

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 14242 号
------	---------------

氏 名 服部 雅史

論 文 題 目

鋼床版Uリブ・デッキプレート溶接部のルートき裂に対する維持管理に関する研究

(Study on maintenance method for root cracks in U-rib to deck welded joints of orthotropic steel decks)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	館石 和雄
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	中村 光
委員	法政大学	デザイン工学部	教授	内田 大介
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	判治 剛

論文審査の結果の要旨

服部雅史君提出の論文「鋼床版Uリブ・デッキプレート溶接部のルートき裂に対する維持管理に関する研究」は、古い基準で設計された、疲労強度が比較的低いと考えられる鋼床版を主な対象として、損傷事例の多いUリブとデッキプレート溶接部のルートから発生する疲労き裂に対する維持管理方法を確立することを目的として、実験、実橋計測および解析的な検討を行ったものであり、以下の8章からなっている。

第1章「序論」では、鋼床版の歴史、基準の変遷、構造の変遷をまとめるとともに、鋼床版の疲労損傷の特徴や発生原因について概説した。特に、本研究で対象としたUリブ・デッキプレート溶接部のルートから発生する疲労き裂に関して、それに着目した理由や既往の研究事例をとりまとめ、本研究の位置づけと目的について述べた。

第2章「ルートき裂の発生寿命と進展方向の推定方法に関する検討」では、ルートき裂に対する疲労強度評価法について検討した。まず、疲労試験と有限要素解析の結果から、き裂起点に設けたフィレット形のノッチ応力（以下、評価応力）とき裂発生寿命との相関が高いことを明らかにし、その疲労強度曲線を提案した。次に有限要素解析により、載荷位置、溶接形状、タイヤ配置、舗装の剛性などの違いが評価応力に与える影響を把握した上で、溶接部近傍の応力から評価応力を概ね10%以内の誤差で推定する方法を提案した。これにより、溶接部近傍の応力によって、ルートき裂の発生寿命や進展方向を推定することが可能となった。

第3章「実橋計測によるルートき裂の発生寿命と進展方向の推定方法の検証」では、第2章で構築した評価方法の実橋への適用性について検討した。実橋の2つの工区の鋼床版に対して、溶接部近傍の応力と溶接脚長の計測を行い、第2章で得られた方法によって評価応力を推定し、さらにこの評価応力から算出される等価応力範囲を、温度や大型車交通量から推定する式を構築した。実橋に生じたき裂の発生傾向と比較することで、この式によって推定したき裂発生時期、発生箇所および進展方向が概ね妥当であることを示した。これらの結果を踏まえ、溶接部近傍の応力と溶接脚長、気温や大型車交通量といった定常的に得られるデータから、重点的に点検調査する箇所を抽出するスクリーニングフローを提案した。

第4章「ルートき裂の調査に対する超音波探傷の適用性に関する検討」では、ルートき裂を検出できる非破壊検査手法とその測定精度について、実際の疲労き裂に対する超音波探傷試験により検討した。まず、横リブが交差していない一般的な断面のデッキ進展型き裂に対してフェーズドアレイ超音波探傷試験を実施した。き裂長さについては、デッキプレート上面で反射後、き裂面で反射したエコーに着目することで、き裂深さについては、き裂先端からの散乱エコーに着目することで、精度のよい寸法計測ができることを示した。一般的な断面のビード進展型き裂に対しては、Uリブウェブの内面側で反射した後、き裂面で反射する成分などに着目することにより高精度の計測が可能であった。横リブが交差する断面についても検討を行い、デッキ進展型き裂に対して、フルマトリクス・キャプチャとトータル・フォーカシング法を組み合わせた検査方法が有効であることを示した。

第5章「ルートき裂に対するUHPFRC敷設による対策方法の検討」では、主にデッキ進展型き裂を対象として、デッキ上への超高性能繊維補強セメント系複合材料（以下、UHPFRC）の敷設による疲労対策効果と対策自体の疲労耐久性について、有限要素解析および疲労試験により検討した。まず、有限要素解析と線形破壊力学に基づく考察の結果、無補強の場合のデッキ進展型き裂の応力拡大係数は、き裂深さがデッキプレート板厚の $1/2 \sim 2/3$ で極値となり、それ以降は進展とともに減少していくことを明らかにした。この応力拡大係数範囲はUHPFRC敷設によって大幅に低減でき、その低減効果は従来工法であるSFRC敷設よりも高いことを示した。また、疲労試験によりデッキ進展型き裂を再現し、それを残置した状態でUHPFRCを敷設した後、試験を継続した結果、それ以上のき裂進展の抑制または大幅な遅延が可能であることが確認された。続いて、輪荷重走行試験によりUHPFRCの材料自体やデッキプレートとの界面に大きな劣化がないことを確認し、UHPFRC敷設の推定耐用年数は100年以上が期待できることを示した。

第6章「ルートき裂に対する床版下面からの対策方法の検討」では、交通規制が不要であり、死荷重が増加しない対策方法として、Uリブの下フランジを切断・撤去し、Uリブ・デッキプレート溶接部をUリブ内側からも溶接する方法について検討した。まず、本対策による構造改変を行っても鋼床版の耐荷性能は設計上問題がないこと、上向き姿勢での溶接でも一定の品質は確保できること、溶接によるアスファルト舗装への熱影響は小さいことを確認し、実現可能性は十分であることを確認した。次に、有限要素解析により、本対策のルートき裂に対する応力低減効果やき裂進展抑制効果を確認した結果、本対策による効果は一般的な対策方法であるSFRC敷設と同等以上であることを確認した。さらに疲労試験を実施した結果、本対策によってルートからのき裂の発生は抑えることができること、横リブ交差部において追加溶接止端部からき裂が発生したもののピーニング処理によりそれを抑止できることを示した。また、疲労試験結果に基づき、本対策が有する耐用年数を試算したところ、100年以上が期待できることが明らかとなった。

第7章「ルートき裂に対する維持管理方法の提案」では、第2章から第6章までの研究結果を踏まえ、ルートき裂に対する事後保全型と予防保全型の維持管理方法を提案した。

第8章「結論」では、以上の成果を要約して総括するとともに、今後の課題を述べた。

以上のように、本研究においては、発生事例数が多く道路管理者を悩ませている鋼床版のUリブ・デッキプレート溶接部から発生する疲労き裂に関して、その発生予測、発生検知、対策工法のそれぞれに対して新たな知見が示され、有益な提案が示されている。これらは鋼床版橋梁の信頼性向上や、合理的で経済的な維持管理策の構築につながるものであり、工学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文の提出者である服部雅史君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。