

[78] 純ねじりを受けるⅢ種プレストレストコンクリート部材の挙動

正会員 豊福 俊英 (香川大学農学部)

1. 緒言

Ⅲ種プレストレストコンクリート(以下PCと略記)部材は、鉄筋コンクリート(以下RCと略記)とPC部材との中間的な構造であるが長期載荷時での曲げひびわれやたわみを制御する面で有用だと考えられ今後の利用が期待されている。したがって、従来の研究も曲げおよびせん断挙動の解明を中心に行なわれてきた。

本研究は上記曲げひびわれ制御等に有利な偏心プレストレスを導入し軸方向に補強鉄筋を非対称に配置したⅢ種PC部材が純ねじりを受ける場合のねじりひびわれ挙動および終局耐力について実験的に検討しようとするものであり、理論解析方法と共にⅢ種PC部材の設計方法に関連した資料を得ることを目的としている。

2. 使用材料, 供試体および実験方法

(1) 使用材料

使用したコンクリートは粗骨材の最大寸法20mm, 水セメント比42.0%, スランプ8cmおよび単位セメント量427kg/m³の配合である。セメントは早強ポルトランドセメント(比重3.16)を, 骨材は細骨材として比重2.56, 粗粒率2.90の池砂をまた粗骨材は比重2.59, 粗粒率7.22の砕石を使用した。ねじり補強筋は軸方向鉄筋と横方向鉄筋(スターラップ)の両方を用いて行った。すなわち, 軸方向鉄筋としてSR30相当の丸鋼φ6およびSD35相当のD10およびD13を, またスターラップとしてSR30相当の丸鋼φ6を使用した。その物理的性質を表-2に示す。PC鋼材はSBPR130/145相当の丸鋼φ9.2を使用した。PC鋼材の物理的性質を表-3に示す。

(2) 供試体

供試体の概要を表-1に, また各供試体の配筋図を図-1に示す。実験に用いた矩形はりには軸方向鉄筋において1シリーズはりを除いて非対称複鉄筋断面で, 軸方向鉄筋比 $P\ell = 0.283, 0.565, 1.00$ および 1.55 の4レベルに

表-1 供試体の概要

供試体名称	軸方向鉄筋	PC鋼材	軸方向鉄筋比		横方向鉄筋比 P_V (%)	総鉄筋比		プレストレスレベル(%)
			$P\ell$ (%)	$P\ell'$ (%)		P_f (%)	P_f' (%)	
UPA	1	φ6-φ6	0.283	0.615	0.438	0.721	1.05	0
	2	2φ6-2φ6	0.565	0.897		1.00	1.34	
	3	2φ6-2D10	1.00	1.33		1.03	1.77	
	4	2φ6-2D13	1.55	1.88		1.99	2.32	
UPB	1	φ6-φ6	0.283	0.615	0.438	0.721	1.05	5
	2	2φ6-2φ6	0.565	0.897		1.00	1.34	
	3	2φ6-2D10	1.00	1.33		1.43	1.77	
	4	2φ6-2D13	1.55	1.88		1.99	2.32	
UPC	1	φ6-φ6	0.283	0.615	0.438	0.721	1.05	10
	2	2φ6-2φ6	0.565	0.897		1.00	1.34	
	3	2φ6-2D10	1.00	1.33		1.43	1.77	
	4	2φ6-2D13	1.55	1.88		1.99	2.32	
UPD	1	φ6-φ6	0.283	0.615	0.438	0.721	1.05	15
	2	2φ6-2φ6	0.565	0.897		1.00	1.34	
	3	2φ6-2D10	1.00	1.33		1.43	1.77	
	4	2φ6-2D13	1.55	1.88		1.99	2.32	

*プレストレスレベルとは有効プレストレスによるはり下縁のコンクリート圧縮応力 σ_{cpe} と同材令のシリンダー圧縮強度 σ_{cu} との比(%)である。

$$\text{軸方向鉄筋比 } P\ell = \frac{A_{s1}}{A}, P\ell' = \frac{A_{s1} + A_{p1}}{A}, \text{横方向鉄筋比 } P_V = \frac{a_V \theta'}{S-A}$$

