

氏名	おがわ あつし 小川 淳史
授与学位	博士(工学)
学位記番号	理工博甲第624号
学位授与年月日	平成26年3月17日
学位授与の要件	学位規則第4条1項
研究科, 専攻の名称	理工学研究科(博士後期課程)システム設計工学系専攻
学位論文題目	セメント系接着剤を用いた鋼・コンクリート合成床版の開発に関する基礎的研究
論文審査委員	主査 山口大学 准教授 吉武 勇 山口大学 教授 宮本 文穂 山口大学 教授 中村 秀明 山口大学 教授 麻生 稔彦 山口大学 准教授 渡邊 学歩

【学位論文内容の要旨】

近年、高度経済成長期に建設された国内の社会インフラは老朽化が顕著化し、維持更新の時期に入っている。特に、道路橋床版については、走行車両の輪荷重による疲労と材料劣化が相まって損傷が進行しているため、耐久性の高い床版が求められている。そのような時代の中、コスト縮減と耐久性向上の観点から、床版支間を拡張し主桁の本数を軽減した少数鈹桁橋と相性が良く、施工性、耐久性の高い合成床版の採用実績が急増している。合成床版の現在残されている課題として、機械式ずれ止めの多数設置による工費・重量の増加や充填性、防食性等がある。そのため、本論文では、機械式ずれ止めの代替として、高い防食性能を持つ接着剤を用いることで、構造の簡素化と防食性向上を図った合成床版を考案し、各種実験により基本的な耐荷力や疲労耐久性について検討を行った。また、ここで得られた実験結果等に基づき、実橋梁に適用される際の設計・施工手順について述べた。本論文の要約は以下のとおりである。

第1章「序論」では、合成床版の採用実績が増加している背景や既往の研究や課題について言及した。また、本研究の目的を整理するとともに、接着剤を用いて鋼とコンクリートの一体化を図った合成床版の概要、ならびに本研究で実施した実験項目についてまとめた。

第2章「セメント系接着剤の特徴」では、接着剤の基本的な情報である成分や材料特性を示すとともに、小型の合成はりを用いた曲げ試験により、材齢と付着特性の関係や、鋼板の表面処理方法ならびに鋼板上に散布した接着剤の前養生期間について検討を行った。この章における主な知見は次のようなものである。

小型合成はりの曲げ試験結果により、コンクリート材齢が28日以降において、ひずみの計測値と完全合成と仮定して求めた計算値の差異が小さくなった。このことから、本研究で用いた接着剤を用いることで、コンクリートが硬化に至る過程で、鋼とコンクリートが一体化することがわかった。接着剤を鋼板に塗布し、168日間経過後にコンクリートを打設しても、合成はりの曲げ強度の低下はみられなかった。さらに、接着剤を塗布した鉄筋の曝露試験により、接着剤を塗布することで、長

期に渡り、鋼板パネル内面の防食性が保たれることが確認できた。

第3章「せん断試験によるずれ止め性能の検討」では、接着剤を用いた鋼とコンクリートの合成構造に対してせん断試験を実施し、ずれ止めとしての性能について検討を行った。その結果、鋼とコンクリートの間に剥離が生じるまでのせん断耐力は、孔あき鋼板ジベルタイプの供試体の2倍以上の耐力を示すことがわかった。また、鋼板の変形防止のため設置するリブに切欠きや剥離防止用の切欠き孔を設けることで、せん断耐力をいっそう向上できることがわかった。さらに接着剤を塗布した供試体のせん断耐力とスタッドの終局耐力の計算値を比較すると、スタッドの17~23本/m²に相当したことから、接着剤を用いた本合成構造の有用性を示した。

