

# 論文 [2077] RC 柱の曲げ及び圧縮耐力に及ぼす横補強筋の効果

正会員 矢代 秀雄 (日本大学生産工学部)

正会員 ○花井 重孝 (日本大学生産工学部)

## 1. まえがき

コンクリート部材に圧縮力が加わった場合、縦ひずみが大きくなるにつれ、横ひずみも除々に進んでくる。この横ひずみの進行が急激な耐力低下を迎き、部材は破壊する。そこで、著者らは、鉄筋コンクリート柱の横方向への変形を拘束し、部材の靱性を高める目的で、帯筋で囲まれるコア内に異形棒鋼を格子状に配筋した短柱の試験体に中心圧縮加力に加え、横補強筋(帯筋+格子状異形棒鋼)量と各ひずみ時における耐力の関係を、実験式(1)で表してきた<sup>1)</sup>。

本研究は、同様の横補強筋を用いた試験体に偏心圧縮加力(e=10cm)を行い、曲げが加わった場合の耐力と、実験式(1)を使用した計算値とを比較検討したものである。

## 2. 実験概要

試験体はいずれも、図-1に示すように全長2m、その中央1mを試験区間とした。断面は40cm×40cmの正方形断面、かぶり厚さ4.5cmで計画した。横補強筋には、帯筋と棒鋼の両方に D10 (SD30) を、軸方向鉄筋には D19 (SD30) をそれぞれ使用した。配筋状態は、帯筋の四隅に軸方向鉄筋、コア内に格子状異形棒鋼を、図-3に示すようにそれぞれ配筋した。試験体計画は、表-1の断面計画一覧に示すように、帯筋間隔を10cmとし、棒鋼の本数を 5本、3本、1本と変化させて、計 3体で行った。

加力方法及び測定方法を図-2に示す。加力は500ton構造物試験機を用い、上下端共ピン支持、偏心量10cmで行った。変位測定は、圧縮面とその両側の計 3面で試験区間(中央1m)について行った。試験体詳細一覧を表-2に示す。表中の横補強筋比 $R_w$

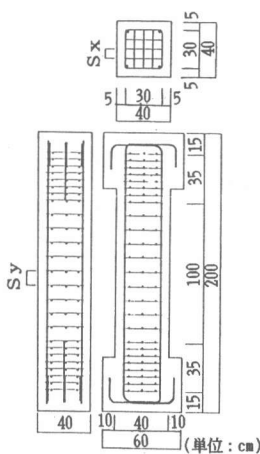


図-1 試験体形状

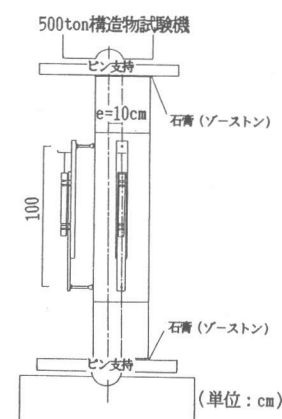


図-2 加力及び測定方法

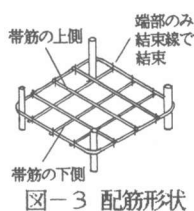


図-3 配筋形状

表-1 断面計画一覧

帯筋間隔 (Sy) cm	横補強筋間隔		
	間隔 10cm	間隔 10cm	間隔 10cm
	n=5	n=3	n=1
	1005	1007	1015
	$R_w=1.66$	$R_w=1.18$	$R_w=0.71$

表-2 試験体詳細一覧

試験体名	試験体形状				横補強筋					軸方向鉄筋								
	全長	試験区間	断面形状	かぶり厚さ	径	帯筋間隔	異形棒鋼間隔	本数	降伏応力度	横補強筋比	断面積		降伏応力度		鉄筋比			
											圧縮筋	引張筋	圧縮筋	引張筋	引張	圧縮		
	L	l	b×D	tc	Sy	Sx	n	$\sigma_{wy}$	$R_w$	$\Sigma Q_{sc}$	$\Sigma A_{st}$	Sa	$\sigma_{cy}$	$\sigma_{ty}$	$R_t$	$R_c$		
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	本	kgf/cm <sup>2</sup>	%	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	%	%		
1005					D10	10	5.0	5		1.66				3870	3870			
1007	200	100	40×40	4.5			7.5	3	3790	1.18	4-D19	5.74	5.74	26.2	3860	3840	0.35	0.35
1015							15.0	1		0.71				3820	3820			

