

要 旨

列車のパンタグラフのような円柱が組み合わされた構造物から発生する空力音の基礎的な研究の一つとして、円柱の一部をある曲率半径で、ある開き角に曲げられた曲円柱から発生する空力音の周波数特性と後流の速度変動のパワースペクトルとの相関性を明らかにした。その結果、曲円柱において純音が発生する場合、曲円柱後流の速度変動のパワースペクトルのピークと発生音のピークが一致し、強い相関を持つことが明らかになった。

1. 緒言

空力騒音（空力音）は流体の運動が音の発生に本質的な役割を果たすことで発生する音のことであり、列車や車などの高速化に伴って無視できない騒音問題となっている。特に列車においては、パンタグラフから発生する空力音が主要な音源であり⁽¹⁾、解決すべき問題となっている。パンタグラフは主に円柱からなる構造物であるが、その部材となっている円柱が一樣流中に存在するような基本的な問題に対する流体力学的、音響学的特徴を明確にすることは、空力騒音の問題を解決していく上で大きな意義を持つ。そこで、パンタグラフのV字状の部材構造に着目し、円柱の一部をある曲率半径で、ある開き角に曲げたV字状の曲円柱が一樣気流中に存在する場合に、曲円柱から発生する空力音の周波数特性を明らかにした⁽²⁾。本研究では、曲円柱後流の状態と発生音との相関性をタフト法による可視化と熱線流速計による速度変動の計測によって明らかにする。

2. 実験装置

2.1 装置概略 実験装置の概略を図1に示す。

風洞は一辺の長さ $W=100\text{mm}$ の正方形の吹き出し口を持つ開放型である。マイクロホンが吹き出し口より水平下流方向に 200mm 、垂直上方に 500mm に鉛直下向きに設置する。供試体である曲円柱はマイクロホンの真下に、吹き出し口の中心($Z=0$)を含む水平面上に設置する。発生した空力音の時系列データは、周波数

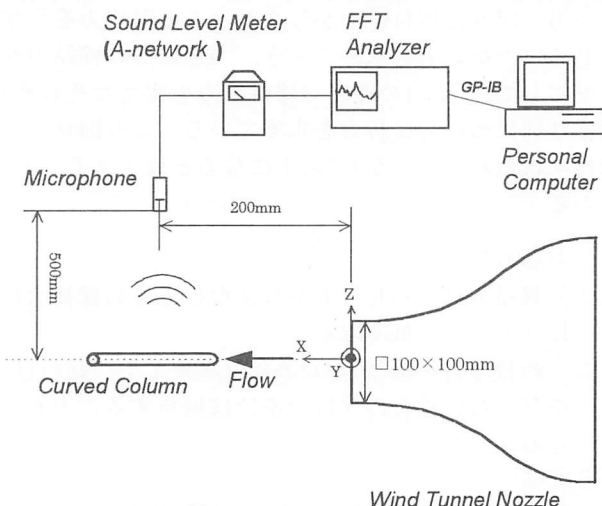


図1 実験装置概略

補正特性をA特性に設定した騒音計を通してFFTに入力され、周波数分析される。

2.2 供試体 供試体を図2に示す。図のように、曲円柱は円弧の部分（円弧部）と、傾斜した直円柱の部分（傾斜部）とに分けられ、傾斜部の開き角を θ deg, 円弧部の曲率半径を $R\text{mm}$ としている。供試体を固定する支持点は流路外に位置する傾斜部の一部とし、支持点間の距離は 320mm とする。

なお、今回実験に用いた円柱の直径は $d=6\text{mm}$ 、主流速度は $U=30\text{m/s}$ である($Re=Ud/\nu=1.2\times 10^4$: ν は空気粘度)。

2.3 可視化方法 曲円柱の後流はタフト法を用いて可視化した。タフトの設置状況を図3に示す。絹糸を針金の先端に取り付けたタフトスティックを、Z軸に平行に、すなわち $Z=0$ の水平平面に垂直になるように設定し、Z軸上方よりカメラで撮影した。シャッター速度は $1/30\text{sec}$ である。タフトスティックの先端の高さは $Z=0$ に設定した。

