

横流れ不安定場における乱流遷移プロセス

小 濱 泰 昭* 渡 辺 創* 小田島 保 志**

Turbulent-Transition Process in Crossflow Instability Field

Yasuaki KOHAMA and Hajime WATANABE
Institute of Fluid Science

Yasushi KODASHIMA
Kawasaki Heavy Industry Co. Ltd.

ABSTRACT

Turbulent transition process in crossflow instability field is investigated experimentally using a swept wing model and a spinning disk. In this flow field, there are a couple of important things which are not very clear. One is stational nature of the crossflow vortices (primary instability), and another is the existence of two different traveling disturbances which are different in their frequency at about one order. Present investigation is focused on making these things clear through experiment. Wall mounted hot wire probe with slip ring device is used to measure the traveling disturbances in spinning disk boundary layer.

Key Words: crossflow instability, turbulent transition, swept wing, spinning disk, flow control

1. はじめに

これまでの横流れ不安定に関連した研究結果を調べると、多くの場合、進行波形不安定として周波数がほぼひと桁違う2種類 (f_1, f_2) のものが実験的に検出^{1),2)}されている。このような性質は、たとえば凹面壁上のゲルトラー型不安定場³⁾などには確認されておらず、横流れ不安定場特有の現象と見ることができる。また、一次不安定として発生する横流れ渦が壁に対して固定しているのか、移動しているのか、についても実験結果が分かるところであり、従って乱流遷移プロセスがいまだ十分には明らかにされていない。

本研究においては、後退翼と回転円板という、モデルは全く異なるが同じ横流れ不安定場を与えてくれる2種類の実験モデルを使用し、上記した2つの不明な点について明らかにすることを目標に実験を行う。

2. 実験装置と測定方法

図1(a), (b)に2種類の実験装置の概略図を示す。図(a)は

後退翼 (F-4, $C=0.9m$; ドイツ DLR のプロフィール) を風洞に取り付けた状態で、図(b)はスリップリングを介して、円板表面に固定される熱線風速計のシステムを含めた回転円板装置 ($D=400mm$) である。実験に用いた風洞の主流速は $30m/s \sim 40m/s$, 回転円板の回転数は $900 \sim 1,800$ rpm であり、測定には熱線流速計を使用し、1型並びに平行プローブを用いている。

3. 結果と考察

図2(a), (b)に流れ場の可視化写真を示す。(a)は後退翼境界層の横流れ渦のナフタリン法による可視化であり、(b)は回転円板境界層の煙による横流れ渦の可視化である。いずれも隣同士同方向に回転する横流れ渦であることが確認されている。図3(a), (b)にスパン方向 (回転円板では周方向) の速度変動波形を示す。この場合いずれも壁面に固定して発生していることが確かめられている。しかし、後退翼⁴⁾の測定では、横流れ渦 (一次不安定) は壁面に固定されず、位相速度を有していることが報告されている。後に得た情報⁵⁾によると、表面粗さの程度により、位相速度を有したり、固定したりするようで、詳細は今のところ不明である。われわれの用いたこれまでの横流れ不安定のモデルでは、

* 東北大学流体科学研究所

** (株)川崎重工業

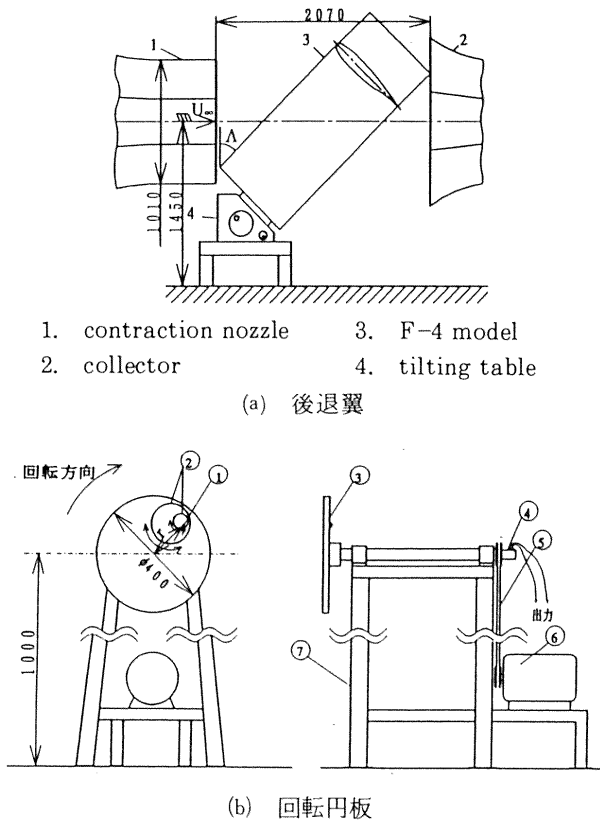
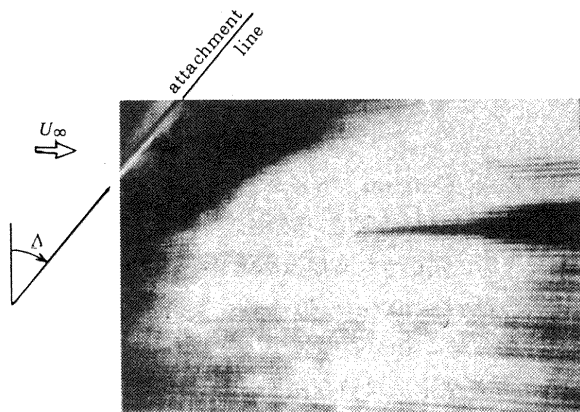
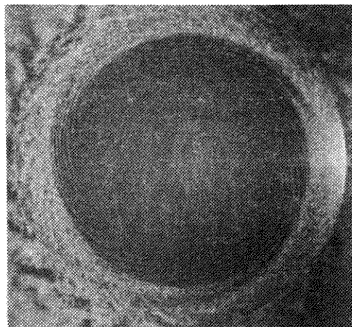


