

P R C はり部材の塑性変形特性と耐荷性状

京都大学工学部 正員 岡田 清 正員 小林 和夫 正員 井上 晋
学生員 勝野 由弘 学生員 松本 利彦

1. はじめに

我が国のような地震国において、バーシャルプレストレストコンクリート(P R C)構造を土木構造物に積極的に採用していくにあたっては、その塑性変形特性を明確にしておく必要がある。本研究は、種々のプレストレッシング係数を有するP R Cはりに対して、静的な一方向載荷試験(Aシリーズ)および正負交番載荷試験(Bシリーズ)を実施し、その耐荷性・塑性変形特性を、曲げ拘束筋の有無による影響と併せて検討することにより、耐震設計上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

1) 供試体；供試はりの形状・寸法を図

1に示す。コンクリートの設計基準強度は 400kgf/cm^2 としプレストレッシング係数 $\lambda (=A_p \cdot f_{py} / (A_s \cdot f_{sy} + A_p \cdot f_{py}))$;

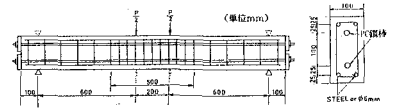


図1 はりの形状・寸法

$2\phi 6$ の組立筋も考慮)の値として、O(RC), 0.44(PRC1)

0.78(PRC2), 0.86(PC)の4種類を選定した。なお、これらの供試体は静的最大曲げ耐力がほぼ等しくなるように設計した。また、Bシリーズでは曲げ拘束筋の効果を

検討するため、同一の λ 値に対してスパン中央50cm区間に $\phi 6\text{mm}$ 矩形帯鉄筋($f_{sy}=49\text{kgf/cm}^2$)を $d/4$ ピッチで配置したRタイプと、配置しないNタイプの2種類のはりを作製した。なお、いずれのはりにおいても、土木学会P C標準示方書による算定値よりやや安全側となるように、 $\phi 6\text{mm}$ の矩形スターラップを、10cmピッチで配置した。A・B各シリーズ供試体の種類と試験結果を表1・2に示す。

2) 載荷方法；図2に示すように、Aシリーズにおいてはスパン中央部のコンクリートが圧潰し始め

るまではコンクリート上縁ひずみ(ϵ_c)制御により、それ以後は、RCはりの降伏たわみ($\delta y=5\text{mm}$)の整数倍で完全除荷を行うたわみ制御により載荷を行った。また、Bシリーズでは、スパン中央たわみが降伏たわみ($\delta y=5\text{mm}$)の整数倍となる変位振幅レベルで各1回ずつの漸増変位型の正負交番載荷を行った。

3. 試験結果および考察

1) 曲げひびわれ・最大耐力；曲げひびわれ発生荷重は λ の増加とともに増大し、プレストレスの効果が顕著に認められる。また、最大耐力の実験値は、いずれも通常の終局曲げ強度理論による計算値を下回ることなく、正負交番荷重下でも安全側に算定できることが示される。また、BシリーズのRCはりは、他のはりがす

表1 Aシリーズの供試体とその耐荷特性

供試体	λ	f_{cu}	A_s	A_p	最大耐力 (kgf/cm^2)	ひびわれ 発生荷重 (kgf/cm^2)	最大耐力 発生荷重 (kgf/cm^2)	最大耐力 発生荷重 (kgf/cm^2)	最大耐力 発生荷重 (kgf/cm^2)
RC-B-N	0	0.180	2015	—	—	2.25	9.74	7.04	+3.53
PRC1-B-N	0.440	0.231	2013	$\phi 9.2$	4.4	4.02	9.21	8.13	6.91
PRC2-B-N	0.780	0.252	2010	$\phi 13$	9.9	4.09	9.47	7.90	7.42
PC-B-N	0.856	0.276	2010	$\phi 13$	13.2	5.52	9.00	8.37	2.17

表2 Bシリーズの供試体とその耐荷特性

供試体	λ	f_{cu}	A_s	A_p	最大耐力 (kgf/cm^2)	ひびわれ 発生荷重 (kgf/cm^2)	最大耐力 発生荷重 (kgf/cm^2)	最大耐力 発生荷重 (kgf/cm^2)	最大耐力 発生荷重 (kgf/cm^2)
RC-B-R	0	0.180	2015	—	—	8.66	8.61	7.67	5.75
RC-B-N	0	0.180	2015	—	—	9.50	9.50	7.67	4.52
PRC1-B-R	0.440	0.231	2013	$\phi 9.2$	4.9	10.27	9.56	8.13	3.52
PRC1-B-N	0.440	0.231	2013	$\phi 9.2$	4.9	12.00	10.44	8.13	+6.67
PRC2-B-R	0.780	0.254	2010	$\phi 13$	9.1	9.84	9.13	8.01	3.83
PRC2-B-N	0.780	0.254	2010	$\phi 13$	9.3	9.88	9.60	8.01	+0.23
PC-B-R	0.856	0.276	2010	$\phi 13$	11.1	10.89	8.81	8.41	1.53
PC-B-N	0.856	0.276	2010	$\phi 13$	11.5	10.13	9.13	8.41	2.60

