コンクリート工学年次論文報告集　9-2　1987

[2025]　鉄筋コンクリート柱における横補強筋の拘束効果に関する実験的研究

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）
正会員　○高橋　勝治（日本大学生産工学部）

1．まえがき

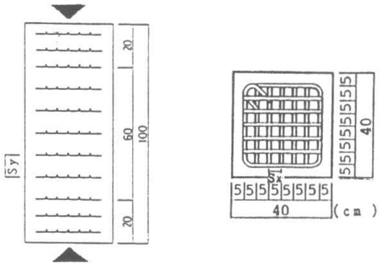
鉄筋コンクリート柱のじん性を得るためには、コアコンクリートの横方向への変形を横補強筋で有効に横拘束することである。著者らは、横補強筋に帯筋と帯筋によって囲まれたコアコンクリートの中にぶつ切りの異形棒鋼を格子状に配筋して、異形棒鋼とコアコンクリートの付着によりコアコンクリートの拘束効果をはかり、帯筋の拘束効果と格子状配筋の拘束効果で強度とじん性を向上させることを報告してきた。［１］

本研究は、正方形断面のコンクリート短柱を横補強筋（帯筋と格子状異形棒鋼）のみで補強し、中心圧縮力を加え、帯筋間隔（Sy）と中に入れる異形棒鋼の本数（ｎ）を変化させて、特に横補強筋量の多い試験体を発表論文［１］に加えて圧縮ひずみ3%までの横補強筋量と耐力との関係を調べたものである。

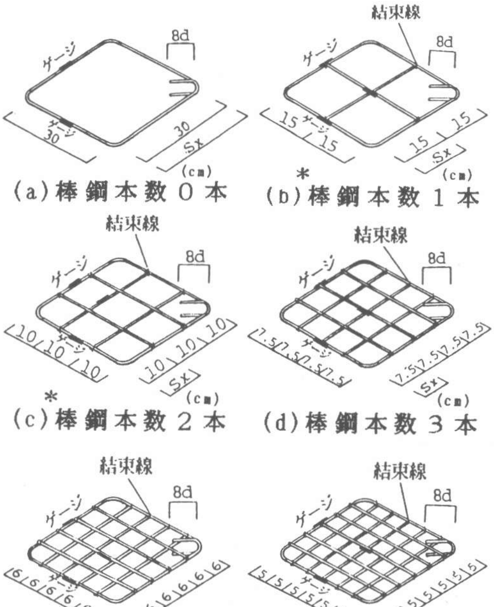
2．実験概要

試験体の形状および寸法を図－１に示す。全試験体いずれも、全長 1m 、中央 60cm を試験区間とし、40cm×40cmの正方形断面、かぶり厚さ 4.5cmとし、軸方向鉄筋を用いない横補強筋のみの試験体とした。横補強筋の断面形状は、図―２に示すように帯筋と帯筋のコア内に均等に配筋した格子状異形棒鋼からなり、(a), (d), (e), (f) の 4種類とし、(b), (c) の棒鋼本数 1本， 2本は発表論文［１］のものをのせた。横補強筋は、帯筋、コア内の異形棒鋼とも D10 (SD30A-降伏応力度 σ_y= 3900kgf/c㎡)を使用した。

帯筋は一辺 30cm の正方形で、余長を 8d とした。また、コア内に格子状に用いた異形



図－１　試験体の形状および寸法



(a)棒鋼本数０本　(b)棒鋼本数１本　(c)棒鋼本数２本　(d)棒鋼本数３本　(e)棒鋼本数４本　(f)棒鋼本数５本

図－２　横補強筋の形状

試験体名
05 05
① ②

①帯筋間隔
05 : 5.0cm
07 : 7.5cm
10 : 10.0cm
12 : 12.5cm
15 : 15.0cm
17 : 17.5cm

②横補強筋（棒鋼）間隔
05 : 5.0cm（棒鋼本数５本）
06 : 6.0cm（棒鋼本数４本）
07 : 7.5cm（棒鋼本数３本）
30 : 30.0cm（棒鋼本数０本）

