

氏 名（本 籍）	山本 翔吾（愛知県）
学 位 の 種 類	博 士（工学）
学 位 授 与 番 号	甲第 571 号
学 位 授 与 日 付	令和 2 年 3 月 25 日
専 攻	生産開発システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	丸鋼を主筋・補修部補強筋として用いた RC 橋脚の耐震性 (Seismic performance of RC columns using round steel bars as longitudinal and additional bars)
学位論文審査委員	（主 査）教授 内田 裕市 （副 査）教授 國枝 稔 准教授 木下 幸治

論 文 内 容 の 要 旨

平成 28 年の熊本地震を受けて改訂された現行の道路橋示方書（平成 29 年改訂）では、地震時に主たる塑性化を期待する橋脚において地震後の点検がしやすく、かつ維持補修が容易な構造であること、万が一の事態にも粘り強い構造、すなわち、橋脚の塑性域までを含む変形性能をさらに向上させる新たな技術の提案が望まれている。変形性能の向上には、かぶりコンクリートの剥離・剥落、並びに主筋の座屈といった塑性ヒンジ区間の損傷を制御する技術が不可欠であり、できるだけ経済的に達成することが必要となる。ここで、耐震性に関する縮小試験体を用いた実験的な検討では、寸法効果が存在すると言われており、検討対象とする縮小試験体の実物大の再現性を明らかにすることは、上記課題を達成する上で、必要不可欠な事項である。本論文は、RC 橋脚の塑性ヒンジ区間の地震時損傷低減を目指し、丸鋼を補強筋として用いた効果について、実物大の再現性を確認した縮小試験体による正負交番載荷実験、並びに補強筋とコンクリートの付着切れを考慮したファイバーモデル解析により検討している。

1 章では、本研究の背景を示した上で、塑性ヒンジ区間の損傷低減技術、並びに寸法効果に関する既往研究を整理し、本研究の目的について述べている。

2 章では、本研究で対象とする縮小試験体の実物大の再現性を明らかにすることを目的とし、既往の実大 RC 橋脚実験を基に、縮尺比をできる限り忠実に再現した 1/5 と 1/10 スケールの縮小 RC 橋脚実験との比較により、実大 RC 橋脚の耐荷力、並びに、変形性能の再現性を明らかにしている。実大を忠実に縮小した 1/5 縮小試験体、並びに太径の D6 鉄筋により主筋比を合わせた 1/10 縮小試験体において実大の最大耐力まで再現できることを明らかにしている。しかし、実物に対する縮尺比を満足した D3 鉄筋を使用した 1/10 縮小試験体の最大耐力は実大と比較して低く、再現性が低いことを明らかにしている。一方、縮小試験体の最大耐力以降の挙動は、実大の変形性能を過大評価することを明らかにしている。ファイバー要素解析による結果は、実大、並びに 1/5 縮小試験体の実験結果と良く一致するが、D3 鉄筋を使用した 1/10 縮小試験体の解析と実験に大きな差異があることを明らかにしている。以上より、実大の再現性をできる限り確保するために、次章以降では 1/5 縮小試験体により検討している。

3 章では、丸鋼を主筋として用いたことによる塑性ヒンジ区間の損傷低減効果を実験と解析により明らかにしている。相似則を満足した $\phi 6$ 丸鋼鉄筋を使用した 1/5 縮小試験体の最大耐力は、縮尺比を満足した D6 異形鉄筋を使用した 1/5 縮小試験体と同程度で、かつ変形性能が向上することを明らかにしている。主筋とコンクリートの付着切れを考慮したファイバー要素解析により、縮尺比を満足した $\phi 6$ 試験体では、丸鋼を主筋に用いても付着が確保されていること、並びに太径の $\phi 9$, $\phi 13$ 丸鋼鉄筋を使用した試験体の実験での早期の耐力低下は、主筋の丸鋼の付着切れが要因であることを明らかにしている。一方、縮尺比を満足した D3 鉄筋を使用した 1/10 縮小試験体の主筋の付着性状を丸鋼として仮定した解析は、実験の最大耐力を良く再現しており、D3 鉄筋とコンクリートの付着が低い可能性が高いことを明らかにしている。これは、既往研究の D6 鉄筋以下では径が小さくなるに伴い付着性状が低下する結果と一致している。以上より、丸鋼を主筋として用いた 1/5 縮小試験体により、塑性ヒンジ区間の損傷が低減され、大幅な変形性能の向上が期待できることを明らかにしている。また、

