

V-97

正負交番作用荷重下におけるPPC部材の塑性変形特性について

京都大学 正員 ○井上 晋 正員 小林 和夫 長野県 正員 勝野 由弘

1. はじめに フルプレストレストコンクリート（PC）およびパーシャルプレストレストコンクリート（PPC）部材は、現在広範囲のコンクリート構造物に適用されているが、これらは通常鉄筋コンクリート（RC）部材に較べて大地震時に要求される塑性変形能力が劣るとされており、その耐震設計には十分な注意を払うとともに、設計細目の充実を図ることが必要である。本研究は、ポストテンションPPC単純はりにおいてコンクリート強度、緊張率、横拘束筋量およびその降伏点を主要因として単調漸増正負交番載荷試験を実施し、その耐荷・塑性変形特性を検討することにより、PPC部材の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 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には400, 800 kgf/cm²の2種類、緊張率 λ （ $=A_p f_{py}/(A_p f_{py} + A_s f_{sy})$ ）には0.4, 0.7および1.0（D6組立筋により実際には1.0より若干小さくなる。）3種類を選定した。また、横拘束筋量は体積比で、 $\rho_s=0, 0.7, 1.4, 2.8\%$ の4レベルとした。これらの値はピッチに換算するとそれぞれ $\infty, d, d/2, d/4$ （ d :有効高）に対応するものである。さらに、横拘束筋の降伏点としては $f_{yh}=3200, 14400$ (kgf/cm²)の2レベルを選定した。なお、供試はりとは同一コンクリート強度間では最大曲げ耐力がほぼ等しくなるよう設計し、いずれも土木学会コンクリート標準示方書（昭和61年制定）の規定により、D6スターラップをせん断補強筋として配置した。供試はりの種類、試験結果を表1に示す。

載荷方法は図2に示すように、スパン中央たわみが降伏たわみ δ_y （約5mm）の整数倍となる変位振幅のもとで各1回の単調漸増型の正負交番載荷とした。

3. 試験結果および考察 図3に荷重-たわみ（P- δ ）履歴

表1 供試はりの種類および試験結果

1) 供試体名称	2) f _{ck}	緊張率 λ	拘束筋 ピッチ s (cm)	3) ρ_s (%)	4) q	5) σ_{cp}	最大耐力 P _u (t)		じん性率 μ (6)	
							正方向	負方向	正方向	負方向
AN4- ∞	400	0.433	d(17.0)	0	0.260	50	10.07	9.59	3.75	2.93
AN4-d/4-L			d(17.0)	0.673	0.260	50	10.28	9.81	7.94	7.47
AN4-d/2-L			d(17.0)	0.600	0.287	49	10.03	9.32	7.75	4.59
AN4-d/4-H			d/2(8.5)	1.346	0.260	49	10.10	9.58	7.31	6.09
AN4-d/2-H			d/2(8.5)	1.201	0.287	50	9.53	9.10	5.20	3.95
AN4-d/4-L			d/4(4.3)	2.650	0.260	50	10.22	10.48	7.60	6.91
AN4-d/4-H			d/4(4.3)	2.374	0.287	49	10.41	10.07	8.56	8.78
AN7- ∞	400	0.704	d(16.3)	0	0.289	90	9.47	8.59	2.44	2.73
AN7-d/4-L			d(16.3)	0.702	0.289	89	9.27	8.60	4.85	4.47
AN7-d/2-L			d/2(8.2)	1.395	0.289	91	9.14	8.75	5.64	6.00
AN7-d/4-H			d/4(4.1)	2.790	0.289	90	9.44	9.48	9.47	8.06
AN1- ∞	400	0.889	d(16.3)	0	0.306	121	8.91	7.95	2.00	2.38
AN1-d/4-L			d(16.3)	0.729	0.306	119	8.26	7.69	2.42	3.25
AN1-d/2-L			d(15.7)	0.650	0.320	121	8.51	7.22	2.45	3.91
AN1-d/4-H			d/2(7.9)	1.448	0.320	122	8.20	7.98	2.23	3.31
AN1-d/2-H			d/2(7.9)	1.292	0.320	121	8.16	7.76	2.09	4.50
AN1-d/4-L			d/4(3.9)	2.933	0.306	120	8.25	8.00	9.50	6.93
AN1-d/4-H			d/4(3.9)	2.618	0.320	120	8.57	8.24	7.36	7.46
AH4- ∞	800	0.503	d(15.4)	0	0.216	95	15.92	14.91	2.90	3.39
AH4-d/4-L			d(15.4)	0.677	0.216	95	15.94	14.63	4.78	4.55
AH4-d/2-L			d(15.4)	0.804	0.216	95	15.28	14.80	6.00	6.61
AH4-d/4-H			d/2(8.5)	1.346	0.216	95	16.12	14.66	8.67	7.61
AH4-d/2-H			d/2(8.5)	1.201	0.216	98	16.25	15.07	8.22	7.65
AH4-d/4-L			d/4(4.2)	2.723	0.216	97	16.31	15.27	9.55	7.77
AH4-d/4-H			d/4(4.2)	2.431	0.216	95	16.45	15.74	9.10	9.60
AH1- ∞	800	0.937	d(15.4)	0	0.254	222	14.48	13.03	1.93	1.62
AH1-d/4-L			d(15.4)	0.743	0.254	220	14.00	13.40	2.47	2.79
AH1-d/2-L			d(15.4)	0.653	0.347	228	14.51	13.97	1.93	2.79
AH1-d/4-H			d/2(7.7)	1.485	0.347	226	14.29	13.05	2.33	2.53
AH1-d/2-H			d/2(7.7)	1.326	0.347	233	14.13	13.72	2.92	2.67
AH1-d/4-L			d/4(3.9)	2.933	0.347	230	14.70	13.73	5.07	1.93
AH1-d/4-H			d/4(3.9)	2.618	0.347	236	14.57	13.63	3.35	4.56