は、かぶりコンクリートを除いたコアコンクリートに対する横補強筋（帯筋+異形棒鋼）比を表したものである。ただし、ここで言うかぶりは、表面から帯筋の中心までを指す。

### 3. 既往の研究<sup>1)</sup>

ここでは、著者らの既往の研究の概略について述べる。図-4は、記号の説明であるが、中心圧縮加力による荷重-ひずみ曲線の一例を表わしている。この曲線のように過去のほとんどの試験体がひずみ0.2%付近で最大荷重に達し、その後かぶりコンクリートが破壊し始め急激な荷重低下を示すが、ひずみ0.4%前後でかぶりコンクリートは耐力を失い、荷重は安定する。この時、B点の荷重を $P_u$  ひずみを $\epsilon_u$ 、C点の荷重を $P_c$  ひずみを $\epsilon_c$  とする。

このような荷重-ひずみ曲線において、 $\epsilon_u$  まではかぶりコンクリートがまだ荷重を負担していると思われるため、全断面積 ( $A_g$ ) 有効とし、 $\epsilon_c$  以後はかぶりコンクリートが耐力を失っていると思われるため、コアコンクリート断面積 ( $A_c$ ) のみ有効として、応力・ひずみ関係を求め、この関係における最大荷重点の応力に対する各ひずみ時 ( $\epsilon_c$  以後) の応力の比を、これ以後の耐力評価として用いる。

図-5は、ひずみ1%時における試験体の耐力と横補強筋量との関係を表す実験式

$$\frac{P/A_c}{P_u/A_g} = \alpha - \frac{\alpha\beta}{R_w + \beta} - \gamma \quad (1)$$

(ただし、 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ は係数)

を求めた際の様子を表わしたものである。縦軸に上記の評価耐力をとり、横軸に横補強筋比 $R_w$ をとって、各試験体ごとの値をプロットし、これにより図中の曲線を求めた。ただし、ここでいう試験体とは、参考文献中のものである。同様の方法で、ひずみ $\epsilon_c$  ( $\approx 0.4\%$ ) から3.0%まで0.2%毎の曲線を求めたが、実験式はいずれも実験式(1)と同一のもので、各ひずみ時により係数 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ が異なってくる。各ひずみ時ごとの係

表-3 実験式における係数一覧表

$\epsilon$ (%)	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
0.4	2.67	0.18	1.02
0.6	2.43	0.40	0.54
0.8	2.48	0.65	0.36
1.0	2.74	1.05	0.26
1.2	3.17	1.45	0.29
1.4	3.70	1.90	0.34
1.6	4.20	2.28	0.40
1.8	4.51	2.36	0.51
2.0	4.80	2.38	0.64
2.2	5.07	2.45	0.74
2.4	5.32	2.60	0.80
2.6	5.55	2.80	0.84
2.8	5.75	3.00	0.87
3.0	5.90	3.20	0.87

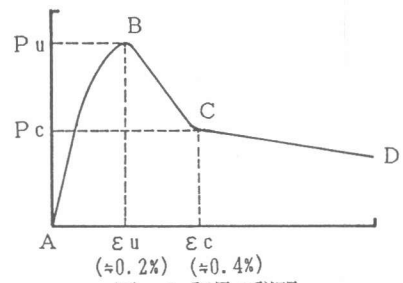


図-4 記号の説明

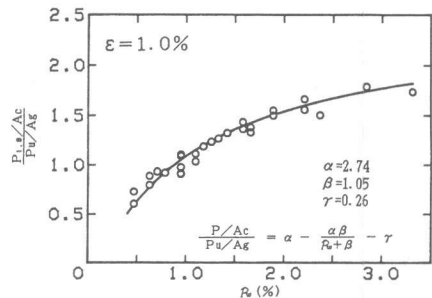


図-5 横補強筋量と耐力の関係

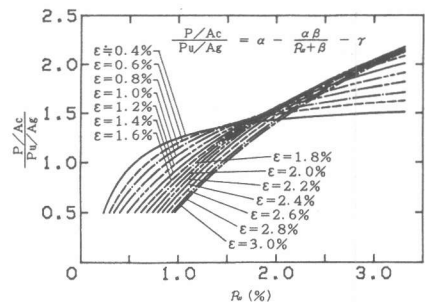


図-6 各ひずみ時の横補強筋量と耐力の関係

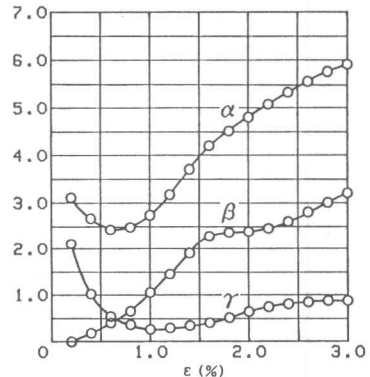


図-7 各ひずみの $\alpha\beta\gamma$

表-4 実験結果一覧表

試験 体名	コンクリート		荷 重										
	材令	シリング 強度	最大荷重時		かぶり剥落時		0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
			$\sigma_u$	$P_u$	$\epsilon_u$	$P_c$	$\epsilon_c$	% 時	% 時	% 時	% 時	% 時	% 時
	日	kg/cm <sup>2</sup>	ton	%	ton	%	P	P	P	P	P	P	P
1005	31	312	271.1	0.266	188.2	0.581	183.7	179.2	171.9	165.1	158.2	151.1	144.0
1007	34	323	274.6	0.308	179.7	0.635	174.3	169.4	163.2	155.6	146.4	138.9	132.9
1015	43	336	274.0	0.266	172.5	0.578	153.5	144.5	132.6	—	—	—	—

