

徳島大学工学部 正会員 河野 清
 徳島県 正会員 ○納田 盛資
 徳島大学工学部 学生員 原田 辰夫

1. まえがき

鋼繊維補強コンクリート(以下 SFRC と略記する)は、プレーンコンクリートにくらべ、各種のすぐれた特性をもつことが多くの研究から明らかにされてきた。ところが、従来は強度特性や補強機構について主に研究が行われ、耐久性とくに発錆の問題についての研究は、きわめて少ない。SFRC を土木構造物に利用しようとするれば発錆の問題は SFRC の表面に限った研究だけでは十分であるとは言えない。すなわち、構造物に発生したひびわれから進行する錆について、ひびわれ幅と関連づけて研究を行う必要がある。

本研究では、SFRC はりに 0.1, 0.2, 0.3 mm の曲げひびわれを導入し、発錆条件をかえて発錆を促進させ、ひびわれ面の発錆状況を調査し、ひびわれ幅と発錆との関係をつかむことを目的として実験を行い、あわせて中性化との関係についても検討を行った。

2. 使用材料および配合

使用材料および SFRC の配合を表-1 および表-2 に示す。なお、実験に使用したコンクリートの目標スランプはすべて 10 cm、繊維混入率は 1 %ol で、ともに一定とした。

表-1 使用材料

材 料	性 質
セメント	普通ポルトランドセメント, $\rho_g = 413 \text{ kg/cm}^3$, 比表面積 3100 cm^2/kg
粗骨材	徳島県高砂川産 川砂利, FM 6.00, 比重 2.67
細骨材	徳島県吉野川産 川砂, FM 2.74, 比重 2.63
鋼繊維	せん断 7タイプ, $0.21 \times 0.60 \times 25 \text{ mm}^3$, 引張強度 124 kg/mm^2 , $d/d_0 = 62.4$

表-2 配 合

配合の 種 類	粗骨材 最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (Kg/m ³)				繊維 混入率 (%ol)
				水	セメント	粗骨材	細骨材	
SF1.0	10	60	65	230	383	1039	568	78
								1.0

3. 実験計画

表-2 に示すコンクリートの配合を強制練りミキサで練りまぜて $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ のはり型わくに打設後、振動数 6000 vpm の振動台上で 20 秒間締め固め、脱型後 27 日間恒温湿で湿布養生を行った。ひびわれ幅と破断面の発錆状況、発錆条件と発錆状況および発錆促進期間と発錆状況の関係を知るため表-3 のような分類をした。なお供試体へのひびわれ導入にあたっては、打設後 28 日目の供試体を中央集荷法で曲げ試験を行うとともに X-Y レコーダで荷重-中央たわみ曲線を描きながら、除荷した時に所定のひびわれ幅になるまで載荷を続けた。その後、表-3 に示す発錆条件にしたがって発錆試験を行った。

表-3 発錆試験条件分類表

発 錆 条 件		発 錆 試 験 内 容		ひびわれ幅	発錆試験期間
常時湿潤	発錆促進	1 日 1 回 1 分間 1 % の食塩水に浸し、あとは $50 \pm 5^\circ \text{C}$ の発錆促進槽内に静置	0.1, 0.2, 0.3 mm		3, 6, 9, 12, 15 週間
	発錆抑制	上記条件で食塩水の代りに真水を用いる			
乾湿繰返し	発錆促進	1 日 1 回 3 分間 1 % の食塩水に浸す → 24 時間 $50 \pm 5^\circ \text{C}$ の発錆促進槽内に静置 → 24 時間 50°C の乾燥の繰返し			3, 6, 9, 12 週間
	発錆抑制	上記条件で食塩水の代りに真水を用いる			
自然曝露		ひびわれ導入後の供試体を自然曝露する			60 月, 1, 5, 10, 20 年

注) (1) 発錆抑制供試体は、ひびわれ導入後、ひびわれ面に流動パラフィンを流した。

(2) 供試体本数は、各々の発錆条件、ひびわれ幅および発錆試験期間について、それぞれ 3 本とした。

発錆促進期間に達した供試体は再度曲げ試験を行い、ひびわれ面からの発錆が強度変化に及ぼす影響を調査するため X-Y レコーダで荷重-中央たわみ曲線の変化するようすをとらえた。また、供試体を曲げ破壊させて、発錆条件が発錆状況に及ぼす影響、ひびわれ面での中性化進行程度を調査した。曲げ試験を行ったときの荷重-た

わみ曲線のモデルを図-1に示す。

3. 実験結果および考察

(1) 曲げ強度および耐力変化：ひびわれ導入時の曲げ強度と図-1で示す $Max P$ 点の耐力より求めた曲げ強度を比較して、その低下率を調査したものが表-4である。また図-1で $\Delta P/P$ を計算して、除荷時荷重からの耐力変化としたが、その結果を表-5に示す。表-5でその値が正になれば除荷時荷重からの耐力低下、負になれば耐力増加と考えられるが、表-4および表-5をみても発錆による強度低下よりもむしろ強度が増加する傾向がある。これは、繊維とコンクリートとの再付着、除荷後ひびわれが多少とじるためにコンクリート同志の再付着があったことなどが原因として考えられる。

