

緊張力を低減した異形 PC 鋼棒を用いた プレキャスト PC 柱の力学的性状に関する実験的研究

技術本部

技術部

福井剛

1. はじめに

本報告は、PC 鋼棒に異形鋼棒を用い、緊張力レベル (= 導入緊張力 P_o / 降伏荷重 P_y) を小さくすることにより、長期のコンクリート圧縮応力を緩和することができる PCaPC 柱のパイロット実験に関するものである。実験の目的は、せん断終局強度と軸力の関係、せん断補強筋の効果、緊張力レベルが低い曲げ部材の挙動を調べることである。

2. 実験概要

2.1 試験体および加力方法

試験体は、せん断耐力を調べる S シリーズと、曲げ性状を調べる B シリーズとからなっている。実験要因は、S シリーズではせん断補強筋比、軸力比、緊張力レベル、B シリーズでは軸力比とした。表-1 に試験体諸元を示す。図-1 に各試験体の配筋図を示す。B シリーズ試験体に用いた D16 はねじ鉄筋焼き入れして B 種相当まで降伏強度を高めたものである。表-2 にコンクリート、目地モルタル、グラウトの材料試験結果、表-3 にせん断補強筋、軸方向筋、PC 鋼棒の材料試験結果を示す。

加力は地震時の柱の応力状態を再現する逆対称荷重とし、水平荷重(せん断力 Q)および鉛直荷重(軸方向力 N)は 2000kN 串型ジャッキを用いて載荷した。水平荷重の載荷ルールは、部材角 $R = 1/600$ の変位振幅で正負 1 回、 $1/300$ で正負 2 回繰り返した後、 $R = 1/150$ を基準部材角とし、その 1, 2, 3, 4, 6, 8 倍の変位振幅でそれぞれ正負 2 回繰り返した。

2.2 破壊過程及び最終破壊状況

試験体の最終破壊状況写真を写真-1 に、代表的な試験体の Q-R 関係を図-2 示す。破壊過程は以下の通りである。

S シリーズ S-4, S-5 は部材角 $1/600$ 、それ以外は $1/300$ で曲げひび割れが発生した。部材角 $1/150$ でせん断ひび割れが発生し、S-5 は部材角 $3/150$ 、その他は部材角 $2/150$ で最大荷重に達した。その後、S-1 は対角線方向にせん断ひび割れが開口し急激に耐力低下した。S-2 はせん断圧縮破壊し、S-3 は端部のコンクリートの圧壊により耐力低下した。S-4, S-5 はせん断ひび割れが開口し耐力低下に至った。最大耐力はせん断補強筋比の上昇に伴って上昇した。

B シリーズ 部材角 $1/600$ で曲げひび割れ、 $2/150$ で曲げせん断ひび割れが発生し、 $3/150$ で最大荷重に達した。いずれの試験体も PC 鋼棒は降伏し、最終的には端部のコンクリートの圧壊によって耐力低下したが、軸力比が $1/6$ の B-2 においても限界部材角は 3%以上となった。

表-1 試験体諸元

シリーズ	試験体名	緊張力レベル $P_o/(T_m)$	プレストレスレベル $P_o/(bDF_c)$	軸力比 $N/(bDF_c)$	$\eta_c + \eta_o$	せん断補強筋		シリーズ内の共通因子
						配筋	$\rho_w(\%)$	
S	S-1	0.35	0.153	0.167	0.320	2 - S6-@62.5	0.4	・せん断スパン比 $H/(2D) = 1.5$ ・PC鋼棒 材種=C種 本数-径=4-D22 ・シース #1034番
	S-2	0.35	0.153	0.167	0.320	2 - S6-@44	0.6	
	S-3	0.35	0.153	0.167	0.320	4 - S6-@44	1.2	
	S-4	0.175	0.077	0.167	0.244	2 - S6-@44	0.6	
	S-5	0.35	0.153	-0.067	0.086	2 - S6-@44	0.6	
B	B-1	0.35	0.069	0	0.069	2 - S6-@42	0.6	・せん断スパン比 $H/(2D) = 2.0$ ・PC鋼棒 材種=B種相当 本数-径=4-D16 ・シース #1028番
	B-2	0.35	0.069	0.167	0.236	2 - S6-@42	0.6	
	B-3	0.35	0.069	-0.067	0.002	2 - S6-@42	0.6	

【共通因子】 断面:幅 $b \times$ せい $D = 250\text{mm} \times 250\text{mm}$
 コンクリート呼び強度 $F_c = 60\text{MPa}$
 せん断補強筋の材種 = KSS785
 【記号】 N = 軸方向圧縮力 P_o = 有効緊張力
 T_{py} = PC鋼材の降伏荷重 D = 250mm
 ρ_w = せん断補強筋比

