

## (24) フープ筋プレストレスによるRC短柱の拘束効果に関する実験的研究

関東学院大学 榎谷研究室 正会員 ○ 渡部 洋  
 同大学 工学部教授 榎谷栄次  
 同大学 榎谷研究室 伊藤嘉則

### 1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート造建物の高層化にともない、部材強度の向上に対する要求が高まっている。部材強度を高める方法の一つにプレストレスの部材を用いる方法がある。プレストレスコンクリートの研究は、主筋の軸方向にプレストレスを与えた梁に関する実験、研究に主眼が置かれている現状にあり、プレストレスコンクリート柱材に関する研究が十分なされているとは言い難い。

また、1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災により得られた知見をもとに、数多くの既設RC橋脚に対する補強が実施されている。耐震補強の主な方法としては、鋼板巻きやFRP板の貼付による補強工法等が多くのRC部材に適用・研究されている。だがこの方法では、地中などでの湿潤状態での耐久性や確実性に課題が残り、RC部材であったものを鋼板などで覆うことは設計者の意図したデザインからずれ、景観も変わってしまうことになる。RC部材にコンクリート打増を行って補強する方法を発展させた工法としてもプレストレスコンクリート柱材は期待できるのではないかと筆者は考えた。

本報告は筆者の考案する、プレストレスを柱軸直交方向にヤキブタ状に締め付けることで付加（ここでは導入とは呼ばない）する柱の強度、靱性への拘束効果の研究を目的とした。開発したフープ筋へのプレストレス付加方法を用いてプレストレス付加した試験体とプレストレス付加しない試験体を実際に製作し、圧縮試験を行い、その結果の比較検討を行った。

### 2. 実験概要

#### 2-1 圧縮試験概要

試験体は、総数17体の角型柱状試験体を計画した。主な変動因子は、フープ筋への緊張力（プレ

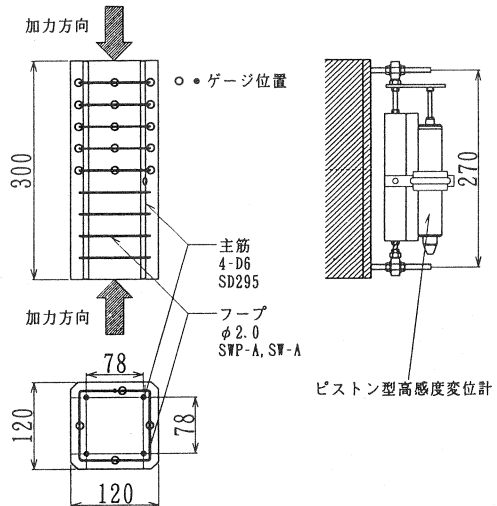


図1 試験体配筋詳細  
(フープ@30mmピッチ)

図2 測定方法

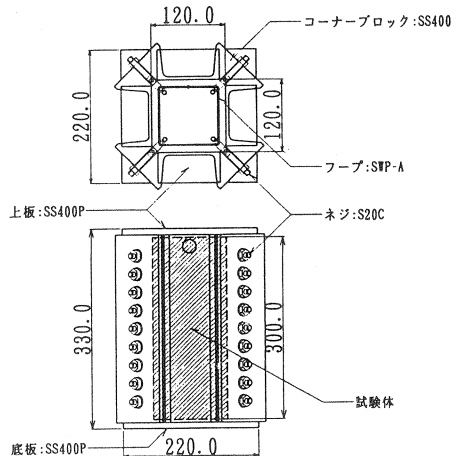


図3 プレストレス付加装置

表1 コンクリート調合

コンクリート種類	砂	セメント	水	水セメント比	AE減水剤
モルタル (単独ポルトランドセメント)	90 kg	30kg	15kg	50%	360g

付加)の有無、フープの量(φ30mm・φ60mm・φ90mm・φ120mm ピッチの4種類)、フープ筋の材質(硬鋼線材:SW-A・ピアノ線材:SWP-Aの2種類)とした。主な共通因子は、主筋量(D6を4本配筋)、主筋の降伏強度(383N/mm<sup>2</sup>)、フープ筋の形状(溶接閉鎖角型、寸法96mm×96mm)及び径(φ2.0mm)を一定とした。比較のため17体の試験体中プレーンコンクリート試験体を4体、主筋のみの試験体を1体計画した。養生方法は材齢3日目まで湿潤養生、以後圧縮試験までの期間は水中養生とした。試験体配筋詳細を図1、コンクリート調合を表1、使用鉄筋の材料性状を表2、試験体名一覧を表3に示す。圧縮試験は、2MN 万能試験機を使用し一軸単調中心圧縮荷重を行なった。柱の軸方向ひずみは図2の位置に取り付けた変位計により、主筋及びフープ筋のひずみは図1に示す位置に貼付したひずみゲージにより測定した。

