

前向き／後ろ向きステップにおけるはく離再付着流の能動制御

菊地 聡*、福西 祐*

Active Control of a Separation-Reattachment Flow after a Forward / Backward Facing Step

by

Satoshi Kikuchi and Yu Fukunishi

Tohoku University

ABSTRACT

An experimental investigation to control a separation-reattachment flow after a forward facing step and a backward facing step is performed. Two different systems are used for the control. One is small plates manipulated by piezo actuators, and the other is a wire oscillated by electromagnetic induction. These systems are capable of controlling the flow along the spanwise direction to oscillate at different phases. Experimental results show that the spanwise phase of the separation-reattachment can be manipulated without increasing flow disturbance using this system.

Key Words: Separation-reattachment flow, Active control, Step

1. 緒 言

近年、輸送機器の高速化に伴い、空力騒音の低減の必要性がますます重要になってきている。流れの変動により発生する空力騒音を減らすためには流れの制御がまず必要となる。流れの制御方法の一つとして音を入射する方法^{[1],[2]}があるが、輸送機器周りの流れの制御を考えた場合、音を用いる方法には音源の設置位置等、実用化にあたっての問題点が多い。音を入射する制御において重要なのは音により微小振動する空気と物体との相対運動であると考えられることから、本研究では音を入射する代わりに物体を局所的に振動させる試みを行なった。

本研究で使用した供試体は、再付着点の前後への移動が二重極音源となると考えられている前向きステップを持つ平板および後ろ向きステップを持つ平板である。音源の一つと考えられる再付着点の前後への移動を制御できることを目標に、はく離点に

おける速度変動の位相制御を試みた。そのために本研究ではステップから主流方向に突き出したプレートを振動させる方法を用いた。発生音の減少のため速度変動のスパン方向の位相を変化させることを念頭においているため、圧電素子により駆動される短いプレートをスパン方向に並べて、導入する攪乱の位相をスパン方向に変えることができるようにした。また、電磁誘導により振動するワイヤを用いた制御も試みた。この場合もスパン方向位置毎に異なる位相で振動することができるようになっている。

2. 実験方法

実験は東北大学流体科学研究所の小型低乱風洞を用いて行った。前向きステップを持つ平板および後ろ向きステップを持つ平板の2種類の供試体を用い、主流速度 U_0 は 10m/s で測定を行った。供試体の寸法は全長が 535mm、幅 250mm であり、ステップの位置は

* 東北大学

前向きステップを持つ平板では平板前縁から 250mm の位置、後ろ向きステップを持つ平板では 285mm の位置である。また、ステップの高さ H は 10mm となっており、ステップの前方での境界層厚さよりも十分に大きくなっている。座標系は下流側平板のステップの角の-span方向の中央を原点とし、主流方向に x 、高さ方向に y 、span方向に z としている。

流れを制御するために 2 種類の方法によりステップの角で微小擾乱を与えた。その一つは図 1 に示す積層型圧電素子による方法である。圧電素子により

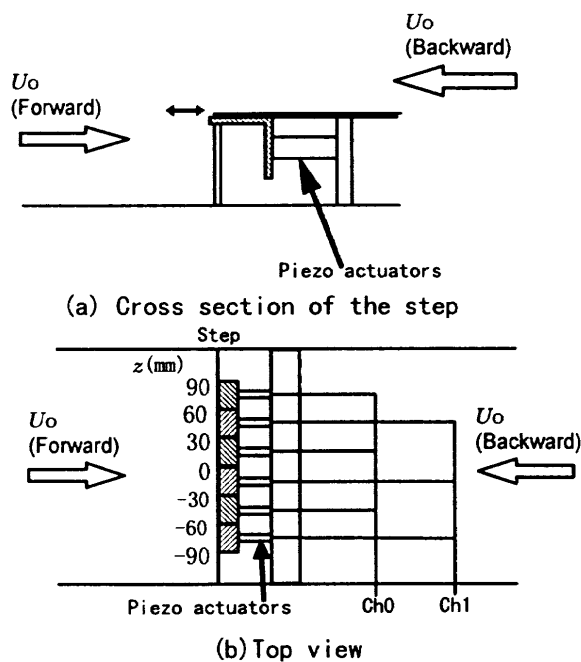


図1 制御装置 (圧電素子)

