

# V-253 PCはり部材の高応力繰返し載荷下における耐荷性状について

京都大学工学部 正員 ○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

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)曲げ拘束筋（閉合矩形スターラップ）の有無を主要因としてヒリ上げ、高応力レベルでの定荷重共振繰返し試験ならびに定変位正負交番繰返し試験を実施することにより、各要因が繰返し回数の増大にともなう部材剛性や耐荷力の低下、疲労寿命、エネルギー消費や等価粘性減衰定数などの耐荷特性・塑性変形特性に及ぼす影響を検討し、主としてその耐震安全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

上記の各要因については次のように選定した。i)PC鋼材付着の有無：ボンドタイプ（PC鋼材とシースとの間隙にW/C=45%のセメントペーストグラウトを注入したもの）とアンボンドタイプ（PC鋼材とポリエチレンシースとの間隙にグリースを充填したもの）、ii)PC鋼材指数 $q = A_{\text{PFR}} / b d \alpha^e$ ：実用範囲内で0.18と0.24程度の2レベル（各値は実コンクリート強度 $\sigma_c$ により若干変動する）、iii)曲げ拘束筋の有無：ニュージーランド規準等を参考にして、スパン中央50cm区間に $s = d/4$  ( $d$ :有効高) 間隔で6枚閉合矩形スターラップを配置したものとしないもの（ $s = \infty$ ）。なお、コンクリートの設計基準強度は500kg/cm<sup>2</sup> (W/C=44%, C=400kg/m<sup>3</sup>) とし、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矩形スターラップでせん断補強を施した。

以上の3要因の組合せにより、定荷重共振繰返し試験(Cシリーズ)用として6体、定変位正負交番繰返し試験(Dシリーズ)用として12体のPCはりを作製した。それらの詳細をそれぞれ表1、表2に示す。また、PCはりの断面形状・寸法を図1に示す。

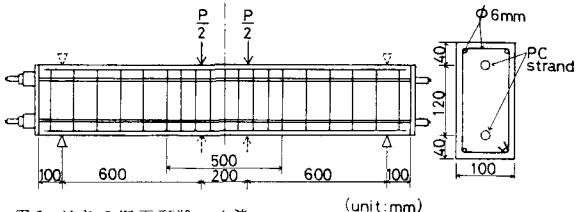


図1 はりの断面形状・寸法 (unit:mm)

C, Dシリーズの載荷方法は以下に示すとおりである。

1) Cシリーズ：C1タイプとして上限荷重を静的最大曲げ耐力 $P_u$ の80%、C2タイプとして上限荷重を $P_u$ の90%に設定した共振繰返し(疲労)試験(載荷速度:6回/分、波形:sin波)を行なった。

なお、下限荷重はいずれも0.5倍( $P_u$ の5~6%)とした。いざれの1) Bは付帯のあるもの、Uはないものを示す

PCはりも繰返し回数が所定の値に達した時点で、下限荷重・上限荷重を

静的に与え、スパン中央のたわみを測定した。また、25000回の繰返しに耐えたものについては、その後静的載荷を行ない残存耐力を求めた。

2) Dシリーズ：D1タイプとして、最大耐力以後のフォーリングブランチ領域で載荷点のたわみが9~10mm(部材角 $\theta \approx 1/60$ )となる変位レベルで定変位の正負交番繰返し載荷を行なった。一方、D2タイプでは、まず最大耐力以前でたわみが5mm( $\theta = 1/20$ )となるところで100回の繰返しを与えた後、フォーリングブランチ領域でたわみが15mm( $\theta = 1/40$ )となるところで正負交番繰返しを与えた。なお、載荷速度は3回/分、波形はsin波とした。

表1 はりの種類 (Cシリーズ)

供試はり	材質の 鋼材指 数 q	耐 力 ビッチ $b \times s$	導入プレ スチール ストレス $\sigma_{\text{PFR}}$ (ton)	耐 力 N (ton)	残存 耐力 N (ton)	静的 最大 耐力 N (ton)の 比
C1-1	B	0.162	∞	113	8.25	9.6
C1-2	U	0.185	∞	96	6.51	9.0
C2-1	B	0.162	∞	116	9.30	89
C2-2	B	0.162	d/4	107	9.30	10.0
C2-3	U	0.185	∞	100	7.30	20700
C2-4	U	0.185	d/4	107	7.30	4650

表2 はりの種類 (Dシリーズ)

供試はり	材質の 鋼材指 数 q	耐 力 ビッチ $b \times s$	導入プレ スチール ストレス $\sigma_{\text{PFR}}$ (ton)	繰返し 載荷 までの たわみ $\theta$ (mm)	静的 最大 耐力 N (ton)
D1-1	B	0.169	∞	103	10.19
D1-2	B	0.169	d/4	7.8より 12.4**	9.88
D1-3	U	0.154	∞	110	8.50
D1-4	U	0.154	d/4	110	8.06
D1-5	B	0.247	∞	152	12.38
D1-6	B	0.221	d/4	7.8より 15.2**	12.06
D1-7	U	0.224	∞	176	9.25
D1-8	U	0.224	d/4	174	9.94
D2-1	B	0.162	∞	111	5mm 10.00
D2-2	U	0.154	d/4	12.4**	12.06
D2-3	B	0.221	∞	164	15mm 12.19
D2-4	U	0.224	d/4	167	9.56

