

## 研究成果報告書

所属機関  
富山県立大学

職名  
准教授

氏名  
寺島 修

### 研究テーマ

音響透過材料を用いた外部エネルギーが不要な流体騒音低減技術の開発

---

### 研究報告

#### 1. 研究の背景と目的

##### ○ 背景と目的

物体が空気流にさらされると必ず音が発生します。そして、この音は必ず騒音として周囲にいる人たちにとって不快なものとなります。このため、本来であれば人間にとって好適なものである機械であっても、その騒音により不快な機械となってしまいます。

この騒音は、例えば風力発電用のブレードから発生する騒音について言えば、それ自体が直接的に環境負荷となる上、環境保全の妨げとなることがあります。また、空調機などから発生する騒音については、それを低減するための対策を施すことにより、製造に使用する材料の種類増加・機械の消費電力の増加・製品の重量の増加を招くため、間接的に環境負荷の増加と環境保全の妨げとなります。

そこで本研究では、物体の音響透過性能に着目した新たな空力騒音低減手法の確立を目指して研究を行います。この手法では、外力を必要とせず空力騒音の低減を可能とするため、有効な、実用性の高い手法となる可能性があります。

##### ○ 研究の方法

本研究は以下の流れで行いました。

##### (a)騒音低減原理の理論的証明 【2021年4月から9月】

物体の一部に音響透過性能をもたせることで、大幅な空力騒音の低減が達成できた一方、その明確なメカニズムは明らかになっていません。このため、実験と理論の両面からこの原因について調べます。実験では、(a-1)音響透過性材料近傍の変動圧力の計測、(a-2)音響透過性材料周囲の流体計測、を行います。また、理論では、従来から知られているナビエ・ストークス方程式やライトヒル・カールの音源項の理論式に関し、(a-3)音響透過性材料を適用した場合に方程式のどの項に影響を及ぼし、その結果として騒音が低減するのか、を明らかにします。

(a-1)、(a-2)に関しては、風洞試験装置を用いた実験を行います。実験では、申請者がこれまでの研究で開発した静圧変動計測用プローブを用いた音響透過性材料近傍の変動圧力計測、画像粒子速度計を用いた流れの計測を行います。また、(a-3)に関しては、理論式を基にした数値解析を行い、音響透過性材料を使用することによる各項への影響度を明らかにします。

##### (b)最適な音響透過性材料の決定方法 【2021年10月から2022年3月】

これまで、いくつかの音響透過性材料を用いて騒音低減量を評価した結果、使用する音響透過性材料による騒音低減量が異なることが明らかとなりました。これはすなわち、使用する音響透過性材料の特性により、騒音低減量が異なることを意味しています。このため、以下の図に示す音響透過性能評価装置を用いて、使用する音響透過性材料の種類・特性と、騒音低減量の関係を定量的に明らかにします。また、(a)と(b)の結果を踏まえ、騒音を低減したい対象物に対して最適な音響透過性材料の種類を決定する方法を明らかにします。

##### (c)音響透過性材料の適用部位の決定方法 【2021年4月から2021年12月】

上述の通り、音響透過性材料を用いることで空力騒音の低減が図れることが明らかになった一方、音響透過性材料の適用量・適用面積・適用部位による騒音低減量の差異が不明です。このため、様々な形状の物体を対象に、この材料の適用部位や面積を変えた場合の騒音低減量の差異について調べます。また、その差異が発生する原因を、(a)に記載の手法で調べます。

##### (d)音響透過性材料による騒音低減量の予測方法 【2021年4月から2022年3月】

音響透過性材料を使用した場合の騒音低減量を予測可能とすることは、この技術の実用化に向けて必要不可欠です。そこで本研究では、音響透過性材料を使用した場合の物体周りの流れや圧力の様子をシミュレートする技術を構築します。この技術により、音響透過性材料を使用した場合の騒音低減量の予測を可能とします。また、(b), (c)に示した音響透過性材料の特性を変化させた場合の騒音低減量の予測も可能となるため、実用化に向けた基礎技術の構築をさらに進めていきます。