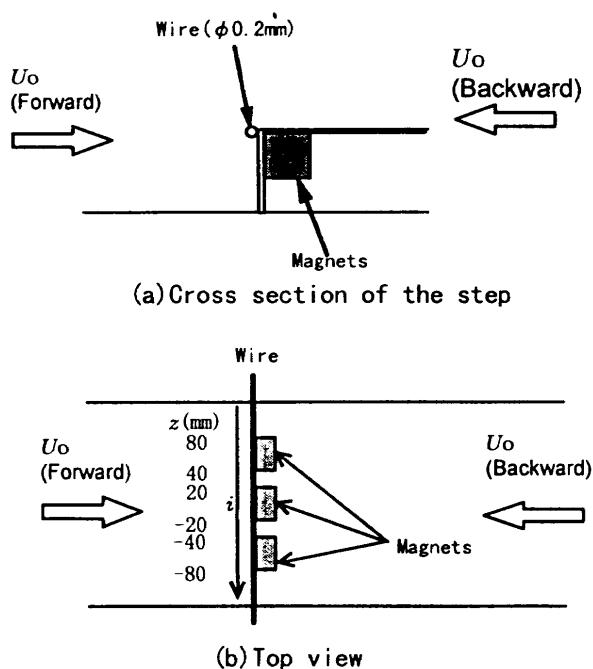


図2 制御装置 (振動ワイヤ)

厚さ 1.0mm で幅が 30mm のプレートを主流方向にステップの角から突き出すように設置し動かしている。このプレートを図 1 のように span方向に 6 枚並べてある。圧電素子の振動を電氣的に制御することによりこの 6 枚のプレートを異なる位相で振動させ、ステップで span方向に異なった位相の擾乱を与えることが可能なシステムとなっている。振動周波数 f_p は 800Hz で一定としている。振動のパターンとしては span方向にすべて同じ位相で振動させた同位相モードと、span方向に交互に半波長ずれた位相で振動させた逆位相モードの 2 種類を用いた。

もう一つの方法は図 2 に示す電磁誘導を用いる方法である。永久磁石をステップ内に固定し、線径 0.3mm のエナメル線をステップの角に設置した。そのワイヤに交流電流を流すことで、電磁誘導によりエナメル線が振動する。磁石の固定位置は、span方向位置で $y/H = -8 \sim -4, -2 \sim 2, 4 \sim 8$ であり、エナメル線は磁石の固定位置のみが自由に動くようになっており、それ以外の部分はステップに固定されている。また、電磁誘導の場合の振動のパターンは、3 個の永久磁石の極をそろえて固定した場合の同位相モードと、中央の永久磁石の極を反対にして作り出せる逆位相モードを用いた。電磁誘導による制御法では、周波数 f_w は 600Hz で一定とし、また、その電流は 2.0A で一定とした。

流れの測定には熱線流速計と I 型プローブを使用し、コンピュータ制御の 3 軸トラバース装置にプローブを取り付けることにより、多点の自動測定が可能となっている。

3. 実験結果

3.1 圧電素子による制御

速度変動が平板の振動により変化しているかを見るために高さ一定の xz 面上で速度変動を測定し、圧電素子の振動に用いた信号を基準信号として 500 回アンサンブル平均した結果を速度変動の等値線図として表したものが図 3、図 4 である。図 3 が前向きステップの結果を、図 4 が後ろ向きステップの結果を示している。測定位置は、前向きステップでは $y/H=0.35$ 、後ろ向きステップでは $y/H=1.1$ である。振動周波数は図 3、4 とも 800Hz である。どちらの供試体でも (a) の同位相モード振動させた場合では、span方向に同位相の速度変動が存在していることがわかる。(b) の逆位相で振動させた場合を見ると、振動プレート境目である $z/H=-3$ 付近で速度変動の正負が反転しており、span方向に離れた $z/H=-1.5$ と $z/H=-4.5$ を比較すれば正負逆の速度変動が存在しているこ

