

氏名	村尾 光則
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工乙第 225 号
学位授与年月日	平成 27 年 9 月 18 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	外面リブ付鋼管を有するコンクリート合成構造橋脚の開発と実用化に関する研究
論文審査委員	委員長 教授 睦好 宏史 委員 教授 奥井 義昭 委員 准教授 牧 剛史 委員 教授 齊藤 正人

論文の内容の要旨

本論文は、近年我が国が抱える少子高齢化および熟練労働者不足のほか、高密度配筋による施工品質不良を背景に、省力化および合理化施工が可能な外面リブ付鋼管を有するコンクリート合成構造橋脚の開発と実用化を目的としたものである。本構造は、コンクリートとの付着性に優れた外面にリブを有する鋼管を使用している点が最大の特徴であり、軸方向鉄筋、帯鉄筋および中間帯鉄筋とともに構成されたコンクリート合成構造橋脚である。本構造の開発と実用化に向け、本論文では、外面リブ付鋼管とコンクリートとの一体性を考慮した部材耐力や耐震性能を確保できる塑性変形領域におけるじん性評価等、実務設計で必要となる耐震設計方法に加え、実施工データに基づく合理化検証を行った成果をまとめたものであり、7章から構成されている。

はじめに、1章では、既往の代表的な複合構造橋脚を述べ、本構造との相違を明らかにしたうえで、研究の目的と方法について述べた。2章では、部材の性能を把握するうえで重要な合成はりの耐荷力の評価方法について実験的検証を行った。ここでは、まず、合成はりにおいて、ひずみ分布の平面保持を仮定した計算手法で、曲げ耐力のほか、外面リブ付鋼管や軸方向鉄筋の降伏荷重を精度良く推定できることを明らかにした。併せて、鉄筋コンクリート部分のせん断耐力に、外面リブ付鋼管のせん断耐力として鋼管の全塑性モーメントを載荷スパンで除した水平力を累加することでせん断実験結果を安全側に評価できることを明らかにした。

3章では、2章で得た曲げ耐力とせん断耐力の評価方法を用いて設計した橋脚模型試験体の正負交番載荷実験を行った。試験体は、実物大規模を忠実に1/6に縮小した横拘束筋を変化させた3体である。ここでは、実験結果をもとに、道路橋示方書（平成24年版）で新たに示された限界変位により耐震性能を評価する方法を用い、限界変位と損傷の関係、曲率分布と塑性ヒンジ長の関係、同一振幅の載荷におけるエネルギー吸収量の低下度合、軸方向鉄筋のひずみ等の実験結果をそれぞれ計算値と比較し、本構造が鉄筋コンクリート橋脚として安全側に評価できることを明らかにした。併せて、本構造は標準的な鉄筋コンクリート橋脚に比べ、かぶり付近に配置する軸方向鉄筋量が少ないことから、かぶりコンクリートを外側に押し出す力が小さく、これが鉄筋コンクリート橋脚に比べ大きな終局変位塑性率を示す要因のひとつであることを示した。

4章では、本構造の既往の正負交番載荷実験結果をもとに、これまで十分に検証がなされていなかった終局点の定義や終局変位塑性率の評価方法を新たに提案している。具体的には、計15体の柱模型試験体の結果を基に要因分析を行うことにより、鋼管のじん性に及ぼす影響を考慮するための因子として新たに横拘束鋼材体積比 κ を定義し、これをパラメータとしたじん性評価式が実測の終局変位塑性率を精度良く再現できることを明らかにした。また、耐震性能2で許容される損傷度に収めるための、終局点からの割戻安全率を統計的に整理し、本構造の実務設計に用いる許容塑性率を示した。

5章では、これまでの本構造の耐震性能に関する検討は、橋軸方向に鋼管を1列あるいは2列に配置した中小規模を対象とした橋脚模型で実施していたが、本章では橋軸方向に鋼管を3列に配置した大断面合成構造橋脚に着目した検証を行った。具体的には、大断面を有する合成構造橋脚模型の正負交番載荷実験を行い、鋼管配列の異なる既往の実験と比較することで、実験荷重載荷方向の鋼管配列が大きいほど、柱基部塑性変形回転角は小さくなる傾向を示すことを明らかにした。併せて、鋼管が密に配置された大断面構造では、塑性ヒンジ長が計算値以上に拡大し、変形性能が向上する知見を示した。また、鋼管本数が多く、鋼管のフーチング定着に与える群効果が懸念される定着の破壊・損傷状況について、試験体を切断して観察することで、鋼管の群効果による定着部コンクリートの致命的な損傷や鋼管のフーチングからの明確な抜け出しが生じないことを明らかにした。

6章では、実施工に適用した事例を中心に、省力化・合理化の検証結果を示している。特に、本構造を採用した下田水高架橋では、隣接して施工した鉄筋コンクリート橋脚のサイクル工程および省力化実績比較から、実働日数で52%、延べ作業員数で59%に低減できることを明らかにした。また、デザイン・ビルド一括発注方式の田中川橋において、本構造とケーブルクレーンを利用した合理化施工により、標準的な現場施工日数920日を540日に短縮した橋梁工事の急速施工における技術的工夫を具体的に示した。併せて、鋼管かぶり部に懸念されたコンクリート打設時の水和熱に起因する温度ひび割れに対し、鋼管内エアクーリング、液体窒素を用いたプレクーリングの対策工により、有害な温度ひび割れを防止する効果があることを明らかにした。

