

RC橋脚の靱性向上対策と正負交番载荷実験による効果の検証

日本工営株式会社 フェロー会員 ○興石 正己
九州大学大学院 正会員 玉井 宏樹
九州大学大学院 学生会員 Wang Wenming
九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

1. 目的

我が国では巨大地震が多発しており、プレート境界のずれに起因する地震動により構造物が甚大な被害を受けている。近い将来には東南海地震などのさらに大規模な地震が起こる可能性も指摘されている。そのような大規模地震に対して脆性的な破壊を防止し、粘り強い構造物を実現することが求められる中で、現在、新設する鉄筋コンクリート橋脚（以下、RC橋脚と呼ぶ）に対しては、最新の知見に基づいた設計法により安全性が確保されている。しかしながら、想定以上の大地震に対する耐震性能を向上する観点では未だに万全には至っていない。そこで本研究では新たな靱性向上対策として、塑性ヒンジ部に予め内向きに曲げ加工(Pre-Deform)した軸方向鉄筋を用い、断面を連続的に拡幅させることにより軸方向主鉄筋のはらみ出し、座屈を抑制する橋脚（以下、HT(High Toughness)橋脚と呼ぶ）を提案した(図-1 参照)。また、その効果に関する基礎的な検討として実験試験体を用いた正負交番载荷実験を実施した。なお、このHT橋脚は一方向载荷における高靱性RC梁構造(靱性率 $\mu=38$)の実現¹⁾に基づいて考案したものである。本稿では、提案した新たな靱性向上対策の概要を記すとともに、RC橋脚、HT橋脚の双方の試験体による正負交番载荷実験を通して得られた効果や今後の課題などについて述べる。

2. 正負交番载荷実験

2.1 実験試験体

本研究では、図-2に示す通常のRC橋脚(タイプ1)とHT橋脚(タイプ2)の正負交番载荷実験を実施した。タイプ1は柱部断面を300mm×350mm、スパン1600mmとし、曲げ破壊で終局に至るように設計した。また、タイプ2についても一般断面は同様であるが、塑性ヒンジ区間において橋脚の軸方向鉄筋を载荷方向において内側に凸になるように冷間にて曲げ加工し、外側へ曲率が反転しないような設計とした。実験時のコンクリートの圧縮強度はそれぞれ40.0N/mm²、39.4N/mm²であった。

2.2 载荷方法

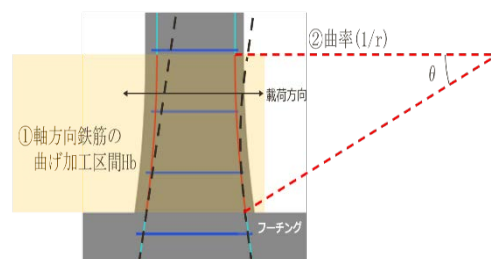
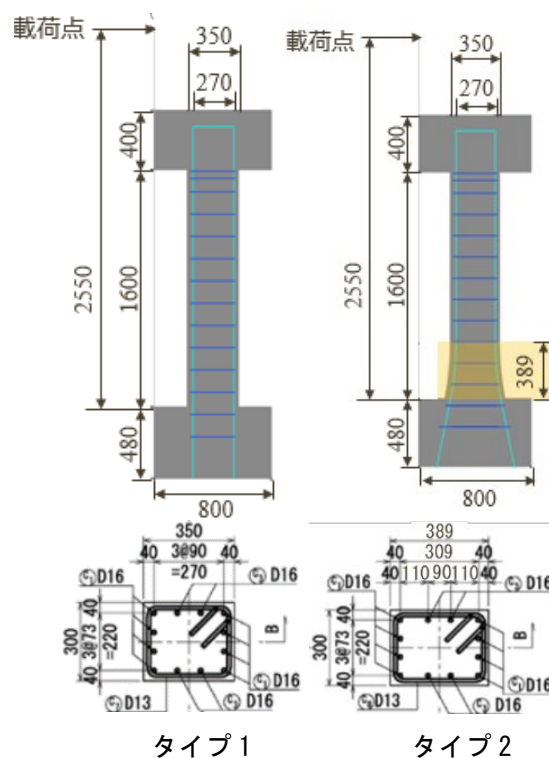


