

## 突起物から発生する空力音に対する丸みの影響

金子 宗嗣, 中村 佳朗 (名古屋大学工学研究科), 小池 勝 (三菱自動車工業 (株))

## Effect of Roundness of Protuberance on Aerodynamic Sound

M. KANEKO, Y. NAKAMURA

Nagoya University

anda

M. KOIKE

Mitsubishi Motors Corporation

Key Words: Aerodynamic Acoustics, Subsonic Flow, CFD, Shear Flow, Flow Separation

## Abstract

The aerodynamic sound generated from a protuberance has been simulated in this study. The protuberance, which is placed on a flat plate, has three kinds of shape at the leading edge. The propagation of sound waves is examined by solving the three-dimensional N-S equations to observe small pressure fluctuations both in the near and far fields. Numerical results show that vortices created from near the leading edge may make pressure waves, leading to acoustic waves. Moreover, FFT analysis shows that the frequency profile partly agrees with experimental data.

## 1. はじめに

自動車の騒音源のひとつとして、フロントピラーから発生する空力音がある。これは、ピラーで剥離した流れが作るせん断層 (剥離せん断層) から発生すると考えられる。また、実験では、理論式を用いた発生音予測がある程度可能であることも示されている<sup>[1]</sup>。しかし、剥離せん断層からの空力音発生とその伝播の機構は、いまだ十分には解明されていない。例えば、車室内騒音を低減するためには、その機構を解明し、それに基づいて空力音発生を抑制することが不可欠である。本研究では、平板上に置かれた突起物の、先端部の丸みを変化させ、剥離せん断層の挙動と音圧レベルとの相関関係を数値シミュレーションにより明らかにする。

## 2. 数値計算法

支配方程式は3次元圧縮性 Navier-Stokes 方程式で、数値計算では、空間を有限体積法で離散化する。また、セル境界値を6次精度の ENO 法で計算し、数値流束は Roe 法で求める。時間積分は4次精度の Runge-Kutta 法を用いる。計算は名古屋大学情報連携基盤センターの VPP5000 で16PE を用いて行った。

空力音の解析は、実験での観測位置と同じ場所で、圧力変動履歴を取得し、FFT 解析から音圧レベルを評価した。

## 3. 計算結果および考察

本研究では、小池らにより行われた実験<sup>[1]</sup>を参考にし、計算を行う。実験では第1図に示すように、前向きステップ前縁半径 ( $r$ ) が大きくなると遠方場での音圧レベルが減少する傾向が捉えられている。

計算領域を第2図に示す。風洞の正方形噴出し口 ( $D =$

100mm) 下流に、主流方向長さ  $6D$ 、幅  $3.6D$  (スパン方向長さ) の平板を設置する。その上に高さ  $h = 0.07D$  の前向き段差を噴出し口から下流方向  $0.23D$  の位置に置く。噴出し口での流速は、 $U_\infty = 40\text{m/s}$  ( $M_\infty = 0.12$ ) である。音圧レベルの観測点は実験と一致させ、 $(x, y, z) = (0.8D, 2.0D, 1.8D)$  の位置で行う。段差の前縁半径は、 $r = 0, 1, 2\text{mm}$  の3ケースとする。なお格子点数は  $(x, y, z) = (150, 100, 60)$  の合計90万点で、最小格子幅は、 $10^{-5}\text{m}$  である。

## マッハ数分布

第3図に各ケースのマッハ数等値面を示す。前向き段差の前縁半径が大きくなると、段差前縁からの剥離せん断層と水平面のなす角が小さくなる。とくに、 $r = 2$  (第3(c)図) では、剥離流は約  $x = 1.5D$  (前縁から  $21.4h$ ) で再付着し、せん断層が壁面と干渉することにより、壁面近傍で非常に乱れた流れ場となる。前縁半径が大きくなるほど、ステップ後方部での、せん断層の拡散が大きくなるので、音圧レベルのオーバーオール値に対する、せん断層の影響は小さくなるものと考えられる。

