OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	走行列車荷重作用下における鉄道橋振動特性の同定に関する実証的研究
Author(s)	松岡, 弘大
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59912
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。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

氏名	松岡弘大（まつおかこうだい）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第　26245　号
学位授与年月日	平成25年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科地球総合工学専攻
学位論文名	走行列車荷重作用下における鉄道橋振動特性の同定に関する実証的研究
論文審査委員	（主査） 准教授　貝戸　清之 （副査） 教授　奈良　敬　教授　鎌田　敏郎

論文内容の要旨

本研究では，これまでの設計諸元に基づく数値解析的検討のみでは解決が難しかった列車高速走行時における鉄道橋の振動問題について，観測情報に基づく実証的検討により解決することを目的として，問題の根幹である共振現象の評価に必要不可欠な鉄道橋の列車走行時の振動特性を実測加速度応答から同定する方法論の構築を行った．

まず1章では，鉄道橋の振動問題および振動特性の同定法に関する過去の研究を俯瞰することで，本研究の目的が，実橋梁から取得可能な情報と，鉄道橋の振動問題の根幹である共振現象の評価に必要な情報との乖離を埋める方法論の構築であることを示した．また，本研究の構成と各章の関係について説明した．

2章では，高速鉄道用のコンクリート鉄道橋部材で顕在化が懸念されている構造物音への部材レベルの共振の寄与を明らかとするために，クロススペクトル法により高速鉄道用RC 高架橋の部材レベルの振動特性を同定した．また，同定結果に基づき列車高速走行時の部材レベルの共振現象発生メカニズムに車軸間隔が寄与していることを実証的に明らかにした．

つぎに3章では自己相関関数とシステム方程式に基づく同定法の一つであるERA法により列車走行時の加速度応答から橋梁の固有振動数，モード減衰比，振動モード形を同定する方法論を構築するとともに，実際に高速化が検討されている2つのコンクリート鉄道橋への適用を通じてその有効性を確認した．また，同定結果を利用した定量的な共振発生予測を実施した．

鋼鉄道橋は2章，3章で対象としたコンクリート鉄道橋と比較して軽量であり，車両質量の比率が大きい．このような橋梁では，車両質量の付加により固有振動数が見かけ上低下する．4章では，列車質量が固有振動数に及ぼす影響を考慮した振動特性の同定手法を開発した．具体的には，多変量自己回帰（VAR）モデルを時変（TV）系に拡張したTV-VARモデルと階層ベイズ推計を用いた方法論を提案した．さらに，車両質量の比率が大きい鋼鉄道橋を対象とした提案手法の適用を通じて，列車質量の付加による固有振動数の見かけ上の低下，およびその低下量

を実証的に明らかにした．

また，5章では，鉄道橋において重要な指標である変位応答の推計に着目し，数値シミュレーションと列車走行時の加速度応答を融合させる逐次データ同化を利用した方法論を提案した．さらに，コンクリート鉄道橋における列車走行時の実測加速度応答への適用を通じて振動特性とともに変位応答，変形性状を精緻に同定できることを確認した．

さらに6章では，より効率的な次世代センシング手法として，走行列車に搭載した加速度センサを利用して，移動しながら通過した橋梁の振動特性を同定していく，移動型計測・同定システムに関する基礎的検討を実施した．実物大試験線において橋梁と列車それぞれの加速度応答を取得し，計測応答中の周波数特性の時間的変化に着目した比較検証を実施し，走行列車の車軸加速度応答への橋梁固有振動の寄与を明らかにした．

最後に7章で，各章で構築した方法論とそれらの適用により得られた知見を総括し，本研究の成果が鉄道橋の振動問題を解決するうえで不可欠であることを確認した．

論文審査の結果の要旨

本論文は、鉄道の高速化に際して過大応答や騒音などの原因となる、鉄道橋の共振現象の解明および対策に着目して、共振発生の主要因子である橋梁の振動特性を実測応答より同定するための方法論をとりまとめたものである。列車高速走行時に発生する共振現象を精緻に予測し、適切な対策を講じるためには列車走行時における橋梁の振動特性を把握することが不可欠であったが、列車走行中の橋梁の動的応答が極めて複雑な振動現象となることから、計測に基づく実証的検討はほとんどなされてこなかった。本論文では対象橋梁よって異なる走行列車に起因した振動応答の非定常性を考慮し、列車走行時の加速度応答から振動特性や変位を同定する方法論の構築に取り組むとともに、営業線や実物大試験線での列車走行試験により構築した方法論の有効性を検証した。さらに、より効率的な次世代の計測・同定手法に関しても検討を加えており、それによって、以下の成果を得ている。

