

京都大学 正員 岡田 清
正員 〇井上 晋

正員 小林 和夫
学生員 勝野 由転

1. まえがき 近年、高性能減水剤等の使用により圧縮強度 800 kg/cm^2 程度の高強度コンクリートが現場においても容易に製造できるようになり、その有効な利用分野としてPC構造が注目されている。本研究は、高強度コンクリートを用いたポストテンションPC単純はりにおいて、降伏ヒンジ領域に配置する横拘束筋の有無を主要因として取り上げ、一方向および正負交替荷重増変位タイプの静的曲げ試験を実施することにより、その耐荷性状や塑性変形特性を同程度のPC鋼材指数を有するよう配筋された普通強度コンクリートはりと比較検討するとともに、荷重-たわみ関係の理論解析を行ない、設計上の基礎的資料を得ることを目的としたものである。

2. 試験概要 本研究で用いた供試体は、幅×高さ×全長 $=10 \times 20 \times 160 \text{ cm}$ のボンドタイプ・ポストテンションPC単純はりで、コンクリート設計基準強度として $\sigma_{ck}=800 \text{ kg/cm}^2$ （高強度コンクリート）と $\sigma_{ck}=550 \text{ kg/cm}^2$ （普通強度コンクリート）の2種類を選定した。使用したコンクリートの示方配合は表1に示すとおりである。鋼材指数 $\beta=(A_p \sigma_{py} / b d \sigma_{ck})$ としては、ニュージーランドPCダクトイルフレーム耐震設計指針の規定値を満足する値として0.18を選定し、PC鋼材断面積を変化させることにより両コンクリート間で β 値がほぼ等しくなるようにした。ただし、実際の β 値はコンクリートの実圧縮強度によりこの値と若干変動する。また、PCはり部材の横拘束効果を検討するため、ニュージーランド規準等を参考にし、スパン中央50cm区間の降伏ヒンジ領域に横拘束筋として $\phi 6 \text{ mm}$ 閉合矩形スターラップを $d/4$ (d :有効高)ピッチで配置したもの($s=d/4$)と無拘束のもの($s=\infty$)の2種類を選定した。なお、いずれの供試体も現行の土木学会PC標準示方書の規定に従い、せん断補強筋として $\phi 6 \text{ mm}$ 矩形スターラップをスパン中央50cm区間外のせん断スパンに配置した。また、PC鋼材としては7本よりPC鋼より線(12.4mmおよび15.2mm, $\sigma_{py}=170 \text{ kg/mm}^2$)を用い、断面内に対称配置した2本のPC鋼材を同時に緊張・圧着グリッパ定着し、一様プレストレスを導入した。以上の要因の組合せにより計4種類のPCはりを作製し、それぞれ一方向荷重試験(Aシリーズ)、正負交替荷重試験(Bシリーズ)に供した。供試体の種類を表2に、断面形状・寸法を図1に示す。各シリーズの荷重方法は以下に示すとおりである。

表1 コンクリートの示方配合

σ_{ck} (kg/cm ²)	Max. Size of Aggregate (mm)	Slump (cm)	W/C (%)	w/a (%)	Unit Content (kg/cm ³)				Admixture [†] (cc/m ³)
					W	C	S	G	
550	10	5±1	44	42	175	400	724	1039	No. 70 1000
900	10	5±1	32	32	180	580	501	1093	NL-1450 5800

*日本マスタートールゲージ社製

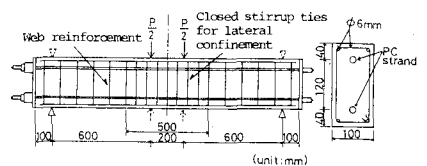


図1 はりの断面形状・寸法

(1) Aシリーズ: スパン中央のコンクリート圧縮縁ひずみ ϵ_c が 1000μ , 2000μ , 2500μ , 3000μ となる荷重レベル, 最大耐力時およびフォーリングブランチ領域でスパン中央たわみ $\delta=20 \text{ mm}$ (部材角 $\theta=0.029$), 35 mm ($\theta=0.05$)となる荷重レベルで各1回ずつの完全除荷-再荷重による一方向荷重増荷。

(2) Bシリーズ: スパン中央たわみ δ がAシリーズの $\epsilon_c=2000\mu$ 時のたわみと等しくなる荷重レベル, 最大耐力時およびフォーリングブランチ領域で $\delta=20 \text{ mm}$ ($\theta=0.029$)となる荷重レベルで各1回ずつの正負等変位による交替荷重。

3. 試験結果および考察 表2に各シリーズのPCはりの曲げひびわれ発生荷重 P_{cr} , 最大耐力 P_u およびじん性率 μ を、また、図2に各PCはりの $P-\delta$ 曲線を示す。

表2 はりの種類・耐力

供試体	σ_{cs} (kg/cm^2)	鋼材 指数 β	拘束筋 ピッチ s	アレスト レス β	ひびわれ発生荷重 (ton)*		最大耐力 (ton)*		じん性率
					実験値 P_{cr}	計算値 P_{cr}^*	実験値 P_u	計算値 P_u^*	μ
AN-1	550	0.154	∞	1.21	4.39	4.37	10.10	9.18	2.17
AN-2	550	0.167	$d/4$	1.13	5.00	4.62	10.48	9.05	2.89
AH-1	800	0.187	∞	1.94	6.60	6.46	13.35	12.34	1.84
AH-2	800	0.187	$d/4$	1.95	6.00	6.49	13.64	12.34	3.45
BN-1	550	0.152	∞	1.12	5.00 (4.00)	3.86	8.75 (6.43)	9.21	2.73
BN-2	550	0.167	$d/4$	1.09	5.60 (6.00)	4.13	10.39 (8.86)	9.05	2.94
BT-1	800	0.187	∞	1.85	6.00 (6.00)	6.49	13.14 (12.91)	12.34	1.73
BT-2	800	0.187	$d/4$	2.11	6.50 (7.00)	6.84	12.60 (12.96)	12.34	4.24

