

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 西宮 裕騎
 学位 博士 (工学)
 学位記番号 新大院博 (工) 第 492 号
 学位授与の日付 平成 31 年 3 月 25 日
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
 博士論文名 陽解法 FEM による鉄道車両の走行シミュレーション手法の開発とその車両・軌道間の非線形問題への適用

論文審査委員 主査 教授・阿部 和久
 副査 教授・佐伯 竜彦
 副査 教授・紅露 一寛
 副査 准教授・大竹 雄

博士論文の要旨

本論文では、レール折損時や乗り上がり脱線時など、実験による当該事象の評価が困難な軌道・車両相互作用系の安全性や強度評価を対象として、軌道・車輪接触における様々な力学的非線形性を適切且つ実用的な範囲で再現可能な数値シミュレーション手法の構成について取り組んでいる。

第 1 章では、上述のような異常時の再現・評価が必要とされている背景や、関連する既往の研究について述べている。また、それらにおける課題を明確化して、その解決に焦点を絞った数値解法構築に向けた基本方針を述べている。

第 2 章では、本論文の中で用いられる鉄道分野特有の専門用語の定義とその略称について列記している。

第 3 章では、本論文において対象としている事象の再現解析に適する数値解法について検討している。具体的には、レール・まくらぎ等から構成される軌道系のモデル化と離散化数値解法の選定、車輪・レール間の接触モデルの設定、および試験時の測定方法を模擬した接触力評価過程に対する数値モデルの構成、などについて述べている。特に、車輪は回転しながら移動するため、その変位は大きくなる。そのような現象を精度良く再現するために、物質点に固定された座標系の下で有限要素方程式を定式化する全 Lagrange 記法に基づいた変形・応力場の記述を採用している。一方、レール・車輪間接触解析では、車体の細部までの再現は必要とならないため、台車を含め剛体とバネ・ダンパによる簡易な表現を採用している。また、レールについては、はり要素によるモデル化を採用し、車輪との接触部にのみレール頭頂面に接触要素を配置することで、計算負荷軽減と精度維持の両立を実現している。

第 4 章では、前章で構築した数値解法の妥当性の検証を行っている。まず、軌道・車両相互作用問題で最も重要となる車輪・レール間接触モデルの精度について検証している。具体的には、脱線直前の車輪・レール間接触力に関する既往の実験結果の再現精度について調べている。その結果に基づき、当該事象を再現可能な車輪とレール頭頂面の要素サイズや層数などの解像度を決定している。次に、曲線区間の走行時における車両運動の再現性について、マルチボディダイナミクスに基づいた既往の解析手法による結果との比較を

通して検討している。その結果、本論文で対象としている車輪・レール間の力学挙動を十分な精度で評価可能であることを確認している。

第5章では、具体的問題として、レール開口部を有する曲線軌道上の走行安定性について、構築した手法を用い検討している。まず、そのために、当該条件での実車走行試験を実施し、台車やレールの加速度、レール・車輪間接触力などを計測している。続いて、試験結果の再現解析を行い、その妥当性を確認している。さらに、様々な軌道状態・走行速度でのシミュレーションを行い、軌道管理上許容し得る開口条件等を明らかにしている。

第6章では、走行安全性の確保において重要となるもう一つの課題として、脱線防止ガード設計に向けた基礎的検討を行っている。具体的には、まず、脱線防止ガードをレールに接合するブロック部材の力学特性を把握するための試験の実施と、それを再現可能な数値モデルの検討を行っている。続いて、車輪のレール乗り上がり走行試験を実施し、その再現解析を通して、現象の考察と解法の妥当性の検証を行い、今後の課題を整理している。

第7章では、構築した数値シミュレーション手法を対象に行った様々な検討結果をまとめている。また、具体的問題への適用を通して得た知見について整理し、軌道管理に関わる基準の合理的設定について提案している。

審査結果の要旨

レール継ぎ目は、車輪通過時の著大輪重の発生源であり、振動・騒音のみならず、乗り心地の低下や、道床沈下の原因となっている。そのため、継ぎ目を有しないロングレール軌道の導入が、近年在来線区においても進められている。これにより上述の問題は解消され得るものの、レール温度の変動に伴う著大なレール軸力の発生が新たな課題となっている。厳寒期には大きな引張軸力を生じ、レール破断に至る危険性を有している。また、猛暑日における圧縮軸力の発生は、軌道座屈を惹き起こし得る。レール破断の際には、当該箇所には大きな開口が生ずる。これによる列車の走行安定性の低下が懸念されるため、レール開口量が走行安全性に及ぼす影響の把握は、軌道管理上重要な課題となる。しかし従来は、明確な根拠がないまま基準値が設定されており、その合理性に疑問が呈されていた。また、曲線区間の脱線対策として、脱線防止ガードが各鉄道事業者により検討・開発されている。しかし、その設計基準は明確な力学的根拠に乏しく、合理的基準の制定が望まれる。これらの課題の解決には、様々な開口条件下での実験が必要となるが、それに要する費用や時間、安全性確保の面から実車走行試験は現実的ではない。そのため、数値シミュレーションによる検討が有用と考えられる。

本論文では、上述の様な鉄道車両と軌道との異常時における相互作用問題を対象に、実車走行試験に代わり得る程度の信頼性を有する数値シミュレーション手法の構築を目的としている。当該問題は、車輪・レール間の接触といった局所的な力学状態と、列車・軌道間の全体系の挙動とを同時に再現する必要があり、現実的な計算量と精度の下で解析可能な手法の構築は決して容易ではなく、その実現に向けた研究は有用性を有している。また、本解法の適用により、これまで検討が困難であった課題に対して詳細な考察がなされ、得られた知見に基づいた合理的管理基準に関する考察が与えられている。

以上のとおり、本論文は既往の研究により成し得なかった重要な成果が述べられており、学問と実務の両面において、今後の鉄道工学の発展に寄与するところ大である。

よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。