主筋径が D3 程度に小さくなると主筋とコンクリートの付着性状が低下する可能性が高いことを明らかにしている。

4 章では、ひずみ硬化型セメント系複合材料 (SHCC) を塑性ヒンジ補修部へ吹付け施工した補修試験体により、補修部の破壊性状を把握した上で、補強筋として丸鋼を用いた SHCC を吹付け施工した塑性ヒンジ補修部の損傷低減効果を明らかにしている。SHCC を吹付け施工した補修部の破壊性状を実験的に検討し、SHCC の複数微細ひび割れの形成と繊維の架橋効果により、補修材の剥落抑制効果が期待できることを明らかにしている。その補修部に異形鉄筋を補強筋として挿入した実験の結果、補修部の耐力が大幅に向上し、補修部上端の断面が主に塑性化したことで補修部に大きな損傷は生じないことを明らかにしている。丸鋼を補修部の補強筋として用いた実験の結果、補強筋挿入による耐力上昇を抑えつつ、変形性能が損傷前の橋脚と同程度以上に回復することを明らかにしている。補修部への補強筋挿入とコンクリートの付着切れを考慮したファイバー要素解析により、丸鋼補強筋の付着切れにより耐力上昇が抑えられることを明らかにしている。

5 章では、各章で得られた結論をまとめ、丸鋼を主筋・補修部補強筋として用いた RC 橋脚の地震時損傷低減の効果を提示している。

論文審査結果の要旨

この論文では、RC 橋脚の塑性ヒンジ区間の地震時損傷低減を目指し、丸鋼を補強筋として用いた効果について、縮小 RC 試験体を用いた正負交番載荷実験、並びに補強筋とコンクリートとの付着切れを考慮したファイバーモデル解析により検討している。まず、既往の実大の RC 橋脚実験を基に、縮尺比をできるだけ忠実に再現した 1/5 と 1/10 スケールの縮小 RC 橋脚実験との比較より、縮小試験体による応答の再現性を明らかにしている。その上で、丸鋼を主筋に用いた 1/5 スケールの縮小 RC 橋脚の実験と解析により、丸鋼を主筋に用いることで最大耐力を低下させることなく塑性ヒンジ区間の損傷低減が可能であることを明らかにしている。さらに、最近の補修工法であるひずみ硬化型セメント系複合材料 (SHCC) を吹付け施工した塑性ヒンジ補修部を対象に、補強筋として丸鋼を用いることにより、補強筋の早期付着切れにより耐力上昇が抑えられ、かつ塑性ヒンジ区間の損傷低減による補修部材の変形性能の向上が可能であることを明らかにしている。以上より、この論文は、RC 橋脚の大地震時の損傷低減の観点から、新規性・有用性に優れているといえる。したがって、学位審査委員会は審査の結果、この論文を学位論文に値するものと判定した。

最終試験結果の要旨

学位審査委員会は、提出された論文の主要部分が、下記に示す 6 編の審査付き論文として既に発表済みであることを確認するとともに、令和 2 年 2 月 3 日に開催された学位論文公聴会における質疑応答と口頭試問などに基づいて審査を行い、最終試験に合格と判定した。

発表論文 (論文名、著者、掲載誌名、巻号、ページ)

1. 円形 RC 橋脚縮小試験体の寸法効果の実験的検討, 山本翔吾, 木下幸治, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, pp.667-672, 2017.7
2. 円形 RC 橋脚縮小模型試験体の履歴特性に及ぼす軸方向鉄筋寸法の影響, 木下幸治, 山本翔吾, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, pp.673-678, 2017.7
3. Cyclic loading test on 0.2-scale RC column models repaired by strain-hardening fiber-reinforced cement-based composites, S. Yamamoto, Y. Yano, K. Kinoshita, S. Lim and K. Shinya, Proceedings of The 4th Strain-Hardening Cement-Based Composites- SHCC4, pp.734-742, 2017.9
4. ひずみ硬化型セメント複合材料を用いた RC 橋脚の補修性の検討, 山本翔吾, 矢野義知, 木下幸治, 林承燦, 新家一秀, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.17, pp.569-574, 2017.10
5. RC 橋脚の履歴特性に及ぼす鉄筋とコンクリートの付着性状の影響, 山本翔吾, 木下幸治, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.2, pp.79-84, 2018.7
6. 曲げ破壊した RC 橋脚の補修工法の検討, 山本翔吾, 木下幸治, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.2, pp.1273-1278, 2019.7