図－３　試験体名の説明

棒鋼は、長さ 31cm で切断し、帯筋と異形棒鋼の固定は溶接を用いず、結束線で行った。

試験体は、帯筋間隔が 5cmで、異形棒鋼の間隔が 5cm（n= 5本），6cm（n= 4本），30cm（n= 0本）の 3体、帯筋間隔が 7.5cmで、異形棒鋼の間隔が 5cm（n= 5本），6cm（n= 4本），7.5cm（n= 3本）の 3体、帯筋間隔が10cm，12.5cm，15cm，17.5cmで異形棒鋼の間隔が 5cm（n= 5本）の各 1体の計 3体、合計10体を計画した。試験体名の説明を図－３に、試験体詳細一覧を表－１に示す。

図，表中の試験体名の後に＊印のあるものは、著者の発表論文［１］より引用した。

図－４は、表－１の試験体詳細一覧で用いた横補強筋比（p_w）の説明で、p_wの値は帯筋間隔（Sy）と帯筋の外端から外端までの距離で囲まれた面積（ハッチ部分）に対する、帯筋と異形棒鋼の断面積の割合を表したものである。

コンクリートは、普通ポルトランドセメントを使用したレディミクストコンクリートを、重量比 1.0 ： 3.6 ： 3.3、水セメント比 69%、粗骨材の最大寸法 10mm、スランプ 21cmで用いた。コンクリートの打ち込みは横打ちとした。なお、試験体詳細一覧で用いたシリンダ強度（σ_B）は、試験体と同時に打設したϕ10×20cmのテストピースを圧縮試験することで求めた。

加力方法および測定方法は、図－５で示すように上端ピン支持、下端固定支持の中心加力により連続して行った。変位の測定については、試験体の縦方向中央60cm（試験区間）を試験体の 3面において測定した。

３．実験結果

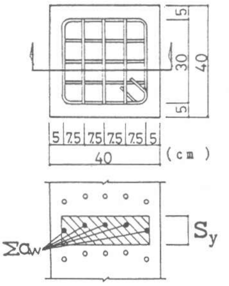
実験結果一覧を表－２に示す。図－６は荷重－ひずみ曲線の一例を示したもので、Ｕ点は試験体が最大耐力に達した点を、Ｃ点はかぶりコンクリートによる耐力の影響がみられなくなった点をそれぞれ示す。このＵ点の耐力をPmax，ひずみをεuとし、Ｃ点の耐力をPc，ひずみをεcとして示す。

図－７に全試験体の荷重－ひずみ曲線を示す。これらのグラフより、帯筋の間隔が密なほど、またコア内に用いた棒鋼の配筋量が多いほど、耐力も大きくなっていることがわかる。図－８は、発表論文［１］のものである。

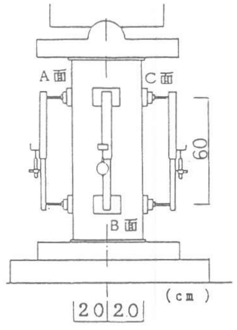
表－１　試験体詳細一覧

試験体名	横補強筋 帯筋間隔 Sy (cm)	異形棒鋼 コア内の間隔 Sx (cm)	異形棒鋼 本数 n (本)	横補強筋比 p_w (%)
0505	5.0	5.0	5	3.21
0506	5.0	6.0	4	2.75
0507＊	5.0	7.5	3	2.29
0510＊	5.0	10.0	2	1.84
0515＊	5.0	15.0	1	1.38
0530＊	5.0	30.0	0	0.92
0530	5.0	30.0	0	0.92
0705＊	7.5	5.0	5	2.14
0705	7.5	5.0	5	2.14
0706	7.5	6.0	4	1.84
0707＊	7.5	7.5	3	1.53
0707	7.5	7.5	3	1.53
0710＊	7.5	10.0	2	1.22
0715＊	7.5	15.0	1	0.92
0730＊	7.5	30.0	0	0.61
1005＊	10.0	5.0	5	1.61
1005	10.0	5.0	5	1.61
1007＊	10.0	7.5	3	1.15
1010＊	10.0	10.0	2	0.92
1015＊	10.0	15.0	1	0.69
1030＊	10.0	30.0	0	0.46
1205	12.5	5.0	5	1.28
1505＊	15.0	5.0	5	1.07
1505	15.0	5.0	5	1.07
1507＊	15.0	7.5	3	0.77
1510＊	15.0	10.0	2	0.61
1515＊	15.0	15.0	1	0.46
1530＊	15.0	30.0	0	0.31
1705	17.5	5.0	5	0.92

