

データベースに基づく高強度材料を用いた RC 柱の変形性能に関する一考察

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○佐藤 祐子 中田 裕喜 田所 敏弥 岡本 大

1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) 構造物の過密配筋対策や耐久性の向上等の観点から、高強度材料の適用が有効である。2017 年制定の土木学会コンクリート標準示方書 (以下、示方書) では、鉄筋の適用範囲が SD685 相当まで拡大された。しかしながら、軸方向鉄筋に SD490 を用いた場合、変形性能はコンクリートの圧縮強度  $f_c$  に依存すること<sup>1)</sup>や、横拘束鉄筋に SD1275 相当を用いた場合、計算で考慮可能な横拘束鉄筋の降伏強度  $f_{wy}$  には上限があること<sup>2)</sup>が報告されている。本研究では、高強度材料を用いた既往の実験結果を収集し、算定法<sup>3)</sup>の適用性を検証した。

2. 収集した実験結果の概要

検討対象は、最近 20 年間で報告された 13 文献における 63 体であり、片持ち支持の矩形中実断面 RC 柱を対象とした。なお、計算に必要な諸元が記載されていない場合やせん断破壊した場合等は、検証対象から除外した。また、算定法の根拠となっている SD345, SD390 の鉄筋を用いた実験結果 12 体<sup>3)</sup>を比較のために対象に含めた。図 1 に、供試体の諸元を示す。軸方向鉄筋の降伏強度  $f_{sy}$  が大きい場合、 $f_c$  も大きく設定している傾向にあるが、その他の組合せについては特に傾向はみられなかった。

3. データベースに基づくマクロ的検証

(1) 曲げ耐力

図 2 に、曲げ降伏耐力  $M_y$  および曲げ耐力  $M_m$  の実

験値と示方書に基づく計算値の比較を示す。実験値と計算値の比に  $f_c$  や  $f_{sy}$ ,  $f_{wy}$  による傾向はなく、計算値は実験結果を精度よく評価する結果となった。

(2) 横拘束鉄筋強度  $f_{wy}$  と変形性能 (M 点) の関係

図 3 に、軸方向鉄筋の座屈に伴い繰返し载荷による荷重低下が顕著とならない最大変位である M 点<sup>3)</sup>における部材角  $\theta_m$  の実験値と計算値の比を示す。 $\theta_m$  の計算値は、式(1)~(5)により算定できる。

$$\theta_m = \theta_{m0} + \theta_{m1} = \delta_{m0}/a + \theta_{m1} \tag{1}$$

$$\delta_{m0} = \delta_{mb} + \delta_{mp} \tag{2}$$

$$\delta_{mp} = \theta_{pm} \cdot (a - L_p/2) \tag{3}$$

$$\theta_{pm} = (0.021k_{w0} \cdot p_w + 0.013)/(0.79 \cdot p_t + 0.153) \tag{4}$$

$$0.021k_{w0} \cdot p_w + 0.013 \leq 0.04, \quad 0.79p_t + 0.153 \geq 0.78$$

$$\theta_{m1} = \{(2.7k_{w1} \cdot p_w + 0.22)(1 - N'/N'_b) + 1\} \theta_{y1} \tag{5}$$

$$2.7k_{w1} \cdot p_w + 0.22 \leq 3.7, \quad N'/N'_b \leq 1.0, \quad L_p = 0.5d + 0.05L_a$$

ここで、 $\theta_{m0}$ : く体変形による部材角 (rad),  $\theta_{m1}$ : 軸方鉄筋の伸出しによる部材端部の回転角 (rad),  $\delta_{m0}$ : く体変形による変位 (mm),  $\delta_{mb}$ : く体変形のうち塑性ヒンジ部以外の曲げ変形による変位 (mm),  $\delta_{mp}$ : く体変形のうち、塑性ヒンジ部の曲げ変形による変位 (mm),  $\theta_{pm}$ : 塑性ヒンジ部の回転角 (rad),  $a$ : せん断スパン (mm),  $L_p$ : 等価塑性ヒンジ長 (mm),  $k_{w0}$ ,  $k_{w1}$ : 帯鉄筋強度を考慮する係数 ( $=f_{wy}/390$ ),  $N'/N'_b$ : 釣合い軸力比,  $N'$ : 部材に生じる軸力 (kN),  $N'_b$ : 釣合い軸力 (kN) である。