とがわかる。これらの結果より、流れの速度変動がそれぞれのスパン方向位置での平板片の振動に追従しており、この装置でステップからのはく離の位相を制御できることが示された。

3.2 振動ワイヤによる制御

振動ワイヤを用いた供試体において、高さ一定の xz 面で測定した速度変動のアンサンブル平均した

結果を示す。測定高さは振動プレートを用いた測定と同じであり、アンサンブル平均の基準はワイヤに流した電流の信号である。図5に前向きステップの結果を、図6に後ろ向きステップの結果を示す。この図を見てわかるようにワイヤを振動させた場合にも、平板片を振動させた場合と同様に、スパン方向の組織的な速度変動が現われており制御ができています。

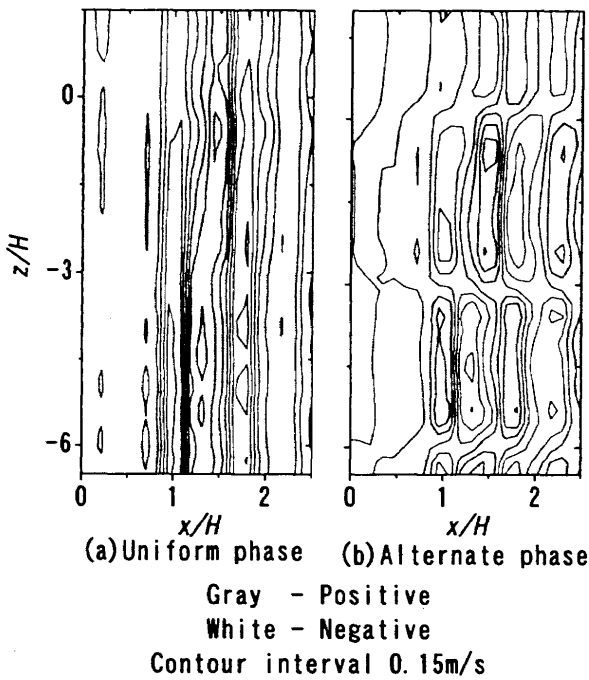


図3 アンサンブル平均した速度変動のコンター図 (前向きステップ, $f_p=800\text{Hz}$, $y/H=0.35$)

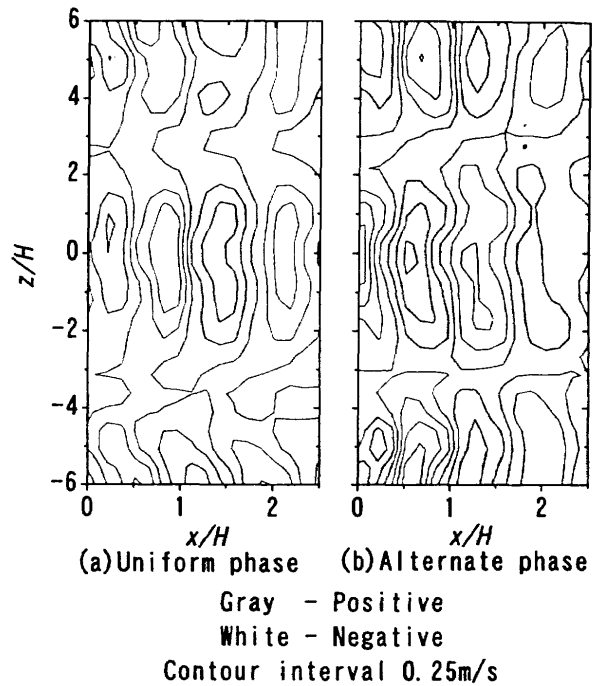


図5 アンサンブル平均した速度変動のコンター図 (前向きステップ, $f_w=600\text{Hz}$, $y/H=0.35$)