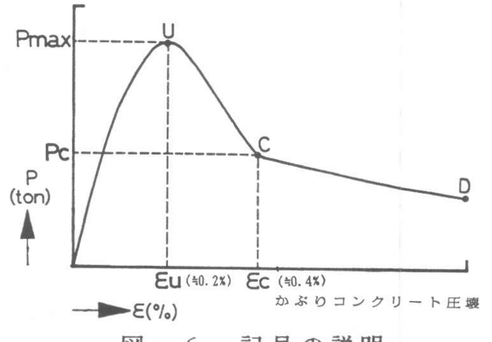
［＊］：著者の発表論文［１］より引用した。



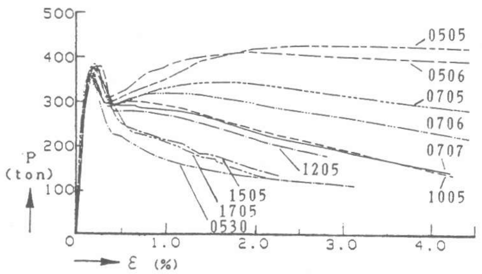
図－４　横補強筋比（p_w）の説明



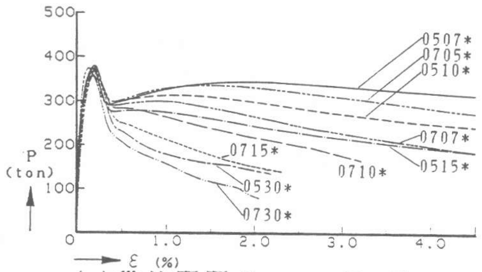
図－５　加力方法および測定方法



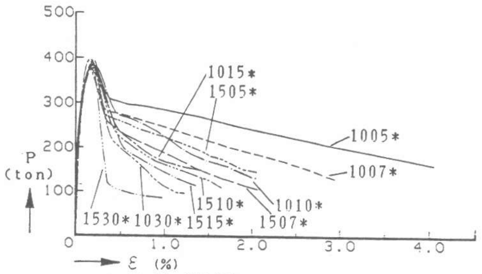
図－６　記号の説明



図－７　荷重－ひずみ曲線



(a)帯筋間隔５cm，７.５cm



(b)帯筋間隔１０cm，１５cm

図－８　荷重－ひずみ曲線

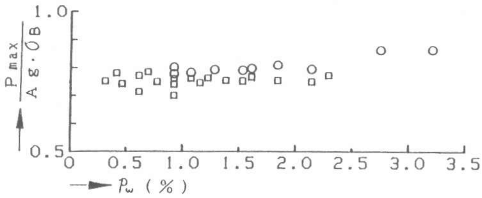
図－９は、横補強筋の配筋量と最大耐力（Ｐmax）の関係を示したものである。縦軸には、最大耐力（Ｐmax）を全断面（Ａg）とシリンダ強度（σ_B）で除した値をとり、横軸には横補強筋比（p_w）をとった。図中の□印は発表論文［１］より得たものである。このグラフより、大部分の試験体がシリンダ強度の約 0.8倍程度の値であった。

図－１０は、横補強筋量と耐力の関係を、最大耐力時まで全断面有効、Ｐc 時以後コアコンクリートのみ有効とし、各ひずみ時（ε_c～3.0%）の応力を求め、最大耐力時応力に対する各ひずみ時応力の割合（Ｐ／Ａc）／（Ｐmax／Ａg）を縦軸にとり、横補強筋比（p_w）を横軸にとってひずみε_c（≒0.4%）から3.0%まで0.2%毎に (a)～(n) に示したものである。なお、各試験体のε_u の平均値は 0.19%，ε_c の平均値は 0.38%となっており、ε_u ≒0.2%，ε_c ≒0.4%として用いる。したがって、図－１０(a) のε_c の実験式は0.4%の曲線とした。また、図中の□印は発表論文［１］より得たものである。これらのデータより、各ひずみ時における横補強筋比と耐力の関係を実験式

