

パーシャルPCはり部材の正負交番載荷下の塑性変形性能について

京都大学工学部 正員 小林 和夫 正員 井上 晋 ○学生員 勝野 由弘

1、はじめに 近年、パーシャル P C (以下 P P C) 構造は、建築構造物のみならず橋梁桁を中心とした土木構造物においてもその適用が増大しつつあるが、我が国のような地震国において、今後さらに積極的に適用していくためには、過大変形レベルでの耐荷・塑性変形特性を詳細に把握する必要がある。本研究は、P P C はりにおいてコンクリート強度、緊張率、横拘束筋ピッチ、横拘束筋降伏点を要因として単調漸増正負交番載荷試験 (A シリーズ) と漸増定変位正負交番繰返し試験 (B シリーズ) を実施し、耐荷・塑性変形特性を検討することにより、耐震設計上の基礎資料を得ることを目的としたものである。

2、試験概要 はりの形状・寸法を図1
に示す。コンクリート設計基準強度は400.

800 (kgf/cm²) の 2 種類を選定し、両者で鋼材指数 q がほぼ同一となるよう設計した。また、緊張率 $\lambda = (A_p f_{py} / (A_p f_{py} + A_s f_{sy}))$ は 0.4, 0.7 の 2 レベルとし、横拘束筋ピッチ s は $s = d$ (d : 有効高さ、横拘束筋比 $\rho_s = 0.7\%$)、 $d/2$ ($\rho_s = 1.4\%$)、 $d/4$ ($\rho_s = 2.8\%$) の 3 種類、横拘束筋降伏点 f_{yh} は $f_{vh} = 3200, 14400$ (kgf/cm²) の 2 レ

ベルを設定した。なお、せん断補強筋の所要間隔は土木学会コンクリート標準示方書（昭和61年制定）の規定により算定した。供試体の種類・試験結果を表1、2に示す。

載荷方法は図2に示すように、Aシリーズはスパン中央たわみが降伏たわみ δy ($=5\text{ mm}$)の整数倍となる変位振幅のもとで各1回の単調漸増型の正負交番載荷、Bシリーズは δy の整数倍となる漸増変位レベルで各10回の正負交番繰返し載荷を行った。

3. 試験結果および考察

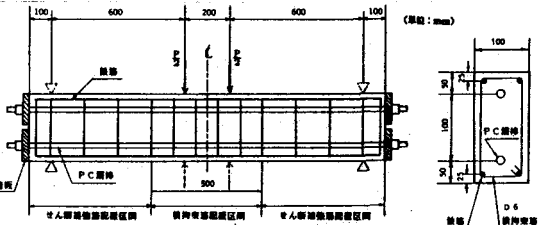


図1 はりの形状・寸法

表1 Aシリーズ はりの種類・試験結果

試験体名称 ¹⁾	コンクリート 基準強度 (kgf/cm^2)	λ	縦筋率 ρ_v (%) ($\rho_v = \frac{A_s}{A_c}$)	縦筋率 ρ_v (%) ($\rho_v = \frac{A_s}{A_c}$)	q^{**}	巻入ス リ筋率 ρ_s (%) ($\rho_s = \frac{A_{ss}}{A_c}$)	最大耐力 P_{max} (t)	延性係数 μ^{**}		
							左方向	右方向	左方向	右方向
A-N4-d-L		0.433 A ₃ =0.913 A ₇ =0.913	d (1/7)	0.073	0.200	80	10.28	8.81	7.94	7.47
A-N4-d-R			(1/7)	0.800	0.287	49	10.03	8.32	7.75	4.59
A-N4-d/2-L			1.348	0.260	49	10.10	9.55	7.31	6.00	
A-N4-d/2-R			d (6/3)	1.201	0.287	80	9.93	9.10	5.20	2.95
A-N4-d/4-L		0.704 A ₃ =0.913 A ₇ =0.913	2.660	0.280	50	10.32	10.48	>7.80	6.81	
A-N4-d/4-R			d (1/3)	2.374	0.287	49	10.41	10.07	8.58	8.78
A-N7-d-L			d(16/3)	0.702		89	8.37	8.80	4.85	4.47
A-N7-d/2-L			d(2/2)	1.395	0.288	81	8.14	8.75	5.84	6.00
A-N7-d/4-L			d(6/1)	2.780		90	8.44	8.48	9.47	0.88
A-N4-d-L		0.888	0.077	0.077		95	15.84	14.83	4.78	4.05
A-N4-d-R			d (5/4)	0.004		95	16.28	14.80	6.00	6.61
A-N4-d/2-L			1.348			95	16.12	14.86	8.27	7.61
A-N4-d/2-R			1.201		0.210	86	16.28	15.07	8.22	7.65
A-N4-d/4-L			d (6/4)	2.783		97	16.31	15.27	26.56	7.77
A-N4-d/4-R			d (4/2)	2.431		95	16.48	15.74	28.10	26.80

