

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 藤山 知加子

長期にわたる高サイクル交通荷重を直接受ける橋梁床版の疲労耐久性の確保は、社会基盤施設の維持管理の観点から喫緊の課題である。特に建設後 20 年以上経過した鉄筋コンクリート橋梁床版の早期劣化は、走行安全性確保と維持管理財源の両面で深刻な問題となっている。これに対し、様々な接合諸元を有する鋼 - コンクリート合成床版が提案されており、高強度特性の観点から実用化研究が活発に実施されている。高度経済成長期に大量に整備された交通基盤施設の更新が近未来に控えており、疲労寿命を定量的に提示する疲労性能設計の展開は、急を要する技術的課題となっている。

鉄筋コンクリート床版の疲労損傷機構はほぼ解明されており、数値解析による寿命推定技術も過去数年で長足の進歩を遂げている。一方、鋼 - コンクリート合成床版の疲労限界状態は、試験装置の容量限界などの理由から、現時点において定量化には至っていない。設計耐用年数に対する安全余裕度と終局限界状態に至る経路、損傷形態が不明であるため、実証実験で観られるコンクリート中のひび割れが許容限界内にあるのか否かの判断が困難となっている。本研究は、高サイクル疲労荷重下における鋼 - コンクリート床版の構造応答解析システムを開発し、この問題に対して定量的な設計上の指針を与えることを目的としている。

第一章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。様々な構造諸元を有する既往の合成床版と性能試験法を整理し、製造と施工の合理化と構造強度特性の二面において、将来性の高い社会基盤施設整備の一要素となり得ることを示している。

第二章では、鉄筋コンクリート床版の寿命推定技術の最新の状況を概括し、鉄筋が分散配置されていない鋼 - コンクリート合成床版への適用拡張にあたっての課題を整理している。コンクリート中に発生・進展する疲労ひび割れ群を終局限界状態まで追跡する数値解析技術を本研究の主たる武器と位置づけ、非線形有限要素解析法と対数時間積分法を組み合わせて寿命推定する基本アルゴリズムを提示している。

第三章では、固定点高サイクル疲労荷重を用い、ずれ止め鋼材の配置間隔と寸法の組み合わせによって 3 通りのせん断破壊モードが発生することを、実験ならびに数値解析から明らかにしている。密にずれ止め鋼材を配置すると、鋼材先端から部材水平方向にコンクリート疲労ひび割れが進展・連結することで床版部材を二層化する過程が判明した。同時に、ずれ止め鋼材がせん断補強効果を発揮することで、部材を貫通する押し抜きせん断破壊が抑制されることも判明した。一方、ずれ止め鋼材が離散配置されると、部材の二層化は生じないものの、押し抜きせん断破壊が発生して部材耐力が大幅に低下することを示している。さらに、両破壊モードの中間にあたる二重せん断ひび割れモードが存在することが発見された。これらの破壊モードと寿命は、初期付着特性と剥離以後のせん断摩擦応力伝

達特性の両者を代表する新たな境界要素を配置することで、数値シミュレーションが可能となることを実証している。

第四章では、第三章で提示された境界面特性モデルと疲労寿命に関する定量分析を行っている。鋼 - コンクリート境界面上の固着力を人工的に除去した実験と解析を実施した。ここで、初期付着力が合成床版構造の疲労強度に占める割合が無視できない程度に大きいことを明らかにしている。セメント硬化体の初期固着力は乾湿繰り返しや温度変化、コンクリートの施工時締固めや養生、コンクリートの乾燥収縮などによって消失し得ることから、寿命設計の上で初期付着力に過大に依存することは適切でないことを示し、ずれ止め鋼材の形状加工を工夫することで初期付着の劣化を補償できることも実証した。

第五章では移動交通荷重下での合成床版の数値寿命解析を行い、コンクリート中の疲労ひび割れの連結に伴う版の二層化の限界状態に対する S-N 図（繰り返し荷重振幅 - 疲労回数）の関係）、および走行安全性が損なわれる限界状態に対応する S-N 図を初めて提示することに成功している。版の二層化は外観観察から確認することが不可能なため、従来、この限界状態を基準とする疲労設計ができなかった。本研究で開発、検証された寿命推定システムにより、現存する床版の余寿命と安全余裕度を定量的に提示することが可能となったのである。また、版の二層化に至る限界状態から走行不能に陥る状態までには、寿命回数で 1 オーダー程度の余裕代があることが予見された。

第六章で本研究の結論をまとめ、今後の課題について概括している。

本論文において、鉄筋コンクリート床版の疲労寿命推定に開発された直接対数積分型有限要素法が、鋼-コンクリート合成床版にまで適用できるように改善がなされ、版の二層化をもたらす疲労ひび割れ進展モードの機構が解明された。この知見をもとに、新たな構造詳細諸元を有する合成床版も提案された。実証を中心とした基礎モデルの高度化と実用化を視野に入れた疲労寿命数値解析モデルの開発の両者から、本論文の工学上の貢献は大である。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。