

京都大学	博士（工学）	氏名	Hu Yiming
論文題目	Study on flexural behavior of steel-concrete composite deck with DFT connectors (DFT 形鋼ジベルを用いた鋼-コンクリート合成床版の曲げ挙動に関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>道路整備において、更新費用が増加する中、建設コストから維持管理コストまで含めたライフサイクルコストの低減が重要な課題であり、鋼橋の少数主桁橋・開断面箱桁橋・細幅箱桁・複合構造橋梁など、部材数や材片数の削減、建設材料の合理的利活用で、初期コストのみならずメンテナンス費用も大幅に削減できる構造の開発の一環として、鋼-コンクリート合成構造が注目を浴びている。本論文は、道路橋において最も耐荷性・耐久性が求められる床版への鋼・コンクリート合成構造の適用を取り上げ、その性能向上に不可欠なずれ止め構造ならびに床版の合理化経済設計に関する検討を行ったものであり、8章からなっている。</p> <p>第1章では、研究の背景として橋梁床版の設計・製作技術を取り巻く現状を明確にし、合成床版の性能に影響するずれ止め構造ならびに鋼とコンクリートの付着特性の課題を論じ、今後の合成床版の開発の展望をとりまとめている。</p> <p>第2章では、突起付きT形鋼（DFT：Deformed Flange T-shapes）を底鋼板の補剛材兼コンクリートジベルとして使用した合成床版を対象に、標準的な押し抜きせん断試験によりずれ止め構造のずれ特性を調査した結果を用いて、DFT 形鋼とコンクリートの付着特性試験方法および実験で得られる付着強度について有限要素解析により検証している。特に、標準試験法では、実構造物で採用されている 8mm 厚の底鋼板も試験体に含めた形式が採用されており、底鋼板と DFT 形鋼の一体構造としてのずれ特性となり、一對のずれ止め構造体を一括試験している。偏心载荷に伴うコンクリートブロックの開きが、結果に少なからぬ影響を及ぼし、薄い底鋼板の変形がずれ強度に影響する可能性があるとしている。また、ひび割れの発生状況、進展などは有限要素解析で定性的に説明でき、耐荷性・耐久性に影響を及ぼすコンクリートのき裂発生個所は、DFT 形鋼のフランジ先端であり、性能向上のためにはこのポイントでのき裂進展特性の改善が望まれることを提起している。</p> <p>第3章では、突起付きT形鋼とコンクリートの付着特性を単体で精査するために、押し抜きせん断試験を実施している。試験体は、突起付きH形鋼をコンクリートブロックに埋め込む形式として、コンクリートブロック幅と DFT 鋼のフランジ幅の比、定着長さ、軸方向鉄筋の径と配置間隔を設計条件として試験体を製作し、载荷実験の結果、自然付着のみ期待できる突起無しH型における付着強度に対して、突起付きH形鋼における付着強度は約 11 倍となることを実証している。また、軸方向鉄筋の径、間隔調整による鉄筋量によりコンクリート強度が影響を受け、結果として付着強度にも影響が出ることを示している。さらに、押し抜きせん断試験によって得られたせん断力-ずれ変位の関係を、初期剛性、ピーク後の劣化剛性、最終時の残存せん断力と区分して、ずれ特性を定式化している。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	Hu Yiming
------	--------	----	-----------

第4章では、2章で構築・検証した有限要素解析手法を用いて、3章で得られた DFT 形鋼とコンクリートのずれ特性のシミュレーションを行っている。コンクリートブロックの幅、軸方向鉄筋の諸元などの違いによるずれ特性は、実験結果とシミュレーション結果間では定性的によく合っており、構築した有限要素モデルの妥当性を示している。クラック発生、終局時の破壊形態は、シミュレーションにより精度よく再現されており、DFT 形鋼のフランジ先端におけるコンクリートのひずみ集中の発生とき裂進展の起点となっていることを示している。これらのシミュレーション結果に基づき、コンクリート強度と DFT 形鋼の突起のサイズをパラメータとする付着強度の実用的な予測式を提案している。

第5章では、道路橋床版の設計で耐久性上の課題となる負曲げの挙動、特に、コンクリート上部に発生するき裂制御を検証するため、既存の実大床版に対する載荷実験結果を用いて、DFT 形鋼ジベルを用いた鋼-コンクリート合成床版の負曲げ挙動を有限要素解析により検証している。解析結果に基づき、床版の荷重-たわみ挙動において DFT 形鋼の突起における付着特性より、軸方向鉄筋と DFT 形鋼の鋼要素量の影響が大きいことを示している。また、終局状態は、鋼要素の降伏に規定されるとし、合理的な設計の基礎資料を提示している。

