円形断面を有するRC柱の変形性能に関する実験的研究

東日本旅客鉄道（株）　正会員　○渡辺　一功
東日本旅客鉄道（株）　正会員　伊吹　真一
東日本旅客鉄道（株）　フェロー　大庭　光商

１．はじめに

円形断面 RC 柱は，円形帯鉄筋の優れた拘束効果により高い変形性能を有するものと期待されている．しかし，円形断面 RC 柱の変形性能に対する研究・検討は未だ数少なく，変形性能の評価は矩形断面と同じ手法を用いて行っているのが現状である．そこで，本研究では円形断面 RC 柱の変形性能を把握することを目的として，帯鉄筋比および帯鉄筋間隔に着目して静的正負交番載荷試験を実施したので，以下に報告する．

２．実験概要

図-1 に試験体形状および配筋例を，表-1 に試験体諸元を示す．試験体は，実物のラーメン高架橋柱の 1/2 スケールを想定したものであり，帯鉄筋比をパラメータとして，断面形状，せん断スパン比および軸方向鉄筋比は同一とした．載荷は，軸力を一定とした静的正負交番載荷試験とし，最外縁鉄筋から 45°の位置にある軸方向鉄筋のどちらか一方が材料試験から求まる降伏ひずみに達した時点を降伏とし，その時点の変位を降伏変位（δ_y）とした．軸方向鉄筋の降伏後は δ_y の整数倍の変位ごとに変位制御で交番載荷した．ただし，$10\delta_y$ まで荷重の低下が認められない K-4 および K-5 については，それ以降は $12\delta_y$，$14\delta_y$…と偶数倍で変位を増加させた．なお，載荷は水平荷重が降伏荷重の 50%程度以下，または鉄筋が破断するまでとした．

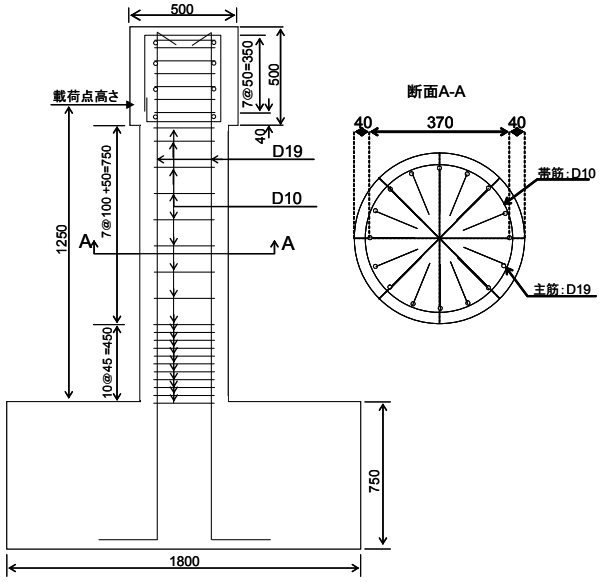


図-1　試験体形状および配筋例（K－2）

３．実験結果

表-2 に部材耐力の計算値と実験結果を示す．ここで，耐力比とは部材のせん断耐力（V_y）と曲げ耐力（M_u）に達する際のせん断力（$V_{mu}=M_u/a$）の比（V_y/V_{mu}）である．耐力比を算出する際の M_u は，材料試験から求まる実強度を

表-1　試験体諸元

試験体	断面寸法 D (mm)	ｺﾝｸﾘｰﾄ 強度 (N/mm²)	軸方向鋼材 径-本数	せん断ｽﾊﾟﾝ a (mm)	有効高さ d (mm)	せん断ｽﾊﾟﾝ比 a/d	せん断補強鉄筋 径-ﾋﾟｯﾁ (mm)	せん断補強鉄筋 規格強度 (N/mm²)	軸圧縮応力度 σ_0 (N/mm²)
K-1	φ450	31.2	D19-16	1250	364	3.4	D10-100	295	0.98
K-2		24.9					D10-45		
K-3		26.3					D13-100	345	
K-4		32.9					φ9.0-10	235	
K-5		30.2					φ6.0-10		

表-2　部材耐力の計算値と実験結果

試験体	計算値			実験値			破壊形態
	曲げ耐力	せん断耐力	耐力比	降伏変位	終局変位	じん性率	
	M_{uc} （kN・m）	V_y (kN)	V_y/V_{mu}	δ_y (mm)	δ_u (mm)	δ_u/δ_y	
K-1	289	333	1.4	9.3	74.8	8.0	曲げ圧縮破壊
K-2	282	519	2.3	8.7	112.1	12.9	曲げ圧縮破壊
K-3	285	487	2.1	9.4	98.4	10.5	曲げ圧縮破壊
K-4	294	1349	5.7	9.2	188 以上	20.4 以上	鉄筋破断（軸筋）
K-5	290	717	3.1	8.6	159.4	18.5	鉄筋破断（軸筋）

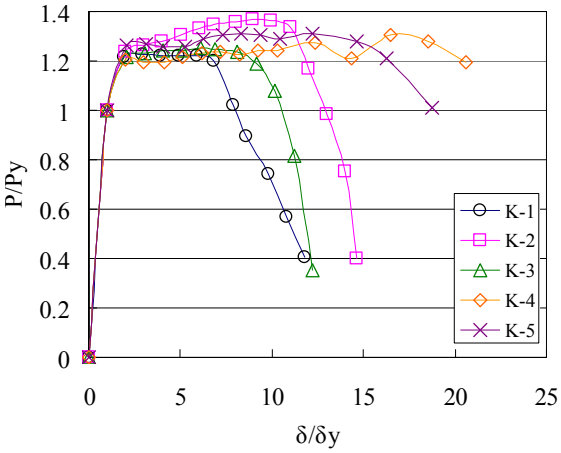
キーワード　円形断面，変形性能，じん性率
連絡先　〒151-8578　東京都渋谷区代々木 2-2-2　東日本旅客鉄道（株）構造技術センター　TEL03-5334-1288

