

[36] 曲げを受けるハリのSFRCによる部分補強効果に関する実験

正会員 ○ 福田 萬大 (大成道路 技術研究所)
 中丸 貢 (大成道路 技術研究所)
 辻井 泰 (大成道路 技術研究所)
 五島 泰宏 (大成道路 技術研究所)

1. まえがき

コンクリート舗装版に輪荷重が作用した場合、最大曲げ応力は隅角部を除く大部分の位置で版底面に発生し、セメントコンクリート舗装要綱¹⁾では版の縦縁部における輪荷重応力および温度応力を考慮して設計する方法がとられている。

本報告は、版縦縁部において輪荷重による最大曲げ応力が版底面に発生することから、版の底面側を部分的に鋼繊維補強コンクリート(以下SFRCと略す)で補強することにより、曲げ強度の増加にともなう版厚の減少が期待できるならば、経済的なSFRC舗装の施工が可能となるのではないかと考え、SFRCまたはブレンコンクリート(鋼繊維を混入しないコンクリート)をまだ硬まらないうちに順次打ち継ぎる層構造とした曲げ供試体(15×15×53cm)の曲げ強度、たわみ量、曲げタフネスを調べ、舗装版に適用する場合の若干の検討を行なった結果を述べたものである。

2. 実験方法

(1) 使用材料および配合

使用したセメントは普通ポルトランドセメント(比重3.15)、細骨材は葛生産砕砂(比重2.69)、粗骨材は葛生産砕石(比重2.70・最大寸法15mm)、鋼繊維はせん断ファイバ(0.5×0.5×30mm)、減水剤は高性能タイプ(高縮芳香族スルホン酸塩系)である。

コンクリートは表-1の配合で実験を行なった。

表-1 コンクリートの示方配合

鋼繊維混入率 V _f (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	目標スランブ (cm)	目標空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
						鋼繊維 S.F	水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤
0	15	2.5	5.0	5.0	48.5	-	165	330	888	945	3.30
0.5					48.5	40	179	358	850	907	3.58
1.0					58.5	80	184	368	1006	716	3.68
1.5					68.5	120	199	398	1124	518	3.98
2.0					78.5	160	209	418	1243	340	4.18

注) AE剤は、各配合とも目標空気量5%となるように使用量を調節した。

(2) 練りませおよび供試体の作製

コンクリートの練りませには強制練りミキサ(100ℓ)を使用し、鋼繊維を除く全材料を同時に投入したのち1分間練りませしてから、引き続き1バッチ分の鋼繊維を手でほぐしながら投入した。

供試体は層状変化用および比較用として図-1に示す各供試体を鋼繊維混入率(以下V_fと略す)=0.5, 1.0, 1.5, 2.0%の各々について作製した。層状になる供試体(タイプB~I)はSFRCまたはブレンコンクリートを下層から順

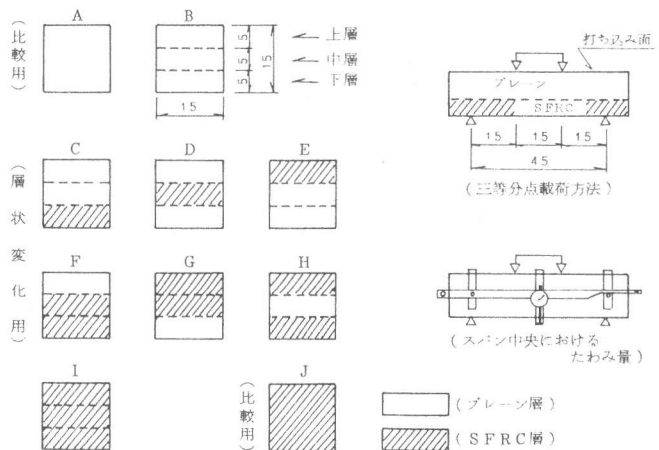


図-1 供試体の種類および曲げ試験方法

に1層分(締め固め後の厚さ=5 cm)のコンクリートを計量し定規でならしてからテーブル振動機(振動数=3000 r.p.m.)で締め固めたのち、中層のコンクリートを敷き均し締め固めるという方法で作製した。1層の供試体(タイプA, J)は全厚を1層で打ち込みテーブル振動機で締め固めた。所定の高さ(15 cm)まで打設が終了した供試体は、打ち込み方向から載荷するため載荷板の支点があたる位置を金ゴテで平面となるよう特に入念に仕上げ、脱型後材令7日および28日まで水中養生(21±3℃)を行なった。なお、1コの測定値を得るための供試体数は3本とした。

