K3-62

層流境界層に導入された点撹乱の下流発達
撹乱強さの影響
Downstream Development of the Small Disturbance Introduced into the Laminar Boundary Layer
Effect of the Disturbance Intensity

○清水佑樹 [1]，水口涼平 [1]，関谷直樹 [2]
* Yuki Shimizu[1], Ryohei Mizuguti [1], Naoki Sekiya[2]

In the final stage of laminar to turbulent transition, it was known that the regions called ‘turbulent spot’ appear. Previous studies have shown that the peak of disturbing jet affect the starting position of the spot developing but the structure and the growth rate of the spot is unaffected. The purpose of this study is to clarify the effect of the half-valued length and peak value of jet on downstream development of the spot. From result obtain, it was found that development of spot can be arranged by the energy level with the jet.

１．はじめに

乱流遷移の最終段階で乱れを伴う領域「乱流斑点」が現れる．この乱流斑点が下流発達し，境界層全域を埋め尽くすと乱流への遷移が完了することから，乱流斑点の生成過程は乱流遷移過程の解明の鍵となる．乱流斑点の生成過程に関連した研究の多くは，層流境界層に人工的な初期撹乱を導入することで乱流斑点を生成する手法で行われているが，連続的に初期撹乱を導入する手法に関しては斑点の発達が撹乱の波数（または周波数）および振幅をパラメータに整理されているが，点撹乱を用いた手法では斑点の発達に対する撹乱の強さの影響は分かっていない．そこで，本研究は初期撹乱に小さなジェットを用い，ジェットの噴出時間および波高値を変化させ，点撹乱の強さが下流発達に与える影響を明らかにすることを目的に行った．

２．実験装置および実験方法

実験は幅 450mm，高さ 1m の測定部を持つ回流型低乱低速風洞で行った．測定部には幅 1m，長さ 2.5m の平板が垂直に設置されており，この平板上に層流境界層を発達させた. 平板には前縁より 750mm 下流位置に直径 1mm の小孔が設けられており, この小孔より小さなジェットを噴出させ境界層に点撹乱を与えた．ジェットはスピーカーにパルス電圧を印加することで生成し，パルス電圧によりジェットの波高値 U_{jpeak}/U_0 および半値幅 τ_{Uj} を任意の値に調整できる．座標は小孔に原点を採り，流れ方向を x 軸，平板垂直方向を y 軸，横幅方向を z 軸とした．実験は原点における Blasius 分布の排除厚さ δ^* に基づくレイノルズ数を $R_{\delta^*}=990$ 一定のもと行った．撹乱により生成された斑点内の速度変動波形の計測には I 型プローブを用い，撹乱ジェットを生成するスピーカへの駆動パルス電圧の立ち上がりをトリガーに 128 組繰り返し計測し，平均化処理を施した．測定位置は過去の研究[1]から特徴的な断面である $y/\delta=0.5$（δ :境界層厚さ）の断面に限定し，十分下流の x=240mm における発達の違いを調べた．Fig.1 に小孔中央の壁面近傍で計測した撹乱ジェットの速度波形の一例を示す．波高値，半値幅によらず，どちらの速度波形もジェット生成の駆動パルス電圧から T=0.004sec 遅れて噴出する．これより前の時刻においても主流の 10%程度の速度が検出されているが，これは境界層の速度である．後に示すジェットのエネルギー計算にはこの境界層の速度からの差分をジェットの速度として使用した．

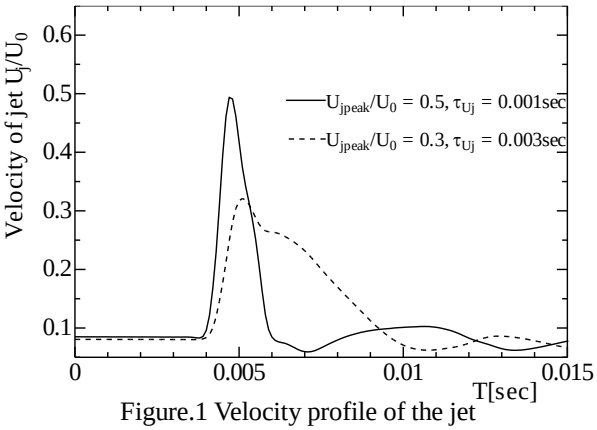

Figure.1 Velocity profile of the jet

３．実験結果

初めに, 撹乱源から十分下流の x=240mm の位置において斑点の発達状態（発達 : ○，減衰 : ×，判定不能 : △）を判定した結果を Fig.2 に示す．グラフには Eq.1 で評価した撹乱ジェットのエネルギーの等値線も併せて示してある．