図1 実験装置の概略



(a) 後退翼

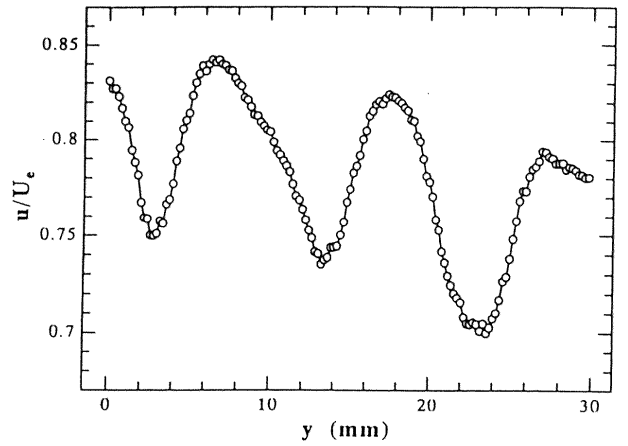
($A=40^\circ, \alpha=-20^\circ, U_\infty=30\text{m/s}$, ナフタリン法)



(b) 回転円板

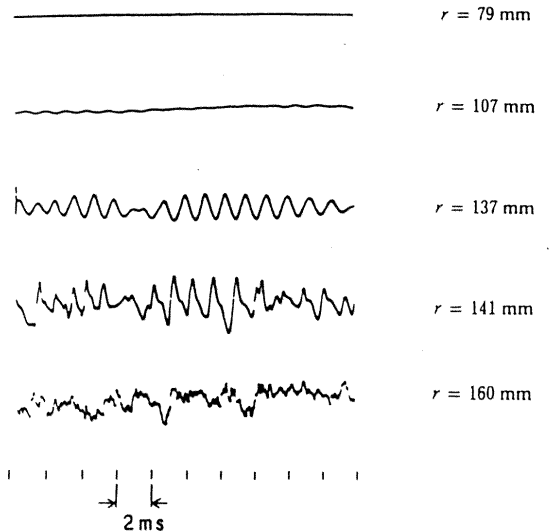
($D=400\text{mm}, N=1,800\text{rpm}$, 反時計回り, 四塩化チタン煙)

図2 流れ場の可視化



(a) 後退翼

($A=40^\circ, \alpha=-20^\circ, U_\infty=30\text{m/s}, x/C=0.3, z=0.5\text{mm}$)



(b) 回転円板

($N=1,800\text{rpm}, z'=0.5\text{mm}$)

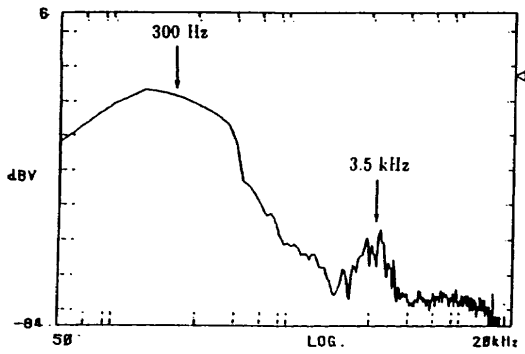
図3 スパン方向速度分布

いずれも横流れ渦は固定して発生している。

図4(a), (b)に測定により得られた位相速度を有する攪乱 f_1, f_2 の周波数分析結果を示す。後退翼の場合, $27\text{m/s}, A=45^\circ, \alpha=-20^\circ$ の時 $f_1=150\text{Hz}, f_2=3\text{KHz}$ が現れ, 回転円板の場合 $N=1,350\text{rpm}, r=160\text{mm}$ に於いて $f_1=150\text{Hz}, f_2=3\text{KHz}$ が現れる。そして, その方向は図5(a), (b)に示すようになっている。 f_2 については可視化とも良く一致するが f_1 についてはまだ確かではない。特に回転円板ではまだその方向が測定されていない。

