

[120] ねじりを受けるPCはりの力学的特性

正会員 田沢 栄一 (広島大学工学部)
 正会員 米倉 亜州夫 (広島大学工学部)
 正会員 ○宮沢 伸吾 (広島大学工学部)

1. まえがき

ねじりを受ける鉄筋コンクリートについては現在まで数多くの実験的および理論的研究がなされ、その設計上の資料もかなり蓄積されてきたが、PC部材に関してはまだ不明な点が多い。本研究は、純ねじりを受けるPCはりのひびわれ発生耐力や終局耐力および変形状態に影響を及ぼす要因として、プレストレス量、腹鉄筋量およびコンクリートの圧縮強度を考え、長方形断面の単純はりのねじり試験を行ない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. 実験概要

2.1 実験計画

上記の要因について表1に示す各条件で実験を行なった。

2.2 使用材料

早強ポルトランドセメント(比重 3.14)、山砂(比重 2.53)吸水率 2.04%)、碎石(最大寸法 15 mm、比重 2.70)および高性能減水剤を使用し、表2に示す配合でコンクリートを製造した。表3は、全供試体に使用したコンクリートの力学的性質の平均値を示したものである。軸方向鉄筋には熱間圧延異形棒鋼2種SD30、D13を、また腹鉄筋には熱間圧延異形棒鋼1種SR24、φ9およびφ6を用いた。PC鋼棒には呼び名23 mmの丸棒C種1号(SBPR110/125)を使用した。(表4)

2.3 供試体

供試体は図1に示すような複鉄筋長方形断面である。軸方向鉄筋比($p_l = A_s / b \cdot h$, A_s : 全軸方向鉄筋の断面積, b : ウェブ幅, h : 部材高さ)は 1.7%とし、腹鉄筋には垂直スタースラップを表5に示すように配置した。また、PC鋼材は断面の図心位置に配置し、ポストテンション方式で応力導入を行なった後グラウチングを施した。

2.4 荷重試験

図2に荷重方法の概略を示す。

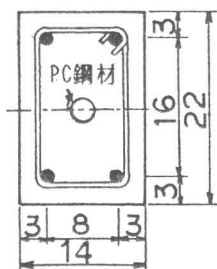
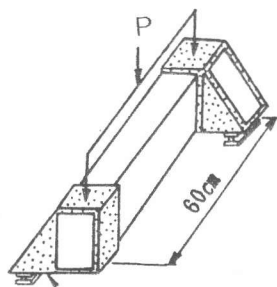


図1 断面寸法



ねじり補助鋼材

図2 荷重方法

表1 実験計画

σ_c	σ_{pe}	腹鉄筋比 (%)			
		Kg/cm ²			
400	0			○	○
	50			○	○
	100	○	○	○	○
800	0			○	○
	100		○	○	○

(σ_{pe} : 有効プレストレス
 σ_c : コンクリートの圧縮強度)

表2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				add. g/m ³	σ_c Kg/cm ²
		W	c	s	G		
50	45	210	420	719	937	1050	400
25	40	190	760	544	872	760	800

表3 コンクリートの力学的性質

圧縮強度	引張強度	静弾性係数
434	30.7	2.82×10^5
816	37.5	3.31×10^5

(Kg/cm²)

表4 鉄筋およびPC鋼材

	降伏点	引張強度
PC鋼材	120.0	130.0
鉄D13	38.8	56.9
φ9	33.6	50.5
筋φ6	32.0	45.5

(Kg/mm²)

表5 腹鉄筋の配置

P _v	鉄筋	配置間隔
0.3%	φ6	13.5cm
0.58%	φ6	7.0cm
1.3%	φ9	7.0cm

3. 実験結果および考察

表6は、試験結果の一覧表である。以下、PCはりのひびわれおよび破壊特性について記す。

3. 1 ひびわれ発生状況

図3は破壊時のひびわれ発生状況の一例を示したものである。純ねじりを受けるPCはりは、腹鉄筋の補強がある場合は、4面にらせん状のひびわれが発生し、腹鉄筋量が増加するに従いひびわれは本数の増加が認められた。

