

鋼繊維を用いたRC及びPC梁のねじり特性

広島大学 正 員 米倉亜州大

広島大学 正 員 宮沢 伸吾

広島大学 学生員○金谷 寿士

極東工業 岩田 雅晴

1. まえがき 鋼繊維補強コンクリート（以下SFRC）はせん断強度、曲げ引張強度、タフネス等の諸特性が優れていることが既に明らかにされているが、ねじりを受けるSFRC梁の研究はまだ十分でない。そこで本研究では純ねじりを受けるRC及びPC梁に鋼繊維（以下SF）を用いて、その力学的及び変形特性について実験的に検討した。すなわち腹鉄筋比、SF混入率（以下 V_f ）を変化させ、これらの要因が純ねじりを受けるRC及びPC梁のひびわれ強度、終局強度、変形性状に及ぼす影響を実験的に調べた。

表-1 実験計画

P_v (%)	V_f (%)	σ_{pe} (kgf/cm^2)
0	0	0
0	1	0
0	2	0
1.4	0	0
1.4	0	100

2. 試験方法 図-1に梁断面を、図-2に荷重方法を示す。

実験計画は表-1に示す様に腹鉄筋有り無しの場合について V_f を0, 1及び2%に変化させ、それぞれについて有効プレストレス σ_{pe} を0と100(kgf/cm^2)に分けて行なった。尚軸方向鉄筋の鉄筋比 ρ_l は全梁を通じ1.6

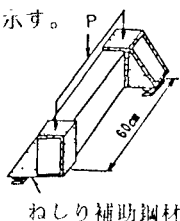
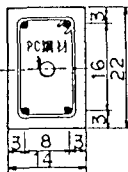


図-2 荷重方法

表-3 コンクリートの強度試験結果

kgf/cm^2	繊維混入率 V_f (%)		
	0	1	2
σ_c	475	445	427
σ_t	29.0	36.0	42.5
σ_s	49.0	62.0	70.0
$E \times 10^{-5}$	3.40	2.98	2.49
$G \times 10^{-5}$	1.39	1.29	1.02
ν	0.226	0.208	0.225

図-1 梁断面 図-2 荷重方法

%と一定にした。ここで腹鉄筋の鉄筋比 ρ_v 、及び ρ_l 、 V_f は

体積比とする。示方配合を表-2に示す。コンクリートの配合は

最大粗骨材寸法15mm、水セメント比50%、目標スランプ10cm、

目標空気量2.8%と一定にした。実験に使用した鉄筋は、軸方

向筋に $\phi 13$ (SD30)、腹鉄筋に $\phi 9$ (SR24)、SFは $(0.5 \times 0.5 \times 30\text{mm})$ のせん断ファイバーである。 $p_v = 1.4\%$

の梁は7cm間隔で腹鉄筋を配置した。プレストレスは材令7~10日まで標準養生を行った後に、断面図心位

置で $\phi 23$ のPC鋼棒(C種1号)をポストテンショニング方式で緊張し、緊張後直ちにグラウチングを施し、

荷重試験を材令約2~3週間で実施した。

表-2 コンクリートの配合

V_f (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)					
		SF	W	C	S	G	ad.
0	46	0	201	402	780	918	1.005
1	52	78.5	226	452	797	762	1.582
2	71	157.0	246	492	1021	416	2.706

注) 混和剤には高性能減水剤 HI-150 を使用

表-4 ねじりモーメント (単位: $\text{ton}\cdot\text{m}$)

σ_{pe} kgf/cm^2	P_v (%)	V_f (%)	T_{cr}			T_u		
			実験値	理論値	実/理	実験値	提案式	実/提
0	0	0	0.40	0.41	0.98	0.50	0.41	1.22
		1	0.55	0.51	1.08	0.75	0.61	1.23
		2	0.35	0.59	0.59	0.83	0.72	1.15
	1.4	0	0.45	0.41	1.10	0.80	0.90	0.89
		1	0.55	0.51	1.08	1.31	1.10	1.19
		2	0.60	0.59	1.02	1.57	1.21	1.30
100	0	0	0.85	0.89	0.96	1.00	0.89	1.12
		1	0.90	1.00	0.90	1.15	1.19	0.97
		2	0.80	1.10	0.72	1.33	1.33	1.00
	1.4	0	1.05	0.89	1.18	1.30	1.38	0.94
		1	0.85	1.00	0.85	1.72	1.68	1.02
		2	0.95	1.10	0.86	1.88	1.82	1.03
平均値			0.94			1.09		
変動係数 (%)			17			9		

