

鋼繊維混入率をかえた鉄筋コンクリートはりの試験

徳島大学工学部 正会員 河野 清
 岡崎工業株式会社 正会員 原田辰夫
 徳島大学工学部 学生員 雪本清浩
 株式会社姫野組 正会員 ○ 滝上 隆久

1. まえがき

鋼繊維補強コンクリート(SFRC)の構造用材料としての特性に注目し、これを用いた鋼繊維補強鉄筋コンクリートはりを製作して、その曲げ性状・ひびわれ性状などを調査するとともに、引張側コンクリートの強度を考慮した理論式を用いて解析を行ない、理論値と実験値とを比較することによって鋼繊維混入の効果を検討し、さらに、2層打ち(上層0%, 下層10%)の鉄筋コンクリートはりの挙動についても調査・研究を行なった。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は最大寸法10mmの川砂利を使用した。鋼繊維はせん断ワイヤー(0.60×0.21×25mm)を用い、繊維混入率を0%, 10%, 20%および2層打ちの4種とした。配合は $W/C = 60\%$, $A/a = 65\%$ を一定、目標スランプを8cmとして単位水量を変化させて表-1のように決定した。はり試験体およびコンクリートの引張試験用試験体の形状・寸法および測定ゲージの取付け概要を図-1に示す。なお、同一の試験にはり試験体2本、引張試験用試験体10本を使用した。

表-1 コンクリートの配合

試験体の種類	G_{max} (mm)	S_{ump} (cm)	A/a (%)	W/C (%)	A/a (%)	単位重量 (kg/m ³)				
						W	C	S	G	SF
P L	10	8.1	3	60	65	240	400	1031	559	0
SF-1.0	10	8.1	3	60	65	244	407	1003	544	78
SF-2.0	10	8.1	3	60	65	252	420	966	524	157

図-1 はり試験体およびコンクリートの引張試験用試験体の形状・寸法および測定ゲージの取付け概要を説明する。図-1に示す。なお、同一の試験にはり試験体2本、引張試験用試験体10本を使用した。

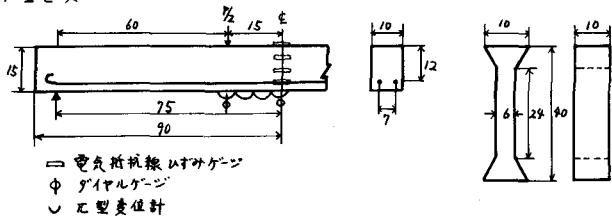


図-1 はり試験体およびコンクリートの引張試験用試験体の形状寸法 (cm)

3. 実験結果および考察

(1) 直接引張試験の結果; 図-2 はプレーンコンクリートの引張応力度-ひずみ関係を示したものである。ひびわれ発生ひずみは、 $\epsilon_{cr} = 120 \times 10^{-6}$ と割裂試験よりも小さな値を示した。また、ひずみ測定区間内でひびわれが発生したのは10本中3本程度であった。これは、チャックの部分での応力集中および鋼繊維の分散が均等になっていないことなどによるものと思われる。

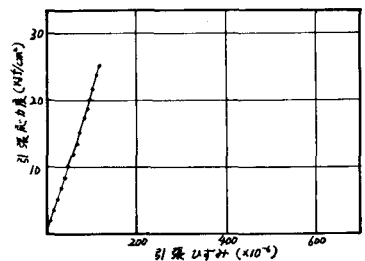


図-2 引張応力度-ひずみ関係

(2) 荷重-たわみ関係に及ぼす繊維混入の影響; 図-3 は荷重-中央たわみ関係を示したものである。ひびわれ発生まで、すなわち荷重約500kgまでははりの曲げ剛性(EI)は全断面有効で、たわみは繊維混入率に関係なく一定である。しかし、ひびわれ発生後は繊維混入率の増加とともに減少している。

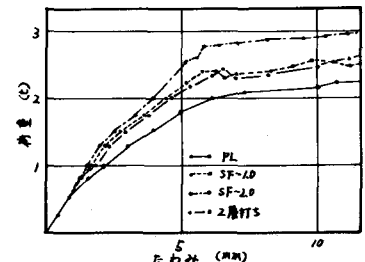


図-3 荷重-たわみ関係

(3) 荷重-合計ひびわれ幅関係に及ぼす繊維混入の影響; 図-4 は測定区間内の荷重-合計ひびわれ幅関係を示したものである。ひびわれ発生は荷重約500kgで一定しており、その後は、繊維混入率の増加とともに合計ひびわれ幅は減少している。これは、SFRCがひびわれ発生防止効果よりもひびわれ拘束効果を持っていることを示すものと思われる。

(4) SF-1.0と2層打ちを比較した場合、荷重-たわみ関係・荷重-合計ひびわれ幅関係および最大荷重とれをとっても両者の結果に大差はなく、SFRCの経済面を考慮した場合、2層打ちはコンクリートのコストが半減するのでその効果が評価できる。

4. 解析

(i) 解析上の仮定：(i) 断面はつねに平面を保持する。(ii) 鉄筋は完全弾性-完全塑性とする。(iii) せん断変形は無視する。(iv) プレーンコンクリートのひびわれ発生ひずみは実験結果から $\varepsilon_{cr} = 120 \times 10^{-6}$ とし、繊維を混入

してもひびわれ発生ひずみは一定と考え $\varepsilon_{cr} = 120 \times 10^{-6}$ とする。引張破壊ひずみは、実験結果および既往の研究を参考にして、プレーンコンクリートで $\varepsilon_k = 120 \times 10^{-6}$ 、SF-1.0 で $\varepsilon_k = 700 \times 10^{-6}$ 、SF-2.0 で $\varepsilon_k = 1000 \times 10^{-6}$ とする。