第6章では、道路橋床版の主設計となる正曲げ時の構造寸法の適性を検証するため、5章で取り上げた載荷実験に用いた実大の合成床版を有限要素モデル化し、コンクリート強度、DFT 形鋼の高さおよびフランジ板幅、DFT 形鋼の配置間隔および軸方向鉄筋量との比、底鋼板の板厚などの各種構造諸元が性能に及ぼす影響を有限要素解析により検証している。性能向上には、底鋼板の板厚を増加させることや、コンクリート強度を改善することが非常に有効であることを示している。

第7章では、突起付き T 形鋼を用いた鋼-コンクリート合成床版の設計に際してキーである DFT 形鋼とコンクリートの付着特性を評価する上での留意事項を検証している。純粋な付着強度については、DFH 形鋼をコンクリートブロックに埋め込んだ試験体による押し抜きせん断試験による評価を一つの案として提案しており、ずれ特性としての挙動を把握する上では、底鋼板の局所変形や DFT 形鋼のフランジ板下側のコンクリートの荷重伝達なども含めての評価が不可欠であることを取りまとめている。現在採用している設計上の付着強度は、本研究で用いた評価法による値と比較すると安全側の値となっており、引き抜き試験等、既存の異形鉄筋とコンクリートの付着強度結果との比較に基づいて、鉄筋コンクリート部材としての設計を行う場合は、同様な安全性を確保できるものと判断できている。なお、有限要素解析法の妥当性が示されたので、精度良い付着強度を盛り込んだ有限要素解析結果に基づき合理的設計を実現することは可能としている。

第8章では、本研究で得られた成果および結論を要約すると共に、DFT 形鋼ジベルを用いた鋼-コンクリート合成床版の合理化設計の課題を述べている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、道路整備において、更新費用が増加する中、建設コストから維持管理コストまで含めたライフサイクルコストの低減が重要な課題であり、鋼橋の少数主桁橋・開断面箱桁橋・細幅箱桁・複合構造橋梁など、部材数や材片数の削減、建設材料の合理的利活用で、初期コストのみならずメンテナンス費用も大幅に削減できる構造の開発の一環として、鋼-コンクリート合成構造の性能向上に不可欠なずれ止め構造ならびにその適用構造として合成床版に関する検討を行ったものである。本論文において得られた主な研究成果は、以下のとおりである。

- ① 鋼-コンクリート合成構造の設計において不可欠なずれ止め構造の標準的な性能評価試験の一つである押し抜きせん断試験では、剛な鋼フランジ板に設置されるずれ止めを対象としているが、合成床版では型枠代わりの薄鋼板が用いられるため、その影響を検討するための実験結果を参考にして有限要素解析モデルを構築し、パラメトリック解析を実施している。実験結果と比較した解析結果から、薄鋼板のねじり変形、コンクリートブロックの開きが生じることから、床版構造のずれ止めとしての特性評価としては実験時挙動を再現しているものの、DFT 形鋼ジベルの付着せん断強度評価においては、留意が必要であることを示している。
- ② 有限要素解析モデルの精度向上を目的に、DFT 形鋼ジベルのコンクリートとの界面の付着および破壊に及ぼす DFT 形鋼ジベルの間隔、床版内の軸方向鉄筋の径および間隔、突起なしの形鋼ジベルをパラメータとして載荷実験を実施し、DFT 形鋼ジベルのコンクリートとの付着および破壊機構を詳細に検討し、強度予測式を構築している。また、付着強度評価のための既存の引き抜き試験結果を参照して、強度予測式の適用性を明らかにしている。特に、付着強度は界面への側方拘束に大きく依存し、コンクリート内に配置する軸方向・横方向鉄筋に左右されることを示している。
- ③ DFT 形鋼ジベルとコンクリート界面の荷重-ずれ変位関係のモデル化を目指して、DFT 形鋼ジベルを用いた鋼-コンクリート合成床版の負曲げに対する挙動を検証するため有限要素解析を実施している。既存の実験結果と比較することで、界面のずれ挙動を考慮した有限要素解析モデルの必要性を示すとともに、ひび割れの進展を精度よく評価するには、界面の要素分割に留意すること示している。また、正曲げを受ける挙動の解析結果から、DFT 形鋼ジベルの構造寸法は床版の性能に与える影響は小さく、底鋼板の板厚、次にコンクリート強度が性能向上に大きく影響することを明らかにしている。

本論文は、以上のように、鋼-コンクリート合成構造の性能向上に不可欠なずれ止め構造ならびにその適用構造として合成床版に関する検討を行い、高機能な道路橋合成床版の開発に必要な技術を構築したものであり、学術上、実務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5年6月23日、論文内容とそれに関連した事項について諮問を行い、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。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 令和5年10月24日以降