

立命館大学 正会員 高木宣章 正会員 児島孝之

1. まえがき プレストレスト鉄筋コンクリート(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し、導入プレストレスが小さい場合には土木学会「コンクリート標準示方書」の終局ねじり耐力算定式による理論値は危険側を示すこと¹⁾、かぶりがねじり挙動に及ぼす影響が大きいこと²⁾が報告されている。本研究では、大断面を有するPRC部材の正負交番純ねじり試験を行ない、終局純ねじり耐力、変形性能に及ぼすかぶり、プレストレスの効果について検討を行なった。

2. 実験概要 実験計画を表-1に示す。かぶりは $\gamma 17^\circ$ H3とH3-Rはりで1cm、 $\gamma 17^\circ$ H2とH2-Rはりで2cmとした。 $\gamma 17^\circ$ H3はりを除き、鋼材比(p_l/p_w)はほぼ1に、終局時のせん断流の比(q_l/q_w)は $0.8 \leq q_l/q_w \leq 1.25$ とした。供試体の表示法を図-1に、はりの配筋図の一例を図-2に示す。供試体寸法は25x35x200cm。使用鋼材の機械的性質を表-2に示す。 $\gamma 17^\circ$ H2はりでは、横方向鉄筋として高強度せん断補強鉄筋を使用した。

表-1 実験計画

はり $\gamma 17^\circ$	かぶり (cm)	軸方向鋼材		横方向鉄筋		鋼材比 (%)			終局時のせん断流			σ_{pe} (kgf/cm ²)	
		PC鋼棒	鉄筋	記号	径	s	p_l	p_w	p_l/p_w	q_l	q_w		q_l/q_w
H3	1.0	4 ϕ 13	----	SD35	D10	10	0.61	0.88	0.69	445.8	265.3	1.68	5,20,40
H3-R	1.0	----	4D16	SD35	D10	10	0.91	0.88	1.03	306.9	265.3	1.16	----
H2	2.0	4 ϕ 13	----	KSS80	D10	14	0.61	0.68	1.05	467.1	502.9	0.93	5,20,40
H2-R	1.9	----	4D19	SD35	D13	11	1.31	1.32	0.99	452.8	434.8	1.04	----

ねじり載荷は、はりの両支点部に取り付けた偏心載荷用アームを直接載荷し、ねじり回転角による変位制御により行なった。

3. 実験結果および考察 はりのひびわれ状況例を図-3に示す。かぶり2cmの $\gamma 17^\circ$ H2はりは高強度せん断補強鉄筋の影響もあるが、かぶり1cmの $\gamma 17^\circ$ H3はりに比較してひびわれ本数が少なく分散性が悪い。しかも数本のひびわれのひびわれ幅が卓越しており、終局時に立体トラスが形成されていないと考えられる。ねじり回転角を図-4に示す。ひびわれ状況と同様、かぶりが大きいとねじり変形に対する抵抗性が小さい。軸方向鋼材ひずみを図-5に示す。 $\gamma 17^\circ$ H2はりは、PC鋼棒の緊張ひずみの小さい $\gamma 17^\circ$ H2-5はりを除き、プレストレス導入時の緊張ひずみ近傍で最大ねじりモーメントに達した。 $\gamma 17^\circ$ H3はりでは、ねじりモーメントの増加に伴い軸方向鋼材ひずみが増加し、導入プレストレス量の大きい $\gamma 17^\circ$ H3-40はりでは最大ねじりモーメント時に鋼材の降伏ひずみ近傍まで達し、ねじりに効果的に抵抗している。横方向鉄筋ひずみは、高強度せん断補強鉄筋を使用した $\gamma 17^\circ$ H2はりでは最大ねじりモーメント時のひずみが非常に小さいが、 $\gamma 17^\circ$ H2以外のはりでは最

