

超高強度材料を使用した RC 橋脚の骨格曲線の精度向上に関する考察

九州大学大学院 学生会員 ○服部 匡洋 九州大学大学院 正会員 崔 準祐
 九州大学大学院 学生会員 牟田 諒平 (株) エスイー 正会員 野澤 忠明
 (株) エスイー 正会員 濱口 祥輝 (株) 大塚社会基盤総合研究所 フェロー 大塚 久哲

1. 目的

近年，実橋梁に対し超高強度材料を使用した事例が増えつつあるが，その設計法が確立されているとは言い難い．このため，本検討ではこれまでに実施した超高強度コンクリート及び鉄筋を使用した RC 柱部材に対する水平交番載荷実験結果と道路橋示方書^{1), 2)}より得られた骨格曲線の比較を行い，高強度材料を使用した場合の骨格曲線の精度向上における課題を考察した．

2. 水平交番載荷実験

写真-1 に実験供試体セットアップ状況を，図-1 に供試体断面図を，表-1 に各実験供試体における材料試験結果を示す．本実験では，普通コンクリート，超高強度繊維補強コンクリート，普通鉄筋の SD345，超高強度鉄筋の USD685 を組み合わせた4体の RC 柱部材に対して正負交番載荷実験を実施した．本実験では，初期軸力として，軸応力が 1.0N/mm^2 となるように，160kN を作用させた．また，水平力の交番載荷は，参考文献3)の載荷パターンに則り実施した．



写真-1 供試体セットアップ状況

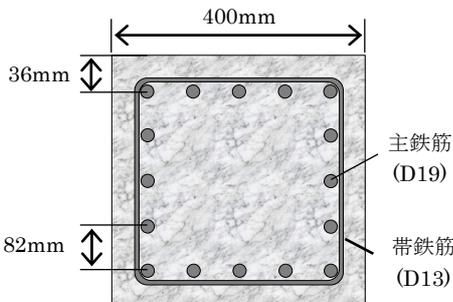


図-1 供試体断面図

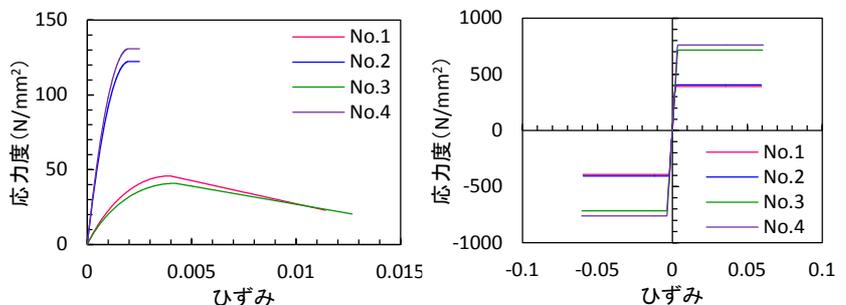
3. 現行の設計に基づく骨格曲線と実験結果との比較

図-2 に骨格曲線を求める際に使用したコンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ関係を示す．道示Vにおけるコンクリートの応力-ひずみ曲線は，超高強度コンクリートに適用できないことから，No.2, No.4 に対しては，道示IIIにおけるコンクリートの応力-ひずみ曲線を適用した²⁾．鉄筋には，全てのケースに対して道示Vの応力-ひずみ曲線を適用した．

図-3 に設計の骨格曲線と実験の履歴曲線の比較を，表-2 に実験と設計の終局耐力，初降伏及び終局時の水平変位の比較を示す．ここで，水平力は，水平荷重載荷用ジャッキに設置したロードセルの値を，水平変位は頭部フーチング端部に設置した変位計より得られた値を使用した．また，設計の骨格曲線は，道示Vに基づき，原点と降伏点，終局点を結ぶ完全弾塑性型とし，終局点は最外縁の軸方向引張鉄筋位置において軸方向鉄筋の引張ひずみが耐震性能³に応じたひずみに達するとき(図-3の緑の点)，または最外縁の軸方向圧縮鉄

表-1 材料試験結果 (単位: N/mm^2)

パラメータ	No.1 普通C 普通S	No.2 高強度C 普通S	No.3 普通C 高強度S	No.4 高強度C 高強度S
コンクリートの設計基準強度	41.2	143.9	36.3	154.0
コンクリートの弾性係数	32100	48000	33000	49500
軸方向鉄筋の降伏強度	392.0	405.0	716.0	760.5
軸方向鉄筋の弾性係数	200000	198000	200000	216000



(a) コンクリート (圧縮側)

(b) 鉄筋

図-2 コンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ曲線

キーワード 超高強度コンクリート，超高強度鉄筋，RC 橋脚，骨格曲線

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 TEL092-802-3374

表-2 設計値と実験値の比較

(a) 降伏耐力及び終局耐力

パラメータ	No.1	No.2	No.3	No.4
	普通C 普通S	高強度C 普通S	普通C 高強度S	高強度C 高強度S
設計値(kNm)	110.2	119.7	181.6	207.0
実験値(kNm)	115.9	143.8	201.8	236.9
設計値/実験値	0.95	0.83	0.90	0.87