## 渦度分布

ステップ前縁付近では、前縁剥離流の連続的なせん断層が崩壊し、渦のかたまりが放出されている (第4図)。前縁半径が大きくなると、剥離せん断層の不安定性が増大し、せん断層内に小さな渦のかたまりが現われる。したがって、渦による圧力変動が音響場の高周波成分に与える影響は前縁半径が小さいほど大きいことが考えられる。これは、第1図の結果と一致する。

## 圧力分布

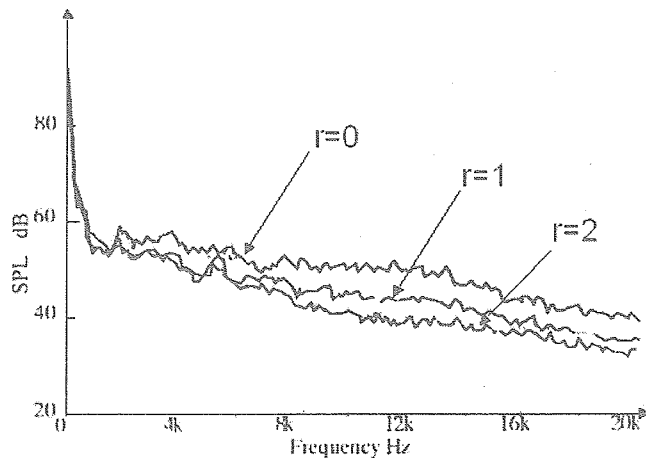


図 1: マイクロフォン位置での音圧レベル (実験: 参考文献 [1] より抜粋;  $r$  は前縁曲率半径)

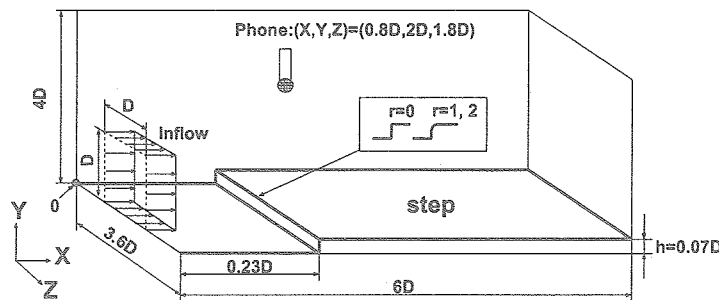


図 2: 計算領域

$z = 1.8D$  断面における圧力分布を第 5 図に示す. 前縁からの剥離せん断層から放出された渦による圧力分布は, 前縁半径が小さい場合, より規則的に下流まで持続している. また, 渦の塊が壁から垂直方向に大きく変動する可能性を示している.  $r = 2$  の場合, 渦による圧力分布はより物体に近い領域に存在し, かつその特性長さも小さい. これらの観察に基づけば, 流れ場中の音源は, 剥離せん断層から生成された大きな渦およびそれらが合体した渦が大きく振動することによる圧力変動であると考えられる.

前縁半径が大きい場合, 剥離せん断層はより物体に近い領域に存在するのでその意味では物体表面上の圧力変動は大きくなる (第 6 図). しかし, 第 1 図では前縁半径が大きいほど, マイクロフォン位置での音圧レベルは低くなり, この結果とは逆の傾向を示している.

計測点での音圧レベル

実験でのマイクロフォン位置と同じ位置での, 計算から求められた音圧レベルの結果を第 7 図に示す. 音圧レベルの傾向および絶対値は実験とほぼ一致する. また, 実験では, 観測点における音圧レベルは Curle の理論からの予

測とは異なり,  $r = 0$  よりも  $r = 1$  の方が高周波領域で音圧レベルが下がっている (第 1 図). 計算結果は, 傾向的には  $8kHz$  以上の周波数帯では,  $r$  が大きくなると, 音圧レベルは小さくなり, 定性的に実験と一致する.

