

P C 鋼棒および P C 鋼より線を帯筋に使用したコンクリート柱の横拘束効果に関する研究

THE CONFINEMENT EFFECT OF CONCRETE CYLINDERS BY PRESTRESSING BARS AND STRANDS

大谷 悟司^{*}、佐藤 重一^{**}、川島 一彦^{***}、庄司 学^{****}

Satoshi OHTANI, Shigeto SATOH, Kazuhiko KAWASHIMA and Gaku SHOJI

^{*}オリエンタル建設(株)技術研究所(〒321-4367 栃木県真岡市鬼怒ヶ丘5)^{**}オリエンタル建設(株)技術研究所(〒321-4367 栃木県真岡市鬼怒ヶ丘5)^{***}工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科(〒152-0033 東京都目黒区大岡山2-12-1)^{****}東京工業大学助手 工学部土木工学科(〒152-0033 東京都目黒区大岡山2-12-1)

It seems effective to use the prestressing bars and strands to confine the concrete at the extreme fiber at compression zone in reinforced concrete pier, since their strength is much higher than the normal reinforcement. It is thus expected that they are effective for enhancing ductility and strength in the seismic retrofit of existing reinforced concrete columns. A series of uni-axial compression test was conducted for 31 specimens to develop an appropriate stress vs. strain relation of a concrete cylinder confined by the prestressing bars and strands. It is found that the prestressing bars and strands are effective to increase the peak stress and the strain at the peak stress. Use of the prestressing bars at the volumetric ratio ρ_s of 0.38-3.33% results in the continuous increase of the stress over 2,300-2,500 μ , which is in most case the critical strain in the concrete cylinder confined by the normal reinforcement. Prestressing the strands are also effective to reduce the deteriorating ratio after the peak stress.

Key Words: seismic strengthening, reinforced concrete pier, confinement effect, stress-strain relation, prestressing steel

1. はじめに

兵庫県南部地震以後、じん性の重要性が考慮されていなかった1980年より前の耐震基準で設計された鉄筋コンクリート橋脚(以下、RC橋脚という)の耐震補強が急務となっている。

RC橋脚の耐震補強工法としては、RC巻立て工法、鋼板巻立て工法、連続繊維シート(テープ状)巻付け工法、PCストランド巻付け工法等があり、各所で研究が実施されている^{1),2)}。

横拘束を与えることにより、圧壊が始まるコンクリートのひずみを大きくでき、このためRC橋脚のじん性を高めることができる。こうした横拘束の効果は、帯鉄筋比が高く、また、帯鉄筋の降伏点が高いほど向上する³⁾。そこで、鉄筋の代わりに、鉄筋に比べ4~6倍高い降伏点を有し、スパイラル加工や曲げ加工が可能なPC鋼棒や、スパイラル加工や曲げ加工をすることなく、比較的容易に円形断面のRC橋脚に巻立てることが可能であり、緊張・定着することにより、新旧コンクリートを一体化することが可能なPC鋼より線を、帯筋として使用することにより、じん性の向上が期待される。一般にPC鋼棒は、曲げ加工やスパイラル加工がしにくい、近年ウルボンなど、こうした加工が可能な製品の入手が可

能となっている。

PC鋼材による横拘束効果を耐震補強設計に取り入れるためには、PC鋼材量に応じたコンクリートの最大圧縮応力度や変形性能の向上を正確に把握しなければならない。しかしながら、こうしたPC鋼材を帯筋に使用して、横拘束を高めることによるじん性の向上という観点からの研究は少ないのが現状である。そこで、PC鋼棒およびPC鋼より線を帯筋に用いた場合のコンクリートの横拘束効果を、RC橋脚の地震時保有水平耐力法による耐震補強計算に反映できるようにすることを目的として、本研究は、これらのPC鋼材で横拘束されたコンクリート柱供試体の一軸圧縮試験を行い、コンクリートの軸方向応力度~軸方向ひずみ関係を検討したものである。

2. 実験に用いた供試体および載荷方法

本実験では、断面形状、横拘束筋の体積比 ρ_s (以下、帯筋比と呼ぶ)、帯筋配置方法をパラメータとし、星隈ら⁴⁾の帯鉄筋による横拘束効果の実験を参考に、表-1に示すように無補強供試体も含め合計31体を用いて実験を行った。

帯筋にPC鋼棒を使用した供試体では円形と正方形の

2種類を、帯筋にPC鋼より線を使用した供試体では円形断面を対象とした。帯筋にPC鋼棒を使用した供試体では直径または辺長を200mm、高さ600mmとし、帯筋にPC鋼より線を使用した供試体では直径400mm、高さ1,200mmとした。形状や横幅と高さの比は従来の研究を参考とし定めたものである^{4) 5)}。PC鋼より線は正方形断面のRC橋脚には使用できないことから、円形断面のみを対象とした。

帯筋はそれぞれ独立に設置する場合（以下、帯状配置という）とスパイラル状に連続的に巻付けた場合の両者を対象とする。

供試体は断面形状、帯筋種類および配置方法によりA～Eの5シリーズに分類される。A、B、Cシリーズは帯筋にPC鋼棒を使用し、D、Eシリーズは帯筋にPC鋼より線を使用した。Aシリーズでは円形断面に帯筋を帯状に配置し、帯筋の体積比 ρ_s を0.38～3.33%に変化させた。BシリーズはAシリーズの中から帯筋比が0.38、0.56、1.14、2.29%のものに対して、帯筋をスパイラル状に配置し、帯筋が連続していることによる影響を検討した。Cシリーズは正方形断面で、帯筋比はAシリーズと同様とした。Dシリーズは緊張、定着するためにPC鋼より線をコンクリート表面に帯状に配置したものである。緊張、定着のためにRC橋脚の耐震補強用に開発された定着具を使用した。PC鋼より線1本当当たりの緊張力は24.5kNとし、帯筋比 ρ_s を変化させた。この緊張力は実際のRC橋脚に導入できるプレストレスを考慮して定めたものである。EシリーズはPC鋼より線をスパイラル状に配置したものである。PC鋼より線をスパイラル状に配置すると、プレストレスを導入しにくいところではプレストレスを導入していない。帯筋比はDシリーズの中から0.20、0.37、0.57%の場合を対象とし、PC鋼より線を緊張、定着することによる影響を検討した。いずれの供試体ともコンクリートのかぶりの影響を少なくするために、かぶりは1mmとした。各シリーズの代表的な供試体の帯筋配置を図-1に示す。

