



TITLE:

樹脂接着による鋼橋の補修・補強
技術に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

竹村, 学

CITATION:

竹村, 学. 樹脂接着による鋼橋の補修・補強技術に関する研究. 京都大学, 2021, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2021-05-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k23387>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	竹村 学
論文題目	樹脂接着による鋼橋の補修・補強技術に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、わが国の社会資本の一つである鋼道路橋において、建設後 50 年以上が経過した橋梁の割合が増加する状況にあることを踏まえ、特に、地方自治体・市区町村が管理する橋梁の割合が大きく、限られた予算と人材で効率的にそれらを維持管理していく必要があるため、損傷を有する鋼橋の簡易な施工による補修工法として、CFRP 板を樹脂で接着接合する方法を取り上げ、実構造物で想定される多様な条件下における鋼部材と CFRP 板との力学的特性を明らかにして、ライフサイクルコストを抑えながら長寿命化に資する技術について取りまとめたものであり、6 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論であり、研究の背景と目的について述べ、鋼道路橋の損傷事例と既存の対策法を概観し、それらを適切に維持管理していく上で、事後保全から予防保全による対策へと転換することが有効であり、損傷が軽微な段階で、簡易な補修を行うことで長寿命化を図ることがライフサイクルコストの縮減に貢献できることを詳述している。損傷が生じた鋼部材に対して、炭素繊維強化樹脂（CFRP）を用いた補修方法に着目し、引抜成形 CFRP 板を接着する補修方法の汎用化に向け、これまでの研究では明らかにされていない条件での力学的事項を取りまとめている。</p> <p>第 2 章では、CFRP 板と鋼部材の間における応力伝達に着目し、CFRP 板の端部応力と定着長さの関係を明らかにし、定着長さを短くすることによって、接着の作業性が向上し、材料および労務コストの縮減に寄与するが、繊維方向には鋼材と同等程度以上の弾性係数を有するが、繊維に直角方向の弾性係数が 1/10 以下に低下する CFRP 板の直交異方性の影響について検証している。特に、CFRP 板の弾性係数の影響に関連し、鋼板よりも弾性係数が高い高弾性タイプの CFRP 板を用いると、接着層の厚さが薄くなると CFRP 板端部での内部応力が急激に変化し、CFRP 板の層間はく離が生じやすいことを確認している。</p> <p>第 3 章では、鋼部材の代表的な損傷事例の一つである腐食に対して、CFRP 板を接着し腐食鋼板の耐荷性能を回復する工法の検討を行っている。特に、不規則な表面幾何形状を示す腐食面に対して、矩形の CFRP 板を接着する際の耐荷性能について検証している。鋼板と CFRP 板間の応力伝達が同一断面内で異なることで、鋼板が弾性範囲にある場合、腐食形態の違いは応力伝達に影響を及ぼさないが、鋼板が降伏する場合は、CFRP 板の端部からはく離が徐々に進展し、はく離が腐食範囲に達して、耐荷性能が著しく低下することを実験的に明らかにし、FEM 解析によっても確認している。</p> <p>第 4 章では、鋼部材の代表的な損傷事例である疲労き裂に対して、CFRP 板を接着して鋼板に生じたき裂の進展を抑制する工法について検討している。疲労き裂の進展を</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	竹村 学
<p>抑制するためには、き裂の進展方向に対して直交する方向に CFRP 板の繊維方向を配置することが有効であるが、実際の鋼構造物でのき裂補修では、構造物に作用する変動荷重によって生じる主応力状態にも配慮しなければならないため、混合モードのき裂進展性状の検証を目的として、線形破壊力学におけるモード I とモード II の混合モードのき裂に対して、CFRP 板を接着することで、き裂の進展方向に生じる特異な差異を実験的に明らかにし、き裂進展解析によるき裂進展経路の再現を行っている。CFRP 板を接着する前後でき裂の先端に生じている残留応力分布がき裂の進展遅れに大きく寄与することを実験的に明らかにし、FEM 解析を通して、抑制効果の定量的な評価を行っている。</p> <p>第 5 章では、一般的な鋼道路橋の上部構造形式である鈹桁橋で疲労き裂が生じている部位を取り上げた検証として、鋼鈹桁橋において疲労き裂の発生が多数報告されている面外ガセット継手を対象に、CFRP 板の接着による予防保全対策としての応力集中の低減効果、事後保全対策としてのき裂進展抑制効果について FEM 解析により検討を行っている。予防保全対策としては、すみ肉溶接の溶接止端部での応力集中をホットスポット応力で評価し、ガセット板溶接のすみ肉溶接止端部の基準位置からの CFRP 板接着範囲の閾値を設定している。一方、事後保全対策としては、疲労き裂の生じた部位に接着した CFRP 板の部分剥離を考慮して、き裂進展を抑制する効果およびき裂進展経路の進展解析を行い、CFRP 板の引張剛性が高いほど、そしてはく離を考慮しない方が、き裂進展速度が遅くなるが、き裂の進展方向の変化量は大きくなることを示している。また、引張応力およびせん断応力の組み合わせ下におけるき裂進展特性を明らかにしている。</p> <p>第 6 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約し、比較的軽微な損傷を対象とした補修方法についてその実用性・有用性を明らかにしたうえで、CFRP 板や接着剤の経時変化や、長期的な耐荷性能評価等の将来的課題について取りまとめている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、わが国の社会資本の一つである鋼道路橋において、限られた予算と人材で効率的にそれらを維持管理していく必要があるため、CFRP（炭素繊維強化材）板を樹脂で接着接合する方法を取り上げ、実構造物で想定される多様な条件下における鋼部材とCFRP板との力学的特性を明らかにして、ライフサイクルコストを抑えながら長寿命化に資する技術について取りまとめたものであり、6章からなっている。