(3) 曲げ試験

曲げ強度試験は三等分点二点載荷方法(スパン45 cm)によりJ I S A 1 1 0 6 に準じて行なったが、載荷方向は供試体の打ち込み方向(打ち込み時の底面が引張り側)とし図-1のようにして行なった。また、載荷と同時に供試体のスパン中央におけるたわみ量と荷重の関係をゲージ式変位計を用いてX~Yレコーダに記録した。

3. 実験結果

(1) 曲げ強度

材令7日および28日の曲げ強度を各 V_f について示すと図-2のようである。図から、ブレンコンクリート(タイプA)と比較し $V_f = 0.5\%$ の場合には鋼繊維混入による曲げ強度の増加が見られないが、 $V_f = 1 \sim 2\%$ では V_f を一定とした場合にS F R C層が④下層のみ(タイプC)、②下および中層(タイプF)、③下、中および上層(タイプI, J)の順で曲げ強度が増加する傾向が認められる。また、下および上層をS F R C層としたタイプHの曲げ強度は下層のみをS F R C層としたタイプCと同程度の曲げ強度であり、圧縮側のS F R C層は曲げ強度の増加に寄与していないことが推察される。

(2) 曲げタフネスおよびたわみ量

曲げタフネスの表わし方は現在までに幾つかの方法が提案されているが^{2)~3)}、今回の実験では最大荷重までの変形に注目したためX~Yレコーダに記録されたたわみ量~荷重曲線に囲まれる面積のうち、最大荷重までの面積をプランメータで測定し、タイプA(ブレンコンクリート)の面積と他のタイプの面積との比を同一材令について求め相対曲げタフネスとして表わした(図-3参照)。

タイプAより曲げ強度が増加したもののうち、引張縁から圧縮縁方向に連続したS F R C層を設けたC, F, IおよびJの4タイプについて、材令28日の V_f と相対曲げタフネスの関係を示すと図-3のようである。図から、例えばタイプC, $V_f = 2\%$ の相対曲げタフネス(9.2)はこれと同量の鋼繊維を全厚に用いた場合(タイプI, J)の $V_f = 2\% \times 0.33 \approx 0.7\%$ における相対曲げタ