PC鋼棒としてはウルボンを使用した。ウルボンは直径7.1mmの異形断面であり、PC鋼より線としては2.9mm 3本よりPC鋼より線を用いた。帯筋を帯状に配置した供試体（Dシリーズ）では、コンクリート表面に配置するため防蝕性および防錆性を考慮し、PC鋼より線としてはアンボンド処理されたものを使用した。表-2に使用したPC鋼棒およびPC鋼より線の材料試験結果を、図-2にPC鋼棒およびPC鋼より線の応力度～ひずみ関係を示す。これによると実験に使用したPC鋼材の降伏強度 σ_{py} および降伏ひずみ ϵ_{py} は、PC鋼棒では $\sigma_{py}=1,397\text{N/mm}^2$ 、 $\epsilon_{py}=8,590\mu$ であり、PC鋼より線では $\sigma_{py}=1,941\text{N/mm}^2$ 、 $\epsilon_{py}=10,957\mu$ であった。鉄筋の降伏強度は約300N/mm²であることより、実験に使用したPC鋼材は鉄筋に比べて4～6倍の強度を有していることがわかる。

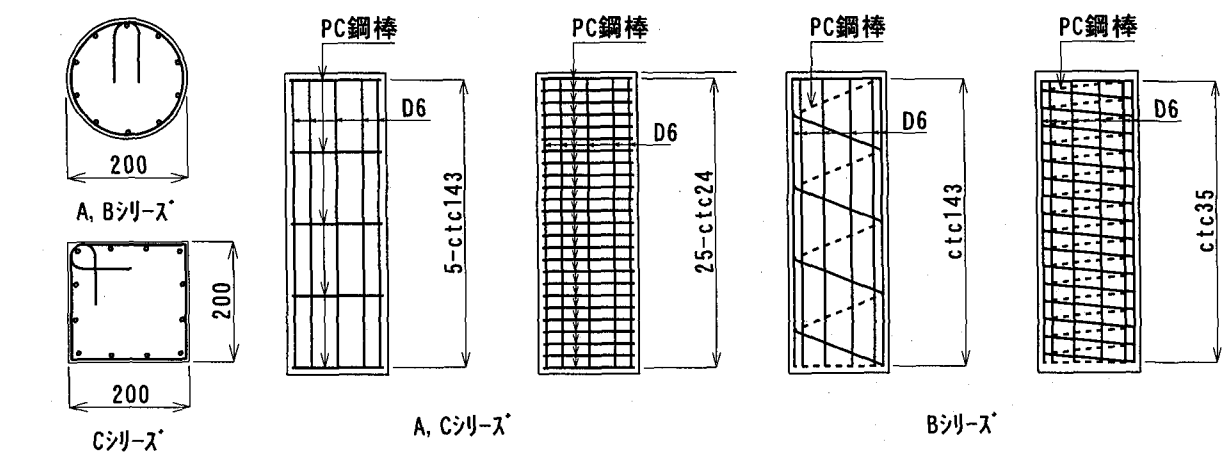
表-1 実験に用いた供試体

No.	断面形状	断面寸法 (mm)	帯筋			
			配置方法	種類	ピッチ (mm)	帯筋比 (%)
A-1	円形	$\phi 200$ $\times$ h 600	帯状	PC鋼棒 (ウルボン)	0	0
A-2					211	0.38
A-3					167	0.48
A-4					143	0.56
A-5					93	0.86
A-6					70	1.14
A-7					47	1.70
A-8					35	2.29
A-9					24	3.33
B-1	円形	$\phi 200$ $\times$ h 600	スパイラル状	PC鋼棒 (ウルボン)	211	0.38
B-2					143	0.56
B-3					70	1.14
B-4					35	2.29
C-1	正方形	$\square 200$ $\times$ h 600	帯状	PC鋼棒 (ウルボン)	0	0
C-2					211	0.38
C-3					167	0.48
C-4					143	0.56
C-5					93	0.86
C-6					70	1.14
C-7					47	1.70
C-8					35	2.29
C-9					24	3.33
D-1	円形	$\phi 400$ $\times$ h 1200	帯状にして プレストレスを 導入	PC鋼 より線	0	0
D-2					100	0.20
D-3					67	0.30
D-4					53	0.37
D-5					43	0.46
D-6					35	0.57
E-1	円形	$\phi 400$ $\times$ h 1200	スパイラル状、 プレストレスは 導入しない	PC鋼 より線	100	0.20
E-2					53	0.37
E-3					35	0.57

