

正負交番荷重下の RC 柱部材の塑性変形状に関する研究

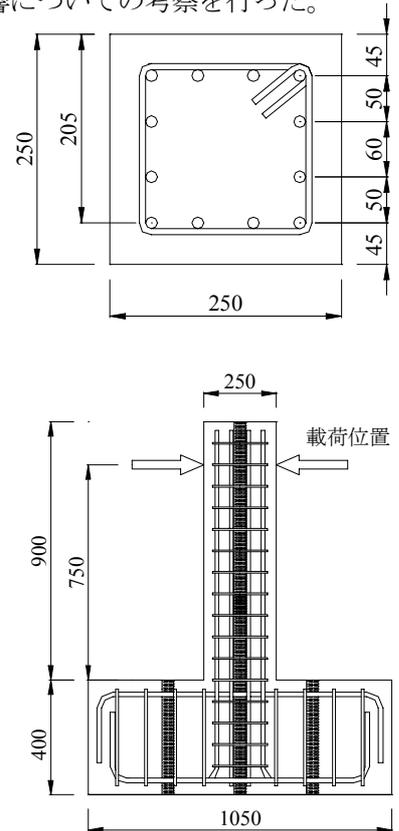
大阪工業大学大学院 学生員 ○岡田真毅
 大阪工業大学大学院 鍋嶋徹
 大阪工業大学工学部 正会員 井上晋

1.研究目的

道路橋示方書V耐震設計編(道示と略)に基づき作製した矩形断面 RC 柱部材を対象に正負交番荷重実験を行い、帯鉄筋比および軸方向圧縮力(軸力と略)が破壊性状やせん断耐荷挙動に与える影響を検討するとともに、軸方向鉄筋の伸び出しによる回轉變形量(伸び出し変形量と略)が水平変形量に及ぼす影響についての考察を行った。

2.実験概要

供試体の断面および配筋を図1に示す。各供試体とも実コンクリート強度は $f_c=32.7\text{N/mm}^2$ であり、水平荷重をフーチング上面から 750mm 位置 ($a/d=3.66$) に作用させた。軸方向鉄筋には 12-D13 ($f_{sy}=321\text{N/mm}^2$) を用い、 $p=2.43\%$ とした。帯鉄筋には D6 ($f_{sy}=352\text{N/mm}^2$) を用い、帯鉄筋の配置間隔を 75mm ($p_w=0.34\%$)、150mm ($p_w=0.17\%$) の 2 種類とした。軸力には応力度レベルで $\sigma_n=1.0\text{N/mm}^2$ (62.6kN)、 2.0N/mm^2 (125.1kN) の 2 種類を選定し、断面中央に設けたダクトに PC 鋼棒を導入・緊張することにより作用させた。これらの組み合わせにより曲げ破壊先行型 2 体、せん断破壊先行型 2 体の供試体を作製した。荷重方法は、供試体の降伏変位 ($\delta_y=4.3\text{mm}$) の整数倍の変位で各 3 回の漸増正負交番繰返しとした。



(単位: mm)

図1 供試体断面図および配筋図

3.実験結果と考察

(1)破壊性状

表1に実験結果を示す。破壊モードは、NO.5、NO.7が曲げ降伏後のせん断破壊、NO.6、NO.8が曲げ破壊となった。耐力比で1.0より小さい場合においても曲げ降伏が先行していることから、道示のせん断耐力算定式はかなりの安全側の評価を与え得ると言える。帯鉄筋を密に配置したもの、軸力が大きいものの方が塑性ヒンジ長は小さく、損傷領域が相対的に狭くなる傾向が認められた。また、軸力が大きいNO.7、NO.8供試体では、変形の進行とともに除荷時において損傷が軸力により助長される傾向が認められた。

表1 供試体諸元と実験結果

供試体番号	軸方向鉄筋	帯鉄筋配置間隔	軸圧縮力応力度 σ_n (N/mm ²)	実材料計算値				実験値			
				終局水平耐力 P_{mu} (kN)	せん断耐力 P_{su} (kN)	耐力比 P_{mu}/P_{su}	終局変位 δ_{ucal} (mm)	最大荷重 P_{max} (kN)	終局荷重 P_u (kN)	終局変位 δ_u (mm)	破壊モード*2
NO.5*1	12-D13	150mm	1.0	58.06	55.09	0.95	9.68	72.28	57.82	25.83	FS
NO.6	12-D13	75mm	1.0	56.64	75.50	1.33	13.44	72.02	57.62	34.47	F
NO.7*1	12-D13	150mm	2.0	59.20	55.09	0.93	8.60	81.79	65.43	21.66	FS
NO.8	12-D13	75mm	2.0	59.80	75.50	1.26	11.98	81.80	65.44	30.12	F

*1: せん断耐力は P_{s0} を用いている。*2: Fは曲げ破壊、FSは曲げ降伏後のせん断破壊を表す。

注): 終局時は最大荷重経過後、再び最大荷重の80%に低下したときとする。

キーワード: RC 柱部材、正負交番荷重、コンクリート負担せん断力、伸び出し変形量

連絡先: 〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮 5-16-1 TEL (06)-6954-4742 FAX (06)-6957-2131