- 1) 名称の最後の記号がLは普通強度横拘束筋（ $f_{yh}=3200$ kgf/cm²）、Hは高強度横拘束筋（ $f_{yh}=14400$ kgf/cm²）を有する。
2) f_{ck}: コンクリート設計基準強度(kgf/cm²)
3) ρ_s : 横拘束筋比（一つの横拘束筋で囲まれるコンクリートとての体積比）
4) q: 鋼材指数（ $=A_p f_{py}/b d p f_c' + A_s f_{sy}/b d s f_c'$ ）
5) σ_{cp} : 導入プレストレス(kgf/cm²)
6) μ : 印がけられているものは、満足可能な範囲で求めた値であり、実際にはそれ以上の値を示すものである。

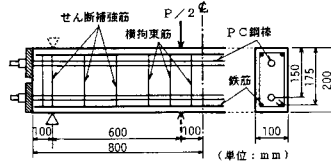


図1 供試はりの形状・寸法

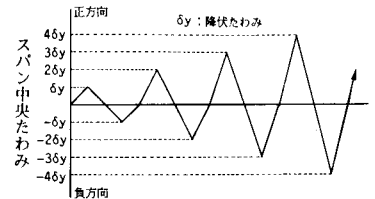
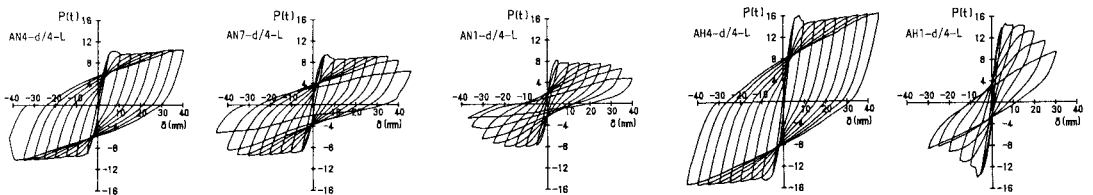


図2 載荷方法

図3 P- δ 履歴ループの一例

履歴ループの一例を示す。また、図4に履歴ループの面積から算定した消散エネルギー（ E_d ）に及ぼす緊張率、横拘束筋量の影響を調べたものを示す。図3より、 $\lambda=0.4$ の場合はRCに近い紡錘型のループ形状を示すのに対し、 $\lambda=0.7$ の場合は高復元型のPCに近い性状を示すことがうかがえ、 λ により

履歴ループ特性が大きく変化することがわかる。このことは図4-(1)からも明瞭にうかがえ、 λ の増大とともに同一変位に対する E_d が小さくなることがわかる。また、図4-(2)より、46y程度までの比較的小さな変位レベルでは、横拘束筋量が E_d に及ぼす影響はほとんど認められないものの、それ以降の変位レベルでは、横拘束筋量が少ないほど E_d が減少し始める変位が小さくなることがわかる。