$$\frac{P/A_c}{P_{max}/A_g} = \frac{\alpha\, p_w}{p_w + \beta} - \gamma$$

（ただし、α，β，γは係数）で表した。

図－１１は、図－１０の(a)～(n)で示したε=0.4～3.0%の実験式の曲線をまとめて表したものである。これらの曲線か



図－９　横補強筋比と最大耐力の関係

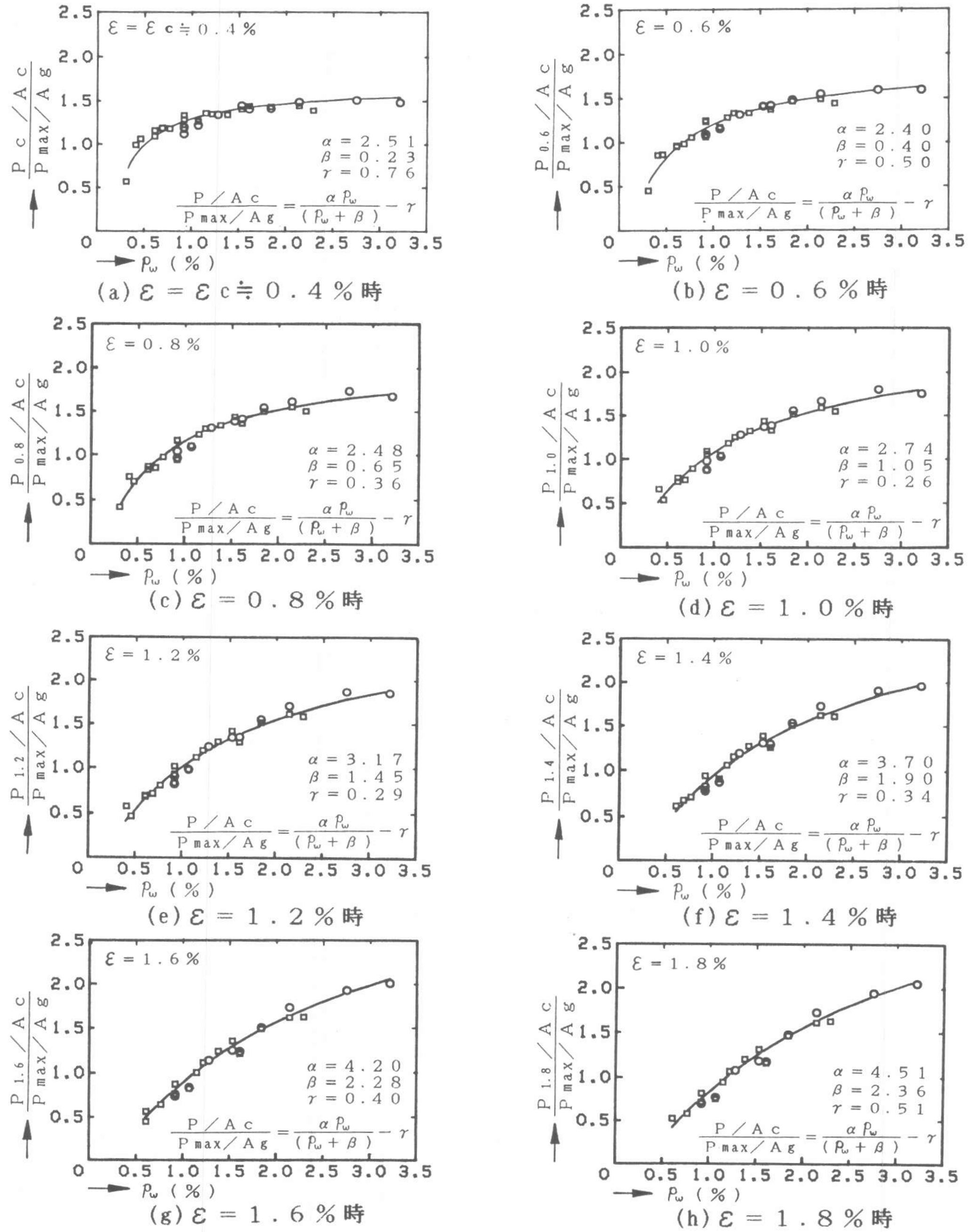
表－２実験結果一覧

試験体名	シリンダ強度	ε≒0.2%時 最大耐力時		ε≒0.4%時		1.0%時	2.0%時
	σB	Pmax	εu	Pc	εc	P	P
	kg/cm²	ton	%	ton	%	ton	ton
0505	259	357.8	0.162	296.6	0.311	349.9	419.8
0506	273	276.6	0.196	318.1	0.271	378.4	411.7
0507*	307	378.9	0.191	294.0	0.326	327.2	345.2
0510*	308	371.3	0.181	297.4	0.322	313.6	299.5
0515*	310	373.2	0.183	278.8	0.362	274.6	244.6
0530*	310	366.8	0.184	239.4	0.427	178.8	144.1
0530	278	345.3	0.179	230.2	0.360	169.6	131.1
0705*	311	372.0	0.209	299.9	0.375	329.8	332.2
0705	280	355.5	0.179	295.7	0.329	330.7	340.6
0706	285	367.8	0.154	289.7	0.346	319.5	297.1
0707*	311	373.9	0.140	292.7	0.328	299.6	266.4
