

大阪大学大学院 学生員○鹿熊文博 大阪セメント㈱ 中央研究所 正員 水越睦視
大阪大学工学部 正員 松井繁之 大阪セメント㈱ 中央研究所 正員 島内洋年

1. はじめに

鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRCとする）は、高い曲げ強度・曲げ靱性の複合材料である。近年、損傷を受けた道路橋RC床版の増厚補強にこのSFRCの使用が増加の傾向にあり、補強後の耐久性、SFRCの疲労強度、特に曲げ疲労に対する抵抗特性を明らかにする必要がある。そこでSFRC標準試験体による曲げ疲労試験を行い、SFRCの疲労強度特性を調べた。

表-1 SFRCの配合

セメントの 種類	鋼繊維 混入率 (%)	粗骨材 最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/t)							
					水	セメント	膨張剤	細骨材	粗骨材	鋼繊維	洗和剤	
早強	1.5	13	44.7		54.2	181	365	40	863	767	118	5.26
	1.0				52.0	170	340	40	860	834	80	4.94
	0.6				50.7	159	316	40	868	888	47	4.91
	0				34.5	155	307	40	603	1202	—	3.82
超早強	1.0				52.0	170	340	40	860	834	80	4.56

注) 目標スランプ: 5.0cm、目標空気量: 5.0%

2. 試験概要 表-1にSFRCの配合を示す。今回は、特に鋼繊維混入率に注目し、最もよく使用される1.0%を基準に、0.6%、1.5%SFRCおよびブレンコンクリート試験体を用意した。鋼繊維はφ0.6×30mmの神戸製鋼製シコーファイバーを用いた。セメントは、早強超早強の2種類とした。超早強コンクリートは、1日圧縮強度で300kgf/cm²以上を示し、現場での短期施工が期待できる。試験概要を図-1に示す。試験体寸法は10×10×40cmである。早強の場合は材令14日以降に、超早強は打設翌日に実施した。疲労試験には油圧式疲労試験機を用い、正弦波形の繰り返し荷重を載荷速度5Hzで与えた。載荷荷重は下面の応力下限値が3.0kgf/cm²になるように、上限値は静的強度に対する比率によって与えた。また、試験体側面に貼付したクラックゲージにより、曲げひびわれの進展を動的に測定した。

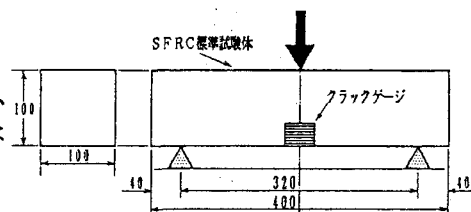


図-1 試験概要

3. 試験結果および考察 (1) S-N結果 図-2は各混入率における疲労試験結果を上限応力比で表現したS-N曲線である。混入率の増加による疲労強度の増進は傾向としてみられるものの、ブレンコンクリートの結果が1.0%のものとはほぼ重なり、この表現ではファイバー混入による効果が認められない。そこで、ブレンコンクリートの静的強度はSFRCの約53~70%であるため、縦軸を上限実応力で表現すれば図-3のように疲労強度の増進は明確に現れる。

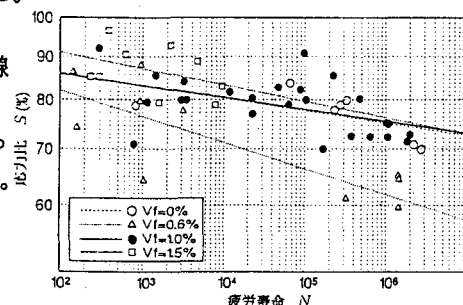


図-2 S-N曲線 (応力比表示)

(2) 曲げひびわれの進展状況 図-4に、1.5%を除いた各混入率におけるひびわれ進展状況の比較を示す。ブレンコンクリートは底面にひびわれが生じると急激に破壊するが、SFRCの場合は、ひびわれは急激に、あるいは、連続的には進展せず、進展と停滞を繰り返して最終破壊に至ることがわかる。これは、ひびわれの進展断面に存在するファイバーが、コンクリートのひびわれの発生に伴って引張応力を分担して抵抗するが、コンクリートとの付着が限界に達すると抜けが生じ、ひびわれが成長する現象を繰り返すためである。また、ファイバー混入量が多くなるほどひびわれ抵抗度が増加し、ひびわれはマトリクス内の局部的

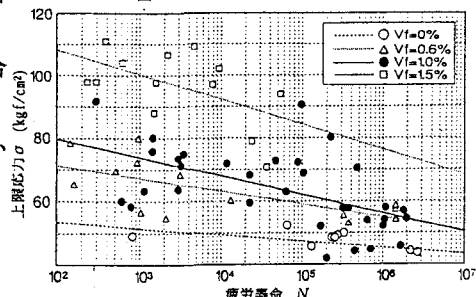


図-3 S-N曲線 (実応力表示)

Fumihiko Kakuma, Shigeyuki Matsui, Mutsumi Mizukoshi, Hirotochi Shimauchi

な弱点を探しながら進展する。破壊断面は混入量の増加とともに凹凸が激しくなる。したがって、ひびわれ幅が微小であればこの凹凸とファイバーによってかなりのせん断伝達能、あるいはねじり抵抗が期待できる。