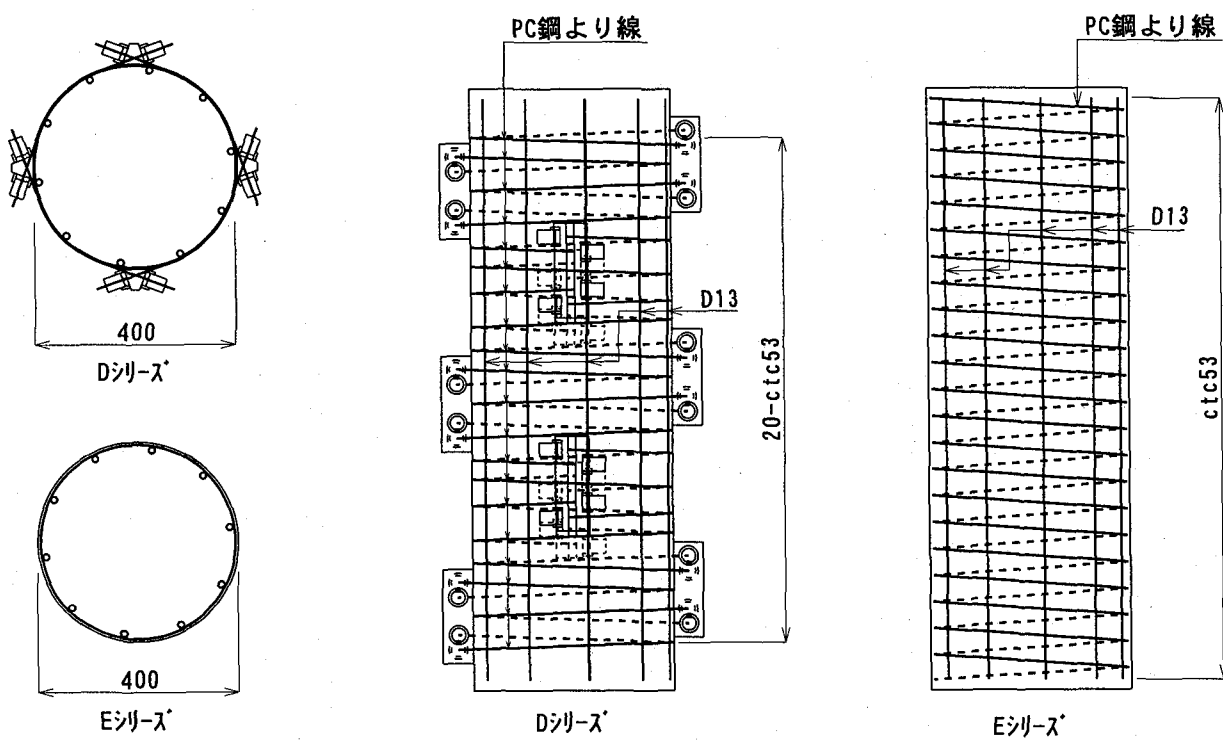
表-2 実験に用いたPC鋼材の材料特性

		名称	SBPDL 1275/1420 (7.1mm)	
		断面積	mm ²	40
公称値	PC鋼棒 (ウルボン)	弾性係数	N/mm ²	2.0×10^5
		降伏強度	N/mm ²	1,275
		引張強度	N/mm ²	1,420
		伸び	%	5.0
		名称	SWPD3L 1715/1910 (3-2.9mm)	
		断面積	mm ²	19.82
試験値	PC鋼より線	弾性係数	N/mm ²	2.0×10^5
		降伏強度	N/mm ²	1,715
		引張強度	N/mm ²	1,910
		伸び	%	3.5
		弾性係数	N/mm ²	2.12×10^5
		降伏強度	N/mm ²	1,397
	PC鋼棒 (ウルボン)	引張強度	N/mm ²	1,483
		伸び	%	9.6
	PC鋼より線	弾性係数	N/mm ²	2.17×10^5
		降伏強度	N/mm ²	1,941
		引張強度	N/mm ²	2,052
		伸び	%	4.5