第4章「曲げ試験による合成はりの挙動の把握」では、スタッドを用いた合成構造との曲げ破壊性状の相違を得るため、第2章で行った小型合成はりよりも実構造に近い底鋼板にリブ設置した合成はりを用いて曲げ試験を行った。その結果、スタッドを用いた合成はりでは最初のひび割れが発生した後も、複数のひび割れが発生～進展～分散しながら破壊に至るのに対し、接着剤を用いた合成構造では、載荷点に向かって、1本のひび割れが生じたと同時に脆性的に破壊する結果となった。しかし、実構造物により近い底鋼板にリブを設置した供試体による曲げ試験では、曲げひび割れ発生後も平面保持の仮定は成り立つことが確認でき、底鋼板とコンクリートは十分に一体化することが示された。

第5章「輪荷重走行試験による疲労耐久性の検討」では、実橋梁の1/2スケールの接着剤を用いた合成床版を用いて疲労耐久性について検討を行った。また、輪荷重走行試験終了後の供試体の一部を切り出し、破壊に至るまで曲げ試験を実施した。

輪荷重走行試験では、載荷荷重と走行回数が増加するにつれ、たわみ・ひずみは緩やかに増加したが、走行回数60万回に達しても破壊に至るような大きな変化はみられなかったため、輪荷重に対する疲労耐久性を有することがわかった。また、輪荷重走行試験終了後の供試体の一部を切り出した供試体による曲げ試験により、60万回走行後も残存耐力は充分にあることがわかった。

第6章「合成はりの曲げ疲労試験による疲労耐久性の検討」では、第5章の輪荷重走行試験では得られなかった、疲労破壊特性を調べるため、接着剤を用いた合成はりを用いた曲げ疲労試験を行い、疲労による終局状態の確認と疲労限界について定量評価を行った。この実験によると、疲労破壊の進展状況は、繰り返し載荷により、鋼板とコンクリート間に剥離が発生し、一体性が損なわれ、ひび割れが中央から広がっていく傾向にあることがわかった。また、曲げ疲労試験で得られたS-N関係式に基づくと、近似直線上で載荷回数200万回に達することから、静的曲げ強度の70%程度が疲労限界と判断された。

第7章「設計および施工の検討」では、提案する合成床版が実橋梁に適用される際の設計方法と施工方法について示した。鋼板パネルの設計方法については、従来の合成床版と同様であり、鋼とコンクリート合成前と合成後、それぞれについて応力照査を実施することで形状を決定した。また、ずれ止めの設計については、鋼とコンクリート界面に発生するせん断応力の計算値と接着剤のせん断耐力を比較することで照査する手法を示した。

さらに、鋼板パネルの防食については、外面は従来の合成床版と同様であり、パネル内面の防食性は、ずれ止めとして塗布する接着剤により確保できるとともに、パネルの製作・輸送・架設方法等は、従来の合成床版と同様に実施できるものと考えられた。

第8章「結論」は本論文の総括であり、本研究の主な成果を要約するとともに、今後の研究課題についてまとめた。

【論文審査結果の要旨】

近年、道路橋で施工実績を伸ばしている鋼・コンクリート合成床版には、機械式ずれ止めが多数設置されることで工費・重量の増加やコンクリート充填性不良等の課題がある。そのため本論文では、機械式ずれ止めの代替として、高い防食性能を有するセメント系接着剤を用いることで、構造の簡素化と防食性向上を図った合成床版を考案し、各種実験による耐荷性能や疲労耐久性について検討している。せん断試験の結果、機械式ずれ止めと比べ鋼板の剥離が生じるまでのせん断耐力が優れること、リブに剥離防止用の切欠き孔を設けることでせん断耐力をいっそう向上できることを示している。はり要素試験体による曲げ試験により、接着性能や破壊特性について、従来型機械式ずれ止め構造との比較評価も行っている。さらに、輪荷重走行試験や曲げ疲労試験により、この鋼・コンクリート合成床版の疲労耐久性について定量評価を行い、従来の合成床版等と同等の疲労耐久性を示すことを報告している。これらの実験結果を用いた試設計を通じて、設計・製作上の特徴や留意点についてまとめている。本論文は計8章から構成されている。各章の主な内容等を以下にまとめて示す。