ただし A_{s1} = 軸方向鉄筋の断面積の総和, A_{p1} = PC鋼材の断面積
 a_V = 横方向鉄筋の断面積, $\theta' = 2(b' + d')$, S = スターラップの間隔
 b' , d' = 閉合したスターラップの短, 長脚長, A = はりの断面積

表-2 使用鉄筋の物理的性質

名称	種別	公称直径(mm)	公称断面積(c㎡)	降伏強度(N/mm ²)	引張強度(N/mm ²)
φ6	SR30	6.00	0.283	356	557
D10	SD35	9.53	0.713	361	535
D13	SD35	12.7	1.267	362	566

表-3 PC鋼材の物理的性質

名称	種別	直径(mm)	断面積(c㎡)	強伏強度(KN/mm ²)	31張強度(KN/mm ²)
φ9.2	SBPR130/145	9.2	0.665	1.40	1.46

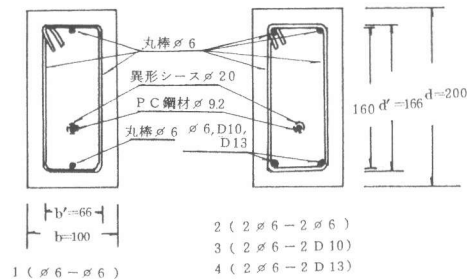
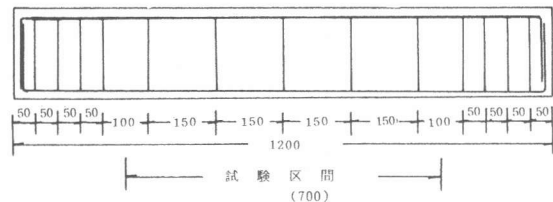


図-1 各供試体の配筋図(単位mm)

変化させた。

なお横方

向鉄筋比

$P_v = 0.438$

(一定)で

ある。さら

に、偏心位

置において

導入した有

効プレスト

レス量は

はり下縁の

圧縮応力

表-4 実験値および理論値

供試体 名称	実験時材令のコンクリート強度 (N/mm ²)			有効PSC によるコンク リート下縁 圧縮応力 σ_{cpe} (N/mm ²)	ねじりひびわれ発生モーメント (KN・m)				Mt・cr・e			終局ねじりモーメント (KN・m)		Mt・u・t	
	圧縮 σ_{cu}	曲げ σ_{bu}	引張 σ_{ct}		理論値				Mt・cr・e			実験値			
					Mt・cr・t ₁	Mt・cr・t ₂	Mt・cr・t ₃	Mt・cr・t ₁	Mt・cr・t ₂	Mt・cr・t ₃	Mt・u・e	Mt・u・t			
UPA	1	41.5	3.28	2.75	0	1.45	1.35	2.29	1.83	1.07	0.63	0.79	1.45	1.58	0.92
	2				0	1.63				1.20	0.71	0.88	1.92	1.86	1.03
	3				0	1.57				1.02	0.60	0.75	1.95	2.06	0.95
	4				0	1.67				1.08	0.64	0.79	2.29	2.06	1.06
UPB	1	41.5	3.50	2.87	2.24	2.28	1.41	2.39	2.26	1.62	0.96	1.01	2.28	1.89	1.21
	2				2.23	2.09				1.48	0.87	0.92	2.22	2.18	1.02
	3				2.23	1.99				1.42	0.84	0.88	2.37	2.27	1.04
	4				2.23	1.91				1.35	0.80	0.84	2.44	2.27	1.07
UPC	1	45.1	3.93	3.12	4.47	2.41	1.53	2.60	2.72	1.58	0.93	0.89	2.60	2.17	1.20
	2				4.45	2.32				1.52	0.89	0.85	2.66	2.45	1.09
	3				4.46	2.34				1.53	0.90	0.86	2.78	2.58	1.09
	4				4.47	2.19				1.43	0.84	0.81	2.85	2.56	1.11
UPD	1	41.6	3.28	2.75	6.68	2.77	1.35	2.29	2.73	2.05	1.21	1.01	2.77	2.32	1.19
	2				6.68	2.77				2.05	1.21	1.01	2.77	2.61	1.06
	3				6.68	2.55				1.88	1.11	0.93	2.68	2.71	0.98
	4				6.73	2.43				1.80	1.06	0.89	2.73	2.71	1.00

