

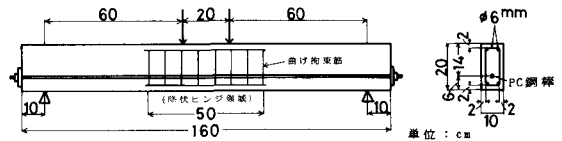
京都大学大学院 学生員 〇井上 晋
日本国土開発 正員 藤田 高若
京都大学工学部 正員 小林 和夫

1. まえがき

最近、ポストテンション方式のPC構造において、施工の省力化などからPC鋼材へのグラウト注入を省略できるいわゆるアンボンド工法が採用されることが多いが、アンボンドPC部材のフォーリングブランク領域までを含めた塑性域における耐荷性状や変形特性など重要な基本的性質に関してはまだ不明な点が多い。本研究は、鋼材指数と拘束筋ピッチを主因子に選定した長方形断面のアンボンドおよびボンドPC単純はりを含計24体作製し、静的な一方ならびに正負交番繰返し曲げ載荷試験を実施することによって、PC鋼材に対する付着の有無が耐荷性状や塑性変形特性に及ぼす影響を検討したものである。

2. 実験計画

PCはりの断面形状、はりの寸法を図1に示す。試験因子としては、i) PC鋼材の付着（グラウト注入）の有無、ii) 鋼材指数 q ($=A_{st}/bd\sigma_c$)、iii) 曲げ拘束筋（閉合スターラップ）ピッチ、の3種を設定した。ii) に関しては、日本建築学会規準、ニュージーランド規準を参考にして実用範囲内で3レベルを採り上げた。iii) に関しては図1のように、スパン中央部の降伏ヒンジ領域（50cm 区間）に配置する拘束筋のピッチを $d/4$ ($=3.5\text{cm}$)、 $d/2$ ($=7\text{cm}$)、および全く配置しないものの3種類とした。ただし、PCはりに用いたコンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck} = 450\text{ kg/cm}^2$ ($W/C = 44\%$) とし、グラウト用セメントペーストは $W/C = 45\%$ で、適量の減水剤およびアルミニウム粉末を添加した。また、いずれのPCはりも、現行の土木学会PC標準示方書に従って、各PC鋼材の緊張力を決定するとともに、図1



注) 図示したのは一方繰返し載荷試験用のはりで、正負交番繰返し載荷試験用のはりにはPC鋼線を上下対称に2本配置した。

図1 はりの断面形状・寸法

表1-(1) はりの種類・耐力 (一方向)

試験体 No.	PC鋼材の 付着の有無	鋼材指数 q	拘束筋 ピッチ $s(\text{cm})$	PC鋼線 (種・径)	最大プレストレス $\sigma_{cp}(\text{kg/cm}^2)$		ひびわれ 発生荷重 (実験値) $P_{cr}(\text{t})$	最大耐力 (実験値) $P_u(\text{t})$
					上	下		
1	無	0.133	7.0	B- $\phi 11$	-4.2	81.0	3.6	5.80
2					-8.5	81.2	3.6	5.40
3					0.0	80.8	3.4	5.93
5					-4.3	82.5	3.6	6.64
6					-4.4	84.0	3.2	6.64
7	有	0.133	7.0	B- $\phi 11$	-5.7	81.1	3.6	6.86
9					-8.6	110.1	4.0	7.70
10					-18.6	85.4	3.6	7.26
11					-3.0	112.6	4.0	7.30
13					-8.7	112.9	4.4	7.80
14	有	0.216	7.0	B- $\phi 13$	-7.4	115.7	4.0	8.00
15					-8.8	114.3	3.6	8.52
17					-15.1	159.3	5.6	9.08
18					-19.7	159.5	5.6	8.66
19					-31.3	161.5	5.6	8.87
21	有	0.241	7.0	A- $\phi 17$	-24.5	161.1	5.2	9.57
22					-38.0	110.8	5.2	9.39
23					-33.9	160.3	5.8	10.20

計算上せん断破壊が先行しないようせん断スパン内にせん断補強筋（ $\phi 6\text{mm}$ スターラップ筋）を配置した。供試はりの種類を表1-(1)、(2)に示す。

3. 実験方法

i) 一方向繰返し載荷試験：図1に示す対称2点荷重により、スパン中央のコンクリート圧縮縁ひずみの測定値が1000 μ 、2000 μ 、2500 μ 、3000 μ に対応する各荷重レベル、および最大耐力、さらにフォーリングブランク領域でスパン中央たわみが25mm ($\delta/l = 1/56$)、40mm ($\delta/l = 1/35$) の荷重レベルで各一回ずつ完全除荷、再載荷による漸増繰返し載荷を行なった。

ii) 正負交番繰返し載荷試験：スパン中央たわみが一方向繰返し載荷試験において得られた各繰返し荷重時におけるたわみと等しくなる時点の荷重をそれぞれ繰返し荷重レベルとして、各サイクルにお

表1-(2) はりの種類・耐力 (正負交番)

試験体 No.	付着の有無	鋼材指数 q	$s(\text{cm})$	PC鋼線 (種・径)	$\sigma_{cp}(\text{kg/cm}^2)$		$P_{cr}(\text{t})$ 実験値		$P_u(\text{t})$ 実験値
					正方向	負方向	正方向	負方向	
4	無	0.133	3.5	B- $\phi 11$	77.5	3.5	3.2	7.26	5.80
8	有				74.1	3.6	3.6	7.30	6.70
12	無				102.2	3.6	3.6	7.60	6.22
16	有	0.216	3.5	B- $\phi 13$	102.8	3.2	3.2	8.20	7.74
20	無				121.2	5.1	5.1	9.08	8.20
24	有	0.241	7.0	A- $\phi 17$	138.4	5.2	4.8	10.33	9.28

