407 壁面噴流・キャビティ系流れにおいて発生する流力音の低減 (第3報; 浅いキャビティの場合)

Reduction of sound generated by the flow in a wall jet-cavity system
(3rd Report; The case of shallow cavity)

正 池田敏彦 (信州大) 正 阿部高明 (信州大) ○学 早川毅海 (信州大(院))
正 長澤忠延 (長野県短大) 正 吉田尚史 (信州大) 正 土屋良明 (信州大)

Toshihiko IKEDA, Shinshu University, Wakasato 4-17-1, Nagano
Takaaki ABE, Shinshu University
Takemi HAYAKAWA, Shinshu University
Tadanobu NAGASAWA, Nagano Prefectural College
Takashi YOSHIDA, Shinshu University
Yoshiaki TSUCHIYA, Shinshu University

Key Word : Fluid Mechanics, Wall jet, Cavity Tone, Sound Pressure Level, Sound Reduction

1. はじめに

一様流・キャビティ系の流れ場のみならず、壁面に隣接して噴出する噴流において壁面の状態が平面ではなく空洞(キャビティ)が存在する場合、このような流れ場においてもしばしば流力音が発生する。一様流・キャビティ系流れで発生するキャビティ音に関する報告は数多い^{1)~4)}。しかし、噴流・キャビティ系流れにおけるキャビティ音に関しては、著者の知る限りキャビティによる自由噴流に混合促進を目的とした中園ら⁵⁾の報告以外には見当たらない。中園らは長方形噴出口にキャビティを設置して、キャビティ音の周波数、強さと噴流の拡散の関係を調べている。しかしながら、壁面噴流によるタービン翼の膜冷却、境界層制御、IC 基盤の冷却、各種空調機器内の流れなどに関連して工学上の立場からのみならず、騒音環境問題の立場からも、壁面噴流・キャビティ系流れで発生するキャビティ音の特性を調べるとともに、キャビティ音の制御を行うことは重要である。

著者らは一連の研究において、まず噴出口流速、キャビティの長さや深さを変化させて、キャビティ音の音圧レベルや周波数スペクトルを求めた⁶⁾。次に、深いキャビティの場合について、キャビティ底にグラスウールを設置して共鳴を生じにくくさせることにより⁷⁾、また、キャビティ音の発生機構に関連して、ノズル噴出口に突起物を設置して⁸⁾キャビティ音の音圧レベルの低減化を試みた。

本報では、浅いキャビティの場合について、ノズル噴出口に三角形断面の突起物を設置して、キャビティ音の発生機構であるフィードバックループを弱めたり、あるいは破壊したりして、キャビティ音の音圧レベルの低減を試みる。

2. 実験装置及び方法

実験装置の概略を図1に示す。送風機から発生する騒音を減少させるため、内側にグラスウールを装備した収納箱1内の送風機2から、送出された空気は、冷却器3で冷却され、消音エルボ5と消音ダクト6により減音されて、整流チャンバ9に入る。チャンバ内に整流格子7とスクリーン8により整流された空気はノズル10から測定部へ噴出する。測定部にはキャビティと壁面が設置されている。

図2に測定部を示す。使用した長方形断面ノズルは、幅 $w=10\text{mm}$ 、深さ $h=150\text{mm}$ (縦横比 $h/w=15$)、絞り比 10 である。キャビティは噴出口端に設置し、その長さを L_s 、深さを

D とした。壁面はキャビティ下流端から流れ方向に 450mm の長さの亚克力板を用いた。板のスパン方向長さは 500mm である。噴流の噴出口流速 U_0 は 30m/s で一定とした。相当するレイノルズ数 $Re(=U_0 \cdot w/\nu)$ は約 2.0×10^4 である。ここで ν は空气の動粘度である。

図3に噴出口に設置した突起物を示す。丸田⁹⁾は低騒音風洞の開発にあたって、風洞ノズル先端部の境界層中に三角錐や半円錐を多数設置して、ノズル先端からの放出渦を非一様にするにより、ノズル吐出気流発生騒音を低減させている。

Fig. 1 Apparatus

Fig. 2 Test Section

Fig. 3 Projecting Objects(NP=3)

丸田の実験は、本実験における噴出口における噴出口への突起物の設置は噴流のせん断層に形成される渦を長辺方向に非一様にするであろうことを示唆している。これによりフィードバックループが弱められたり、あるいは破壊されたりして、キャビティ音が制御されることは十分予想される。製作が比較的容易であることから、突起物として頂角が60度で一辺が10mmの正三角形形状のものを用いた。突起物の厚さは0.5mmである。突起物の高さを a 、間隔を b 、突起物の数を NP とした。実験は、 $L_s=15\text{mm}$ 、 $D=10\text{mm}$ とし、 NP を変化させて、キャビティ音の音圧レベル SPL 、周波数スペクトルを求めた。また、キャビティ下流エッジ近傍における圧力変動の測定も行い、圧力変動の周波数スペクトルを求めた。