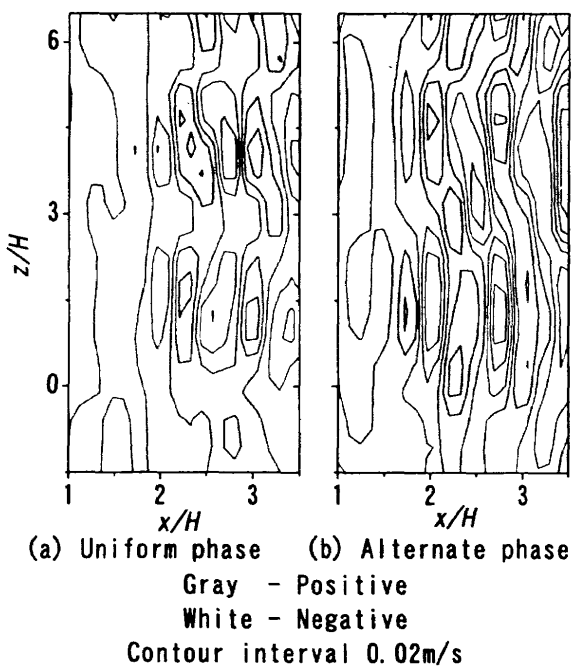


図4 アンサンブル平均した速度変動のコンター図 (後ろ向きステップ, $f_p=800\text{Hz}$, $y/H=1.1$)

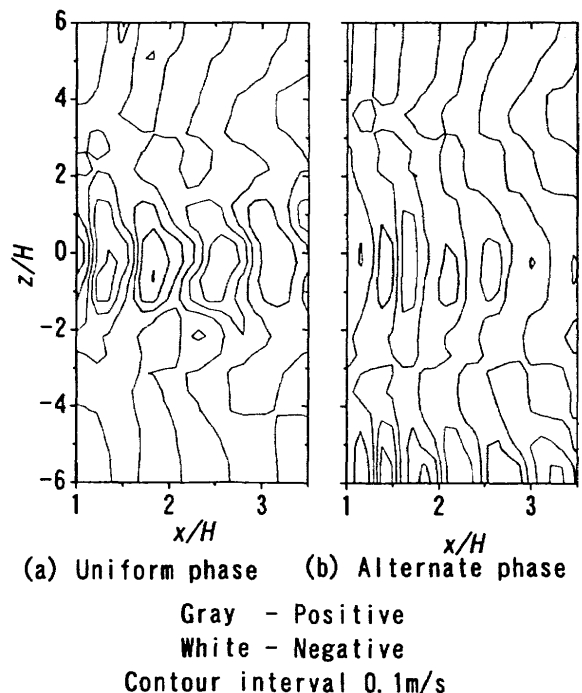


図6 アンサンブル平均した速度変動のコンター図 (後ろ向きステップ, $f_w=600\text{Hz}$, $y/H=1.1$)

ことがわかる。

3.3 制御による乱れの変化

振動の有無による速度変動の rms 値の変化を図 7, 8 に示す。図 7 は圧電素子でプレートを動かして制御を行なった場合、図 8 は振動ワイヤにより制御を行なった場合の前向きステップにおける結果である。どちらの図においても全く振動させなかった場合と振動による制御を行なった場合で、流れの乱れ強さにほとんど変化は見られない。後ろ向きステップにおいても同様のことが確認されており、今回用いた 2 種類の制御方法ではほとんど流れを乱さないことがわかった。

結 言

本研究で用いた圧電素子によりプレートを動かす

方法および振動ワイヤによる方法で、はく離再附着流の位相の制御が可能であることを示した。また、その時、流れをほとんど乱していないことを示した。

参考文献

- (1) 小林, 福西, 西川, 平板境界層遷移過程の音波に対する受容性に関する実験的研究, 日本航空宇宙学会北部支部講演論文集, (1993), 54-59.
- (2) Nishioka, M., Asai, M., & Yoshida, S., "Control of Flow Separation by Acoustic Excitation," AIAA Journal, Vol. 28, Nov. 1990, pp. 1909-1915

