

## 論文審査の結果の要旨

氏名：伊 藤 清 志

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：FRC と接着剤を用いた RC 床版の補修・補強技術および FRC 床版の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 師 橋 憲 貴  
非常勤講師 川 井 豊

近年、高度経済成長に建設された社会資本施設が老朽化し、その維持管理が重要な課題となっている。最も日本の経済に影響を及ぼす社会資本施設としては道路橋施設である。これらの道路施設には橋梁、トンネル、カルバート等で構成されている。とくに、橋梁においては、高度経済成長期に多くの橋梁が建設され、2018 年現在で、73 万橋が建設され、この内、供用後 50 年が経過し、老朽化した橋梁は 23%に達している。老朽化対策として国土交通省では、2007 年に橋梁点検要領(案)を発行し、これに基づいて地方公共団体では一斉に橋梁点検が開始され、2009 年度に「道路橋長寿命化修繕計画策定事業」が着手された。一方、都道府県庁および政令都市では橋長 15m 以上の橋梁に対して「道路橋長寿命化修繕計画」が策定され、修繕が実施されている。そして、2011 年からは市長村でも「道路橋長寿命化修繕計画」がそれぞれで計画され、公開されている。その後、2014 年の国土交通省の橋梁点検要領が改定され、橋長 2.0m 以上の橋梁を対象とした点検が実施され、これに基づいて新たな基準で道路橋長寿命化修繕計画が立案され、平準化した予算のなかで緊急措置の必要な橋梁から順次、修繕が実施されている。

一方、供用開始後 50 年が経過する道路橋の設計基準の多くは昭和 31 年、39 年改定の設計基準である活荷重 80kN で設計された橋梁であり、現行の設計基準に規定する活荷重 100kN に対して 20%の荷重で設計されており、荷重差に対する耐荷力性能の向上を図る対策が必要となる。また、老朽化する橋梁部材のなかで最も損傷が著しい部材は道路橋 RC 床版である。交通量の多い地域の RC 床版は大型車両の走行による疲労損傷が主である。一方、積雪寒冷地域の RC 床版は、交通量が少ないにも関わらず融雪剤や凍結防止剤の散布による塩害と凍害の繰り返しによる材料の老朽化に伴う損傷である。また、海岸線に隣接する橋梁床版においては、飛来塩分による塩害による鉄筋の発錆や腐食に伴う断筋・断面欠損などの損傷である。このように立地環境によって損傷状況も異なっているのが現状である。よって、道路橋 RC 床版の補修・補強に関わる修繕費用は橋梁部材の中で 40%から 50%を占めている地方公共団体も多く、RC 床版の長寿命化を図る補修・補強技術の開発が急務となっている。また、新設床版においても 100 年間メンテナンスフリーが可能な材料および構造の開発も急務となっている。

そこで本研究では、道路橋の主要構成部材である RC 床版の現状を述べ、RC 床版上面の薄層補修に用いる低弾性の繊維補強コンクリート（以下、FRC とする）材の開発および 2 種類の接着剤を用いた補修技術の提案、設計基準の変遷に伴う耐荷力差および上面損傷に対する FRC 材を用いた接着剤塗布型上面増厚補強法および寿命推定式を提案する。この補強材および接着剤塗布型上面増厚補強法を老朽化した実橋 RC 床版への適用による耐疲労性の検証、疲労損傷を与えた RC 床版下面に炭素繊維シート接着補強して押抜きせん断破壊した RC 床版の部分打換え工法において FRC 材を用いた接着剤塗布型部分打換え補強法の提案を行う。また、FRC 材を用いた新設床版の提案し、耐疲労性の評価および寿命予測式である S-N 曲線式を提案し、RC 床版の上面損傷における補修・補強材の提案および FRC 材を用いた接着剤塗布型上面補修・補強技術、さらには FRC 材を用いた床版構造を提案し、地方公共団体および高速道路等の床版維持管理の一助としたい。

本論文は 8 章で構成されており、各章の内容は次のとおりである。

**第1章「序論」**では、道路橋 RC 床版の損傷状況を述べ、補修・補強の必要性を示している。また、設計基準の変遷に伴う活荷重の改定による耐荷力性能の向上を図る補強法の必要性を述べる。また、既往の研究による輪荷重疲労試験を用いた RC 床版の寿命推定法である押抜きせん断耐荷力および S-N 曲線式についてを延べるなど、本研究内容である、FRC 材および接着剤を用いた補修・補強法および FRC 材を用いた新床版の必要性を述べて、本研究の位置づけを論じる。