数 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ の曲線を図-6に、一覧表を表-3にそれぞれ示す。図-7は係数 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ の値とひずみの関係を示したものである。

4. 実験結果

実験結果一覧を表-4に示す。図-8は、各試験体の圧縮側縁ひずみと耐力の関係を表す荷重-ひずみ曲線である。この曲線を見ると、ひずみ $\epsilon_u$ が0.25~0.3%付近、ひずみ $\epsilon_c$ が0.6%前後となっており、中心圧縮加力を行った場合の荷重-ひずみ曲線<sup>1)</sup>と比較して、いずれも大きな値を示す。また、ひずみが $\epsilon_c$ 以後の耐力は、中心圧縮加力の場合<sup>1)</sup>と同様、コア内に用いた棒鋼の本数が多いもの程、維持できる耐力も大きくなっている。

図-9は、中心圧縮加力を行った場合のコアコンクリートの応力-ひずみ関係を、各試験体ごとに以下の計算式を用いて、それぞれ求めたものである。ひずみ $\epsilon_u$ までは参考文献<sup>2)</sup>の放物線式より

$$\sigma = 0.85\sigma_B \left[ \frac{\epsilon}{\epsilon_u} - \left( \frac{\epsilon}{\epsilon_u} \right)^2 \right] \quad (2)$$

を用い、ひずみ $\epsilon_c$ 以後は実験式(1)より

$$\sigma = 0.85\sigma_B \left( \alpha - \frac{\alpha\beta}{P_w + \beta} - \gamma \right) \quad (3)$$

を用いて表した。ただし、式(2)(3)は、いずれも最大荷重時応力をシリング強度 $\sigma_B$ の0.85倍として表した。

このコアコンクリートの応力-ひずみ関係を当てはめて求めた、縁ひずみ1.0%時における各試験体の応力・ひずみ分布図が図-10である。この分布図を

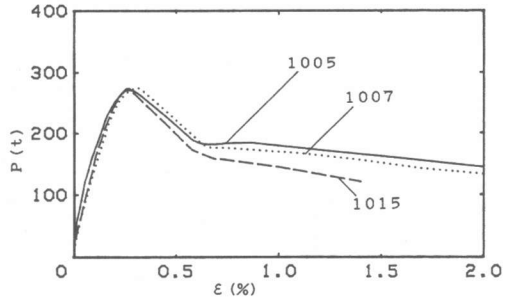


図-8 荷重-ひずみ曲線

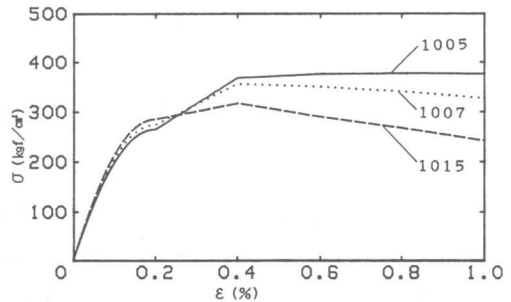
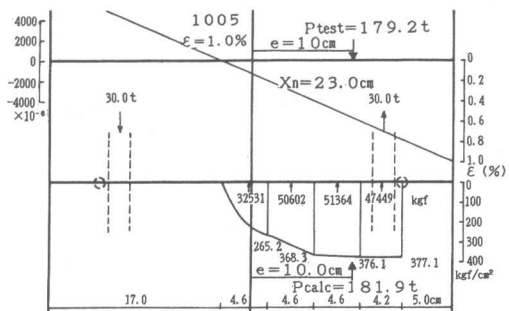


