

V-251 パーシャルPCはり部材への高強度鉄筋の適用に関する研究

大阪府庁 正員 ○青木 誠
 京都大学工学部 正員 小林 和夫
 京都大学工学部 正員 岡田 清

1. はじめに

著者らは、非緊張鉄筋が配置されたPC断面ではコンクリートのフリップや乾燥収縮によって圧縮力が次第に鉄筋に移行するため、非緊張鉄筋断面積の増大とともにコンクリート断面の有効プレストレスが著しく減少すること、部材性能の改善を目的として非緊張鉄筋を配置したアンボンドPCはりにおいて実験的・理論的に明確にしている。このような観点ならびに使用荷重下のひびわれ幅やひびき制御しRC曲げ部材に対し高強度鉄筋の強度をより有効に利用する観点から、本研究は非緊張鉄筋として実降伏点 f_{sy} が $70 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ 程度のものを用いたパーシャルPC(Ⅲ種PC)はりを取上げ、その基本的曲げ諸特性と鋼材指数と緊張率とを要因として検討したものである。

2. 試験概要

本研究では非緊張の高強度鉄筋としてインデンティッド型表面形状の実降伏点 f_{sy} が $70 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ 程度のもの(高周波熱錬社製)、また比較用一部のRCはりにはSD30異形鉄筋を使用した。これらと緊張用PC鋼棒(高強度鉄筋と同一表面形状を有し、土木学会PC標準示方書の許容緊張力で緊張)の機械的性質を一括して表1に示す。

試験は載荷方法により次の3シリーズからなる。

α) シリーズA: スパン中央断面の圧縮縁ひずみ $\epsilon_c=1.0, 2.0, 2.5, 3.0 \times 10^3$ で完全降伏しながら漸増載荷するもの。本シリーズは、鋼材指数 ρ 値($=(\rho_{fsy} + \rho_{fpy})/f'_c$: ρ_{fsy} -非緊張鉄筋比と実降伏点、 ρ_{fpy} -PC鋼材比と実降伏点、 f'_c -コンクリート強度)でG1, G2, G3の3グループに分け、各々に対して緊張率 λ ($=\rho_{fpy}/(\rho_{fsy} + \rho_{fpy})$)を2~3レベル(目標プレストレス25, 50, $70 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$)に変化させる。

β) シリーズB: 静的終局曲げ耐力がほぼ等しい3種類のRC(B1, B2), パーシャルPCはり(B3)に対して、非緊張鉄筋降伏時(鉄筋ひずみの実測による)のスパン中央たわみ $\pm \delta_y$ と $\pm 3\delta_y$ の変形制御下で各1回の正負交番載荷後に破壊させるもの。

γ) シリーズC: シリーズBと同様の3種類の供試はりを用い、上限荷重は別途実施した静的載荷下の終局曲げ耐力実測値の90%、一方下限荷重は2レベル、タイプIは想定死荷重(非緊張鉄筋応力 $=0.33 \times$ 規格降伏点)、タイプIIは 0.5^t とし、高応力下で繰返し載荷(速度 0.6 Hz)を与えるもの。

供試体種類と断面寸法等と表2~4、図1に示す。以上の供試体ではいずれもコンクリートの設計基準強度は $450 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ とし、土木学会PC標準示方書に従いスターラップ(φ6)でせん断補強と実施した。

図1 供試体の断面寸法

表1 使用鋼材の機械的性質

シリーズ	種別	径	降伏点 f_y ($\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$)	引張強さ f_t ($\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$)
シリーズA	非緊張	D13	3690	5670
		D14	7000	8200
		D17	7300	8700
		D22	11200	11800
		D25	11200	11600
シリーズB	非緊張	D16	3780	5980
		D22	6600	7500
		D25	7300	8500
		D28	11000	11700
		D32	11000	11700

