

孤立粗度まわりの不安定性

本橋龍郎*

Instability Around an Isolated Roughness Element

by

Tatsuo MOTOHASHI

Dept. of Aerospace Engineering, Nihon University

ABSTRACT

Detailed measurements were made of the flow field around an isolated roughness element. High shear layers generated in the near wake of the roughness element were disclosed through the hot wire measurements. In the region immediate behind the roughness, the shear stress in the vertical direction is responsible for the instability. On the other hand, the spanwise distribution of shear stress becomes to play a dominant role in the transition process in the downstream region.

Keywords: instability, roughness, wake of cylinder

1. はじめに

粗度が境界層の乱流化を促進することはよく知られている。しかし、その遷移過程は、未知の部分が多いと思われる。二次元および三次元の粗度に対する基本的な実験事実は、それらの粗度による遷移の様子が異なる機構に支配されていることを暗示している。すなわち、二次元粗度の下流に発生する乱流領域は、一様流速が増大すると徐々に粗度に接近してくる。しかし、三次元粗度後方の乱流領域は、一様流速とともに急速に粗度に接近する事が知られている。三次元粗度による乱流化は、非常に急激で、一種の崩壊現象のように思われる。一方、二次元粗度の後方には、粗度の代表長さの数十倍の長さをもった剥離領域が存在し、その中の平均速度の垂直方向分布が変曲点をもつことが観測されている。この変曲点にもとづく変曲点不安定が二次元粗度による遷移の初期機構であると考えられている。また、Klebanoff et al

の最近の研究では三次元粗度についても上記の変曲点不安定性が適用できると述べている。しかし、観測される変動の特性が、変曲点不安定で予測されるものに一致するかどうか未だ確かめられていない。従来の安定性理論を三次元粗度の後流のような三次元の流れ場に適用できるかどうか検討してみる必要がある。そのためには、さまざまな仮定の必要な安定理論を用いるより、直接、NS 方程式を数値的に解くことが最良の手法であると考えられる。現在、このような観点にたった試みが著者の共同研究者によって行われているが、実験と比較できるような結果を得るまでにはいたっていない。

一方、Morkovin は層流から乱流への遷移過程には、さまざまな道筋が考えられることを示唆している。中でも、粗度などの強い外乱による乱流への遷移を、通常の遷移を飛び越える「bypass transition」と呼んでいる。はたして、三次元粗度による遷移が bypass transition と考えることができるのかどうか、議論のあるところである。

* 日本大学理工学部

「bypass transition」の有無あるいはその妥当性についても実験的に検討してみたいと思っている。

2. 孤立粗度まわりの実験

上に述べたことを実験的に検討するためには、なるべく単純な流れ場が適当である。したがって、単一の微小円柱を粗度として用いることにした。円柱は層流境界層の中に没するように配置する。今回の実験では、円柱直後($<8d$)の平均速度場および速度変動の基本的な特性について測定した。

実験装置の概要については以下に記す。詳細は文献を参照されたい。

実験装置等概要

風洞：測定部 $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 200\text{cm}$ ，回流式風速 $0.8-14.0\text{m/s}$

平板： $26\text{cm} \times 90\text{cm} \times 5\text{mm}$ アクリル製

風速計：定温度型熱線風速計

熱線 $2.5\mu\text{m}$ ，長さ 0.5mm ，測定は流れ方向速度成分のみ

平均速度，速度変動

粗度：円柱 高さ $h=2\text{mm}$ ，直径 $d=2\text{mm}$
設置位置：前縁から 10cm

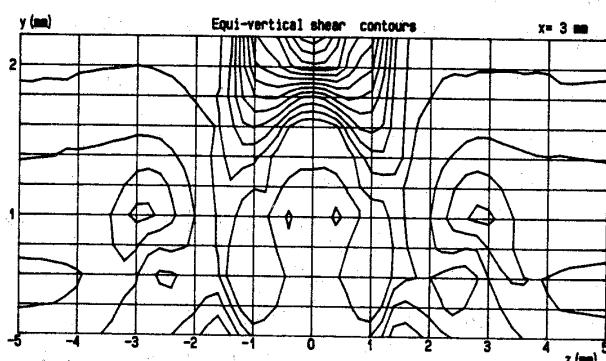


図1 等垂直方向剪断力線 ($x=3\text{mm}$)

