

鋼繊維補強コンクリートのはり部材への利用

徳島大学工学部 正員 河野 清
徳島県庁土木部 正員 納田盛資
戸田建設(株) 正員 志摩達也

1. まえがき

新しい構造材料として注目されつつある鋼繊維補強コンクリート(SFRC)を鉄筋コンクリート(RC)はりに用いた場合のひりの曲げ性状を研究する目的で、繊維混入率を変化させた鋼繊維補強鉄筋コンクリートはりを作製して、その曲げ性状について種々検討、考察するとともに、靱性が著しく増大するというSFRCの特性を生かし、その引張応力度を考慮して曲げ破壊モーメントを算定し、理論値と実験値とを比較することによって鋼繊維混入効果について検討を行った。

表-1 示方配合

配合の種類	W/C (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)				
			W	C	S	G	SF
P1	60	58	195	325	1013	754	0
SF1.0	60	65	224	373	1044	578	78
SF2.0	60	80	240	400	1213	311	156

2. 実験概要

鋼繊維はせん断異形ファイバー(0.6×0.21×25mm)を使用し、繊維混入率は0%vol.(P1), 1.0%vol.(SF1.0), 2.0%vol.(SF2.0)の3種類とした。粗骨材最大寸法は10mmで、配合はW/C=60%, 目標スランプ=8cmとして単位水量とs/aを変化させて表-1のように決定した。セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は川砂利を使用し、鉄筋はSD35のD10を使用した。供試体の形状寸法、測定ゲージ類の取付概要を図-1に示す。なお、同一の試験には供試体2本を用い、PL-D10-1とかSF2.0-D10-2のように記号をつけた。

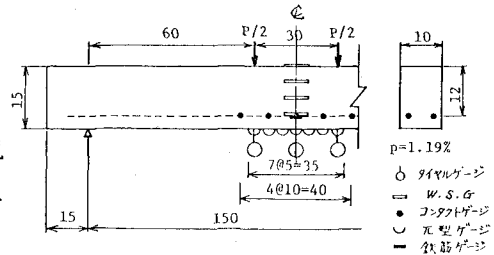


図-1 はり供試体の形状寸法

3. 実験結果および考察

(1) 荷重-たわみ関係に及ぼす繊維混入率の影響; 図-2は荷重-中央たわみ関係を示したものである。ひびわれ発生後のたわみは繊維混入率の増加にともなって減少しており、鉄筋降伏荷重が増大しているにもかかわらず、そのときのたわみ量はほぼ10mm程度である。また目視ひびわれ発生荷重はほぼ一定で、約500kg前後である。
(2) 鉄筋位置のひびわれ幅に及ぼす繊維混入率の影響; 図-3は測定区間の合計ひびわれ幅と荷重との関係を示したものである。図より明らかなように繊維混入率の増加とともにひびわれ幅ははかり減少しており、鋼繊維混入によるひびわれ拘束効果が顕著にあらわれている。

4. 解 析

(1) SFRCの引張応力度-ひずみ関係; 図-4は、繊維混入率1.0%vol.で、

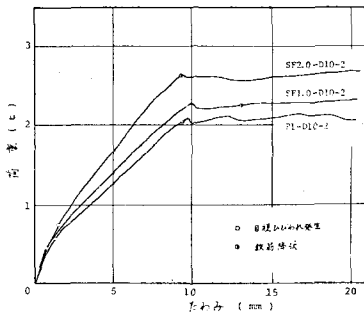


図-2 荷重-たわみ関係

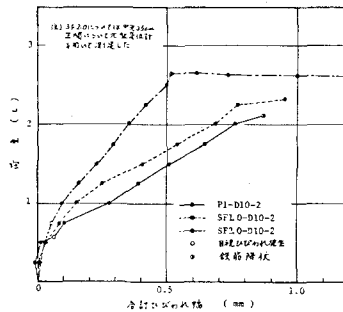


図-3 荷重-鉄筋位置合計ひびわれ幅関係

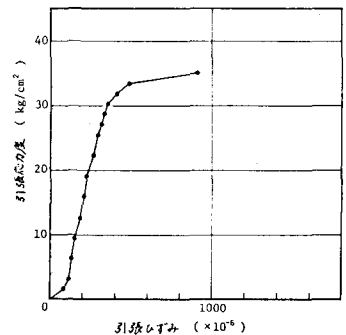


図-4 SFRCの引張応力度-ひずみ関係

はり供試体と同配合の内柱供試体を用いて割裂引張試験を行い、 π 型変位計でひずみを測定したものである。この図よりSFRCの引張応力度-ひずみ関係は完全弾性-完全塑性と仮定することができると考えられる。