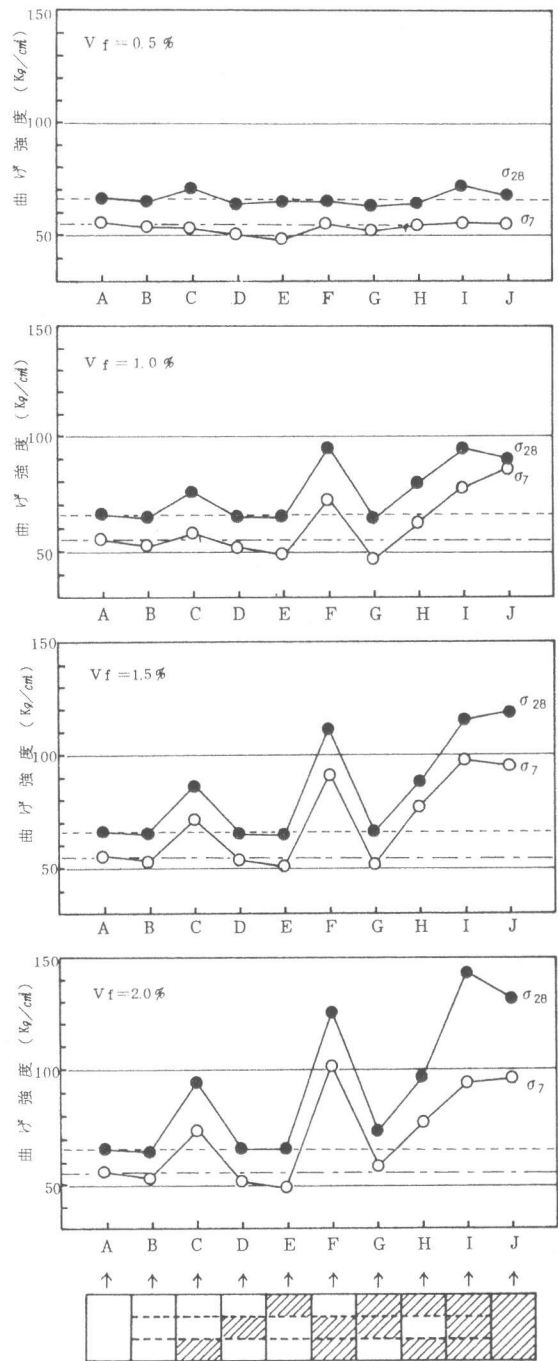


図-2 供試体の種類による曲げ強度の変化

フネス(5~6)を上まわっていることがわかり、引張縁から圧縮縁方向に連続したSFRCL層を部分的に用いて補強したハリの相対曲げタフネスは、同量の鋼繊維を全厚に用いたハリの相対曲げタフネスに劣らないと考えられる。

また、最大荷重時たわみ量と相対曲げタフネスの関係を $V_f = 0.5 \sim 2\%$ の範囲で供試体のタイプC~Jについて示すと図-4のようであり、最大荷重時たわみ量と相対曲げタフネスの間にはほぼ直線的な関係が認められた。

(3) 曲げ強度比と相対曲げタフネスの関係

同一材令において、プレーンコンクリート(タイプA)の曲げ強度に対する他の供試体の曲げ強度の比を曲げ強度比とすると、 $V_f = 0.5 \sim 2\%$ (タイプC~J)の曲げ強度比と相対曲げタフネスの関係は図-5のようであり、曲げ強度比と相対曲げタフネスの間にも、ややバラツキがあるがほぼ直線的な関係が見られた。なお、このバラツキの原因の1つに、曲げ強度比の増加が見られなかったタイプDおよびGで相対曲げタフネスはやや大きい値(最大8.7)を示したことがあげられる。

(4) 材令7日の曲げ強度比と材令28日の曲げ強度比の関係

$V_f = 0.5 \sim 2\%$ (タイプC~J)について材令7日と28日における曲げ強度比の関係は図-6のようであり、両者の間には比例的関係が認められた。

4. まとめ

SFRCLを有効に用いて曲げ強度を向上させることが出来ると考えられる供試体のタイプC, F, I(引張縁にはじまり圧縮縁方向へのSFRCL層厚が全厚に対してそれぞれ0.33, 0.67, 1.00)および比較用のJについて、材令28日におけるSFRCL層置換率と曲げ強度比の関係およびSFRCL層置換率と相対曲げタフネスの関係を示すと図-7~8のようである。ここに、SFRCL層置換率とは引張縁からのSFRCL層厚(D)と全厚(H)との比、 D/H を示す。

図-7から $V_f = 2\%$ では D/H の増加とともに曲げ強度比はほぼ直線的に増加するが、 $V_f = 1, 1.5\%$ では曲げ強度比の増加の割合が $D/H = 0 \sim 0.67$ と比較し $D/H = 0.67 \sim 1.00$ では緩やかであり、曲げ強度の増加が $D/H = 0.67$ 以上では頭打ちになる傾向が見られる。 $V_f = 0.5\%$ では曲げ強度比の増加がほとんど見られない。また、 $D/H = 1.00$ のタイプIと比較用のタイプJでは、3層で打設したタイプIの方が1層のタイプJよりやや大きい曲げ強度比を示しており、1層の層厚を5cmとした場合の層状効果が多少認められた。

図-8から $V_f = 2\%$ では曲げ強度比と同様に相対曲げタフネスも D/H の増加とともにほぼ直線的な増加傾向を示すが、 $V_f = 1, 1.5\%$ では $D/H = 0.33$ および 0.67 で変曲点を

