

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ひとつとして、円柱の一部がある大きさの曲率で曲げられた、ある開き角を持つ曲円柱から発生する空力音の周波数特性を、実験的に明らかにした。その結果、曲円柱から発生する空力音は、曲円柱の形状によりエオルス音が発生する場合と、発生しない場合とがあることが明らかとなった。

1. 緒言

最近、列車や車など移動手段の高速化に伴って、空力騒音が注目されている。特に列車のパンタグラフから発生する空力音は、列車の高速化を行う上で重要な問題の一つである。パンタグラフは主に円柱からなる構造体であるが、その部材となっている円柱についての空気力学的、音響学的特徴を明らかにする意義は大きい。

これまでに、流れ中に存在する単独円柱や、複数の円柱を流れに直列または並列に配置した場合に発生する空力音の研究⁽¹⁾や、流れ中に置かれた十字交差円柱の音響特性の研究⁽²⁾がなされている。しかし、ある開き角をもった曲円柱の場合の研究例はない。本研究では、一様な気流中に存在する曲円柱から発生する空力音の周波数特性を、実験的に明らかにする。

2. 実験装置

2-1 装置概略 図1に実験装置の概略を示す。風洞は一辺の長さ $W=100[\text{mm}]$ の正方形吹き出し口を持つ開放型である。マイクロホンは吹き出し口より水平下流方向に $200[\text{mm}]$ 、垂直上方に $500[\text{mm}]$ のところに流れに垂直になるように設置する。

発生した空力音の時系列データを、騒音計を通してFFTに入力し、加算平均してスペクトラム密度を求めて

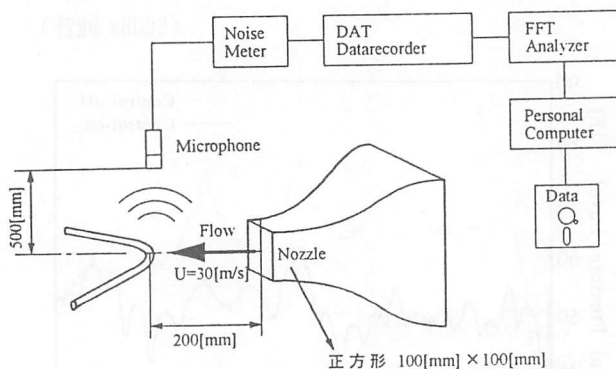


図1 実験装置概略図

いる。

2-2 供試体

供試体の概略図を図2に示す。図のように、曲円柱は曲げられた部分(R部)と、傾斜されたまっすぐな円柱の部分(傾斜部)とに分けられ、傾斜部の開き角を $\theta[\text{deg}]$ 、R部の曲率半径を $R[\text{mm}]$ としている。供試体の曲円柱は吹き出し口の中心を含む水平平面上に固定する。供試体を固定する支持点は流路外に外れた傾斜部の一部とし、支持点間の距離は $320[\text{mm}]$ である。

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 ($Re=1.2 \times 10^4$)。可変にしたパラメータは、傾斜部の開き角 $\theta[\text{deg}]$ と曲率半径 $R[\text{mm}]$ である。

3. 実験結果及び考察

実験の結果得られた空力音の周波数分析結果の一例を図3に示す。まず図3(a)において、 θ が極端に異なる曲円柱から発生する空力音の周波数特性を示す。 $\theta=90^\circ$ の場合、つまり単独直円柱では、 $975[\text{Hz}]$ がピークのエオルス音(流れ中の物体後流で規則的に放出される渦(カルマン渦列)が原因となって発生する流体騒音で「びゅー」や「ビュー」などの擬音で表現される音である。)を発生する。 $\theta=45^\circ$ の場合、つまり流れの上流

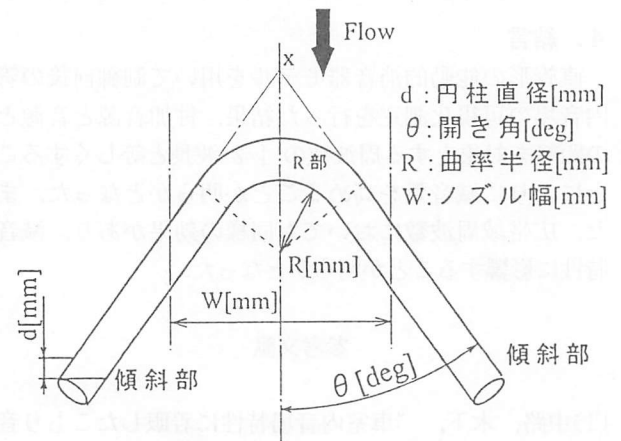


図2 供試体概略図(曲円柱)

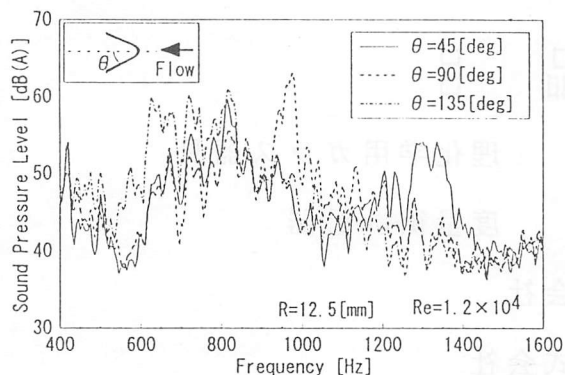


図 3 (a) 曲円柱から発生する空力音
($R=12.5$ [mm], $Re=1.2 \times 10^4$)

