

迎角を有する矩形断面周辺流れから発生する空力音

岡山大学大学院
アイサワ工業（株）○学生員 小川 幸剛
仲達 友美（株）ピー・エス
岡山大学環境理工学部大橋 康雄
正会員 比江島慎二

1. はじめに

構造物周辺には風の流れが剥離して周期渦が放出され、それらから生じる圧力変動が音波となって伝播し、空力騒音と呼ばれる流体励起騒音が発生することが知られている。本研究では基本的な構造断面である矩形断面周りの流れを対象とし、迎角を様々に変化させた時に発生する空力音について数値流体解析により検討する。なお、空力音の評価において物体表面上の積分を行う Curle の式と流れ領域内全体の積分を行う Howe の式の両者を比較する¹⁾。

2. 解析方法

矩形周辺の非圧縮粘性流れの解析は 2 次元 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、図-2 に解析領域の境界条件、図-3 に解析メッシュを示す。 U は流入流速で、矩形厚 d を代表長とするレイノルズ数 $Re=400$ である。流出境界はトラクションフリー、物体表面上はすべりなしとした。迎角なしの上下境界条件はスリップ条件、左側境界は流入境界、右側境界は流出境界、迎角ありの下側境界、左側境界は流入境界、上側境界、右側境界は流出境界とする。矩形の辺長比は $L/d=4$ である。迎角 $\alpha=0^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ の 8 通りとする。

矩形断面周辺流れから発生する空力音の遠方場観測点における音圧は、Curle の式と Howe の式により算定した。

Curle の式は、

$$P_a(x, \tau) = \frac{1}{4\pi a} \int_S n_i \frac{x_i - y_i}{r^2} \frac{\partial p(y, \tau - r/a)}{\partial t} dS(y)$$

ここで P_a は観測点 x で時刻 τ における空力音の音圧、 p は非圧縮粘性流体解析から得られる物体表面上 y での流体圧力、 a は音速、 n_i は物体表面 S 上で流体中に向かう単位法線ベクトル成分、 $r=|x-y|$ は観測点と物体表面上積分点の距離である。

Howe の式は、

$$P_a = -\frac{x_i}{4\pi a x^2} \int_V \frac{\partial}{\partial t} \rho_0 \{ (\omega \times u) \cdot \nabla_y \} Y_i dV$$

ここで u は流速ベクトル、 ω は渦度ベクトル、 Y_i は低周波グリーン関数の一部あり、 i 方向から速さ 1 の仮想的な一様流がくるときの、物体まわりの速度ポテンシャルを表す。

なお空力音の観測点は、原点 O を中心とした半径 $100L$ の円周上に上流方向から測った角度 $\theta=0^\circ \sim 180^\circ$ の 10° ごとに 135° を加えた

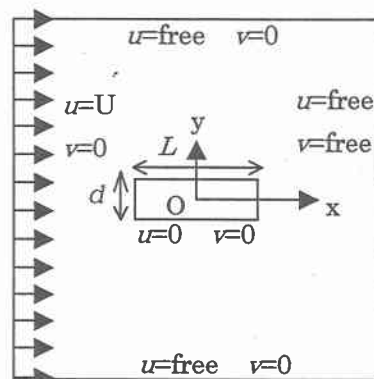


図-1 境界条件（迎角なし）

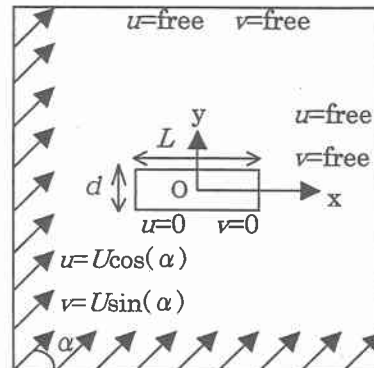


図-2 境界条件（迎角あり）

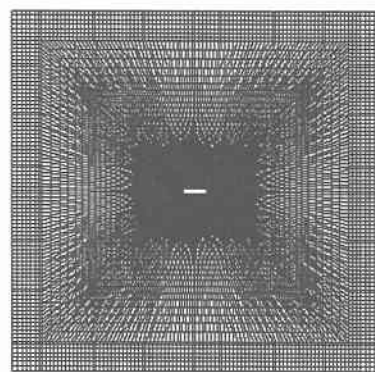


図-3 解析メッシュ

計 20 点をとる。

3. 解析結果

今回の解析では、観測点の空力音に数値的な不安定成分と思われる高周波成分がみられた。そのためローパスフィルターを用いて高周波成分を除去した上で検討を行った。

迎角 $\alpha = 10^\circ$ 、 15° の渦度を図・4、図・5 に示す。流れ場解析より迎角 $\alpha = 0^\circ \sim 10^\circ$ では上流エッジで剥離した流れが物体に再付着する再付着型、迎角 $\alpha = 15^\circ \sim 45^\circ$ では再付着しない完全剥離型の流れであり、発生する渦が完全剥離型では再付着型に比べ大きくなっている。渦放出周波数は迎角 $\alpha = 0^\circ \sim 10^\circ$ は $6.1 \sim 7.0$ [Hz] で迎角 $\alpha = 15^\circ \sim 45^\circ$ は $3.2 \sim 3.7$ [Hz] となり、再付着型と完全剥離型の流れで大きく異なっている。

