106 セラミックピエゾ素子により平板境界層中に斜行波を生成する実験的研究

Experimental Study Generating Oblique Waves into the Flat Plate Boundary Layer by Ceramic-Piezo Actuators

○学 芝本 弘一(東北大学) 学 森田 潔(東北大院) 正 福西 祐(東北大学)

Koichi SHIBAMOTO, Kiyoshi MORITA, Yu FUKUNISHI, Tohoku University,
Aramaki-Aoba 01, Aoba-ku, Sendai

Key Words : Piezo Actuator, T-S Waves, Oblique Waves

1 緒言

これまで行われてきた境界層の乱流遷移過程に関する様々な研究の結果、遷移段階における流れ場の様子が明らかになりつつある。最近では空力抵抗の低減を目指した境界層の層流制御技術が重要視されている。

従来用いられてきたような、音波により主流に攪乱を導入する方法¹⁾や、境界層中にデバイスを入れて制御する方法^{2,3)}では、実際の流れ場での運用を考えたときには問題が多い。実用化の観点からすると制御装置が物体表面に埋め込まれていたり⁴⁾、表面に貼り付けられているなど、それ自身が流れを乱さない小さなスケールであることが望まれる。

Ebina ら⁵⁾は、平板壁面に厚さ約0.1mmの薄膜圧電フィルム(PVDF ピエゾフィルム)を貼り付け、周期的に微小振動させることにより、境界層中にT-S波、斜行波などを励起することに成功した。しかしながら、本来生成されるはずのない角度の大きい斜行波が励起され、制御は完全とは言えなかった。

本研究では、より大きな変位が得られる厚さ約0.3mmのピエゾセラミックを用いてEbina ら⁵⁾がPVDFフィルムを用いて行ったのと同様の実験を行い、斜行波の角度を制御することを試みた。

2 実験装置および実験方法

実験は、東北大学流体科学研究所の低乱流伝達風洞において、測定部を密閉型の状態にして行った。Fig.1(a)に実験装置の概観を示す。座標系は平板前縁中央部を原点とし、主流方向に x 軸、壁面垂直方向に y 軸、スパン方向に z 軸をとっている。平板は全長3200mm、幅1000mm、厚さ10mmのアルミニウム合金製で表面は滑らかに仕上げられている。平板前縁形状は、長短軸比が36:1の楕円形状であり、前縁部と平板部との継ぎ目で曲率変化を滑らかにし、受容性を減少させるために修正楕円形状が採用されている。

ピエゾセラミックは表と裏に電圧を印加することによって、圧電効果によりその形を微小変形させることができる。このことを利用し、ピエゾセラミックに電極や絶縁フィルムを取り付けたものをアクチュエータとして用いた。Fig.1(b)に概略図を示す。一枚のアクチュエータの大きさはスパン方向長さ30mm、主流方向長さ80mm、厚さ約0.65mmであり、これを $x=640$ mmの位置にアクチュエータの前縁がくるように、 x 軸の両側に4枚ずつ貼り付けた。さらにそのスパン方向の両端にはアクチュエータ端部の影響を無くすために、平板の端まで同じ厚さのダミーフィルムが貼り付けられている。8枚のピエゾセラミックのそれぞれは他の全てのアクチュエータと電気的に絶縁されているので、位相の異なる交流電圧を印加することによって、それぞれ別々の位相で流れ方向に伸縮させることができる。ピエゾセラミックへの印加電圧は50Vとし、Ebina ら⁵⁾が用いたPVDF ピエゾフィルムの70Vより小さいものとした。ピエゾセラミックの駆動周波数は110.0Hz、主流速度は14m/sとし、ピエゾセラミックの前縁及びその下流の測定領域が、中立安定曲線の不安定領域内に入るように選択した。

(b) Piezo Actuator
Fig.1 Experimental Setup

(a) All actuators operated by the same signed signals

(b) Neighboring actuators operated by opposite signed signals

(c) Every second actuator operated by opposite signed signals

Fig.2 Operating Modes of Actuators

Fig.2にピエゾセラミック群の駆動モードを示す。本実験では(a)全てのアクチュエータを同じ符号のsin波で駆動する同符号振動モード、(b)隣接するアクチュエータでsin波の符号を逆にして駆動する逆符号振動モード、(c)駆動させないアクチュエータを挟んでsin波の符号を逆にする一枚おき逆符号振動モードの3つのモードについて実験を行った。

