

氏名	王 瑞		
学位の種類	博 士 (工学)		
学位記番号	博 甲 第 7709 号		
学位授与年月日	平成 28年 3月 25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	Study on Non-Destructive Testing System for Corrosion and Crack Inspection of Steel Bridge Based on Magnetic Sensor and Climbing Robot (磁界センサアレイを備えた鉄橋検査のための非破壊検査システムに関する研究)		
主 査	筑波大学 准教授	博士 (工学)	川村洋平
副 査	筑波大学 教授	Ph. D. (工学)	堀 憲之
副 査	筑波大学 教授	工学博士	安信誠二
副 査	筑波大学 准教授	博士 (工学)	伊達 央
副 査	筑波大学 助教	博士 (工学)	山本亨輔

論 文 の 要 旨

本研究は、鉄橋検査の高精度化および高効率化を目指した非破壊検査システムの設計と開発、およびその評価に関する研究である。鉄橋崩壊の主原因である腐食およびクラックに対し非破壊にてそのレベルを判定する事を主目的としている。本研究は大きく2つの研究開発項目に分かれている。一つは鉄橋表面を自在に走破し、鉄橋に存在する塗装下の腐食やクラックにアクセスするクライミングロボットの開発である。クライミングロボットには磁着タイヤによる張り付きを採用した。磁気回路と車輪をカバーするゴムシートを設計し、必要十分な接着力と摩擦力を実現した。さらに、その磁着タイヤを搭載したアクティブ-パッシブ コンプライアント関節を有するクライミングロボットを設計・開発した。これにより、鉄橋のほとんどの場所を踏破できるアクセス方法を実現した。二つ目はこのクライミングロボットに搭載する非破壊検査手法の開発である。磁着タイヤが搭載されている事に着目し、この磁着タイヤが発生する磁場とその乱れを積極的に活用することとした。腐食やクラックの存在により磁場が乱れることを、シミュレーションと実測の両面から確認し、ホールセンサアレイおよびGMRセンサアレイからなるセンサモジュールを設計・開発した。リフトオフノイズの発生を考慮し、GMRセンサアレイを最終的に採用している。最後に開発したセンサモジュールをクライミングロボットに搭載し、鉄橋検査の高精度化および高効率化を目指した非破壊検査システムの評価試験を行った。評価試験の結果、10 mmの腐食および1 mm幅のクラックを検知できる事を確認した。これは鉄橋検査に求められる要求性能を満たした結果であり、今後の現場での採用が期待される革新的な鉄橋検査システムが構築されたと言える。

審査の要旨

【批評】

王 瑞（ワン ルイ）氏は、2011年4月に筑波大学大学院システム情報工学研究科博士後期課程に学生として入学し、1年の休学を含み現在に至っている。同氏は、システム情報工学研究科博士後期課程に入学以降、当該課程の所定の単位を修得するとともに、磁着タイヤによるクライミングロボットと非破壊磁気センサアレイによる鉄橋検査システムに関する研究に従事し、その成果を2015年11月に主論文「Study on Non-Destructive Testing System for Corrosion and Crack Inspection of Steel Bridge Based on Magnetic Sensor and Climbing Robot（磁界センサアレイを備えた鉄橋検査のための非破壊検査システムに関する研究）」として完成させ、参考論文として、学位論文の印刷公表論文2編（うち審査付き論文2編）国際会議論文1編を付して、博士（工学）の学位の申請をした。

本研究は、世界的な問題となっている鉄橋の老朽化に新たな対策手法を提案するものである。これまでも、世界中で鉄橋検査を目的とした検査システムが開発されてきたが、どれも業界スタンダードにはなっていないのが現状である。これは、ハンディーなシステムで簡便に定量的な結果を得られるシステムが開発されていないことを示している。本学位論文では本分野周辺の既往の研究をレビューし、明確な要求を設定、その要求を満たす革新的な鉄橋検査システムを設計・開発している。さらに、その評価試験結果が示されている。鉄橋に張り付く磁着タイヤを基本として、それを移動機構に保有するクライミングロボットおよび磁着タイヤと鉄橋表面により発生する磁場を計測項目とした非破壊検査手法を開発し、トータルの鉄橋検査システムとして完成させている。磁着タイヤはその磁気回路をシミュレーションにより新規に設計し、その磁着力を最大化するとともに、ラバーカバーにも独自の開発を行い、磁着力の低下を最小限に抑えて摩擦力を増大させている。これを移動機構の核としたクライミングロボットはサスペンションの容量や関節の自由度増加といった改良点により、凸型カーブ通過を可能とした。最終的に提案・開発されている鉄橋検査システムは、これまでの感覚的な調査員の目視による調査とは一線を画す定量的な鉄橋検査システムがとなっており、今後の現場での採用が期待される革新的な鉄橋検査システムが構築されたと言える。

以上のように本論文は、鉄橋の非破壊検査システムに関して、独創性、論証性があり、高い学術的価値を有するものと評価できる。学位審査委員会は、王瑞氏の研究（成果）が機械工学・土木工学の分野において極めて有益な成果を得るとともに、機械工学・土木工学の進歩発展に貢献するところが大きく、博士（工学）の学位に値するものとして合格と判定した。

【最終試験の結果】

平成28年1月26日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。