表2 鉄筋材料性状

鉄筋種類	降伏ひずみ(%)	降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数(×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )
D6	0.222	383.0	565.5	206.9
SWP-A*	1.067	1790	1960	206.9
SWP-A(溶接部)*	0.866	1390	1640	206.9
SW-A*	0.800	1250	1520	206.9
SW-A(溶接部)*	0.788	1210	1350	206.9

#0.296off set

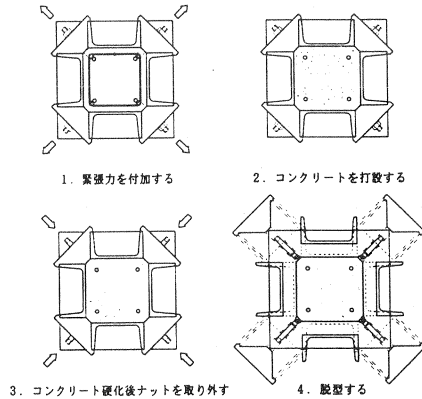


図4 プレテンション説明

2-2 プレストレス付加概要

フープ筋へのプレストレスは、図3の装置を使用し付加した。プレストレスの与え方は打設前に初張力を付加するプレテンション工法(図4)を採用している。初張力は図3のプレストレス付加装置の4隅のネジをナットで締め込む事(締め付け手順は図5に示す)で付加し、プレストレス付加は4隅のナットをゆるめる事で与える。各試験体フープへの初張力(ひずみ×ヤング係数)は、図1のフープに貼付したひずみゲージ(圧縮試験時にも測定用として使用)によりひずみを測定し、フープ筋(SWP-A)の降伏ひずみ以下(0.8%以下)で4辺ほぼ均一の値になるように、角度法により管理しながら付加した。プレストレス付加時期は、コンクリートの材齢3日目である。フープの溶接方法はバット溶接後焼鈍(430℃)を行なった。初張力は3.6kN程度である(表4)。なお、実験時(材齢10日目)の有効な緊張力は初張力の80%程度であることを圧縮実験前に行なった予備試験により確認した。

4隅のネジを同時に締める(締め付ける角度により調整)

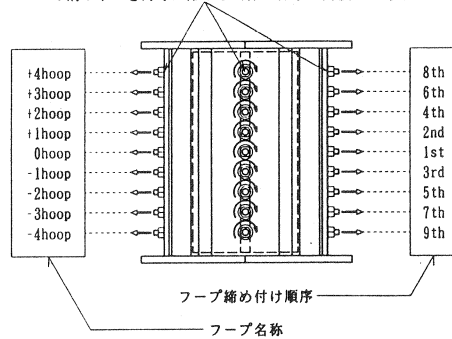


図5 プレストレス付加手順

3. 実験結果

試験結果一覧を表5に、圧縮試験の応力-ひずみ曲線を図6に示す。ひずみは軸方向ひずみ、応力は全荷重より主筋の負担分を差し引いたコンクリート負担軸力をコンクリートの断面積で除して求めた。

表3 試験体一覧

N.O.	シリーズ名	試験体名	主筋		フープ筋		試験体高さ	試験体断面	プレストレス付加の有無
			材質	配筋	材質	間隔			
1	φ120mm ピッチ	12-PW-P1	SD-295	4-D6	SWP-A	φ120mm	300mm  120mm × 120mm	有り	
2		12-PW-P0	SD-295	4-D6	SW-A				
3		12-SW-P0	-	-	-				無し
4		12-PLAIN	-	-	-				
5	φ90mm ピッチ	M4	SD-295	4-D6	-			有り	
6		9-PW-P1	SD-295	4-D6	SWP-A	φ90mm			
7		9-PW-P0	SD-295	4-D6	SW-A				
8		9-SW-P0	-	-	-				無し
9	9-PLAIN	-	-	-					
10	φ60mm ピッチ	6-PW-P1	SD-295	4-D6	SWP-A	φ60mm		有り	
11		6-PW-P0	SD-295	4-D6	SW-A				
12		6-SW-P0	-	-	-				無し
13		6-PLAIN	-	-	-				
14	φ30mm ピッチ	3-PW-P1	SD-295	4-D6	SWP-A	φ30mm		有り	
15		3-PW-P0	SD-295	4-D6	SW-A				
16		3-SW-P0	-	-	-				無し
17		3-PLAIN	-	-	-				