この技術は市販の流体解析ソフトウェアをベースに構築するため、今後広く社会で利用可能なものとなることを期待できます。

## 2. 研究成果および考察

頁数の制約により、研究成果の一部を抜粋して記述します。詳細は既報をご参照下さい。

### ○実験方法

風洞実験は低騒音風洞を使用して行いました。この風洞の測定室は半無響室となっており、図2に示す形で流れ場の二次元性を保つためアクリル製の端板に挟む形で角柱を設置しました。角柱の長辺を有する面に対して垂直方向に1,500 mm離れた位置にマイクロホンを設置しました。主流速  $U_0$  は20-40 m/s としました。座標系  $x, y, z$  はそれぞれ流れ方向、スパン方向、高さ方向にとり、原点を角柱後縁、柱幅の中間、柱高さの中間点の位置としました。マイクロホンはPCB社製の130F20を使用し、マイクロホンの信号はデータロガー(Keyence社製NR-500, CA04)を用いて収集し、PCに取り込みました。計測時のサンプリング周波数は100 kHzとし、主流速は吹出し口に設置したピトー管で計測して所望の値としました。抗力と揚力の計測は角柱の側面にロードセルを取り付け行いました。

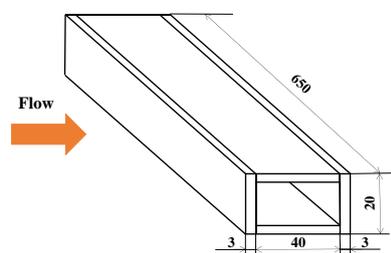


Fig. 1 Schematic of the rectangular cylinder (dimensions in mm).

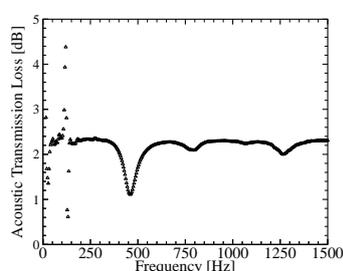


Fig. 2 Acoustic transmission loss of a porous plate.

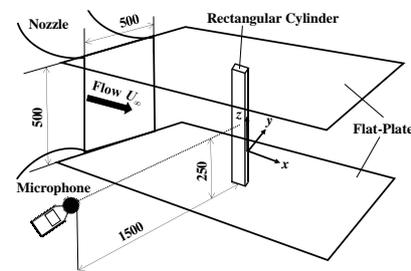


Fig. 3 Schematic of experimental setup (dimensions in mm).

### ○空力騒音の計測結果

図4(a), (b)に角柱から発生する空力騒音のFFT解析結果を示します。(a)はアルミニウム、(b)は多孔質材を用いた場合の結果です。FFT解析のサンプリング数は100,000点、平均回数は5回としました。図の横軸は周波数、縦軸は音圧を表しており、最小可聴音圧  $2 \times 10^{-5}$  Pa に対するdB値で表した。図4(a)より、20 m/s (黒色)では68 Hz、30 m/s (赤色)では101 Hz、40 m/s (青色)では135 Hzの周期性の高い音が強く発生し、流速に線形比例することが分かります。また、角柱の短辺の長さ20 mmを代表長さとしたストローハル数は0.7程度となり、このレイノルズ数域(26,000-52,000)における同辺長比の角柱のストローハル数の計測結果と同程度でした。一方、図4(b)より、多孔質材を用いた場合は40 m/s (緑色)で208 Hzの周期性の高い音が発生しており、アルミニウム製の結果に比べて周波数が1.6倍程度となりました。また、音圧は60 dB程度で、アルミニウム製で40 m/s時に発生していた135 Hzの音圧87 dBに対して25 dB以上小さくなりました。さらに、多孔質材を使用することで200 Hz以上の帯域の周波数の音が小さくなっていることが分かりました。

### ○角柱後流の速度場の計測結果

図5, 図6に角柱後流の  $x$  方向平均流速  $U$ ,  $x$  方向速度変動のrms値  $u_{rms}$  の等値線図をそれぞれ示します。(a)はアルミニウム製、(b)は多孔質材を用いた角柱の後流における計測結果です。両図の比較より、多孔質材を用いた場合、アルミニウム製の角柱の場合に比べ、角柱後流の逆流域が大きくなっていることがわかります。また速度変動のrms値は小さく、その空間内における変化も小さくなっています。これらを踏まえると、多孔質材を用いることで角柱前縁部において発生するはく離渦の空間スケールが小さくなり、角柱後流の速度欠損域の幅( $y$ 方向長さ)が狭くなるものと考えられます。また、これに伴い角柱後流の速度変動の大きさが小さくなるものと考えられます。そしてこれらの結果、発生する空力騒音の周期が短くなり、空力騒音の周波数が高くなったものと考えられます。さらに、角柱後流の速度変動が小さくなった結果、角柱表面で生じる圧力変動が小さくなり、空力騒音の音圧が小さくなったものと考えられます。

### ○まとめ

空力騒音が低減する原理を、後流の速度分布から明らかにすることができました。また、その他にも揚力や抗力の計測、数値シミュレーション結果、最適設置位置検討結果を得ることができました。