0707	293	370.1	0.246	299.6	0.375	282.4	233.2
0710*	312	379.8	0.197	285.6	0.402	264.3	218.5
0715*	312	349.5	0.159	259.9	0.421	212.3	151.1
0730*	314	358.5	0.183	231.5	0.375	157.1	84.0
1005*	315	385.1	0.191	310.2	0.375	284.6	242.0
1005	298	379.0	0.267	297.1	0.388	292.9	239.4
1007*	315	375.5	0.161	284.4	0.329	246.4	188.4
1010*	316	383.2	0.210	274.8	0.465	225.8	133.0
1015*	316	396.0	0.160	261.9	0.336	168.1	
1030*	316	375.2	0.148	222.1	0.390	111.6	
1205	300	380.0	0.229	284.4	0.392	270.6	217.6
1505*	316	384.1	0.187	270.8	0.340	223.8	147.9
1505	300	375.0	0.200	255.0	0.483	215.6	149.1
1507*	316	378.2	0.192	248.8	0.445	188.2	109.6
1510*	316	388.8	0.183	236.4	0.435	160.9	
1515*	316	393.9	0.197	217.9	0.482	144.1	
1530*	317	380.3	0.180	120.4	0.352		
1705	300	384.4	0.200	240.0	0.575	210.3	136.1

