

京都大学	博士（工 学）	氏名	金 川 昌 弘
論文題目	橋梁ジョイントのアセットマネジメントの高度化のための無線モニタリング手法に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は橋梁ジョイント部の劣化過程の継続的モニタリングを実施するために、無線モニタリング機器の設置箇所を決定するためのジョイント劣化のベンチマーキング評価と時系列データを用いた異常検知アルゴリズムの開発をめざしたものであり、以下の6つの章で構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、定期的な目視点検では早期発見が困難な橋梁ジョイントの劣化問題に着目し、橋梁ジョイントのアセットマネジメントの高度化を実現するために、1) モニタリング対象の効果的な絞込み、2) モニタリングデータの効率的な集計、3) モニタリングに伴う異常検出をおこなうための方法論の開発が重要な課題であることを指摘している。その上で、本論文が対象とする研究範囲と研究目的を明確化した上で、第2章以降の論文構成について説明している。</p> <p>第2章では、サンプル欠損を考慮したジョイントの劣化モデルを提案している。具体的にはジョイントの劣化状態を複数の離散的な健全度で記述し、一定期間内におけるマルコフ推移確率を多段階指数ハザードモデルで記述している。その際、1) 劣化が進行したジョイントでは補修が実施されるため、健全度の低いサンプルが欠損すること、2) 損傷の可能性があるジョイントが点検対象となることにより、状態の良いサンプルが相対的に少なくなるという2種類のサンプル欠損が発生することを指摘している。その上で、選択肢別サンプリング法を用いてサンプル欠損バイアスを考慮した多段階指数ハザードモデルの推計法を提案するとともに、実データを用いた適用分析を試みている。</p> <p>第3章では、目視点検データに基づき、個別ジョイントの劣化速度の相対評価を行うために多段階混合マルコフ劣化ハザードモデルを提案している。さらに、多段階混合マルコフ劣化ハザードモデルを階層ベイズ推計法により推計する方法を提案している。その上で、ジョイントの個別劣化速度に対するベンチマーキング分析を行い、重点管理路線、ならびに重点管理ジョイントを抽出する方法論を提案している。具体的には、多段階混合マルコフ劣化ハザードモデルの階層的パラメータとして、施設グループおよびグループ内のジョイントという2種類の異質性パラメータを採用するとともに、これらの異質性パラメータと多段階混合マルコフ劣化ハザードモデルの未知パラメータを階層ベイズ法により同時推計する方法を提案している。さらに、高速道路の高架橋のジョイントを対象とする実証分析を行い、路線別のベンチマーキング分析、さらに路線内の個別ジョイントのベンチマーキング分析を実施し、モニタリングすべきジョイントの抽出に成功している。</p>			

第4章では、第3章で抽出した異質性の高いモニタリング候補ジョイントに対して、効率的なデータ回収手法を提案し、路車間無線通信を活用したモニタリングを長期間実施する方法論を提案している。さらに、効率的に回収したモニタリングデータに基づき、ジョイント損傷と卓越振動数の関係を考察している。予備試験を実施したのち、実際の高速道路の高架橋においてひずみモニタリングデータの時系列波形、その分析結果である頻度分布を走行中の車両へ無線通信するようなフィールド試験を実施している。さらに、実用化にむけて路車間無線通信を活用したモニタリングシステムの性能をハードとソフトの両面で改良を図った上で、ジョイントのモニタリングシステムの開発に成功している。また、回収したモニタリングデータに基づいて、ジョイント損傷と卓越振動数の関係について分析している。

第5章では、ジョイントの損傷検知アルゴリズムを提案し、第4章で回収したモニタリングデータに基づいて、ジョイントの異常検出に適用することにより、その有効性を検証している。具体的には、ARモデルを基本とした時系列モデルを用いた橋梁ジョイントの異常検知アルゴリズムを提案している。その際、時系列モデルに基づき、ARモデルを逐次推計するとともにARモデルのパラメータ情報を時系列として獲得する。その中から、AIC推計値を特徴量として抽出し、それに基づいてジョイントの振動特性の変化点を検出するための指標を提案している。さらに、実データを用いた分析の結果、 $|\Delta AIC|$ 基準を用いることにより、ジョイントの変動特性を有効に検出できることを明らかにしている。また、本研究で提案した異常検知アルゴリズムを高速道路の高架橋ジョイントのモニタリングデータに適用することにより、その有効性について実証的に分析している。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

氏名	金川昌弘
----	------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、橋梁ジョイント部の劣化過程の継続的モニタリングを実施するために、無線モニタリング機器の設置箇所を決定するためのジョイント劣化のベンチマーキング評価と時系列データを用いた異常検知アルゴリズムの開発をめざしたものであり、以下のような知見を得ている。

1. 高架橋ジョイント部の劣化過程を、多段階混合マルコフ劣化ハザードモデルを用いてモデル化する方法を提案している。目視点検データには、補修活動により劣化速度が相対的に遅いデータが観測母集団に含まれるという選択肢バイアスが存在することを指摘し、バイアスの影響を考慮した推計アルゴリズムを提案している。
2. ジョイントの劣化速度の異質性を評価するために、階層ベイズ法を用いた多段階混合マルコフ劣化ハザードモデルの推計方法を提案するとともに、無線モニタリング機器を用いて継続的モニタリングを実施すべき箇所を合理的に選択する方法を提案している。
3. 路車間無線通信モニタリング手法を用いて、ジョイント損傷と卓越振動数の関係を考慮したデータの効率的回収方法を提案している。モニタリングにより取得される時系列データを走行中の車両へ無線送信するようなプロトタイプシステムを開発し、実際的高速道路高架橋を対象としたフィールド実験を通じて、実用化にむけての課題を抽出している。
4. 無線モニタリングで獲得した時系列データを用いて、ジョイント部の加速度応答に関する動特性をAR (Auto Regressive)を用いて表現するとともに、パラメータの継続的推計を通じて動特性に関する構造変化を検知するためのアルゴリズムを開発している。さらに、実橋梁を対象とした実証分析を通じて提案した方法論の有効性を検証している。

以上、要するに、本研究は橋梁ジョイント部の無線モニタリング手法の開発と異常検知アルゴリズムの開発を通じてジョイントモニタリングの高度化をめざしたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年10月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、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。