

横流れ不安定波の分散性について

高木正平* 伊藤信毅*

Dispersive Evolution of a Point-Source Disturbance in Three-Dimensional Boundary Layers Subject to Crossflow Instability

Shohei TAKAGI and Nobutake ITOH

National Aerospace Laboratory

ABSTRACT

The formation and development of a point-source disturbance in a three-dimensional boundary layer subject to crossflow instability has been investigated experimentally. The disturbance was artificially initiated by an airjet column, which was continuously issued into the boundary layer flow through a small hole. Hot-wire surveys showed that both stationary and traveling modes evolve into a wedge shape as the traveling waves dispersively propagate in both directions approximately normal to local external flow.

Keywords : crossflow instability, stationary vortices, traveling waves, one-point disturbance

1. はじめに

三次元境界層に固有な横流れ不安定場では、外部流にほぼ平行な軸をもつ同方向に回転する縦渦 (*e. g.* Gray 1952, Gregory *et al.* 1955) と外部流にほぼ直角方向に伝播する進行波 (Takagi & Itoh 1994) が観察されている。しかしこれらの攪乱の増幅率や成長限界は風洞の固有乱れや模型表面粗さ等の外乱と関連するだけでなく、縦渦と進行波の非線形干渉が予想以上に早い段階で生じることが最近の研究 (Bippes *et al.* 1991, Malik & Chang 1994) で指摘され始めた。このような横流れ不安定の特徴を克服し、信頼性が高く整合性のある実験結果を提供するためには、まず外乱の影響を出来る限り軽減する必要がある。そのために横流れ不安定攪乱の人工励起が有効であるが、励起方法は粗度 (高木他 1993) 以外知られていない。そこで本研究では模型前縁の小さな孔から空気を噴出させ、点状連続攪乱を導入して進行波と縦渦を同時に励起する方法を示すと共に、これらの攪乱の分散特性についても調べる。

2. 実験結果と考察

一連の実験は航技研にある小型低乱風洞で実施し、一様流速を 38.9m/s とした。後退翼は外径直径 $D=100\text{mm}$ 、前縁長 750mm 、後退角 50° の円柱模型で模擬した。横流れ攪乱を励起するために噴流を前縁から周方向 20° で、円柱のほぼ中央の 0.8mm の穴から 17m/s で定常噴出させた。この噴流によって境界層内に局所的に変曲点型の剪断層が形成され、この不安定の結果噴出孔直後の狭い領域内に外部流の3%程度の乱れが発生した。その乱れは 20kHz までほぼ平坦な白色雑音特性を示した。図1は種々の θ における主流方向の平均速度及び非定常攪乱の振幅分布を示す。ここで Y は噴出孔からとった前縁と平行方向の距離である。左図から縦渦、右図から進行波が励起されていることは明白である。右図の2本の破線は進行波成長の限界を示す中立線である。進行波は指数的成長と楔状の広がりを示しているが、縦渦の振幅はほぼ一定である。これは進行波と縦渦の干渉の結果と思われる (Bippes *et al.*)。進行波の分散特性を調べるために、そのスペクトル分析をした。結果の一部を図2に示した。図中の丸数字は図1