* () 内は負方向の値を示す。

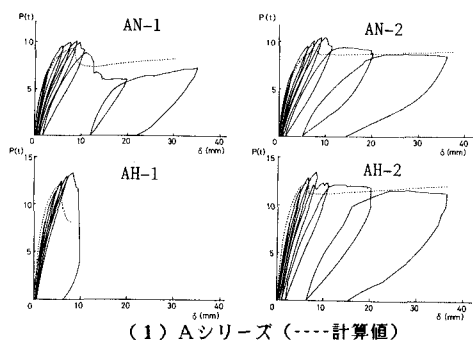


図2 荷重-たわみ履歴ループ

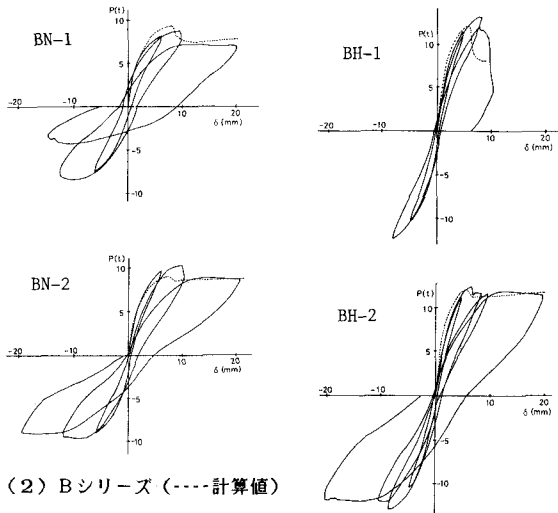
表2の最大耐力の計算値 P_u' はACI式による終局曲げ耐力を示し、じん性率 M は最大耐力の90%の荷重に対応する荷重上昇域のたわみに対する下降域のたわみの比で表わしたものである。また、図2のたわみ計算値はコンクリートおよびPC鋼材に対してParkらのヒカーヒズミモデルを準用して曲げモーメント-曲率関係を求め、Mohrの定理を用いて算定したものである。

表2より、高強度コンクリートを用いたPCはりでは、同程度のPC鋼材指数を有する普通強度のものに較べ、曲げひびわれ耐力で20~60%、最大耐力で25~50%程度の増大が認められ、高強度コンクリートを用いて高プレストレスを導入することにより、曲げひびわれ耐力、最大耐力を大幅に増加させることが可能となる。しかし、表2のじん性率および図2の $P-\delta$ 曲線より、横拘束筋を有しない高強度PCはりでは最大耐力到達後の耐力の低下が急激で、普通強度PCはりに較べて脆性的な挙動を呈すること、また、十分なじん性を確保するためには適量の横拘束筋を配置する必要があることが示される。また、図2より、たわみの計算値と実験値を比較すると、両コンクリートとも前述の方法により、最大耐力以降のフォーリングブランチ領域も含めた変形特性をかなり良く推定できると考えられる。

図3に各線近し載荷時における全たわみに対する完全除荷時の回復たわみの比で定義した変形回復率 α と部材角 θ との関係を、また、図4に $P-\delta$ 履歴ループから算出した等価粘性減衰定数 h_{eq} と部材角 θ との関係を示す。

図3より、最大耐力到達以前($\theta < 0.01$)においては、コンクリート強度・横拘束筋の有無に関係なく、A、BシリーズのいずれのPCはりも90%程度以上の高変形回復率を示すが、最大耐力到達以降のフォーリングブランチ領域においては、横拘束筋を有しないPCはり、特に高強度コンクリートを用いた場合には変形回復率が急激に低下することがうかがえる。しかし、横拘束筋を配置した場合、フォーリングブランチ領域の同一の θ 値に対する高強度PCはりの α 値は普通強度はりに較べて若干小さいものの、変位レベルの増大とともに両者の差はほとんど認められなくなる。一方、図4より等価粘性減衰定数 h_{eq} は部材角 θ の増加とともに増大していくことが明白にうかがえ、いずれのPCはりも最大耐力時($\theta \approx 0.01$)で0.1程度の値を示している。本供試はりのように θ 値をほぼ同一とした場合、高強度PCはりの h_{eq} 値は θ によらず全般的に普通強度PCはりより小さく、前者は後者に較べて振動減衰性が若干劣るものと考えられる。

4. 結論 高強度コンクリートを用いたPCはりと同程度のPC鋼材指数を有する普通強度はりに較べて、曲げひびわれ耐力・最大耐力を大幅に増大できる利点を有するが、フォーリングブランチ領域において十分なじん性を確保し、塑性変形能力を向上させるためには、適量の横拘束筋を配置することが特に重要であると考えられる。



(2) Bシリーズ (----計算値)

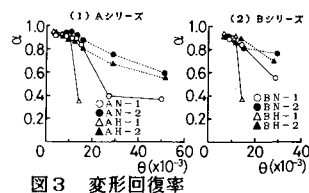


図3 変形回復率

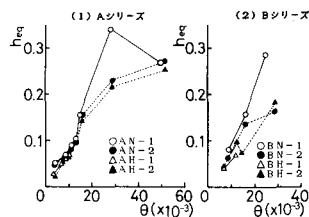


図4 等価粘性減衰定数