

PCはりの高応力繰返し下における耐荷性状

京都大学 正員 岡田 清
京都大学 正員 宮川 豊章京都大学 正員 小林 和夫
京都大学 正員 井上 晋

1. まえがき 本研究は、PC鋼より線を用いたポストテンションPC単純はりにおいて、i) PC鋼材付着の有無、ii) PC鋼材指数、iii) 降伏ヒンジ領域に配置する曲げ拘束筋（閉合矩形スターラップ）量を主要因としてとり上げ、一方向および正負交番載荷下で静的試験を実施することにより、耐荷力や塑性変形特性などに及ぼすこれらの各要因の影響を検討し、主としてその耐震性を評価するため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 上記の要因i)に関してはボンドタイプ（シースと鋼材の間にセメントペーストグラウトを充填するもの）とアンボンドタイプ（ポリエチレンシースと鋼材の間にグリースを充填したもの）の2種類とした。ii)の鋼材指数 β ($=A_{sp}/bd\sigma_c'$)は実用範囲内で0.18と0.26程度の2レベルを選定した（ただし、これらの値は実コンクリート強度により若干相異なる）。iii)の拘束筋（ $\phi 6$ 閉合矩形スターラップ）は、スパン中央50cm区間に $d/4$ （ d :有効高さ）ピッチで配置するもの（ $S=d/4$ ）と配置しないもの（ $S=\infty$ ）の2種類とした。以上の組合せによって8種類のPCはりを各2体ずつ作製し、それぞれ一方向載荷試験（Aシリーズ）、正負交番載荷試験（Bシリーズ）に供した。供試はりの断面形状・寸法、種類はそれぞれ図1、表1に示すとおりである。以下に載荷方法を示す。

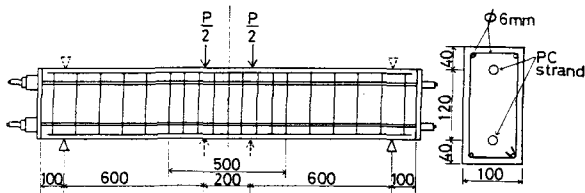


図1 はりの断面形状・寸法 (unit:mm)

1) 一方向載荷試験：スパン中央のコンクリート圧縮縁ひずみ ϵ_c を測定しながら $\epsilon_c=1000\mu, 2000\mu, 2500\mu, 3000\mu$ となる各荷重レベル、最大耐力時（ P_{max} ）、さらにフォーリングブランチ領域（部材角 $\approx 1/35, 1/20$ となる荷重レベル）で各1回ずつ完全除荷・再載荷による新增繰返し載荷を行なった。

2) 正負交番載荷試験：スパン中央たわみが、上記の一方向載荷試験において $\epsilon_c=2000\mu$ となる荷重レベルでのスパン中央たわみと等しくなる荷重レベルで1回、最大耐力時およびフォーリングブランチ領域でたわみが20mm程度（部材角 $\approx 1/35$ ）となる荷重レベルで各1回ずつ計3回の正負交番載荷を行なった。

3. 試験結果および考察 1) 耐荷性状：表1-(1)、2)に各PCはりの曲げひびわれ発生荷重および最大

表1-(1) はりの種類・耐力（一方向）

供試はり	付着の有無	鋼材指数 β	部材角 θ	PC鋼材	σ_{cr} (MPa)	ひびわれ発生荷重 $P_{cr}(t)$	最大耐力 $P_u(t)$	P_u/P_{cr}
A 1	B	0.152	∞	7本より	121	4.3	10.10	
A 2	B	0.167	$d/4$	7本より	113	5.0	10.46	
A 3	U	0.186	∞	12・4本	121	4.5	8.66	0.86
A 4	U	0.186	$d/4$	12・4本	109	4.5	8.07	0.77
A 5	B	0.243	∞	7本より	164	5.5	12.38	
A 6	B	0.247	$d/4$	7本より	171	6.0	12.60	
A 7	U	0.269	∞	15・2本	163	6.0	10.17	0.82
A 8	U	0.271	$d/4$	15・2本	175	4.5	9.48	0.75

表1-(2) はりの種類・耐力（正負交番）

供試はり	付着の有無	鋼材指数 β	部材角 θ	PC鋼材	σ_{cr} (MPa)	$P_{cr}(t)$ (正方向)	$P_{cr}(t)$ (負方向)	$P_u(t)$ (正方向)	$P_u(t)$ (負方向)	P_u/P_{cr}
B 1	B	0.152	∞	7本より	112	5.0	4.0	8.80	8.75	8.43
B 2	B	0.167	$d/4$	7本より	109	5.5	5.0	9.91	10.39	9.66
B 3	U	0.186	∞	12・4本	109	3.0	3.0	10.00	8.21	7.87
B 4	U	0.186	$d/4$	12・4本	117	5.0	3.0	6.60	7.59	7.51
B 5	B	0.243	∞	7本より	168	6.5	6.0	0.92	12.40	10.59
B 6	B	0.247	$d/4$	7本より	165	6.1	5.0	0.82	11.63	11.61
B 7	U	0.269	∞	15・2本	159	5.0	4.0	0.80	8.98	8.37
B 8	U	0.271	$d/4$	15・2本	161	5.5	4.5	0.82	8.74	9.20