表2 Bシリーズ はりの種類・試験結果

試験名称等 ¹⁾	フタの透気係数 (hg/cm^2)	A	筒内湿度 ($^{\circ}\text{C}$)	筒内湿度差 ($^{\circ}\text{C}$)	q^*	筒入アレキ サンダー ($\text{O}_2/\text{g}/\text{cm}^2$)	最大耐力 $P_u(t)$	7日強度 σ^*		
			d (mm)	$d/2$ (mm)			筒内耐力	筒内耐力		
BH4-d-4-L	400	AS=2012 AP=61.2	0.433	0.873	0.274	50	10.15	8.53	2.64	3.30
BH4-d-2/L					48	9.99	8.49	3.28	3.33	
BH4-d-2/L					48	10.15	9.21	3.19	3.64	
BH4-d-4/L					46	9.78	9.27	6.00	4.25	
BH4-d-4-H					49	10.16	8.56	>4.92	>3.95	
BH4-d-4-L	800	AS=1016 AP=11.3		d (mm)	0.877	95	16.43	14.94	1.97	2.88
BH4-d-2/L				0.604	85	16.19	15.06	2.88	3.04	
BH4-d-2/L				1.346 (0.8)	0.298	85	16.30	14.71	2.70	3.30
BH4-d-2/L				1.201	95	15.11	14.37	2.76	3.30	
BH4-d-4/L				$d/4$ (mm)	2.723	97	15.47	14.57	>4.4	>4.58
BH4-d-4-H			2.431	0.258	94	16.16	14.80	4.72	4.46	

1) 名称の最後部の記号がしは普通密度肉肉重 ($\rho_s = 3.200 \text{ kgf/cm}^3$), Hは高密度肉肉重 ($\rho_s = 1.440 \text{ kgf/cm}^3$) を示す。
2) α : 一つの肉肉重と骨重を比べるコンクリートとの体積比, 2) q : 飼料価 ($= \text{Appf} / \text{bdpfc} + \text{Anfay} / \text{bdaefc}$)
3) α が付いているものは, 測定可能な範囲で求めた値であり, 表裏にはそれ以上の値を示すものとする。

※ 本表は、2017年10月1日現在の状況を示すものであり、実際の状況とは異なる場合があります。

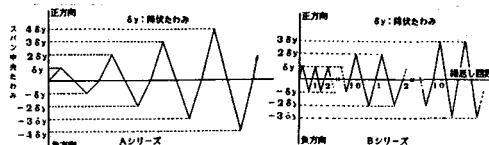


图2 载荷方法

形状：図3、4にA、B両シリーズの荷重-たわみ($P-\delta$)履歴ループの例を示す。この図より $\lambda = 0.4$ の場合はRCに近いエネルギー消散能の大きい紡錘型のループ形状を示し、 $\lambda = 0.7$ の場合は高復元型のPCに近い性状を示すことがうかがえ、 λ によりエネルギー消散能が大きく変化することがわかる。また、コンクリート強度、緊張率、横拘束筋ピッチが大きくなるほど、最大耐力以降の耐力低下が著しく脆性的な変形特性を示すことがうかがえる。 λ が0.4程度の場合には $s = d$ あるいは $d/2$ でもじん性はかなり改善されるが、 λ が0.7程度になると $s = d/4$ でない横拘束筋の顕著な効果が期待できない。