図1 供試体の断面寸法

注) D13, D16 は $\sigma_{1/2}$ は 0.2% proof stress

表2 シリーズA 供試体種類と試験結果

グループ	供試体	A_s	A_p	鋼材の 引張強さ σ_{ts}	緊張率 λ	下縁引張 ひずみ ϵ_{sy} (%)	曲げ耐力 M_{max} (kgf-cm)	終局曲げ耐力 M_{ult} (kgf-cm)	終局曲げ耐力 比 $\frac{M_{ult}}{M_{max}}$	耐力比 $\frac{R_{ult}}{R_{max}}$	平均曲げ耐力 M_{ave} (kgf-cm)		
G1	A1	3D13	—	0.17	0	0	1.01	5.27	4.34	1.16	—	7.3	
	A2	2D11	—	0.16	0	0	1.01	4.87	4.24	1.12	5.06	7.6	
	A3	3D14	φ9.2	0.21	0.47	26.1	1.41	4.99	4.41	1.13	4.71	1.02	6.9
	A4	2D14	φ11	0.21	0.66	49.9	1.42	4.55	4.29	1.06	4.66	0.98	7.4
G2	A5	3D11	—	0.24	0	0	1.12	6.85	6.17	1.11	7.12	0.96	7.8
	A6	2D11	φ9.2	0.27	0.35	23.6	1.52	6.84	5.82	1.18	6.52	1.05	7.7
	A7	3D14	φ11	0.25	0.56	51.4	1.65	5.94	5.05	1.16	5.54	1.05	8.3
	A8	2D11	φ11	0.31	0.44	52.3	1.89	7.04	6.40	1.10	7.07	1.00	8.1
G3	A9	3D14	φ13	0.31	0.64	70.8	2.72	6.54	5.81	1.13	6.33	1.03	7.5

表3 シリーズB 供試体種類と試験結果

供試体	A_s	A_p	鋼材指数 ρ	緊張率 λ	下縁引張ひずみ ϵ_{sy} ($\frac{\text{mm}}{\text{mm}}$)	最大曲げ耐力 M_{max} ($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)	終局耐力 M_{ult} ($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)	終局耐力 M_{ult} ($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)	終局耐力 M_{ult} ($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)	終局耐力 M_{ult} ($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)	終局耐力 M_{ult} ($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)
B1	2D16	—	0.15	0	0	10.05 (10.28)	10.20	0.081	0.43		
B2	2D11	—	0.13	0	0	9.15 (9.60)	8.90	0.089	0.38		
B3	2D12	φ9.2	0.16	0.45	53.4 43.6	9.85 (9.96)	9.85	0.076	0.70		

表4 シリーズC 供試体の種類と試験結果

載荷方法	供試体	A_s	A_p	鋼材指数 ρ	緊張率 λ	下縁引張ひずみ ϵ_{sy} ($\frac{\text{mm}}{\text{mm}}$)	破壊回数 (N)	破壊モード	疲労寿命 (N_f)	疲労寿命 (N_f)	判定
タイプI	C1	2D16	—	0.15	0	0	296440	鉄筋破断	5330	74470	鉄筋破断
	C2	2D11	—	0.13	0	0	225410	鉄筋破断	210	520	鉄筋破断
	C3	2D12	φ9.2	0.16	0.45	46.3	74	コンクリート圧潰	360 *107680	750	鉄筋破断
	C4	2D16	—	0.15	0	0	95210	鉄筋破断	4070	16890	鉄筋破断
タイプII	C5	2D11	—	0.13	0	0	7700	コンクリート圧潰	180	140	コンクリート圧潰
	C6	2D12	φ9.2	0.16	0.45	52.5	40	コンクリート圧潰	330 *60330	170	コンクリート圧潰

*PC鋼棒破断

3. 試験結果と考察

1) シリーズA: 曲げひびわれ荷重の実測値 P_{cr} , 終局曲げ耐力の実測値 P_u と計算値 P_u' (f_{sy}, f_{py} による), P_u'' (f_{su}, f_{pu} による)を表2に示す。 η 値(最大曲げ耐力)が同程度のグループでは入と大きくすると P_{cr} が大となること, また $\eta=0.16\sim0.31$ の範囲では P_u/P_u' は1.1前後, P_u/P_u'' は1.0前後の値を示す。

図2, 3はスパン中央のひびき δ と除荷時の δ の回復率 α を示す。曲げひびわれ発生以後から降伏荷重時までの部材剛性は高強度鉄筋を用いたRCはりではSD30使用のものに較べて著しく低下すること, 前者では入の増大とともに剛性がかなり改善されること, レガレ入が増大するとフォーリングブラント領域の耐力の低下が大となる傾向があること等が示される。また, 図3から入と大きくすると変形回復率 α が向上する。