表1にP- δ 包絡線で最大耐力の90%の荷重レベルに対応する荷重上昇域と下降域のたわみの比で定義した各はりのじん性率 μ を、また、図5に横拘束筋量が μ 値に及ぼす影響を $\lambda=0.4, 1.0$ について調べたものを示す。表1より、 μ 値は緊張率 λ の増大とともに低下すること、圧縮強度800kgf/cm²の高強度コンクリートを用いたよりは λ が大きくなると400kgf/cm²の普通強度コンクリートを用いたものよりかなり小さくなることなどがうかがえる。一方、横拘束筋によるじん性改善効果は λ 値により異なり、図5に示すように、 $\lambda=0.4$ の場合は横拘束筋量の増大とともに μ 値はほぼ直線的に増加するのに対し、 $\lambda=1.0$ の場合は1.4%程度の横拘束筋量ではその効果は少なく、5以上の μ 値を確保するためには少なくとも2.8%以上の横拘束筋を配置する必要があることがわかる。

図6は、横拘束筋ひずみの最大値 ε_{hmax} と ρ_s/f_c' （ f_c' ：コンクリート強度）の関係を示したものである。これより、 $f_{yh}=3200\text{kgf/cm}^2$ の普通強度横拘束筋はほとんどが降伏しているのに対し、 $f_{yh}=14400\text{kgf/cm}^2$ の高強度横拘束筋では降伏しているものがほとんどないことがわかる。図6を各横拘束筋の応力-ひずみ関係に基づいて応力 f_{hmax} に換算したものが図7である。高強度横拘束筋の場合には ρ_s/f_c' が増加するにつれて f_{hmax} が大きくなる傾向がみられ、最小2乗法で直線近似したところ図中の関係式が得られた。これより、高強度横拘束筋は横拘束筋比が大きくなるほどその強度が有効に利用されることが示唆される。

4. まとめ 本研究結果より、PPCはりのじん性、エネルギー消散能等の塑性変形特性は緊張率 λ 、横拘束筋量により大きく影響されること、高強度横拘束筋を有効に利用するには横拘束筋比を大きくする必要があること等が明らかとなった。

謝辞 本研究の実施にあたり著者の一人（井上）に昭和60年度吉田研究奨励金の授与を受けました。ここに深く感謝致します。

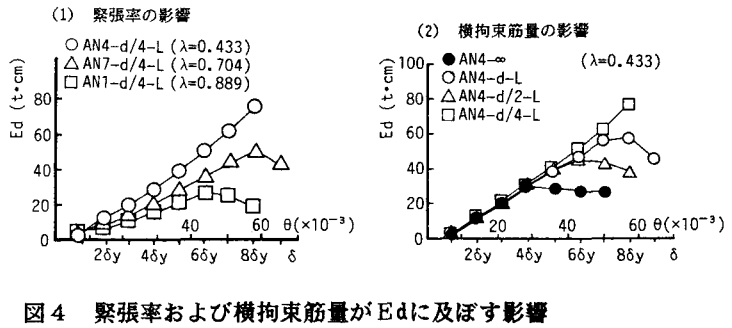


図4 緊張率および横拘束筋量が E_d に及ぼす影響

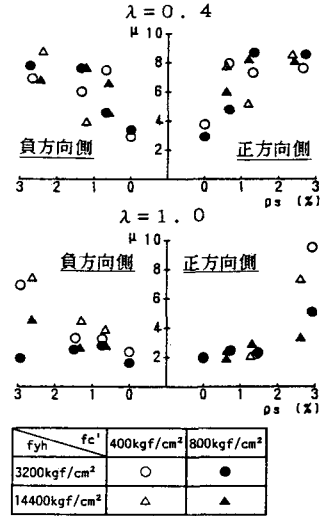


図5 じん性率と横拘束筋量の関係

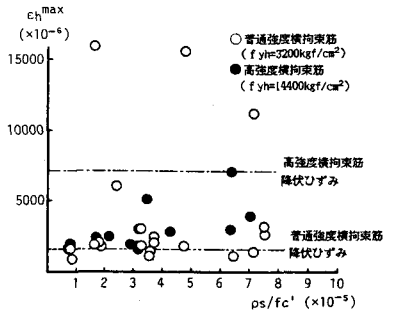


図6 $\varepsilon_{hmax} - \rho_s/f_c'$ 関係

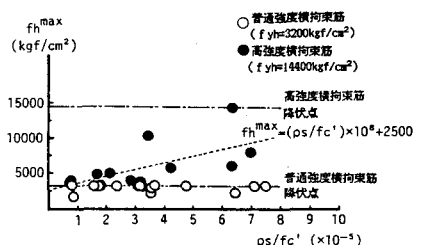


図7 $f_{hmax} - \rho_s/f_c'$ 関係