2.4 流速変動測定 速度変動は、I形熱線プローブを用い、図3のようにプローブの軸を流れに平行

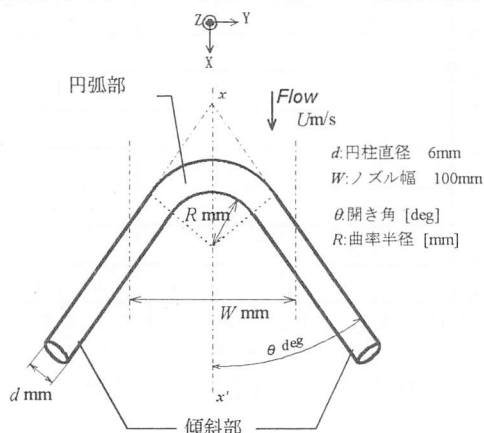


図2 曲円柱概略図

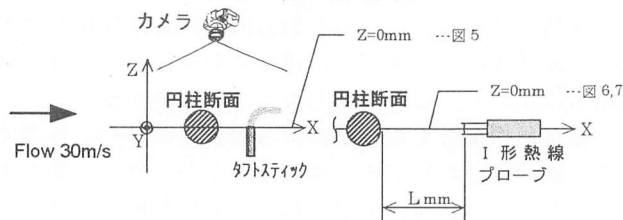


図3 タフトの設置状況及び熱線流速計プローブ挿入位置

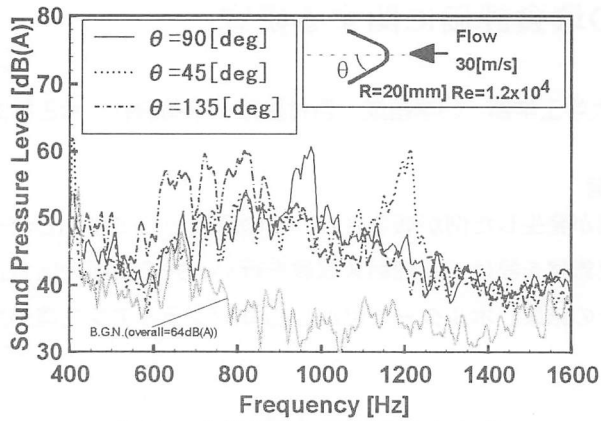


図4 曲円柱から発生する空力音
($R=20\text{mm}$, $U=30\text{m/s}$)

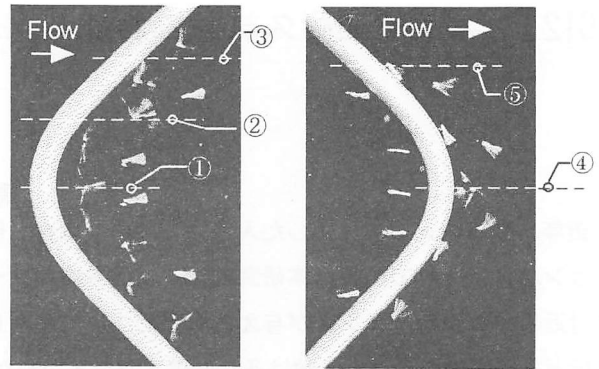
に挿入して計測する。プローブの位置は $Z=0$ にセンサ部である熱線の中心がくるようにし、円柱の後端から熱線までの距離を $L=10\text{mm}$ 又は 20mm に設定する。

3. 実験結果及び考察

曲率半径 R を 20mm と一定として開き角 θ を変えた場合に曲円柱から発生した空力音の周波数特性を図4に示す。供試体が存在しない噴流のみの発生音を暗騒音(B.G.N.)と定義する。 $\theta=45\text{deg}$ の曲円柱(図4中の点線)と直円柱である $\theta=90\text{deg}$ (実線)の場合、すなわち $\theta \leq 90\text{deg}$ では、空力音の周波数特性に鋭いピークが現れ、エオルス音(純音)が発生していることが明らかである。 $\theta=45\text{deg}$ でのエオルス音のピークの周波数は 1200Hz 、直円柱では 975Hz である。また、 $\theta=135\text{deg}$ の場合、すなわち $\theta > 90\text{deg}$ では、空力音の周波数特性は広帯域の周波数成分を持ち、雑音が発生している⁽²⁾。

