

住友建設(株) 正〇武田 隆昌
 神戸大学工学部 正 藤井 学
 神戸大学大学院 学 黒坂 敏正

1. はじめに

本文は、純ねじり荷重を受けるPCはりについて、その断面形状、プレストレス量、補強鉄筋量考えた実験を行い、これらの要因の影響を検討、考察したものである。

2. 実験概要

供試はりは、図1に示すように3種類の断面形状を持ち、幅 b と高さ h の比 $h/b=1.0, 1.6, 2.0$ である。また、プレストレスは $h/b=1.0$ と 2.0 のはりに載荷試験直前に導入し、その有効プレストレスは $\sigma_{pe}=0, 25, 50, 75 \text{ kg/cm}^2$ である。また、補強筋は、スターラップ鉄筋比にして最低0.38%から最高1.58%まで変化させた。その詳細については表1に示した。また鉄筋の降伏点強度は、 $\phi 6$ で 2440 kg/cm^2 、 $\phi 9$ 、 $\phi 13$ で平均 3040 kg/cm^2 、 $D10$ 、 $D13$ でそれぞれ、平均 $3900, 3580 \text{ kg/cm}^2$ である。また、ASはANと、BSはBNと、CSはCNとそれぞれ補強筋量は等しいが、より小さい径の鉄筋をより密に組んである。これら各シリーズの示方配合は表2に示した。また、ねじり載荷は図2に示すように、はりに偏心載荷アームを取り付け、静荷重を加えた。ねじり回転角は、供試はりにアングルを取り付け、変位計を用いて測定した。

3. 実験結果と考察

(1)ねじり剛性 ひびわれ前のねじり剛性は、補強筋を無視してコンクリートを等方均質な弾性材料と仮定して弾性理論を適用すれば、ほぼ正確にその算定が可能である。(図3) また、ひびわれ後のねじり剛性に決定的な影響を持つものは補強筋量であり図3に示したように、プレストレスが増加しても回転角曲線のこう配は、まったく変位しない。すなわち、プレストレスの導入はひびわれの前後を問わずそのねじり剛性の改善に対する効果は何ら期待できないと結論できよう。

(2)ひびわれ強度 ねじりひびわれ強度は、補強筋量には無関係であり、プレストレスによって増加したコンクリートの見かけの引張強度に、ねじりモーメントによるせん断力の引張成分が等しくなった時ひびわれが発生するとして、ひびわれ強度 M_{tor} は、 $M_{tor}=C \times b^3 h \sigma_{tu}'$ として表わすことが可能である。ここで、見かけの引張強度 σ_{tu}' は、 $\sigma_{tu}' = \sqrt{1 + \sigma_{pe} / \sigma_{tu}}$ のようにコンクリートの引張強度 σ_{tu} と有効プレストレス σ_{pe} の関数として表わせる。また係数 C は、本実験の結果より、断面形状 h/b の比のみの関数として表わすことが可能であり、図4に示したように、 C と h/b の関数は双曲線に近似することができる。すなわち、 $C=0.55/1.12+b/h$ と表わせる。

●PC鋼棒

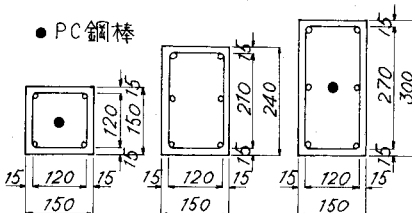


図1 供試はり断面図

表1 供試はりの詳細

断面	シリーズ	軸方向筋	スターラップ
15×15 (cm)	AN	D10×4	φ9×20 cm
	AS	D10×4	φ6×8 cm
	BN	D10×4	φ9×11 cm
	BS	D10×4	φ6×4.5 cm
	CN	φ9×6	φ9×8.5 cm
	CS	φ9×6	φ6×3.5 cm
15×24 (cm)	CP	無筋	無筋
	BD	D10×4+D13×2	D10×10 cm
15×30 (cm)	BE	D10×4	D10×15 cm
	DSR	φ6×6	φ6×14 cm
	ESR	φ9×6	φ6×6.5 cm
	FNR	φ9×2+φ13×4	φ9×9 cm
	GNR	φ13×6	φ9×7 cm

表2 示方配合

断面 (cm)	骨材最大寸法 (mm)	W/C (%)	S/a (%)	空気 (%)	単位量 (kg/m³)			
					W	C	S	G
15×15	20	42	42	2.0	186	444	725	989
15×24	20	43	45	2.0	200	465	738	936
15×30	25	42	38	1.5	177	422	679	1091

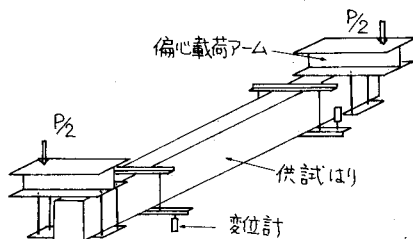


図2 載荷装置

Cをこのように決めてひびわれ強度を算定し、他研究者の実験値とも比較したものが表3であり、かなりの広範囲の条件に適合している。(表3の()内は理論値/実験値)

(3)終局強度 終局

表3 ひびわれ強度の理論値

はり名	k/ℓ	実験値 (t/cm)	理論値 (t/cm)
BS-0	1.0	26.3	30.3(1.15)
BS-25	1.0	45.0	36.6(0.81)
BD	1.6	55.0	53.6(0.97)
BE	1.6	52.5	53.6(1.02)
FNR-50	2.0	120.0	120.4(1.00)
FNR-75	2.0	130.0	137.4(1.06)
Hsu ¹⁾ による実験値			
B1	1.5	210.0	202.8(0.97)
G1	2.0	273.3	287.1(1.05)
K1	3.25	124.5	118.0(0.95)
C2	1.0	113.0	104.2(0.92)
Zia ²⁾ による実験値			
1-0	1.67	91.9	87.4(0.95)
2-0	1.67	128.8	103.9(0.81)
5-0	1.67	121.3	120.8(1.00)