1）列車／橋梁の質量比が小さい橋梁（振動特性の同定に際して、列車質量を無視できる橋梁）に対する固有振動数、振動モード形の同定、【クロススペクトル法、コンクリート橋梁の部材振動への適用】・・・第2章

高速鉄道用のコンクリート鉄道橋部材を対象とし、改良したクロススペクトル法により列車走行時の部材レベル（主たる対象は中間スラブ）の振動特性（固有振動数、振動モード形）を同定している。同定結果から、①60.6Hzの5次モードが構造物音の発生源となっている可能性が高いこと、②列車高速走行時の部材レベルの共振現象発生メカニズムに車軸間隔に起因する規則的加振が寄与していること、③200km/h台でも共振現象が発生することを実証的に明らかにしている。

2）列車／橋梁の質量比が小さい橋梁（列車質量を無視できる橋梁）に対する固有振動数、モード減衰比、振動モード形の同定、【ERA法、コンクリート橋梁の全体系振動への適用】・・・第3章

自己相関関数とシステム方程式の最小実現を利用したERA（Eigen Realization Algorithm）法を修正することで列車走行時の加速度応答から橋梁の固有振動数、モード減衰比、振動モード形を同定する方法論を構築するとともに、実際に高速化が検討されている2つのコンクリート鉄道橋への適用を通じてその有効性を確認している。さらに、同定結果により定量的な共振発生予測が可能であることを示している。

3）列車／橋梁の質量比が大きい橋梁（列車質量を無視できない橋梁）に対する固有振動数、モード減衰比、振動モード形の同定、【TV-VAR法、鋼橋の全体系振動への適用】・・・第4章

列車質量が固有振動数に及ぼす影響が大きく、かつその影響が時々刻々と変動する鋼鉄道橋を対象とした振動特性の同定手法を開発している。具体的には、多変量自己回帰（VAR; Vector Auto Regressive）モデルを時変（Time Varying）系に拡張したTV-VARモデルと階層ベイズ推計を用いた方法論を構築している。また、実際の鋼鉄道橋への適用を通じて、列車質量の付加により橋梁の固有振動数が見かけ上瞬間的に、上下するとともに、その最大低下量が対象橋梁で約15%であることを実証的に明らかにしている。

4）列車／橋梁の質量比が大きい橋梁（列車質量を無視できない橋梁）に対する変位の推定、【逐次データ同化法、鋼橋の全体系振動への適用】・・・第5章

列車走行時の振動特性のみならず変位応答も推計可能とする方法論として、数値シミュレーションと列車走行時の加速度応答の逐次データ同化手法を開発している。コンクリート鉄道橋への適用を通じて振動特性とともに変位応答、変形性状を精緻に同定できることを確認している。鉄道の走行安全性指標の一つに変位制限がある。その一方で、変位の直接的な計測は加速度計測と比較して計測困難な場合が少なくない。本研究の成果は、逐次データ同化におけるシミュレーション計算を効率化させることで、走行規制や維持管理の実務への適用が期待される。

5）列車車軸の加速度応答を用いた、列車／橋梁の質量比が大きい橋梁（列車質量を無視できない橋梁）に対する固有振動数の同定、【ランニングスペクトル法、鋼橋の全体系振動への適用】・・・第6章

より効率的な次世代センシング手法として、走行列車に搭載した加速度センサを利用した移動型計測・同定システムに関して実物大試験線を利用した基礎的検討を実施している。橋梁および列車の計測結果を分析し、走行列車の車軸加速度応答への橋梁固有振動の寄与を明らかにしている。

以上のように、本論文は鉄道の高速走行に伴う安全性・鉄道環境の評価モデルに用いられることで、高速化を通じ我が国の鉄道のさらなる発展に大きく貢献するものと考えられる。さらに、成果の一部（第2章）はすでに列車高速化検討に関する実務へと反映されている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。