

渦発生ジェットによるディフューザ流れのはく離制御

A Separation Control of the Diffuser Flow by Vortex Generator Jet

○東裏雅司（東理大工），栗原啓（東理大工），森岡禎（東理大工），本阿弥眞治（東理大工）

Masashi Higashiura, Hiroshi Kurihara, Tadashi Morioka and Shinji Honami
Department of Mechanical Engineering, Tokyo University of Science, 1-3 Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo

In order to establish the active control system in the diffuser flow by using the vortex generator jets (VGJs), it is necessary to understand the detailed suppression mechanism of the flow separation in the diffuser. A skew angle of an injection hole located upstream of the diffuser throat can be changed from 15 to 90 deg. Optimal conditions are studied experimentally by systematic variation of two parameters, jet velocity ratio and jet skew angle. A micro wall flow sensor was used for measurement of forward flow fraction. It is found that VGJ makes the detachment point move in the downstream direction and reduces a length scale of a stalled region.

1. 結論

はく離流れは、エネルギー損失や振動など工学上好ましくない現象であるが、混合促進など、工学的に有効な面を併せもつ。故に、はく離流れを抑制するだけでなく、はく離流れを制御することが望ましい。動的なはく離制御を可能とする技術として、渦発生ジェット（VGJ）が近年注目されており、数多くの研究がなされ、誘起される縦渦の挙動や、はく離制御の有効性が明らかにされている^{1,2)}。また、ジェットを吹出した場合におけるはく離流れの流動機構を明らかにするため、数種のジェット吹出しパラメータとジェットを吹出した場合のはく離流れに与える影響との関係について明らかにされている。著者らははく離点が固定した後方ステップにおいて、再付着点の制御を実施し、ジェットと主流との速度比 VR とジェット吹出しピッチについて、はく離流れに与える影響を明らかにしたが³⁾、ジェットを吹出した場合におけるはく離流れの流動機構を説明するには不十分である。本研究では、はく離点が移動するディフューザ流れに変え、制御対象を再付着点からはく離点に変更し、単一のジェットを吹出した場合における実験結果を報告する。

2. 実験装置及び実験方法

流路は図1に示す片開きディフューザを用いた⁴⁾。入口流路高さは $H=20\text{mm}$ 、入口アスペクト比 7.5 である。開き角を $\alpha=10^\circ$ とし、ディフューザ部流れ方向長さは $L=400\text{mm}(=20H)$ である。助走路とディフューザは曲率 $r=80.2\text{mm}$ で滑らかに接続した。図1に示すようにディフューザ入口接合部の壁面の曲率中心を座標原点とし、流れ方向を X 、流路高さ方向を Y 、スパン方向を Z と定義する。空気を作動流体とし、 $X/H=-37.5$ 、 $Z/H=0$ を基準点とし、基準点主流速度は $U=20\text{m/s}$ (H を代表長さとした $Re_H=2.7\times 10^4$) に設定した。この時、拡大壁のみではく離が生じていることを確認した。VGJ は図2に示す $X/H=-3.75$ 、 $Z/H=0$ の位置にピッチ角 $\phi=45^\circ$ 、直径 $d=2\text{mm}$ のジェット孔を1つ設けた。ジェット孔は構造上、回転半径が 5mm となる。ジェット孔はスキュー角を $\theta=15^\circ\sim 90^\circ$ に回転することができ、ジェット速度は、ジェット孔上流部に設置したプレナム室の圧力を用い、予め求めておいた吹出し速度とプレナム圧との関係から設定した。

実験ではジェットの VR とジェットと主流とのスキュー角 θ を変化させ、ディフューザ壁面の順流率と壁面静圧を計測した。順流率は壁面近傍の流れの順逆流を検知可能なマイクロフローセンサ（MFS）を用い、 $X/H=0\sim 15$ において計測した。壁面静圧は、 $X/H=-5\sim 25$ において計測した。またスキュー角を変化させた場合、ディフューザ部スパン全域の壁面近傍流れをタフトにより可視化した。

3. 実験結果及び考察

図3(a)に $\theta=90^\circ$ で、 $VR=0\sim 3.5$ と変化させた場合の順流率 γ_p 分布を示す。順流率 γ_p は単位時間当たりの流れの向きが主流方向である時間割合とし、はく離点 X_s を順流率 50% の位置と定義する。 $VR=0.5$ でははく離流れに与える影響が小さいが、 VR の増加に伴いはく離点が下流に移動し、 $VR>2$ では、はく離が生じていない。 $VR>2$ の順流率分布は等しいので、 $VR>2$ では、はく離流れへの影響も飽和していると考えられる。図3(b)に $VR=2$ で、 $\theta=15^\circ\sim 90^\circ$ と変化させた場合の順流率分布を示す。 $\theta=0^\circ$ は吹出し無しの場合である。 θ が 90° に近づくにつれ、はく離点が下流に移動する。以上より、速度比 VR の増加ならびにスキュー角 θ が 90° に近づくにつれ、順流から逆流へと遷移する領域が広くなる。その結果はく離点を下流へと移動させる。

