

氏 名（本 籍）	関 雅 樹（愛知県）
学 位 の 種 類	博 士（工学）
学 位 記 号 番 号	乙 第 29 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 13 年 11 月 30 日
専 攻	生産開発システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	固有振動数に着目した東海道新幹線構造物の維持管理システムに関する研究 (Study on maintenance framework for the Tokaido Shinkansen's structures focusing on natural frequency)
学位論文審査委員	(主査) 教 授 六 郷 恵 哲 (副査) 教 授 森 本 博 昭 教 授 奈 良 敬 助教授 鎌 田 敏 郎

論文内容の要旨

1964 年に開業した東海道新幹線はわが国の重要な社会基盤の一つであり、東海道新幹線構造物（土木構造物，軌道構造）の維持管理ならびに沿線の鉄道振動対策は重要な課題である。この論文では、東海道新幹線構造物の維持管理上の課題に対して統一的に対応できる「固有振動数に着目した維持管理システム」を提案している。この論文の内容と成果は次の 5 点に大別される。

(1) RC構造物の健全度の評価

東海道新幹線では、1991 年から衝撃振動試験により、RC 構造物の固有振動数の測定が行われている。しかしながら、従来の管理方法では、多くの計測結果から標準値を算定してその比較により相対評価を行っていたため、健全度の絶対評価および変状部位の判定ができないという問題点があった。この論文では、従来の構造物全体系 1 次の固有振動数に加えて、柱の中間部打撃による柱部分系 2 次の固有振動数を新たに実測することを提案した。2 つの実測値により、ばね - マス系振動モデルによる固有値解析から、柱の曲げ剛性および基礎地盤のばね定数の減少率を把握可能であることを明らかにした。さらに、あらかじめ柱の剛性と地盤ばね定数をもとにノモグラムを作成しておき、現場における 2 種類の実測固有振動数から、合理的に健全度評価を行うことのできる手法を提案した。

(2) RCラーメン高架橋の地震時損傷レベルの評価

地震によりＲＣラーメン高架橋が損傷した場合、損傷レベルに応じて補修工法と列車の取扱いレベルとを定める必要がある．この論文では、構造物が損傷すると固有振動数が低下することに着目して、構造物の損傷レベルを評価する方法を提案した．標準ＲＣラーメン高架橋の 1/2 模型について交番載荷試験を実施し、損傷に伴う剛性の低下と応答塑性率に応じた固有振動数の低下率との関係を明らかにした．実測固有振動数から固有値解析による部材の剛性低下率と、静的非線形解析による部材の塑性率とを用いた損傷レベル評価方法を提案した．新幹線品川新駅建設に伴い不要となった実高架橋を使用して、提案した評価方法の合理性を確認した．

(3) 洪水時における橋りょう下部工の安全管理

従来の洪水時の運転規制は、水位と橋脚幅から推定される洗掘深さから算出される危険水位等をもとに実施されてきた。この論文では、洗掘により基礎耐力が低下すると橋脚の固有振動数が低下することに着目し、橋脚の洗掘深さと固有振動数との関係を数値解析により把握し、衝撃振動試験による実測固有振動数から橋脚の安定性を評価する手法を提案した。提案した評価手法による安全管理システムの実効性と信頼性を、新幹線富士川橋梁において3年間にわたり確認した。東海道新幹線の洪水時における運転規制方法を定めるためのこの新しい手法は、現在実施導入されており、不要な運転規制の解除に大きく貢献している。

(4) 軌道の維持管理

1992年3月に列車速度を270km/hへ向上させた後に、軌道狂い進みが早い保守周期短小箇所が一部の箇所において新規に発生した。10年間にわたる全線の軌道状態測定データをもとに分析した結果、発生箇所は切り取り構造でかつローム層地盤に集中していることを明らかにした。この理由の一つとして、7~12Hz付近の低い周波数帯域において列車荷重列と路盤の共振現象があることを明らかにした。この論文では、共振現象解消のために、路盤振動特性の変更を目的とした路盤注入工事を実施すると、当該箇所の改善に効果があることを示した。すなわち、軌道材料の更新によらない固有振動数に着目した新しい軌道維持管理方法を提案した。

(5) 鉄道振動の低減

保守周期短小箇所対策として実施した路盤注入工事により、鉄道振動値も低減した。従来振動源対策に関する研究成果が報告されていないRCラーメン高架橋について、剛性の変更工事による振動源対策について検討した。耐震鋼板巻き補強の結果、鉄道振動の低減効果が一部に認められた。ブロック壁の施工およびまくら木の本数増設によって固有振動数を変化させることにより、鉄道振動を低減させた。さらに、RCラーメン高架橋線路方向の張出し部の構造が大きな鉛直方向の振動源となることが予想されたことから、対策工法の検討のため、連成解析を実施した。その結果、端部結合やストラッド補強を行うことにより、6Hz~20Hz付近での鉄道振動の低減効果が期待されることを明らかにした。