なお、 $2.7k_{w1} \cdot p_w + 0.22$  の上限値を上回る供試体が

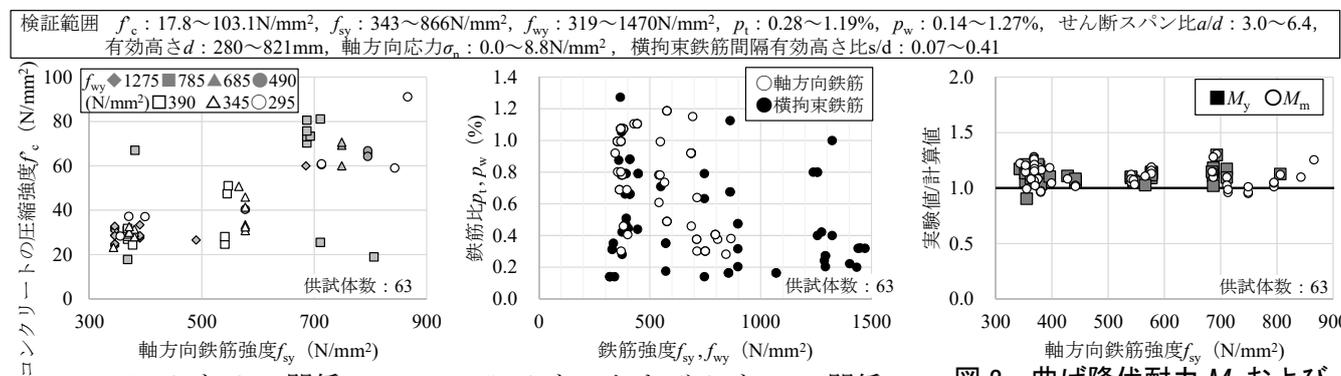


図 1 収集した実験データ

図 2 曲げ降伏耐力  $M_y$  および曲げ耐力  $M_m$  の比較

キーワード 高強度コンクリート, 高強度鉄筋, 曲げ耐力, 変形性能

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL:042-573-7281

11 体あるが、本検討では上限値を考慮していない。また、 $0.79p_t + 0.153$  の下限値（以下、下限値）を下回る供試体が 32 体あるが、図では下限値の考慮の有無で分けて示すとともに、図 3(b)では  $f_{sy}$  の影響を排除するために、軸方向鉄筋が SD295~SD390 の場合のみを示した。 $f_{wy}$  が大きいほど、計算値は実験値を過大に評価する結果となった。また、下限値を考慮した場合でも、この傾向は生じている。収集した実験結果の範囲では、軸方向鉄筋が SD295~SD390 の場合、実験値と計算値の比の平均値を 1.0 とするためには、下限値を考慮の有無により  $f_{wy}=800\sim 900\text{N/mm}^2$  程度の上限を設定する必要があることがわかった。

(3) 軸方向鉄筋強度  $f_{sy}$  と変形性能 (M 点) の関係

図 4 に、 $f_c$  と  $\theta_m$  の実験値と計算値の比の関係を、下限値の考慮の有無で分けて示す。なお、 $f_{wy}$  が大きいほど計算値が実験値を過大に評価する影響を排除するために、図 4 では横拘束鉄筋が SD295~SD390 の場合のみ示した。図より、軸方向鉄筋および横拘束鉄筋のいずれも SD295~SD390 の場合には、実験値と計算値の比は 1.0 程度となるのに対し、軸方向鉄筋が SD490 の場合には、 $f_c$  が  $40\text{N/mm}^2$  程度より小さくなると、下限値の考慮しない場合には、 $p_t$  の影響もあると考えられるが、実験値と計算値の比は低下する傾向にあることがわかった。