図-1 HT橋脚の模式図



タイプ1

タイプ2

図-2 実験試験体図

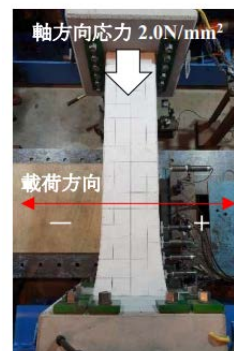


写真-1 試験体の設置状況

キーワード 国土強靱化、高靱性橋脚、Pre-Deform、座屈防止、Post Peak 域の釣合い式

連絡先 〒102-8539 東京都千代田区麹町5丁目4番地

日本工営株式会社 交通運輸事業本部 道路事業部 道路橋梁部 TEL03-3238-9164

載荷は、九州大学が所有する複合載荷試験装置を用いた。試験体設置状況を写真-1 に示す。載荷方法は、一定圧縮応力 (2.0N/mm^2) 作用下で、降伏変位 δ_y を基準として、 $\pm 1\delta_y$ を1サイクルとした正負交番載荷とした。なお、水平力 P が最大荷重 $P_{\max}$ の80%である $0.8P_{\max}$ に達するまでは3サイクル、それ以降は1サイクルとし、水平力が $0.5P_{\max}$ を下回った段階を終局として載荷を終了した。なお δ_y はタイプ1で22.5mm、タイプ2で19.0mmであった。

2.3 実験結果および考察

図-3 に水平荷重と変位（降伏変位 δ_y で除して正規化したもの）の関係図を示す。この図より、通常のRC橋脚であるタイプ1の耐荷力は約55.6kN、最大荷重の80%における変位を降伏変位 δ_y で除した靱性率は $\mu=6.0$ であった。一方、靱性向上策を施したタイプ2では、耐荷力は約63.5kN、靱性率は $\mu=7.0$ であった。この結果から、耐荷力の向上は見られたものの、靱性率の向上はなく、靱性向上効果は得られなかった。これは、タイプ2においては、載荷方向への軸方向鉄筋のはらみ出しは防止できたが、実験では軸方向鉄筋が載荷方向に直交する面外方向へのはらみ出し、座屈が生じたことに起因している。よって、HT橋脚では面内だけでなく面外にもPre-Deformが必要であることが判明した。写真-2 にタイプ2における主鉄筋の破壊性状（面外座屈と破断）を示す。次に、写真-3 に試験体の損傷状況を示す。この写真より、タイプ1では、基部から概ね塑性ヒンジ長218mmまでの区間において、ひび割れ拡幅、鉄筋降伏、かぶりコンクリート剥落が生じていた。一方、タイプ2では塑性ヒンジ長241mmを超えて基部から約150mm～410mmの区間で鉄筋降伏、かぶりコンクリートの剥落が発生した。これは、Pre-Deformによる曲げ加工区間長を試験体幅Dとした影響であると考えられるため、今後、曲げ加工区間長および曲率については、慎重に検討する必要がある。

4. 結論

本研究によって得られた現時点での知見を以下に列挙する。

- 1) 正負交番載荷実験では、新たな靱性向上対策を実施した(HT橋脚)では、耐荷力の向上は見られたものの、想定通りの靱性向上を達成できなかった。これは、設計時に想定していなかった面外方向への座屈が生じたためである、ただし、面内方向への座屈は設計通りに生じなかったため、今後、面外方向にもPre-Deformを実施することにより靱性向上を図れる可能性がある。
- 2) HT橋脚では、Pre-Deformにおける曲げ加工区間長および曲率が損傷領域に影響すると考えられるため、今後FE解析により、適切な曲げ加工区間長および曲率についてパラメトリックに検討する予定である。

謝辞：本研究はJSPS科学研究費JP21K04247の助成を受けたものであり、心より感謝致します。

参考文献：1) 輿石正己，小野裕輔：高じん性RC梁構造。特許第6152975号（2017.6.28）

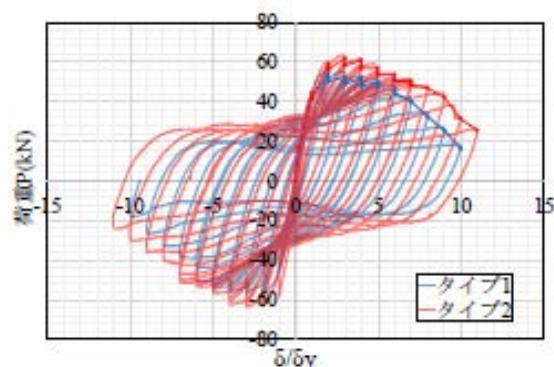


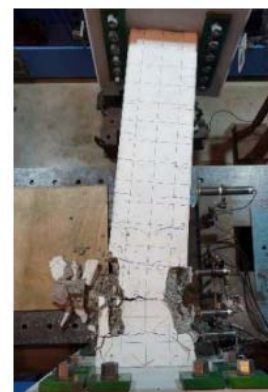
図-3 水平荷重—変位の関係図



写真-2 タイプ2の主鉄筋



(a)タイプ1
(+10 δ_y 載荷時)



(b)タイプ2
(+11 δ_y 載荷時)

写真-3 試験体の損傷状況