表4 フープ緊張力

試験体名	フープ筋名称 (高さ方向位置)	ひずみ (%)	初張力付加時応力 (N/mm <sup>2</sup> )	初張力 (kN)	圧縮試験時 緊張力 (kN)
12-PW-P1	+4hoop	5624	1150	3.46	2.78
	0hoop	5296	1090	3.27	2.62
	+3hoop	5446	1120	3.37	2.69
9-PW-P1	0hoop	5256	1080	3.25	2.60
	+4hoop	6319	1300	3.91	3.12
	+2hoop	6204	1280	3.83	3.07
6-PW-P1	0hoop	6846	1410	4.23	3.38
	+4hoop	6227	1280	3.85	3.08
	+3hoop	5926	1220	3.66	2.93
3-PW-P1	+2hoop	6264	1290	3.87	3.10
	+1hoop	6139	1260	3.79	3.04
	0hoop	6506	1340	4.02	3.22

表5 試験結果一覧

試験体名	最大荷重 (kN)	最大応力 (N/mm <sup>2</sup> )	最大応力時 軸ひずみ (%)	コンクリート		
				ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
12-PW-P1	400.80	38.7	0.06	27.9	36.1	2.1
12-PW-P0	288.76	28.4	0.60			
12-SW-P0	353.12	33.6	0.29			
12-PLAIN	298.88	21.0	0.51	28.9	38.7	2.1
M4	335.84	20.4	0.04			
9-PW-P1	408.32	39.5	0.10			
9-PW-P0	273.14	27.5	0.27	28.7	38.0	2.3
9-SW-P0	338.72	34.1	0.13			
9-PLAIN	383.20	27.0	0.10			
6-PW-P1	490.70	48.6	0.13	26.9	33.6	2.3
6-PW-P0	415.62	40.3	0.25			
6-SW-P0	447.50	43.8	0.22			
6-PLAIN	364.10	25.6	0.19	26.9	33.6	2.3
3-PW-P1	461.10	45.3	0.23			
3-PW-P0	378.38	36.0	0.16			
3-SW-P0	405.96	39.5	0.21	26.9	33.6	2.3
3-PLAIN	331.96	23.4	0.24			

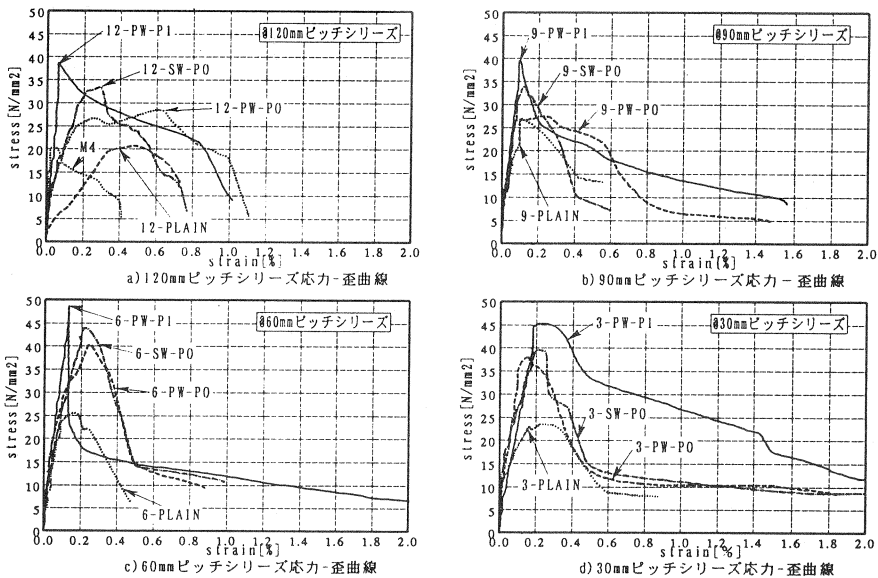


図6 応力-ひずみ曲線

ただしコンクリート断面積は、主筋ひずみの降伏ひずみ以前は全断面積を取るが、主筋ひずみが降伏ひずみ以後は、コアコンクリート断面積を取った。各試験体の最大応力を同シリーズ中のプレーンコンクリート最大応力で除した値  $\sigma_{CC}/\sigma_C$  とフープ筋間隔の関係を図7に、プレストレス付加有り試験体とプレストレス付加無し試験体の最大応力の比  $\sigma_{CCP1}/\sigma_{CCP0}$  とフープ筋間隔の関係を図8に示す。また、3-PW-P1の試験体の最終破壊形状を写真1に示す。表4に各フープの緊張力を示す。

#### 4. 実験結果に対する考察

図6より、各試験体最大応力時のひずみはプレーンコンクリート最大応力時のひずみ(0.2%)とほ

ぼ同等である。@30 mmピッチのフープ筋にプレストレスを付加した試験体は高いひずみの領域(1.3%)までプレーンコンクリート最大応力に匹敵する応力に抵抗する。これは、フープ筋でプレストレスをコンクリートに付加した分の拘束効果による靱性改善である。