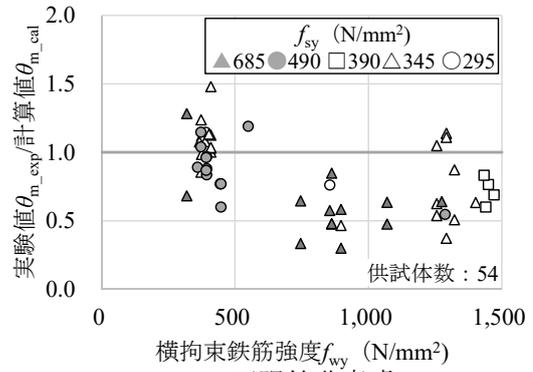
なお、引張鉄筋を 2 段とした供試体 (図中に明記) について、式(4)における  $p_t$  の算定には 2 段の引張鉄筋を全て考慮したが、 $f_{sy}$  が同程度の他の実験結果と比較して、下限値を考慮しない場合、 $\theta_m$  の実験値と計算値の比は大きくなる傾向にあった。これは、外側と内側の引張鉄筋の座屈性状の違いが反映されたものと推察される。

4. おわりに

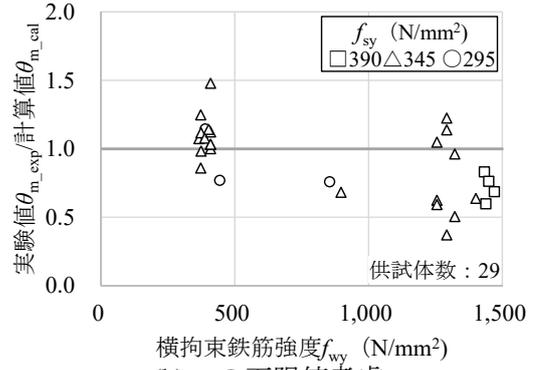
収集した実験結果の範囲では、曲げ耐力は土木学会コンクリート標準示方書の方法により算定できること、変形性能算定法における横拘束鉄筋強度の上限は平均的には  $800\sim 900\text{N/mm}^2$  程度であること、軸方向鉄筋が SD490 の場合、 $f_c$  が  $40\text{N/mm}^2$  程度より小さくなると計算値が実験値を過大に評価することなどがわかった。

参考文献

1) 石井ら：SD490 を軸方向鉄筋に用いた RC 部材の変形性能について、土木学会第 65 回年次学術講演会、V-632, pp.1263-

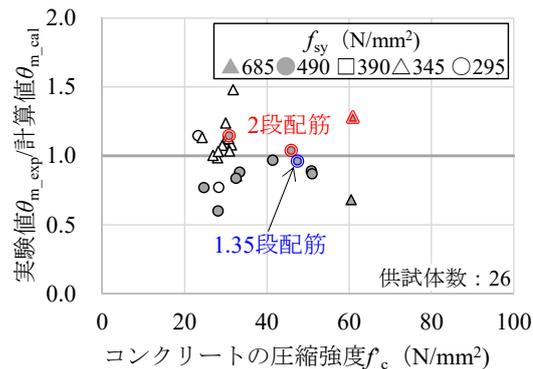


(a)  $p_t$  の下限値非考慮

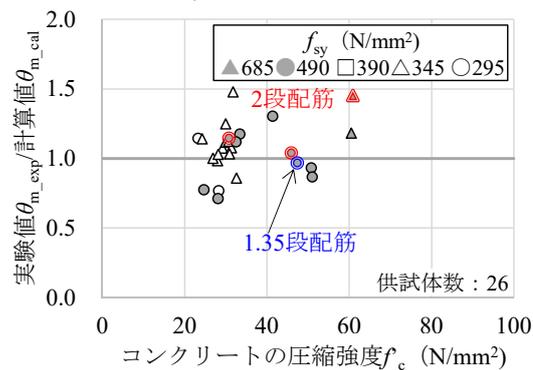


(b)  $p_t$  の下限値考慮

図 3  $f_{wy}$  と  $\theta_m$  の関係



(a)  $p_t$  の下限値非考慮



(b)  $p_t$  の下限値考慮

図 4  $f_c$  と部材角  $\theta_m$  の関係

1264, 2010. 2) 高橋ら：実大鉄道高架橋 RC 柱載荷実験による高強度帯鉄筋の適用性に関する検討、土木学会第 66 回年次学術講演会、V-480, pp.959-960, 2011. 3) 渡邊ら：鉄筋コンクリート部材の損傷状況を考慮した変形性能算定手法、土木学会論文集, No.683/V-52, pp31-45, 2001.8.