σ_{cpe} と使用コンクリートのシリンダー強度 σ_{cu} との比が0.5, 1.0

および1.5の4レベルになるよう選んで行った。

(3) 実験方法

実験は図-1に示す全長120cmの矩形はりを用いてねじり区間長70cmで行った。プレストレスの導入は載荷実験を行う直前に実施するポストテンション方式とし、グラウチングは施さないアンボンドはりを用いた。荷重は静的漸増載荷とし、その間ねじりひびわれ挙動等の観察を行いながら終局荷重まで至らした。

3. 実験結果および考察

実験結果を表-4および図-2~7に示す。

(1) ねじりひびわれ挙動

全供試はりすべて最初にはり上縁、すなわちプレストレス量の少ない縁よりひびわれが発生した。はり軸とひびわれとの角度は約45°であった。さらにひびわれは両側面に移り、側面中央部ではり軸と約41°、下縁で約36°と下側に近づくにつれてひびわれとはり軸とのなす角度は小さくなる傾向が認められた。

(2) ねじりひびわれ発生モーメント: Mt・cr

実験値Mt・cr・eを表-4および図-2に示す。また表-4には下記の各理論による値Mt・cr・tも同時に示した。すなわち、弾性理論値Mt・cr・t₁、塑性理論値Mt・cr・t₂および斜め曲げ理論にプレストレス係数 λ を考慮して求めた値Mt・cr・t₃の各位である。

$$Mt \cdot cr \cdot t_1 = \frac{1}{3} \cdot b^2 \cdot d \cdot f_1 \cdot (d/b) \cdot \sigma_{ct} \quad (1)$$

$$Mt \cdot cr \cdot t_2 = \frac{1}{2} \cdot b^2 \cdot d \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{b}{d}\right) \cdot \sigma_{ct} \quad (2)$$

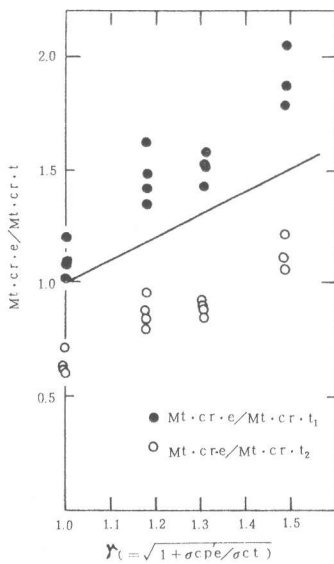


図-3 Mt・cr・e/Mt・cr・tと λ との関係

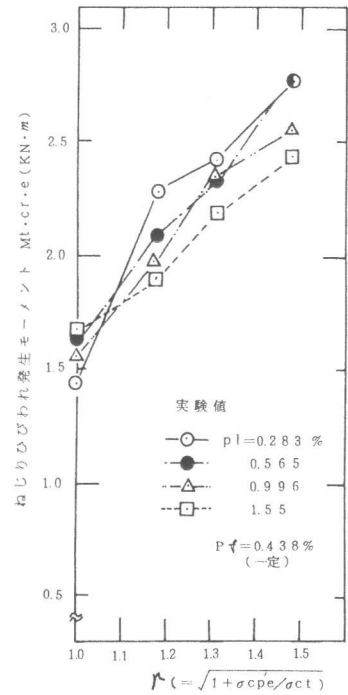


図-2 Mt・cr・eと λ との関係

$$M_t \cdot cr \cdot t_3 = \frac{1}{3} b^2 \cdot d \cdot \sigma_{ct} \cdot \gamma^2 \quad (3)$$

$$\gamma^2 = \sqrt{1 + \sigma_{cpe} / \sigma_{ct}} \quad (4)$$

ここに、 b, d = 短形はりの短・長辺長、 σ_{ct} = コンクリート引張強度、 $f_1 \left(\frac{d}{b} \right)$ = 弾性理論における係数、 σ_{cpe} = 偏心プレストレスを考慮して図心位置における有効プレストレスによるコンクリートの圧縮応力。

