

論文審査の結果の要旨

氏名：野 口 博 之

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：鋼繊維補強コンクリートを用いた道路橋鋼床版の補強法および耐疲労性の評価に関する研究

審査委員：(主 査) 教 授 阿 部 忠
(副 査) 教 授 澤 野 利 章
教 授 藤 本 利 昭
非常勤講師 川 井 豊

近年、道路橋鋼床版は、交通量の増大や過積載の走行による疲労損傷が生じ、その補修・補強技術の開発および維持管理手法の構築が課題となっている。鋼床版の構造は、デッキプレートを横リブと縦リブで補剛された構造であり、コンクリート系床版に比して材料が薄肉であることから軽量であるが、剛性が低い構造である。とくに、1980年代に建設された道路橋鋼床版は、デッキプレートと縦リブとの溶接部や垂直補剛材上端部とデッキプレートの溶接部、さらには縦リブと横リブの交差部付近にき裂が多数発生する事例が報告されている。当時の設計基準によるとデッキプレートには12mm厚の鋼板、Uリブには6~8mm厚の鋼板が用いられており、2012年改訂の道路橋示方書・同解説（以下、道示とする）ではデッキプレートには16mm厚の鋼板へと改訂されている。したがって、2012年以前の道示により設計された鋼床版は、車両の繰り返し走行により、溶接箇所や部材の交差部などに局部的に大きな応力の発生により「き裂」が生じている。このような鋼床版の疲労損傷に対しては、交通規制の関係から、超速硬セメントに鋼繊維を配合した鋼繊維補強コンクリート（SFRC）を用いて、鋼床版の局部変形および局部応力の低減を図るSFRC上面補強法が提案され、高速道路や一般国道に建設された鋼床版の疲労損傷対策として採用されてきた。

一方、長期的な交通規制が困難な高速道路や重交通の多い一般道の鋼床版や劣化したRC床版の補強材に用いるSFRC材の要求性能は、交通規制に伴う経済損失等を考慮し、材齢3時間で道示に規定するコンクリートの圧縮強度 24N/mm^2 以上を確保することが可能な超速硬セメントが用いられている。しかし、超速硬セメントを用いた場合は、費用が膨大となり経済的損失が生じると同時に可使時間が短いことから熟練した高度な技術が必要となる。これらのことから、数日の交通規制が可能な道路橋鋼床版のSFRC舗装材および補強材として、材齢24時間で道示に規定するコンクリートの圧縮強度 24N/mm^2 以上確保できる早強セメントポルトランドセメント（以下、早強セメントとする）或いは普通ポルトランドセメント（以下、普通セメントとする）を用いて鋼繊維、早強成分と収縮低減成分を有する混和材（以下、低収縮型早強性混和材とする）を配合した新たなSFRC材を提案し、これらの材料を用いて鋼床版デッキプレートとSFRC材との界面の「はく離」を抑制するために、補強界面に専用のエポキシ系樹脂接着（以下、接着剤とする）を塗布した補強法、すなわち接着剤塗布型SFRC上面補強法を提案し、界面の接着効果および耐疲労性の評価を行う必要がある。

そこで本研究は、地方公共団体が管理する道路橋鋼床版の補強法として従来の補強材に替わる材料として早強セメントと普通セメントを用いて鋼繊維の混入、さらに超早強コンクリートの強度発現と同等にするために早強成分と養生時に生じるコンクリートの収縮を抑制する収縮低減成分を有する低収縮型早強性混和材を配合した2種類のSFRC材を提案し、併せて材料特性値を示す。また、補強法としては「はく離」を抑制するために用いる専用の接着剤と本提案するSFRCとの適用性の検証と輪荷重走行疲労実験を行い、応力低減効果、補強効果および耐疲労性の検証を行い、実橋への実用性を検証する。さらに、早強セメントに低収縮型早強性混和材を配合したSFRC材を用いた接着剤塗布型鋼床版SFRC上面補強法についての施工計画について提案し、地方公共団体が管理する道路橋鋼床版の予防保全型維持管理計画の一助とする。

本論文は、全7章より構成されており、各章における内容を以下に示す。

第1章「序論」では、鋼床版は薄板溶接構造であることから疲労損傷が生じ、その補修・補強対策が課題となっている。そこで、道路橋鋼床版の疲労損傷について着目し、損傷状況を明らかにするとともに、鋼床版の補修・補強法の事例および既往の研究を延べ、本研究の目的の位置付けを論じる。

第2章「道路橋鋼床版の維持管理対策と補修補強」では、道路橋鋼床版の現状について述べ、鋼床版構造形式ならびに鋼床版の設計基準の変遷について説明する。また、鋼床版に発生した疲労損傷、とくに「き裂」の発生メカニズムについて述べた。また、き裂の発生要因と損傷別の補修・補強対策について説明し、鋼床版の予防保全型維持管理計画における疲労き裂に対する補修・補強方法について論じる。