注) 降伏強度は0.2%の永久ひずみに相当する強度である。

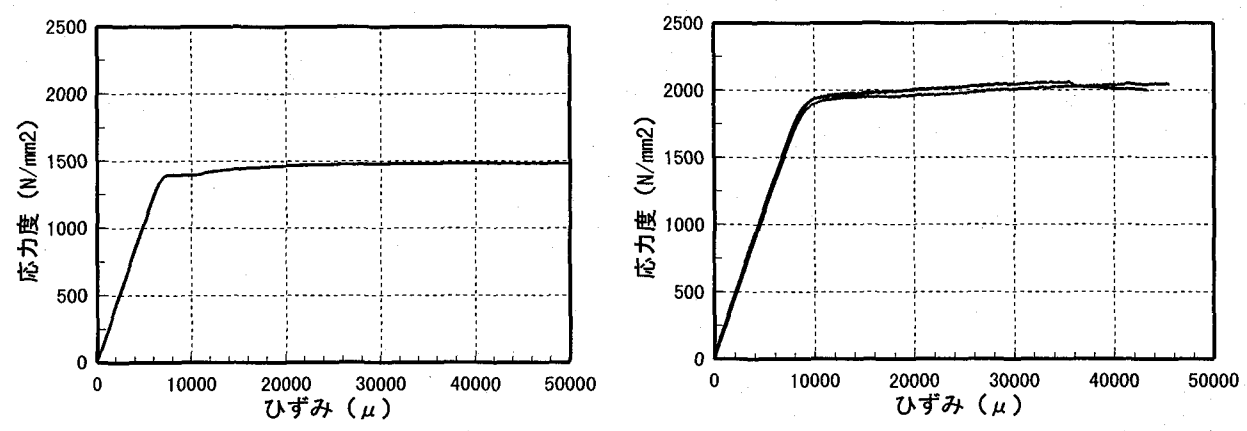


(a) PC鋼棒を帯筋に使用した場合



(b) PC鋼より線を帯筋に使用した場合

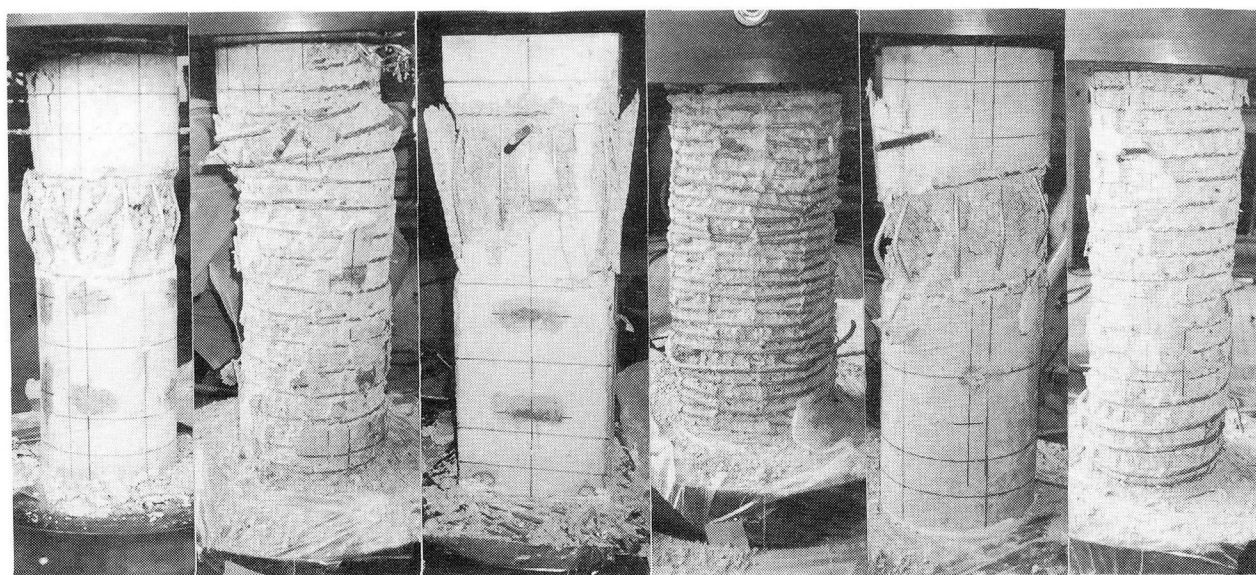
図-1 代表的供試体の帯筋配置図



(a) PC鋼棒の応力度～ひずみ関係

(b) PC鋼より線の応力度～ひずみ関係

図-2 PC鋼棒およびPC鋼より線の応力度～ひずみ関係



(a) A-4

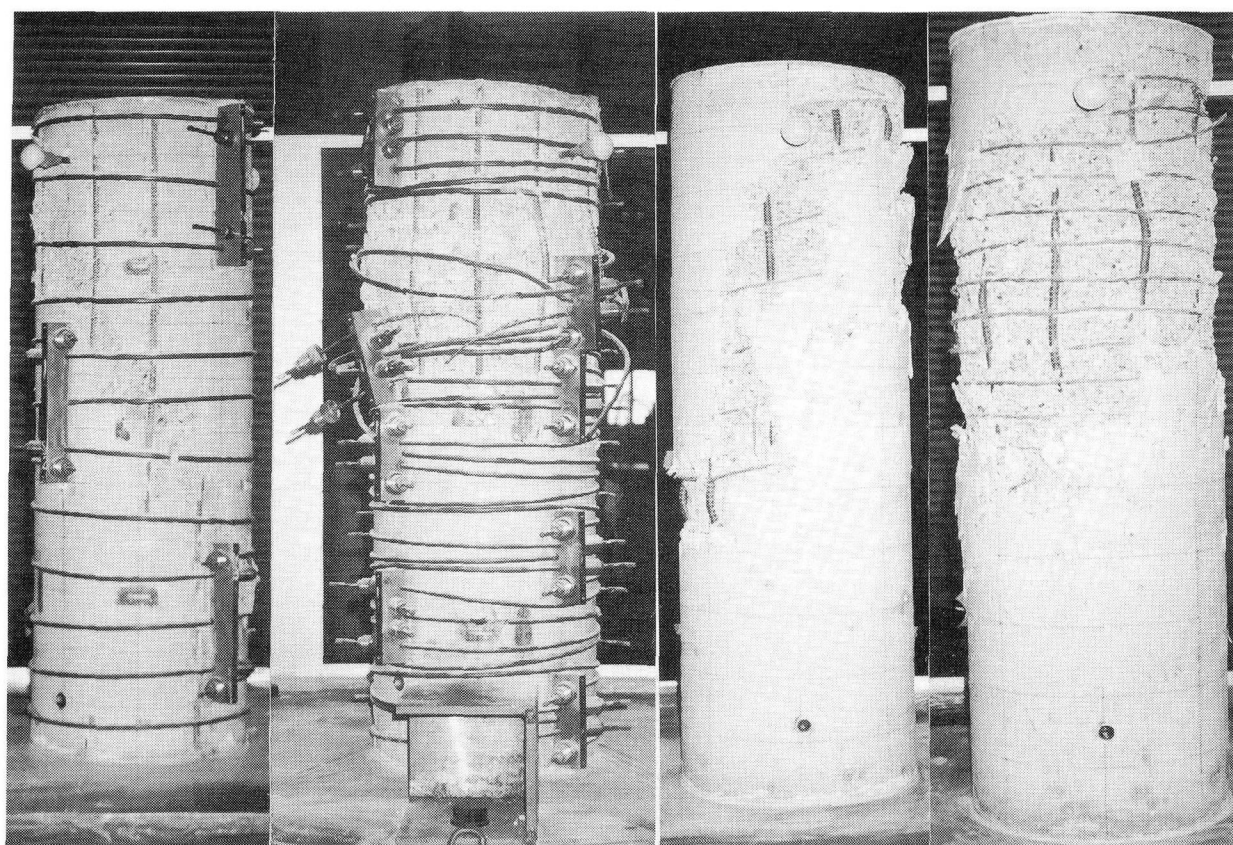
(b) A-8

(c) C-2

(d) C-9

(e) B-1

(f) B-4



(g) D-2

(h) D-6

(i) E-1

(j) E-2

写真 - 1 代表的供試体の試験終了時の破壊状況

コンクリートには、早強ポルトランドセメントを使用し、呼び強度は $27\text{N}/\text{mm}^2$ 、またスランブは 8cm とした。粗骨材には最大寸法 7.5mm の豆砂利を使用した。なお、供試体は平成9年3月（A、BおよびCシリーズ）と平成9年5月（DおよびEシリーズ）に分けて製作した。