表4 供試ばりの実験結果

はり名	ひびわれ強度 (t/cm)	終局強度 (t/cm)	はり名	ひびわれ強度 (t/cm)	終局強度 (t/cm)
AN-0	26.3	30.0	CP-0		28.8
AN-25	41.3	41.3	CP-25		41.3
AN-50	50.0	50.0	CP-50		50.0
AN-75	55.0	55.0	CP-75		54.2
AS-0	28.5	36.8	DSR-0	76.0	76.0
AS-25	43.8	49.2	DSR-25	94.0	94.0
AS-50	55.0	55.0	DSR-50	131.8	131.8
AS-75	60.0	60.0	DSR-75	142.0	142.0
BN-0	27.5	37.3	ESR-0	76.0	96.0
BN-25	45.0	50.0	ESR-25	106.0	119.0
BN-50	52.5	54.2	ESR-50	123.8	130.0
BN-75	57.5	57.7	ESR-75	128.0	128.0
BS-0	26.3	42.5	FNR-0	70.0	126.6
BS-25	45.0	54.4	FNR-25	102.5	177.4
BS-50	51.3	57.5	FNR-50	120.0	194.0
BS-75	61.3	67.5	FNR-75	130.0	182.6
CN-0	35.0	44.2	GNR-0	74.0	140.0
CN-25	44.0	48.0	GNR-25	115.0	195.0
CN-50	58.0	60.0	GNR-50	125.0	202.5
CN-75	62.0	62.0	GNR-75	117.5	215.1
CS-0	32.5	48.2	BD	55.0	84.0
CS-25	45.0	55.0	BE	52.5	64.8
CS-50	58.0	61.2			
CS-75	63.0	66.0			

ねじり強度は、わずかのプレストレスの導入でも増加するが、補強筋はある程度以上挿入しないとその強度は、無筋コンクリートにはほぼ等しい。また、一般に小さい径の鉄筋をより密に挿入した方が終局強度は増加する。(表

4参照) 終局強度を推定するためにここではトラス理論を応用してみる。すなわち、中実断面を薄肉の中実断面に仮定し、ひびわれ発生以後の応力状態を図5のように考える。

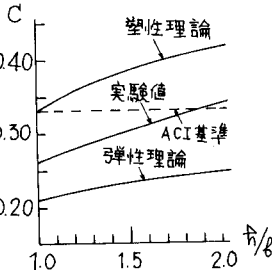


図4 C-h/b曲線

いま、 F_i :各軸方向筋力、 S_{vi} :スターラップ力、 τ :ねじりによるせん断力、 A_{xi} :軸方向筋の輪断面積、 A_{vi} :スターラップ1本の断面積、 σ_{xy} , σ_{yy} :軸方向筋、スターラップの降伏点強度とすると、終局時においては、軸方向のつり合いより、($u=2(x+y)$, $A_o=x y$)

$$M_{tu} = (A_o \sigma_{xy} + k \sigma_{pe}) \frac{2 A_o}{u} \tan \alpha \quad \dots \dots (1)$$

鉛直方向のつり合いより、

$$M_{tu} = 2 x y A_v \sigma_{yy} / s \tan \alpha \quad \dots \dots (2)$$

となる。従って、破壊が軸方向筋の降伏によって支配される場合には(1)式を、破壊がスターラップの降伏によって支配される場合には(2)式を適用して終局強度を算定すれば、under reinforced な部材ばかりでなく partially over reinforced な部材の強度の推定が可能であり、この考え方に基き本実験と比較したところおおむねよい一致を見た。しかし、(1)式における有効初プレストレスの影響係数 k を決定する方法、トラスモデルを組み立てる時、中実断面を薄肉断面に

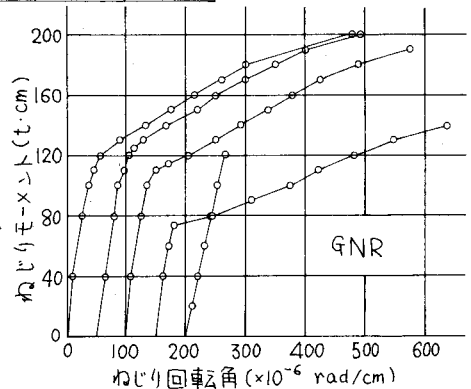


図3 GNRシリーズの回転角曲線

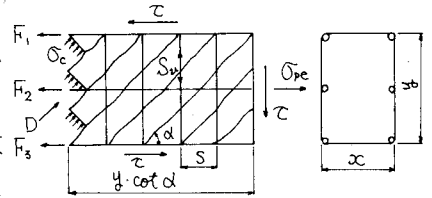


図5 トラスモデルの各筋力

仮定する上でその有効壁厚 τ の決定法、薄肉断面に仮定した後のコンクリートコアの強度の評価の適否、また、力のつり合いのみで変形の適合条件を考えないことなど問題点はまだ多いが、トラス理論より終局強度にアプローチする方法は有力な方法であると思われる今後さらに多くの実験的、理論的研究に期待したい。

- 参考文献 1) T.T.C. Hsu 「Torsion of Structural Concrete-Behavior of Reinforced Concrete Rectangular Members」 ACI sp-18
2) P.Zia 「Rectangular Prestressed Beams in Torsion and Bending」 Proceeding of The A.S.C.E