

京都大学工学部 学生員 〇井上 晋
 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. まえがき

近年におけるPC技術の発展はめざましくその構造利用は多岐にわたっている。しかし、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。本研究はPC鋼材指数(鋼材量とコンクリート強度)、降伏ヒンジ領域に配置する閉合スターラップ(横方向拘束鉄筋)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PCはりの曲げ変形特性や耐荷性状に及ぼす影響を、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 $q(=A_{st}/bd\sigma_c)$ の値は鋼棒径・降伏点ならびにコンクリート強度を変化させることにより、ニュージーランド規準ならびに日本建築学会規準のPC耐震規定の制限値を参考にして、前者より小さいもの、両者の中間程度のもの、さらに後者の上限に近いものを設定した。ただし、本実験ではコンクリートの設計基準強度 σ_{cr} としては、 $\sigma_{cr}=500, 800 \text{ kg/cm}^2$ の2種類を選定した。降伏ヒンジ領域に配置する曲げ拘束筋(φ6mm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10cmおよび有効高さ d の1/4に相当する4cmの2種類とした。また、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、普通PC丸鋼棒と比較した。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、それぞれ一方向繰返し載荷試験(No.1シリーズ)と正負交番繰返し載荷試験(No.2シリーズ)に供した。供試体の種類と断面形状寸法・配筋の詳細を表1と図1に示す。ただし、いずれのPCはりも、せん断破壊が先行しないように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。

2) 実験方法

i) 一方向繰返し載荷試験: ストレインゲージでスパン中央位置のコンクリート上縁圧縮ひずみ ϵ_c を測定しながら、 ϵ_c がそれぞれ1000 μ , 2000 μ , 3000 μ となる荷重レベル(P_1, P_2, P_3), さらに最大耐力($P_4=P_{max}$)およびフォーリングブランク領域($P_5 \approx 0.9P_{max} \sim P_6 \approx 0.8P_{max}$)での降荷・再載荷の増減繰返しを与えた。

ii) 正負交番繰返し載荷試験: 正方向載荷に對するスパン中央たわみが、i)の一方向繰返し載荷試験による ϵ_c が1000 μ , 2000 μ , 3000 μ に對應するたわみと等しくなる荷重レベルで正負交番繰返しを与えた。なお、載荷にあたっては、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し、正方向側が最大耐力に達した後に降荷して負方向側で破壊させた。

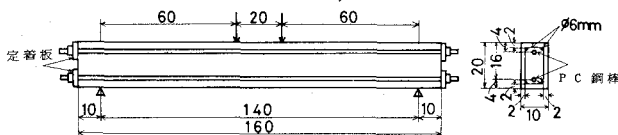


図1 はりの断面形状・寸法

表1 はりの種類・耐力

名称	設計基準強度 σ_{cr} (kg/cm ²)	鋼材指数 q	拘束筋ピッチ S (mm)	使用PC鋼棒径 ϕ (mm)	降伏ヒンジ領域に配置する曲げ拘束筋ピッチ p (mm)	ひびわれ発生荷重 P_{cr} (t)	破断荷重 P_u (t)	計算値 $P_u(t)$	P_u/P_u
N	500	0.124	10	C-φ11	62	3.75	8.50	6.93	1.23
		0.124	4	C-φ11	62	4.00	8.75	6.97	1.26
		0.169	10	C-φ13	108	6.50	10.75	9.24	1.16
		0.169	4	C-φ13	106	6.00	10.85	9.24	1.17
O	500	0.196	10	C-φ15	147	7.50	12.45	10.60	1.17
		0.196	4	C-φ15	147	7.50	12.10	10.60	1.14
		0.081	4	D-φ9.2	68	5.00	7.85	4.62	1.70
		0.167	4	D-φ12	140	6.00	11.10	9.14	1.21
		0.208	10	C-φ17	148	7.50	14.10	12.80	1.10
		0.208	4	C-φ17	152	8.00	14.40	12.80	1.13
		0.260	10	C-φ19	185	9.00	14.85	15.50	0.96
		0.260	4	C-φ19	195	9.00	15.45	15.50	1.00
N	800	0.138	10	C-φ11	61	4.00(4.00)	8.60(8.00)	6.87	1.25(1.17)
		0.138	4	C-φ11	62	4.00(4.00)	8.05(7.65)	6.87	1.17(1.12)
		0.189	10	C-φ13	102	6.00(6.00)	10.25(9.60)	9.14	1.12(1.05)
		0.189	4	C-φ13	118	6.00(6.00)	10.25(10.00)	9.14	1.12(1.09)
		0.219	10	C-φ15	146	6.00(7.00)	10.75(9.80)	10.40	1.04(1.04)
		0.219	4	C-φ15	151	7.00(7.00)	11.05(10.75)	10.40	1.06(1.04)
		0.090	4	D-φ9.2	56	4.00(4.00)	7.45(5.90)	4.59	1.62(1.28)
		0.167	4	D-φ12	119	7.00(6.00)	10.75(9.40)	9.05	1.19(1.04)
		0.208	10	C-φ17	182	6.75(7.00)	13.35(12.95)	12.80	1.04(1.01)
		0.208	4	C-φ17	165	7.00(7.00)	13.85(13.35)	12.80	1.08(1.04)
		0.260	10	C-φ19	191	7.50(9.00)	14.50(14.90)	15.50	0.94(0.96)
		0.260	4	C-φ19	207	10.00(10.00)	15.45(14.65)	15.50	1.00(0.95)