供試体には軸方向筋を配置し、面積比で 1% 程度になるようにした。これは、一般の橋脚に配置されているのと同程度である。

拘束コンクリート柱の圧縮載荷試験は、東京工業大学の 500tf 万能試験機（A、BおよびCシリーズ）と日本

大学理工学研究所の3,000tf大型構造物試験機（DおよびEシリーズ）を用いて行った。載荷は変位制御による単調一軸圧縮とし、載荷速度は、A、BおよびCシリーズでは毎分1.0mm、DおよびEシリーズでは毎分0.2mmとした。実験では、荷重、変位、コンクリートおよび帯筋のひずみを計測した。供試体の軸方向ひずみは、上下面間の相対変位を全高で除して算出した。供試体の軸方向応力度は、載荷荷重を実験前の供試体の断面積で除して算出した。供試体と試験機載荷板との隙間の影響を少なくするために、両者の間に石膏を入れた。

3. 横拘束したコンクリート柱の破壊状況

写真-1に各シリーズの代表的な供試体の破壊状況を示す。(a)～(f)は帯筋にPC鋼棒を使用した供試体であり、このうち(a)、(b)はAシリーズを、(c)、(d)はCシリーズを、(e)、(f)はBシリーズを示す。(g)～(j)は帯筋にPC鋼より線を使用した供試体で、(g)、(h)はDシリーズを、(i)、(j)はEシリーズを示す。

帯筋にPC鋼棒を使用した供試体においてA-2～A-4（円形断面）およびC-2～C-4（正方形断面）のように帯筋比が比較的小さい場合と、A-5～A-9（円形断面）およびC-5～C-9（正方形断面）のように比較的大きい場合に分けて結果を示すと以下のようになる。

(1) 帯筋比が0.38～0.56%と比較的小さい場合

コンクリート柱に圧縮荷重を作用させていくと、圧縮荷重が最大値に達するまで損傷や、コンクリートの表面ひび割れ、かぶりコンクリートの剥離等コンクリートに目立った変化は外観上見られなかった。圧縮荷重が最大値に達した後、写真-1(a)、(c)に見られるように一部の帯筋と帯筋の間で軸方向筋が座屈し、コンクリートが急速に破壊した。この破壊形態は正方形断面（写真-1(c)）の場合にも同様であり、帯筋をスパイラル状に配置した供試体（写真-1(e)）でも同様な傾向であった。

(2) 帯筋比が0.86～3.33%と比較的大きい場合

コンクリート柱に圧縮荷重を作用させていくと、圧縮荷重が最大値に達するまでに、コンクリートの表面がひび割れ、かぶりコンクリートが剥離した。その後、圧縮荷重が増加すると写真-1(b)、(d)のように複数箇所あるいは供試体全体に渡って、帯筋と帯筋の間で軸方向筋が座屈しコンクリートが破壊した。また、特に帯筋比大きい写真-1(b)の場合（ $\rho_s=2.29\%$ ）はPC鋼棒の破断によって急速に破壊したり、コアコンクリートまでぼろぼろになった供試体があった。このような破壊形態は正方形断面（写真-1(d)）の場合にも同様であり、帯筋をスパイラル状に配置した場合（写真-1(f)）でも同様な傾向であった。

帯筋にPC鋼より線を使用した供試体において、帯筋

を帯状に配置した供試体（D-2～D-6）の場合と帯筋をスパイラル状に配置した供試体（E-1～E-3）の場合に分けて整理すると以下になる。

(1) 帯筋を帯状に配置した供試体

コンクリート柱に圧縮荷重を作用させていくと、どの供試体においても圧縮荷重が最大値に達するまで損傷や、コンクリートの表面ひび割れ、コンクリートの剥離等コンクリートに目立った変化は外観上見られなかった。帯筋比が0.20%の供試体（D-2）では圧縮荷重が最大値に達した後、軸方向筋の座屈にともない急速に耐力が低下し破壊に至った。帯筋比が0.30～0.57%の供試体（D-3～D-6）では、圧縮荷重が最大値に達した後、D-2供試体と同様に軸方向筋の座屈は見られたが、D-2供試体のように荷重は急速には低下しなかった。その後、コンクリートに破壊が生じ、軸方向筋の座屈が進行するとともに段階的に軸方向筋上に帯筋が滑り始めた。これ以降、急速に耐力が低下し始め、写真-1(h)のようにやがて帯筋が破断して最終的な破壊に至った。

(2) 帯筋をスパイラル状に配置した供試体

コンクリート柱に圧縮荷重を作用させていくと、圧縮荷重が最大値に達するまでに、コンクリートの表面がひび割れ、かぶりコンクリートが剥離した。圧縮荷重が最大値に達した後、軸方向筋の座屈にともないコンクリートが剥落し始め、写真-1(i)、(j)のように帯筋が破断すると同時に急速に破壊した。

帯筋にPC鋼より線を使用した供試体では、いずれの供試体においても上部から下部に向かって斜めに破壊面ができるせん断破壊が生じた。

4. 横拘束したコンクリート柱の軸方向応力度～軸方向ひずみの関係

図-3は帯筋にPC鋼棒を使用した供試体に対する結果であり、(a)は円形断面（Aシリーズ）を、(b)は正方形断面（Cシリーズ）に対する結果で、両者とも無補強供試体（A-1、C-1）の結果も示している。

(c)は、帯筋をスパイラル状に配置した供試体（Bシリーズ）に対する結果で、同じ帯筋比を有するAシリーズの結果も比較のために示している。図-4は帯筋にPC鋼より線を使用した供試体に対する結果であり、(a)はDシリーズ、(b)はEシリーズに対する結果を示している。(b)には同じ帯筋比を有するDシリーズの結果も比較のために示している。

無補強供試体の場合には、円形断面（A-1、D-1）、正方形断面（C-1）ともに、コンクリートの軸方向ひずみが2,300～2,500 μ 付近で最大圧縮応力度 f_{cc} に達し、その後、軸方向ひずみの増加とともに急速に軸方向応力度は低下する。