第1章では、序論であり、研究の背景と目的について述べ、鋼道路橋の損傷事例と既存の対策法を概観し、それらを適切に維持管理していく上で、事後保全から予防保全による対策へと転換することが有用であり、損傷が軽微な段階で、簡易な補修を行うことで長寿命化・ライフサイクルコストの縮減に繋がり、成形CFRP板を接着する補修方法の汎用化に向け、検証すべき力学的事項を取りまとめている。第2章では、CFRP板と鋼部材の間における応力伝達に着目し、CFRP板の端部応力と定着長さの関係を明らかにしている。定着長さを短くすることによる接着作業性の向上、材料・労務コストの縮減に対して、鋼板よりも弾性係数が高い高弾性タイプのCFRP板を用いると、接着層の厚さが薄くなるとCFRP板端部での内部応力が急激に変化し、CFRP板の層間はく離が生じやすいことを確認している。第3章では、鋼部材の腐食損傷に対して、CFRP板を接着し腐食鋼板の耐荷性能の回復について検討を行っている。不規則な性状を示す腐食面に対して、矩形のCFRP板を接着する際、鋼板が弾性範囲にある場合、腐食形態の違いが応力伝達に影響を及ぼさないが、鋼板が降伏する場合は、CFRP板の端部からはく離が徐々に進展し、はく離が腐食範囲に達して、耐荷性能が著しく低下することを実験およびFEM解析によって確認している。第4章では、鋼部材の疲労き裂損傷に対して、CFRP板を接着して鋼板に生じたき裂の進展抑制について検討している。疲労き裂の進展を抑制するためには、き裂の進展方向に対して直交する方向に炭素繊維を配置することが有効であるが、混合モードのき裂進展性状においては、CFRP板を接着する前後でのき裂先端の残留応力分布がき裂の進展遅れに大きく寄与することを定量的に評価している。第5章では、初期き裂の発生方向とCFRP板の繊維方向が直交しない状態におけるき裂の進展経路についての検討を進展させ、鋼桁橋において疲労き裂が多く報告されている面外ガセット継手を事例として、実際にCFRP板の接着による当て板補修の有効性を確認している。第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約し、比較的軽微な損傷を対象とした補修方法についてその実用性・有用性を明らかにしたうえで、CFRP板や接着剤の経時変化や、長期的な耐荷性能評価の将来的課題について取りまとめている。

以上、本論文は、CFRP板と鋼材の付着特性を示すとともに、CFRP板による鋼構造物の補修補強に貢献することにより、学術上、實際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3年3月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、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。