［＊］：著者の発表論文［１］より引用した。

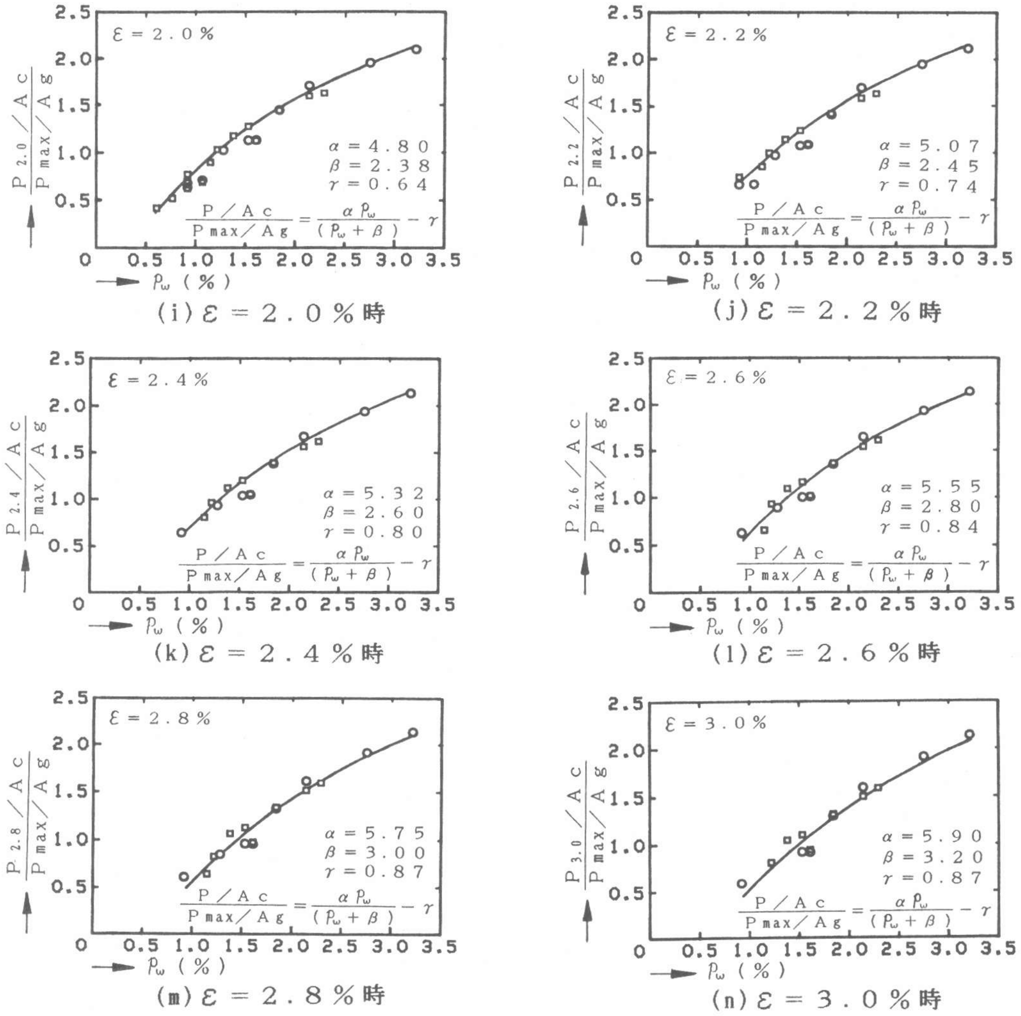
ら、ε_c≒0.4% の曲線では、p_w=1.0% 程度を越えると横補強筋量が増えても耐力にあまり大きな差はなく、p_w=1.0% 以下では横補強筋量の減少に伴い耐力の低下が特に著しいものとなっている。これに対して、ε=3.0% では横補強筋量による耐力の差が著しく、横補強筋量を多くすれば耐力はかなり大きくなる。

図－12は、各ひずみ時の実験式の係数α, β, γについて表したものである。



(a) ε = εc ≒ 0.4 %時 (b) ε = 0.6 %時
(c) ε = 0.8 %時 (d) ε = 1.0 %時
(e) ε = 1.2 %時 (f) ε = 1.4 %時
(g) ε = 1.6 %時 (h) ε = 1.8 %時

図－10　横補強筋比と耐力の関係

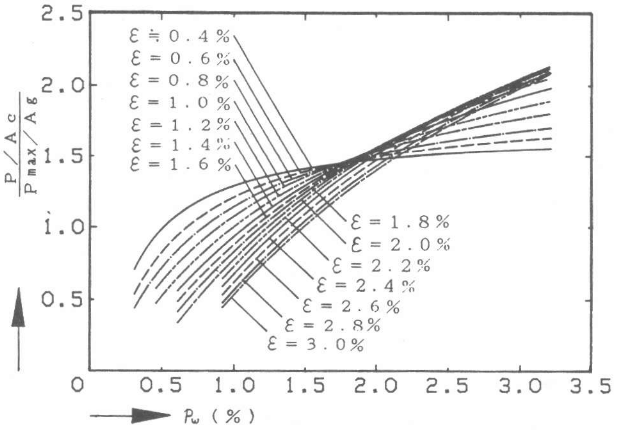


図－１０　横補強筋比と耐力の関係

図－１３は、各試験体の荷重－ひずみ曲線と実験式より求めてプロットした点とを比較したものである。荷重－ひずみ曲線と実験式よりプロットした点の誤差は、一部を除いて、ほとんどの試験体が±10% 以内におさまっている。なお、ここで用いた Ｐmaxには各試験体かぶりコンクリート剥落前の最大耐力を用いた。