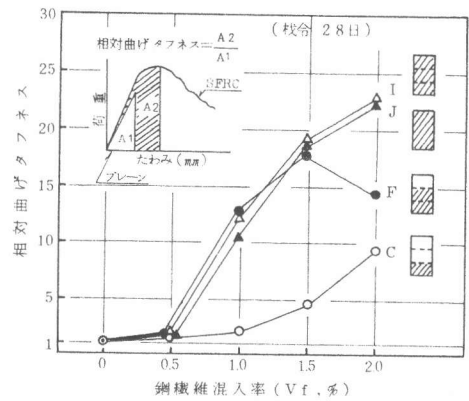


図-3 鋼繊維混入率と相対曲げタフネス

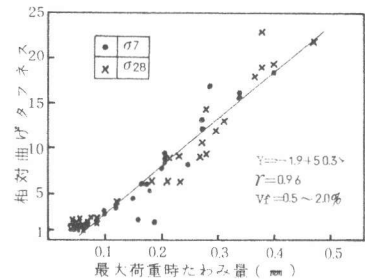


図-4 最大荷重時たわみ量と相対曲げタフネス

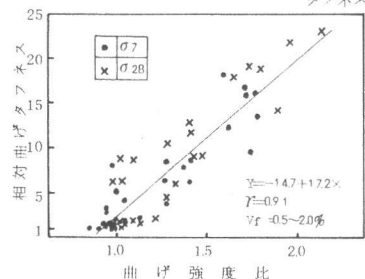


図-5 曲げ強度比と相対曲げタフネス

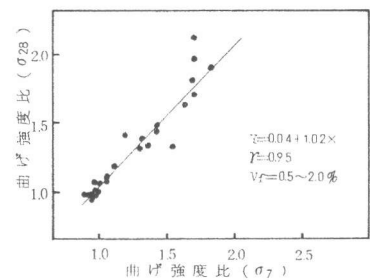


図-6 材令7日と28日の曲げ強度比

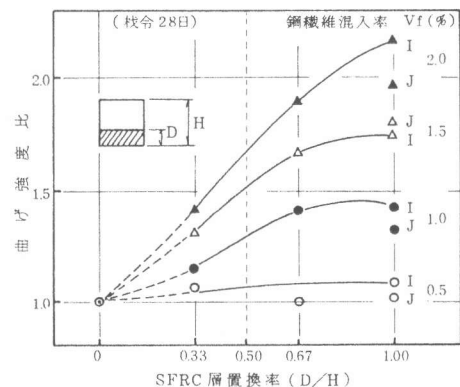


図-7 SFRC層置換率と曲げ強度比

持つS字形曲線を描き、曲げ強度比の場合とはやや異なる傾向が見られた。

5. 舗装版厚の検討

セメントコンクリート舗装要綱に示されるコンクリート版縦自由縁部の荷重応力式を用い、フレンコンクリートの版厚を25cmとした場合に、これと同じ疲労抵抗を与えるようなD/H(SFRC層厚/版全厚) = 0.33, 0.50, 0.67および1.00に対する版厚を $V_f = 1, 1.5, 2\%$ の各々について試算した結果は表-2および図-9のようである。なお、計算には次の各数値を使用した。

輪荷重(P) = 8000Kg, 接地半径(a) = 20cm
 ヤング率(E) = 300000Kg/cm², ポアソン比(μ) = 0.25, 路盤の支持力係数(K75) = 7Kg/cm²
 また、各D/Hおよび V_f の組み合わせにおける推定曲げ強度はフレンコンクリートで仮定した設計基準曲げ強度(45Kg/cm²)に図-7の実線から読み取った曲げ強度比を乗じて求め、SFRCの疲労曲線はフレンコンクリートの場合と等しいと仮定し、温度応力は生じていないとした。

従って、セメントコンクリート舗装要綱に示される疲労曲線を用いると、図-9は温度応力の無い時刻(表面と底面の温度が等しい時刻)に8トン輪荷重が版の縦自由縁部一ぱいを走行する場合、約70万回の通過に耐えられる版厚を示しているということも出来る。