第3章「早強セメント・普通セメントに鋼繊維を混入したコンクリートの材料特性」では、超速硬セメントを用いた SFRC に替わる補強材として、早強セメント或いは普通セメントに鋼繊維と低収縮型早強性混和材を配合した SFRC 材を提案した。この材料のコンクリートの凝結時間および圧縮強度など発現強度を示し、早強セメント或いは普通セメントを用いた場合の施工性について検証した。また、超速硬セメントを用いた SFRC と本提案する2種類の SFRC とを比較し、有用性を検証した。次に、一面せん断試験を行い SFRC 材と鋼床版デッキプレートとのせん断強度を明らかにする。

第4章「接着剤塗布型鋼床版 SFRC 上面補強法における応力低減効果」では、本提案する2種類の SFRC 材を用いて接着剤塗布型 SFRC 上面補強を施した鋼床版を用いて輪荷重による走行実験を行い、デッキプレートに発生するたわみおよびひずみと走行時間の関係から応力低減効果について検証する。また、SFRC 材とデッキプレートとの引張付着強度を検証するために建研式引張試験を実施し、引張付着強度から鋼床版と SFRC 材との一体性を評価する。

第5章「接着剤塗布型鋼床版 SFRC 上面補強法における耐疲労性の評価」では、2種類の SFRC 材を用いて接着剤塗布型 SFRC 上面補強を施した鋼床版を用いて、輪荷重走行疲労実験を実施し、本材料を持って接着剤塗布型鋼床版 SFRC 上面補強法における耐疲労性を検証する。また、輪荷重の繰り返し走行により発生する補強界面での「ずれ」や「曲げ」による「はく離」状況、すなわち引張付着強度について、輪荷重走行疲労実験後に、建研式引張試験を実施し、疲労損傷を受けた補強界面の引張付着強度を検証する。

第6章「接着剤塗布型鋼床版 SFRC 上面補強法における施工計画の提案」では、第5章において早強セメントを用いて鋼繊維の混入と低収縮型早強性混和材を配合した SFRC 材を用いて接着剤塗布型鋼床版 SFRC 上面補強法における耐疲労性が評価され、実橋での施工が実施された。そこで実橋鋼床版の実施事例を基に、本提案する SFRC 材と接着剤塗布型鋼床版 SFRC 上面補強法の施工計画を提案する。

第7章「総括」では、各章における結論を総括して、本論文の主な研究成果を纏めるとともに、この研究課題と成果の実用性および将来への展望を論じる。

以上より、従来の鋼床版の補強材である超速硬セメントに鋼繊維を配合した補強コンクリートが用いられている。この材料は高価であるとともに熟練した高度な施工技術が必要となる。そこで、早強セメント或いは普通セメントに鋼繊維と低収縮型早強性混和材を配合した SFRC 材を提案した。この SFRC 材は従来の超速硬セメントに鋼繊維を配合した材料比較して、可使時間を長時間確保できることから施工性に優れた材料となった。発現強度においても終局時は圧縮強度も高く、剛性に優れた材料となった。また、接着剤塗布型 SFRC 上面補強法は、輪荷重走行により「ずれ」に抵抗として一面せん断試験を実施した。その結果、界面の付着強度も高く、はく離が抑制される結果が得られた。次に、輪荷重の走行実験および輪荷重走行疲労実験を行い、応力の低減効果および耐疲労性の検証においても、2種類の SFRC 材を用いて本提案する接着剤塗布型鋼床版 SFRC 上面補強を施すことで大幅な応力の低減効果および耐疲労性の向上が図られた。よって、実用性が評価され、国土交通省が管理する橋長 750m の鋼床版補強で採用されたことから、実橋での施工計画についても提案した。

早強セメント或いは普通セメントに低収縮型早強性混和材を添加させた SFRC はコンクリートの材料特性、一面せん断試験による補強界面の付着性能について検証した。次に、接着剤塗布型鋼床版 SFRC 上面補強を施した鋼床版で輪荷重走行疲労実験を行い、応力低減効果および耐疲労性を評価した。また、接着剤塗布型鋼床版 SFRC 上面補強による補強界面の付着強度について、輪荷重走行疲労実験を行い、疲労実験終了後の補強界面の付着性能について検証した。さらに、低収縮型早強性混和材を添加させた SFRC を実橋梁への適用とその実用性について検証し、地方自治体が管理する道路橋鋼床版の予防保全型維持管理に向けた鋼床版の補強法を提案した。これらの 2 種類の SFRC 材を用いた本補強法は、地方公共団体が管理する鋼床版の予防保全型維持管理に貢献できると考えられる。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成 31年 3月 7日