

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

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○高橋健 谷村幸裕 岡本大 京野光男
JFE テクノワイヤ (株) 中澤淳 菅照夫

1. はじめに

近年、高強度帯鉄筋を用いた RC 柱の変形性能に関する検討が進められ、適用される事例が増加している。しかし、鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造）¹⁾（以下：コンクリート標準）における帯鉄筋の適用範囲は降伏強度が 785N/mm² までを対象としており、これを超える強度を有する材料を有効に用いることができないのが現状である。そこで、規格降伏強度 1275N/mm² の帯鉄筋を用いた実大 RC 柱供試体を作成し、正負交番載荷実験を行うことにより、変形性能評価方法を検討することにした。

2. 供試体緒元

検討に用いた供試体は 3 体であり、それぞれの諸元を表-1 に、鋼材の材料試験結果を表-2 に示す。J-2 の形状および配筋状況を図-1 に示す。断面寸法とコンクリート強度、および軸方向鉄筋は最近の高架橋柱の設計事例を参考に設定した。既往の実験²⁾である No.3 の帯鉄筋は、柱の中間部に継手や定着を設けないスパイラル形状であるが、今回新たに実験を行った J-1、J-2 は通常の帯鉄筋と同様の形状とし、鋭角フックを設けて定着した。なお、鋭角フック先端の直線部の長さは鉄筋径の 10 倍とした。

3. 載荷方法

柱の引張側軸方向鉄筋が降伏した時点の変位を δ_y とし、 $\pm 1\delta_y$ 、 $\pm 2\delta_y$ 、 $\pm 3\delta_y$ …と、それぞれ 3 回ずつの正負交番漸増繰返し載荷を行った。なお、鉛直方向には、常時軸力に地震時の軸力変動による増加を考慮した 3.68N/mm² の一定軸力を載荷した。

4. 実験結果

いずれの供試体も、基部に曲げひび割れが生じ、引張側の軸方向鉄筋が降伏して、変位の増加とともに、かぶりコンクリートがはく落し、基部の軸方向鉄筋が座屈して曲げ破壊に至った。なお、J-2 では、 $5\delta_y$ 時に柱基部から 390mm、 $6\delta_y$ 載荷時に柱基部から 300mm の高さの位置で、帯鉄筋のフックがコアコンクリートから抜け出して解除していた。J-1 では載荷終了時にフックの解除が確認されており、これが軸方向鉄筋の座屈と水平荷重の低下につながった。

表-1 供試体緒元

供試体 No.	断面寸法 (mm)	d (mm)	a (mm)	a/d	f _c (N/mm ²)	引張鉄筋 (p _t %)	帯鉄筋 (p _w %)	帯鉄筋の定着方法
J-1	800×800	728	3000	4.12	32.2	SD345-D25-9 本 (0.78)	SBPDN1275-RB7.1 ctc.90(0.22)	鋭角フック
J-2	800×800	718	3000	4.18	33.4	SD390-D32-8 本 (1.11)	SBPDN1275-RB9.0 ctc.100(0.32)	鋭角フック
No.3 ²⁾	900×900	809	3000	4.08	34.8	SD390-D32-8 本 +D29-1 本 (0.95)	SBPDN1275-RB7.1 ctc.100(0.18)	スパイラル形状

d：柱の有効高さ，a：せん断スパン，f_c：コンクリートの圧縮強度の実験値
RB：公称直径(mm)，RB7.1 の公称断面積：40(mm²)，RB9.0 の公称断面積：64(mm²)
p_t：引張鉄筋比，p_w：引張鉄筋比，p_b、p_w の算定方法は参考文献 1 による

表-2 鋼材の材料試験結果

供試体 No.	材料種別	降伏強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
J-1	SD345, D25	375	169	581
	SBPDN1275, RB7.1	1402	196	680
J-2	SD390, D32	428	171	610
	SBPDN1275, RB9.0	1470	202	1495
No.3 ²⁾	SD390, D32	437	166	648
	SD390, D29	429	165	646
	SBPDN1275, RB7.1	1458	207	1510

※せん断補強鉄筋の試験値は 0.2% ひずみのオフセット値

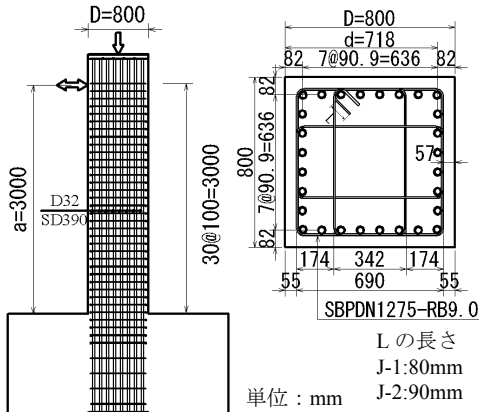


図-1 供試体形状および配筋 (J-2)

キーワード 高強度帯鉄筋，実大鉄道高架橋，RC 柱，変形性能，実験，定着方法

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コンクリート構造 TEL：042-573-7281

4. 変形性能の評価

図-2~4に、実験で得られた各供試体の水平荷重と載荷点位置水平変位関係を示す。表-4に、コンクリート標準の方法でY点（曲げ降伏）、M点（最大荷重を維持できる限界変位）、N点（降伏荷重を維持できる限界変位）を算定した値を示すとともに、これを直線で結んだ骨格曲線を図2~4に併記した。高強度帯鉄筋を用いた柱の場合、M点、N点の変位をコンクリート標準により算定する際に、帯鉄筋の強度をどのように考慮するかが問題となる。コンクリート標準ではM点の変位を、く体の変形とフーチングからの軸方向鉄筋の伸出しによる変形の和として算定し、く体の変形は塑性ヒンジ部と塑性ヒンジ部以外の曲げ変形をそれぞれ算定して加算する方法が用いられている。帯鉄筋の影響は、主として塑性ヒンジ部の回転角 θ_{pm} を算定する際に式(1)で考慮される。