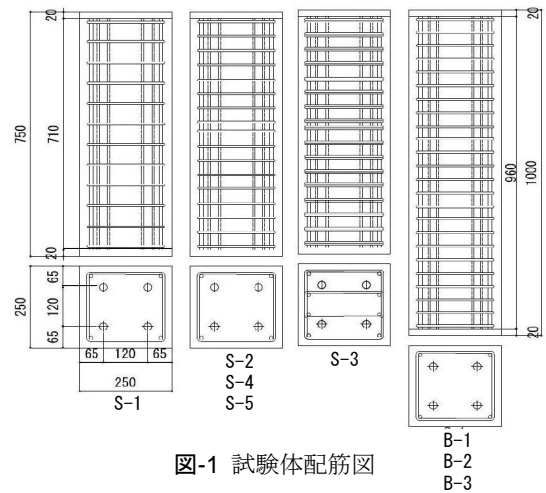


図-1 試験体配筋図

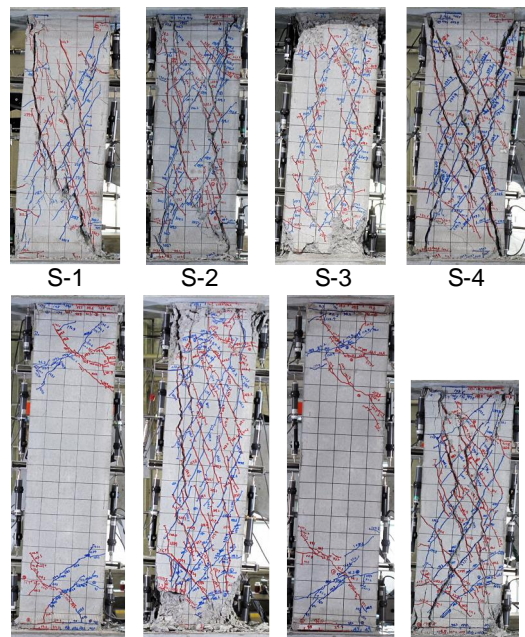


写真-1 最終破壊状況

2.3 諸限界値

表-4 に諸限界値の実験結果を示す。

3. 終局強度の評価

3.1 曲げ終局強度

ここでは PC 技術基準に掲載されている略算式を用いて曲げ終局強度を評価する手法について検討する。略算式を用いる場合、圧縮側の PC 鋼棒の張力を、①降伏強度とする方法、②有効緊張力とする方法の 2 種類がある。ここでは、PC 技術解説書の判定式(1)式を用いて、これを満たす場合は①の方法、そうでない場合は②の方法により耐力を評価した。表-5 に示す曲げ破壊した B シリーズにおいて計算精度は良好である。

$$q_{sp} + \eta_o < 0.5 \cdot \frac{d_p}{D} \quad \dots (1)$$

3.2 せん断終局強度

せん断終局強度は PC 技術基準式により算定した。同式はせん断補強筋の強度の適用範囲として 390N/mm² の上限が設定されている。また、圧縮軸力が大きくなるとコンクリート強度の有効係数が大きくなる式になっている。表-6 に同式による算定結果を示す。せん断破壊した S シリーズの算定結果は、ばらつきは少ないが、若干ではあるが実験値を過大評価していることがわかる。つぎに、NewRC 式を参考に、(2)式のようにコンクリート圧縮強度有効係数の軸力項に修正を加え、せん断終局強度の算定を行う。表-7 に算定結果を示す。

$$v = \alpha \cdot L_r \cdot (1 + 2 \cdot \eta_o + \eta_g) \quad \dots (2)$$

ただし、 $\eta_o > 0$ のときは、 $\eta_o = 0$

図-3 は、縦軸に実験における最大耐力、横軸にせん断耐力計算値 Q_{su} (修正式)のそれぞれ表-5 の曲げ終局強度計算値による無次元値をとり、全 8 体の計算結果をプロットしたものである。これより本実験の範囲においては、各試験体の最大耐力は上述の評価方法により評価可能であることがわかる。

