

論文審査の要旨および担当者

報告番号	甲 第 号	氏 名	曹 一 竜
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学大学院 教授 工学博士 西村秀和	
	副査	慶應義塾大学大学院 教授 博士（工学） 小木哲朗	
	副査	慶應義塾大学大学院 教授 博士（システムデザイン・マネジメント学） 当麻哲哉	
	副査	鉄道総合技術研究所 室長 博士（工学） 岡本 大	

（論文審査の要旨）

曹一竜君提出の学位審査論文は「固有振動数を用いた鉄道橋梁桁の維持管理を効率化する健全度評価システムの開発」と題し、全7章から成る。

本論文は、鉄道橋梁のうち、上部工の代表的な構成要素である鉄筋コンクリート桁（以下、RC 桁）を対象として、固有振動数を用いた健全度の評価を支援する健全度評価システムの開発を目的とし、振動測定で得られる固有振動数から曲げ剛性を推定し、損傷程度の評価ができる判定モデルを作成している。具体的には RC 桁を模擬した模型梁に対して静的載荷実験により段階的に損傷を与え、その上で衝撃振動試験を行い、健全時の固有振動数との比較によりその低下率から損傷程度の判定をするモデルを導いている。さらに、このモデルによる判定結果を維持管理標準および事例や経験的妥当性に基づく措置と結び付け、定量的な判定基準と判定プロセスを定義している。視認性に優れ判読性の良い判定方法を提供することにより、必ずしも土木工学を専門としない関係者にも、鉄道橋梁の桁要素に対する健全度を効率よく評価ができるように工夫している。

本論文、第1章では、研究の背景として鉄道橋梁に関する維持管理の現状を整理し、振動測定による鉄道橋梁の健全度判定をはじめとした先行研究を踏まえ、老朽化が進むインフラ設備に対する維持管理への取り組むべき課題を洗い出し、本研究の目的と論文構成について述べている。

第2章では、維持管理標準で規定された検査の手順を整理し、実務で直面する問題点をまとめ、個別検査の健全度評価を効率化する健全度評価システムの全体像と損傷程度を評価する判定モデルの概念とを、システムズモデリング言語（Systems Modeling Language、以下 SysML）を用いて定義している。

第3章では、橋梁上部工 RC 桁が荷重形態と境界条件によって軸力に影響されないことを確認し、その損傷程度を定量的に表現する評価指標として4次固有振動数を用いることの妥当性を実験により確認している。現場で比較的簡単に実施できる衝撃振動試験を選択することで、計測した応答波形から4次固有振動数を精度良く推定できることを述べている。

第4章では、断面欠損などの変状のない RC 桁を対象に模型梁を用いた実験を行い、固有振動数から損傷程度を評価できる判定モデルを提案している。載荷前初期状態から模型梁の躯体に段階的に載荷を与え、載荷終了ごとに衝撃振動試験を実施し、計測した応答波形のフーリエ解析により1次から4次の固有振動数を求めている。特に4次の固有振動数は境界条件の影響が少ないことから、これを、損傷程度を評価する判定モデルに用いることとし、損傷程度に対応した健全時に対する固有振動数の低下率を求めている。

第5章では、底面コンクリートかぶりの欠損を想定した中程度の変状、およびそれに加え鉄筋断面積の減少を想定した深刻な変状の RC 桁を模擬した模型梁を作成し、判定モデルを用いた損傷程度の評価方法を述べている。人為的に異なる程度の変状を施した模型梁に対して固有振動数の低下率を把握した上で、損傷程度の評価結果に対する維持管理標準を踏まえた措置と実施のタイミングについて検討し、判定モデルによる評価方法を提案している。

第6章では、変状程度が高い RC 桁を模擬した模型梁に対する補修後の性能を評価するため実験を行っている。最初に変状を伴う模型梁を作成し、断面修復と樹脂注入の措置により補修を施しておき、健全な模型梁と補修前後に計測した模型梁の固有振動数を照合することにより、補修後の性能維持の程度を把握できることを示している。この実験結果をもとに健全度評価システムを用いた補修効果による評価を定義し、さらに土木工学を専門としない関係者にも理解しやすくなるように健全度評価システムの出力結果のあり方について検討している。最後に、第7章では、本論文全体を総括する形で論じ、得られた結果をまとめて結論としている。

以上より、本論文は、鉄道橋梁の維持管理を実施する専門家に対して実務面で大いに役立つことの学術的裏付けを与えるものであり、システムエンジニアリング学上寄与するところが少なくない。したがって、本論文の著者は博士（システムエンジニアリング学）の学位を受ける資格があるものと認める。