「第1章 序論」では、本研究の背景や目的を述べるとともに、本論文の構成および各章の内容を概説している。

「第2章 セメント系接着剤の特徴」では、接着剤の基本的な情報である成分や材料特性を示すとともに、小型の合成はりを用いた曲げ試験により、材齢と付着特性の関係や、鋼板の表面処理方法ならびに鋼板上に散布した接着剤の前養生期間について検討を行っている。

「第3章 せん断試験によるずれ止め性能の検討」では、接着剤を用いた鋼とコンクリートの合成構造に対してせん断試験を実施し、ずれ止めとしての性能について検討を行っている。その結果、鋼とコンクリートの間に剥離が生じるまでのせん断耐力は、孔あき鋼板ジベルタイプの供試体の2倍以上の耐力を示すことがわかった。また、鋼板の変形防止のため設置するリブに切欠きや剥離防止用の切欠き孔を設けることで、せん断耐力をいっそう向上できることを報告している。

「第4章 曲げ試験による合成はりの挙動の把握」では、スタッドを用いた合成構造との曲げ破壊性状の相違を得るため、第2章で行った小型合成はりよりも実構造に近い底鋼板にリブ設置した合成はりを用いて曲げ試験を行っている。その結果、スタッドを用いた合成はりは最初のひび割れが発生した後も、複数のひび割れが発生～進展～分散しながら破壊に至るのに対し、接着剤を用いた合成構造では、1本のひび割れが生じたと同時に脆性的に破壊することを報告している。しかし、実構造物により近い底鋼板にリブを設置した供試体による曲げ試験では、曲げひび割れ発生後も平面保持の仮定は成り立つことが確認し、底鋼板とコンクリートは充分に一体化することを報告している。

「第5章 輪荷重走行試験による疲労耐久性の検討」では、実橋梁の1/2スケールの接着剤を用いた合成床版を用いて疲労耐久性について検討を行うとともに、輪荷重走行試験終了後の供試体の一部を切り出し、破壊に至るまで曲げ試験を実施している。輪荷重走行試験では、載荷荷重と走行回数が増加するにつれ、たわみ・ひずみは緩やかに増加するが、走行回数60万回に達しても破壊に至るような大きな変状はみられないことから、輪荷重に対する高い疲労耐久性を有することを示している。さらに、輪荷重走行試験終了後の供試体の一部を切り出した供試体による曲げ試験により、60万回走行後も残存耐力も充分にあることも報告している。

「第6章 合成はりの曲げ疲労試験による疲労耐久性の検討」においては、疲労破壊特性を調べるため、接着剤を用いた合成はりを用いた曲げ疲労試験を行い、疲労による終局状態の確認と疲労限界について定量評価を行っている。この実験では、疲労破壊の進展状況は、繰り返し載荷により、鋼板とコンクリート間に剥離が発生し、一体性が損なわれ、ひび割れが中央から広がっていく傾向にあること、 $S-N$ 関係式を用いて載荷回数200万回疲労強度は、静的曲げ強度の70%程度が疲労限界となることを報告している。

「第7章 設計および施工の検討」においては、提案する合成床版が実橋梁に適用される際の設計方法と施工方法について概説している。

「第8章 結論」では、本論文の研究成果を総括し、今後の課題と展望について述べている。

接着剤を用いた合成構造は、従来の合成構造に比べて結合構造を簡素化できることから、本研究で主対象とした道路橋床版に限らず広範に活用できる可能性が高い。本研究の成果は、今後の鋼・コンクリート合成構造の設計・施工において有用な成果を与えている。

公聴会には、学内外から34名の聴講者があった。公聴会での主な質問は、底鋼板とコンクリートの接着性におよぼすリブおよびリブに設けた切欠きの効果について、接着剤の前養生期間が接着性におよぼす影響について、施工時の接着性を阻害する要因（水や埃など）とその除去方法について、接着剤を用いた合成構造の設計上の要点や実用化に向けての課題、従来型の合成構造と比べた場合の経済性や設計・施工上の特徴、簡易試験の定義とその位置づけ、などであった。いずれの質問に対しても発表者から適切な回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。