3 実験結果および考察

Fig.3は全てのピエゾアクチュエータを同じ符号のsin波で振動させた場合の流れ方向速度変動の等値線図である。なお、速度変動はピエゾアクチュエータを駆動する信号を基準として位相毎にアンサンブル平均されており、色の薄い所が正の速度変動、濃い所が負の速度変動を表している。Fig.3においては速度変動の正の領域、負の領域が流れ方向に交互に並んでいることがわかる。これは進行波であり、その位相速度4.62m/sは主流速度の約33%と求められた。この値はT-S波の典型的な値である。

Fig.4は隣り合うピエゾアクチュエータでsin波の符号を逆にした逆符号振動モードで駆動した場合の流れ方向速度変動の等値線図である。主流方向に対して双方向に傾いた2つの斜行波が重なり合っており、スパン方向の波長がT-S波の波長の約1.5倍となっており、Craik型の3次元化モード⁶⁾に類似した流れ場になっていることがわかる。

Fig.5は振動させないアクチュエータを挟んでsin波の符号を逆にする一枚おき逆符号振動モードでピエゾアクチュエータを駆動した場合の、流れ方向速度変動の等値線図である。制御信号を操作するだけで斜行波の傾き角を変化させられることが示されている。スパン方向の波長は流れ方向の波長の約3倍となっており、予想通りの流れ場が作られている。Ebinaら⁵⁾がPVDFピエゾフィルムを用いてFig.5と同一の

Fig.3 Contour Map of Velocity Fluctuation u'/U_∞ (operating mode:(a), contour interval=0.16%, x - z Plane)

Fig.4 Contour Map of Velocity Fluctuation u'/U_∞ (operating mode:(b), contour interval=0.08%, x - z Plane)

Fig.5 Contour Map of Velocity Fluctuation u'/U_∞ (operating mode:(c), contour interval=0.16%, x - z Plane)

条件で行った実験の結果では、流れ方向の波長とスパン方向の波長がほぼ等しく、斜行波の傾き角が約45度になってしまっていた。Fig.5とEbinaら⁵⁾との結果の比較などから、ピエゾセラミックは、Ebinaら⁵⁾が用いたPVDFピエゾフィルムより小さい印加電圧でほぼ同じ大きさの変動を流れ場に導入でき、しかも斜行波の傾き角をアクチュエータの制御信号通りに制御できるという点で、斜行波の制御に明らかにより適していると結論づけられる。

4 結言

平板壁面に貼り付けられたピエゾセラミックアクチュエータを用いて、T-S波や斜行波を励起する実験的研究を行い、Ebinaら⁵⁾が用いたPVDFピエゾフィルムとの比較を行った結果、以下のような知見が得られた。

- (1) ピエゾセラミックは、PVDFピエゾフィルムよりも小さい印加電圧でほぼ同じ大きさの変動を流れ場に導入することができる。
- (2) ピエゾセラミックは、PVDFピエゾフィルムとは異なり斜行波の傾き角の制御を行った際にも問題が起きない。

5 参考文献

- 1) T. Kato, Y. Fukunishi and R. Kobayashi : Artificial Control of the Three-Dimensionalization Process of T-S Waves in Boundary-Layer Transition, JSME Int.J. B, vol.40, No.4 (1997) 536-541
- 2) B. G. B. Klingmann, A. V. Boiko, K. J. A. Westin, V. V. Kozlov and P. H. Alfredsson : Experiments on the stability of Tollmien-Schlichting waves, Eur. J. Mech., B/Fluids, 12,4 (1993) 493-514.
- 3) 加藤, 福西 : 微小振動装置によるトルミーン-シュリヒティング波の3次元化過程の制御, 日本機械学会論文集 B, 63, 613 (1997) 2952-2956.
- 4) S. A. Jacobson, W. C. Reynolds : Active control of streamwise vortices and streaks in boundary layers, J. Fluid Mech., 360 (1998) 179-211.
- 5) 海老名, 福西 : 薄膜アクチュエータによる境界層遷移の能動制御, 日本機械学会論文集 B, 65, 673 (1999) 3042-3047.
- 6) A. D. D. Craik : Non-linear resonant instability in boundary layers, J. Fluid Mech., 50 (1971) 393-413.