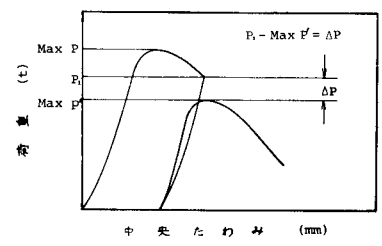


図-1 荷重-たわみモデル

表-4 曲げ強度変化

発錆試験方法	試験期間(週)	発錆条件	0.1 mm			0.2 mm			0.3 mm		
			ひびわれ導入時曲げ強度 (kg/cm ²)	発錆時曲げ強度 (kg/cm ²)	耐力低下率 (%)	ひびわれ導入時曲げ強度 (kg/cm ²)	発錆時曲げ強度 (kg/cm ²)	耐力低下率 (%)	ひびわれ導入時曲げ強度 (kg/cm ²)	発錆時曲げ強度 (kg/cm ²)	耐力低下率 (%)
湿潤のみ	3	促進	69.4	56.8	18	65.6	52.0	21	66.3	47.5	28
		抑制	68.2	56.5	17	67.8	49.6	27	65.9	46.3	30
		促進	65.8	54.8	17	71.4	53.0	26	69.2	49.1	29
	6	促進	71.1	55.8	22	73.4	51.3	30	70.4	49.4	29
		抑制	61.2	50.9	17	65.9	48.8	26	63.0	45.1	28
		促進	62.0	48.3	22	66.9	45.9	31	63.7	51.3	19
	9	促進	69.1	59.1	14	68.8	49.9	27	65.6	49.3	25
		抑制	64.1	59.2	8	69.2	58.7	15	61.9	39.8	36
		促進	62.2	55.6	11	73.8	61.2	17	67.9	46.4	32
	12	促進	65.6	55.6	15	66.5	49.7	25	69.4	46.0	34
	乾湿	促進	68.4	53.4	22	63.9	52.0	19	61.6	42.7	31
		抑制	60.9	53.9	11	67.4	50.3	25	62.9	38.1	39
繰返し	6	促進	62.9	54.9	13	63.1	57.5	9	70.1	51.0	27
		抑制	60.0	48.0	20	55.5	42.9	23	63.0	39.3	38
		促進	72.2	54.9	24	72.4	60.0	17	59.2	43.3	26
	9	促進	68.3	62.2	9	69.0	56.2	19	72.8	56.0	23
		抑制	66.1	55.6	16	67.9	51.8	24	60.3	44.4	26
		促進	70.4	62.1	12	66.6	60.0	10	60.9	46.6	23

表-5 耐力変化

発錆試験方法	試験期間(週)	発錆条件	$\Delta P/P$ (%)		
			0.1 mm	0.2 mm	0.3 mm
湿潤のみ	3	促進	2	-4	4
		抑制	1	4	2
		促進	-8	1	-6
	6	促進	-2	1	0
		抑制	-9	-11	-5
		促進	-5	-9	-3
	9	促進	-6	-3	-5
		抑制	-11	-5	5
		促進	-11	-5	-6
	12	促進	-11	-10	-4
		抑制	-8	0	-2
		促進	-4	-10	-4
繰返し	6	促進	-2	0	-2
		抑制	-9	-3	-1
		促進	-8	-9	2
	9	促進	-7	2	0
		抑制	2	-1	-1
		促進	-8	-2	3

(2) 発錆状況：再度曲げ試験を行、た供試体を曲げ破壊させてその破断面を観察し、ひびわれ底面から錆までの垂直距離を測定し、発錆深さとした。常時湿潤状態にあるものでは、ひびわれ部分にアルカリ性の強い水が存在するので発錆の進行が遅く、15週間の発錆促進でも0.1mmのもので約2mm、0.2mmのもので約5mm、0.3mmのもので約10mmの発錆深さで、発錆点数も少なかった。発錆を抑制したものは、ひびわれ面に流動バウフィンを流したため、常時湿潤状態においてひびわれ面に、多く発錆がみられず、乾湿繰返し状態において、12週目にわずかに発錆をみた。発錆深さ測定の結果を、乾湿繰返しのものについて表-6に示す。実際の場合には、乾湿繰返しを受ける場合が少なくなく、この種の促進を目的とした実験では乾湿繰返しによる発錆試験がよいように思われる。

表-6 乾湿繰返し状態における発錆深さ (単位 mm)

(3) 中性化状況：破断面にフェノールフタレイン1%溶液を作用させてその結果をみると、中性化には供試体周辺部から進行したものとひびわれ面から進行したものとがあることがわかる。発錆は、ひびわれ面から進行したと思われる中性化部分とよく一致するため、中性化と発錆は本実験のような場合、密接な関係があるものと思われる。いずれにせよ、ひびわれが発生し、そのひびわれ幅が0.1mm以上になるとSFRCではきびしい条件によ、ては、かなりの発錆をみるものと思われ、実際の施工にあたり、十分な施工が必要になると考えられる。なお、自然曝露条件での供試体ひびわれ幅と発錆との関係については、その結果を待、て後日報告する。

発錆条件	ひびわれ幅 (mm)	試験期間 (週)			
		3	6	9	12
発錆促進	0.1	7.0	7.0	9.5	11.0
	0.2	5.0	10.0	12.0	12.5
	0.3	8.5	8.5	13.0	13.0
発錆抑制	0.1	-	-	-	0
	0.2	-	-	-	約2
	0.3	-	-	-	約2