(2)荷重－水平変位関係

図2に荷重－水平変位履歴包絡線を示す。帯鉄筋により比較すると、最大荷重には明確な差は見られなかったが、帯鉄筋量がじん性に与える影響は大きく、終局変位が $2\delta_y$ 大きくなり、大変形時においても塑性ヒンジの耐力を維持していることが確認できた。軸力の違いにより比較すれば、軸力の大きい供試体の方が同一変位における荷重は大きくなっており、その割合は約1.13倍であった。これは、軸力が作用することで帯鉄筋内のコンクリートが拘束され3軸状態となり、見かけ上のコンクリート強度が大きくなるためである。しかし、軸力が大きく、帯鉄筋量の少ないNO.7では終局時以降の耐力低下が急激に生じた。

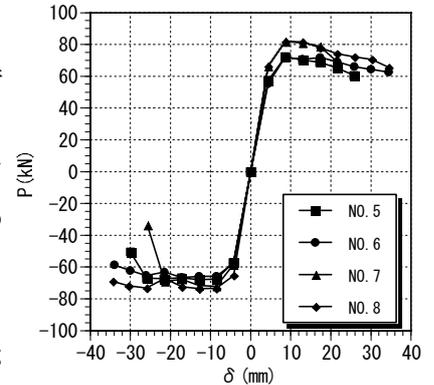


図2 荷重－水平変位包絡線

(3)帯鉄筋・コンクリートの負担せん断力の割合

ここでは、せん断耐力(帯鉄筋が負担するせん断力 V_s とコンクリートが負担するせん断力 V_c)をマクロ的に捉えることを目的として、個々の帯鉄筋ゲージに作用する V_s をトラス理論によって求めそれらを合計したものを ΣV_s とし、作用せん断力の合計 ΣV から引いたものを ΣV_c とし、その割合($\Sigma V_{(s,c)}/\Sigma V$)を図3に示した。いずれの比較においても帯鉄筋量の多い供試体の方が早期からせん断力を負担しており、コンクリート負担せん断力を軽減している。このため繰返し荷重によるコンクリートの劣化は少なく、部材の破壊が抑制されたと考えられる。また最も脆性的な破壊を呈したNO.7供試体では、 $6\delta_y$ 時において急激に V_s が増加しており帯鉄筋がコンクリートに代わりせん断力を受け持ったことが分かる。また、全体的に見てコンクリートがせん断耐力のほとんどを受け持っていることが分かる。

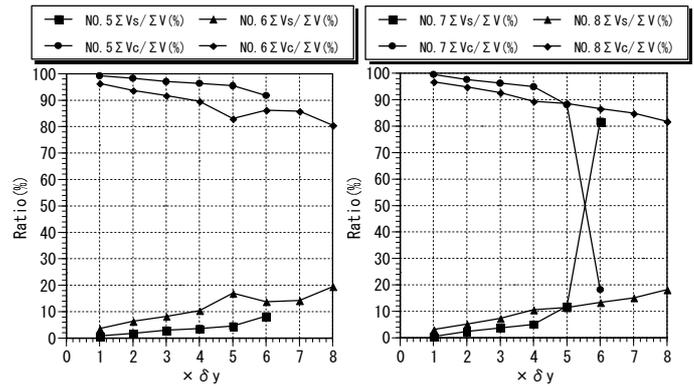


図3 帯鉄筋・コンクリート負担せん断力

(4)伸び出し変形量について

伸び出し変形量は、軸方向鉄筋に溶接した伸び出し測定用のボルトより鉛直変位を計測し、回転角 θ を算出して $\delta r = \theta \cdot H$ (H :せん断スパン)によって求めた後、基部からボルト位置(50mm)までの曲げ変形量を引いた値とした。ここで、躯体の変形は全変形量から伸び出し変形量を引いたものと定義した。図4に躯体の変形と道示による計算値の比較を全変形量の測定値と併せて示す。全変形量と道示は差が大きく、道示による計算値は全変形量の34.8%~40.1%となるが、伸び出し変形量差し引いた躯体の変形と道示は精度よく一致していることが認められた。

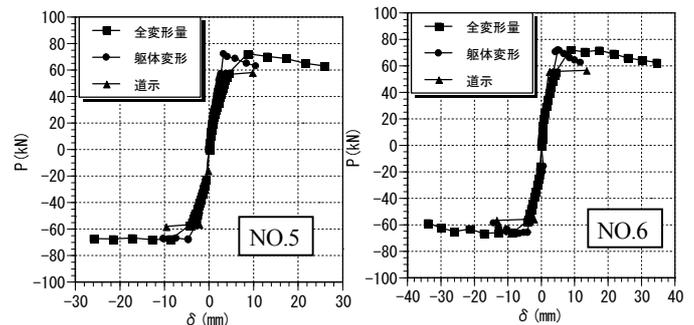


図4 躯体の変形と道示との比較

4.まとめ

RC柱部材の正負交番載荷実験によって得られた結果をまとめると以下のようである。

- (1)部材耐力は軸方向圧縮力が作用することによって増加するが、じん性率は低下することが明らかとなった。さらに耐力比に余裕がない場合、大変形時において急激に耐力低下を生じることから、塑性ヒンジ領域の耐力と変形能を確保・維持するために帯鉄筋などのせん断補強筋の十分な配置が必要である。
- (2)現在道路橋示方書V耐震設計編では、伸び出しによる変形量は考慮されておらず、終局変位は塑性ヒンジ長で与えられている。しかし、実験から求めた伸び出し変形量を差し引いた躯体の変形量が、道示による計算値と精度良く一致していることから、伸び出し変形を考慮する、もしくは塑性ヒンジ長の再検討の必要性があると考えられる。