圧力変動分布 (第 5 図および第 6 図) と音圧レベルを考慮すると, 少なくとも本研究のような流れ場では, 音響場に対して, 物体表面上の圧力変動よりも, 物体前縁からの剥離せん断層からの渦による圧力変動が主たる影響を及ぼしていると考えられる.

音圧レベルの空間分布

音圧レベルの空間分布を第 8 図に示す.  $r = 0$  の場合には, 剥離せん断層, および渦から放射される音に指向性があり, 遠方での音圧レベルは僅かではあるが, 他のケースよりも大きくなる. また,  $r$  が大きくなるとせん断層が拡散的になり, 物体表面との干渉が起きるために, 音の放射も同様に拡散的になり, 指向性も単調なパターンとなる (第 8(c) 図). ただし, 物体前縁付近の音圧レベルの絶対値は  $r = 2$  が最大である. これは,  $r$  が大きいと剥離せん断層がステップ表面に近付き, ステップ表面との干渉が起こ

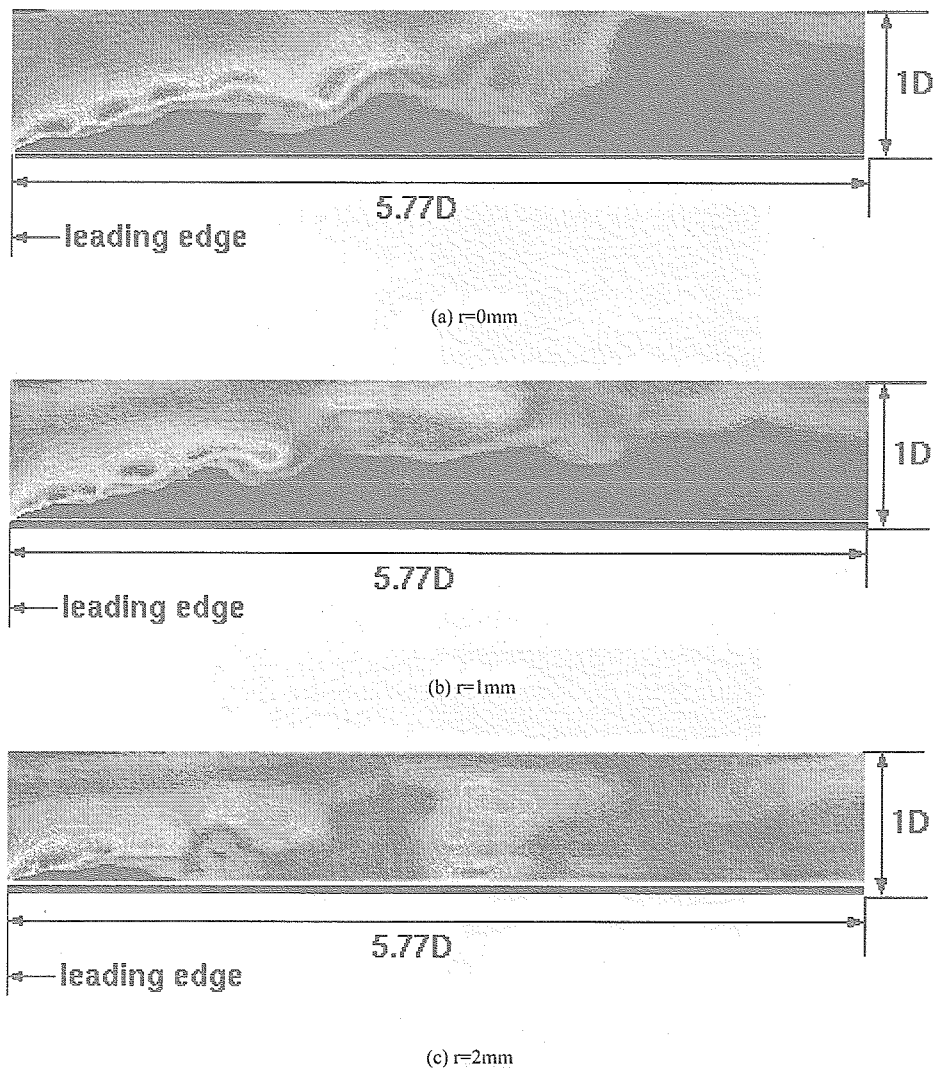


図 3: 前向き段差まわりのマッハ数分布

るためである。これにより、本研究で取り上げたような流れ場では、せん断層内の渦の特性および放出された渦のかたまりの挙動が音響場に影響しているものと思われる。