(2) 解析方法および結果：単鉄筋長方形はりの限界応力状態を図-4に示すように2つの場合に分けて考える。すなわち、〔状態Ⅰ〕としてひびわれ発生時、〔状態Ⅱ〕として引張鉄筋が降伏応力に達する時とする。各状態の曲げモーメント算定式を表-2に示し、解析結果を一括して表-3に示す。

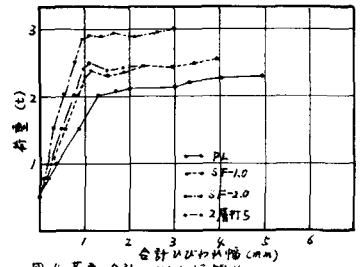


図-4 荷重-合計ひびわれ幅関係

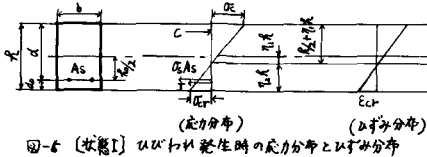
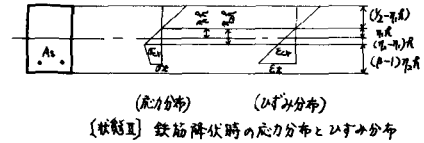


図-4 (状態Ⅰ) ひびわれ発生時の応力分布とひずみ分布



〔状態Ⅱ〕 鉄筋降伏時の応力分布とひずみ分布

表-2 曲げモーメントの算定式

状態	算定式	状態	算定式
I	$\eta_1 + \eta_2 = \frac{1}{2}$ $\eta_2 = \frac{b h^2 - n A_s (h_0 - h)}{2 n A_s h + 2 b h^2}$ $M_{cr} = \left\{ \frac{1}{3} \frac{b (\eta_2 + \eta_1 h)^2}{\eta_1 h} + \frac{n A_s (\frac{b \eta_2 h}{\eta_1})}{\eta_1 h} + \frac{1}{3} (b \eta_1 h^2) \right\} \sigma_{cr}$	II	$\frac{1}{2} \frac{b h^2 + n A_s}{\eta_1 h} \cdot \pi \sigma_{cr} = \sigma_s$ $A_s \eta_1 (\eta_2 + \eta_1 h) \sigma_{cr} + \frac{1}{2} b h^2 (\sigma_{cr} + \sigma_s) - \frac{1}{2} b h^2 (\eta_2 - \eta_1) \sigma_{cr} = 0$ $M_g = \frac{1}{2} b (\eta_2 h - \eta_1 h^2) \frac{\sigma_s}{\eta_1} + \frac{n A_s \eta_1}{\eta_1 h} (\eta_2 + \eta_1 h) + \frac{1}{2} b (\eta_2 h^2) \sigma_{cr}$ $+ \frac{1}{2} b (h - \eta_1 h) (\sigma_s + \sigma_{cr}) \left\{ \frac{(h - \eta_1 h) \sigma_s + \sigma_{cr}}{\sigma_s + \sigma_{cr}} + 1 \right\}$

ここに、 h = はりの高さ (cm) d = はりの有効高さ (cm) b = はりの幅 (cm) A_s = 引張鉄筋の全断面積 (cm²) $\beta = \varepsilon_s / \varepsilon_{cr}$
 σ_{cr} = ひびわれ発生時のコンクリートの極引張応力度 (kg/cm²) σ_s = 鉄筋の引張応力度 (kg/cm²)
 η_1, η_2 = 断面の重心から中立軸までの距離 (cm) $\eta_1 h$ = 中立軸からひびわれ発生点までの距離 (cm)

表-3 解析結果

供試体の種類	σ_{cr} kg/cm ²	状態Ⅰ			状態Ⅱ		
		$M_{cr, cal}$ kg-cm	$M_{cr, test}$ kg-cm	$M_{cr, test} / M_{cr, cal}$	M_g, cal kg-cm	$M_g, test$ kg-cm	$M_g, test / M_g, cal$
P L	30.6	12800	15000	1.17	61500	62000	1.01
SF-1.0	30.1	12600	15000	1.19	64300	75700	1.17
SF-2.0	30.7	12800	15000	1.17	68200	92600	1.35

〔状態Ⅰ〕では、コンクリートの伸び能力が同じであるため繊維混入に關係なくひびわれ発生モーメントはほぼ一定であるが、実験値よりも少し小さくなった。これは、ひびわれ発生ひずみが 120×10^{-6} と幾分小さな値であるためと思われる。〔状態Ⅱ〕では、引張破壊ひずみおよびその時の応力を実験的にとらえることが困難であり、既往の研究データを用いたため実験値よりも全体的に小さくなった。今後は、ひずみ制御で曲げ引張試験をするとか、引張用ロードセルを用いて応力-ひずみ曲線を描くなどの引張変形についてさらに検討する必要がある。

5. あとがき

実験的にはSFRCはりにおける鋼繊維混入の効果がえられたが、理論的にはまだ不明確な点がある。今後は、明確なSFRCの引張応力度-ひずみ関係をつかみ、さらに検討をすすめる必要がある。

参考文献 1) 西岡伸夫, 垣見昇, 山川純雄, 白川孝: スチール-ハイブリッドコンクリートの性能と応用, コンクリート工学, Vol. 26, No. 3, p. 352, 1979.