1) Bは付着のあるもの、Uはないものを示す

2) アンボンドとボンドの最大耐力の比を示す

耐力を示す。表1から、曲げひびわれ耐力は、高プレストレスを導入した $\delta=0.26$ のPCはりでは $\delta=0.18$ より25%程度大きく、ひびわれ抵抗性の点からは δ 値を大きくすることが有効である。また、正負交番載荷において、正方向側と負方向側の曲げひびわれ耐力を比較してみると、PC鋼材付着の有無、拘束筋の有無、鋼材指数に関係なく、ほとんどのPCはりにおいて後者は前者より20%程度低下していることがわかる。これは、正負交番荷重下において、初載荷時の正方向最大荷重レベルが ε_c で2000 μ 程度に達するような場合、正方向側に発生した曲げひびわれの進展が著しく、負方向載荷時の断面剛性を低下させるためと考えられる。一方、アンボンドPCはりの最大曲げ耐力はボンドPCはりに較べて、鋼材指数、拘束筋の有無に関係なく、約20%低下することが認められる。

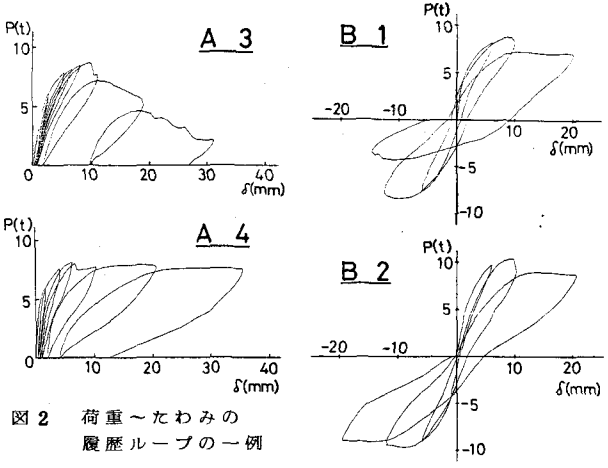


図2 荷重～たわみの履歴ループの一例

2)変形特性：図2に荷重～たわみの履歴ループの一例を示す。図3は、各サイクルの最大たわみに対する回復たわみの比で定義した変形回復率 α と荷重レベル(P/P_{max})の関係の一例を示したものである。最大耐力以前の変形回復率はいずれのPCはりにおいても80～90%の高い値を示しているが、フォーリングブランチ領域に達すると急激に低下している。その低下の程度はPC鋼材

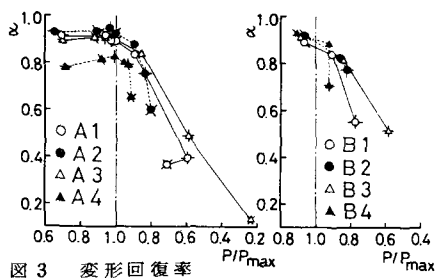


図3 変形回復率

の付着の有無に関係なく、拘束筋を有しないPCはりの方が大きく、このような荷重レベルでは拘束筋による影響が顕著となる。一方、図4は荷重～たわみ履歴ループから求めた等価粘性減衰定数 h_{eq} と P/P_{max} の関係の一例を示したものである。いずれのPCはりにおいても h_{eq} は最大耐力到達後から急激に増大し始める。本試験によると、鋼材指数が0.26程度のPCはりの最大耐力時の h_{eq} は、PC鋼材付着や拘束筋の有無による顕著な差はなく、ほぼ0.1前後の値を示している。さらに表2は、最大耐力の90%の荷重レベルにおける荷重上昇域のたわみに対する下降域のたわみの比で定義したじん性率を示したものである。 $\delta=0.18$ と0.26では後者の方がじん性率が若干低下すること、また拘束筋を $\alpha/4$ ピッチで配置したPCはりには配置しないものよりかなり大きなじん性率を有し、そのじん性改善効果が明瞭に認められる。

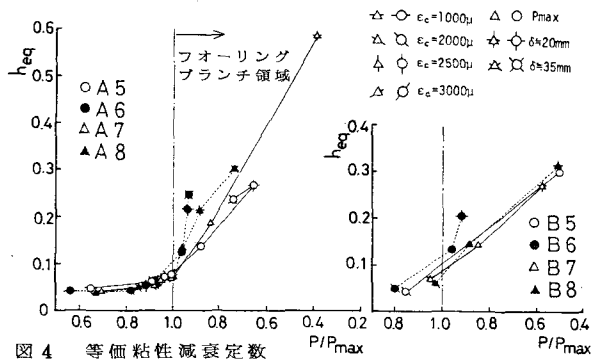


図4 等価粘性減衰定数

表2 じん性率

試 験 筋 率 μ	試 験 筋 率 μ	試 験 筋 率 μ	試 験 筋 率 μ
A 1 2.17	B 1 2.73	A 2 2.89	B 2 2.94
A 3 2.21	B 3 2.18	A 4 10.41	B 4 6.90
A 5 1.82	B 5 1.98	A 6 7.19	B 6 4.46
A 7 2.22	B 7 2.24	A 8 3.96	B 8 2.94