図4(a)に $\theta=90^\circ$ で、 $VR=0\sim 3.5$ と変化させた場合の壁面静圧係数 C_{pw} 分布を示す。壁面静圧係数 C_{pw} は各 X 座標での壁面静圧と基準点壁面静圧との差を基準点動圧で無次元化した値である。点線は順流率分布から求めたはく離点位置である。図3(a)と同様、 VR の増加に伴い C_{pw} が増加するが、VGJ によるはく離流れへの影響が顕著に表われない。図4(b)に $VR=2$ で、 $\theta=15^\circ\sim 90^\circ$ と変化させた場合の C_{pw} 分布を示す。図3(b)と同様、 θ が 90° に近づくにつれ、 C_{pw} は増加するが、VGJ によるはく離流れへの影響は顕著に表われず、 C_{pw} は順流率に比べ、VGJ のはく離流れに与える影響を顕著に反映せず、はく離領域の流動機構の把握には適さない。

図5にタフトによる可視化の結果を示す。吹出し無しの場合を(a)、 $\theta=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ の場合をそれぞれ(b),(c),(d)とする。 $VR=2$ で Z 軸負方向に吹出した。 θ が 90° に近づくにつれ、はく離領域がジェット吹出し方向に移動し、S,U（図5中記号表参照）である領域が増大し、T,Fである領域が縮小している。VGJにより誘起される縦渦²⁾は、ジェット吹出し側では、はく離領域が移動し、反対側では、はく離を抑制していると考えられる。

4. 結論

- 1) VGJ は、はく離の発生を妨げ、はく離点を下流に移動させる。
- 2) 順流率のほうがはく離抑制効果の評価には C_{pw} より適している。

5. 参考文献

- 1) Johnston, J.P. & Nishi, M.: *AIAA J.*, 28-6 (1990) 989
- 2) Compton, D.A. & Johnston, J.P.: *AIAA J.*, 30-3 (1992) 640
- 3) 森岡, 本阿弥: 機械学会論文集 B 編, 67-656 (2001) 876
- 4) Buice, C.U. & Eaton, J.K.: *J. Fluid Eng.*, 122 (2000) 433

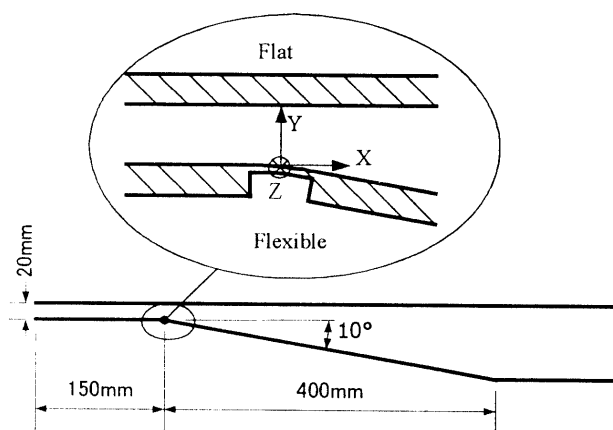


Fig 1. Wind tunnel

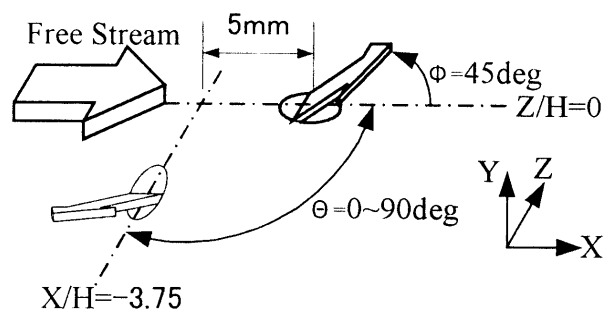
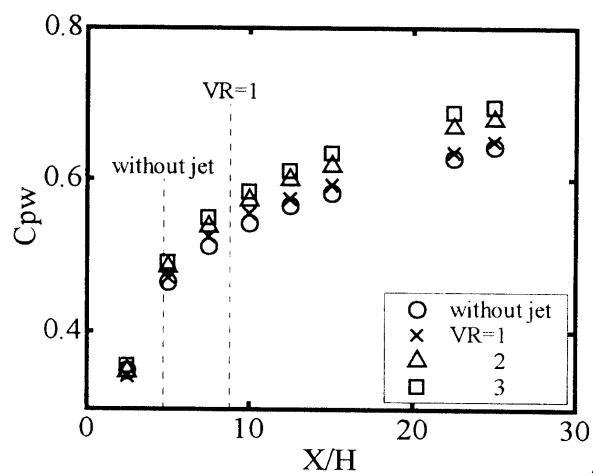
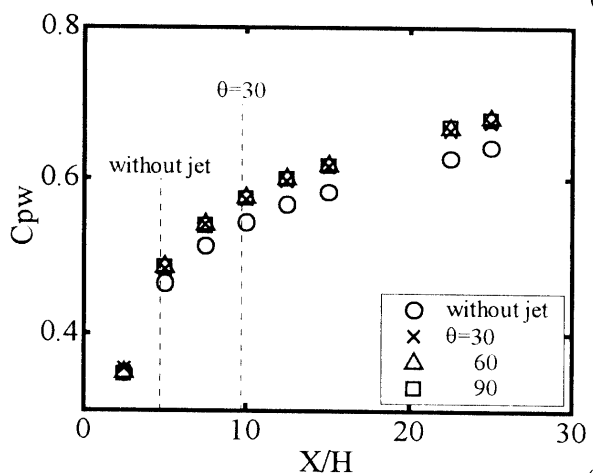