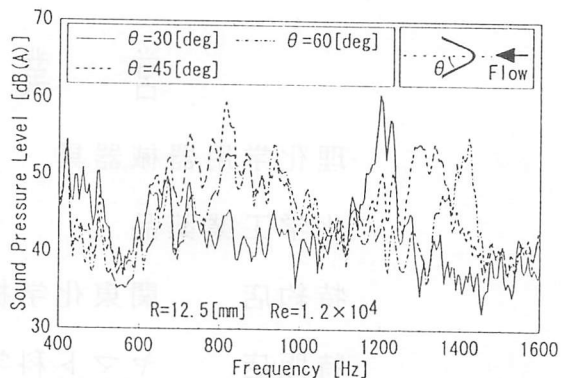


図 3 (b) 開き角 θ によって変化する空力音
($R=12.5$ [mm], $Re=1.2 \times 10^4$)

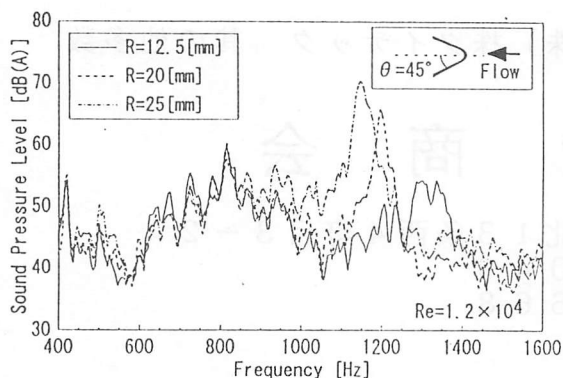


図 3 (c) 先端の曲率半径 R の違いによって変化する空力音
($\theta=45$ [deg], $Re=1.2 \times 10^4$)

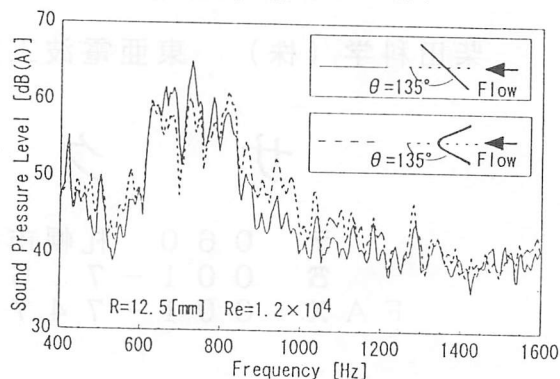


図 3 (d) 曲円柱と傾斜直円柱の発生空力音の比較
($Re=1.2 \times 10^4$)

側に R 部があるとき、ピークが 1300 [Hz] のエオルス音を発生する。このピークの移動によって、聞こえる音が「ひゅー」から「びゅー」に変化する。一方 $\theta=135^\circ$ の場合、つまり R 部が流れの下流側にあるときには、高周波帯のピークは消え、 $600 \sim 850$ [Hz] の低周波帯の成分が支配的な「シュー」という広帯域の周波数成分を持つ雑音となる。すなわち、「びゅー」というエオルス音は消える。

次に、 θ と R をそれぞれ変化させた場合の空力音の変化の例を図 3 (b) と (c) に示す。図 3 (b) では θ が大きくなるにつれて、約 1200 [Hz] のピークの周波数が高周波方向に移動し、図 3 (c) でも R が小さくなるにつれて、図 3 (b) と同様にピークの周波数が高周波方向に移動する。つまり、高周波帯のピークの移動は θ の変化でも R の変化でも起きている。ところが、 $600 \sim 850$ [Hz] の低周波帯の変化を比較すると、(b) では音圧レベルの増加が見られるが、(c) では変化は見られない。したがって、 $600 \sim 850$ [Hz] の音圧レベルの変化は傾斜部から発生する空力音により起きるといえる。

一方、図 3 (d) では、同一の開き角 135° を持つ単独傾斜直円柱と、曲円柱から発生する空力音の比較を行っている。この図は、単独傾斜直円柱から発生する空力音

と曲円柱から発生する空力音はほぼ同じで、この曲円柱における空力音は傾斜部の影響が色濃く現れていることを示している。傾斜円柱の後流には軸方向の流れ (2 次流れ) が存在することが知られている⁽³⁾。図 3 (d) において、空力音に対する R 部の影響が見られないのは、 R 部の前方に存在する傾斜部からの 2 次流れが、 R 部後方の空気流のよどみに流れ込むことで R 部での渦の放出が押さえられたためと考えられる。

4. 結言

これらのことから、円柱を用いたパンタグラフなどの構造物の設計において注意すべきことは、円柱の接合角度によって以下のように発生音が異なることである。

1. 開き角 $\theta < 90^\circ$ (R 部が流れの上流側) の場合には、単独の直円柱に比べ高い周波数のエオルス音 (「びゅー」音) が発生する。
2. 開き角 $\theta > 90^\circ$ (R 部が流れの下流側) の場合には、エオルス音が消え、低周波成分が空力音を支配し、「シュー」という雑音が発生する。

参考文献

- (1) 望月, 木谷, 騒音制御, (1994), vol. 18, no. 1, 10
- (2) 富田, 稲垣ら, 機論, B(1985), vol. 51, 468, 2571
- (3) 白樫, 脇屋ら, 機論, B(1992), vol. 52, 481, 3152