

矩形表面における空力音の音源特性

NRI ネットワークコミュニケーションズ(株)

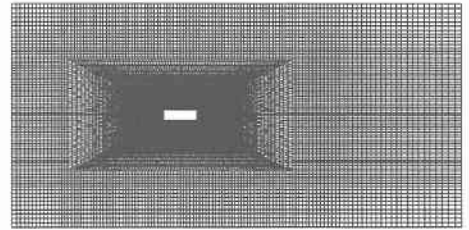
松尾綾子

岡山大学環境理工学部

正員 ○比江島慎二

1. はじめに 風の中の電線、鉄塔、風の強い日の住宅のペランダの手すり部、橋梁高欄の平板列等から、ある特定の周波数の卓越した音が発生することが知られている。これらは空力騒音と呼ばれ、その発生には固体振動は関与せず、物体周辺に放出される周期渦が圧力変動を生じることにより発生すると考えられている。本研究では、橋梁高欄の平板列などに見られる矩形断面周りの流れを対象として数値流体解析を行い、その幅と厚さの比(辺長比 L/d)を 3~9 に変化させた時の矩形表面における空力音の音源特性について検討する。また、その音源から発生する空力音を Curle の式*) により求め、遠方場空力音の辺長比による違いについても考察する。

2. 解析方法 矩形断面周りの非圧縮粘性流れの解析は Navier-Stokes 方程式と連続の式を基礎式とし、これらの方程式を流速双線形、圧力一定の四辺形混合補間要素を用いて SUPG 法により離散化した。得られた有限要素方程式は、Predictor-Corrector 法を適用し時間積分を行った。図 1 に例として $L/d=3$ の場合のメッシュ、また図 2 に境界条件を示した。レイノルズ数 $Re=400$ で一定とした。

図 1 解析メッシュ ($L/d=3$)

空力音の観測点として、点 O (矩形の中心) を中心に半径 $100d$ の同心円上に $\theta=0^\circ \sim 180^\circ$ の各 10° 毎に 135° を加えた 20 点をとる。これらの観測点における空力音圧 P_a は式 (1) に示す Curle の式*) より求めることができる。但し、 a は音速、 r は物体表面上の点 $\vec{x}$ と観測点 $\vec{y}$ との距離、 n_i は物体表面上で流体中に向かう単位法線ベクトルの成分、 P は物体表面上の流体圧力とする。

$$P_a(\vec{y}, \tau) = \frac{1}{4\pi a} \int_S Q(\vec{y}, \vec{x}, \tau - r/a) \cdot dS(\vec{x}) \quad \dots (1)$$

$$\text{ここで } Q(\vec{y}, \vec{x}, \tau - r/a) = \sum_{i=1}^2 n_i \frac{y_i - x_i}{r^2} \frac{\partial P(\vec{x}, \tau - r/a)}{\partial t} \quad \dots (2)$$

Q は矩形表面の音源を表す。また Q と P_a の時間相関 $\bar{F}$ は観測点での空力音圧に対する矩形表面上音源の寄与度を表わし、相当音源強度と呼ばれる。本研究では、矩形表面の流体変動圧力に起因した空力音の音源特性について検討するため、 Q の rms 値、相当音源強度 $\bar{F}$ について解析した。

$$\bar{F}(\vec{y}, \tau) = \frac{1}{T} \int_0^T 4\pi a \cdot P_a(\vec{y}, \tau) \cdot Q(\vec{y}, \vec{x}, \tau - r/a) dt \quad \dots (3)$$

3. 解析結果 図 3 は例として辺長比 4 における矩形側面上および下流側の辺上の Q の rms 値および $\bar{F}$ の分布を示している。 Q の rms 値の分布によれば、全ての辺長比において側面の後縁に近い部分で最大となった。次いで後縁エッジ部分、 $L/d=7 \sim 9$ では側面中央部分でも高い値を示す。それに対し $\bar{F}$ の分布によれば、側面上の最大値をとる部分は同じだが、下流側の辺上の分布については Q の rms 値とは違った傾向を示す。すなわち、下流側の辺上の $\eta > 0$ の部分と $\eta < 0$ の部分は互いに $\bar{F}$ の正負が逆となっており、結局下流側の辺全体は各観測点に対して音源として作用しないことを示している。本解析におけるストローハル数 (St 数) は、

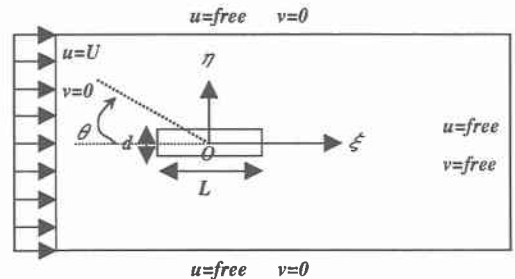


図 2 境界条件

$L/d=3\sim 6$ では $St=0.5$ 前後、 $L/d=7\sim 9$ では $L/d=3\sim 6$ の St 数のほぼ2倍になった。 St 数が同じものどうしでは、辺長比が増すごとに Q のrms値および $\bar{F}$ の最大値は小さくなり、同時に最大値をとる位置は後縁エッジから上流側へ離れることが別途明らかになっている。

