

立命館大学理工学部 学生員○上垣義明 正会員 児島孝之 正会員 高木宣章

1. まえがき 土木学会「コンクリート標準示方書」におけるPCに関する規定では、終局限界状態においてプレストレスが消失すると仮定されているが、PCあるいはプレストレス鉄筋コンクリート（以下PRC）部材の終局ねじり耐力は、プレストレスの導入により増加することが指摘されている。¹⁾ 本研究では、ねじりを受けるPRC部材の合理的設計法を確立するための基礎的資料を得ることを目的として、軸方向鋼材量、横方向鉄筋量、プレストレス量を要因とした長方形断面を有するPRCはりの正負交番純ねじり载荷実験を行い、終局ねじり耐力に及ぼすプレストレスの効果、ねじり有効断面積の考え方等の検討を行った。

2. 実験概要 軸方向鋼材量、横方向鉄筋量、プレストレス量を要因とした実験計画を表-1に示す。供試体の表示法を図-1に、PRCはりの配筋図の一例および断面図を図-2に示す。横方向鉄筋にD10(SD35)とR8・R6(KSS80)を、PC鋼棒（異形棒D種1号）にφ7.4とφ9.2を使用した。使用鋼材の機械的性質を表-2に示す。载荷方法は、ねじり回転角による変位制御により行った。正負両方向において、ねじり回転角を2、4、8、16、…×10⁻⁵rad/cmで制御し、はりが破壊するまで繰り返した。ただし、ねじりひびわれが発生した時点でねじり回転角には関係なく除荷した。

3. 実験結果および考察 終局ねじり耐力を表-3に示す。全シリーズともプレストレスの増加に伴い、終局ねじり耐力は著しく増加した。プレストレスの導入による終局ねじり耐力の増加率は、プレストレス係数より大

表-1 実験計画

シリーズ	軸方向鋼材	横 方 向		せん断流 (kgf/cm)	鋼 材 比 (%)				σ _{pe}	
		種 類	間隔		q ₁	q _w	q ₁ /q _w	p ₁		p _w
1	4-φ9.2(a)	SD35-D10	100	586.3	267.7	2.19	1.16	2.01	0.58	0.40, 80
2	4-φ9.2(a)	SD35-D10	130	586.3	205.9	2.85	1.16	1.55	0.75	0.40, 80
3	4-φ9.2(b)	KSS80-R8	130	595.5	324.0	1.84	1.16	1.07	1.08	0.40, 80
4	4-φ7.4(a)	SD35-D10	100	381.9	267.7	1.43	0.73	2.01	0.36	0.40
5	4-φ7.4(a)	SD35-D10	130	381.9	205.9	1.85	0.73	1.55	0.47	0.40
6	4-φ7.4(b)	KSS80-R6	130	386.5	187.2	2.06	0.73	0.69	1.06	0.40

q₁=ΣA_{ti}·f_{td}/u q_w=A_{tw}·f_{wd}/s u=2·(b+do) s: 横方向鉄筋の間隔
 p₁=ΣA_{ti}/A_m·100 p_w=A_{tw}·u/(A_m·s)·100 A_m=b₀·d₀ (ねじり有効断面積)
 b₀, d₀: 横方向鉄筋の短辺の長さ=11cm, 長辺の長さ=20cm σ_{pe}: 有効プレストレス (kgf/cm²)

表-2 使用鋼材の機械的性質

記号	呼び名	降伏点
SD35	D10	3753
KSS80	R6	8600
KSS80	R8	8380
SBPD 130/145	7.4(a)	14800
	7.4(b)	15000
	9.2(a)	14200
	9.2(b)	14400

シリーズ
1-40
導入プレストレス量 (kgf/cm²)
図-1 供試体の表示法

表-3 終局ねじり耐力 (tf·cm)