#### 4. まとめ

圧縮性 Navier-Stokes 方程式を数値的に解いて、前向きステップから発生する空力音の解析を行った。ステップ前縁半径を変化させることによる流れ場と音響場の変化は次のようにまとめられる。

- 剥離せん断層からの渦は前縁半径が小さくなるほど大きくなり、前縁半径が大きくなるほど小さくなる。
- せん断層と渦から放射される音は、前縁半径が小さいほど大きく、指向性を持つ。前縁半径が大きくなると、せん断層は拡散的になり、音が小さくなるとともに、指向性が単調なパターンとなる。

- 物体表面上の圧力変動は、前縁半径が大きい程大きくなる。
- 音圧レベルは実験と計算でほぼ一致する。
- 遠方場における音圧レベルに対しては、物体表面上の圧力変動よりも剥離せん断層およびそこから放出される渦による圧力変動が支配的であると推測される。

#### 参考文献

- [1] 小池 勝, 深野 徹: 平板上の物体によるはく離流れから発生する騒音, 日本機学会論文集 (B 編), 64(1998), pp. 767-774.

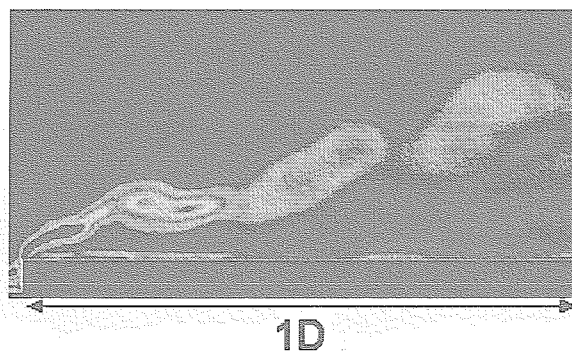
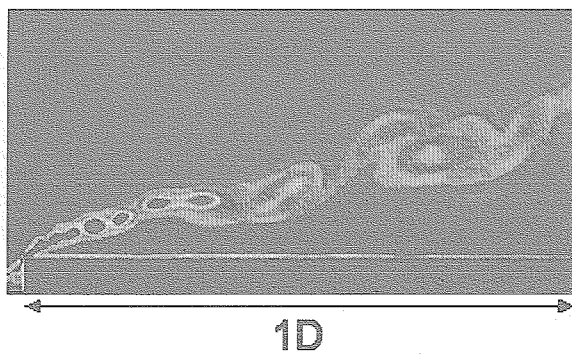
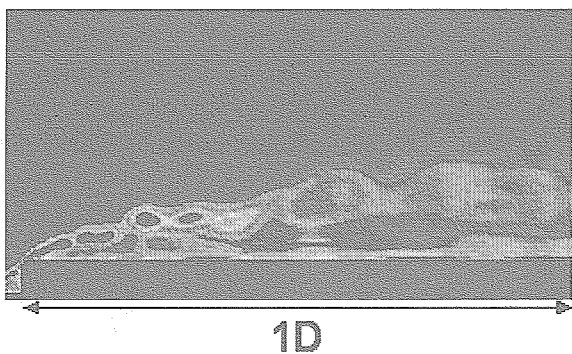
(a)  $r=0\text{mm}$ (b)  $r=1\text{mm}$ (c)  $r=2\text{mm}$ 

