

## No. 4

## カルマン渦列の周波数選択性

高木正平、跡部 隆 (JAXA)、伊藤信毅 (帝京大)、鴨野毅、力武達 (学習院大)

## On Selectivity of Karman-vortex shedding Frequency

S. Takagi\*, T. Atobe\*, N. Itoh\*\*, S. Kamono\*\*\* and S. Rikitake\*\*\*

\* Institute of Aerospace Technology, Japan Aerospace Exploration Agency,

\*\* Teikyo University, and \*\*\* Gakushuin University

## ABSTRACT

Wake structure behind an NACA0012 with no incidence was examined to scrutinize the frequency selection mechanism of growing disturbances at  $Re=7200$  based on the wing chord and the free-stream velocity. Two different kinds of unstable disturbances, which exponentially grow in space, were observed. The minor disturbance is due to convective instability, while the origin of the major one may be attributed to absolute instability. Theoretical comparison is necessary to identify these disturbances.

Keywords : absolute instability, convective instability, frequency selection mechanism, airfoil wake

## 1. はじめに

二次元円柱の背後には規則的なカルマン渦列が形成され、この渦放出に同期してエオリア音と呼ばれる音波すなわち空力音が放射される。カルマン渦列の周波数あるいは空力音の周波数は極めて卓越しており、この周波数決定に流れの絶対不安定が絡んでいると言われている。しかし、円柱背後のどの位置でその周波数が決定されるかについては未だに不明な点が多い。

このような空力音は、円柱や鈍頭柱体に限らず流線型の二次元翼後縁からも放射され、Trailing-edge (TE) 音と呼ばれている。しかし、二次元柱体の場合と異なり、翼面に沿って発達する境界層の不安定と後縁からの渦放出が連成した自励的フィードバック機構が知られており、このために放射音の周波数は離散的に卓越していると解釈されている(1,2)。しかしながら、この周波数卓越性について自励的フィードバック機構のみで説明することには無理があり、この機構に加えた新しい原因を追求する必要があると理解している。

本研究では、TE音周波数の選択性に流れの絶対不安定性が深く絡んでいる可能性に着目し、この可能性を明解に実証するためにはどのような進め方が合理的か既報を精査しながら考察している段階である。また同時に進めている実験について、まだ初期段階であるが第一報を紹介したい。

## 2. 絶対不安定が関与する流れ場

絶対不安定性に関しては、Huerre と Monkewitz<sup>(3)</sup> の優れた研究と総説があり、また、この現象に関連する様々な流れ場のリストが示されているので、ここでは上記リストに載っていない事例と現在進めている安定解析と実験の取り組みについて述べる。

## 2.1 安定解析の取り組み：振動平板境界層

一様な流れの中に平行に置かれた平板を流れの方向に前後に振動させた振動平板上の非定常境界層の安定問題は古くから調べられている(4-6)。小橋と早川は振動平板実験で境界層の遷移領域には二次元的な性質をもった乱流塊(乱流パッチ)が流れの振動周期の限られた位相範囲に周期的に発生することを観察し、筆者らはこの乱流発生と絶対不安定の関係に着目した。振動の振幅が小さい場合、非定常境界層の速度分布は、振動しない平板上に発達するBlasius解に、振動平板の相似解を重ね合わせることができる。この振動解の安定解析を行った結果、速度分布に変曲点が形成される位相で群速度が0に近づく傾向を示すものの、絶対不安定の起こる解はこれまでのところ得られていない。引き続き解析を継続する。

## 2.2 実験の取り組み：TE音の周波数選択性

TE音と絶対不安定が絡むと推論する根拠は中島<sup>(2)</sup>ある

いはNashら<sup>(1)</sup>による二次元翼後縁近傍の流れの可視化実験である。さらには線形安定解析も行っており、実験との整合性も確認されている。二つの実験いずれも後縁近傍を可視化したところ、負圧面でなく圧力面側の後縁近傍でTE音に同期した剥離を観察しており、この領域でT-S波が急成長した後、強い渦放出が起こり、空力音が放射される。この空力音は上流のT-S波を音響励起して、自励的なフィードバックが形成されたとの解釈している。しかし、安定解析によれば剥離領域で成長するT-S波は広帯域であり、実験で観察される極めて選択的な周波数成分はこのような自励的機構のみで説明するには無理あることは明らかである。