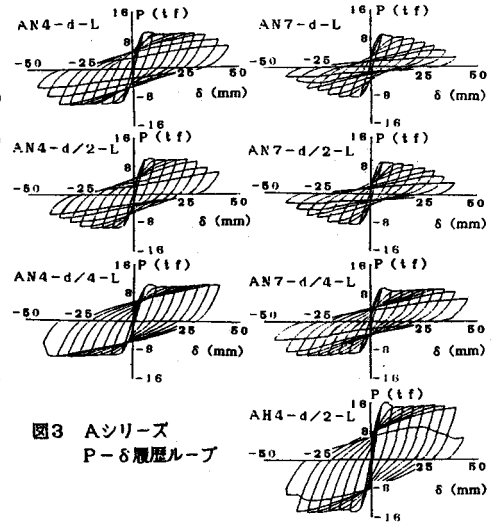


図3 Aシリーズ $P-\delta$ 履歴ループ

2) じん性率： $P-\delta$ 包絡線で最大耐力の90%の荷重レベルに対応する荷重上昇域と下降域のたわみの比で定義した各はりのじん性率 μ を表1,2に示す。これより μ 値は λ が増大すると低下すること、またBシリーズのような繰返し載荷によって μ 値は低下し、コンクリート強度が高い場合にはその低下が顕著となること、などが認められる。しかし横拘束筋を適切に配置することによってその低下がかなり改善されることがわかる。

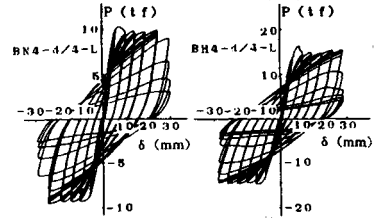


図4 Bシリーズ $P-\delta$ 履歴ループ

3) 横拘束筋ひずみ：図5はAシリーズはりの横拘束筋ひずみの最大値 $\epsilon_{h, \max}$ と ρ_s/f_c' (f_c' ：コンクリート強度)との関係を示したものである。ただし、同図には表1中のPPCはりのデータに加えて、別途に試験を行った他のPPCはり ($\lambda = 0.4, 0.7$) に対するデータも併記してある。これより、 $f_{yh} = 3200 (\text{kgf}/\text{cm}^2)$ の普通強度横拘束筋はほとんどが降伏しているのに対し、 $f_{yh} = 14400 (\text{kgf}/\text{cm}^2)$ の高強度横拘束筋では降伏しているものがほとんどないことがわかる。図5を各横拘束筋の応力-ひずみ関係に基づいて応力 f_h に換算して表したものが図6である。高強度横拘束筋の場合には ρ_s/f_c' が増加するにつれて f_h が大きくなる傾向がみられ、最小2乗法で直線近似したところ、 $f_h = (\rho_s/f_c') \times 10^3 + 2500$ の関係式が得られた。これより、横拘束筋比が大となるほどその強度が有効に利用されることが示唆される。

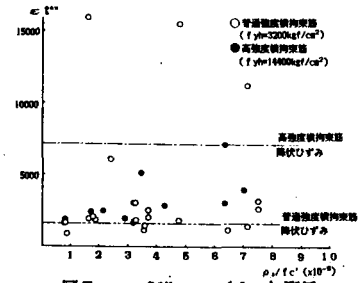


図5 $\epsilon_{h, \max} - \rho_s/f_c'$ 関係

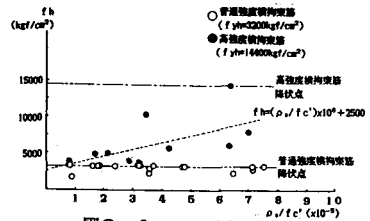


図6 $f_h - \rho_s/f_c'$ 関係