(2)解析上の仮定：(i)断面はつねに平面を保持する。(ii)SFRCの応力度-ひずみ関係は完全弾性-完全塑性とし、鉄筋も完全弾性-完全塑性体と仮定する(図-5参照)。(iii)せん断変形は無視する。(iv)普通コンクリートのひびわれ発生ひずみ $\epsilon_{cr}=200 \times 10^{-6}$ とし、引張破壊ひずみ $\epsilon_t=200 \times 10^{-6}$ とする。また

SFRCについては、前述の実験結果や既往の研究報告などを参考にして $\epsilon_{cr}=300 \times 10^{-6}$ 、 $\epsilon_t=900 \times 10^{-6}$ と仮定する。

(3)解析方法および結果：単鉄筋長方形はりの限界応力状態は次の3つの場合に区分される(図-6参照)―[状態Ⅰ]ひびわれ発生時、[状態Ⅱ]引張縁ひずみが引張破壊ひずみに達するとき、[状態Ⅲ]引張鉄筋の応力が降伏応力に達するとき。各状態の曲げモーメント算定式は表-2に示すとおりである。また、はりの引張縁ひずみと荷重との関係は図-7のようなモデルで考えることができ、図のB点にあたる引張破壊時の荷重を実験より求めた荷重-引張縁ひずみ曲線より読みとり実験値とした。ひびわれ発生は目視によりひびわれが発見される荷重とした。表-3は各限界状態における曲げ破壊モーメントの理論値と実験値とを比較したものである。ひびわれ発生時においてSFRCがとくに過大評価となっている原因としては単位水量の増加による乾燥収縮の影響などが考えられる。また鉄筋降伏時には理論値と実験値は比較的良好に合っているが、引張破壊時にはやはり過大評価となっている。SFRCの引張破壊ひずみを定量的に正しく評価するためには今後さらに実験を重ね、検討する必要がある。

表-2 曲げモーメント算定式

状態	算定式
状態Ⅰ	$\eta_1 + \eta_2 = 1/2, \quad \eta_2 = \frac{b h^2 - n A_s (h_0 - h)}{2 n A_s h + 2 b h^2}$ $M_{cr} = \left\{ \frac{1}{3} \frac{b (h/2 + \eta_1 h)^3}{2 \eta_1 h} + \frac{n A_s (h_0/2 - \eta_1 h)^2}{2 \eta_1 h} + \frac{1}{2} b (\eta_2 h)^2 \right\} \sigma_{cr}$
状態Ⅱ	$\frac{\epsilon_t}{\epsilon_{cr}} = \frac{(1/2 + \eta_1)h}{2 \eta_1 h}, \quad A_s n \left(\frac{h_0}{2} + \eta_1 h \right) + \frac{1}{2} b h^2 \left\{ 2 \eta_2 \left(\frac{1}{2} + \eta_1 - \eta_2 \right) + \eta_2^2 - \left(\frac{1}{2} - \eta_1 \right)^2 \right\} = 0$ $M_t = \frac{n A_s \sigma_{cr}}{2 \eta_1 h} \left(\frac{h_0}{2} + \eta_1 h \right)^2 + \frac{1}{2} \sigma_{cr} b h^2 \left\{ \frac{2}{3 \eta_2} \left(\frac{1}{2} - \eta_1 \right)^3 + \frac{2}{3} \eta_2^2 + \left(\frac{1}{2} + \eta_1 - \eta_2 \right) \times \left(\frac{1}{2} + \eta_1 + \eta_2 \right) \right\}$
状態Ⅲ	$\frac{h_0/2 + \eta_1 h}{2 \eta_1 h} n \sigma_r = \sigma_y, \quad A_s n \left(\frac{h_0}{2} + \eta_1 h \right) + \frac{1}{2} b h^2 \left\{ 2 (\beta - 1) \eta_2^2 + \eta_2^2 - \left(\frac{1}{2} - \eta_1 \right)^2 \right\} = 0$ $M_y = \frac{A_s n \sigma_{cr}}{2 \eta_1 h} \left(\frac{h_0}{2} + \eta_1 h \right)^2 + \frac{1}{2} \sigma_{cr} b h^2 \left\{ \frac{2}{3 \eta_2} \left(\frac{1}{2} - \eta_1 \right)^3 + \frac{2}{3} \eta_2^2 + (\beta - 1) \eta_2^2 \right\}$