供体試名	γ	実験値	JSCE Mitcud	JSCE Mtyd	JSCE Mtyd'	Hsu式	Hsu式'
1-0	1.04	62.5 [1.00]	101.7	131.7 (0.47)	90.6 (0.69)	84.8 (0.74)	65.1 (0.96)
1-40	1.50	111.3 [1.78]	103.4	131.7 (0.85)	90.6 (1.25)	103.3 (1.08)	83.6 (1.33)
1-80	1.78	137.5 [2.20]	106.7	131.7 (1.04)	90.6 (1.52)	118.1 (1.16)	98.3 (1.40)
2-0	1.06	65.0 [1.00]	99.1	101.3 (0.64)	70.0 (0.93)	70.4 (0.92)	55.2 (1.18)
2-40	1.44	116.3 [1.79]	106.3	101.3 (1.15)	70.0 (1.66)	88.9 (1.31)	73.7 (1.58)
2-80	1.85	142.5 [2.19]	108.7	101.3 (1.41)	70.0 (2.04)	103.8 (1.37)	88.7 (1.61)
3-0	1.00	63.8 [1.00]	82.9	159.4 (0.40)	113.5 (0.56)	95.1 (0.67)	73.1 (0.87)
3-40	1.56	102.5 [1.61]	95.7	159.4 (0.64)	113.5 (0.90)	114.9 (0.89)	92.9 (1.10)
3-80	1.84	127.5 [2.00]	104.9	159.4 (0.80)	113.5 (1.12)	128.8 (0.99)	106.8 (1.19)
4-0	1.02	58.0 [1.00]	110.2	131.7 (0.44)	90.6 (0.64)	85.3 (0.64)	65.5 (0.89)
4-40	1.47	115.0 [1.98]	100.1	131.7 (0.87)	90.6 (1.27)	102.7 (1.12)	83.0 (1.39)
5-0	1.03	58.8 [1.00]	93.0	101.3 (0.58)	70.0 (0.84)	68.1 (0.86)	52.9 (1.11)
5-40	1.48	107.5 [1.83]	100.8	101.3 (1.06)	70.0 (1.54)	88.2 (1.22)	73.0 (1.47)
6-0	1.05	62.5 [1.00]	100.2	92.0 (0.68)	67.8 (0.92)	65.6 (0.95)	53.9 (1.16)
6-40	1.47	112.5 [1.80]	106.5	92.0 (1.22)	67.8 (1.66)	84.1 (1.34)	72.4 (1.55)

γ: プレストレス係数 = $\sqrt{1 + (\sigma_{pe}/\sigma_t)}$
 [] : 実験値の増加率 (): (実験値) / (理論値)
 Mtyd', Hsu式': 有効断面積を軸方向鋼材中心で求めた終局耐力

$$Hsu式 Mtu = \frac{b^3 h}{3} \cdot 2.4 \sqrt{f_c} (2.5 \sqrt{1 + 10 \sigma_{pe}/f_c} - 1.5) + \frac{b \sigma_{ho} A_{tw} f_{tw}}{s}$$

$$\alpha = 0.66 + 0.33 h_0/b_0$$
 (lb·in)

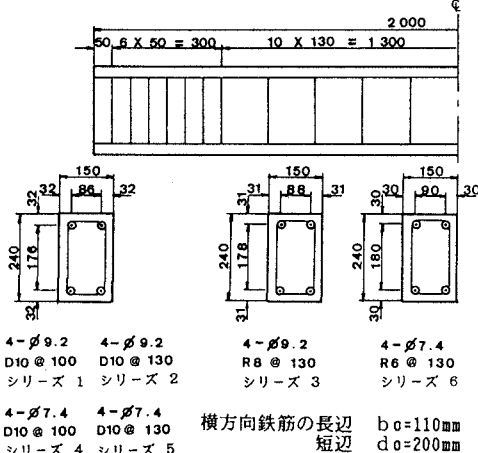


図-2 配筋図および断面図

きい傾向にある。高強度せん断補強筋を使用しているシリーズ3と6を除くと、ほとんどののはりの横方向鉄筋は降伏しているか、あるいは降伏点に近い値を示している。しかし、P C鋼棒の降伏と腹部コンクリートの斜め圧縮破壊は観測されなかった。

軸方向鋼材量がシリーズ1と同じで、横方向鉄筋量が少ないシリーズ2の終局ねじり耐力は、算定式の考え方からすると、シリーズ1より小さくなるはずであるが、実験結果はその逆になっている。これは、終局時のせん断流 q_1 が q_w より大きいにもかかわらず、軸方向鋼材に比較して横方向鉄筋が多いため、シリーズ1のはりの破壊が軸方向鋼材と横方向鉄筋の剛性の差に起因する変形破壊となりやすいためであると考えられる。図-3にシリーズ1と2の終局耐力時の鋼材のひずみとねじり回転角を示す。P C鋼棒が負担する応力は、シリーズ1と2でほぼ同じである。また、プレストレスを導入していないはりにおけるねじり回転角もほぼ等しい。しかし、プレストレスを導入したはりでは、シリーズ1の方が横方向鉄筋のひずみが大きく、かなり大きいねじり回転角で破壊している。このことは、横方向鉄筋比に対する軸方向鋼材比の比(p_1/p_w)が、シリーズ2で0.75であるのに対して、シリーズ1では0.58と小さいことによる変形破壊の影響と考えられる。シリーズ4と5は p_1/p_w の差が少ないためにシリーズ1と2のような現象は小さいものの、その傾向は認められる。