１：日大理工・学部・機械、２：日大理工・教員・機械

$$e = \int U_j^2 dt \quad [m^2/s] \qquad (1)$$

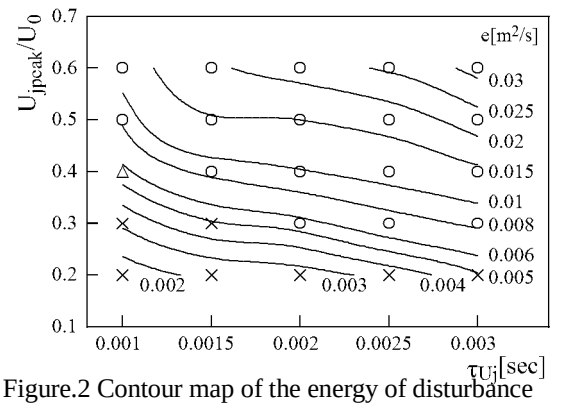

Figure.2 Contour map of the energy of disturbance

撹乱ジェットは噴出時間が短く，細く鋭いジェットであっても波高値が高ければ生成される斑点は発達し，波高値が低く弱いとされるジェットであっても噴出時間が長ければ斑点は発達することがわかる．撹乱ジェットの強さを，そのエネルギーの指標となる Eq.1 で求めた e で評価すると e=0.006m²/s を境に発達か減衰かが分かれることから，発達する斑点を生成できるジェットの強さは，そのエネルギーで整理できることが明らかとなった．ここで，細く鋭い撹乱ジェットよって生成された斑点と，緩やかに長く与えられる撹乱ジェットによって生成された斑点が同一であるか疑問が生じる．そこで，２つの撹乱によって生成された斑点が同一であるか，次に示す斑点内の速度の等値線図から詳しく調べる．Fig.3 は細く鋭い撹乱ジェットの代表として $U_{jpeak}/U_0 = 0.5$，$\tau_{Uj} = 0.001$sec の撹乱ジェットによって生成された斑点内の集合平均速度 $\Delta U_{mean}/U_0$ の等値線図と乱れ強さ u'/U_0 の等値線図を示している．平均速度は境界層の速度からの差分 ΔU（$= U - U_B$）を用いている．$\Delta U_{mean}/U_0$ の等値線図からは斑点の先頭部分のみ明瞭な低速・高速領域が見られ T=0.05sec 以降の斑点後半部では低速領域，その背後に高速領域が続く乱流斑点の典型的な速度分布に近づいている．u'/U_0 の等値線図からも斑点の先頭領域には乱れは無く，斑点後半の低速領域にだけ最大 12%もの乱れが広く分布する乱流斑点の速度分布の特徴が得られている．一方，比較として Fig.4 に示す，緩やかに長く与えられる撹乱ジェットの代表として同じエネルギーである $U_{jpeak}/U_0 = 0.3$，$\tau_{Uj} = 0.003$sec の撹乱ジェットによって生成された斑点の $\Delta U_{mean}/U_0$ の等値線図には，全域にわたって明瞭な低速・高速領域が分布が存在し，発達が遅いことがわかる．乱れも斑点後部 T=0.06sec 以降の低速領域に集中して強く現れてはいるが全域には広がってはいない．

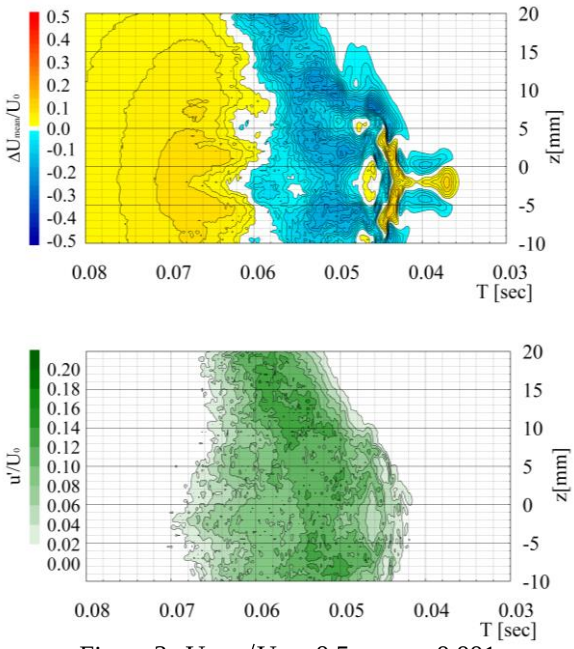

Figure.3　$U_{jpeak}/U_0 = 0.5$，$\tau_{Uj} = 0.001$sec

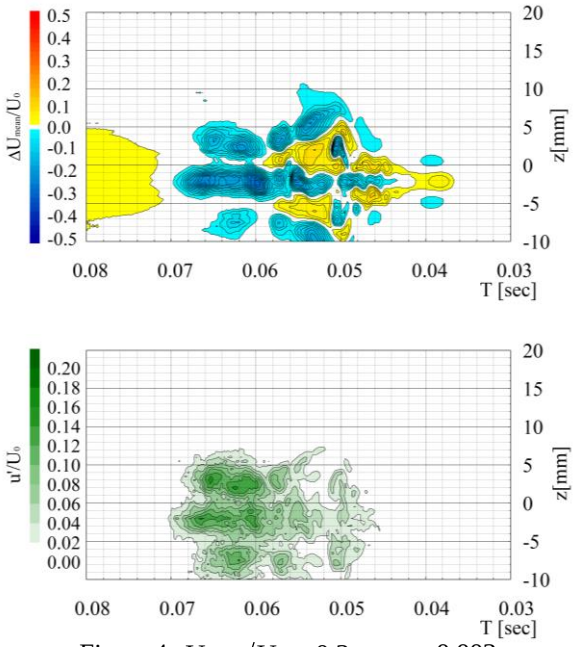

Figure.4　$U_{jpeak}/U_0 = 0.3$，$\tau_{Uj} = 0.003$sec

４．まとめ

(1) 斑点の発達・減衰は撹乱ジェットのエネルギーで整理でき，ジェットの速度波形から評価したエネルギーが e=0.006m²/s を境に発達するか否かが分かれる．

(2) 同じエネルギーの撹乱ジェットであっても，ジェットの形状により発達速度は異なる．

５．参考文献

[1] Sekiya and Matsumoto: “Downstream Development of a Laminar Spot”, J. Fluid Sci. and Tech., Vol.4, No.1, pp222-233, 2009.