図7より各シリーズ中でプレストレスを付加した試験体の圧縮強度が上昇し、@30 mm~@90 mmピッチにおいてフープ筋の量が増える(フープ筋の間隔が狭くなる)につれて強度が上昇していることがわかる。また、図8よりプレストレスを付加する事により圧縮強度が、プレストレスを付加しない試験体の圧縮強度の20~40%向上している事が示唆される。今回プレストレスを付加したことによる圧縮強

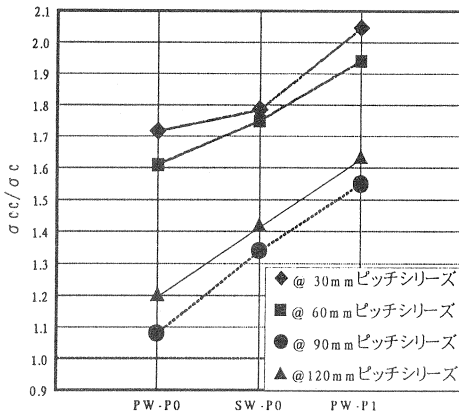


図7  $\sigma_{CC}/\sigma_C$ とフープ筋間隔の関係

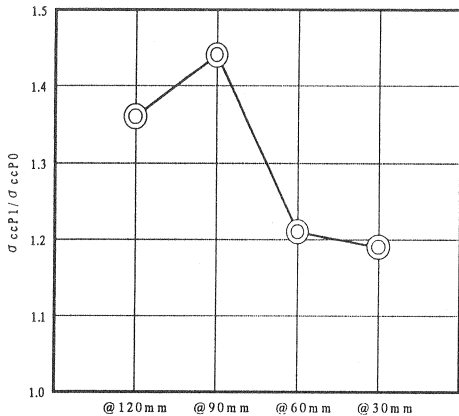


図8  $\sigma_{CCP1}/\sigma_{CCP0}$ とフープ筋間隔の関係

度の増分は、プレストレスを付加しないフープ筋の拘束効果による圧縮強度の増分にほぼ匹敵した。

フープ筋による圧縮強度の向上の割合とフープ筋の間隔との関係については、今後プレストレスの付加量等を変動因子とした実験で検討されるべきであると考えている。破壊経過は、プレストレスを付加しない試験体は主筋の軸方向に亀裂が入る傾向にあるが、プレストレスを付加した試験体では、主筋の軸方向に直交する方向(主にフープ筋沿い)に亀裂が発生する傾向にある。

また、写真1での破壊形状は、特異な形状(うろこ状の破壊)が生じている。このような破壊形態は、プレストレス付加無し試験体では見られなかった。これは、コアコンクリート部分の圧縮強度は上昇し

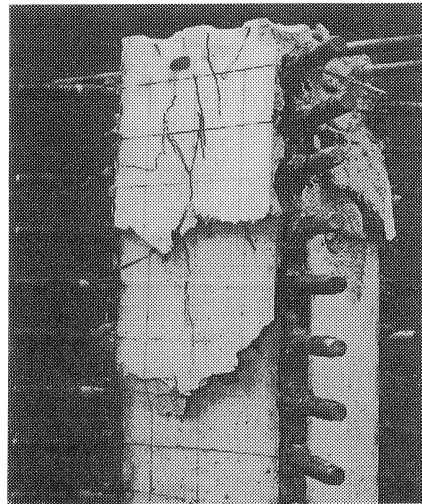


写真1 最終破壊性状(3-PW-P1)

ているが、かぶりコンクリート部分はプレストレスによる拘束力が作用せず通常のプレーンコンクリートの圧縮強度で、コアコンクリート部分圧壊前に破壊するため起こる現象であると推測される。今後確認のための追加実験で解明されるべき現象である。

### 5. まとめ

フープ筋によりプレストレスを軸直交方向に付加した RC 短柱の圧縮試験から、以下の事が示唆される。

- ① RC 柱材のフープ筋にプレストレスを付加する事によって、コアコンクリート部の圧縮強度を高める事が出来る。
- ② RC 柱材のフープ筋にプレストレスを付加した際、フープ筋の増加に伴い圧縮強度の向上が図れる。
- ③ RC 柱材のフープ筋にプレストレスを付加した際の圧縮破壊は特異な形状(うろこ状の破壊)が生じる。

### 参考文献

- 1) (社) 日本建築学会、Standard for Structural Design and Construction of Prestressed Concrete Structures, pp1-75, 1987
- 2) (社) プレストレストコンクリート建設業協会、プレストレストコンクリート建築マニュアル, pp23-42, 1983