

## …平成13年度助成研究より… 空力騒音の効率的制御法の開発

岡山大学 環境理工学部 環境デザイン工学科  
助教授 博士（工学）

比江島 慎 二

### 1. 風による騒音・振動

航空機のジェット、リコーダーやフルートなどの管楽器、マジックパイプと呼ばれる子供の玩具、いずれも音を発生する機械や楽器であるが、その発生には空気の流れが関与している。この他にも、近年の交通機関の高速化や構造物の高層化・長大化に伴い、高速列車のパンタグラフや高層ビル内の高速エレベーター、あるいは強風時の橋梁高欄やビル屋上の手すりなど、従来、風による音がそれほど問題にならなかったようなものからも100dBを越えるような騒音が発生することがある。これらは空力音と呼ばれ、音の発生において必ずしも物体振動を伴わず、純粹に流体力学的な作用が原因である点に特徴がある。

このような空気の流れにより発生する音響を扱う空力音響学(Aeroacoustics)では、空力音の直接の音源は流れの中に含まれる種々の渦であるとされる。渦は非圧縮性の流れ場における流体现象だが、渦の非定常な挙動は圧縮性の圧力変動である音波を生み出すのである。強いせん断力が働く物体周辺流れでは、流体力学的な不安定性に起因してこのような音の発生源となる渦が発生しやすい。特に、流線形の物体と異なり、円柱や矩形柱などのいわゆる「空力的に鈍い」断面形状を有する物体まわりでは物体表面から流れが剥離し、カルマン渦に代表されるような比較的大規模で周期的な渦が形成されるため空力音が発生しやすい(図1)。

このような物体周辺に形成される周期渦は物体に周期的な変動力を与えるため、時として物体そのものを振動させることもある。1940年にアメリカにおいて、タコマナロウズ吊橋が風により振動し落橋する事故が発生した。これは橋の振動とそれから放出される渦との相互作用による自励振動が原因であった。また、最近、国内の原子力発電所施設で起こったナトリウム漏れ事故は、配管内の温度計さやがその周辺に放出される周期渦により振動し、疲労破壊を生じたのが原因である。

このように物体周辺流れに形成される周期渦は空力騒音や流体振動を引き起こし、時として我々の生活環境に多大な被害をもたらすことがある。そのため、空力騒音や流体振動の原因である周期渦を抑制・制御することは、流体を扱う様々な工学分野において重要な課題となっている。

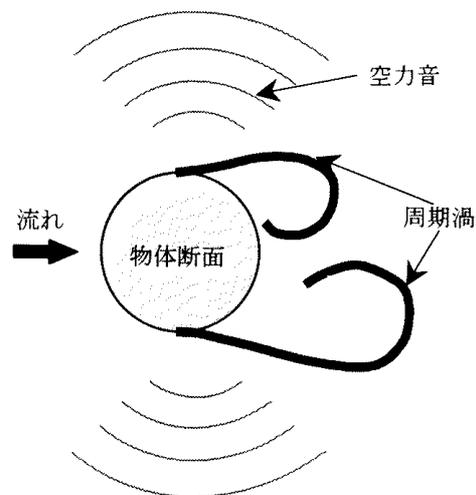


図1 物体周辺の周期渦による空力音の発生

## 2. 周期渦の効率的制御法

物体表面では流速は基本的に0であり、表面とそのすぐ外側の速い流れとの間では急激な流速変化を伴うことになる。そのような場所では、平均流速分布が急な速度勾配を持つと同時に変曲点を有することがある(図2)。このような流れは変曲点型不安定と呼ばれる流体力学的な不安定性を有しており、ある特定の周波数域の変動だけを選択的に増幅する性質がある。最も増幅率の高い変動成分は物体周辺流れで強い変動に成長し、それらが孤立渦を形成することによって、変動成分の周波数に対応した周期渦を物体周辺に形成することになる。

周期渦の形成を抑制するには、このような流れの不安定性を無くしてしまえばよいと考えられるが、現実にはなかなか難しい。そこで、逆に、この流れの不安定性を利用して周期渦を効率的に制御できないかと考えたのが、図3に示すような制御法である。図のキャビティ(くぼ

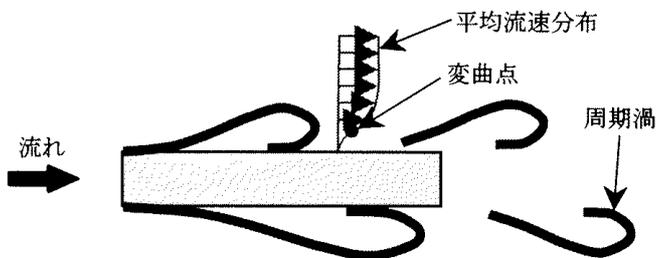


図2 物体近傍の流れ

み) 上流エッジからは周期的に渦が放出され、これらが下流エッジに衝突する際に圧力変動を生じて典型的な空力音であるキャビティトーンが発生する。前述のように、この流れで最も増幅率の高い変動は周期渦の周波数成分であり、そのような変動が増幅されることによって周期渦が形成されている。したがって、この流れに周期渦と同じ周波数の流速攪乱を人工的に付加すれば、それらは強い変動あるいは渦に成長すると同時に本来の周期渦と干渉して、周期渦の放出特性を変化させることができると考えられる。ただし、この変動が周期渦と同期してしまうと一種の共振により周期渦を強めてしまうことになる。そこで、周期渦と同じ周波数で、かつ位相が周期渦とは逆となるような微小攪乱を人工的に流れに付加してやれば、攪乱は周期渦と打ち消し合い、周期渦を抑制できると考えられる。

