

立命館大学 正員 児島孝之
旭化成工業 (株) 正員 阪 正行

1. はじめに

本研究は、純ねじりを受ける長方形断面はりについて、鉄筋およびプレストレス両者の補強法のねじり強度特性への影響を実験および理論の両面より検討したものである。

2. 実験概要

実験に用いた供試体はすべて長方形断面 $15 \times 24 \text{ cm}$ 、長さ 150 cm のはりである。補強筋およびプレストレスの組合せは表-1のようにした。補強筋の詳細を表-2に、供試体配筋図の一例を図-1に示す。表-1に示したプレストレスの値は見かけの値である。使用鉄筋の機械的性質を表-3に示す。使用コンクリートの示方配合を表-4に示し、載荷試験時材令におけるコンクリートの強度および弾性定数を表-5に示す。シリーズ4 $P_e = 0$ のはりではスターアップを固定するために中 16 mm 塩化ビニル棒を4本使用した。プレストレスは断面中央に配置した中 23 mm のPC鋼棒(C種1号)を用い、グラウトなしのホストレンジング方式で載荷試験直前に導入した。純ねじりの載荷は図-2に示すような装置を用いて行った。載荷試験は材令60日~90日に実施した。

実験結果として、ひびわれ強度および終局強度を表-6に示す。

3. 理論解析および考察

(1) ひびわれ強度：鉄筋コンクリートはりのひびわれ強度に及ぼす鉄筋比の影響は比較的少なく、同一断面の無筋コンクリートはりの終局強度とほぼ等しいと考えよう。また一様プレストレスはりでは、プレストレスの効果はプレストレス係数 $\delta = \sqrt{1 + \sigma_{pe} / f_c}$ に比例する。ここに σ_{pe} ：プレストレス、 f_c ：

表-1 実験計画

シリーズ	鉄筋比 (%)		有効プレストレス (kg/cm^2)
	P_v	P_l	
1	1.0	1.0	0.80
2	1.5	1.5	0.80
3	2.0	2.0	0.80
4	1.0	0.0	0.40, 80
5	1.0	0.5	0.40, 80
6	2.0	0.5	0.40, 80
7	2.0	1.0	0.40, 80

表-2 補強筋の詳細

シリーズ	軸方向鉄筋比 P_l (%)	スターアップ鉄筋比及び間隔	
		P_v (%)	s (cm)
1	1.19 (6D10)	1.03	11.0
2	1.49 (4D10, 2D13)	1.51	7.5
3	2.11 (6D13)	2.06	5.5
4	0.0	1.03	11.0
5	0.53 (6D6)	1.03	11.0
6	0.53 (6D6)	2.06	5.5
7	1.19 (6D10)	2.06	5.5

注) スターアップ鉄筋には $\phi 9 \text{ mm}$ を使用した。

表-3 使用鉄筋の機械的性質

種類	降伏点応力 (kg/mm^2)	引張強さ (kg/mm^2)	伸び (%)
D 6	35.4	54.5	30.2
D 10	38.1	55.9	24.0
D 13	34.5	57.2	27.9
$\phi 9$	36.9	49.7	30.7

表-4 コンクリートの示方配合

骨材最大寸法 (mm)	空気量 (%)	スランプ (cm)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m^3)			
					W	C	S	G
20	4.5 ± 0.5	7.5 ± 1	42	42	170	405	715	1025

注) 混和剤ポリスノ No. 5L を $C \times 0.25\%$ 使用

表-5 コンクリート強度

および弾性定数

圧縮強度	52.3 kg/cm^2
引張強度	37.5 kg/cm^2
曲げ強度	53.0 kg/cm^2
ヤング係数	$3.30 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
ポアソン比	0.202

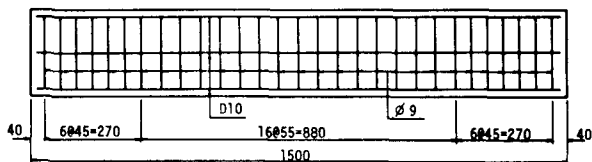
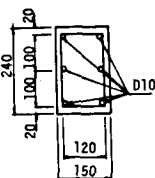


図-1 供試体および配筋図 (シリーズ7)

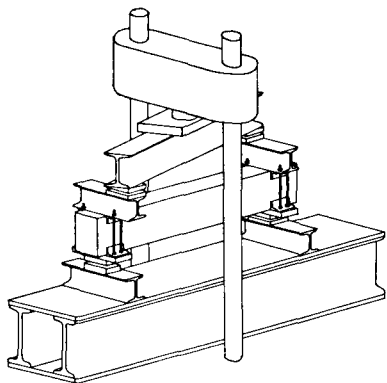


図-2 載荷装置

引張強度。無筋コンクリートはりのねじり強度は理論的には弾塑性解析¹⁾によって求められるが、長方形断面に対しては解析結果より近似的に次式で求めることができる。

$$T_{up} = T_e + \frac{1}{4} \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_c} - 1 \right) \left(5 - \frac{\sigma_b}{\sigma_c} \right) (T_p - T_e) \quad \dots \dots (1)$$

