



Title	トンネル走行時の鉄道車両周りの大規模流れによる変動空気力に関する研究
Author(s)	中出, 孝次
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/82225
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 （ 中 出 孝 次 ）

論文題名 トンネル走行時の鉄道車両周りの大規模流れによる変動空気力に関する研究

論文内容の要旨

トンネル内を走行する鉄道車両には、トンネル以外（以下、明かり）では生じない変動空気力が作用する。この変動空気力は、乗り心地に影響する左右方向の車両動揺の原因となり、列車速度の2乗に比例して増大するため、特に高速車両ではその低減法の開発が望まれる。明かり区間での空力問題は、車両を固定し、床を移動平板とした風洞実験で詳細な測定がなされているが、風洞内でトンネル区間の条件を模擬することは困難である。そこで本研究では、変動空気力を引き起こす流れの解明と、その抑制法を検討するツールの確立を目的とし、非定常乱流の数値計算法であるラージ・エディ・シミュレーション（LES）を適用して鉄道車両模型周りの流れの解析を行った。用いたLESコード（名称：空気流シミュレータ）は、複雑形状への適応性、並列計算性能の確保、他シミュレータとの連携などを考慮し、直交格子法に基づく流体解析手法を基盤としたものである。

第1章では、鉄道の車両の動揺対策技術の現状をふまえて、本研究の背景と目的を明確にした。

第2章では、空気流シミュレータの概要を述べ、一様流中の円柱にはたらく流体抵抗値の再現精度を検証し、本研究の目的に適した解析法であることを示した。既に鉄道に関連する様々な空力問題に適用した実績により、高い計算効率と十分な信頼性を有することが確認されていることも示した。

第3章では、単純形状車両モデルを対象としたLES解析により、トンネル走行時の鉄道車両に対して、車両の床下から側面にわたる折れ曲がった狭隘部で大規模な蛇行流れが形成され、これが後方に移流する過程で生じる圧力変動が進行方向横向きの変動空気力の原因であることを明らかにした。蛇行流れによる速度変動の時空間スケールは、二次元の非粘性流れの理論で知られている渦列の安定配置による変動流れのアナロジーから推定できることも確かめられた。この解析に先立つ明かり区間を対象とした実験では、車両床下が平滑な場合には蛇行流れが生じず、台車を格納するキャビティの存在が重要であることが示されている。今回のLES解析により、車両床下で蛇行流れの発生を抑制すれば、トンネル区間でも変動空気力が低減できることが示唆された。

第4章では、風洞実験による知見を参照できる明かり区間の条件に戻って床下形状の変更の効果をLES解析で調べた。その結果、蛇行流れを形成する渦列の幅と強度、左右方向の速度変動のピーク周波数は台車部の形状の影響を強く受けることが明らかになった。また、床下にフィンを着着することによる蛇行の低減効果について、実験的に観測されていた事実に整合する結果を再現できることが確認された。

続いて第5章では、蛇行流れの維持機構に対する理解を深めるため、下面に凹凸を有する有限幅平板間流れを対象に、高解像度の計算格子により、乱流モデルを用いない直接数値シミュレーション（DNS）を実施した結果を示した。一連のパラメータスタディにより、左右方向の速度変動に対して、平板幅はピーク周波数に影響すること、凹凸の高さおよび間隔は変動強度に影響するがピーク周波数には影響しないこと、下流側の凹凸は上流側には影響しないこと、凹凸が途切れると変動が減少することが系統的に示され、相対速度のある有限幅平板間では、蛇行流れの維持には凹凸の存在が不可欠であることが裏付けられた。また、蛇行流れに伴う平行渦列を可視化し、渦中心は平板端に位置すること、渦への三次元的な流入があることを明らかにした。

第6章では、長大な物体が固体壁近傍を高速で移動する鉄道車両に特有の空力問題として、トンネル内の高速走行で顕在化した変動空気力の原因となる蛇行流れをLESにより解明して対策の指針を示した本研究の成果を要約した。さらに、安全で快適な鉄道システムの進化に貢献するため、最後尾車両の動揺や併結動揺を例に、非定常流れの予測と変動空気力の理解、低減のための形状設計の各段階におけるLES解析の将来展望を論じ、結言とした。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 （ 中 出 孝 次 ）			
論文審査担当者	(職)		氏 名
	主 査	教 授	梶 島 岳 夫
	副 査	教 授	田 中 敏 嗣
	副 査	教 授	矢 野 猛
論文審査の結果の要旨 日本国内で使用される高速鉄道車両に対しては、トンネル区間が際立って多いこと、トンネルに対して車両の断面積の割合が大きいことなど、諸外国には見られない条件に対応した技術開発が必要とされる。新幹線の営業最高速度が時速 220 キロメートルを超えた頃からトンネル走行時の車両の動揺が顕在化した。軌道の不整ではなく変動空気力が原因であることが特定されるまでに長期間を要した。その後も営業速度の向上はとどまることがなく、乗り心地の改善は技術課題であり続けている。鉄道のさらなる高速化に向けて、快適性だけでなく安全性の観点からも、複雑な形状の構造物も含んだ鉄道車両周りの流れに対する実用的な数値計算法を発展させ、変動空気力が車両の走行に及ぼす影響、さらに動揺の低減技術の効果を的確に予測するためのシミュレーション技術が求められている。 本論文は、変動空気力を引き起こす流れの解明と、その抑制法を検討するツールの確立を目的として、非定常乱流の数値計算法であるラージ・エディ・シミュレーション (LES) を適用して鉄道車両模型周りの流れを解析した結果から以下のような成果を示している。 1. 複雑形状に対する適用性、並列計算性能の確保、構造・振動解析などの解析コードとの連携を考慮して、新たに直交格子法に基づく LES プログラムを作成し、円柱周りの流れの基本問題に適用して精度を検証するとともに、鉄道に関連する様々な空力問題に適用した実績を示した上で、高い計算効率と十分な信頼性を有する空気流シミュレーターを構築している。 2. 単純形状車両モデルを対象とした LES 解析により、トンネル走行時の鉄道車両に対して、車両の床下から側面にわたる折れ曲がった狭隘部で大規模な蛇行流れが形成され、これが後方に移流する過程で生じる圧力変動が進行方向横向きの変動空気力の原因であることを明らかにし、蛇行流れによる速度変動の時空間スケールは二次元の非粘性流れの理論で知られている渦列の安定配置による変動流れから類推できることを示している。 3. 風洞実験データのある明かり区間（トンネル以外）の条件で、床下形状の変更の効果を LES 解析で調べ、蛇行流れを形成する渦列の幅と強度、左右方向の速度変動のピーク周波数は台車部の形状の影響を強く受けることを明らかにするとともに、空気流シミュレーターが床下フィンによる蛇行流れの低減効果を再現できることを示し、実用性の高さを実証している。 4. 下面に凹凸を有する有限幅平板間流れを対象に、高解像度の計算格子により、乱流モデルを用いない直接数値シミュレーション (DNS) を実施し、相対速度のある有限幅平板間では、蛇行流れの維持には凹凸の存在が不可欠であることを示し、渦中心は平板端に位置すること、渦への三次元的な流入があることなど、蛇行流れの基本的な維持機構について明らかにしている。 以上のように、本論文は長大な物体が固体壁近傍を高速で移動する鉄道車両に特有の空力問題として、トンネル内の高速走行で顕在化した変動空気力の原因となる蛇行流れを LES により解明して対策の指針を示したものである。 よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。			