

矩形断面周りの流れから発生する空力騒音の音源特性

日本技術開発

近藤敏治

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ベランダの手すり部, 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断面周りの流れにおける空力音の音源特性について検討する。

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に境界条件および解析領域の各諸元を示した。 d を代表長とするレイノルズ数 $Re=400$ で一定とした。

矩形周辺流れにおける空力音の発生源の特性を検討するため, 林ら¹⁾が空力音の基礎式である Lighthill 方程式をもとに定式化した以下の方程式における音源項 γ を音源の指標として用いることにする。この方程式は Lighthill 方程式において非圧縮近似と高 Re 数を考慮し, 流れ場の物理変数を非圧縮成分と音響成分に分離することにより得られたものである。但し ρ'' は音響成分, a_0 は音速, P は非圧縮性流れ場における圧力, $\bar{P}$ は時間平均の圧力とする。

$$\frac{\partial^2 \rho''}{\partial t^2} - a_0^2 \nabla^2 \rho'' = -\frac{\partial^2 \rho_1}{\partial t^2} \equiv \gamma, \quad \rho_1 = \frac{P - \bar{P}}{a_0^2} \quad (1, 2)$$

3. 解析結果

図3は例として $L/d=4, 5, 8$ における矩形断面周りの γ の rms 値, 圧力変動の標準偏差の分布を示している。 γ の変動の強い領域は, $L/d=3, 4$ では後縁に近い側面部と後縁エッジ後方, $L/d=5, 6$ では後縁に近い側面部から後縁エッジ部にかけての領域と後縁エッジ後方, $L/d=7\sim 9$ では側面の中央部と後縁に近い部分および後縁エッジ直後, さらにすべての辺長比の後流部となっており, これらが空力音の音源となり得る領域と考えられる。一方, 圧力変動の強い領域は γ 変動の強い領域に近いが, それらの位置は必ずしも一致していない。 γ 変動の場合, 矩形前縁エッジから周期的に放出される渦の周波数成分のほかにもその高調波成分の影響が強く現れることを確認しており, そのことが圧力変動と異なる分布特性を示す原因の1つと考えられる。しかし同時に, 圧力変動の高いところが必ずしも空力音の音源になるとは限らないことも示唆している。また辺長比が増すごとに γ 変動の rms 値および圧力変動の標準偏差の最大値はともに小さくなっていることも別途明らかになっている。

γ 変動に含まれる渦放出周波数の高調波成分は, 遠方に伝播する空力音の特性に少なからず影響を与

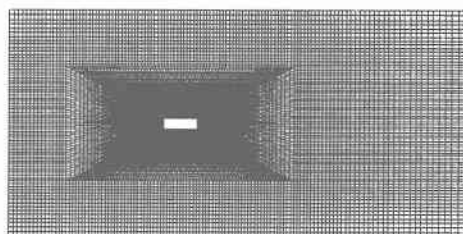


図1 解析メッシュ ($L/d=3$)

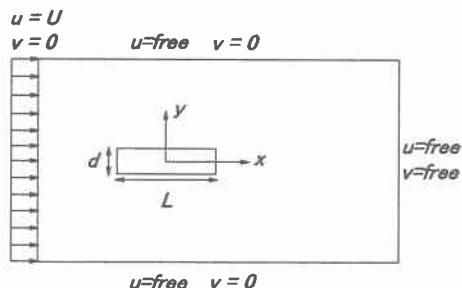
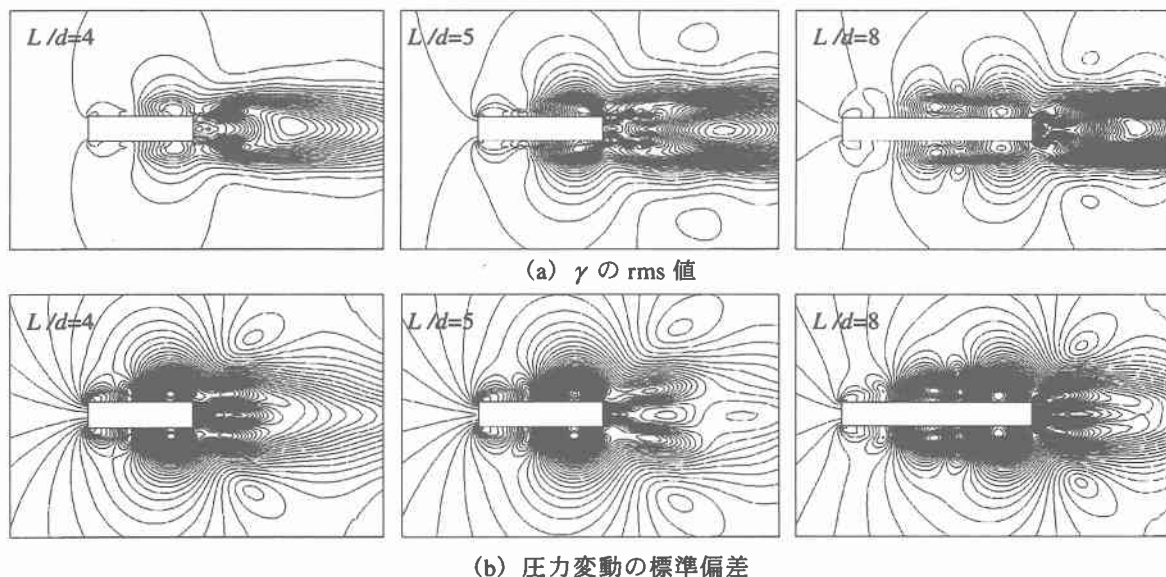