再付着型、完全剥離型の観測点での空力音の音圧レベル (SPL) を図・6、図・7 に示す。空力音に関しては再付着型では、Curle の式、Howe の式ともに比較的近い値が得られ、完全剥離型では両者で値が異なる傾向がみられた。Curle の式は物体上の流体圧力変動を音源とし、物体上の積分で観測点での空力音圧を求めるのに対し Howe の式は流れ中の渦の挙動を音源とし、流れ場領域の積分で観測点での空力音圧を求める。したがって、発生した渦が物体表面から離れた位置に形成される完全剥離型の場合には、渦の影響が物体上の流体圧力変動に反映されにくい可能性があり、Curle の式による空力音の算定値には誤差が生じることが考えられる。

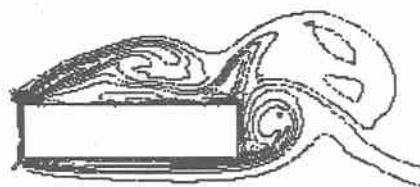
Howe の式による空力音分布を図・8 に示す。迎角 $\alpha = 0^\circ$ では観測点 $\theta = 90^\circ$ で SPL が最大値をとり観測点 $\theta = 90^\circ$ から離れるにしたがって SPL は小さくなる。また $\alpha = 15^\circ$ を除けば、迎角 α が大きくなるにつれて SPL が最大となる観測点が $\theta = 90^\circ$ から上流方向に移動する傾向がある。迎角 $\alpha = 0^\circ \sim 10^\circ$ と迎角 $\alpha = 15^\circ \sim 45^\circ$ で分布形状が異なり、空力音の空間的な分布特性についても再付着型と完全剥離型に分けることができる。

4. まとめ

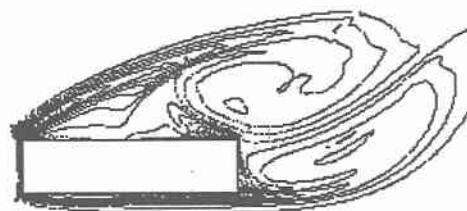
迎角 $\alpha = 10^\circ$ から $\alpha = 15^\circ$ を境に流れ特性あるいは空力音特性が再付着型と完全剥離型に分かれる。完全剥離型では Curle の式と Howe の式で空力音の算定値が異なる傾向がみられた。このことは剥離渦の影響が物体上の流体圧力変動に反映されにくいような場合、Curle の式では空力音を適切に評価できない可能性を示唆する。

謝辞：本研究の一部は、(財) 中国電力技術研究財団試験研究助成および (財) ウエスコ学術振興財団学術研究費助成により行われたことを付記し、ここに謝意を表します。

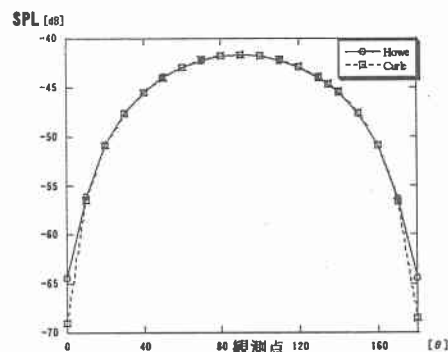
参考文献 1) 古池、石原、後藤、高原：数値解析による流体音の音源分布の解析、日本機音学会論文集(B 編)、62 巻 595 号(1996-3)



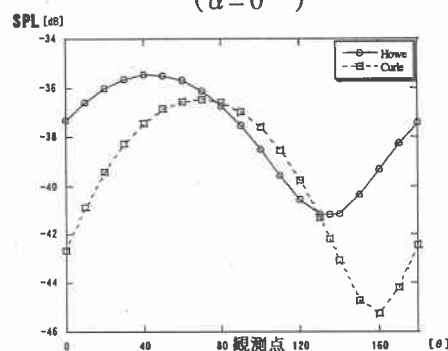
図・4 迎角 10° の瞬間の渦度



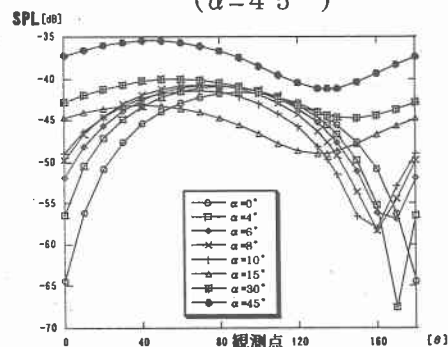
図・5 迎角 15° の瞬間の渦度



図・6 再付着型空力音分布 ($\alpha = 0^\circ$)



図・7 完全剥離型空力音分布 ($\alpha = 45^\circ$)



図・8 Howe の式による空力音分布