この論文では、固有振動数に着目し、東海道新幹線構造物の総合的な維持管理システムを提案している。具体的な検査手法、評価手法、運転取扱い、対策工事ならびに解析手法を提案するとともに、東海道新幹線の営業線においてそれぞれの研究内容の実効性を明らかにしている。

論文審査結果の要旨

この論文においては、剛性や支持条件等の変化に伴う構造物の固有振動数の変化を、重錘や起振機等を用いた振動試験により計測することにより、常時、地震時、ならびに洪水時における東海道新幹線構造物（ラーメン高架橋や橋脚等）の健全度判定を行う検査システムを提案している。路盤の固有振動数に着目し、軌道下の路盤改良が軌道状態の改善に有効なことを示している。路盤注入工法により地盤の振動特性を変えることが、軌道状態の改善と同時に、沿線の鉄道振動の軽減に有効なことを試験施工により明らかにしている。さらに、この論文は、以下に詳しく示すように重要な研究結果を含んでいる。この論文の内容は現在の東海道新幹線構造物の維持管理に反映されており、この論文の有用性は極めて高い。したがって、審査の結果、この論文を学位論文に値するものと判定した。

(1) RC構造物の健全度の評価

東海道新幹線では、1991年から衝撃振動試験により、RC構造物の固有振動数の測定が行われている。しかしながら、従来の管理方法では、多くの計測結果から標準値を算定してその比較により相対評価を行っていたため、健全度の絶対評価および変状部位の判定が

できないという問題点があった。この論文では、従来の構造物全体系 1 次の固有振動数に加えて、柱の中間部打撃による柱部分系 2 次の固有振動数を新たに実測することを提案した。2 つの実測値により、ばね - マス系振動モデルによる固有値解析から、柱の曲げ剛性および基礎地盤のばね定数の減少率を把握可能であることを明らかにした。

(2) R C ラーメン高架橋の地震時損傷レベルの評価

地震により R C ラーメン高架橋が損傷した場合、損傷レベルに応じて補修工法と列車の取扱いレベルとを定める必要がある。この論文では、構造物が損傷すると固有振動数が低下することに着目して、構造物の損傷レベルを評価する方法を提案した。すなわち、実測固有振動数から固有値解析による部材の剛性低下率と、静的非線形解析による部材の塑性率とを用いた損傷レベル評価方法を提案した。

(3) 洪水時における橋りょう下部工の安全管理

従来の洪水時の運転規制は、水位と橋脚幅から推定される洗掘深さから算出される危険水位等をもとに実施されてきた。この論文では、洗掘により基礎耐力が低下すると橋脚の固有振動数が低下することに着目し、橋脚の洗掘深さと固有振動数との関係を数値解析により把握し、衝撃振動試験による実測固有振動数から橋脚の安定性を評価する手法を提案した。

(4) 軌道の維持管理

1992 年 3 月に列車速度を 270km/h へ向上させた後に、軌道狂い進みが早い保守周期短小箇所が一部の箇所において新規に発生した。10 年間にわたる全線の軌道状態測定データをもとに分析した結果、発生箇所は切取り構造でかつローム層地盤に集中していることを明らかにした。この理由の一つとして、7~12Hz 付近の低い周波数帯域において列車荷重列と路盤の共振現象があることを明らかにした。この論文では、共振現象解消のために、路盤振動特性の変更を目的とした路盤注入工事を実施すると、当該箇所の改善に効果があることを示した。

(5) 鉄道振動の低減

保守周期短小箇所対策として実施した路盤注入工事により、鉄道振動値も低減した。従来振動源対策に関する研究成果が報告されていない R C ラーメン高架橋について、剛性の変更工事による振動源対策について検討した。耐震鋼板巻き補強の結果、鉄道振動の低減効果が一部に認められた。ブロック壁の施工およびまくら木の本数増設によって固有振動数を変化させることにより、鉄道振動を低減させた。

論文審査結果の要旨

(1) 公表論文

この論文の主要部分は審査付き論文として既に公表済み(申請者の審査付き論文のうちの 7 編が主要部分に対応している)である。この論文が学位論文として完成された内容を有することを確認した。

(2) 学力試問

公聴会までに以下に示す課題についての試問を行い、申請者が学位を授与するに十分な専門的知識を有することを確認した。

① 鉄道構造物の地震防災のための診断と補強

② 鉄道の軌道構造の改良と新材料の応用

(3) 公聴会

公聴会を開催して審査を行った。学位審査委員会で審議の結果、最終試験に合格と判定した。