

3. 結果と考察

3.1 周波数解析

各 L/D において 20 回ずつ音響測定した結果を FFT 解析し平均化を行った。 $L/D = 3.3$ の結果を図 4 に示す。図 4 に示すように、 $L/D = 3.3$ の条件において 30 kHz 付近に他の成分に比べ、大幅に突出したスクリーチ音とみられる卓越周波数成分が確認された。一方で、 $L/D = 3.7$ などの一部の条件においては、同周波数帯に微小な音圧上昇が確認された。

アルミ製平板の裏面における動ひずみを各 L/D において 20 回ずつ測定し FFT 解析した。その結果を測定回数で平均し、動ひずみの卓越周波数を調べた。 $L/D = 3.3$ の結果を図 5 に示す。図 5 の逆三角形で示されるようにスクリーチ音の周波数と同一の周波数帯に卓越成分が確認された。

図 6 に各 L/D の動ひずみの卓越周波数を逆三角形で、音響測定での卓越周波数(スクリーチ周波数)を白丸で示す。また、スクリーチ音の音圧を黒丸で同図に併せて示す。 $L/D = 3.0$ から 3.5 と 4.1 以上の区間においてスクリーチ音とみられる卓越周波数成分が確認された。一方で、 $L/D = 3.6$ から 4.0 の区間においては 30 kHz 付近に微小な音圧上昇が確認された。この区間は Henderson らが言及した無音域に相当すると考えられる⁽⁴⁾。

また、ひずみの卓越周波数とスクリーチ周波数はよく一致していることが確認された。この結果より、ひずみの周波数とスクリーチ音には密接な関係があると考えられる。また、Powell が述べたようにスクリーチ周波数の変化は噴流構造と深い関係があることから⁽³⁾、ひずみの卓越周波数成分と噴流構造には密接な関係があると考えられる。

3.2 噴流の振れとスクリーチ音

対称に位置する測定点(図 2 中の 1, 5)での動ひずみの差を求め、直交したもの(図 2 中の 3, 7)とのユークリッド距離を算出した。その RMS 値は平板上の噴流の振れの大きさの指標である。この結果を図 7 に示す。この値は図 6 においてスクリーチ音の卓越周波数成分がステップ状に変化する条件である $L/D = 3.1, 4.4$ において極小値となった。また、 $L/D = 3.6$ において低い値を示した。このことから、スクリーチ音がステップ状に変化する条件においては噴流の振れが小さくなり、安定すると考えられる。

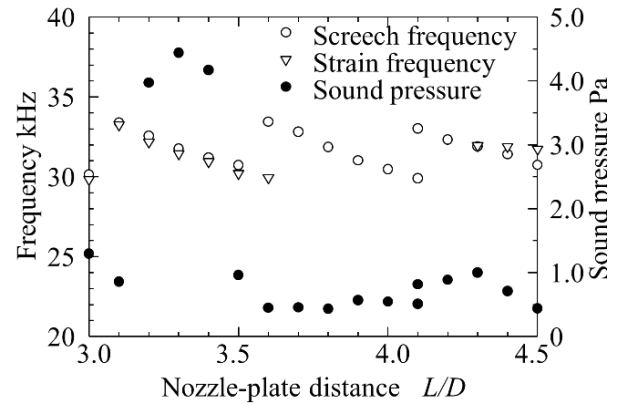


Fig. 6 Screech tone and strain frequency

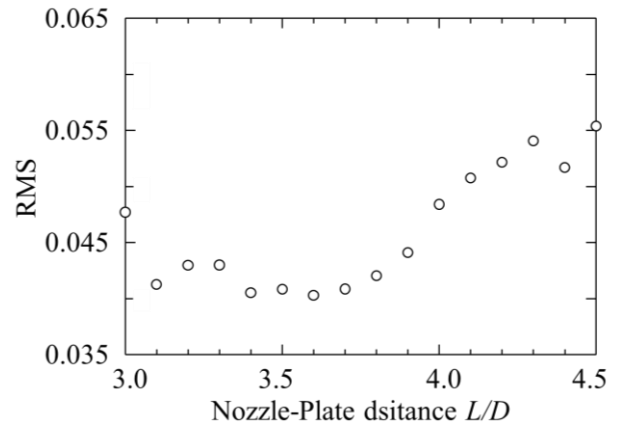


Fig. 7 RMS

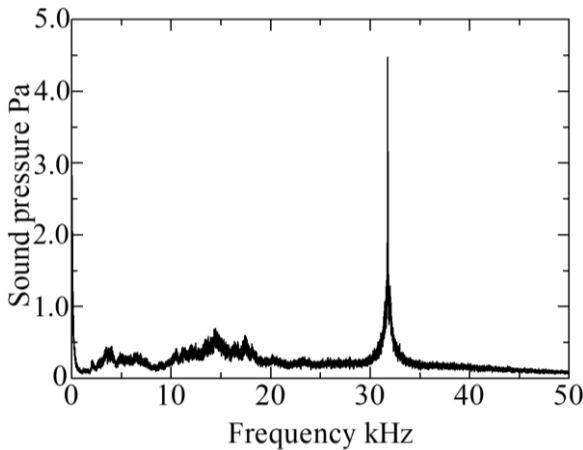


Fig. 4 Frequency characteristic of sound wave
 ($L/D = 3.3$)

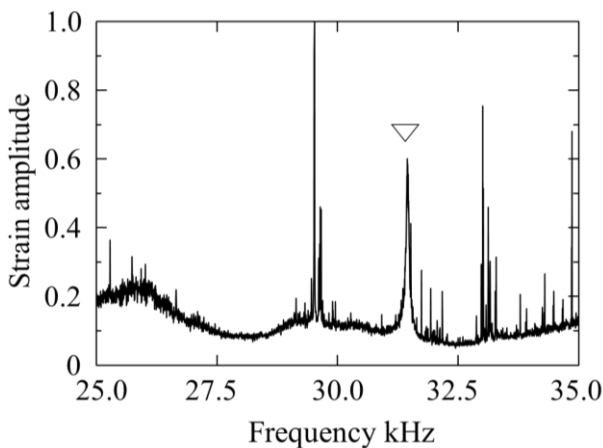


Fig. 5 Strain frequency ($L/D = 3.3$)

4. 結論

本研究では不足膨張噴流の平板衝突時に平板に作用する力の変動と噴流構造との関係を調査するために、平板の動ひずみ測定とスクリーチ音測定を行い、以下の結論を得た。

1. ひずみの卓越周波数とスクリーチ音周波数は L/D の増減に伴い変化し、それらはよく一致する。
2. ひずみの卓越周波数成分は噴流構造と密接な関係があると考えられる。
3. スクリーチ音の周波数がステップ状に変化するときひずみ測定におけるユークリッド距離の RMS 値は極小値をとる。このとき噴流は安定する。

参考文献

- (1) 金岡 優, 古藤 悟, CO2 レーザの切断品質とアシストガスに関する研究, 日本機械学会論文集編, 1993 年 59 巻 562 号 p.1952-1959.
- (2) 玉井弘二, 荒谷眞一, 小島英則, 高山和喜, 2.0mm 厚風冷強化ガラスに関する実験, 日本セラミックス協会学術論文誌, Vol.110, 2002, pp.299-303.
- (3) Alan Powell, The sound-producing oscillations of round underexpanded jets impinging on normal plates, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 83, No. 2, February 198.
- (4) Brenda Henderson, James Bridges, Mark Wernet, An experimental study of the oscillatory flow structure of tone-producing supersonic impinging jets, Journal of Fluid Mechanics, Vol.542, 10 November 2005, pp.115-137.