

京都大学	博士（工学）	氏名	木村 真也
論文題目	道路橋の振動使用性評価に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本研究は、いまだ明確な制限値や評価法・照査法が提示されていない道路橋の低周波音と快適性の評価に着目し、計画段階の道路橋を対象に低周波音と快適性について検討を行なった結果を取りまとめたものである。本論文は、7章からなっている。</p> <p><b>第1章</b>は序論であり、道路橋の振動使用性評価についてその実態と課題をまとめている。また、斜張橋の振動特性評価に関する既往の研究をレビューしたうえで、乗り心地評価に対する課題と着眼点を整理し、本研究の背景と目的について述べている。</p> <p><b>第2章</b>では、本研究の振動使用性評価に用いる解析手法についてまとめている。すなわち、これまで桁橋を中心に実際の橋梁振動現象を精度よく再現できた3次元の車両－橋梁連成振動解析手法、および境界要素法を用いた音場解析手法について述べている。</p> <p><b>第3章</b>では、建設が予定されている、鋼6径間連続細幅箱桁橋、PC3径間連結ポステンT桁橋、2径間連続鋼箱桁橋、3径間連続鉄桁橋を対象に、第2章の解析手法を用いた車両－橋梁連成振動解析と低周波音解析を実施した。その結果、低周波音の放射特性は、橋梁形式のみならず、架橋地条件やその他の様々な要因が複雑に関係し決まることから、構造寸法や橋梁形式からの一義的な推測は困難であることを示している。特に、周波数領域によっては音圧が高くなる要因が異なることから、低周波音の評価や対策を講じる場合には、実際に起こり得る車両条件や路面状況を適切に設定する必要性を明らかにしている。</p> <p><b>第4章</b>では、低周波音問題に対する世間の認知度が低い要因として、低周波音放射状況の表現方法のわかりづらさがあると考え、その対策法として低周波音伝播の可視化に着目している。すなわち、過渡音解析による3次元空間における低周波音の伝播経路や伝播状況を時系列で可視化する方法を提案している。路面の状態や車両条件（速度と台数）の他、橋梁の支間割や卓越振動のモード形状などの構造条件によっても音圧の放射状況が異なる様子を、提案手法を用い視覚的に表現できた。また、3次元空間での可視化により、低周波音による影響範囲の特定や問題の要因となる事象の特定を容易にすることができた。</p> <p><b>第5章</b>では、これまで桁橋を対象にその再現性が十分確認されてきた3次元の車両－橋梁連成振動解析手法を前例のない規模の斜張橋の交通振動解析に応用するための妥当性検証について述べている。具体的には、実際の斜張橋にて車両走行実験を行い加速度応答と振動特性を観測し、3次元橋梁－車両連成解析でシミュレートした結果と比較検討を行った。その結果、計測箇所によってばらつきが生じているものの、中央径間の主桁の加速度波形が類似し、加速度実効値も2gal程度と計測値と解析値は概ね同程度の値となった。また、車両応答についても計測結果と解析結果の加速度波形は概ね近似し、最大加速度および加速度実効値も同程度の値となっており、解析手法やモデルは、斜張橋の交通振動を概ね再現できることを確認している。</p> <p><b>第6章</b>では、建設が予定されている大規模の鋼7径間連続斜張橋を対象に、利用者の走行快適性の観点から行った乗心地評価についてまとめている。具体的には、5章の斜張橋を対象に検討された解析手法を用いて交通振動解析を行い、全身振動暴露評価の国際規格ISO2613-1を参考に、解析で得られた車両応答振動を対象に乗心地の評価を行った。その結果、乗り心地は、橋梁本体の固有振動数とモード形状、走行する車両の共振車頭間隔と走行台数、路面凹凸振幅の大小がそれぞれ関係し合い評価に影響を及ぼすため、過度なたわみだけが直接的に乗り心地に影響することはないことを確認した。また、走行車両の動的な衝撃影響として連続斜張橋の設計で用いる衝撃係数の提案も行った。</p> <p><b>第7章</b>では、本論文で得られた知見と成果についての総括に加え、残された課題、特に実績のない大規模の斜張橋の車両－橋梁連成系解析における膨大な数値解析の合理化についての検討の必要性について論じている。</p>			

氏名	木村 真也
----	-------

(論文審査の結果の要旨)

道路橋の設計において、耐荷性能など安全性に関する様々な研究成果が評価・設計・照査手法として技術基準へ反映されている。一方で、振動使用性についてはその定量評価が難しく、これまで殆ど検証されていない。本研究は、いまだ明確な制限値や評価法・照査法が提示されていない道路橋の低周波音と快適性の評価に着目し、計画段階の道路橋を対象に行なった検討結果を取りまとめたものである。本論文において得られた主な研究成果は、以下のとおりである。

1. 走行車両により中小スパン橋梁から放射される低周波音を評価するために、一般的に多く採用されている「鋼箱桁橋」「鋼鈹桁橋」「PCT 桁橋」の交通振動を、3次元の車両－橋梁連成振動解析により再現している。また、3次元の車両－橋梁連成振動解析により求めた橋梁の速度応答を用い、境界要素法による音場解析を実施することで低周波音の放射特性を検討した。その結果、低周波音は、橋梁の構造条件に加えて、路面凹凸や伸縮部の段差の有無、車両台数・車両速度・車間距離の違いが放射特性に大きく影響を及ぼすことを明らかにした。また、低周波音の放射特性は一定の傾向を示すものの、橋梁形式のみならず、架橋地条件やその他の様々な要因が複雑に関係し決まることから、橋梁形式や構造規模から一義的に推測することが難しいことを明らかにした。

2. 道路橋から放射される低周波音の理解促進を図るために、低周波音の放射状況を時系列で可視化できる方法について検討を行った。音場解析空間内に細分化した受音点を設け、その受音点における複素音圧の周波数特性を受音点と音源間の周波数応答関数とみなし、逆フーリエ変換を行うことで橋周辺の音圧の実効値の時系列を算定する方法を提案している。提案手法を駆使し、橋の低周波音伝播を可視化した結果、路面凹凸振幅の大小や段差の有無、車両速度や車両台数の他、支間割や卓越するモード形状などの橋の構造条件との関係によっても低周波音の放射状況が異なる様子を視覚的に表現することができた。提案手法は、橋梁計画段階での低周波音の事前予測評価、対策の必要性の判断や対策工法検討のためにも有用であると考えられる。

3. 過大なたわみ発生で乗心地が懸念されている建設予定の7径間連続斜張橋について、橋および車両の振動特性を把握したうえで、振動使用性の観点から乗心地の評価を行った。また、シミュレーションによる対象橋の衝撃係数の検討も行った。その結果、車両条件や路面条件、走行条件によらず、車両の応答は快適性の指標となる目安値を超えることはなく、過大なたわみによる乗心地への影響は殆どないことを明らかにした。また、衝撃係数は1.05以下であることを明らかにし、対象橋梁の実設計に適用する見込みである。

以上のように本論文は、これまで定量的に性能を評価する方法が明確でなかった道路橋の低周波音と乗心地の評価に有用な手法を提案し、建設予定の橋梁構造物の振動使用性を検討した実践的な研究であり、合理的な道路橋計画を進めるためにも関連研究の指針になりうる知見を示すものでもある。その成果は、事例の少ない振動使用性関連の研究成果の蓄積という観点でも意義がある。以上の成果を踏まえ、本論文は学術上および實際上寄与するところが少なくないことから、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年6月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。