

PCはり断面の繰返し載荷下での曲げ変形特性について

京都大学 正員 岡田 清 京都大学 正員 小林和夫
鳥取大学 正員 井上正一 京都大学 学生員 井上 晋

1. まえがき

現在、地震荷重のような塑性域で繰返し荷重を受ける場合のPC部材の基本的挙動に関する基礎資料は、RC部材に比べて著しく不足しているようである。本研究はPC単純はりにおいて、PC鋼材指数(鋼材量、コンクリート強度)、降伏ヒンジ領域に配置する閉合スターラップ(拘束鉄筋)のピッチ、PC鋼棒の種類(表面形状)を試験因子として繰り上げ、それらがはりの曲げ変形特性や耐力に及ぼす影響を、一方向繰返しおよび正負交番繰返し載荷試験によって検討したものである。

2. 実験概要

1) PCはりの種類 PC鋼材指数 ρ ($=A_{st}/bd\sigma_c$)の値は鋼棒径・降伏点なうびにコンクリート強度を変化させることによって、ニュージーランド規準なうびに日本建築学会規準のPC耐震規定を参考にして、前者より小さいもの、両者の中間程度のもの、および後者の上限に近いものを設定した。ただしコンクリートの設計基準強度 σ_{ck} として、ここでは $\sigma_{ck}=500, 800 \text{ kg/cm}^2$ の2配合を選定した。降伏ヒンジ領域に配置する曲げ拘束筋($\phi 6 \text{ mm}$ 閉合スターラップ)のピッチはニュージーランド規準やACI規準を考慮して 10 cm および 4 cm ($=d/4$)とした。さらに、本実験では一部の供試体(9.2-D, 13-D)については異形PC鋼棒(ウルボン)を用いて、普通PC丸鋼棒のものと比較した。ただし、いずれのPCはりもせん断破壊が先行しないようせん断スパンについては土木学会PC標準示方書に従ってせん断補強を施した。以上の諸要因の組合せによって合計12種類のPCはりを各2本ずつ作成し、それぞれ一方向載荷試験(NQ.1シリーズ)と正負交番繰返し載荷試験(NQ.2シリーズ)に供した。PCはりの種類と断面形状寸法・配筋の詳細を表1、図1に示す。

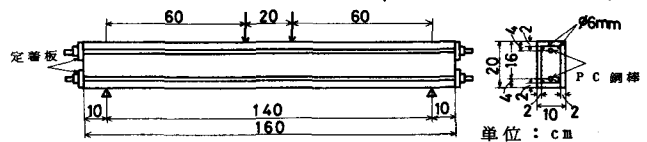


図1 はりの断面形状・寸法

表1 はりの種類・耐力

名称	設計基準強度 $\sigma_{ck}(\text{kg/cm}^2)$	鋼材指数 ρ	拘束筋 ピッチ $S(\text{mm})$	使用PC 鋼棒 種別	ひびわれ ストレス $P_r(\text{t})$	ひびわれ 実測荷重 $P_r(\text{t})$	繰返し 実測値 $P_u(\text{t})$	繰返し 計算値 $P_u(\text{t})$	P_u/P_u
N	500 (699)	0.124	10	C-11	62	3.75	8.50	6.93	1.23
		0.124	4	C-11	62	4.00	8.75	6.93	1.26
		0.169	10	C-13	108	6.50	10.75	9.24	1.16
		0.169	4	C-13	108	6.00	10.85	9.24	1.17
		0.196	10	C-15	147	7.50	12.45	10.60	1.17
		0.196	4	C-15	147	7.50	12.10	10.60	1.14
	800 (805)	0.081	4	D-9.2	68	5.00	7.85	4.62	1.70
		0.167	4	D-13	140	6.00	11.10	9.14	1.21
		0.208	10	C-17	148	7.50	14.10	12.80	1.10
		0.208	4	C-17	152	8.00	14.40	12.80	1.13
		0.260	10	C-19	185	9.00	14.85	15.50	0.96
		0.260	4	C-19	195	9.00	15.45	15.50	1.00
O	500 (626)	0.138	10	C-11	61	4.00(4.00)	8.60(8.00)	6.87(1.17)	1.12
		0.138	4	C-11	58	4.00(4.00)	8.06(7.65)	6.87(1.17)	1.12
		0.189	10	C-13	102	6.00(6.00)	10.25(9.60)	9.14(1.12)	1.05
		0.189	4	C-13	118	6.00(6.00)	10.25(10.00)	9.14(1.12)	1.09
		0.219	10	C-15	146	6.00(7.00)	10.75(9.80)	10.40(1.04)	0.94
		0.219	4	C-15	151	7.00(7.00)	11.05(10.75)	10.40(1.06)	1.04
	800 (805)	0.090	4	D-9.2	56	4.00(4.00)	7.45(5.90)	4.59(1.62)	1.28
		0.167	4	D-13	119	7.00(6.00)	10.75(9.40)	9.05(1.19)	1.04
		0.208	10	C-17	182	6.75(7.00)	13.35(12.95)	12.80(1.04)	1.01
		0.208	4	C-17	165	7.00(7.00)	13.85(13.35)	12.80(1.08)	1.04
		0.260	10	C-19	191	7.50(9.00)	14.50(14.90)	15.50(0.94)	0.96
		0.260	4	C-19	207	10.00(10.00)	15.45(14.65)	15.50(1.00)	0.95