後流の流れ場をタフト法で可視化した結果を図5に示す。 $\theta=45\text{deg}$ の場合を図5(a)に、 $\theta=135\text{deg}$ の場合を図5(b)に示す。図5(a)では、円弧部の後流(①線上)又は円弧部と傾斜部の境目の後流(②線上)においてタフトが激しく振動していることがわかる。このときの速度変動のパワースペクトルを図6に示す。円柱後端から熱線までの距離 $L=10\text{mm}$ の場合には、①線上では 1100Hz の周波数にピークを持つパワースペクトルとなるが、②線上では 1200Hz のピークを持つパワースペクトルとなっている。 $L=20\text{mm}$ の場合、①②共に 1200Hz に鋭いピークを持つパワースペクトルとなる。この周波数は曲円柱($\theta=45\text{deg}$, $R=20\text{mm}$)から発生するエオルス音のピークの周波数と一致している。また、傾斜部の後流(③線付近)での振動は円柱軸下流方向に片寄っており、円柱軸下流に向かう流れ(2次流れ)が存在していることを示している。この場合の速度変動のパワースペクトルでは、鋭いピークは現れていない。以上の事から曲円柱から発生するエオルス音は円弧部後流の流速変動との相関性が強いことが明らかである。

図5(b)では、円弧部下流のタフトが振動し、その両脇と傾斜部後流のタフトは円柱軸に沿って下流方向になびき、2次流れが存在していることを示している。



(a) $\theta=45\text{deg}$, $R=20\text{mm}$ (b) $\theta=135\text{deg}$, $R=20\text{mm}$
図5 タフト法による曲円柱後流の可視化結果
(タフト位置 $Z=0$ 面, $U=30\text{m/s}$,①~⑤は $L=20\text{mm}$)

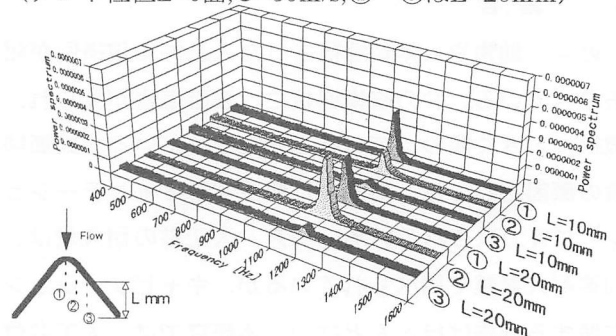


図6 曲円柱後流の速度変動のパワースペクトル
($\theta=45\text{deg}$, $R=20\text{mm}$, $U=30\text{m/s}$)

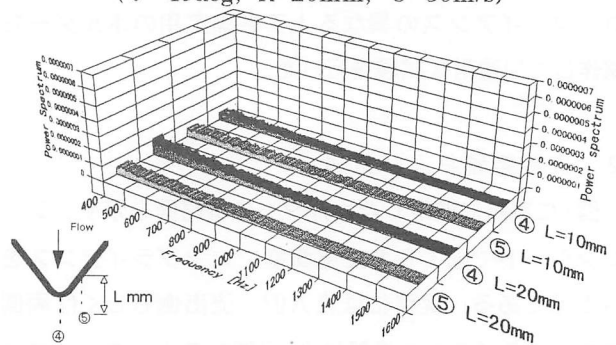


図7 曲円柱後流の速度変動のパワースペクトル
($\theta=135\text{deg}$, $R=20\text{mm}$, $U=30\text{m/s}$)

この場合の速度変動のパワースペクトルを図7に示す。 $\theta=135\text{deg}$ の場合、円弧部後流(④線上)、傾斜部後流(⑤線上)の両者において、 L に関わらず、目立ったピークはない。この事から後流の流速変動と、 $\theta=135\text{deg}$ の曲円柱から発生する空力音が鋭いピークを持たないこととの相関性が明らかとなった。

4. 結言

(1) 曲円柱後流の速度変動と発生音は強い相関性を持つ。

(2) $\theta < 90\text{deg}$ の場合のエオルス音の発生には、傾斜部後流よりも円弧部後流の速度変動が強い相関性を持つことから、円弧部後流が音源となっていると考えられる。

参考文献

- (1)真鍋,白国,森川,機論B(1985),vol.51,463,p959
- (2)松本,西田,齊当,1995年度精密工学会北海道支部講演会