$p_l = \Sigma At_l / (b \cdot d)$, $p_w = At_w \cdot u / (b \cdot d \cdot s)$, $q_l = \Sigma At_l \cdot f_{ld} / u$, $q_w = At_w \cdot f_{wd} / s$, $u = 2(b_o + d_o)$
 b_o, d_o : 横方向鉄筋の短辺と長辺の長さ, b, d : はり断面の幅と高さ, s : 横方向鉄筋間隔(cm)
 q_l, q_w : 軸方向鋼材と横方向鉄筋のせん断流(kgf/cm²), σ_{pe} : 導入プレストレス
 At_l, At_w : 軸方向鋼材と横方向鉄筋の断面積, f_{ld}, f_{wd} : 軸方向鋼材と横方向鉄筋の降伏点

表-2 使用鋼材の機械的性質

記号	径	降伏点	引張強度	はり $\gamma 17^\circ$
KSS80	D10	9870	10520	H2
SD35	D10	3720	5533	H3, H3-R
SD35	D13	3775	5754	H2-R
SD35	D16	4172	6100	H3-R
SD35	D19	3951	6216	H2-R
SBPR80/95	ϕ 13	9070	9830	H3
		8800	9700	H2

単位: kgf/cm²

図-1 供試体の表示法

図-2 はり配筋図の一例

図-3 ひびわれ状況例

H3-20

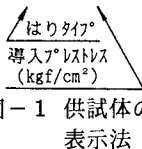


図-1 供試体の表示法

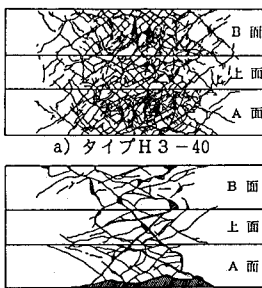


図-3 ひびわれ状況例

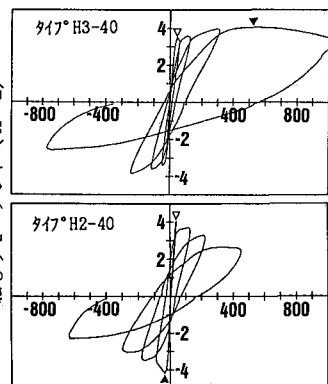


図-4 ねじりモーメントと回転角の関係
 注) ∇ : ねじりひびわれ発生時
 \blacktriangledown : 最大ねじりモーメント時

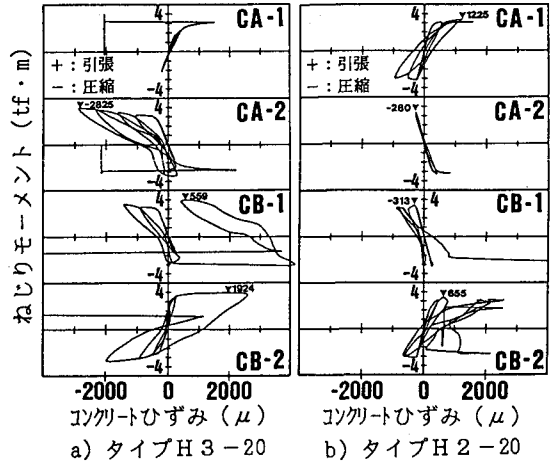
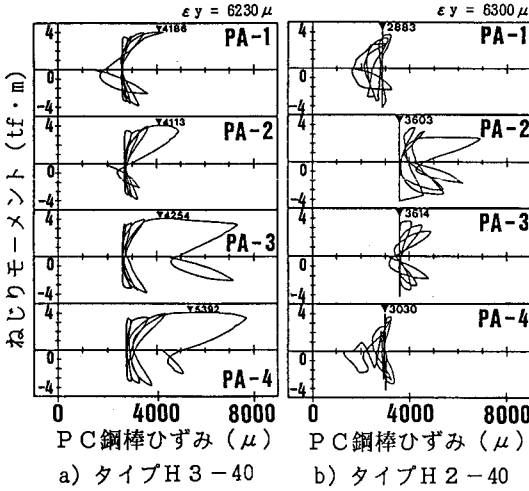


