

審査の結果の要旨

氏名 水島文夫

本論文は、新幹線車両車間部から発生する空力騒音に関して、数値シミュレーションによる予測手法を構築するとともに、構築した予測手法を用いて、空力騒音源となっている流れの渦構造を詳細に検討し、騒音を低減する具体的な形状を提案し、風洞実験により騒音低減効果を確認することにより、本論文で構築した、空力騒音の予測手法の有効性を実証したという内容である。

第1章では研究の背景として、新幹線車両から発生する空力騒音は車両速度の増加に伴い、速度の約6乗に比例して急激に増大するので、沿線騒音の低減は新幹線車両の更なる高速化にとって不可欠であること、また、新幹線車両から発生する空力騒音の中でも、特に車間部から発生する空力騒音の低減が重要であること、さらに、このような騒音の予測手法は工学的にも応用範囲が広く、その構築は重要な課題であることを詳述している。このような背景の下、本論文の目的として、新幹線車間部から発生する空力騒音の予測手法の確立、確立した予測手法による騒音発生メカニズムの解明、ならびに、得られた知見による騒音低減方法の提案とその効果の実証をおいたことを述べている。

第2章では、研究対象とする現象を明確にするために実施した、1/5縮尺車両模型を用いた大型風洞実験の結果について記述している。風洞実験の結果、(1)車間部から発生する空力音の本質は、乱流境界層が流入するキャビティ音であること、(2)発生騒音には、低周波のピーク音と高周波広帯域の音が混在していること、(3)ピーク音の低減は、音響共鳴の発生を防止することなどにより、比較的容易に行えること、および、(4)高周波広帯域音は下流側エッジ部付近で発生しているが、その騒音発生メカニズムは不明であることなどが明らかとなった。これらの結果に基づき、本研究では、高周波広帯域音を対象として、数値流体解析による空力騒音の予測手法の構築を目指すことにした。

第3章では、数値解析による空力騒音の予測手法の構築に関して記述している。本研究の対象は低マッハ数、高レイノルズ数の流れから発生する空力騒音

であり、またフィードバック音を対象としないことから、音源となる流れ場の解析と、音の伝播の解析（音響解析）を分離して実施する、分離解法のアプローチをとった。音響計算に用いる音源には、Lighthill の応力テンソル T_{ij} の第一項、 $u_i u_j$ の空間微分（発散）で定義する渦音源を与え、その音源となる流れ場の解析は非圧縮性の LES（Large Eddy Simulation）により解析した。まず、音源を計算する LES の格子解像度に関する詳細な検討を行い、音源となる車間部下流エッジ部の周りでは、車間部代表長さの 1/500 程度の格子解像度が必要であり、この解像度を用いた LES により、実用上問題となる、無次元周波数範囲にして 10 程度までの空力騒音源を正確に計算できることを示した。次に、渦音源 $\text{div}(u_i u_j)$ を用いた音響解析手法に関しては、従来、格子解像度として音の波長の 1/10 程度で十分であるとされていたが、本研究で対象としている乱流境界層騒音に対しては、上記の格子解像度では、音源のキャンセリング効果が正確に考慮されず、発生する音を大幅に過大評価してしまうことが示され、少なくとも音源領域に関しては、流れの解析に用いたのと同程度の格子解像度が音響解析にも必要であることを示した。さらに、音源領域の端部における打ち切り効果を考慮することが重要であること示し、このための一手法として、空間的な窓関数を掛ける手法を提唱した。

第 4 章では、前章で構築した空力騒音の解析手法を用いて、車間部の基本形状である、乱流境界層中に置かれたキャビティから発生する空力騒音を計算し、音の発生メカニズムの関して詳細な検討を加えた。この結果、高周波広帯域の音源はエッジ上面に存在し、エッジ上面の再剥離領域で巻き込み、引きちぎられる渦の挙動が、騒音発生の基本的なメカニズムであることがわかった。一方、音響解析の結果、音はエッジ上面の上方に指向性を持って放射されることがわかった。また、上記の下流側エッジ上面に存在する音源は、主流方向、スパン方向に逆位相の音源がランダムに配置されているため、位相のキャンセリング効果が既に効いており、騒音低減には音源そのものの強さを弱める必要があることがわかった。このような新たに得られた知見に基づき、尖ったエッジ部での急峻な渦の変形を緩和するため、エッジ形状を円弧状に丸める手法を提唱し、数値解析ならびに風洞試験により、騒音低減効果を確認した。

第 5 章では、要素形状であるキャビティ流れを対象とした騒音低減手法を実際の車両形状に適用した結果について述べている。新幹線の車間部周りを対象とした、約 1 億 5000 万格子点の大規模 LES 解析の結果から、3次元性を有する車両形状周りの流れや音源構造も基本的な特性はキャビティ形状の場合と同じであることを確認するとともに、1/20 縮尺模型を用いた風洞実験により、本研

究で開発した、エッジを円弧状に丸める騒音低減手法が、車両形状に対しても有効であることを確認した。

第 6 章では、本研究で得られた、新たな学術的、工学的知見を纏めて記述している。

以上、本研究により、乱流境界層や境界層中に置かれたキャビティから発生する空力騒音の予測手法が構築されたとともに、キャビティから発生する空力騒音に関して、詳細な音源構造が明らかとなり、その知見を新幹線車両車間部から発生する空力騒音の低減に適用することにより、本研究で構築した空力騒音の予測手法の有効性を実証することができた。

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。