ここに、 h ははりの高さ、 b ははりの幅、 $h_0/2$ ははりの断面重心から中立軸までの距離、 ηh は断面の重心から中立軸までの距離、 $\eta_2 h$ は中立軸からひびわれ発生点までの距離、 A_s は引張鉄筋の全断面積、 n は弾性係数比 (E_s/E_c)、 σ_{cr} はひびわれ発生時のコンクリートの引張応力度、 σ_y は引張鉄筋の降伏応力度、 $\beta = \epsilon_t/\epsilon_{cr}$ 。

表-3 解析結果

供試体種類	σ_{cr} kg/cm ²	状態Ⅰ			状態Ⅱ			状態Ⅲ		
		$M_{cr, cal}$ kg・cm	$M_{cr, test}$ kg・cm	$M_{cr, test}/M_{cr, cal}$	M_t, cal kg・cm	$M_t, test$ kg・cm	$M_t, test/M_t, cal$	M_y, cal kg・cm	$M_y, test$ kg・cm	$M_y, test/M_y, cal$
PI-D10-1	46.0	19,500	14,300	0.73	19,500	14,300	0.73	53,500	60,000	1.12
PI-D10-2	46.0	19,700	17,100	0.87	19,700	17,100	0.87	54,500	63,600	1.17
SF1.0-D10-1	66.3	28,300	15,000	0.53	55,500	37,500	0.68	61,000	61,500	1.01
SF1.0-D10-2	66.3	28,100	13,500	0.48	55,200	37,500	0.68	60,700	69,000	1.14

5. あとがき

本実験により鋼繊維補強鉄筋コンクリートはりの曲げ性状として、鋼繊維によるたわみの減少効果やひびわれ拘束効果などがみられた。解析においては本報告を基礎資料として今後さらに検討する必要がある。

〈参考文献〉 1) 西岡・垣見・山崎・白川：ステールファイバーコンクリートの性状と応用(第1報)、住友金属、Vol.26, No.3, pp.349~361 (1974)
2) 関口・史戸・徳山：鋼繊維補強鉄筋コンクリート梁の曲げ性状、昭和52年度東京都土木技術研究所年報、pp.77~89、(1977)

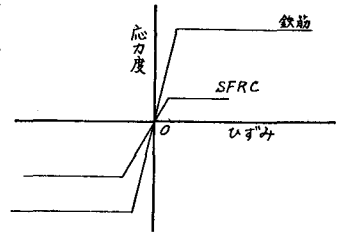


図-5 鉄筋およびSFRCの応力度-ひずみ関係

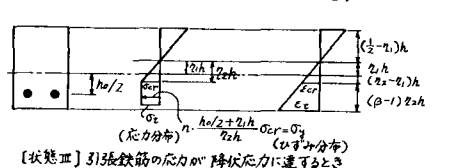
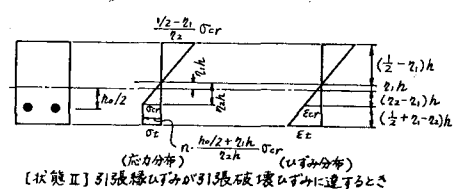
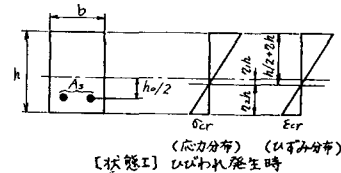


図-6 応力分布およびひずみ分布