実験値 $M_t \cdot cr \cdot e$ は図-2 に示す通り、 $p_v = 0.438\%$ で一定とした場合 $p_l = 0.283 \sim 1.55\%$ における範囲では1割程度のばらつきであった。しかし、プレストレス係数 γ にほぼ比例して $M_t \cdot cr \cdot e$ の値も増加する傾向が認められた。

次に、実験値と理論値との比

$M_t \cdot cr \cdot e / M_t \cdot cr \cdot t_3$ の値は $0.75 \sim 1.01$ 、平均して 0.88 と理論値 $M_t \cdot cr \cdot t_3$ の方が大きな値を示した。また、プレストレス係数 γ を導入していない他の理論値との比を図-3 に示すが、塑性理論に γ を導入する事によって設計式への適用が充分検討できると思われる。

(3) 終局ねじりモーメント: $M_t \cdot u$

実験値 $M_t \cdot u \cdot e$ を表-4 および図-4 ~ 7 に示す。

$M_t \cdot u$ に関しては大別して斜め曲げ理論と立体トラス類似理論とがあるが、ここでは前者についての検討を行う。すなわち、斜め曲げ理論 $M_t \cdot u \cdot t$ によると、(I) $0.7 \leq m \leq 1.5$ に対して、 $M_t \cdot u \cdot t = \alpha d b^2 \sigma_{ct} (\gamma^2 - K) + \omega \cdot \frac{A' \cdot a_v}{s} \cdot \sigma_{svy}$ (5)

$$\text{ここに、} \omega = 0.66m + 0.33 d'/b, m = (p_l \cdot \sigma_{sly}) / (p_v \cdot \sigma_{svy})$$

$$\alpha = 0.35 / (0.75 + b/d), K = 1 - 0.133/\alpha, A' = b' d' \quad (6)$$

σ_{sly} および σ_{svy} はそれぞれ軸方向、横方向鉄筋の降伏応力

(II) $m < 0.7$ の場合は軸方向鉄筋が過少で横方向鉄筋は降伏応力まで有効に働かないので軸方向鉄筋の降伏と釣り合う横方向鉄筋量のみ考慮して次式を用いる。

$$M_t \cdot u \cdot t = \alpha d b^2 \sigma_{ct} (\gamma^2 - K) + (0.66 + 0.47 \frac{d'}{b'}) \cdot \frac{A' \cdot A_s l}{\theta'} \cdot \sigma_{sly} \quad (7)$$

$$\text{ここに、} \theta' = 2(b' + d') \quad (8)$$

(III) $1.5 < m$ の場合は横方向鉄筋の降伏に釣り合う軸方向鉄筋を考慮して、

$$M_t \cdot u \cdot t = \alpha d b^2 \sigma_{ct} (\gamma^2 - K) + (0.99 + 0.33 \frac{b'}{b'}) \cdot \frac{A' \cdot a_v}{s} \cdot \sigma_{svy} \quad (9)$$