1) D1-7は7.6mmで繰返しを行なった

### 3. 試験結果および考察

1) Cシリーズ 各PCはりの疲労寿命等の試験結果を表1に、また繰返し回数とスパン中央たわみの関係を図2に示す。上限荷重比R=80%の場合は、ボンドPCはりとアンボンドPCはりのいずれも25000回の繰返しでは疲労破壊しなかったが、R=90%の場合には、いずれも曲げスパン内コンクリートの圧潰により疲労破壊した。疲労破壊したPCはりの疲労寿命は、表1に示すように、ボンドPCはりに較べアンボンドPCはりの方がかなり大きな値を示している。この点に関しては供試体の数が少ないので明確ではないが、アンボンドPCはりの静的的最大曲げ耐力がボンドPCはりに較べ20%程度低下するため、結果としてコンクリートの圧縮応力振幅が小さくなることに起因すると考えられる。また、25000回の繰返しに耐えたPCはりの残存耐荷力は、静的載荷時のものと較べほとんど低下は認められない。一方、スパン中央のたわみは、繰返し回数の増加とともに増大していくことが図2より明白にうかがえる。ボンドPCはりではアンボンドPCはりに較べて10<sup>3</sup>回以内の比較的小ない繰返し回数でのたわみ増大率が大きくなる傾向が認められるが、これは、ボンドPCはりでは比較的早期に付着劣化が進行するためと考えられる。また、拘束筋を有するPCはりは、有しないものに較べ、繰返し回数の増加に対するたわみの増大率が小さくなる傾向が認められる。

2) Dシリーズ 荷重へたわみの履歴ループ例を図3に、定変位繰返し下において1回目の繰返し時の荷重( $P_1$ )に対する $n$ 回目の繰返し時の荷重( $P_n$ )の比  $P_n/P_1$ の一例を図4に示す。これらより、定変位の交番繰返し下では、その耐荷力は繰返し回数の増加とともに低下していくことが明白にうかがえる。その様相は拘束筋の有無によって相異し、D1タイプ(たわみ9~10mm)の場合はPC鋼材付着の有無に関係なく、拘束筋を有しないものは耐荷力の低下が著しい。また、D2タイプ(たわみ15mm)のアンボンドPCはりでは、拘束筋を有していても耐荷力の低下が著しくなる傾向が認められる。一方、D2タイプにおいてたわみが5mmの場合には、100回の繰返し後においても耐荷力の低下は10%程度以内となり、顕著な部材劣化は認められない。次に、繰返し回数と消散エネルギーEd、および等価粘性減衰定数  $h_{eq}$ との関係の一例をそれぞれ図5、図6に示す。Edの値は繰返し回数の増加とともに減少するが、拘束筋を有しないアンボンドPCはりのEdはボンドPCはりに較べかなり小さい値を示している。一方、 $h_{eq}$ 値は、D1タイプの場合、付着の有無による顕著な差は認められないが、D2タイプ(たわみ15mm)の場合、アンボンドPCはりの方が比較的早期の段階で大きな値を示す傾向が認められる。また、拘束筋を有しないPCはりの  $h_{eq}$ は、繰返し回数が5回程度以上になると増大し始め、拘束筋を有するものより大きな値を示すようになる。これは、同じ繰返し回数に対する部材劣化の進行の度合が、拘束筋を有しないPCはりでは有するものと較べ早くなるためと考えられる。

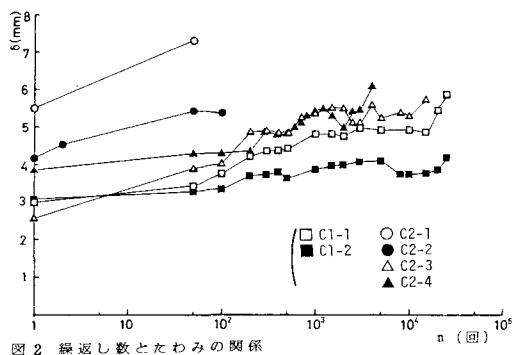


図2 繰返し数とたわみの関係

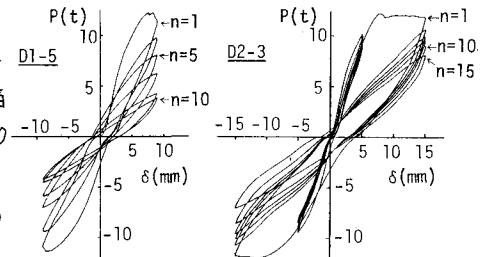


図3 荷重へたわみ  
履歴ループ例

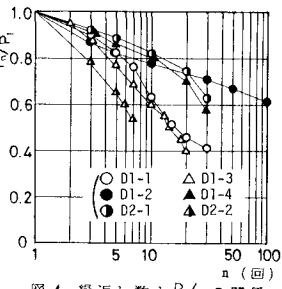


図4 繰返し数と  $P_n/P_1$  の関係

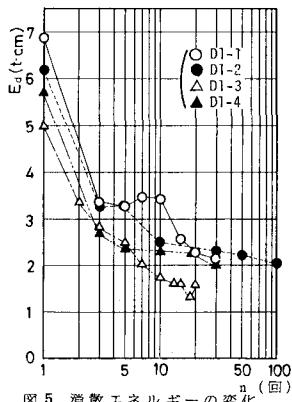


図5 消散エネルギーの変化

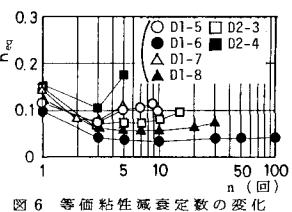


図6 等価粘性減衰定数の変化