図2 境界条件

図 3 γ の rms 値と圧力変動の標準偏差の分布

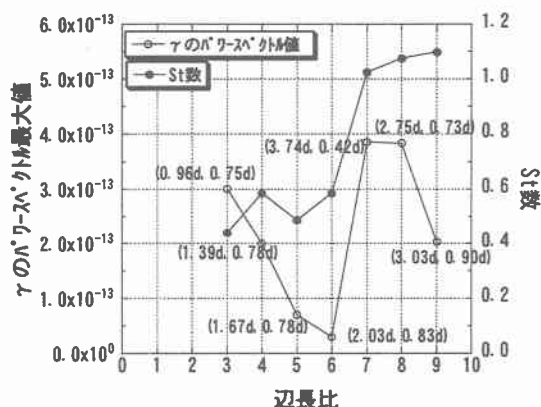
えることが予想されるが、最も影響の強いのはやはり渦放出周波数成分と考えられる。そこで、図 3 に示した音源になり得ると思われるいくつかの領域について、 γ 変動の渦放出周波数成分のパワースペクトルの最大値を辺長比ごとに調べた結果を図 4 に示す。図には渦放出周波数成分のパワースペクトルが最大となる座標値も示してある。なお座標の原点は矩形断面中心である。パワースペクトルの最大値は、 $L/d = 7$ 以外は全て矩形側面の後縁エッジ近くの音源に存在している。渦放出周波数成分のパワースペクトルの最大値は $L/d = 3 \sim 6$ にかけて減少し、 $L/d = 6 \sim 7$ 付近で急激に増加した後 $L/d = 7 \sim 9$ にかけて再び減少する。このとき L を代表長とする周期渦の St 数は $L/d = 3 \sim 6$ で 0.6 程度、 $L/d = 7 \sim 9$ で 1.1 程度と階段状に上昇しており、同じ St 数どうして比べると辺長比が大きいほどパワースペクトルの最大値が減少していることになる。これに関連して同じ St 数どうして流れのパターンを比べると辺長比が大きいほど後縁エッジ付近の再付着位置が上流側へ移動していることが分かった。このことは後縁エッジに、より近い部分への剥離流れの衝突が後縁エッジ付近の音源における渦放出周波数成分の強さに強い影響を与えていることを示唆する。

4. まとめと展望

本研究では、矩形断面周り流れから発生する空力騒音の音源の特性について有限要素法による数値解析により検討した。その結果、矩形周辺において空力音の音源となり得る領域と圧力変動が大きい領域とは必ずしも一致しないこと、後縁エッジ付近の音源の渦放出周波数成分の強さには後縁エッジにより近い部分への剥離流れの衝突が強く影響することなどが明らかとなった。

参考文献

- 1) 林篤志, 三宅裕, 辻本公一: 低マッハ数流れにおける空力音の数値シミュレーション (数値流体力学シンポジウム 1997, p117-118)

図 4 γ 変動の渦放出周波数成分のパワースペクトルの最大値および St 数の変化