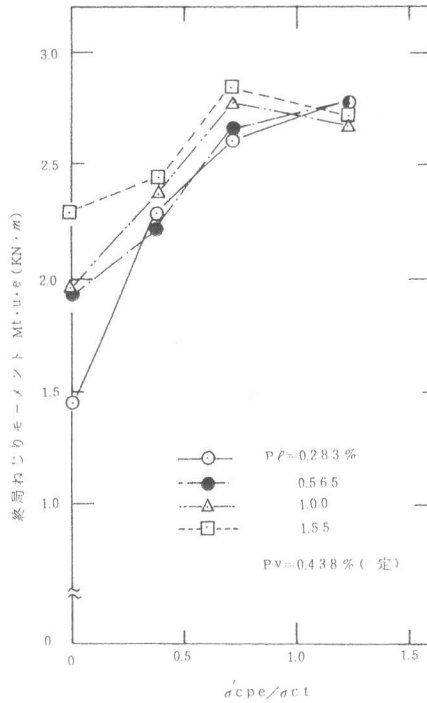


図-4 $M_t \cdot u \cdot e$ と $\sigma_{cpe} / \sigma_{ct}$ との関係

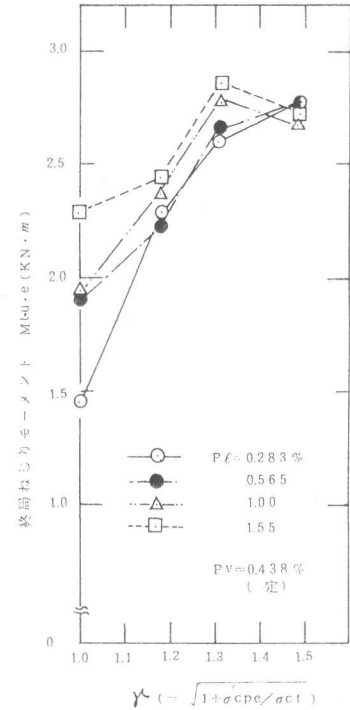


図-5 $M_t \cdot u \cdot e$ と γ との関係

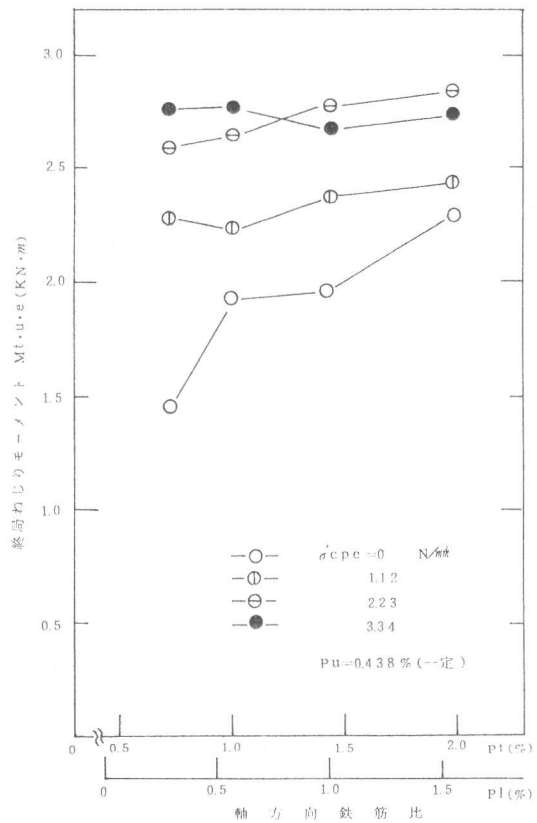


図-6 $M_t \cdot u \cdot e$ と P_l または e との関係

本実験において、1シリーズはりは $m < 0.7$ の場合に相当し、3~4シリーズはりは $1.5 < m$ であり、2シリーズはりが $0.7 \leq m \leq 1.5$ であった。

最初に、図-4および5よりプレスト量が $Mt \cdot u \cdot e$ に及ぼす影響について考察する。 $\sigma_{cpe} = 0$ の場合UPA-1および4はりを除いて $Mtue$ との σ_{cpe}/σ_{ct} または λ^k との関係曲線はほぼ直線的に増加する傾向がみられるが、 $\sigma_{cpe}/\sigma_{ct} = 0.7 \sim 1.2$ または $\lambda^k = 1.3 \sim 1.5$ の付近で1および2はりはその直線勾配が小さくなるのに対し、3および4はりは逆に減少する。すなわち、プレストレスによる上限値がこの付近にあるものと思われる。これが式(5)、(7)および(9)の第1項における係数 ($\lambda - K$) の上限値と思われる。