中島やNashらが得た結果からでは、TE音の周波数選択性は十分に説明できないことから、その選択性の機構解明に当たっては、次のように単純化して考える。極めて低いレイノルズ数でも、TE音は発生することから、まず流れの条件として、T-S波が成長しない場合、結果としてフィードバック機構を除去することが可能となり、残りは翼後縁の剥離領域の有無だけとなる。もし、剥離領域の存在が重要でない場合は、そこにはこれまで考えられていなかった機構が存在している可能性があることが考えられる。以上のことを踏まえ、実験では翼型としてNACA0012、その翼幅と翼弦はそれぞれ200mmとC=20mmとし、翼弦と主流速度に基づくレイノルズ数は $Re=7200$ 前後として、T-S波の成長しない流れの条件を選んだ。また、迎角を調整することで、翼後縁領域における剥離領域の存在の重要性も調べることにした。以下にその詳細を述べる。

### 3. 実験結果および考察

図1は迎角0度、主流速度6m/sにおける模型周りの流れの可視化と模型下流における変動の熱線信号及びそれらを周波数分析した結果を示している。翼後縁のほぼ一翼弦長(C)から渦形成が始まっている。熱線は0.5Cで二種類の攪乱を検出し、その一つは、広帯域の攪乱で、もう一つは広帯域の攪乱領域から増幅している狭帯域攪乱である。狭帯域攪乱は0.5CからCの区間で急激に成長するが、広帯域攪乱の成長率は小さく、可視化で観察された渦構造は、狭帯域攪乱の成長と対応していると思われる。狭帯域並びに広帯域攪乱はいずれも下流方向に指数的に成長しているが、飽和した振幅比はおよそ100:1であることが分かった。二種類の攪乱の外乱に対する特性を調べるために、スピーカーを用いて音響励起を行った。

広帯域攪乱のピーク周波数(866Hz)の音響攪乱は、極めて受容性が高いが、これに比べて狭帯域攪乱のピーク周波数(741Hz)の受容性は低いことが分かった。このことから狭帯域攪乱は絶対不安定から成長し、一方、広帯域攪乱の成長は対流型の不安定によるのではないかと推察される。

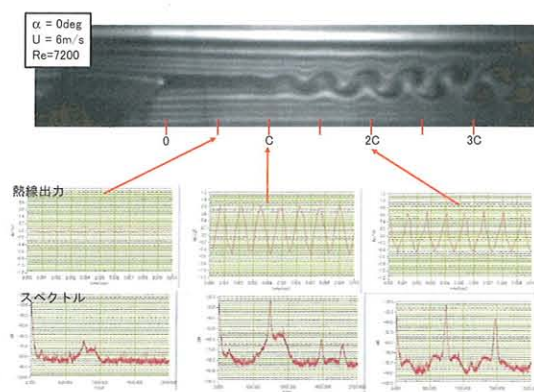


図1. 迎角0度NACA0012回りの流れの可視化と下流における攪乱の成長

### 4. まとめ

二次元翼の後縁から放射されるTE音の周波数選択性は自励的なフィードバック機構ではなく、翼後縁近傍の絶対不安定に帰される可能性が示された。

今後の計画として、詳細に計測した翼下流における速度分布を安定解析する予定である。また、Mattinglyら<sup>(7)</sup>がすでに安定解析を行っているNACA0006のような薄翼の後流では本実験と同様に2種類の攪乱が成長するのかどうか実験を行う予定である。

### 参考文献

- 1) E. Nash et al.: J. Fluid Mech. 382, (1999), pp.27-61.
- 2) 中島伸治: 騒音研究 27, (2003), pp.331-336.
- 3) P. Huerre & P. Monkewitz: Annu. Rev. Fluid Mech. (1990), pp. 473-537.
- 4) H. Obremski & A.A. Fejer: J. F.M. 29, (1967), pp.93-111.
- 5) 小橋、中川: 第6回乱流シンポ講演論文集, (1974), pp.85-89.
- 6) 小橋、早川: 第10回乱流シンポ講演論文集, (1978), pp.77-88
- 7) G. E. Mattingly and W. O. Criminale: J. Fluid Mech. 51(1972) pp.233-272.