

(様式 5)

指導教員 承認印	
-------------	---

2019年 6月 20日
Year Month Day

学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph.D. candidate)	工学府博士後期課程 機械システム工学専攻 (major) 2016年度入学(Admission year) 学籍番号 16833702 氏名 秋山 裕喜 (student ID No.) (Name)  (Seal)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	鎌田 崇義 教授
論文題目 (Title)	鉄道車両の三次元弾性振動解析モデルの構築と 振動低減手法に関する研究
論文要旨（2000字程度） (Abstract(400 words)) ※欧文・和文どちらでもよい。但し、和文の場合は英訳を付すこと。 (in English or in Japanese) 本論文では、鉄道車両のさらなる乗り心地向上を目的として、乗り心地に影響を与える三次元的な変形を伴う車体の弾性振動を低減する手法を検討するために必要な、簡易で汎用性の高い数値解析モデルを構築し、それを用いて振動低減手法を検討した。 第1章「序論」では、これまでに提案されている車体弾性振動低減手法や、その検討に用いられている数値解析モデルの概要について整理し、本研究の背景と目的を述べた。 第2章「新幹線型試験車両」では、本研究で対象とした新幹線型試験車両の概要と、その振動特性を把握するために実施した加振試験の結果を示した。その結果、この車両は営業車両と同様の固有振動モードを有していること、一般的に車体の弾性振動として考慮されるいわゆる1次曲げ振動以外にも乗り心地向上を実現するために考慮すべき振動モードが複数存在することを明らかにした。 第3章「三次元弾性体を用いた鉄道車両の振動解析モデル」では、鉄道車両の三次元的な変形を伴う弾性振動を表現することができる新しい数値解析モデルを提案し、その概要と運動方程式を示した。提案モデルは、車体の各面を剛体としての6自由度の運動に加えて、面内および面外方向の変形を考慮することができる三次元弾性体で表し、それらを並	

進方向の変位を拘束するばねで離散的に接続することで、車体を簡易な6面体として扱ったものである。このモデルは、弾性振動の解析に広く用いられている車体を1本の弾性はりとして扱ったはりモデルでは表現できない三次元的な変形を伴う弾性振動を表現可能であり、図面情報から精緻にモデル化した有限要素モデルと比べると、構造が簡易で計算コストが小さいという利点がある。

第4章「最適化手法を用いたパラメータ決定手法」では、はじめに提案モデルのパラメータを機械的に効率よく決定する手法を提案した。数値解析モデル作成時はそのパラメータの決定が多くの労力を必要とするとともに、モデル作成者のスキルによってその精度が決まる重要なステップである。特に、提案モデルは車体各面の構造体や内装部材、床下に取り付けられた機器等を等価な1つの三次元弾性体として扱っているため、一般的な数値解析モデルと比べて、パラメータの決定に多くの労力を必要とする。そこで、大域的最適解を求めることができる最適化手法のひとつである粒子群最適化 (PSO) を用いて、輪軸・台車枠間、台車枠・車体間の結合要素のばね定数や減衰係数、車体を構成する三次元弾性体のヤング率などのパラメータを4つのステップで求める手法を提案した。次に、得られたパラメータを用いて固有値解析および応答解析を行い、その妥当性を検証した。固有値解析の結果、新幹線型試験車両の6つの弾性振動モードの固有振動数の誤差率は0.86%以内となり、高い精度を有していることを確認した。また、力入力に対する応答解析と、車輪への強制変位入力に対する応答解析を行い、第2章で示した実測結果と比較した。その結果、力入力に対する車体床面加速度の周波数応答関数 (FRF)、車輪への強制変位入力に対する車体床面の上下・左右方向の加速度のパワースペクトル密度 (PSD) とともに実測結果とよく一致する計算結果を得ることができた。以上の結果から、提案手法によって求めたパラメータの妥当性を示すことができた。

第5章では、アクティブマスダンパ (AMD) を用いた多モード制振手法を提案し、第2章で提案した数値解析モデルを低次元化したものを活用して制御器を設計した。そして、その制御器によって乗り心地に影響を与える複数の振動モードを同時に低減する多モード制振が可能であることを、新幹線型試験車両を使用した加振試験結果を行い実証した。また、実際の走行状態を模擬した加振試験の結果、車体床面の広い範囲で乗り心地向上効果が得られることを示した。さらに、乗客乗車条件のシミュレーションを行い、空車条件で設計した制御器によって満車相当の条件においても振動低減効果が得られることを確認した。

第6章では、本論文の結論として得られた知見をまとめた。本研究では鉄道車両の車体弾性振動を対象とした汎用性のある数値解析モデルを構築するとともに、AMDにより複数の振動モードを同時に低減する多モード制振効果が得られること、車体床面の広い範囲で乗り心地向上効果を得られることを示した。

本研究で得られた成果は、鉄道車両のさらなる乗り心地向上の実現に寄与するものであると考えている。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

Reducing railway vehicles' three-dimensional (3D) elastic vibration is needed to improve passenger comfort. This paper presents a 3D analytical model and parameter determination method for the elastic vibration of a carbody, and vibration reduction method.

In Chapter 1, the background and purpose of this study are described.

In Chapter 2, the vibration characteristics of the Shinkansen-type test vehicle targeted in this research are shown. The excitation tests are performed to measure the acceleration of the floor and roof. As a result, it is shown that this vehicle has vibration modes similar to the commercial vehicle, and multiple modes affect the riding comfort.

In Chapter 3, a new analytical model that can express elastic vibration of the railway vehicle carbody is proposed, and outline and equation of motion are shown. The carbody is modelled as a simple box-type structure consisting of an anisotropic 3D elastic body treated as a continuous system. This model can express complicated 3D elastic vibration (such as lateral-vertical coupled vibration) with fewer degrees of freedom and at a lower computational cost than the detailed finite element model.

In Chapter 4, a model parameter determination method using particle swarm optimization (PSO) is proposed. The proposed model has many parameters that are difficult to determine from the drawing information. Therefore, a parameter determination method to update these parameters automatically using an optimization technique is needed. Then, the parameters of the proposed model of a Shinkansen-type test vehicle are determined using this method. As a result, the mode shapes and natural frequencies showed good agreement between the measured and calculated results. The measured and calculated frequency response functions and acceleration power spectrum densities were also in good agreement.

In Chapter 5, a multi-modal vibration reduction method using active mass dampers is proposed. In this research, H-infinity control theory is used for controller design. In order to use this theory, the dimension of the proposed model is reduced. Then, the controller is designed by using the reduced model, and the excitation tests by using the Shinkansen type test vehicle are performed. As the results, it was confirmed that multi-modal vibration reduction effect could be obtained. In addition, as the results of the simulated running excitation tests, it was shown that the riding comfort was improved in many points of the floor.

In Chapter 6, the results obtained in this paper are summarized.