

京都大学	博士（工 学）	氏名	渡 部 慎 也
論文題目	鋼橋の損傷検知システムの合理化・効率化に関する研究		
<p data-bbox="188 394 448 427">（論文内容の要旨）</p> <p data-bbox="172 479 1422 763"> 少子高齢化を迎えた我が国において、橋梁の維持管理は、高度成長期に整備された多くの社会基盤施設と同様に、長寿命で安心・安全な状態に保たれていることが望まれ、効果的で効率的な制度運用が要求されている。鋼橋では、腐食および疲労き裂が重大な損傷であり、予防保全的維持管理を確実に実施するには、目視点検では発見が困難な微小な損傷の状態を検知する必要があるとあり、現行の鋼製橋梁の実務で用いられている各種損傷検知システムの効率化・合理化が求められている。本論文は、予防保全に資する技術や手法の検証を行ったものであり、7章からなっている。 </p> <p data-bbox="172 819 1422 943"> 第1章では、研究の背景として橋梁を含む社会基盤施設を取り巻く現状を明確にし、橋梁の予防保全を支援する調査技術・非破壊評価技術などの現状と課題を論じ、今後の損傷検知技術の展望をとりまとめている。 </p> <p data-bbox="172 999 1422 1391"> 第2章では、鋼構造物に対する維持管理において、効率性の面で優れた効果が期待できる非破壊検査手法の1つである赤外線サーモグラフィに着目し、その原理や既往のき裂検出手法に言及し、既往の手法の課題を論じている。その後、既往の手法より簡易な2次元的な赤外線サーモグラフィ画像から、3次元的にき裂の形状を検知しうる手法の提案を行っている。提案手法の確立を目的として、き裂の深さ、幅、長さ、板厚等をパラメータとした数値解析を行い、各パラメータ間の相関関係を定式化し、赤外線サーモグラフィから得られる表面的な情報（き裂長さ、温度ギャップ）から、亀裂深さの推定式の提案を行っている。さらに、溶接ビードやガセットなどの断面変化を有する実構造部位を想定し、本手法が断面内形状変化のある場合においても適用可能であることを示している。 </p> <p data-bbox="172 1447 1422 1794"> 第3章では、鋼部材に切り欠き（模擬き裂）を導入し、空隙を充填し、塗装を施し、塗膜下でき裂が生じた状態を再現した試験体、ならびに鋼部材の疲労試験によりき裂を発生させた試験体を用いて、第2章において提案した手法の有用性・実用性を検証している。模擬き裂を導入した試験体では、塗膜割れの観察されないき裂の検知の可否に関する検証を行い、本手法の有用性を実証している。さらに、き裂深さの推定の実用性を示している。また、疲労試験によりき裂を生じさせた試験体では、実構造物で対象となるような微小なき裂においても、き裂の検出が可能であることを確認し、提案した手法が、非破壊的かつ簡易なき裂検知法であることを実証している。 </p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	渡部慎也
------	--------	----	------

第4章では、橋梁の品質確保の観点において、各構造部材に作用する断面力が設計値どおりかを把握することは重要であり、特に、支承部の反力は、橋梁の多様な変状に関連しており、これらの非破壊評価技術として、薄肉鋼板において横たわみ振動の固有振動数を測定することにより、鋼板に作用している応力を評価し、薄肉集成鋼構造部材に作用する断面力を推定する手法を提案している。圧縮力を受ける鋼板の固有振動数が、圧縮力の増加とともに減少する現象を有限要素解析で検証し、鋼板の周辺支持条件に左右されない手法として、鋼板の一部を円環状に横たわみ拘束し、円環内の円形鋼板の卓越振動数の変動を用いることで、円形固定領域中央のミーゼス応力と振動数には相関関係が見られることを示している。

第5章では、第4章において提案した手法の検証のために、H型鋼試験体に対する圧縮載荷試験を行い、圧縮力と鋼腹板の横たわみの振動数の関係を検証している。解析的検討と同様に、鋼腹板が圧縮力を受けることで、その固有振動数が低下することを実証している。また、鋼部材の初期不整（初期変形および初期応力）が本手法による応力評価に影響することを示し、さらに、鋼腹板に対して円環状の磁石を用いた横たわみ拘束治具を試験的に運用し、振動数計測の実用化のための課題を明らかにしている。

