

審査の結果の要旨

氏名 宇田 東樹

本論文は、近年、新幹線鉄道のパンタグラフ等から放射される空力騒音が列車速度の向上を妨げる一因になっている問題と関連して、流れ場の情報のみを利用して空力音を予測する実験的評価手法を構築すること、および空力音の発生機構やスパン方向の構造性に関する知見を得ることを目的とした実験的研究である。

本論文は「高速 PIV を用いた流れ場と空力音の実験的解析」と題され、全 7 章から構成されている。

第 1 章は「序論」であり、工学的・社会的な意義も含めた研究の背景と目的、および過去に行なわれた空力音の実験的解析に関連した研究を挙げ、従来の研究に対する本論文の位置付けや新規性について述べている。

第 2 章は「空力音の理論」であり、Lighthill の音響アナロジーに始まり、Curle の式や Powell および Howe の渦音理論式などにおける空力音源の物理的解釈の違いについて説明している。そのうえで、音の発生機構に関する詳細かつ実験的な知見を得るには、Howe の渦音理論に基づく方法が適切であるとしている。渦音理論式を用いた空力音の実験的研究は過去にもいくつか認められるが、積分領域の制約による影響が大きく、音圧を定量的に評価することが難しかったという問題にも触れている。そして、この問題は散乱音源のみを対象とした定式化を採用することで克服することができることを指摘している。

第 3 章は「実験手法」であり、時間的・空間的な流れ場測定に適した高速 PIV を採用したことや流れと音の同時計測システムの構築方法について説明している。この単断面に対する実験システムに加えて、空力音の三次元的な広がりについて考慮するため、レーザーの偏光特性を利用した二断面の同時測定システムの構築についても合わせて説明している。

第 4 章は「円柱まわりの流れ場と空力音の解析（単断面）」であり、流れ場情報のみを利用して実験的に二次元円柱まわりの空力音源を求めている。この解析から、円柱まわりの空力音源が主に剥離点近傍およびカルマン渦の形成領域に分布することを示す

とともに、両者は相異なる周波数依存性を有した音源構造であることも明らかにしている。さらに、推定音圧と実際に同時測定して得られた実測音圧との比較を行い、流れ場中の支配的な空力音源に関して、両者が良好に一致する結果を初めて示している。

第5章は「円柱まわりの流れ場と空力音の解析（二断面）」であり、実用的な問題への展開を考慮した二断面の同時測定を行うことで、円柱のスパン方向の音源構造を実験的に取得し、解析した結果について述べている。円柱供試体に対する二断面の同時測定からは、従来実験的に計測することの困難であった音源の空間的な相関長分布に関する実験的な知見が得られている。その結果、空力音源が円柱後流のカルマン渦の巻き込む部分で大きな値をとること、およびその音源構造がスパン方向に円柱直径の3倍程度維持されており、この強い相関構造が遠方場における空力音に強く寄与していることが述べられている。

第6章は「パンタグラフ舟体近傍の流れ場と空力音の解析」であり、前章までで確立された空力音源の実験的評価手法を、より実用的な問題としてパンタグラフの舟体部分に適用し、実験的解析を行っている。円柱の場合には、音源項の算出において必要となる音響的なパラメータは解析的に求めることができたが、複雑形状の場合には不可能である。そこで、境界要素法を用いて音響的な放射効率を数値的に決定している。これと実験的に求められた流れ場とを連成させることによって空力音源を推定し、その結果、舟体まわりの代表的な音源位置を実験的に抽出することに成功している。

第7章は「結論」であり、流れ場情報のみを利用して、実験的に空力音（散乱音源）を定量的に予測できたことや円柱近傍に分布する音源構造の周波数依存性・スパン方向の音源構造に関する知見がまとめられている。

以上、本論文では従来、定量的に精度良く評価することの難しかった、流れから発生する空力音の実験的評価手法を開発し、空力音源を解析している。散乱音源のみを対象とした評価式を採用するとともに、高速 PIV を用いて精度良く渦度変動を捉えることで、流れ場の中の支配的な空力音源を求めることが可能であることを初めて示している。その結果、この手法を用いて、円柱まわりの空力音源や発生機構に関する知見を得ている。また、偏光特性を利用した二断面の同時 PIV 測定システムを構築し、本手法の適用範囲の拡張を図っている。本論文で提案された空力音の実験的評価手法は、マイクロホンアレイなどに頼らざるを得なかったこれまでの空力音の計測手法と異なる、幅広い工学的応用の期待できる評価手法であり、得られた空力音源に関する知見も重要な意義を持つ。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。