用いて鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）[1]に定められている方法により算出した．せん断耐力は，補強筋のない棒部材のせん断耐力（V_c）とトラス理論から求まる帯鉄筋の負担するせん断耐力（V_s）との和とし，V_c は a/d の効果を考慮した二羽ら[2]のせん断耐力式で引張鋼材断面積に各段に配置された鉄筋の有効高さで重み付けした引張鉄筋比を考慮して[3]算出した．なお，実験値は処女載荷側の値により整理した．

４．考察

（1）耐力

図-2 に載荷サイクルごとの最大変位（δ）と降伏変位（δ_y）の比（δ/δ_y）と最大荷重（P）と降伏荷重（P_y）の比（P/P_y）の関係を示す．K-1～3 では，被りコンクリートが剥落し，軸方向鉄筋内部のコンクリートが粉砕され帯鉄筋の隙間から外に押し出され始めた時点において荷重が低下し始めた．一方，K-4 および K-5 は軸方向鉄筋が破断したことにより耐力低下し交番載荷を終了したが，鉄筋破断時まで最大荷重付近の耐力を維持していた．最大荷重到達後の耐力低下の勾配は，帯鉄筋量の多い K-4 および K-5 は緩やかであり，K-1～3 はほぼ同様で急激に低下した．これは，軸方向鉄筋および内部のコンクリートを囲む帯鉄筋の間隔を小さくすることにより，粉砕された軸方向鉄筋内部のコンクリートの流出を抑制し，曲げ圧縮力を負担できる状況にあったためと考えられる．



図－2　P/P_y－δ/δ_y 関係

（2）変形性能

図-3 に耐力比とじん性率の関係を示す．ここで，じん性率とは，荷重-変位曲線の抱絡線が降伏荷重を下回る時点を終局時とし，終局時の変位（δ_u）と降伏時の変位（δ_y）の比（δ_u/δ_y）として求めた．なお，図中には過去に実施された矩形断面における静的交番載荷耐試験の結果[4]を合わせて示した．耐力比が 2.3 と 2.1 でほぼ同等である K-2 および K-3 のじん性率は，K-2 が 2 割程度大きい結果であった．これは，K-2 の帯鉄筋の配置間隔を K-3 の 100 ㎜と比べて 45 ㎜と小さくしたことが影響しているものと考えられ，帯鉄筋の配置間隔を小さくすると軸方向鉄筋の座屈長が短くなり，軸方向鉄筋のはらみ出しを抑える効果が高いと考えられる．さらに，密に配置された帯鉄筋は被りコンクリートの剥落後の軸方向鉄筋内部のコンクリートの流出を防ぐ役割も担うため，変形性能の向上に寄与しているものと考えられる．また，矩形断面の結果と比較すると，特に耐力比が 2.3 程度以上において，耐力比が同程度であっても円形断面は矩形断面に比べてじん性率が大きくなっていることがわかった．

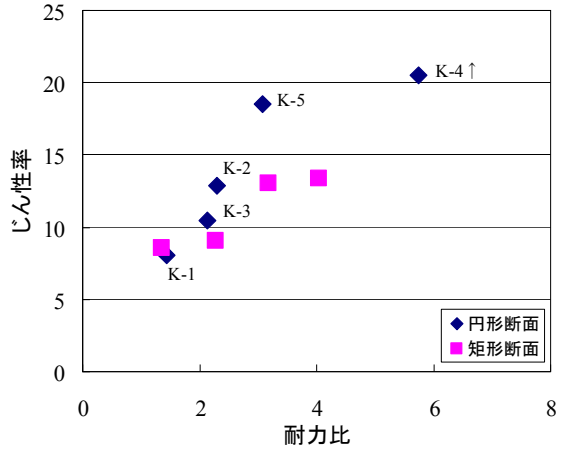


図-3　耐力比とじん性率の関係

５．まとめ

円形断面を有する RC 柱の変形性能について，帯鉄筋比をパラメータとして実験的に検証した．実験の結果，円形断面 RC 柱の変形性能は，帯鉄筋の配置間隔の影響を受け，耐力比が同等でも帯鉄筋間隔を小さくすると変形性能は向上すること，また，同等の耐力を有する円形断面 RC 柱と矩形断面 RC 柱を比較した場合，特に耐力比が 2.3 程度以上において，円形断面 RC 柱の方が優れた変形性能を有することがわかった．

参考文献

1) 鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），丸善株式会社，2004.4
2) 二羽淳一郎，山田一宇，横沢和夫，岡村甫：せん断補強鉄筋を用いない RC 梁のせん断強度式の再評価，土木学会論文集，第 372 号/V-5，pp.167-176，1986.8
3) 大石峻也，渡辺健，米花萌，二羽淳一郎：せん断補強鉄筋を有する円形断面 RC はりのせん断耐力評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.31，No.2，pp.13-18，2009
4) 小林将志, 津吉毅, 石橋忠良:交番荷重を受ける RC 柱の損傷状況について, JR 東日本構造技術センターSED No.11, pp.14-29，1998.11