図4は観測点における空力音を辺長比ごとにプロットしたものである。なお、音の強さはSPL(sound pressure level)で表している。各辺長比ともに $\theta=90^\circ$ の観測点でSPLは最大となる。

また、 $\theta=90^\circ$ から離れるにしたがって値は小さくなるが、 $\theta>90^\circ$ のほうはずがわずかながら強い。これは、下流側の音源強さに比べ上流側が小さいことが原因と考えられる。また、同じ St 数を持つ辺長比では辺長比が大きくなるとSPLは小さくなる傾向が見られ、矩形側面上の音源の傾向と一致する。ただし、辺長比3を他の辺長比と比べると、上流、下流側の辺上での流体圧力変動が強いいため、 $\theta=0^\circ$ 、 180° に近い観測点でのSPLが大きな値をとることが分かっている。これは、観測点から近い辺が音源として大きく寄与していることを示す。

4. まとめと展望 本研究では、矩形表面における空力騒音の音源の特性について数値解析により検討した。その結果、辺長比の違いや観測点の位置により音源として寄与する矩形表面上の位置や強さが変化することが明らかとなった。また、各観測点における空力音の大きさは辺長比によって異なること、空力音は流れ方向でなく矩形の側面方向でより強くなることなどが明らかになった。今後は辺長比1,2の解析、観測点までの距離を変化させての解析などが望まれる。

参考文献：*) Curle, N., *Proc. R. Soc., Ser A*, 231 (1955), 505

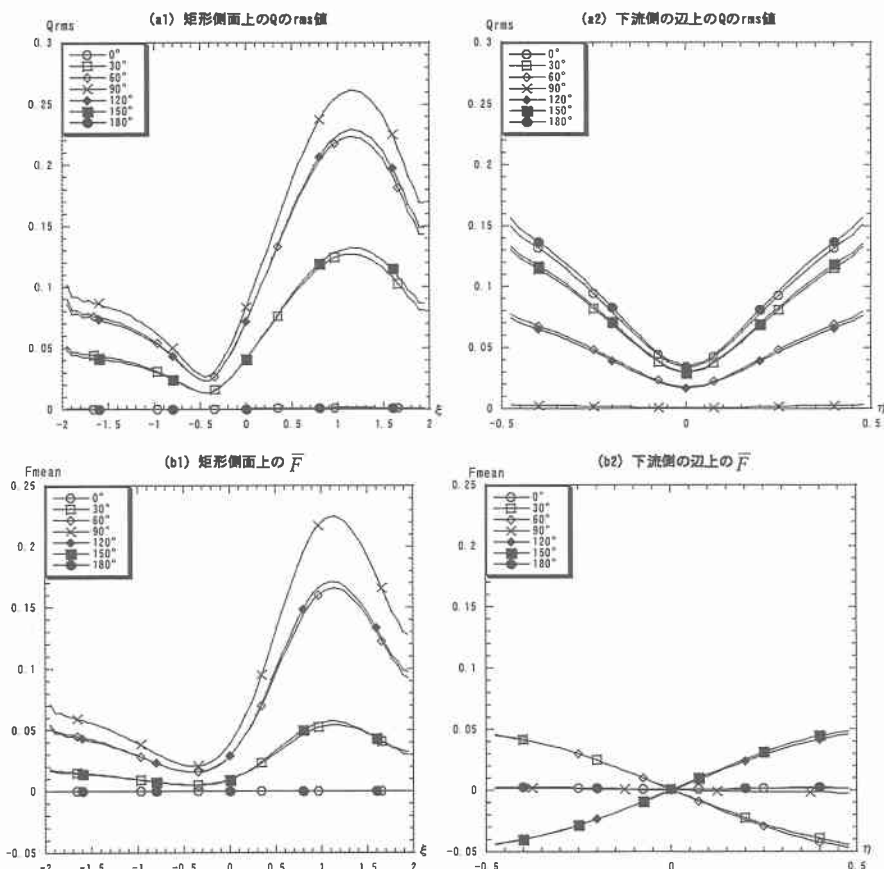


図3 Q のrms値と相当音源強度の分布(辺長比4)

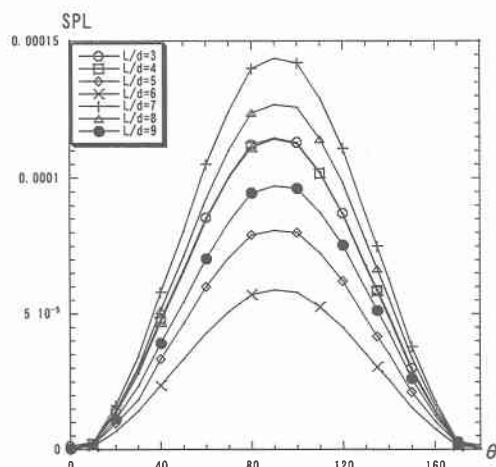


図4 空力音の空間内分布