Fig 2. VGJ injection arrangement

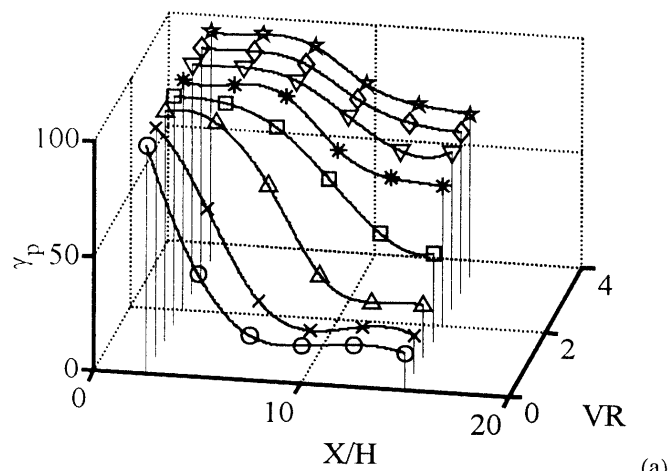


(a)

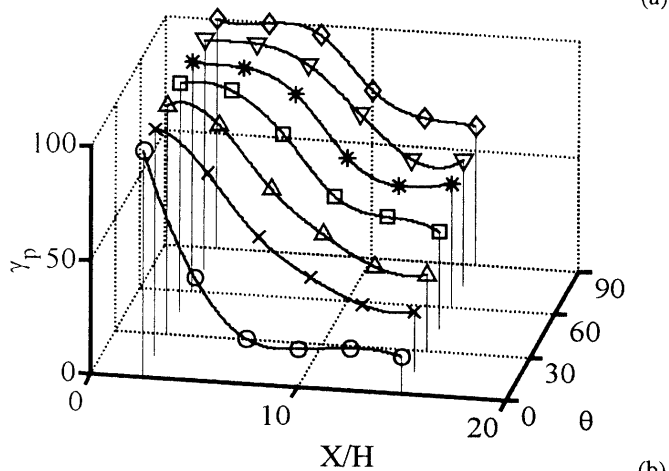


(b)

Fig 4. Diffuser effectiveness (a) VR, (b) θ



(a)



(b)

Fig 3. Forward flow fraction (a) VR, (b) θ

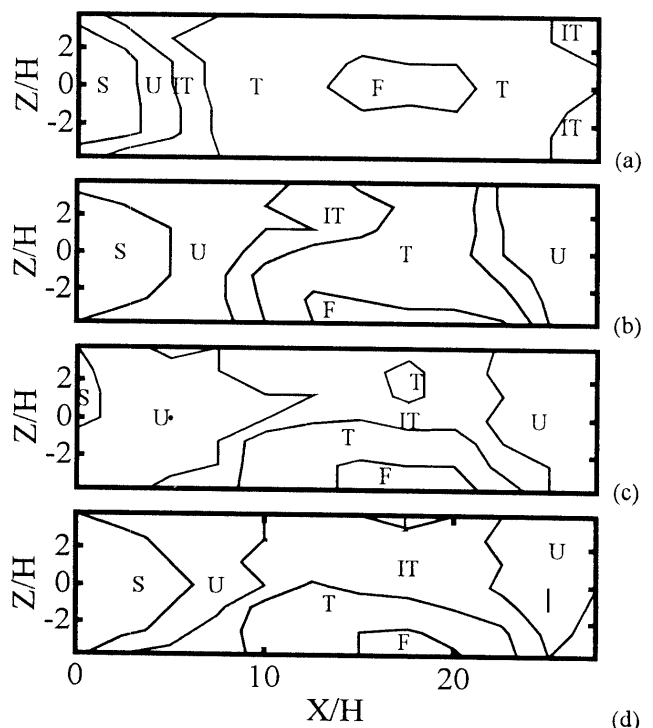


Fig 5. Flow visualization by tuft
(a) without jet, (b) $\theta=30^\circ$, (c) $\theta=60^\circ$, (d) $\theta=90^\circ$