

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 千々和 伸浩

膨大な社会基盤施設の適切な維持管理には、現時点での保有性能の検証と将来の性能予測が不可欠となる。持続可能な社会の実現に向けた低コストでの確な補修補強事業を実現することは、高齢化社会の抱える切実な問題である。社会基盤施設の経年劣化に伴う損傷が鉄筋コンクリート部材の主鉄筋定着部に集中的に発生した場合には、急激に構造安全性が損なわれることが解明されつつある。海外では突然の橋梁上部構造の崩壊につながり、死傷事故が発生するに至っている。定着部の損傷は点検で位置と程度を確認することが一般に困難であり、たとえ損傷が判明しても従来施工法による補修・補強効果は低い。本研究は定着部損傷の原復旧を求めず、損傷の存在を許容しつつ、健全部に付加的な補強対策を講じることによって、当初設計とは異なる耐荷機構を新たに形成し、損なわれた安全性の回復を総合的に図る補修補強法を開発した。この予防保全の観点に基づく補修補強法を解析と実証実験の両面から見出し、効果的な補強システムを具体的に提示することに成功した。以下に各章の概要を取りまとめる。

第1章は本論文の研究目的について述べ、既往の研究の整理を行っている。鋼材腐食に伴う鉄筋断面欠損や周辺コンクリートに導入される腐食ひび割れに対する既往の構造工学的対処は、建設当初の原設計復帰が原則である。これに対して本研究は損傷を内在した新たな構造システムに耐荷機構を転換することで安全性能を向上させることを目指しており、補修補強の戦略上の大きな違いがあることを示している。

第2章では、主鉄筋定着部に極端に厳しい損傷を人工的に発生させた鉄筋コンクリート部材の耐力と変形性能に関する系統的な実験を行い、定着部損傷によって励起される部材の終局限界状態を見極めている。損傷部に直接、補強鋼材を後配置する従来の補修方法では、原設計の耐力まで機能回復させることが出来なかった。1cmを越えるひび割れに沿ったズレや開口が発生することから、高次ひび割れ非線形性に追従可能な接触面密度関数モデルを用いた非線形解析を試み、損傷部材の挙動をほぼ正確に再現可能であることを示している。定着部損傷ひび割れの先端から進展するひび割れが部材耐力を支配すること、非損傷部へのひび割れ進展の阻止が補修補強に不可欠であることを明らかにした。

第3章では施工の効率性を念頭に置いて、鋼材を損傷進展領域に集中して配置する予防的な補修を健全なせん断スパン内に施し、部材性能への影響を実験と解析両面から検討している。鋼材の集中配置によって、定着部の既存ひび割れから新たに進展するひび割れは、先行して配置された補強鋼材を回避して進展する結果となり、むしろ部材耐力は低下した。この機構は数値解析によって再現され、剛性の集中配置が問題であることが明らかにされた。そこで健全部のみ先行的な補強を施す場合の補強材の靱性、補強範囲、量を解析により検討した結果、補強材の剛性を面的に分散させることが必要条件であることを明らか

にした。

第4章ではシート材料を用いた先行補強について検討を行っている。剛性と靱性が大きく異なるカーボンシートとSFR材を補強材の対象とし、コンクリート部材との付着の程度と補強量の二面から有効性を検討した。有効性の検証には、定着部に過剰な損傷を与える目的でスチレンボードを主鉄筋近傍に設置した。これにより既存損傷部を放置しても、予防保全の観点から健全部をシート材で補強することで部材性能を回復させることを実証した。鋼材に強制的な腐食を発生させて腐食ひび割れを与えた部材に対しても有効性の検討を行ったところ、部材耐荷力は主鉄筋降伏を伴う曲げ耐力まで向上する結果を得た。非線形有限要素解析による系統的な分析を行い、健全部に対する補強範囲をある程度限定しても、効果を十分に発揮することを示している。

第5章では、定着部の損傷によって崩落した橋梁の事例を取り上げている。崩壊事故後の橋梁上部構造の主鉄筋定着部のひび割れ進展状況が、本研究による数値解析によっても再現できることを示している。さらに予防保全の観点から、健全部のみ補強材を配置する本研究の補強システムが有効に機能することを明示した。

第6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。

本研究は、点検が困難かつ損傷が発見されても補修が困難を極める橋梁上部構造の定着部に着目し、予防保全の観点から健全部に柔らかな補強を施すことで部材安全性能の回復が可能であることを示すことに成功したものである。これは当初設計とは異なる耐荷機構に損傷部材を転換し、設計で求められる安全性能を担保するものであり、従来の補強設計の概念を拡張したものである。社会基盤施設の維持管理に要する費用の大幅な削減とリスク回避を可能とする要素技術に発展することが期待され、そ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。