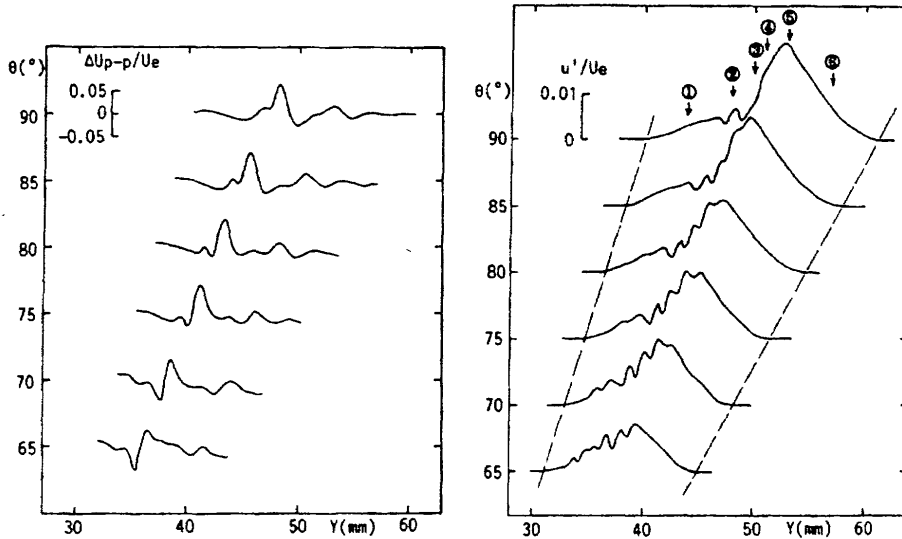


図1 縦渦及び進行波の発達

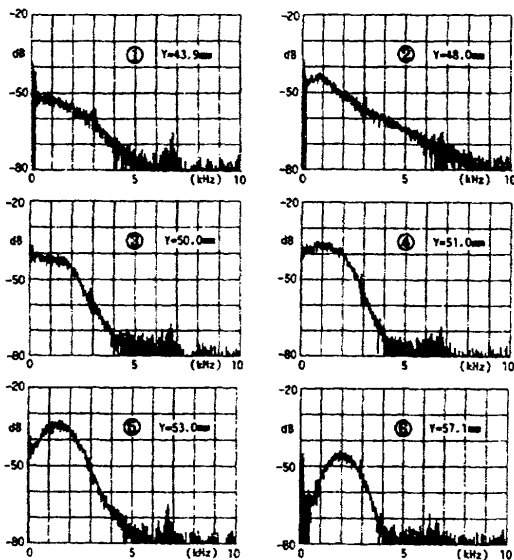


図2 横流れ進行波のスペクトル

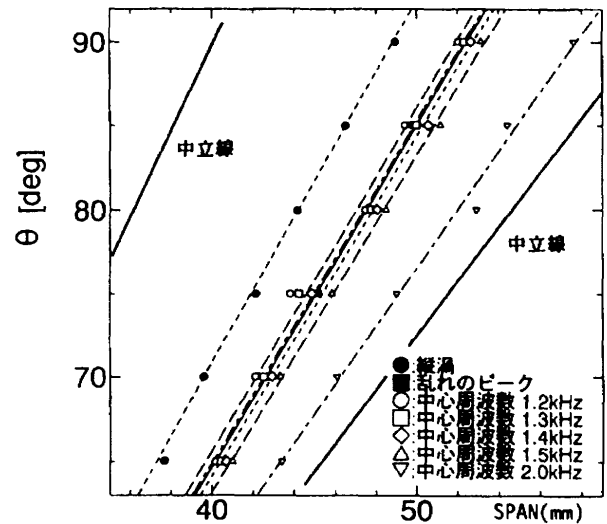


図3 横流れ不安定攪乱の分散特性

内の丸数字と対応している。楔内の攪乱の周波数は位置の関数であることが分る。そこで、特定の周波数の攪乱に着目し、その振幅が最も大きくなる位置を図示したのが図3である。図には中立線、最大乱れ及び周波数0、すなわち縦渦の位置も示されている。線形安定理論は伝播方向の異なる二種類の進行波の存在を予測しているが、図3は縦渦を挟んで左右に分散する二種類の攪乱が成長していることを明示している。すなわち横流れと反対方向つまり縦渦の右側は最も不安定な攪乱を含む領域である。従来から実験的に多く観察された横流れ進行波はこの領域に属する。一方、横流れ方向に伝播している成長率の

低い進行波の存在は図2のスペクトル ($Y=43.9\text{mm}$ と 48mm)から明白であるが、縦渦の右領域のように分散関係を明確に表わすことは出来なかった。縦渦の勾配は付着線から 62° 、 $f=1.3\text{kHz}$ 及び最大乱れ強度線の勾配は 60° であり、TakagiとItohが求めた一様に発達している横流れ不安定場で計測した進行波の波面の勾配とほぼ一致している。

以上をまとめると、横流れ不安定場の小孔から噴出した定常噴流は縦渦と進行波を励起するのに有効手段であり、ここで導入された点状連続攪乱は、外部流線にはほぼ平行に縦渦を形成するとともに、それとはほぼ直角方向に伝播する進行波に成長し、その周波数は縦渦から離れる程周波数が高くなる。

引用文献

- 1) Bippes H., Müller B. & Wagner M. 1991 Phys. Fluid 3, 2371-7.
- 2) Gray W. E. 1952 RAE TM Aero 255.
- 3) Gregory N., Stuart J. T. and Walker W. S. 1955 Phil. Trans. R. Soc. Lond. A208, 155.
- 4) Malik, M. R. & Chang, C. -L. 1994 J. Fluid Mech. 268, pp. 1-36.
- 5) Takagi S. and Itoh N. 1994 Fluid Dyn. Res. 14, 167-189.
- 6) 高木正平, 伊藤, 中野, 細川 1993第25回乱流シンポジウム 104-107.