(*) 実験の強度を()内に示す。(**), (***) 負方向側の値を()内に示す。

3. 実験結果・考察

曲げひびわれ発生および最大荷重を表1に、また各繰返し荷重レベルでの正・負方向の最大荷重比 α の一例を図2に示す。さらに、各荷重レベルに対する変形(たわみ)回復率 β 、鋼材指数 q とエネルギー消散 E_d 、等価粘性減衰常数 heq 、じん性率 μ の関係の一例をそれぞれ図3～図6に示す。これらより以下のようなことが認められた。

1) 曲げひびわれ・最大耐力:

正方向の初回時最大荷重レベルが E_c で1000 μ 程度の場合、負方向側の曲げひびわれ耐力の低下はほとんど認められない。しかし、高応力レベルで正負交替繰返し荷重を与えた後の最大耐力は、一方向繰返し載荷下と比べ5%～10%低下する(表1)。また、たわみ制御の新增繰返し下で正負交替荷重を与えた場合、 E_c が2000 μ を超える荷重レベル($P_2 \sim P_4$)では、負方向側の最大荷重は正方向側に比べて荷重レベルとともに低下することが認められた(図2)。

2) 変形特性: 変形回復率は荷重レベルの増大につれて次第に減少するが、いずれのPCはりも、最大耐力時で80%以上の変形回復率を示している。さらに、 $\sigma_{cr} = 500 \text{ kg/cm}^2$ で $q \leq 0.20$ の場合には、拘束筋ピッチに関係なくフォーリンググラウンテ領域でも最大耐力時と同程度の回復率を保持する。 $\sigma_{cr} = 800 \text{ kg/cm}^2$ の場合にはフォーリンググラウンテ領域での回復率の低下は著しく、特に拘束筋ピッチが10cmの場合にはその傾向が顕著となる(図3)。したがって変形回復率の点からは、圧縮強度が800 kg/cm^2 を超えるような高強度コンクリートでは、拘束筋ピッチを $d/4$ 程度にするのが望ましいと言える。一方、最大耐力以前の荷重レベルでは、 $E_d \cdot heq$ は q とともに減少する。しかし、それ以降では $E_d \cdot heq$ とも拘束筋ピッチによって異なる傾向を示し、4cmピッチでは q とともに減少するのに対し、10cmピッチではむしろ逆の様相を呈している(図4、図5)。なお、 E_c が1000 μ に対応する荷重レベルでは $E_d \cdot heq$ ともにきわめて小さい値となるが、最大耐力もしくはフォーリンググラウンテ領域では急激に増大しはじめ、 $q \leq 0.26$ に対する heq は最大耐力時で0.15程度、フォーリンググラウンテ領域では0.2程度もしくはそれ以上となる。また、 q の増加とともに、たわみじん性率 μ に曲率じん性率は低下するが、拘束筋を密(たとえば $d/4$ 程度)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6)。なお、本実験に関する限り、PC鋼棒の表面形状による明瞭な影響は認められなかった。

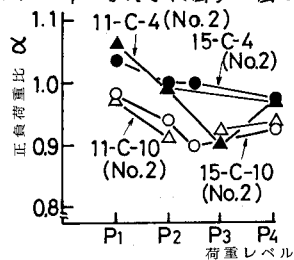


図2 正負方向荷重比

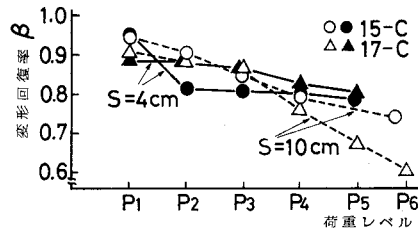


図3 荷重レベルー変形回復率

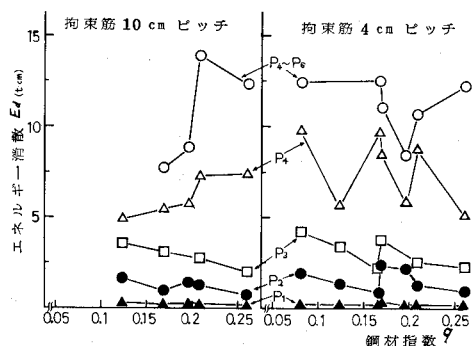


図4 エネルギー消散ー鋼材指数

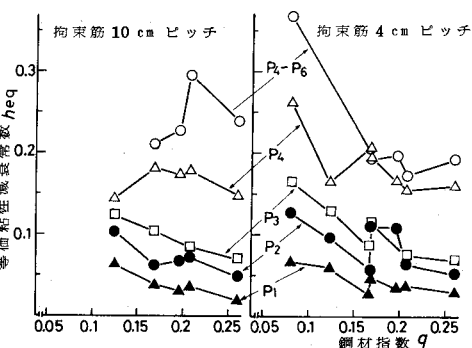


図5 等価粘性減衰常数ー鋼材指数

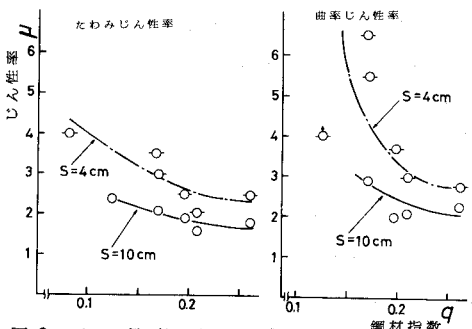


図6 じん性率ー鋼材指数