注) 理論値は式(2)により、提案式の値は式(3)による

3. 実験結果及び考察 荷重時のコンクリートの

強度試験結果、荷重試験結果を表-3, 4に示す。

1) ひびわれ強度: PC梁の場合RC梁に比較してひ

びわれ強度は、プレストレスによって著しく増

大することが本実験においても確認されたが、そ

のプレストレスの効果はプレストレス係数 γ に比

例する。すなわち、 $\gamma = 1 + \sigma_{pe} / \sigma_t$ 、こ

こで、 σ_t はコンクリートの引張強度。さらにひび

われ強度は同一無筋コンクリートの終局強度にほ

ぼ等しいと考えて無筋コンクリートの終局強度を、弾塑性解析¹⁾による近似的式(1)より求めた。

$$T_{up} = T_e + \frac{1}{4} \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_t} - 1 \right) \left(5 - \frac{\sigma_c}{\sigma_t} \right) (T_p - T_e) \dots (1) \quad T_e = \frac{b^2 h \sigma_c}{3 \cdot 1.8 b / h} \quad T_p = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1 b}{3 h} \right) b^2 h \sigma_c$$

T_{up} : 無筋コンクリートの終局ねじりモーメント

b, h : 矩形断面の短辺及び長辺、 σ_c : コンクリートの曲げ強度、 $\therefore T_{cr} = \gamma T_{up} \dots (2)$ 従ってRC及びPC梁

のひびわれ発生ねじりモーメント T_{cr} (以下 T_{cr})は(2)式で求められる。計算結果を表-4に示す。RC及び

PC梁のひびわれ強度は、図-3に示す様にSF混入による顕著な効果が見られなかったが、コンクリートの引張

強度が増加しているために理論式より求めた T_{cr} は、実験値より若干大きめの値を示し危険側の値を与えた。

2) 終局強度：終局ねじりモーメント（以下 T_u ）は V_f と共に増大し

特に腹鉄筋がある場合にその効果は著しく（図-4参照）、終局トルクに及ぼすSF補強効果は腹鉄筋との併用により飛躍的に大きくなる事が確かめられた。終局トルクはコンクリートの寄与と鉄筋の寄与による強度の合計であり有効プレストレスはコンクリートの寄与強度を増加させ鉄筋の寄与強度はそのままであるとして Zia²⁾ は、Hsu の式を修正し次式を提案した。 $T_u = T_0 + T_s$ …… (3) ここで T_0 ：コンクリートの寄与する強度、 T_s ：鉄筋の寄与する強度、尚、本解析では近似的に、 $T_0 = T_{up}$ とした。従って T_0 は式(2)によって表される。∴ $T_0 = T_{up}$ T_s は、

$$T_s = \Omega \cdot \frac{b_1 h_1 A_c f_{sv}}{s} \quad \Omega = 0.66 \frac{p_s}{p_v} + 0.33 \frac{h_1}{b_1} \quad \text{AC: 腹鉄筋で}$$

b_1, h_1 ：腹鉄筋で囲まれた矩形の短辺及び、長辺、 s ：腹鉄筋の間隔、 f_{sv} ：腹鉄筋の降伏応力度、尚、本実験において $p_v = 0\%$ の梁は、無筋コンクリート梁と考えて終局トルクの推定には式(2)を用いた。 $p_v = 1.4\%$ 梁は、式(3)によって終局トルクを推定した。またSF混入によりコンクリートの靱性が図-5, 6, 7から明らかな様に、著しくなる。