図-9から、例えば全厚を $V_f = 1\%$ のSFRC舗装とした場合の版厚(20cm)にくらべ、版底面側を全厚の半分だけ $V_f = 2\%$ のSFRC層で補強した場合の版厚(約18cm)の方が少ないことがわかる。

6. 結論

① 鋼繊維を曲げ供試体の圧縮側に用いた場合の曲げ強度はフレンコンクリートとほぼ同程度で増加しない。

② 鋼繊維混入率が1~2%の範囲では、供試体中の鋼繊維量が同じ場合、曲げ供試体の全厚に対し1/3~2/3程度の厚さで供試体の引張縁から圧縮縁方向に連続したSFRC層を設けた方が、全厚をSFRCとするよりも曲げ強度は大きい。

③ フレンコンクリートに対する相対曲げタフネスは、上記の全厚をSFRCとした場合に比較し、主に引張り側を部分的に補強した方が大きい。また、本実験における相対曲げタフネスは最大荷重時のたわみ量とほぼ直線的な関係にある。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱(昭和55年版)
- 2) Reported by ACI Committee 544: Measurement of properties of fiber reinforced concrete, ACI Journal Vol. 75, No. 7, July 1978
- 3) (社) 日本トンネル技術協会：スチールファイバーコンクリートに関する調査研究報告書—SFRCの設計施工指針—昭和55年3月

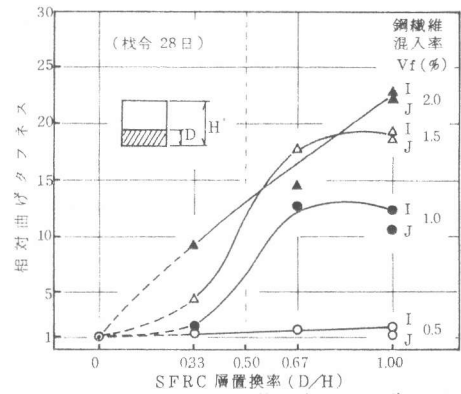


図-8 SFRC層置換率と相対曲げタフネス

表-2 版厚試算結果

鋼繊維混入率 V_f (%)	項目	SFRC層置換率(D/H)			
		0.33	0.50	0.67	1.00
0	設計基準曲げ強度	$\sigma_{bk} = 45 \text{ Kg/cm}^2$			
	版厚	H = 25cm			
	曲げ応力	$\sigma_b = 243 \text{ Kg/cm}^2$			
	σ_t / σ_{bk}	$\sigma_t / \sigma_{bk} = 0.54$			
1.0	曲げ強度比	1.14	1.30	1.41	1.42
	推定曲げ強度(Kg/cm ²)	51.3	58.5	63.5	63.9
	曲げ応力(Kg/cm ²)	27.7	31.6	34.3	34.5
	版厚(cm)	23.0	21.1	20.0	19.9
1.5	曲げ強度比	1.31	1.51	1.67	1.74
	推定曲げ強度(Kg/cm ²)	59.0	68.0	75.2	78.3
	曲げ応力(Kg/cm ²)	31.9	36.7	40.6	42.3
	版厚(cm)	21.0	19.1	17.9	17.4
2.0	曲げ強度比	1.41	1.66	1.89	2.16
	推定曲げ強度(Kg/cm ²)	63.5	74.7	85.1	97.2
	曲げ応力(Kg/cm ²)	34.3	40.3	46.0	52.5
	版厚(cm)	20.0	17.9	16.5	15.1

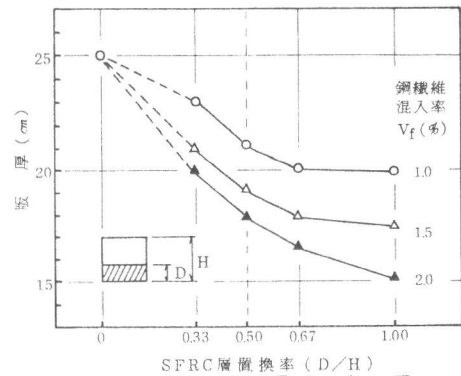


図-9 SFRC層置換率と版厚