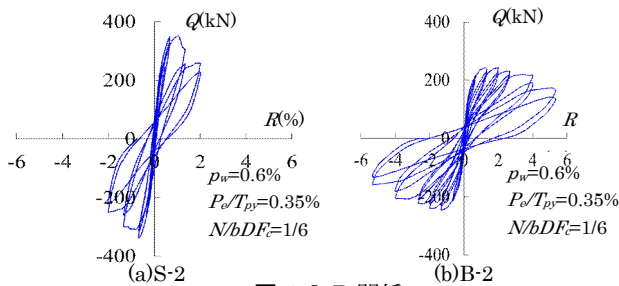


図-2 Q-R 関係

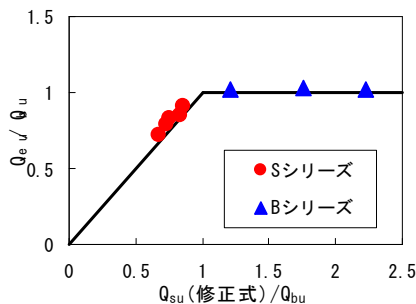


図-3 修正式の計算精度

表-2 コンクリート, モルタル, グラウト材料試験結果

試験体名	コンクリート			目地モルタル		PC グラウト	
	σ_B (N/mm ²)	E (kN/mm ²)	σ_T (N/mm ²)	σ_B (N/mm ²)	E (kN/mm ²)	σ_B (N/mm ²)	E (kN/mm ²)
S-1	60.2	35.2	0.37	70.5	28.9	87.3	21.4
S-2	60.8	35.0	0.37	68.2	26.3	81.7	17.4
S-3	63.0	36.0	0.36	64.2	24.9	79.8	14.4
S-4	61.4	35.1	0.36	64.3	24.6	82.9	15.5
S-5	61.8	36.6	0.38	65.7	31.6	65.4	15.8
B-1	61.2	33.4	0.35	61.4	27.7	65.3	15.7
B-2	62.2	36.3	0.37	62.4	26.9	73.4	15.8
B-3	64.6	36.7	0.36	61.2	27.3	60.1	17.4

σ_B = 圧縮強度 E = ヤング係数 σ_T = 割裂強度

表-3 せん断補強筋, 軸方向筋, PC 鋼棒材料試験結果

径 (mm)	材種	使用箇所	σ_T (N/mm ²)	σ_B (N/mm ²)	E (kN/mm ²)	伸び率 (%)
S6	KSS785	せん断補強筋	1135	1367	204	
D10	SD295A	軸方向筋	367	508	203	
D22	C 種 1 号	PC 鋼棒	1197	1304	200	11.0
D16*	B 種 1 号相当	PC 鋼棒	1047	1082	200	12.5

σ_T = 0.2% オフセット降伏強度 σ_B = 引張強度 E = ヤング係数
* 異形棒鋼を焼入れ

表-4 諸限界値実験値

試験体	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	B-1	B-2	B-3
Q_{ber} (kN)	224.6	321.4	238.3	145.8	99.8	42.1	115.5	4.9
Q_{ber} 時部材角 (%)	0.18	0.40	0.19	0.11	0.09	0.06	0.15	0.01
Q_{scr} (kN)	253.4	322.4	352.3	292.1	201.1	114.0	242.2	79.8
Q_{scr} 時部材角 (%)	0.39	0.50	0.50	0.46	0.40	0.55	1.10	0.60
Q_u (kN)	323.4	344.4	385.0	316.1	290.6	168.8	243.6	127.2
Q_u 時部材角 (%)	0.63	0.66	0.97	0.85	1.50	2.00	1.27	2.00
R_e (%)	0.35	0.40	0.55	0.43	0.85	1.08	0.77	1.13
R_{su} (%)	0.73	0.86	2.46	1.00	1.48	3.24	3.02	3.26

【記号】 Q_{ber} = 曲げひび割れ荷重 Q_{scr} = せん断ひび割れ荷重 Q_u = 最大荷重
 R_e = 降伏部材角 R_{su} = 終局限界部材角

表-5 曲げ終局強度算定結果

試験体	S シリーズ					B シリーズ		
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	B-1	B-2	B-3
実験値 Q_{eu} (kN)	323.4	344.4	385.0	316.1	290.6	168.8	243.6	127.2
Q_{bu} (kN)	409.9	413.0	423.7	438.4	343.5	163.0	238.7	124.8
Q_{eu} / Q_{bu}	0.79	0.83	0.91	0.72	0.85	1.03	1.02	1.02

表-6 せん断終局強度算定結果(PC 技術基準式)

試験体	S シリーズ					B シリーズ		
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	B-1	B-2	B-3
実験値 Q_{eu} (kN)	323.4	344.4	385.1	316.0	290.5	168.5	244.0	127.0
Q_{su} (PC 技術基準式) (kN)	335.4	349.0	399.1	331.9	299.4	286.1	289.9	292.1
Q_{eu} / Q_{su} (PC 技術基準式)	0.96	0.99	0.97	0.95	0.97	0.59	0.84	0.44

表-7 せん断終局強度算定結果(修正式)

試験体	S シリーズ					B シリーズ		
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	B-1	B-2	B-3
実験値 Q_{eu} (kN)	323.4	344.4	385.1	316.0	290.5	168.5	244.0	127.0
Q_{su} (修正式) (kN)	297.5	311.2	362.0	294.3	284.5	286.1	289.9	277.2
Q_{eu} / Q_{su} (修正式)	1.09	1.11	1.06	1.07	1.02	0.59	0.84	0.46

Key Words : PCaPC 柱, 異形 PC 鋼棒, 終局強度



福井剛