帯筋にPC鋼棒を使用した供試体において、軸方向応力度～軸方向ひずみの関係を、A-2～A-4（円形断

面) およびC-2~C-4 (正方形断面) のように帯筋比が比較的小さい場合と、A-5~A-9 (円形断面) およびC-5~C-9 (正方形断面) のように比較的大きい場合に分けて整理すると以下になる。

(1) 帯筋比が0.38~0.56%と比較的小さい場合
円形断面 (A-2~A-4)、正方形断面 (C-2~C-4) とともに、最大圧縮応力度 f_{cc} は20~27N/mm²、これが生じる時の軸方向ひずみ ϵ_{cc} は2,600~3,100 μ である。これらに対しては、断面形状および帯筋比の違いによる影響は顕著には現れていない。

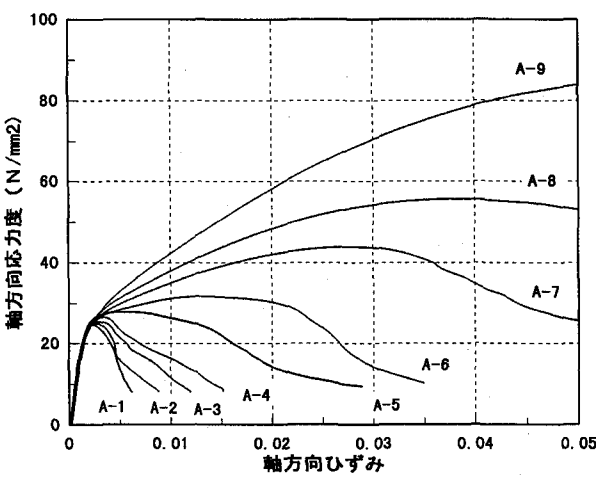
しかし、最大圧縮応力度以後の下降勾配は帯筋比の増加につれて緩やかになり、また終局時のひずみも帯筋比が大きくなるにつれて増加する。このような傾向は、正方形断面より円形断面の方が顕著であり、円形断面の方が正方形断面よりも拘束効果が大きいことがわかる。

このように、 f_{cc} や ϵ_{cc} に対しては帯筋比が増加してもその効果があまり現れてこないが、下降勾配に対しては帯筋比の効果が現れてくる。これは、帯筋比が0.38~0.56%と比較的小さい場合には、応力上昇域ではP C鋼棒による横拘束力がまだ小さく、P C鋼棒の横拘束効果が顕著に現れていないためと考えられる。その後、コンクリートが最大圧縮応力度に達して周方向に膨張し始め、P C鋼棒による拘束力が大きくなり、横拘束効果が現れてくると同時に、供試体の形状による影響も次第にはっきり現れるようになってくると考えられる。

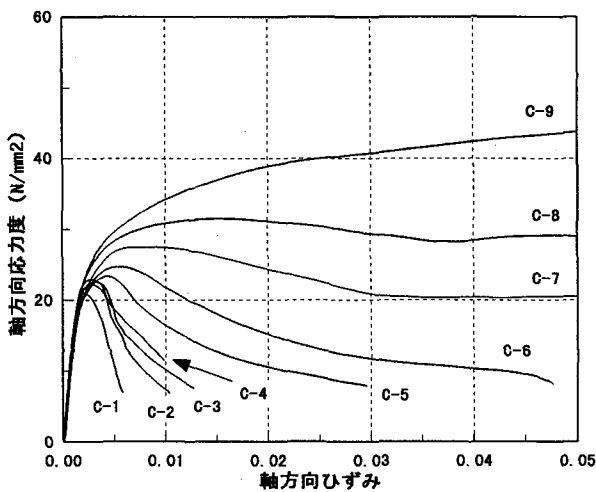
(2) 帯筋比が0.86~3.33%と比較的大きい場合
円形断面 (A-5~A-9)、正方形断面 (C-5~C-9) とともに、コンクリートの軸方向ひずみが2,300~2,500 μ 程度に達しても、軸方向応力度は、無補強供試体や帯筋比が0.38~0.56%程度と比較的小さい場合のように低下することではなく、軸方向応力度は軸方向ひずみの増加とともに上昇し続ける。

上述した帯筋比が比較的小さい場合とは異なり、この場合には、拘束効果に及ぼす断面形状の影響がはっきり現れている。例えば、円形断面供試体 (A-8) の場合を見てみると、最初は無補強供試体 (A-1) とほぼ同じ 1.6×10^4 N/mm² 程度の初期剛性で軸方向応力度は上昇するが、コンクリートの軸方向ひずみが約2,500 μ に達すると、軸方向応力度の上昇勾配は緩やかとなり、コンクリートの軸方向ひずみが約4,000 μ に達すると、軸方向応力度の上昇勾配は約 1.3×10^4 N/mm² 程度になる。その後、ほぼこの上昇勾配で軸方向応力度は上昇し続け、やがて軸方向応力度は最大となる。この時のコンクリートの軸方向応力度は56.6N/mm²であり、軸方向ひずみは38,900 μ である。

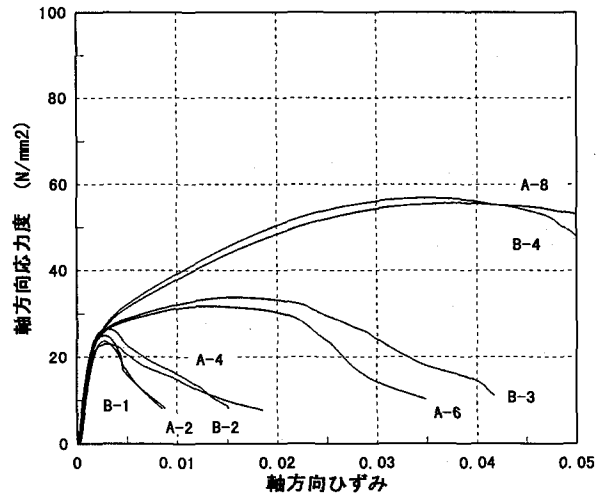
一方、正方形断面供試体 (C-8) の場合は、円形断面供試体 (A-8) の場合と同様に、最初は無補強供試体 (C-1) とほぼ同じ 1.4×10^4 N/mm² 程度の初期剛性で軸方向応力度は上昇するが、コンクリートの軸方向ひずみが約2,500 μ に達すると、軸方向応力度の上昇勾配