1) 最大耐力 $\lambda = A_p \cdot f_{py} / (A_s \cdot f_{sy} + A_p \cdot f_{py})$ (b: d=1/3) (c: d=1/4) (d: d=1/5)
2) ひびわれ発生荷重 $\lambda > 0.35$ は、それ以上の値を示すものである。

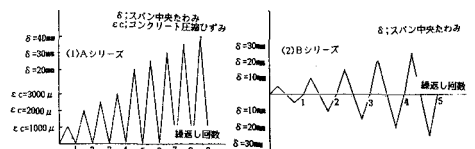


図2 載荷方法

べて曲げ破壊したのに対し、N・R両タイプともに著しいX字型のせん断ひびわれを伴うせん断破壊を呈し、最大耐力はAシリーズに較べ若干小さくなっている。

2) 履歴ループ性状；Bシリーズの荷重-たわみ（ $P-\delta$ ）履歴ループを図3に示す。なお、これらにはAシリーズの $P-\delta$ 包絡線（実測）およびParkらの研究を参考にした計算値を付記した。図よりPRCおよびPCのじん性は、曲げ拘束筋の配置により大幅に改善されることが明らかである。また、Aシリーズの同一はりの包絡線と比較すると、Bシリーズでは耐力低下がAシリーズよりやや早期に現われ、正負交番荷重履歴の影響が認められる。RCでは $\delta=30\text{cm}$ 付近でX字型せん断ひびわれによるピンチ効果を示すものの、それ以前の変位レベルでは、急激な耐力低下を伴うことなく紡錘型の安定したループを示している。一方、 λ の増加に伴ない逆S字型を示すようになり、履歴ループの囲む面積が減少していく様子がうかがえる。また、図4に曲げモーメント-曲率（ $M-\phi$ ）関係の一例をParkらの研究を参考にして算定した計算値とともに示す。計算にあたっては鉄筋のバウジナガー効果を考慮しなかったが、実験値と計算値は比較的良好一致しており $\lambda \geq 0.44$ の場合には、このような方法で $M-\phi$ 関係を推定することが可能である。

3) 変形回復率；Aシリーズの変形回復率 α と部材角 θ の関係を図5に示す。PRC1（ $\lambda=0.44$ ）でも、最大耐力到達以前は90%近くの変形回復率を示し、プレストレス効果がうかがえる。しかし、フォーリングブランチ領域では、PC、PRCにおいても α 値が急激に低下しており、 λ による差異は顕著でなくなる。

4) 等価粘性減衰定数；Bシリーズにおける等価粘性減衰定数 h_{eq} と θ の関係を図6に示す。これより同一部材角に対するRCはりの h_{eq} 値は、PCおよびPRCと較べてかなり大きく、 λ による差異が顕著に認められる。また、Nタイプのものはフォーリングブランチ領域での耐力低下が著しく、急激な破壊を呈するため、 h_{eq} 値はRタイプより比較的早期に増大する傾向が認められる。なお、RCでは、せん断破壊を呈したため、曲げ拘束筋による影響は認められなかった。

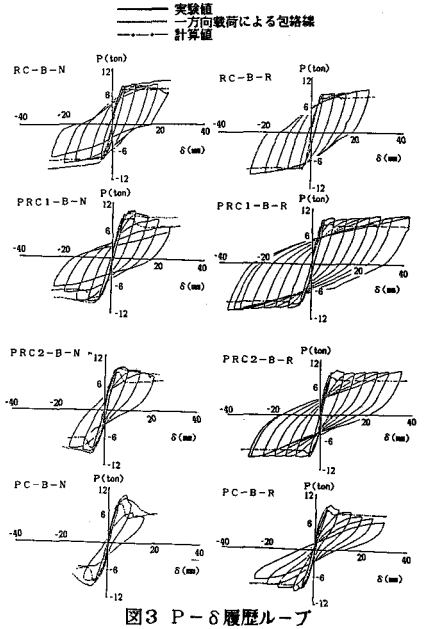


図3 $P-\delta$ 履歴ループ

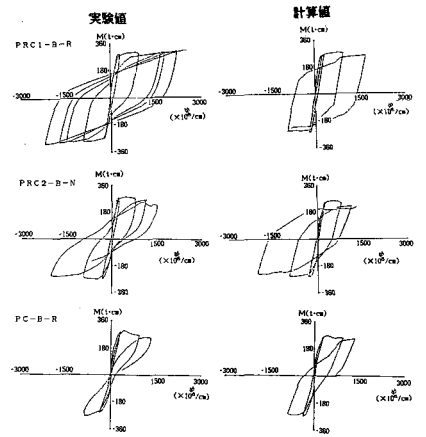


図4 $M-\phi$ 履歴ループ

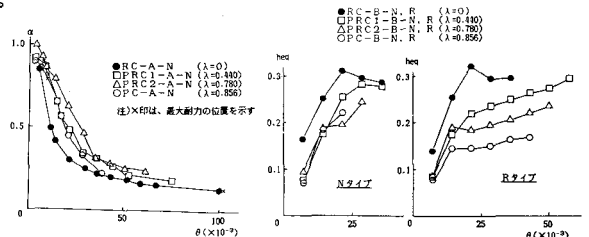


図5 λ が α に及ぼす影響

図6 h_{eq} と θ の関係