そこで $V_f = 1, 2\%$ の時はコンクリートの塑性領域の拡大を考慮するために、(2) 式の T_{up} に近似塑性式(4) 式を用いて T_u の推定を行

$$T_{up} = \frac{1}{6} b^2 (3h - b) \alpha \dots\dots (4) \quad \text{なった。結果を表-4に示す。腹鉄筋がある場合SF混入率の増加に伴う} T_u$$

の増大が大きく（図-4参照）、SFと腹鉄筋の併用による相乗効果があると考えられる。そこで T_u の推定にはこの相乗効果を考慮する必要があると思われるが、本研究における推定値は実験値に比較的良く一致したものの、この相乗効果を考慮しておらずコンクリートの塑性領域の拡大のみを考慮しているので、本研究における修正式には適用の限界があると思われる。

3) 変型性状：本研究では T_u の 95% を準終局ねじりモーメント（以下 T_{95} ）と定義し、その時のねじり率（単位長さ当りのねじり角）を準終局ねじり率として求め、変型性状は終局状態の95% までについて考察した。そのグラフを図-5に示す。また準終局ねじり率と V_f との関係を図-6に、タフネスと V_f との関係を図-7に示す。タフ

ネスは、図-7から鉄筋とSFを併用した時に著しく改善されることがわかる。 T_u は V_f と共に増大するが（図-4参照）変形に関しては図-6からSF混入による補強にある一定の限界があるものと思われる。本実験では $V_f = 1\%$ の時にその変形量がピークとなった。しかしタフネスは、 V_f と共に T_{95} が増大したために、準終局ねじり率が低下しているにも拘らず V_f と共に増大する傾向を示した。そして補強鉄筋と V_f の間には相関関係が有り、特に変形能力については最適補強量が存在するものと思われる。

（参考文献）

- 1) 児島孝之、岡田清：『ねじりを受けるRC長方形断面梁について』土木学会論文報告集第 232号 1974.12
- 2) Zia, P and W.D. McGee: "Torsion design of Prestressed Concrete" PCI Jour. March-April 1974

$\frac{p_s}{p_v}$	0	1.3	0
	○	▽	●
$\frac{p_v}{p_c}$	100	0	0

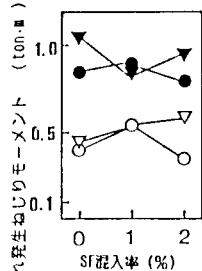


図-3 T_{cr} と SF 混入率との関係

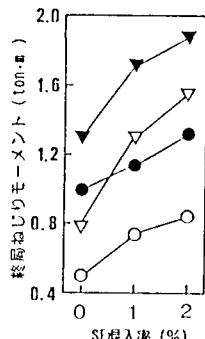


図-4 T_u と SF 混入率との関係

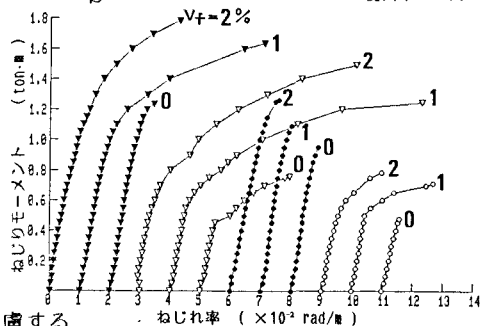


図-5 ねじりモーメントとねじり率との関係

$\frac{p_s}{p_v}$	0	1.3	0
	○	▽	●
$\frac{p_v}{p_c}$	100	0	0

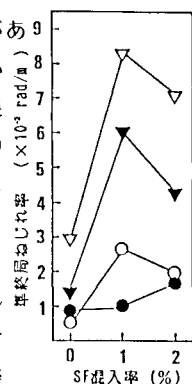


図-6 準終局ねじり率と SF 混入率との関係

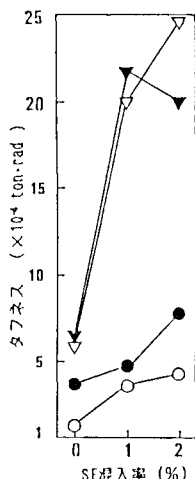


図-7 タフネスと SF 混入率との関係