第6章では、免震ゴム支承には上載荷重が常時作用し、ゴム表面に発生する微小き裂は閉口するため、この閉口したき裂の効率的かつ簡易な検知手法の提案を行っている。免震ゴム支承は、耐候性を確保するため老化防止剤を含浸した天然ゴムにより被覆されているが、被覆ゴムにき裂が発生し、支承本体の損傷に至り、ゴム支承の力学性能が懸念されている。ここでは、支承内部の鋼板が有する磁力吸引力およびゴム材料の変形性能に着目し、被覆ゴム表面に生じた微細なき裂を非破壊条件の下で、強制的に開口させる手法を有限要素解析により検討している。また、被覆ゴム表面を外部から真空吸引し、その吸着力による表面き裂の開口の可否についても有限要素解析している。両手法ともにき裂開口に有効であることを示すとともに、真空吸引を用いる手法は、磁力を利用したき裂開口手法では開口が困難であった支承上下端近傍のき裂も開口させることが可能であることを示し、き裂の早期発見手法としての有用であることを示している。

第7章では、本研究で得られた成果および結論を要約すると共に、非破壊評価技術、損傷検知技術の課題を述べている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、橋梁の維持管理が、少子高齢化を迎えた我が国において、長寿命で安心・安全な状態を保つために不可欠で、効果的で効率的な運用が要求されている現状を踏まえ、これらの課題の解決法の提案を行なっている。具体的には、鋼製橋梁の2大損傷(腐食と疲労き裂)の内、予防保全時において目視による検知が困難な疲労き裂に着目し、き裂多発部位の損傷検知法として構築し、検知システムの効率化・合理化を目標に、鋼構造部材の現有応力の非破壊評価も含めた予防保全に資する技術や手法を提案し、各手法の実用化に関する検討を行ったものである。主な研究成果は、以下のとおりである。

- ① 効率性の面で優れた成果が期待できる非破壊検査手法の赤外線サーモグラフィに着目し、その原理や既往のき裂検出手法と対して、既往の手法の課題を取りまとめている。その後、既往の手法よりさらに簡易な2次元・構造部材表面上の赤外線サーモグラフィ画像(温度ギャップ)から、3次元なき裂の形状を検知しうる手法を提案し、き裂の深さ・幅・長さ・鋼板厚等をパラメータとした数値解析により、その妥当性を示している。また、実構造物で疲労き裂が多く発見される溶接ビードやガセットプレート接合部などの断面変化を有する構造部位を想定し、本手法が断面内形状変化のある場合においても適用可能であることを示している。
- ② 橋梁の現状評価において各構造部材の設計荷重下で算定された応力と実環境で発生している応力を比較し、その差異を正確に根拠づけできることは非常に重要である。特に、出来高に影響される各支持点に作用する鉛直荷重は、桁端周辺・支承の変状、桁間の荷重分配に影響を及ぼす桁中央部の損傷などの検知に有用である。ここでは、薄肉鋼製要素が圧縮力を受ける場合、その固有振動数が低減し、振動モードに変化があることに着目し、数値解析によりその理論の妥当性を検証し、特に、局所的な圧縮応力評価には、円形形状の局所的な領域の振動とその中央部の平均的なミーゼス応力の間には強い相関があることを示している。
- ③ 兵庫県南部地震以降、橋梁の耐震性向上を目的に積極的に採用されてきた免震ゴム支承を対象として、日射・温湿度の繰り返し、オゾンなどを含む環境因子によって発生・進展する表面き裂の検知手法の検討を行っている。季節変動によって生じる上部構造の伸縮にともなうき裂の開口・閉口によらず、能動的な外力作用で、非破壊状態を維持しつつ、き裂を開口させ、その有無を判定できるシステムの提案を行い、その有用性・実用性を示している。

本論文は、以上のように、既設鋼橋の損傷検知システムとして、鋼構造部材に生じる疲労き裂の検知、鋼構造部材に作用する現有応力の非破壊評価、ゴム支承に生じる微小き裂の検知を可能とし、予防保全に必要な技術を構築したものであり、学術上、実務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、令和5年2月21日、論文内容とそれに関連した事項について諮問を行い、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。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 令和5年6月23日以降