高強度せん断補強筋を使用し、 p_1/p_w がほぼ1であるシリーズ6は、 q_w が最も小さいにもかかわらず、同じ横方向鉄筋間隔のシリーズ5より終局ねじり耐力が大きく、軸方向鋼材と横方向鉄筋の剛性の影響があらわれている。しかし、高強度せん断補強筋を使用し、軸方向鋼材に $\phi 9.2$ を使用したシリーズの中では q_1 と q_w が最も近く、ねじり型配筋となっているシリーズ3は、 p_1/p_w がほぼ1に等しいにもかかわらず、終局ねじり耐力はシリーズ1より小さい結果となった。

ねじり有効断面積として、本実験では、横方向鉄筋の中心線で囲まれた断面積と軸方向鋼材の各中心を結んだ線で囲まれた断面積を用いた。一般土木構造物ではこの差は小さいが、実験室レベルで使用する供試体は一般構造物に比較して断面が小さいためにこの差は無視できない。ねじり有効断面積を横方向鉄筋中心で求めた場合の終局ねじり耐力は、軸方向鋼材中心で求めた場合より約15~50%大きい理論値を示した。このように、終局ねじり耐力に及ぼすねじり有効断面積の影響は、導入プレストレス量同様にきわめて大きい。

終局ねじり耐力と有効プレストレスの関係を図-4に示す。終局限界状態においてプレストレスが消失すると仮定した土木学会式は、プレストレスに無関係に一定であるが、プレストレスはコンクリートに寄与するとしたHsu式では、プレストレスの増加に伴い増加する。終局限界状態において横方向鉄筋は降伏するが、軸方向鋼材は降伏しないP R C部材では、導入プレストレス量の増加に伴い、終局ねじり耐力は増加するので、このようなP R C部材の終局ねじり耐力の算定にはプレストレスを考慮することが必要である。全体的に、プレストレスを導入していないはりおよび高強度せん断補強筋を使用したシリーズ3のはりでは、土木学会式、Hsu式共に危険側を示した。しかし、プレストレスを導入したはりでは、Hsu式は安全側を示した。ねじり有効断面積を軸方向鋼材中心で求めた終局ねじり耐力は、横方向鉄筋中心で求めた場合の約15~30%減少し、より安全側を示す。

本研究は、平成元年度文部省科学研究費補助金により実施されたことを付記し、深謝致します。

参考文献 1) 児島他：純ねじりを受けるP R C部材の終局耐力に関する一実験、コンクリート工学年次論文報告集、1989

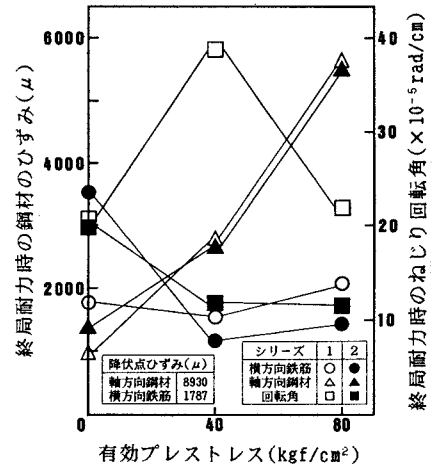


図-3 鋼材のひずみとねじり回転角

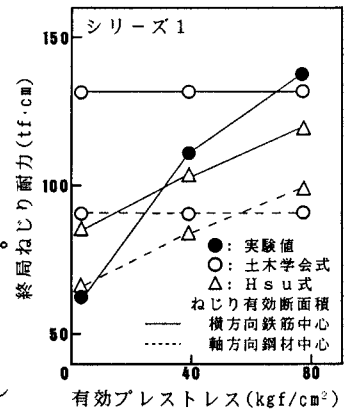


図-4 終局ねじり耐力