図 4: 前向き段差まわりの渦度分布

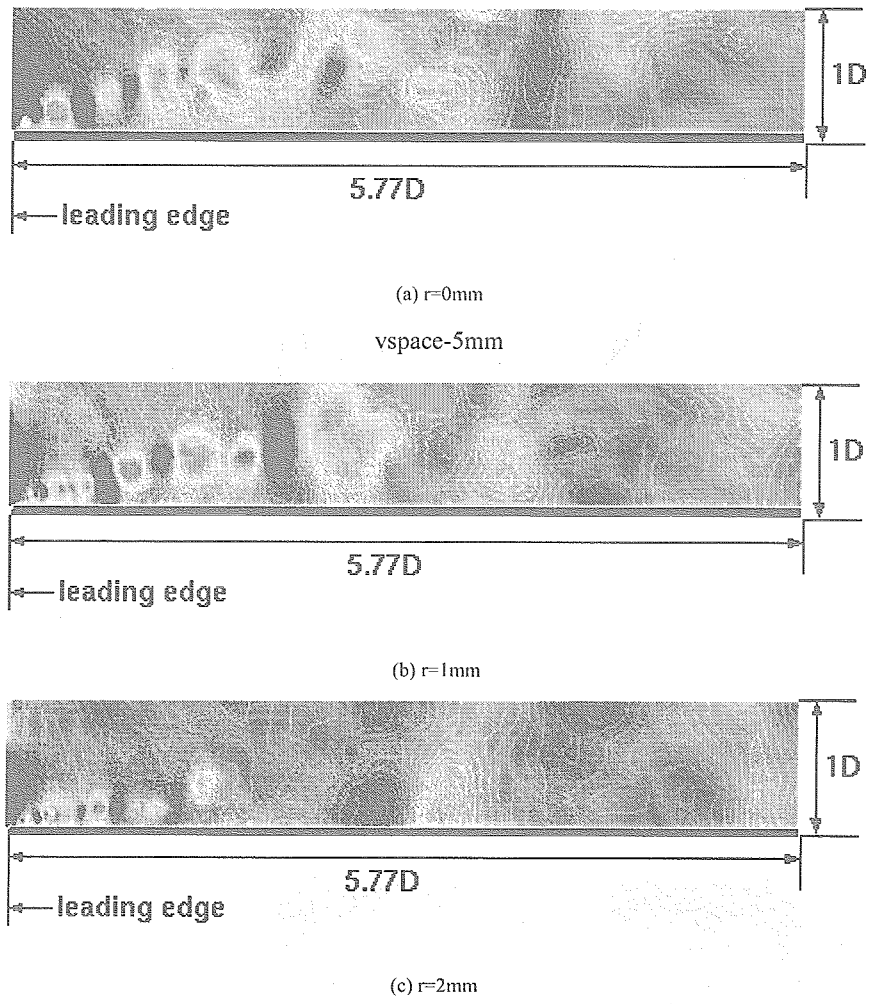


図 5: 前向き段差まわりの圧力分布

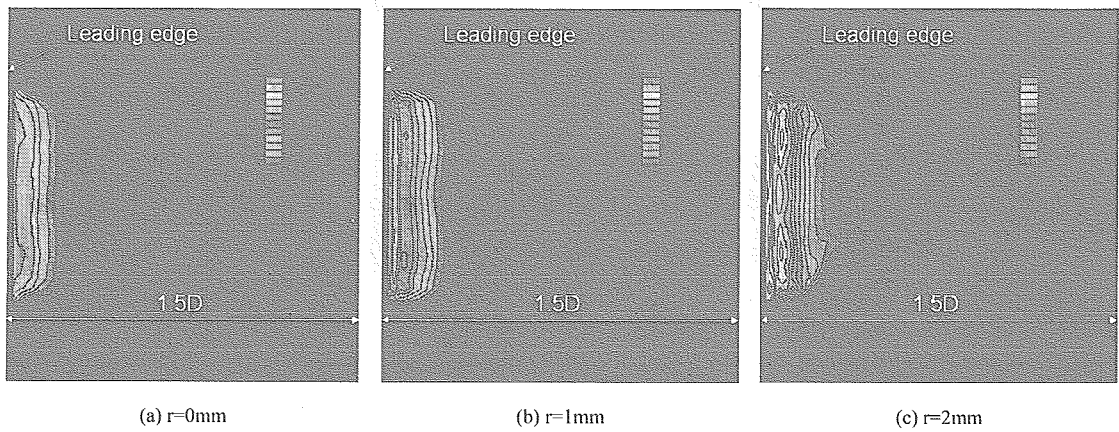


図 6: 物体表面上の圧力変動