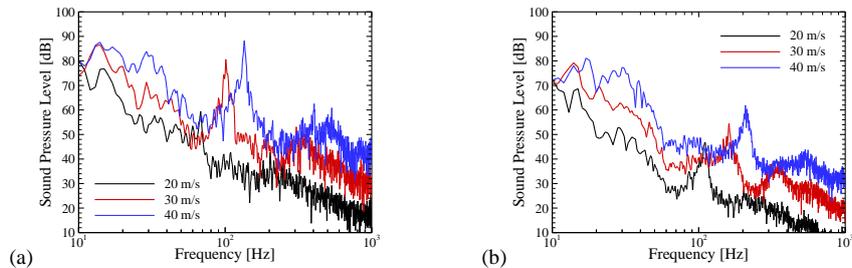


Fig. 4 FFT results of measured sound pressure (a) without and (b) with porous plates.

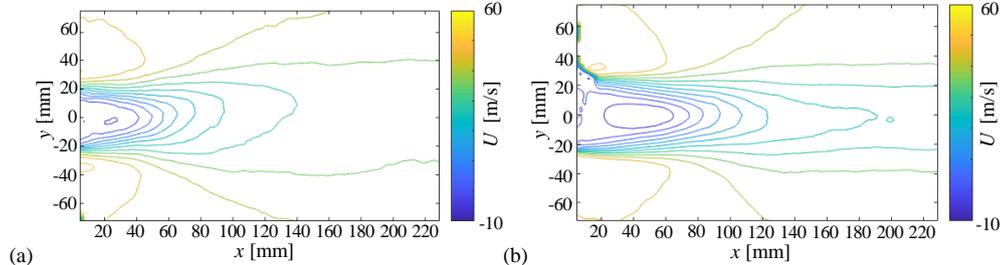


Fig. 5 Contour maps of streamwise velocity in the wake of the cylinder using (a) without and (b) with porous plates.

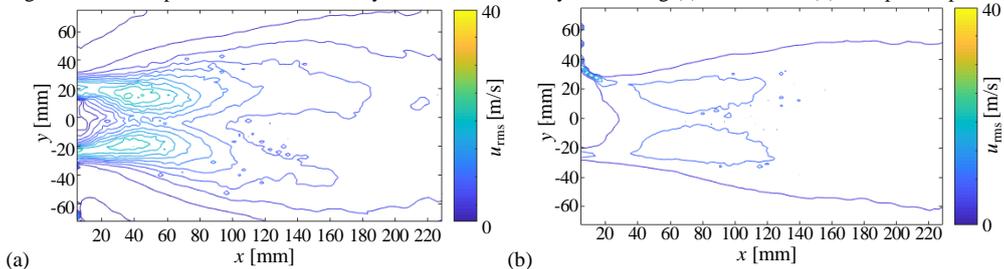


Fig. 6 Contour maps of streamwise velocity fluctuation in the wake of the cylinder using (a) without and (b) with porous plates.

### 3. 将来展望

貴財団の助成により、研究を大きく進展させることができました。この結果、この手法の可能性が広く認められるようになり、様々な受賞にもつながりました。このため、今後はこの手法の実用化に向け、さらに研究を進めていく予定です。

### 4. 研究発表

#### ○ 口頭発表

- ・音響透過性をもつ多孔質材を用いたはく離流れの制御による抵抗と騒音の低減

西川礼恩, 寺島修, 稲澤歩, 宮島敏郎

日本機械学会北陸信越支部 2022年合同講演会 2022年3月5日

- ・自動車内の静粛性向上に向けた空調機気流音の能動/受動制御技術の研究

重昂輝, 西川礼恩, 奥野未侑, 寺島修

日本機械学会北陸信越支部 2022年合同講演会 2022年3月4日

#### ○ 国際会議プロシーディングス

- ・Research on Aerodynamic Noise Reduction Technologies Focusing on Sound Transmission Loss of Object Surface

Koki SHIGE, Miyu OKUNO, Reon NISHIKAWA, Osamu TERASHIMA

Proceedings of 16th ISEM 2021年11月

- ・Passive control of the flow-induced noise from a rectangular cylinder using porous walls

Reon Nishikawa

INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings 263(2) 4219-4225 2021年8月1日

#### ○ 受賞

- ・日本機械学会 若手優秀講演フェロー賞

音響透過性をもつ多孔質材を用いたはく離流れの制御による抵抗と騒音の低減

西川礼恩, 寺島修, 稲澤歩, 宮島敏郎

- ・テクノアイデアコンテスト テクノ愛 2021 準グランプリ

多孔質材料を用いた気流音の低減

重昂輝, 西川礼恩, 奥野未侑