ここに

$$T_e = \frac{1}{3 + 1.8 \frac{b}{h}} b^2 h \sigma_c, \quad T_p = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{3} \frac{b}{h} \right) b h \sigma_c \quad \dots \dots (2)$$

b, h : 長方形断面の短辺および長辺

σ_b : 曲げ強度

したがって、鉄筋およびプレストレスはりのひびわれ強度 T_{cr} は

$$T_{cr} = T_{up} \cdot \gamma \quad \dots \dots (3)$$

で求められる。表-6の理論値は式(3)により求めたが、実験値とほぼ一致している。

(2)終局強度：鉄筋とプレストレスの両者が補強されたはりの終局ねじり強度式としてねじりによる破壊がスターラップあるいは軸方向鉄筋のいずれかの降伏により、生じるとして次式を得た²⁾

$$T_u = T_0 + 2s \cdot A_c \cdot \gamma \frac{A_v \sqrt{s} u}{s} \quad \dots \dots (3)$$

or

$$T_u = T_0 + 2s \cdot A_c \cdot \gamma \frac{A_e \sqrt{s} u}{u} + 2A_c \frac{P_e \cdot T}{\gamma} \quad \dots \dots (4)$$

ここに A_c, u : スターラップで囲まれる面積および周長、

s : スターラップ間隔、 A_v, A_e 各々スターラップ一本および軸方向筋の断面積、 $\sqrt{s} u, \sqrt{s} e$: 各々スターラップ

を中心とする肉厚 t の閉断面シェルと内部コアに分け、

T_0 は内部コアコンクリートのねじり強度である。本解析では $t = 3 \text{ cm}$ とし、 T_0 は近似的に、

$$T_0 = \left(1 - \frac{2t}{b} \right)^2 \left(1 - \frac{2t}{h} \right) T_{cr} \quad \dots \dots (5)$$

とした。計算結果を表-6に示した。

プレストレスコンクリートはりの終局強度式としては Hsu の式を修正した Zia ³⁾ の式が提案されているが、この計算値を表-6に示した。 Zia の理論値では $0.7 \leq \frac{P_e}{P_u} \leq 1.5$ の制限があるが、ここではこれを無視して求めた。 Hsu, Zia 等の提案式では軸鉄筋の降伏による破壊は $m = \frac{P_e}{P_u}$ によって間接的にしか考慮されていないが本提案式では破壊形式により算定式が異なり、 m の値が1よりかなり小さい場合でも、若干安全側の値を与えるが適用し得るものと考えられる。最後に本研究には昭和55年度文部省科学研究費の交付を受けたことを付記する。

参考文献

- 1) 児島孝之, 岡田清, 「ねじりを受けるプレストレストコンクリート長方形断面はりについて」 土木学会論文報告集第232号1974年12月
- 2) 児島孝之 「補強筋を有するプレストレストコンクリート部材の純ねじり強度について」 土木学会第35回年次講演会概要集1980年9月
- 3) Zia, P and W.D. McGee, "Torsion design of Prestressed Concrete," PCI Journal March-April 1974

表-6 ねじり強度 (単位 $\text{t} \cdot \text{cm}$)

シリーズ		ひびわれ強度		終局強度		
		実験値	理論値	実験値	提案式※	Zia
1	0	60,0	60,5	85,5	89,1 (v)	95,9
	80	110,0	105,0	134,0	144,3 (1)	124,0
2	0	55,0	60,5	127,5	121,1 (1)	120,0
	80	110,0	104,4	134,0	154,0 (1)	147,8
3	0	50,0	60,5	120,0	156,5 (1)	154,2
	80	105,0	103,4	156,5	173,6 (1)	181,3
4	0	55,0	60,5	60,0	60,5 (c)	56,2
	40	100,0	87,6	116,5	87,6 (c)	73,0
	80	100,0	108,0	130,0	108,0 (c)	86,3
5	0	50,0	60,5	71,5	60,5 (c)	73,9
	40	90,0	86,4	114,0	89,7 (1)	89,9
	80	95,0	106,1	124,5	116,2 (1)	102,8
6	0	60,0	60,5	81,5	60,5 (c)	103,9
	40	94,0	86,4	125,0	89,7 (1)	119,9
	80	102,5	106,1	157,5	116,2 (1)	132,8
7	0	80,0	60,5	115,0	103,5 (1)	125,9
	40	95,0	85,7	147,5	124,4 (1)	141,5
	80	110,0	105,0	162,0	144,3 (1)	154,0

※ (v) 式 (3) による、(1) 式 (4) による、(c) ひびわれ強度式 (2) による。

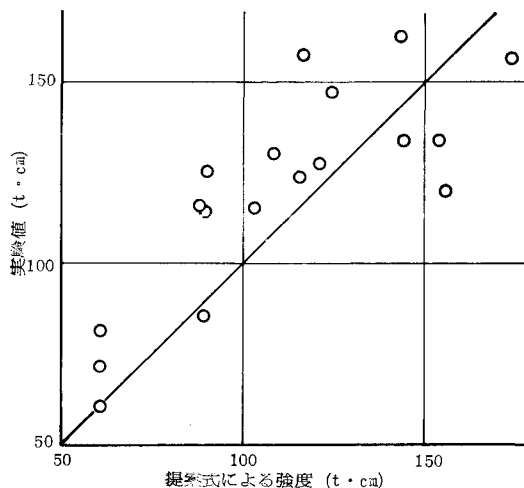


図-3 理論値と実験値との関係