図-5 ねじりモーメントと軸方向鋼材ひずみの関係
注)▼:最大ねじりモーメント時のひずみ, εy:降伏点ひずみ

図-6 ねじりモーメントとコンクリートひずみの関係

表-3 終局ねじり耐力

かぶり (cm)	はり タイプ	σ _{pe}	コンクリート強度		γ	実験値		土木学会式	
			f' c	f' b		Mt _{cu}	Mt _{yd}		
1.0	H3-5	4.1	489	31	1.06	350.0 [1.00]	441.2	417.6 (0.84)	
1.0	H3-20	17.2	446	30	1.26	395.0 [1.13]	421.3	417.6 (0.95)	
1.0	H3-40	34.8	446	30	1.47	407.0 [1.16]	421.3	417.6 (0.97)	
1.0	H3-R	---	489	31	---	325.0	441.2	401.8 (0.81)	
2.0	H2-5	5.6	397	28	1.10	279.1 [1.00]	397.5	581.6 (0.48)	
2.0	H2-20	21.0	476	36	1.26	373.2 [1.34]	435.3	581.6 (0.64)	
2.0	H2-40	42.1	457	36	1.47	455.4 [1.63]	426.5	581.6 (0.78)	
1.9	H2-R	---	483	26	---	391.8	438.4	532.5 (0.74)	

γ: プレストレス係数 = $\sqrt{1 + (\sigma_{pe}/f'c)}$, σ_{pe}: 有効プレストレス(kgf/cm²)
f' c, f' b: 載荷試験時のコンクリートの圧縮, 引張, 曲げ強度(kgf/cm²)
Mt_{cu}: 斜め圧縮破壊耐力 = $4Kt \cdot \sqrt{f'c}$, $Kt = b^2 \cdot d / (3.1 + 1.8b/d)$
Mt_{yd}: 終局ねじり耐力 = $2Am \cdot \sqrt{q_w \cdot q_1}$, (): 実験値/理論値
[]: 導入プレストレス 5kgf/cm² の供試体に対する増加率

大ねじりモーメント時に降伏している。コンクリートひずみを図-6に示す。かぶり1cmのタイプH3、H3-Rはりのコンクリート圧縮ひずみは最大ねじりモーメント時に約2000μに達しているが、かぶり2cmのはりの圧縮ひずみは非常に小さく、終局時に立体トラスが形成されていないためにコンクリートストラットが圧縮斜材として効果的に抵抗していないものと考えられる。終局ねじり耐力を表-3に、終局ねじり耐力と有効プレストレス量の関係を図-7に示す。終局ねじり耐力は導入プレストレスの増加に伴い増加する。これは、最大ねじりモーメント時に軸方向鋼材が降伏していないためであり、かぶりが大きいP R C部材では終局時に立体トラスが形成されていないためにこの傾向が顕著である。土木学会の終局ねじり耐力式はプレストレスの効果を無視しているため、かぶりが大きくて導入プレストレスが少ない時にはかなり危険側となる。タイプH3-R(RC)はりは、終局時に軸方向鉄筋と横方向鉄筋とも降伏し、コンクリートの圧縮ひずみは2000μ以上に達し、ひびわれ状況図からも終局時に立体トラスが形成されていると考えられるにもかかわらず、実験値は土木学会式による理論値より約20%危険側となった。これは、本実験が正負交番ねじり載荷であるため、一方向ねじりに比べコンクリートストラットの耐力が小さいこと、また土木学会式ではねじり有効断面積を横方向鉄筋中心で求めているためと考えられる。本実験で使用したはり是比较的大断面であるので終局ねじり耐力へのねじり有効断面積の影響は少ないものの、タイプH3-Rはりでは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より約20%小さい理論値を示し、ほぼ実験値に等しい値となった。

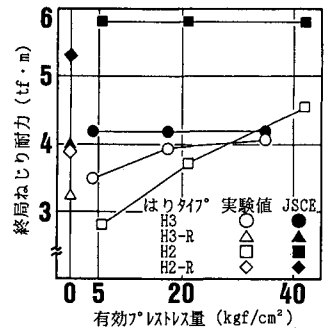


図-7 終局ねじり耐力と有効プレストレス量の関係

参考文献 1)児島他, 大断面を有するPRC部材の終局純ねじり耐力に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 1991 2)長瀧他, 鉄筋コンクリート部材のねじり耐荷機構に関する一考察, 土木学会論文集第390/V-8, 1988