

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 高石 武久

修士(工学)高石武久提出の論文は「高速車両下部空力音の発生機構の研究」と題し、本文5章及び付録4項から成っている。

近年の鉄道的高速化に伴い、沿線騒音のうちで、空力音(空気力学的に発生する音)の割合が大きくなっている。従来、鉄道車両から発生する空力音はパンタグラフ系やケーブルヘッド、給排気用ルーバ構造など屋根上機器によるものが大きかったが、これらは機器形状を平滑化することやカバーを設けることによって、その騒音レベルを下げるができるようになった。それに伴い、相対的に車両下部から出る空力音の寄与が大きくなりつつある。鉄道の騒音低減対策として防音壁の設置が有効であるが、周波数の低い音は回折によって防音壁を乗り越えて伝播するので、その対策が必要である。一般にレールと車輪の接触によって発生する転動音に比べて空力音の周波数は低い。鉄道車両が時速300kmを越える高速化を目指すためにはこのような低周波数の空力音の発生機構を明らかにし、その低減化を図ることが必要である。

このような観点から、著者は、車両下部空力音について鏡像法模型を用いた風洞実験、流体音響学に基づく理論解析および車両まわりの流れの三次元数値解析を行うことにより、その発生機構を明らかにし、今後の騒音低減の策定に役立たせることを目的としている。

第1章は序論で、本研究の背景、特に車両下部空力音の低減の必要性を強調し、従来の研究動向との関連を述べ、本研究の目的と意義を明確にしている。

第2章では、鏡像法模型を用いた風洞実験について述べている。走行中の車両と地面は相対運動をしているので、風洞実験で車両下部空力音を評価するためには、地面の相対運動を考慮した床下流れを再現する必要がある。移動地面と同様にその現象を再現しようとすると移動地面の稼働音の影響が大きく、この方法は有効でない。著者は、対向した一対の模型を用いることによって鏡像流れを作ることにより模型対称面を地面に模して車両下部空力音の測定を可能とした。この方法により、熱線流速計による非定常流速分布測定、台車部の表面圧力測定およびパラボラ式收音装置による模型からの放射音測定を行った。この結果から、車両下部空力音は主として台車部で発生しており、台車部の台車収納スペース上流端で剥離したせん断層に伴う数百Hzの渦が影響していることが知られた。

第3章では、流体音響の基礎方程式を用いて、前章の風洞実験結果に考察を加えている。流体音響の基礎方程式であるLighthillの式に対応し、低マッハ数で粘性の影響が無視できるという条件を課したHoweの式を導き、渦の運動が主たる音源になることを強調している。次に、台車部流れについてせん断層を離散的な渦列を用いてあらわし、物体形状に適合したサブコンパクトグリーン関数を組み合わせることにより、遠方場における放射音を解析的に求めている。このことから、台車部音はせん断層の渦が台車部後縁領域と干渉することによって放射されることが知られた。この結果を地面がある場合に応用し、その放

射音の予測値と鏡像法実験による放射音の関係が近似的に等しくなることを示している。また、放射音に対する境界層とレイノルズ数の影響も考察している。

第4章では $k\text{-}\epsilon$ 法を用いた乱流解析により、車両まわり、特に台車部キャビティ流れの三次元定常流数値解析を行い、乱れの時間平均量を得ることによって風洞実験の現象を説明するとともに、理論解析で得られた流れの因子の影響について比較・検証を行っている。次いで、LES (Large Eddy Simulation) 法を用いた非定常計算を行い、コンパクトグリーン関数を三次元に拡張し、二重極音源の三次元的分布を求め、第3章の理論解析結果を合わせて考察することにより、三次元的に伝播する音源の評価を行っている。このことから、台車収納スペース上流端で剥離したせん断層から放出された渦の非定常な動きによって、台車部後縁や台車収納スペース側面付近のような物体形状の変化が急な領域で二重極音源が生成されることが知られた。本論文で得た結果は、車体軸方向の放射音に関して Curle の式で求めた結果と数値的に一致し、解析の妥当性を示している。

第5章は結論で、上記各章における考察の総括を行い、車両下部空力音の発生機構についての知見をまとめている。

付録Aでは音響的取り扱いに関する用語の定義、付録Bではスペクトル解析の手法、付録Cでは流体音響学の基礎方程式としての Lighthill-Curle の式の解説、付録Dでは非圧縮性流体に働く力と運動量との関係を収録し、本文の記述を補足している。

以上要するに、本論文は高速車両下部から発生する空力音の発生機構を、鏡像法模型を用いた風洞実験、流体音響学に基づく理論解析および車両まわりの流れの三次元数値解析によって明らかにしたものであり、その手法の有効性を示すと同時に騒音低減方策に示唆を与え、その成果は鉄道車両のみならず、キャビティを有する高速移動体からの空力音発生に関して重要な知見を与えるものであり、航空宇宙工学に貢献するところが大きい。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。