表7に終局時におけるひびわれ角度の実測値を示す。ここで、ひびわれ角度は発生時と伸展後とで明瞭な変化は認めなかったため、ひびわれの蛇行を無視した平均値として求めた。この表より、ひびわれ角度はプレストレス量の増加に伴って減少していることがわかる。また、圧縮強度が 800kgf/cm^2 の場合のひびわれ角度のほうが 400kgf/cm^2 の場合に比較して大きくなっている。これは、引張強度が若干大きくなることによりひびわれ発生ねじりモーメントが増大するため、次式における τ_t が大きくなることが原因であると思われる。

$$\tan \theta = 2 \tau_t / \sigma_{pe} \quad (1)$$

θ : ひびわれ発生角度

σ_{pe} : 有効プレストレス

τ_t : ひびわれ発生時のねじりせん断応力度

3. 2 斜ひびわれ発生耐力

図4は、有効プレストレス (σ_{pe}) と斜ひびわれ発生耐力 (M_{Ti}) との関係を示したものである。斜ひびわれ発生耐力はプレストレス量が増加するに従い直線的に増大し、プレストレス量 = 100kgf/cm^2 の場合の斜ひびわれ発生耐力はプレストレス量 = 0kgf/cm^2 の鉄筋コンクリートの場合の約2倍となっている。また、コンクリートの圧縮強度が増加しても引張強度はあまり大きならないので、斜ひびわれ発生耐力はそれほど増加していない。しかし、コンクリートの圧縮強度が増せばより大きなプレストレスの導入が可能となるので斜ひびわれ発生耐力を大幅に増大させることができると言える。

表6 試験結果

斜ひびわれ発生ねじりモーメント (t・m)					終局ねじりモーメント (t・m)						
σ_c	σ_{pe}	腹鉄筋比 (%)				σ_c	σ_{pe}	腹鉄筋比 (%)			
kgf/cm^2		0	0.3	0.58	1.3	kgf/cm^2		0	0.3	0.58	1.3
400	0			0.35	0.35	400	0			0.80	0.87
	50			0.65	0.60		50			0.99	1.05
	100	1.10	0.80	0.90	1.00		100	1.10	0.96	1.18	1.36
800	0			0.40	0.55	800	0			0.95	1.07
	100		1.30	1.00	1.15		100		1.34	1.46	1.50

σ_c : コンクリートの圧縮強度

σ_{pe} : 有効プレストレス

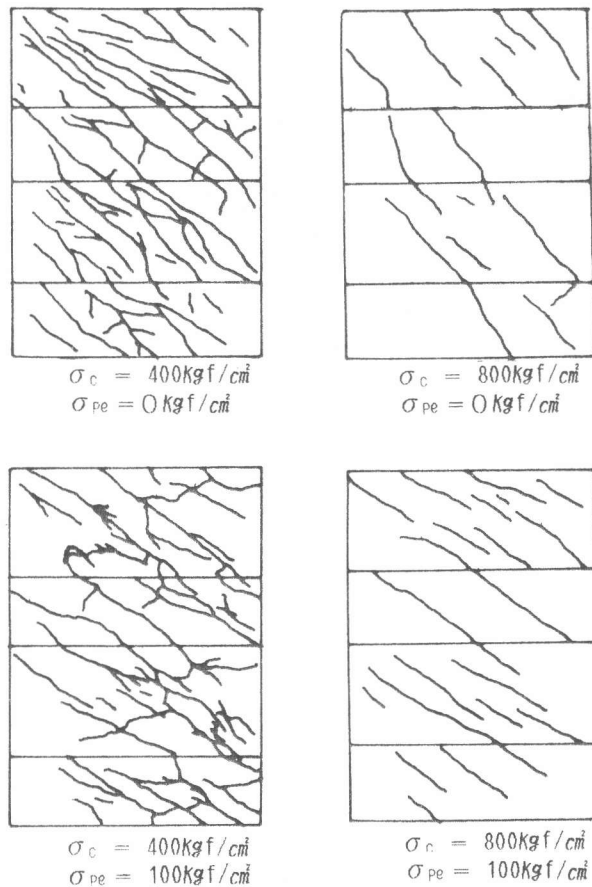


図3 破壊時のひびわれ発生状況

表7 ひびわれ角度

σ_c	400	800
σ_{pe}		
0	46°	46°
50	40°	—
100	32°	36°

純ねじりを受ける供試体の側面に発生する主引張応力が、コンクリートの引張強度に達した時に斜ひびわれが発生するとした下式により求めたひびわれ発生耐力と実測値との比較を行なった結果を同図に破線で示す。

$$\sigma_{ct} = \sqrt{(1/4) \sigma_{pe}^2 + \tau_t^2} - (1/2) \sigma_{pe} \quad (2)$$

σ_{ct} : コンクリートの引張強度, σ_{pe} : 有効プレストレス, τ_t : ねじりせん断応力度

ここで、ねじりによるせん断応力度は、弾性理論および塑性理論²⁾を用いて求めた。弾性理論により斜ひびわれ発生耐力を安全側に見積もることができるものの、プレストレス量が大きくなると実測値よりかなり小さな算定値が得られた。³⁾