図-9 応力-ひずみ曲線

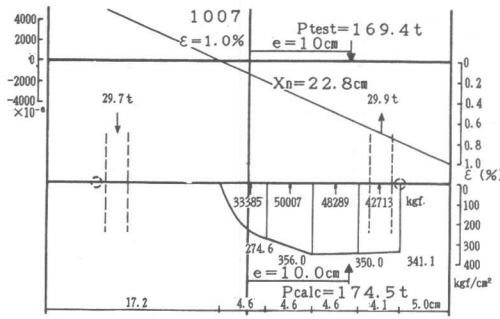


(a) 1005

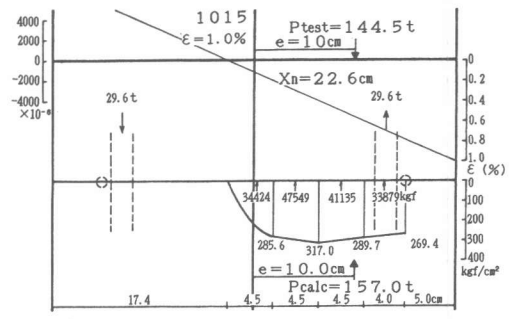
図-10 応力・ひずみ分布図

表-5 計算値と実験値の比較

試験 体名	$\epsilon = 0.6\%$ 時		$\epsilon = 0.8\%$ 時		$\epsilon = 1.0\%$ 時				
	Ptest	Pcalc	Ptest	Pcalc	Ptest	Pcalc			
	ton	ton	ton	ton	ton	ton			
1005	185.4	178.8	1.04	183.7	181.7	1.01	179.2	181.9	0.99
1007	190.4	177.4	1.07	174.3	176.0	0.99	169.4	174.5	0.97
1015	169.3	168.6	1.00	153.5	162.2	0.95	144.5	157.0	0.92



(b) 1007



(c) 1015

図-10 応力・ひずみ分布図

求めるにあたり、その計算方法は以下の通りである。

- 1) 中立軸の位置を仮定し、中立軸位置と圧縮縁ひずみから平面保持が成り立っているものとして、ひずみ分布を求める。
- 2) ひずみ分布に、図-9のコアコンクリートの応力-ひずみ関係と軸方向鉄筋の負担荷重を当てはめて、応力分布を求める。
- 3) 応力分布から応力の重心位置を求め、加力点位置と一致するか確認する。

重心位置と加力点位置が一致するまで中立軸の位置を変化させて、以上の作業を計算機で繰り返す。

このようにして求めた応力分布より得た荷重を、実験値と比較して表したものが表-5であり、計算値を○印で表し、荷重-ひずみ曲線と比較したものが図-11である。これらを見ると、いずれも非常によく適合している。

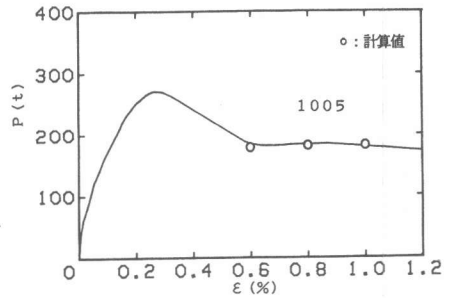
#### 5. まとめ

鉄筋コンクリート柱において、横補強筋として帯筋とそのコア内に格子状に配筋した異形棒鋼を用いた場合、その配筋量と耐力の関係を表す実験式(1)<sup>1)</sup>は、図-10の様な方法で計算値として用いられることがわかった。

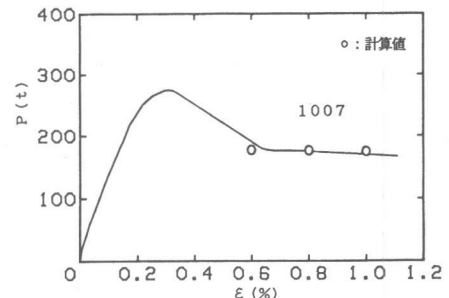
なお、本実験に用いたシリンダ強度は 312, 323, 336 kgf/cm<sup>2</sup>、横補強筋の降伏応力度は 3790 kgf/cm<sup>2</sup>であった。

#### 参考文献

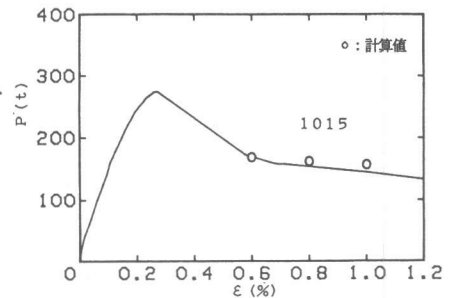
- 1) 矢代秀雄、花井重孝、高橋勝治：鉄筋コンクリート柱における横補強筋の効果に関する実験的研究(その7、横補強筋の効果)、日本建築学会学術講演梗概集、1987、pp.489~490
- 2) E. Hognestad: A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced concrete Members, University of Engineering Experimental Station, Bulletin in Series No. 399, November 1951, 128pp.



(a) 1005



(b) 1007



(c) 1015

図-11 荷重-ひずみ曲線と計算値