(b) 初降伏変位

パラメータ	No.1	No.2	No.3	No.4
	普通C 普通S	高強度C 普通S	普通C 高強度S	高強度C 高強度S
設計値(mm)	7.6	6.6	14.0	11.1
実験値(mm)	19.3	13.5	34.6	20.0
設計値/実験値	0.39	0.49	0.41	0.56

(c) 終局変位

パラメータ	No.1	No.2	No.3	No.4
	普通C 普通S	高強度C 普通S	普通C 高強度S	高強度C 高強度S
設計値(mm)	75.8	44.3	74.3	31.5
実験値(mm)	99.7	93.5	68.9	80.0
設計値/実験値	0.76	0.47	1.08	0.39

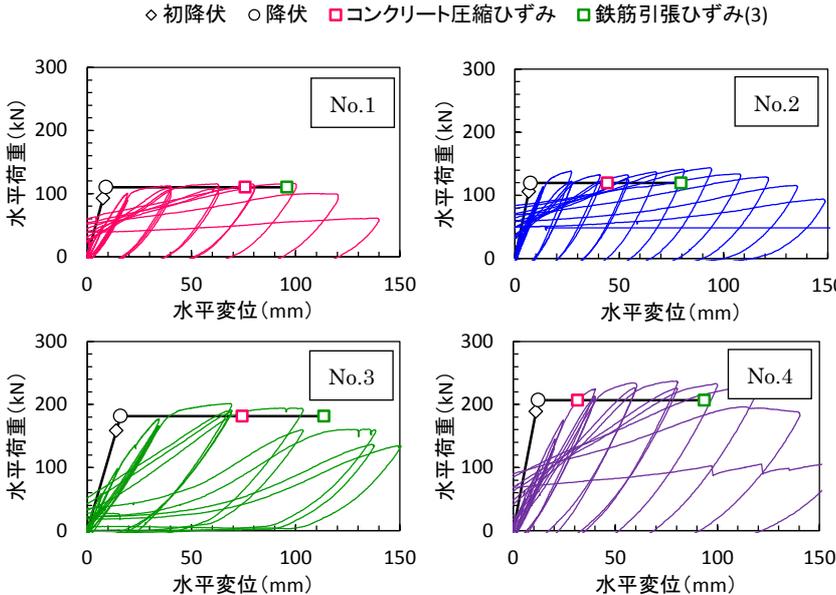


図-3 設計の骨格曲線と実験の履歴曲線の比較

筋位置におけるコンクリートの圧縮ひずみが限界ひずみに達するとき(図-3の赤の点)のいずれか水平変位の小さい方と定められている。実験における終局点は最大耐力点とした。

設計の骨格曲線は実験の履歴曲線を精度よく包絡しており、降伏耐力及び終局耐力の設計値と実験値は良好な対応を示した。

一方、初降伏変位を比較すると、実験値が設計値をかなり上回っている。これは、実験において基部フーチングのずれや鉄筋の伸び出しが生じること、設計では橋脚のせん断変形を考慮していないことなどが原因と考えられる。

また、終局変位では、No.1, No.3 は比較的对応がよいものの、超高強度コンクリートを使用した No.2, No.4 では設計値が実験値に比べて 50%以上小さく評価された。これは、コンクリートの圧縮破壊が生じるときのひずみが小さく評価されていることが原因として考えられる(図-2(a))。

4. 考察

本実験では、全てのケースでコンクリートの圧縮破壊が生じるときの水平変位が、軸方向鉄筋が限界ひずみに達するときの水平変位に比べて小さく、コンクリートの圧縮破壊が先じて生じる破壊モードと評価された。これは、図-1 に示したように、超高強度コンクリートに対して適用した道示Ⅲのコンクリートの応力-ひずみ曲線には横拘束鉄筋の拘束効果が考慮されてお

らず、普通コンクリートの場合と比べて限界圧縮ひずみが非常に小さいことが原因として挙げられる。

また、実験より、超高強度コンクリートに含有された合成繊維によってかぶりコンクリートの剥落が遅れ、軸方向鉄筋のはらみ出しが抑制されることが知られた。しかし、現行の設計では合成繊維によるかぶりコンクリートの剥落の遅れ、それに伴う軸方向鉄筋の座屈抑制効果を評価することができない。このため、コンクリートの限界圧縮ひずみの実現象に比べて小さく評価されており、コンクリートの圧縮破壊が生じるときの水平変位が小さく評価されたと考察される。

5. まとめ

本検討では、これまでに実施した超高強度材料を使用した RC 橋脚に対する水平交番載荷実験の結果と道示より求めた骨格曲線を比較し、水平耐力は対応がよいことを明らかにした。しかし、超高強度コンクリートの応力-ひずみ曲線が、合成繊維によるかぶりコンクリートの剥落の遅れ、軸方向鉄筋の座屈抑制効果、および横拘束鉄筋の拘束効果を評価できていないため、骨格曲線の精度向上のためには、これらにおける改善が必要であることがわかった。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書同解説 V 耐震設計編，2012。
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書同解説Ⅲコンクリート橋編，2012。
- 3) (独)土木研究所：橋の耐震性能の評価に活用する実験に関するガイドライン(案)，土木研究所資料，第 4023 号，2006。