3.3 終局耐力

図5は、有効プレストレスと終局ねじり (M_{Tu}) モーメントおよび斜ひびわれ発生時から終局時に至るねじりモーメントの増大量 ($M_{Tu} - M_{Ti}$) との関係を示したものである。斜ひびわれ発生後の耐力の余裕はプレストレス量の増加と共に減少しているものの、終局耐力はプレストレス量が大きくなるに伴い直線的に増大し、プレストレス量 = 100 kgf/cm^2 において鉄筋コンクリートの1.5倍程度となっている。

プレストレスによる終局耐力の増加の一因として、斜ひびわれの角度が減少することにより腹鉄筋の有効断面積が増加することが考えられる。

ここで、ひびわれ角度 θ の場合の腹鉄筋の有効断面積は、プレストレス量 = 0 kgf/cm^2 の場合の $(\cot \theta) / (\cot \theta_0)$ 倍に増加する (図6参照) と仮定する (θ_0 : プレストレス量 = 0 kgf/cm^2 の場合のひびわれ角度)。表8は、ひびわれ角度 (表7参照) に対応する腹鉄筋有効断面積のプレストレスによる増加率 $(\cot \theta) / (\cot \theta_0)$ の値を示したものである。これらの値は、同一プレストレス量において腹鉄筋比を0.58%から1.3%に増やした場合の腹鉄筋量の増加率2.24倍よりもかなり小さい。それにもかかわらず、プレストレスによる終局耐力の増加率は、単に腹鉄筋量を増した場合のそれを大幅に上回っている。すなわち、プレストレスによる終局耐力の増加には、腹鉄筋の有効断面積が増加すること以外の要因も存在すると考えられる。

そのひとつに、プレストレス量が増加するに従い骨材やひびわれ面での抵抗が増大し、そのためにコンクリートが分担するねじりモーメントの割合が大きくなることが考えられる。

表8 腹鉄筋の有効断面積比

σ_c	400	800
σ_{pe}	(%)	
0	1	1
50	1.23	—
100	1.66	1.43

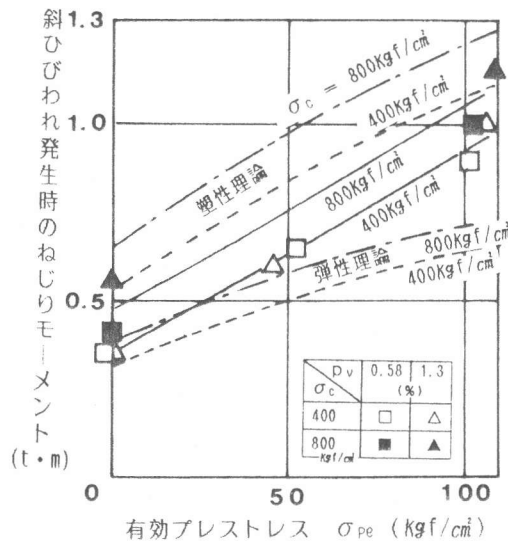


図4 有効プレストレスと M_{Ti} の関係

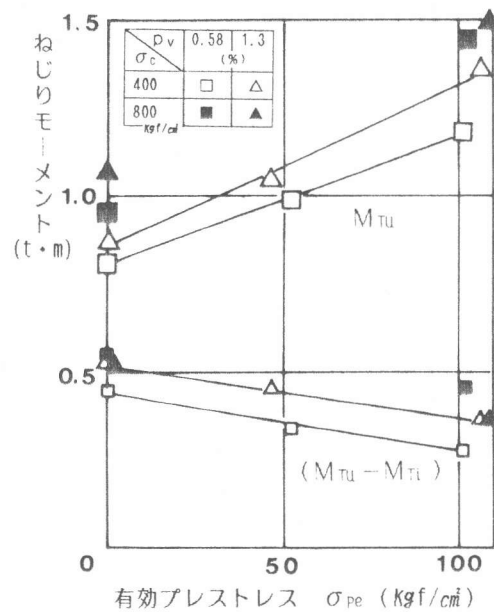


図5 有効プレストレスと M_{Tu} , $(M_{Tu} - M_{Ti})$ の関係

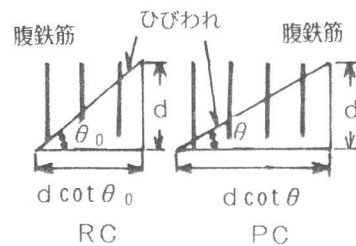


図6 ひびわれ角度と腹鉄筋

さらに、図7は腹鉄筋のひずみと荷重の関係を示したものである。プレストレス量 0 kgf/cm^2 の場合腹鉄筋の位置によりひずみの差異が大きいのに対し、プレストレス量 100 kgf/cm^2 の場合はいずれの位置においてもほぼ同様なひずみ変化を示している（これは、ひびわれ角度の減少により各腹鉄筋を横切るひびわれ本数が均一化されることによ