次に、軸方向鉄筋比 P_l または総鉄筋比 P_t が $Mt \cdot u \cdot e$ に及ぼす影響について考察する。これを図-6および7に示す。 $\sigma_{cpe} = 0 \sim 2.23$ と KN と σ_{cpe} の値が大きくなるにつれて $Mt \cdot u \cdot e$ と p_l, p_t または $\sqrt{p_l \cdot p_v}$ との関係曲線は右上りの増分が小さくなる傾向が認められる。しかし、 $\sigma_{cpe} = 3.34$ KN の場合 $Mt \cdot u \cdot e$ の値は p_l, p_t または $\sqrt{p_l \cdot p_v}$ の増加とはほぼ無関係に一定あるいはわずかな減少傾向がみられる。さらに、このことは式(5)、(7)および(9)の第2項目で表わした軸方向鉄筋あるいは横方向鉄筋の降伏との釣り合いも考慮して幅広い p_v の値に対する実験を行ない今後検討を行う必要があると思われる。

最後に、実験値と理論値との比 $Mt \cdot u \cdot e / Mt \cdot u \cdot t$ は、1シリーズはりにおいて

UPA-1はりを除いて1.19~1.21、2シリーズはりでは1.03~1.09、

3および4シリーズはりでは0.95~1.11であった。したがって、 $0.7 \leq m \leq 1.5$ の2シリーズはりについては良好な結果が得られたと思われる。

4. 結論

(1) ねじりひびわれ発生モーメントはプレストレス係数 λ^k の増加につれほぼ直線的に増加する傾向が認められ、これを塑性理論に適用すれば設計式として利用できると思われる。

(2) 終局ねじりモーメントはある限度のプレストレス量まではプレストレス量が大きくなるにつれてその値を大きくする。その限度は軸方向鉄筋量によって異なる。したがって、斜め曲げ理論式(5)は本文に述べた範囲において十分適用できると思われる。しかしながら、今後軸方向鉄筋と横方向鉄筋の降伏との釣り合いも考慮に入れて検討を行う必要がある。

本研究の実施には、卒研究生大野誠司および田辺泰文両氏および研究室各位に協力して頂いた。ここに記し謝意を表します。

<参考文献>

- (i) Kuyt, B: The ultimate torsional resistance of rectangular reinforced concrete beams, Concrete, Dec, 1968
- (ii) P. Zia and W.D. Mc Gee: Torsion Design of Prestressed Concrete, PCI Journal March-April, 1974

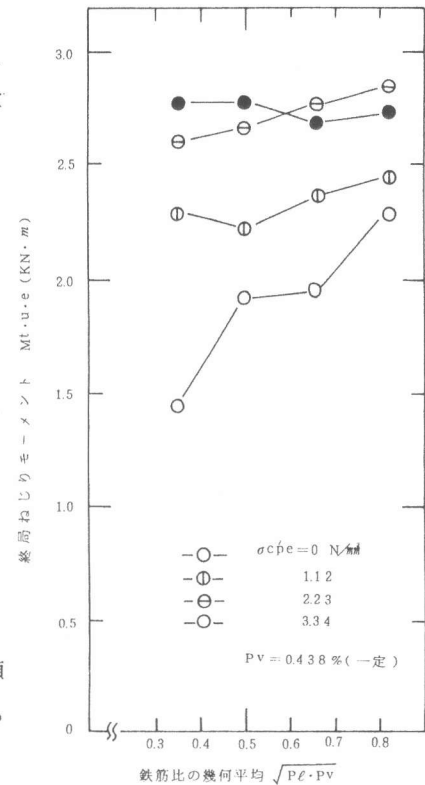


図-7 $Mt \cdot u \cdot e$ と $\sqrt{p_l p_v}$ との関係