*)実測・強度は()内に示す。

)*) 算出値は()内に示す。

耐力およびオーリングブランチ領域($P_4=P_{max}$, $P_5=0.9P_{max}$, $P_6=0.8P_{max}$)での除荷-再載荷を繰返し実施した。

②正負交替繰返し載荷試験：正方向載荷に対するスパン中央たわみが、①の一方向繰返し載荷試験による ϵ_c が 1000μ , 2000μ , 3000μ に対応するたわみと等しくなる荷重レベルで正負交替繰返しを与えた。なお、各サイクルの正負たわみの絶対値がほぼ等しくなるように載荷し、正方向側が最大耐力に達した後に除荷して負方向側で破壊させた。

3. 実験結果・考察

曲げひびわれ発生・最大荷重を表1、また各荷重レベルでの正負方向の最大荷重比 P の一例を図2に示す。さらに各荷重レベルに対する変形回復率 α 、鋼材指数 q と等価粘性減衰常数 h_{eq} の関係、鋼材指数 q とじん性率 μ の関係の一例をそれぞれ図3、図4、図5に示す。

①耐力：正方向の初回時最大荷重レベルが ϵ_c で 1000μ 程度の場合、負方向のひびわれ耐力はほとんど低下しないが、高応力レベルで正負交替繰返し荷重を受けた後の P はりの最大曲げ耐力は一方向繰返し下の場合に比べて最大で10%程度低下する(表1)。また、変形制御の新增繰返し下で正負交替荷重を与えた場合、 ϵ_c が 2000μ を超える荷重レベルでは、負方向側の最大荷重は正方向側に比べて低下する(図2)。

②変形特性：本実験におけるいずれの供試体も、最大耐力時でも80%以上の変形回復率を示し、さらに $\alpha_{eq}=500\text{kg/cm}^2$ で $q \leq 0.20$ の場合には拘束筋ピッチに関係なくオーリングブランチ領域でも最大耐力時と同程度の回復率を示すが、 $\alpha_{eq}=800\text{kg/cm}^2$ では $q/4$ 程度に配置するのが望ましい(図3)。一方、最大耐力もしくはオーリングブランチ領域では h_{eq} は急激に増大し始めるが、 h_{eq} と q の関係は拘束筋ピッチによって異なった傾向を示す(図4)。エネルギー消散に関しても同様の傾向が認められた。なお $q \leq 0.26$ に対する h_{eq} は最大耐力時で0.15程度、オーリングブランチ領域では0.2程度となる。また、 q の増加にともない、たわみじん性率ならびに曲率じん性率は低下するが、拘束筋を密に配置することはじん性を改善するうえできわめて有効であることが明白にうかがえる(図5)。なお、本実験に関する限り、 P 鋼棒の表面形状による明瞭な影響は認められなかった。

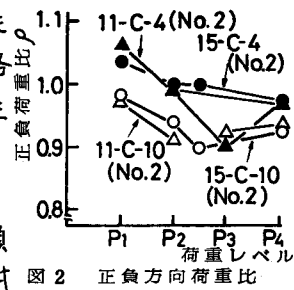


図2 正負方向荷重比

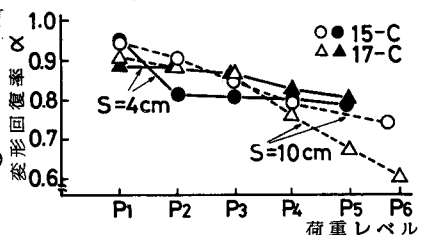


図3 荷重レベル-変形回復率

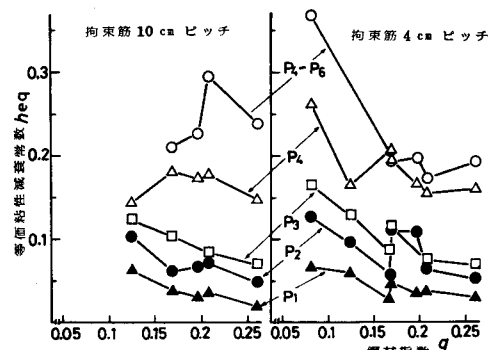


図4 等価粘性減衰常数-鋼材指数

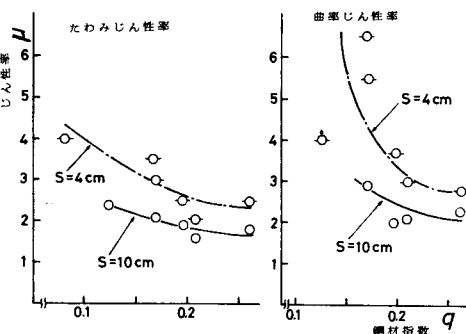


図5 じん性率-鋼材指数