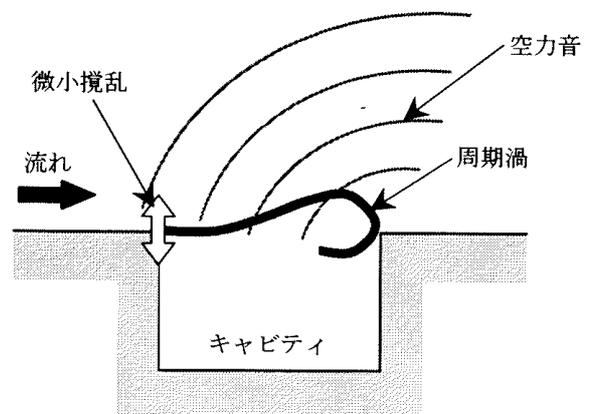


図3 微小攪乱を用いた周期渦制御法

### 3. 制御効果

図3に示した手法により、キャビティから放出される周期渦の制御効果を示したのが図4である。いずれの図も、キャビティ上流エッジから鉛直方向に微小な流速攪乱を付加したときの流れの様子を示したものであるが、(a)は周期渦とは常に逆位相の攪乱を付加した場合であり、(b)は周期渦と同位相の攪乱を付加した場合の結果である。(a)の場合には、ほぼ完全に周期渦が抑制されて変動のない流れが実現できている。一方、(b)の場合には、攪乱と周期渦が共振することによって周期渦が強められている。

このように周期渦が抑制できれば、当然、それが原因で発生する空力音も低減される。図5は周期渦とは逆位相の攪乱を付加したときの攪乱付加開始直後からの空力音の時刻歴であるが、周期渦の抑制に伴い、空力音もほぼ完全に制御できているのが分かる。

### 4. 今後の課題と展望

このような制御法の最大の利点は、流れの本来有する流体力学的な不安定性を利用することによって、制御力として付加された微小攪乱を流れの中で増幅するため、制御のために必要な制御エネルギーを節約し、効率的に周期渦などを制御できる点にある。このような流体力学的手法によって周期渦などの流れ特性を変化させる制御法は、空力音以外の様々な工学分野への応用も期待でき、その適用範囲は極めて広い。

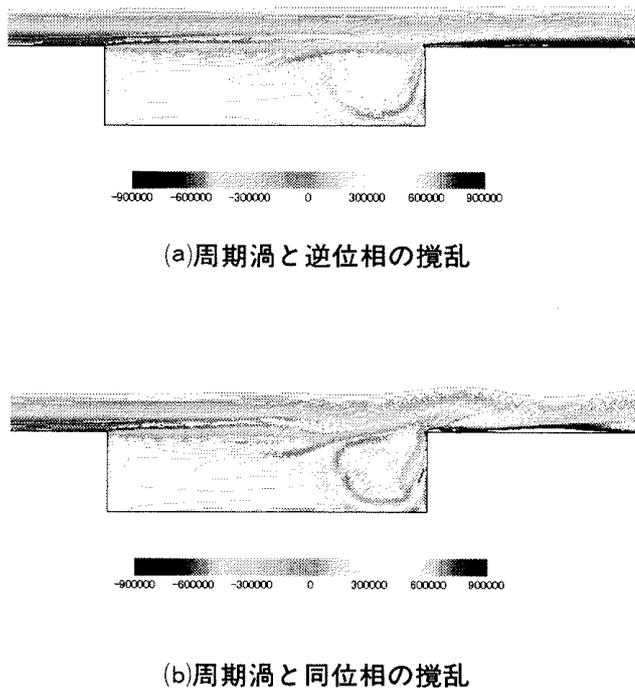


図4 微小攪乱による周期渦の制御効果

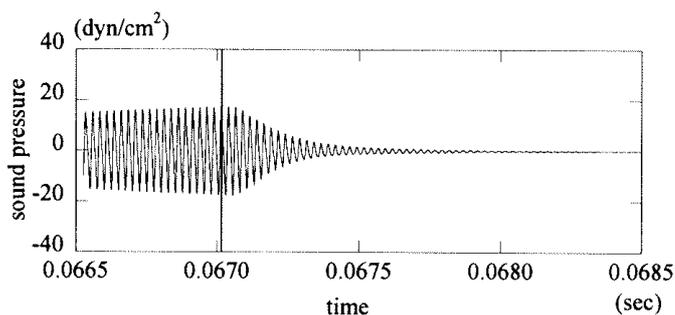


図5 空力音に対する制御効果

今後は最適制御理論の適用などにより、さらに制御効率の高い手法について検討していきたい。