図4は非緊張鉄筋位置での実測最大ひびわれ幅 W_{max} を示す。同図には鉄筋ひびき測定値から求めたDecompression状態からの鉄筋応力増加量とその計算値($n=15$)と併記する。高強度鉄筋を用いたRCはりではSD30に較べて同一荷重下での W_{max} が著しく増大するが, パーシャルPC断面の採用により著しく低減することが可能である。一方, 図5に示す除荷時の最大ひびわれ幅(W_{max})に関しても, 図3と同様にプレストレス導入効果が明瞭に認められる。なお, 表2に示すようにひびわれ分散性に関しては η 値および入値による顕著な差違はみられない。

2) シリーズB: 表3に最大耐力, 図6の $P-\delta$ 履歴ループの $\pm 3\delta_y$ に対する変形回復率と等価粘性減衰常数を示す。正負交番載荷下の最大耐力はいづれも別途試験しな一方向載荷下と殆んど差がないこと, パーシャルPC断面($\lambda=0.45$)ではRC断面の2倍程度の変形回復率を有する反面等価粘性減衰常数の低下はきわめて小さい。

3) シリーズC: 表4に高耐力繰返し載荷試験結果と土木学会コンクリート構造の限界状態設計指針(1983)と準用した相応値を示す。静的終局曲げ耐力がほぼ同一であっても, パーシャルPCはりの疲勞特性はRCはりとは異なること, 破壊型式は上記相応値と良く合致すること等が示される。

このように既研究⁴⁾と同様, η (最大耐力)がほぼ等しい条件下の変形やひびわれ性状は入値で適宜制御が可能である。

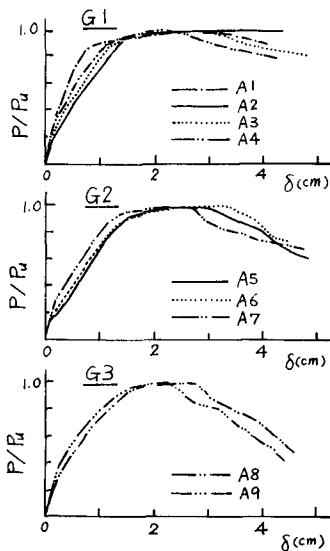


図2 $P/P_u - \delta$ (シリーズA)

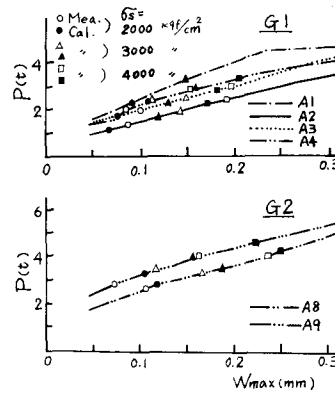


図4 $P - W_{max}$ (シリーズA)

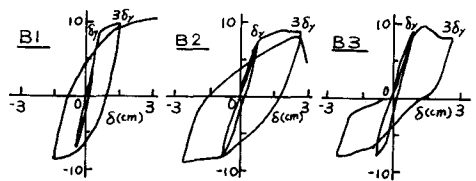


図6 $P - \delta$ (シリーズB)

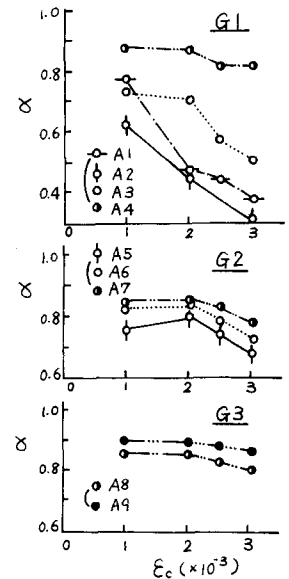


図3 回復率 α (シリーズA)

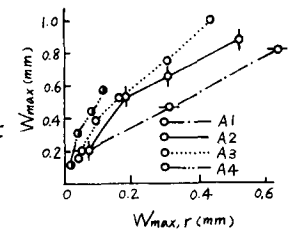


図5 最大ひびわれ幅の回復性 (シリーズA)

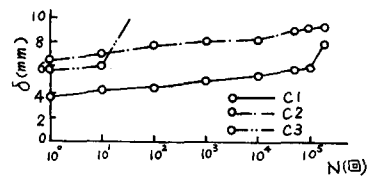


図7 $\delta - N$ (シリーズC: タイプI)