3. 実験結果

図4に SPL 、卓越周波数 $N3$ の音圧レベル SPL_{N3} (共存して現れる卓越周波数のうち、周波数の小さい順に $N1, N2, N3, N4, \dots$ とすると、この実験条件では $N3$ の音圧レベルが最大になる) と b/w すなわち NP の関係を示す。キャビティを設置しない場合(壁面噴流)の SPL 値は84.3dBである。 $a/w=0.1, 0.2$ の両者とも、 b/w の値を小さくする、つまり NP を増加させると、 SPL の値は減少し、しだいに壁面噴流のときの値に漸近する。また、 SPL_{N3} の値も減少する。図5に L_s を代表長さを用いたストローホル数 $St_{N3}(=N3 \cdot L_s/U_0)$ と b/w すなわち NP の関係を示す。 St_{N3} の値は a/w の値に無関係でほぼ一定であり、突起物を設置しない場合の値にほぼ等しい。

$NP=1$ の場合でさえも、 SPL の値は低下することがわかった。そこで突起物設置位置が SPL に及ぼす影響を調べるために $NP=1, a/w=0.5$ の場合について、 SPL 、 SPL_{N3} と突起物設置位置 Z_p/h の関係を図6に示す。 $Z_p/h=0$ は $Z=0$ に突起物を設置した場合であり、 Z_p/h の値を大きく(噴出口端に近づける)すると SPL の値は増加し、壁面噴流のときの値に漸近する。

突起物の設置により、流れが長辺方向(Z 軸方向)に非一様になることを調べるために、 $NP=0, 1, 2, 3$ の場合について、キャビティ下流エッジ近傍に生じる圧力変動の卓越周波数のスペクトル強度 $P_t/P_{t_{max}}$ と圧力変動の測定位置 Z_h/h の関係を調べた。この関係を図7に示す。ここで $P_{t_{max}}$ はスペクトル強度の最大値であり、 $NP=0$ のときの $Z_p/h=0$ の位置で測定したスペクトル強度である。 $P_t/P_{t_{max}}$ の値は NP の増加とともに全体的に小さくなる。 $NP=1$ の場合、突起物の設置位置($Z_p/h=0$)の下流付近($Z_h/h=0$ 付近)で $P_t/P_{t_{max}}$ の値は減少しており、この付近で $P_t/P_{t_{max}}$ は極小値を持つ。 $NP=2, 3$ の場合も同様であり、 $NP=2$ の場合、突起物の設置位置($Z_p/h=\pm 0.17$)の下流位置付近($Z_h/h=\pm 0.17$ 付近)で $P_t/P_{t_{max}}$ の値は極小値を持つ。また、 $NP=3$ の場合においても、突起物の設置位置($Z_p/h=0, \pm 0.25$)の下流位置付近($Z_h/h=0, \pm 0.25$ 付近)で $P_t/P_{t_{max}}$ の値は極小値を持つ。このように突起物の設置位置下流における $P_t/P_{t_{max}}$ の値は、突起物を設置していない位置下流の $P_t/P_{t_{max}}$ の値より小さくなる。このことは、流れが長辺方向に非一様になっていることを示唆している。

Fig.4 Relation between SPL, SPL_{N3} and b/w

Fig.5 Relation between St_{N3} and b/w

Fig.6 Relation between SPL, SPL_{N3} and Z_p/h

Fig.7 Relation between $P_t/P_{t_{max}}$ and Z_h/h

4. 結論

- (1) 噴出口に突起物を設置することにより、キャビティ音が制御されることがわかった。 a/w と NP により SPL の値は変化し、突起物を設置しない場合に比べて、最大で約10dB低下する。
- (2) $NP=1$ の場合でさえも、 a/w の値を大きくすると SPL の値は低下する。
- (3) $NP=1$ について、突起物の設置位置が SPL に及ぼす影響がわかった。
- (4) $P_t/P_{t_{max}}$ の値は突起物の設置位置下流に対応した位置で極小値をもち、流れは長辺方向に非一様になっていることがわかる。

参考文献

- 1) D.Rockwell and E.Naudascher, Trans.ASME,J.Fluids Eng.,100(1978),152.
- 2) S.A.Elder, T. M Farabee and F. C. DeMetz, J. Acoust.Soc Am., 72-2(1982), 532.
- 3) 御法川・他1名, 第44回応力連合講論, (1995), 313.
- 4) 丸田・他3名, 可視化情報, 16, Suppl. 1(1966), 127.
- 5) 中園・他2名, 機論, 63-608(1997), 1229.
- 6) 池田・他5名, 機構論, No.98-15(1998), 17.
- 7) 池田・他5名, 機構論, No.99-2(1999), 201.
- 8) 池田・他5名, 機構論, No.99-2(1999), 202.
- 9) 丸田, 機構論, No.940-10 (1994), 166.