(a) 円形断面の場合 (Aシリーズ)



(b) 正方形断面の場合 (Cシリーズ)



(c) 帯筋の配置状況による相違 (Bシリーズ)
(同じ帯筋比を有するAシリーズの結果も示す。)

図-3 帯筋にP C鋼棒を使用した場合の
コンクリートの軸方向応力度~軸方向ひずみの関係

は緩やかとなり、コンクリートの軸方向ひずみが約8,000 μ に達すると、軸方向応力度の上昇勾配は約 $1.7 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$ とほぼ水平に近くなる。やがて軸方向応力度は最大なるが、この時のコンクリートの軸方向応力度は31.5N/mm²であり、軸方向ひずみは15,533 μ であった。これは、上述した円形断面供試体の軸方向応力度やその時の軸方向ひずみと比較すると、それぞれ43%、60%程度小さい。

以上のことから、帯筋比が同じであっても、円形断面の方が正方形断面よりPC鋼棒による拘束効果が大きいと考えられる。

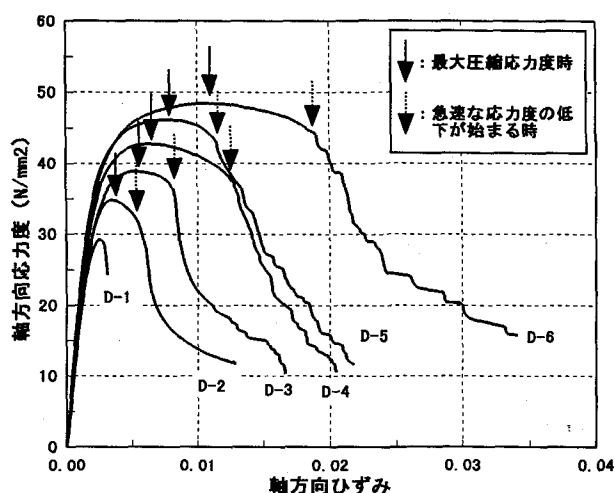
図-3(c)より、帯筋を带状とした供試体とスパイラル状とした供試体の軸方向応力度～軸方向ひずみ関係にはほとんど違いは認められず、帯筋が带状であってもスパイラル状であっても拘束効果に与える影響は小さいと考えられる。

図-4は帯筋としてPC鋼より線を使用した供試体に対する結果である。(a)はDシリーズ(プレストレスを導入した場合)に対する結果で、無補強供試体(D-1)の結果も示している。(b)はEシリーズ(プレストレスを導入していない場合)に対する結果を示している。(b)には、プレストレスが拘束効果に与える影響を検討するため、同じ帯筋比を有するDシリーズの結果も比較のために示している。

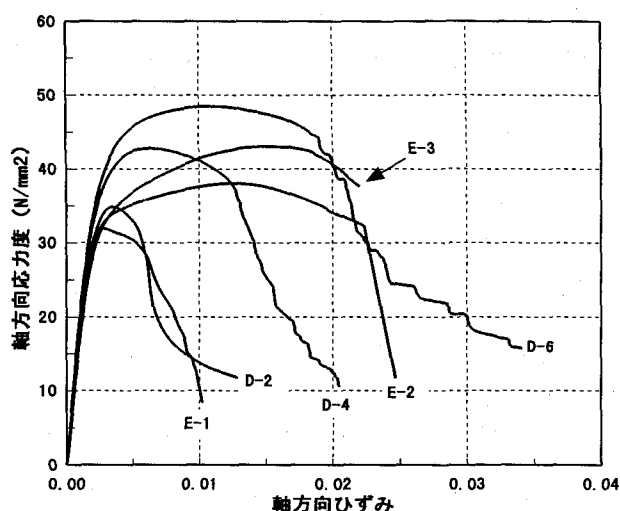
Dシリーズの無補強供試体(D-1)では、軸方向ひずみが約2,500 μ で最大圧縮応力度となり、その後急速に軸方向応力度は低下する。帯筋比を大きくすると、コンクリートの最大圧縮応力度およびこの時の軸方向ひずみとも大きくなる(図-4(a)中の実線矢印の位置)。最大圧縮応力度に達した後、軸方向ひずみの増加にともなって軸方向応力度は低下するが、この割合は帯筋比が大きい程小さくなる。さらに軸方向ひずみが増加し、軸方向筋の座屈が大きくなる。コンクリートの破壊およびPC鋼より線の破断をともなう破壊による軸方向応力度の急速な低下が始まる時の軸方向ひずみをコンクリート柱の終局ひずみと考えると、帯筋比が大きくなる程このひずみは増加した。(図-4(a)中の破線矢印の位置)

例えば、D-2供試体(帯筋比0.20%)では、最初は無補強供試体(D-1)とほぼ同じ $1.9 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 程度の初期剛性で軸方向応力度は上昇し、軸方向ひずみが3,525 μ で最大圧縮応力度の34.9N/mm²となる。この時のひずみは無補強供試体の1.43倍であり、応力度は1.19倍である。その後、軸方向応力度の下降勾配は $1.6 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ と無補強供試体の下降勾配より緩やかになるが、軸方向ひずみが5,371 μ に達すると軸方向応力度は急速に低下する。

一方、D-2供試体に比べて2.8倍の帯筋比を有するD-6供試体(帯筋比0.57%)では、最初は無補強供試体とほぼ同じ $1.9 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 程度の初期剛性で軸方向応力度は上昇し、軸方向ひずみが10,921 μ で48.5N/mm²の最大圧縮応力度となる。このひずみはD-2供試体の3.