$$\theta_{pm}=(0.021k_{w0} \cdot p_w+0.013)/(0.79p_t+0.153) \tag{1}$$

ここに、 k_{w0} は帯鉄筋強度を考慮する係数で、SD345で1.0、SD785相当で2.3が用いられ、降伏強度の特性値 f_{wy} をほぼ345N/mm²で除した値が用いられている。図-2~4には、 $k_{w0}=2.3$ とした場合の計算値を併記したが、J-1、J-2は実験値よりも小さい値となっている。これは、SD785相当の帯鉄筋を用いた場合よりも変形性能が低下することを示しているが、帯鉄筋のフックが解除したことの影響と考えられる。従って、SD785相当以上の高強度帯鉄筋を用いる場合には、鋭角フックで定着することが不適切となる場合があると考えられ、スパイラル形状等のものを用いるのが適切と考えられる。一方、スパイラル形状の帯鉄筋を用いたNo.3の実験値は、 $k_{w0}=2.3$ とした場合の計算値を上回る結果となった。そこで、 $k_{w0}=2.9$ とした場合($f_{wy}=1000\text{N/mm}^2$ に相当)と $k_{w0}=3.7$ とした場合($f_{wy}=1275\text{N/mm}^2$ に相当)の計算値を算定し実験値と比較した。その結果、 $k_{w0}=3.7$ とした場合は過大評価となり、 $k_{w0}=2.9$ とした場合は、N点変位はほぼ妥当な評価結果となるが、M点変位はやや過大評価となった。

なお、変形性能の評価における高強度帯鉄筋の考慮方法については、本来は帯鉄筋に生じているひずみや耐力低下領域の軟化勾配等を十分に検討する必要がある、現象に基づいた評価方法の構築が今後の課題である。

5. まとめ

(1)SD785 相当以上の高強度帯鉄筋を用いる場合には、鋭角フックで定着することが不適切となる場合があると考えられ、スパイラル形状等のものを用いるのが適切と考えられる。

(2)スパイラル形状を有する規格降伏強度 1275N/mm²の帯鉄筋を用いた場合の変形性能評価方法について検討した。

参考文献

- 1) 財団法人鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）、丸善、2004
- 2) 山東徹生、角孝之、田中寿志：鉄道高架橋 RC 柱部材の帯鉄筋高強度化に向けたじん性試験、土木学会第 53 回年次学術講演会、Vol.5、pp.1142-1143、1998

表-4 水平変位の一覧

	J-1		J-1		No.3			
	実験結果	$k_{w0}=2.3$	実験結果	$k_{w0}=2.3$	実験結果	$k_{w0}=2.3$	$k_{w0}=2.9$	$k_{w0}=3.7$
δ_y (mm)	24.9	17.6	28.9	24.7	28.7	24.6	24.6	24.6
δ_{pm} (mm)	77.5	94.7 (0.82)	90.8	100.2 (0.91)	86.1	88.8 (0.97)	97.7 (0.88)	109.1 (0.79)
δ_n (mm)	107.5	139.2 (0.77)	132.6	138.5 (0.96)	137.7	123.6 (1.11)	132.5 (1.04)	143.9 (0.96)

δ_y : Y点水平変位、 δ_m : M点水平変位 δ_n : N点水平変位
()内は実験値/計算値、 $k_{w0}=3.7:1275\text{N/mm}^2$ とした計算値
 $k_{w0}=2.9:1000\text{N/mm}^2$ とした計算値、 $k_{w0}=2.3:785\text{N/mm}^2$ とした計算値

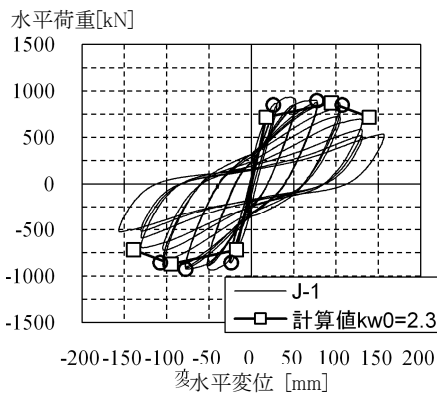


図-2 J-1の荷重-変位関係

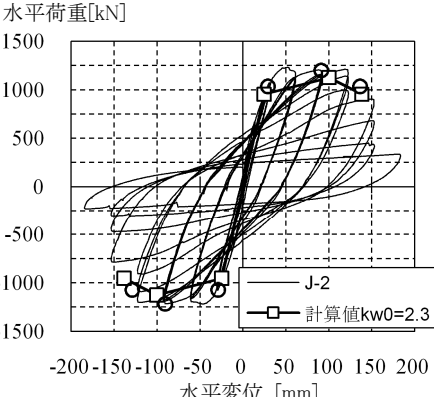


図-3 J-2の荷重-変位関係

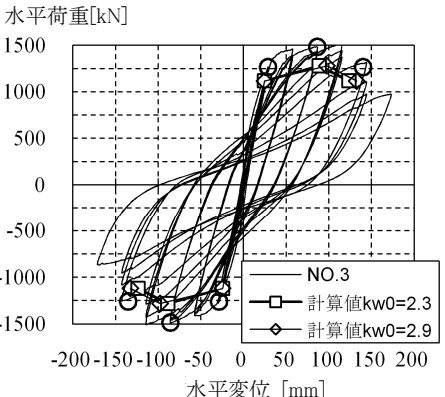


図-4 No. 3の荷重-変位関係