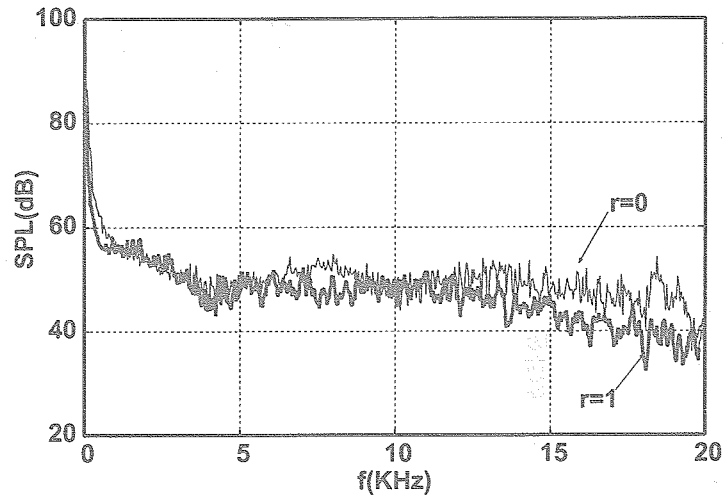


図 7: マイクロフォン位置での音圧レベル (CFD)

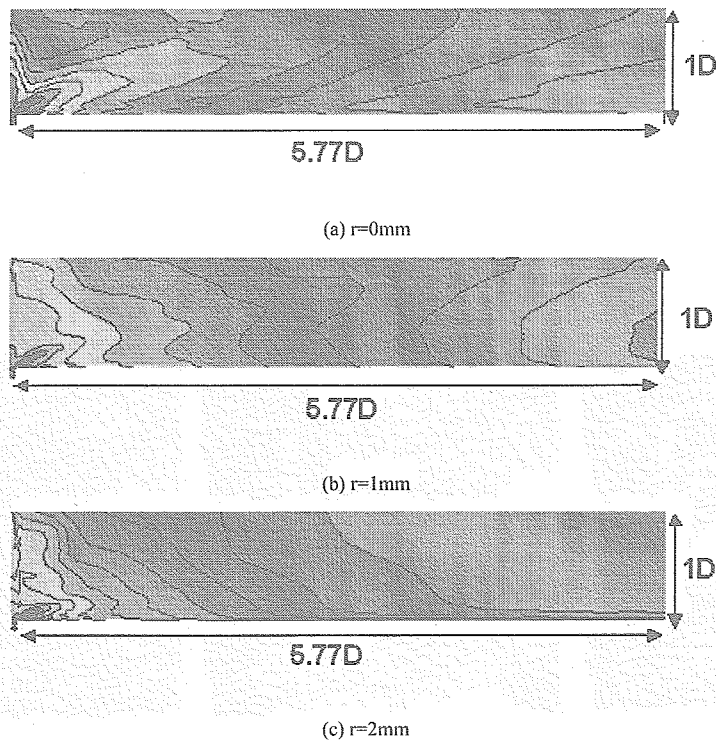


図 8: 音圧レベル分布