(a) 帯筋を带状に配置した場合 (Dシリーズ)



(b) 帯筋をスパイラル状に配置した場合 (Eシリーズ)
(同じ帯筋比を有するDシリーズの結果も示す。)

図-4 帯筋にPC鋼より線を使用した場合の
コンクリートの軸方向応力度～軸方向ひずみの関係

10倍であり、応力度は1.39倍である。その後、軸方向応力度の下降勾配は $5.4 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$ とD-2供試体の下降勾配より緩やかになり、軸方向ひずみが18,988 μ に達すると軸方向応力度は急速に低下する。

図-4(b)より、プレストレスを導入していない場合の結果と比較すると、いずれの供試体においてもプレストレスを導入した場合(Dシリーズ)の方が、プレストレスを導入していない場合(Eシリーズ)よりも、最大圧縮応力度は10%程度大きくなっている。ただし、軸方向応力度が最大値となる付近では、プレストレスを導入した場合よりも導入しない場合の方が、あるひずみ範囲にわたって軸方向応力度がほぼ同じ値となっている。

例えば、帯筋比を0.37%(E-2)、0.57%(E-3)とした場合には、ともに、軸方向ひずみが20,000 μ もの大きさまで、軸方向応力度はそれぞれ35N/mm²、40N/mm²

あたりで安定している。

以上のことより、帯筋比が増加すれば最大圧縮応力度に達した以降の下降勾配は緩やかになり、軸方向応力度が急速に低下する時の軸方向ひずみも増加する。さらに、帯筋比が増加すれば最大圧縮応力度は増大し、その時の軸方向ひずみも増加する。また、帯筋比が同じであっても、プレストレスを導入することにより、同じ軸方向ひずみに対する軸方向応力度は大きくなる。ただし、プレストレスを導入していない場合の方が、軸方向応力度が最大値となる付近でほぼ一様となる安定したひずみ範囲が大きくなる。

6. 結論

PC鋼棒およびPC鋼より線による横拘束効果を把握するために、PC鋼棒およびPC鋼より線で補強した直径または辺長200mmで高さ600mmの円形断面および正方形断面供試体、PC鋼より線で補強した直径400mmで高さ1,200mmの円形断面供試体を用いた一軸圧縮試験を行い、帯筋比が増加した場合のコンクリート柱の軸方向応力度～軸方向ひずみの関係を求めた。本実験の範囲で得られた結論は以下の通りである。

(1) PC鋼棒による横拘束効果

a) 帯筋比が0.38～0.56%と比較的小さい場合には、PC鋼棒によるコンクリートの横拘束効果の特徴は、以下の通りである。

①この範囲で帯筋比が増加しても、コンクリートの最大圧縮応力度は $20\sim 27\text{N/mm}^2$ であまり変化しない。また、この値は無補強供試体の場合と比較してもあまり増加していない。

②この範囲で帯筋比が増加しても、コンクリートが最大圧縮応力度に達する時の軸方向ひずみは $2,600\sim 3,100\mu$ であまり変化しない。この値は無補強供試体と比較してもあまり変わらない。

③この範囲で帯筋比が増加すると、コンクリートが最大圧縮応力度に達した後の下降勾配は緩やかになり、終局ひずみを増加させる。このような傾向は正方形断面より円形断面の方が顕著である。

b) 帯筋比が0.86～3.33%と比較的大きい場合には、この範囲で帯筋比が増加すると、無補強供試体や上述の帯筋比が0.38～0.56%と比較的小さい場合の拘束コンクリートのように、 $2,300\sim 2,500\mu$ の軸方向ひずみでコンクリートが最大圧縮応力度に達し、その後、下降域に入っていくのではなく、コンクリートの軸方向応力度は軸方向ひずみの増加とともに単調に増加する。この増加割合は帯筋比が大きいほど大きく、また、円形断面の方が正方形断面に比べて大きい。

(2) PC鋼より線による横拘束効果

a) 帯筋比が増加すれば最大圧縮応力度に達した後の下降勾配は緩やかになり、軸方向応力度が急速に低下し始める軸方向ひずみも増加する。

b) 帯筋比が増加すれば最大圧縮応力度は増大し、その時の軸方向ひずみも増加する。

c) 帯筋比が同じであれば、PC鋼より線を緊張、定着し、コンクリート柱にプレストレスを導入することにより、同一軸方向ひずみに対する軸方向応力度は大きくなる。

d) 帯筋比が同じであれば、プレストレスを導入しない方が、軸方向応力度が最大値付近でほぼ一様となる安定したひずみ範囲は大きくなる。

謝辞

本研究に際しまして、実験供試体制作時に材料の御提供を頂きました高周波熱錬(株)の溝口茂氏、神鋼鋼線工業(株)の荒木毅氏また、実験に際して大変有益な御意見を賜りました、東京工業大学研究生の細谷学氏(大成建設(株))に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会,「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」の準用に関する参考資料(案),平成7年6月
- 2) 首都高速道路公団保全施設部,既設RC橋脚の耐震性向上設計要領(案),平成7年11月
- 3) 吉岡民夫,廣瀬茂,手塚正道,長瀧重義:帯筋に細径異形PC鋼棒を用いたコンファインドコンクリートの特性,土木学会第51回年次学術講演会,V-513,pp.1,024-1,025,平成8年9月
- 4) 星隈順一,川島一彦,長屋和宏:鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査に用いるコンクリートの応力-ひずみ関係,土木学会論文集,No.520/V-28,pp.1-11,1995.8
- 5) 細谷学,川島一彦,星隈順一:炭素繊維シートで横拘束されたコンクリート柱の応力度-ひずみ関係,東京工業大学地震工学研究グループ報告書,TIT/EERG96-2,1996年8月

(1997年9月26日受付)