**第2章「日本における道路橋および道路橋床版の現状」**では、我が国の橋梁の現状を述べるとともに、本研究内容である RC 床版の上面損傷の現状および国土交通省の橋梁点検要領に示す上面損傷と補修・補強時期との整合性および上面の各種補修・補強法について述べる。

**第3章「低弾性 PCM を用いた RC 床版の上面損傷に用いる補修材の開発および耐疲労性の評価」**では、従来の補修材には高弾性の PCM が用いた補修法であるが、早期に割れやはく離を生じ、早期に再補修が施されている。そこで、割れを解決するために低弾性 PCM の開発および接着剤を塗布した補修法を提案し、輪荷重走行疲労実験を行い、耐疲労性を検証し、実用性を評価する。

**第4章「接着剤を塗布した SFRC 上面増厚補強法の耐疲労性の評価」**では、RC 床版の上面劣化に対する補強法および設計基準の変遷に伴う耐荷力の不足に伴う補強法には、FRC 材である鋼繊維を混入した高強度繊維補強コンクリート (SFRC) 材が用いられ、直接増厚補強が施されている。しかし、この補強法では早期にはく離し、10 年ほどで再補強された事例もある。そこで、繊維に鋼繊維を適用した SFRC 材を用いた接着剤塗布型 SFRC 上面増厚法を提案し、耐疲労性を検証し、実用性を評価する。

**第5章「塩害・凍害の複合劣化を受けた RC 床版の上面増厚補強法の耐疲労性の評価」**では、老朽化により供用開始後 33 年で撤去した実橋 RC 床版を用いて、撤去時のひび割れ診断を行うとともに劣化診断としてコア採取し、超音波伝播速度試験や圧縮試験、さらには EPMA 試験を実施し、劣化状態を診断した。その後、3 体の試験体を用いて、従来の上面補修法および接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強を施し、本提案する接着剤塗布型上面増厚補強法の耐疲労性を評価し、老朽化した RC 床版を用いた補強法においても耐疲労性の向上が図られることを検証する。

**第6章「道路橋 RC 床版の接着剤を用いた部分打換補強法における耐疲労性の評価」**では、RC 床版の耐疲労性の向上およびひび割れ抑制として鋼板接着補強や CFS 接着補強が施されて来た。しかし、これらの補強法においては補強後 20~30 年が経過し、抜け落ちや抜け落ち寸前の損傷が発生している。そこで、CFS 補強し、抜け落ちた RC 床版を用いて、抜け落ち箇所をウオータージェットで削り、削り箇所に接着剤塗布型部分打換えおよび接着剤塗布型上面増厚補強法における耐疲労性の検証を行い、接着剤塗布型部分打換え補強法の実用性を評価する。

**第7章「鋼繊維補強コンクリートを用いた FRC 床版の押抜きせん断耐荷力および耐疲労性の評価」**では、老朽化が著しい床版や設計基準の変遷により床版に差異が生じている重要路線では取替床版や新設床版が提案されている。そこで、繊維に鋼繊維を配合した SFRC 材を用いた SFRC 床版を提案し、SFRC 材の力学特性に関する実験および SFRC 材を用いて製作した SFRC 床版の耐疲労性の評価を行う。さらに、力学特性値を用いた SFRC 床版の押抜きせん断耐荷力および S-N 曲線式を提案し、SFRC 床版の実用性を評価する。

**第8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、本論文で提案する低弾性 PCM は、実用性が評価され、既に実橋の補修材として使用されている。また、低弾性 PCM を用いた接着剤塗布型上面薄層補修においても、僅か一年間で再劣化した RC 床版の補修箇所の 2 次補修法として採用された。また、高速道路においては EQM 工法として命名され、一部の高速道路橋で採用されている。一方、接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強法においては地方公共団体や国土交通省、さらには高速道路会社が管理する道路橋 RC 床版で採用され、実施工されて

いる。一方、接着剤塗布型部分打換補強法においても、地方国道の部分打換補強法と CFS 接着補強を併用した RC 床版の補強法として採用されている。なお、SFRC 床版においては従来の RC 床版に対して大幅に耐疲労性が向上することから、取替床版および新設床版として実用性が高いと考えられる。よって本研究で明らかになった事項は、道路橋 RC 床版の予防保全型維持管理の発展に大きく寄与するものと考えられる。

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