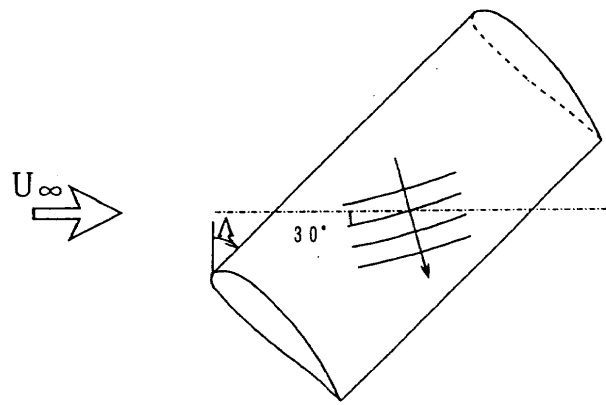
4. おわりに

横流れ不安定性により乱流遷移するプロセスには, どうやら一般的に f_1, f_2 が存在するといえそうである。ページ



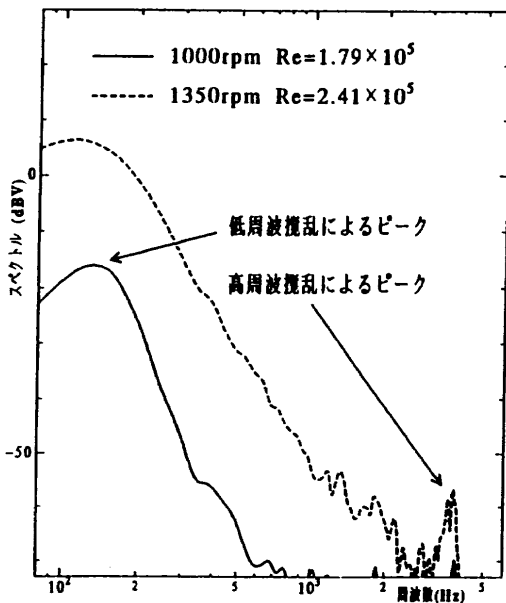
(a) 後退翼

($\Lambda=40^\circ, \alpha=-20^\circ, U_\infty=26.6\text{m/s}, x/C=0.57, z=0.7\text{mm}$)



低周波攪乱 f_1 の進行波の模式図

($\Lambda=40^\circ, \alpha=-20^\circ, U_\infty=26.6\%, x/C=0.6$)



(b) 回転円板

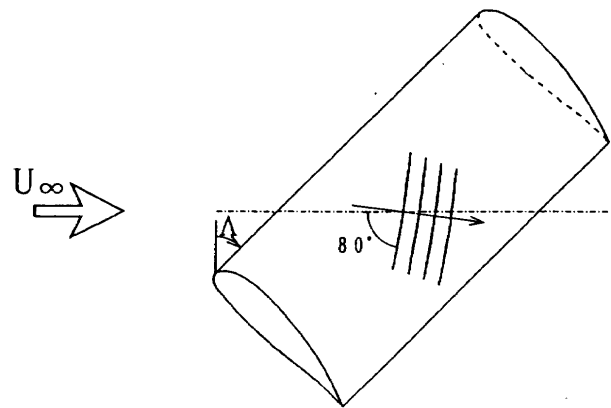
($r=160\text{mm}$)

図4 FFTによる周波数分析

数の制限から示せなかったが、 f_1 の発生位置は渦が隣り同士同方向に回転する構造に限定された位置に対応しており、横流れ不安定性に特徴的な現象のようである。

参考文献

- 1) 小濱, W. S. Saric, and J. A. Hoos : 機論(B) 58巻 554号 (1992), pp.107~113.
- 2) Y. Kohama and D. Motegi : Proc. 11th Australian Fluid Mech. Conf., Vol.1 (1992), pp.255~258.
- 3) Y. Aihara and H. Koyama : Trans. Japan Sci. Aero. Space Sci., Vol.24, No.64 (1981), pp.78~94.
- 4) 高木正平 : 航空宇宙研究所特別資料 SP-15 (1991), pp. 35~38.
- 5) 高木正平 : Private Communications.

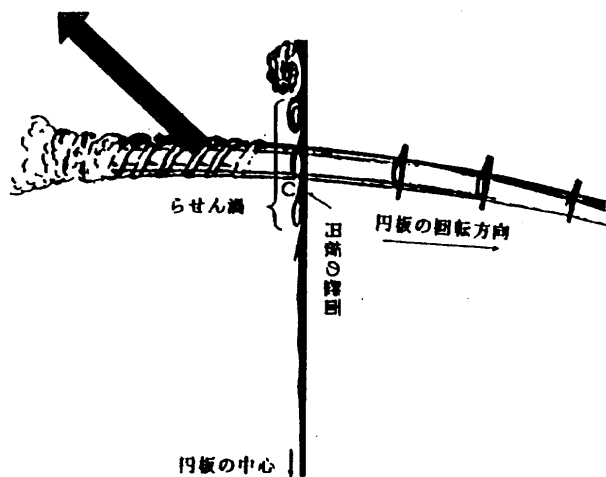


高周波攪乱 f_2 の進行波の模式図

($\Lambda=40^\circ, \alpha=-20^\circ, U_\infty=26.6\%, x/C=0.6$)

(a) 後退翼

二次不安定進行方向



(b) 回転円板

図5 攪乱の伝播方向