(3) SFRCの強度とファイバーの分散との相関 先に示したS-N結果からわかるように、SFRCの疲労強度は同じ応力比においても大幅にばらつくが、これはマトリクス中のファイバーの分散状態の影響である。そこで、1.0%SFRCの静的試験結果をもとに、破壊断面で突出したファイバーの下面からの累積本数と曲げ強度との関係を調べた。その結果を図-5に示す。

曲げ強度に対するファイバー量の効果は徐々に現れ、下面から5cmまでのファイバー量で最も効果が現れることがわかる。この結果から、SFRCの強度は引張側コンクリート部に存在するファイバーの絶対量に支配されると言える。一方、表-2は1.0%SFRCの同じ応力比における疲労寿命と各マトリクス領域でのファイバー本数および分散係数との関係を示したものである。分散係数は、ファイバーのばらつきの状態を定量的に表す1つの指標である¹⁾。

これによると、疲労寿命とファイバー量との相関はみられないが、下面から3cmまでの領域において、疲労寿命の大きい試験体ほどマトリクスの各層における分散係数が大となる傾向がみられた。したがって、ファイバー量が同等な場合は、SFRCの強度は引張領域のファイバーの分散係数に支配されると考えられる。

(4) 超早強SFRCの早期交通解放への適用性 超早強SFRCは、材令1日で圧縮強度が362kgf/cm²、静的曲げ強度で70kgf/cm²と良好な強度発現を示した。そこで、一般舗装における設計基準強度50kgf/cm²程度の応力を想定し、疲労試験を行った。その結果、全ての試験体が可視的なひびわれも全く発生せず、200万回以上の载荷に耐えた。図-6に早強と超早強SFRCの疲労強度比較を示す。超早強データは70%のみであるが超早強SFRCの疲労強度は早強と同等の強度を有することが判明した。よって、損傷床版に超早強SFRC増厚補強を施した場合、交通の早期解放は可能であると考えられる。

(5) SFRCの破壊基準について 先に示したS-N曲線は、試験体の全断面破壊に基づいて作成したものである。しかし床版増厚補強にSFRCが使用されるのは、SFRCの引張抵抗性つまりひびわれの発生を抑制し、仮にひびわれが生じてもその進展速度を抑制する特性を利用するためである。この抵抗特性は図-4に示したひびわれ深さに最もよく現れているため、SFRCの使用限界に対する破壊基準にひびわれ深さをを用いるのが妥当と思われる。しかし、今回は収集データが少なく、SFRCの使用限界を定めるに至らなかったが、今後も疲労データを蓄積しこれを明らかにしていく予定である。

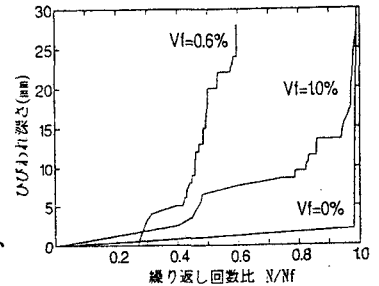


図-4 ひびわれ進展状況

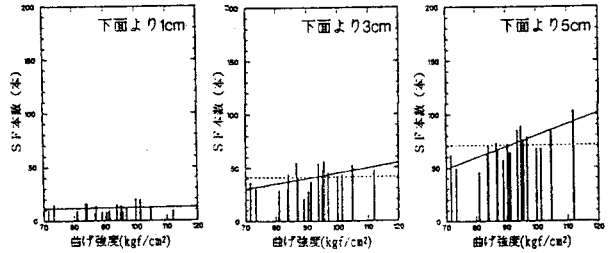


図-5 ファイバー本数と曲げ強度の関係

表-2 疲労寿命と分散係数の関係

疲労寿命 Nf		マトリクスの領域					
		0~1cm	1~2cm	2~3cm	3~4cm	4~5cm	0~5cm
3399	分散係数	0.361	0.459	0.401	0.319	0.55	0.372
	S-F本数	14	23	14	13	9	73
11505	分散係数	0.317	0.328	0.328	0.264	0.328	0.273
	S-F本数	17	14	19	6	7	63
86513	分散係数	0.474	0.345	0.349	0.448	0.387	0.378
	S-F本数	17	19	17	15	11	79
462891	分散係数	0.47	0.47	0.392	0.378	0.269	0.359
	S-F本数	22	11	8	12	11	64

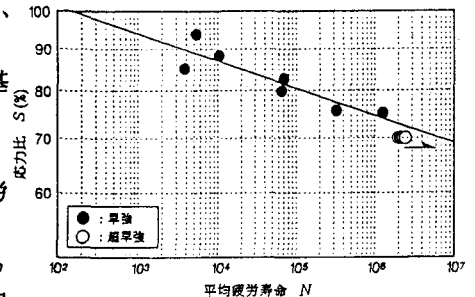


図-6 疲労強度の比較

《参考文献》 1) 小林一輔：繊維補強コンクリート特性と応用一，オーム社，1981。