３．まとめ

鉄筋コンクリート柱において、

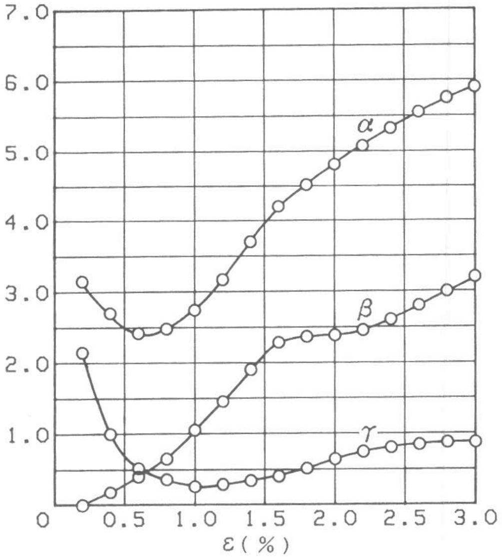


図－１１各ひずみ時の横補強筋比と耐力の関係

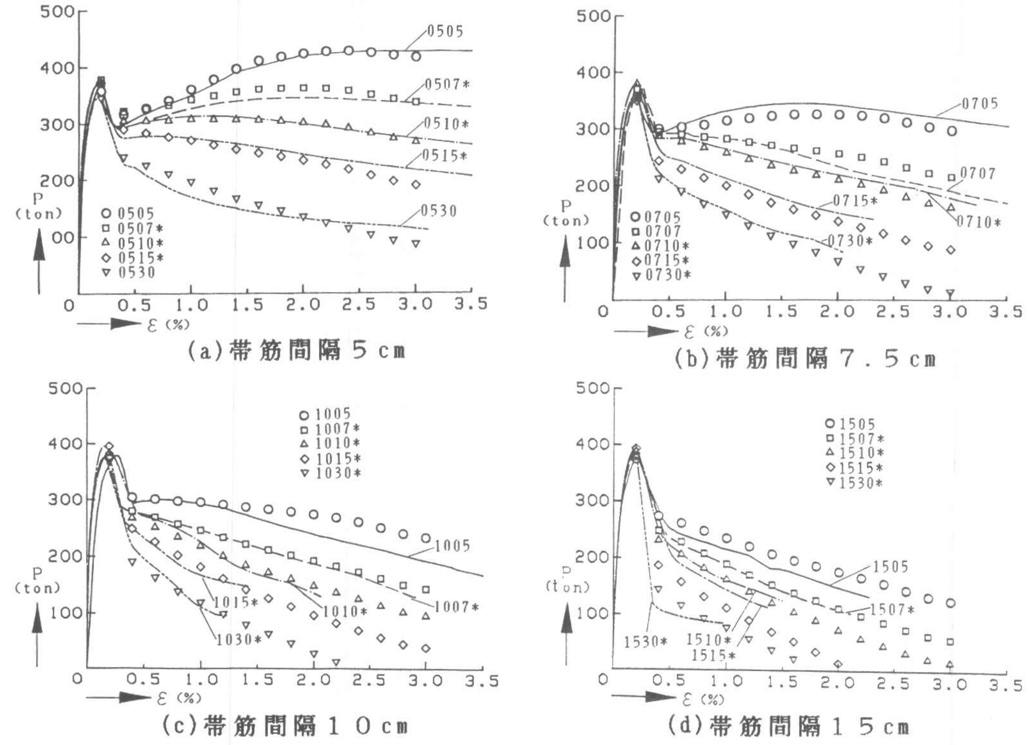
帯筋とそのコア内に異形棒鋼を溶接せず格子状に配筋した場合、その拘束効果による耐力への影響について、次のようなことがわかった。

1）最大耐力（P_{max}）については、配筋量による影響は余りみられず、大部分の試験体においてシリンダ強度（σ_B）のほぼ 0.8倍程度となった。

2）荷重－ひずみ曲線のひずみ3%までの傾向を実験式　$(P/A_c)/(P_{max}/A_g) = \alpha\rho_w/(\rho_w+\beta)-\gamma$　で±10% の誤差で表すことができた。なお、各ひずみ時の実験式の係数α, β, γは図－12のようにとった。この実験式を求めるにあたり、コンクリートのシリンダ強度（σ_B）は 260～310kgf/cm², 横補強筋の降伏応力度（σ_y）は3900kgf/cm²であった。



図－12　各ひずみ時のα，β，γ



(a)帯筋間隔5cm　(b)帯筋間隔7.5cm　(c)帯筋間隔10cm　(d)帯筋間隔15cm

図－13　荷重－ひずみ曲線と実験式

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よる靭性向上に関する実験的研究，第8回コンクリート工学年次講演会論文集，p.p.513-516，1986.