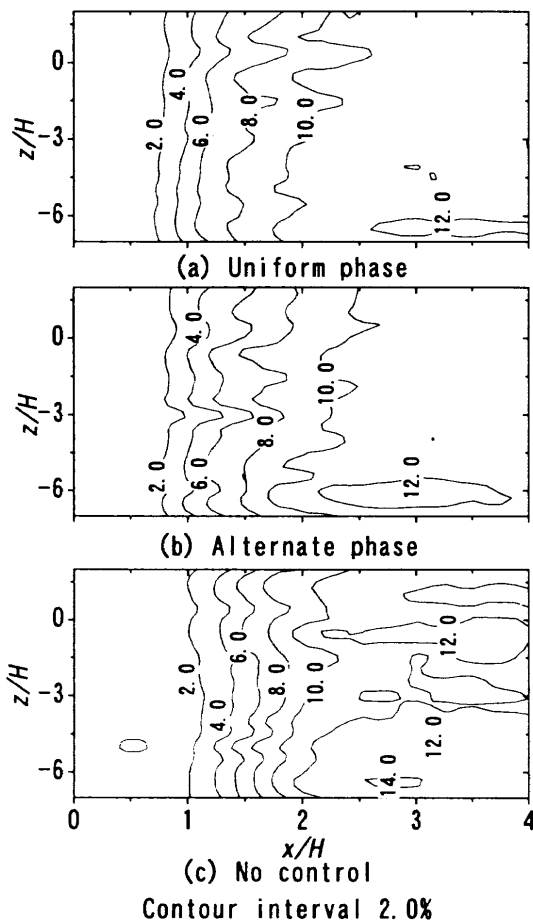


図7 速度変動の rms のコンター図
(前向きステップ, 圧電素子,
 $f_p = 800\text{Hz}$, $U_0 = 10\text{m/s}$, $y/H = 0.35$)

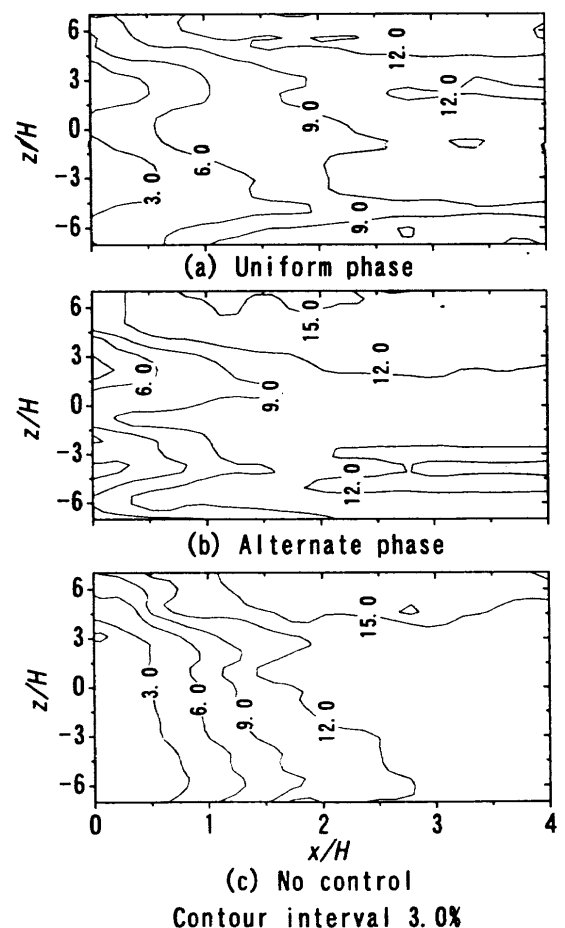


図8 速度変動の rms のコンター図(xz面)
(前向きステップ, 振動ワイヤ,
 $f_w = 600\text{Hz}$, $U_0 = 10\text{m/s}$, $y/H = 0.35$)