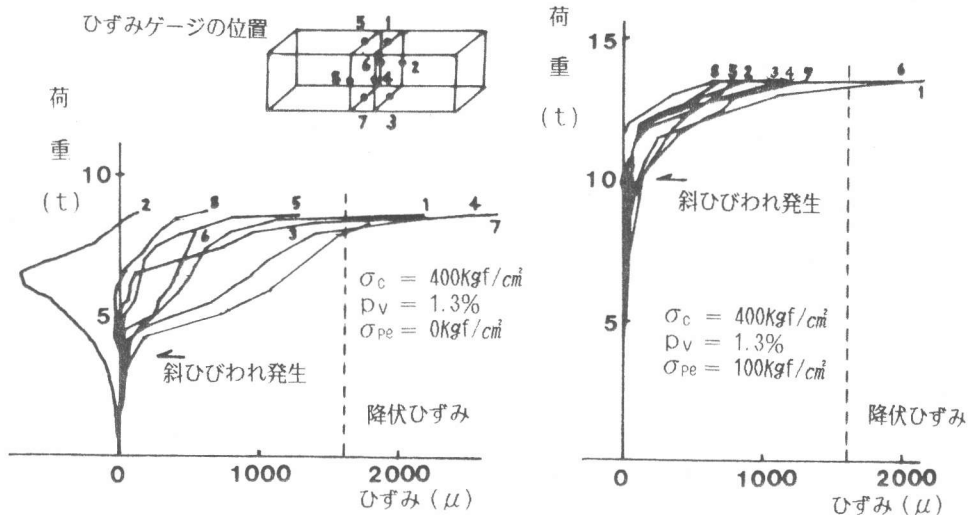


図7 腹鉄筋のひずみと荷重の関係

ると考えられる)。そのためプレストレス量が増加するに従い、腹鉄筋がより効果的にねじりモーメントを受けもっているものと考えられる。

その他、プレストレス量の増大に従い主鉄筋の終局時のひずみは小さくなり、降伏の有無が変化する場合も認められた。これらのこともプレストレス量とねじり耐力の関係に影響していると考えられ、今後の検討が必要である。

3.4 変形状

図8はねじりモーメントとねじれ角の関係の一例を示したものである。いずれの場合も斜ひびわれ発生前は弾性的な変形を示すが、斜ひびわれ発生後は急激にねじり剛性が低下している。従って、プレストレス量を大きくとることは、斜ひびわれに対する安全性を増すとともに、ねじり剛性の確保にも有効である。また斜ひびわれ発生前のねじり剛性は、コンクリートの圧縮強度が増加するに従い大きくなり、ポアソン比を $1/6$ と仮定し表3の静弾性係数を用いて弾性理論で求めた値と比較し、その70~80%程度であった。

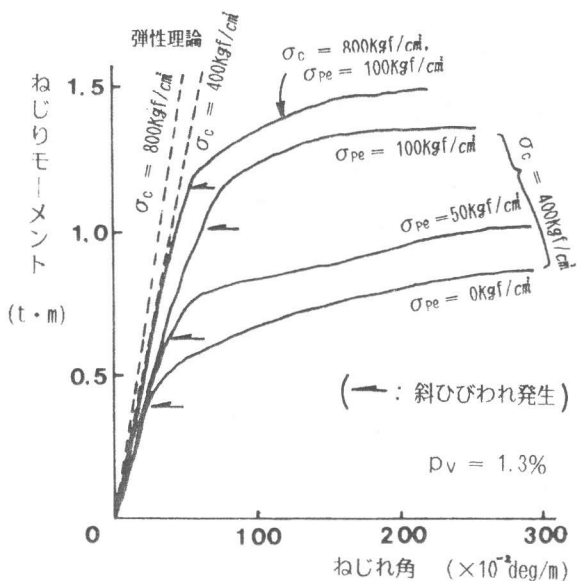


図8 ねじりモーメントとねじれ角の関係

4. まとめ

純ねじりを受けるプレストレスコンクリートにおいてプレストレス量の増加は、ひびわれ発生耐力ばかりでなく終局耐力を大幅に増大させる効果がある。従って、今後、高強度コンクリートに大きなプレストレスを導入した場合について検討する所存である。

<参考文献> 1) 土木学会：「コンクリート構造の限界状態設計法指針（案）」

（コンクリートライブラリー第52号，1983年）

2) 泉 満明：「ねじりを受けるコンクリート部材の設計法」（技報堂）

3) 田澤 栄一 他：「曲げ・せん断およびねじりを受けるPCはりの力学的特性」

（第6回コンクリート工学年次講演会論文集，1984年）