る正負最大たわみが等しくなるよう、たわみ制御下で正負交番荷重を行なった。

4. 実験結果および考察

曲げひびわれ発生荷重

と最大耐力を表1に、正負交番荷重での正負方向最大荷重比(R/R_1)と正方向最大荷重と最大耐力との比(R/P_{max})との関係を図2に示す。

また、一方向および正負交番荷重下での荷重～たわみの履歴ループの一例を図3に、変形回復率 α (全たわみに

対する回復たわみの比)および等価粘性減衰常数 h_{eq} と各サイクルの最大荷重と最大耐力の比(P/P_{max})との関係の一例をそれぞれ図4、図5に示す。さらに、じん性率 μ (最大耐力の90%の荷重レベルに対応する荷重上昇時と下降時のスパン中央たわみの比)と鋼材指数 q の関係の一例を図6に示す。

i) 耐荷特性: $\delta=0.133$, 拘束筋ピッチが3.5cm($d/4$)のアンボンドPCはりは一方向、正負交番繰返し荷重の両者とも、たわみが25mm(スパンの1/56)程度に達したときPC鋼材の破断により破壊したが、他のPCはりはいずれも最終的にはコンクリートの圧潰にともなう曲げ破壊を呈した。アンボンドPCはりとはボンドPCはりと比較して、曲げひびわれ耐力に差異はないが、最大耐力は拘束筋ピッチに関係なく鋼材指数 $\delta=0.133$ で15～20%、 $\delta=0.216 \sim 0.241$ で10%程度低下することが認められた(表1)。また、正負両方向に対して等しいたわみ制御下で交番荷重を与えたとき、負方向最大荷重は正方向より15～20%低下することが認められた。この低下の程度は最大荷重レベルで相果するが、アンボンドPCはりではボンドPCはりより顕著である(図2)。

ii) 変形特性: P/P_{max} を同一としたとき、アンボンドPCはりではボンドPCはりに比較してフォーリングブランチ領域までも含めて全般的に除荷時の変形回復率が高くなる傾向が認められたが、その様相は拘束筋ピッチが密な場合($d/4$)ほど顕著である(図4)。一方、PC鋼材の付着の有無が h_{eq} に及ぼす影響の程度は δ でかなり相果し、一方向荷重の場合、 $\delta=0.133$ ではアンボンドPCはりとはボンドPCはりに較べて h_{eq} がかなり小さくなるものの、 $\delta=0.216 \sim 0.241$ では両り間の差はきわめて小さい(図5-ii)。しかし、正負交番荷重下では、 $\delta=0.133$ の場合においても h_{eq} はアンボンドPCはりの方がむしろ大きくなる傾向が認められる(図5-ii)。これは、正負交番荷重下では一方向荷重よりPC鋼材の付着の劣化が著しくなるためと考えられる。さらに、拘束筋を配置しないアンボンドPCはりとはボンドPCはりとは較べてじん性が劣るが、拘束筋の配置によって著しく改善され、 $\delta=0.216 \sim 0.241$ のアンボンドPCはりでも $d/4$ ピッチの拘束筋で7以上のじん性が確保できる(図6)。最後に、本研究にあたって種々の助言をいただきました岡田清教授に厚く御礼申し上げます。

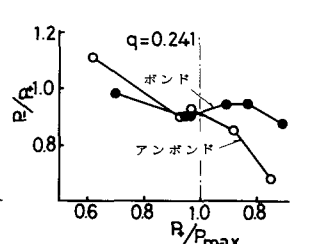


図2 正負方向最大荷重比

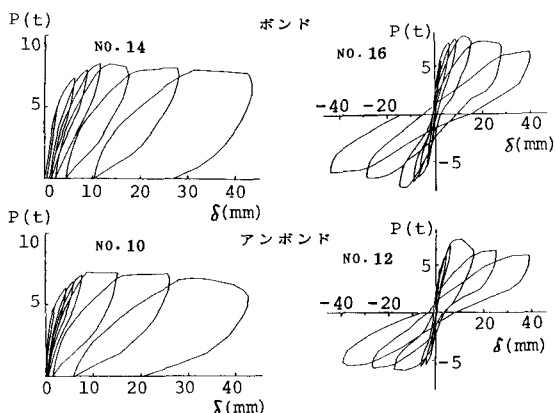


図3 荷重～たわみの履歴ループ例

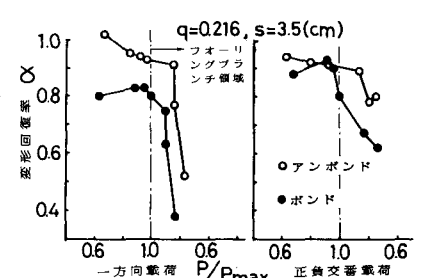


図4 荷重レベル変形回復率

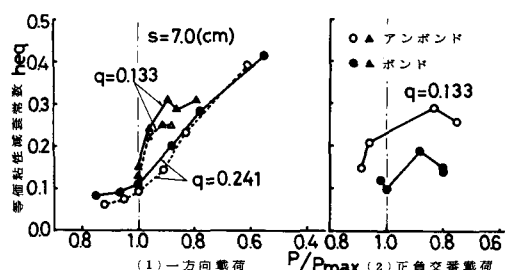


図5 荷重レベル等価粘性減衰常数

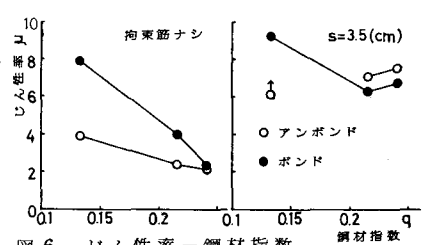


図6 じん性率～鋼材指数