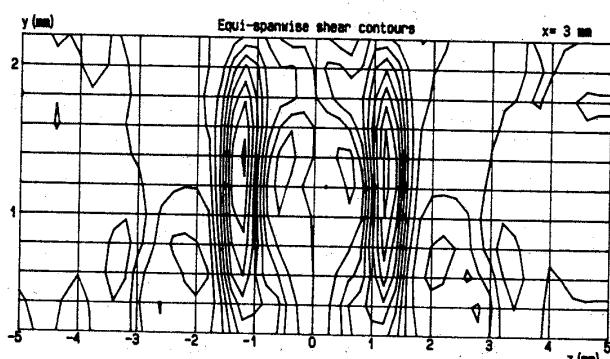


図2 等板幅方向剪断力線 ($x=3\text{mm}$)

風速： 5.1m/s ， $Rk=U \times h/\nu = 680$

3. 実験結果

測定点は流れ方向に14断面、板幅方向に0.2mm間隔で51点、板に垂直方向に0.2mmから2.2mmまで11点である。1断面の測定時間は約1時間である。

この領域の平均速度場の特徴は、円柱直後に逆流部分が存在することである。この低速の流体塊は、強い受容性を示し、絶対不安定性を誘起する可能性が考えられる。

逆流部分の周りには、複雑な剪断層が発生する。主な剪断層は二つ考えることができる。一つは、平板に垂直方向の速度勾配にもとづく剪断層で、最大値は粗度の上端付近に観測される。図1は、 $x=3\text{mm}$ （粗度後縁から2mm）における等垂直方向剪断力線を表している。最大値は流れ方向に減衰していく。もう一つの剪断層は、板幅方向の速度勾配によって発生するもので、逆流部分の左右端に存在する（図2）。この剪断層は垂直方向のものより長い領域を有している。これら二つの剪断層からの不安定性に関係した速度変動の等強さ線が図3 ($x=6\text{mm}$) に示されている。高剪断層の位置と高速度変動の位置が必ずしも一致しないことが分かる。

4. おわりに

速度変動の発生の機構を調べるためにには、詳細な速度変動特性の情報が必要である。したがって、速度変動のスペクトル成分の特性に関する実験を計画している。また、線形安定理論を用いた計算

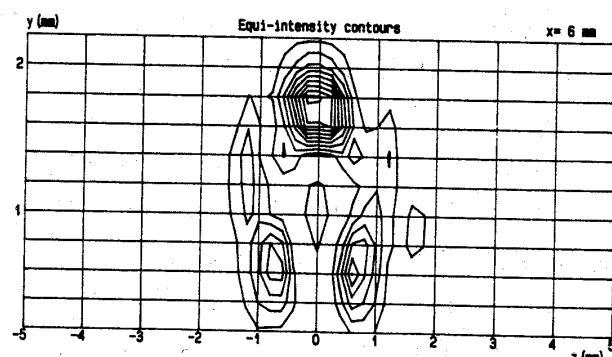


図3 等速度変動線 ($x=6\text{mm}$)

も行ってみる予定である。

参考文献

- 1) Gupta, A. K. & Singh, S. N. : "An Experimental Investigation of Flat Plate Transition due to a 3-D Tripping Device", Dept. of Aero. Eng., IIT (1979).
- 2) Klebanoff, P. S. & Tidstrom, K. D.: "Mechanism by Which a Two Dimensional Roughness Element Induces Boundary Layer Transition", Physics of Fluids, 15, No.7 (1972).
- 3) Klebanoff, P. S., Cleveland, Jr. W. G. & Tidstrom, K. D.: "Interaction of a Three Dimensional Roughness Element with a Laminar Boundary Layer", AEDEC-TR-87-7 (1987).
- 4) Morkovin, M. V.: "On the many faces of transition", Viscous Drag Reduction (ed. C. S. Wells), pp.1-31 (1969).
- 5) Motohashi, T.: "Instabilities around an isolated roughness element", 1st. ASME JSME conference (1991).