7章では、各章で得られた結論および成果を要約するとともに、将来の展望について述べた。

論文の審査結果の要旨

当論文の審査委員会は、平成27年8月6日に論文発表会を公開で開催した。その発表を含む論文審査結果を以下に要約する。

本論文は全7章からなる。第1章では、既往の代表的な複合構造橋脚を述べ、本構造との相違を明らかにしたうえで、研究の目的と確認方法について述べた。第2章では、リブ付鋼板とコンクリートとの付着特性を付着試験により確認するとともに、外面リブ付鋼管を有するコンクリート合成はりについて、その耐力の評価方法を確立するための実験的検証を行った。ここでは、まず、合成はりにおいて、ひずみ分布の平面保持を仮定した計算手法で、曲げ耐力のほか、外面リブ付鋼管や軸方向鉄筋の降伏荷重を精度良く推定できることを明らかにした。併せて、鉄筋コンクリート部分のせん断耐力に、外面リブ付鋼管のせん断耐力として鋼管の全塑性モーメントを載荷スパンで除した水平力を累加することでせん断実験結果を安全側に評価できることを明らかにした。

第3章では、第2章で得た曲げ耐力とせん断耐力の評価方法を用いて設計した外面リブ付鋼管を有するコンクリート合成構造橋脚模型試験体の正負交番載荷実験を行った。ここでは、試験体断面内に配置した外面リブ付鋼管を鉄筋に置き換えた鉄筋コンクリート橋脚模型試験体と仮定し、道路橋示方書（平成24年版）で新たに示された限界変位により耐震性能を評価する方法を用いて、限界変位と損傷の関係、曲率分布と塑性ヒンジ長の関係、同一振幅の載荷におけるエネルギー吸収量の低下度合、軸方向鉄筋のひずみ等の実験結果をそれぞれ計算値と比較した。その結果、本構造が鉄筋コンクリート橋脚として、その耐震性能を安全側に評価できることを明らかにした。併せて、本構造と標準的な鉄筋コンクリート橋脚との実験結果比較により、本構造のじん性が高いことに加え、その要因として、本構造がかぶり付近に配置する軸方向鉄筋量が少なく、かぶりコンクリートを外側に押し出す力が小さいことが要因のひとつであることを示した。

第4章では、これまで十分に検証がなされていなかった本構造における終局点の定義や終局変位塑性率の評価方法を提案している。具体的には、計15体の柱模型試験体の正負交番載荷実験結果を基に要因分析を行うことにより、鋼管のじん性に及ぼす影響を考慮するための因子として新たに横拘束鋼材体積比 κ を定義し、これをパラメータとしたじん性評価式が実測の終局変位塑性率を精度良く再現できることを明らかにした。また、耐震性能2で許容される損傷度に収めるための、終局点からの割戻安全率を統計的に整理し、本構造の実務設計に用いる許容塑性率を示した。

第5章では、これまで中小規模橋脚を対象に実施されてきた実験的検証を拡大し、載荷方向に3列の外面リブ付鋼管を有する大断面コンクリート合成構造橋脚について検証を行った。具体的には、大断面を有する合成構造橋脚模型の正負交番載荷実験を行い、鋼管配列の異なる既往の実験と比較することで、荷重載荷方向の鋼管配列が大きいほど、柱基部塑性変形回転角は小さくなる傾向を示すことを明らかにした。併せて、鋼管が密に配置された大断面構造では、塑性ヒンジ長が計算値以上に拡大し、変形性能が向上する知見を示した。また、鋼管本数が多く、鋼管のフーチング定着に与える群効果が懸念される定着の破壊・損傷状況について、試験体を切断して観察することで、鋼管の群効果による定着部コンクリートの致命的な損傷や鋼管のフーチングからの明確な抜け出しが生じないことを示した。

第6章では、実用化を図った事例を中心に、本構造における省力化・合理化の検証結果を示している。特に、本構造を採用した下田水高架橋では、隣接して施工した鉄筋コンクリート橋脚のサイクル工程および省力化実績比較から、実働日数で52%、延べ作業員数で59%に低減できることを明らかにした。また、デザイン・

ビルド一括発注方式の田中川橋において、本構造とケーブルクレーンを利用した合理化施工により、標準的な現場施工日数 920 日を 540 日に短縮した橋梁工事の急速施工における技術的工夫を具体的に示した。併せて、鋼管かぶり部に懸念されたコンクリート打設時の水和熱に起因する温度ひび割れに対し、鋼管内エアークレーンリング、液体窒素を用いたプレクーリングの対策工により、有害な温度ひび割れを防止する効果があることを明らかにした。

第 7 章では、各章で得られた結論および成果を要約するとともに、将来の展望について述べた。

以上、ここで開発した外面リブ付鋼管を有するコンクリート合成構造橋脚は、本研究により構築された耐荷力およびじん性評価方法を適用した実務設計を行うことで、省力化・合理化施工を可能にすることを明らかにした。

本研究成果は実橋梁に適用されており、実用上の貢献度が極めて高い独創的な研究で、博士（工学）の学位授与に十分値するものであると判断した。