

[60] 鋼繊維補強コンクリートの試験舗装

田代恭一 (神戸製鋼所・利材部)

山田 紘 (神戸製鋼所・利材部)

正会員 ○ 堀井 勝 (神戸製鋼所・利材部)

大西三郎 (神戸製鋼所・利材部)

まえがき

近年、鋼繊維補強コンクリート(以下SFRCとよぶ)は力学的特性が飛躍的に改善されることから各方面において活発に研究が行われている。SFRCの特性として、曲げ強度、疲労強度が高いこと、ひびわれ抵抗が大きいこと等が挙げられる。SFRC舗装はこれらの特性を活用した主要な適用分野の1つである。今回、舗装に関する総合的な実用化研究を行うため、昭和54年6~7月、製鉄所内の道路で試験舗装を実施した。

本文は、コンクリートの配合、練混ぜ性能、各種コンクリート強度等についてまとめたものである。

また、施工現場において、SFRCを簡単に製造、供給する新しいシステムを試作したので合せて報告する。

I 試験舗装

1. 概 要

試験区間は延長120m、幅員10mの規模であり、路盤の支持力係数は60Kg/cm²以上、交通量はスラグ運搬車(総重量70ton以上)が170台/日・方向である。舗装区間1200m²は図-1、表-1に示すごとく、鋼繊維混入率、膨張目地間隔、コンクリート種類等を変えて、A~Fの計6種類の区間に分割されている。普通コンクリートを用いたA区間のみ収縮目地が設けられ、鉄網が埋込まれている。

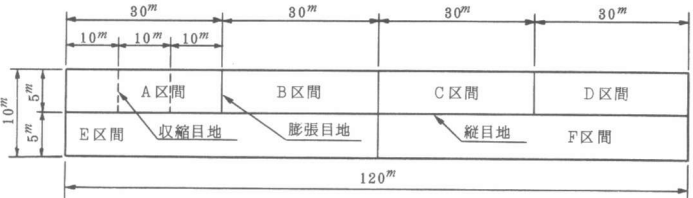


図-1 試験舗装区間図

表-1 舗装の種類

試験舗装区間	舗装の種類	SF混入率(%)	設計基準曲げ強度(kg/cm ²)	舗装版厚(cm)	備 考
A	普通コンクリート	0	55.0	8.0	D区間には水砕スラグ細骨材、F区間には膨張材を使用した。
B	SFRC	1.5	80.0	1.8	
C	SFRC	2.0	90.0	1.5	
D	SFRC	2.0	90.0	1.5	
E	SFRC	2.0	90.0	1.5	
F	SFRC	2.0	90.0	1.5	

2. コンクリートの配合

2.1 使用材料

1) 鋼繊維(以下SFとよぶ)

伸線切断法によるファイバーであり、その寸法は0.5φ×32mmで表面に異形加工がほどこされているのが特徴である。SFの物理的性質は表-2に示す。

2) 骨 材

粗骨材は男鹿産の碎石を使用し、細骨材はD区間のみ水砕スラグ細骨材を用い、その他の区間は瀬戸内産の海砂を使用した。それら骨材の物理的性質を表-2に示す。

表-2 材料の物理的性質

		表乾	吸	単	粗	洗	塩	有機不純物
		比重	水率(%)	重(kg/m ³)	粒率	い損失(%)	分(%)	
細骨材	海砂	2.57	2.05	1,580	2.75	-	0.05	合格
	水砕砂	2.70	1.40	1,550	2.68	3.5	0.00	合格
粗骨材	4.0mm	2.64	0.90	1,681	7.22	-	-	-
	1.5mm	2.62	1.18	1,475	6.42	-	-	-
スチールファイバー	規 格						引張強度(kg/mm ²)	
	JISG8582 SWM						120以上	

3) セメントおよび膨張材

セメントは小野田セメント㈱の普通ポルトランドセメント、膨張材は石灰系のものを使用した。

4) 混 和 剤

夏季施工を考慮して、ポゾリス物産㈱のポゾリスNa8、Na303を使用した。

2.2 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法は普通コンクリートで

40mm, SFRCで15mmとし、配合は試験練りの結果、表-3に示す配合を定めた。

膨張材は単位量を4種類変化させた場合の曲げ強度、乾燥収縮量等を比較してその使用量を決定した。

3. コンクリート試験

3.1 まだ固まらないコンクリート試験
試験項目と試験場所を表-4に、試験方法を以下に示す。

沈下度：土木学会の振動台式コンシステンシー試験方法によって行った。

洗い分析試験：空気量測定後のコンクリートより磁石でSFを採取し、その重量を測定した。

3.2 硬化コンクリート試験

試験項目と供試体寸法を表-5に、試験方法を以下に示す。

タフネス：荷重-中央たわみ曲線は曲げ試験時に変位計とXYレコーダーを用いて求め、荷重が1tonになるまでの横座標と曲線で囲まれる全面積で表わした。

衝撃試験：図-2に示す落錘式衝撃装置を用いて、供試体中央たわみが2mmに達するまでのハンマー落下回数を測定した。

乾燥収縮：JISA1129(コンパレータ法)によって行い、材料は普通コンクリートのみ20mm網でふるった。

4. 施工

4.1 練混ぜ

コンクリートの練混ぜは生コンプラントで行い、ミキサーは1.5m³強制練りを使用した。SFRCの練混ぜは混練中、SFRC上昇によるミ

キサーパンカバー破損のおそれがあるため、1バッチ、0.75m³とした。SFの投入は分散機(振動ふるい型)を設置し、人力で分散機に投入した。コンクリート材料の投入順序は図-3に示す2通りの方法を採用し、投入方法による練混ぜ状態を調べた。

4.2 運搬

コンクリートの運搬は普通コンクリートをアジテーター車で、SFRCはダンプトラックで行い、その積載量はいずれも4.5m³で、平均運搬時間は約20分であった。

4.3 施工

コンクリートの打込みは路盤上にビニールシートを敷き、振動締め機で締め固めを行った。締め固め後の平坦仕上げはフロートを用いて行い、粗面仕上げはホーキを使用して仕上げた。養生について初期は、被膜養生を行い、後期は養生マットで湿潤養生を行った。

5. 試験結果

5.1 練混ぜ

コンクリートの練混ぜ時間を調べた結果は表-6に示すごとく、SFRCは普通コンクリートに比べ練混ぜ量

表-3 コンクリートの示方配合

区間	最大粗骨材寸法(mm)	スランブの範囲(cm)	空気量の範囲(%)	W/C(%)	S/A(%)	単位量(kg/m ³)				SF混入率(%)		混和剤(kg/m ³)		膨張材(kg/m ³)
						W	C	S	G	Na.8	Na.808			
A	40	5±1	4±1	40	34.5	156	390	612	1196	-	1.0	2.3	-	
B	15	5±1	4±1	50	60	200	400	958	650	1.5	1.0	0.4	-	
C	15	5±1	4±1	50	70	219	438	1048	456	2.0	1.1	-	-	
D	15	5±1	5±1	50	70	235	470	1080	426	2.0	1.2	-	-	
E	15	5±1	4±1	50	70	219	438	1048	456	2.0	1.1	-	-	
F	15	5±1	4±1	50	70	219	398	1048	456	2.0	1.0	-	40	

表-4 まだ固まらないコンクリート試験

試験項目	プラント	現場
スランブ試験	○	○
空気量の測定	○	○
単位容積質量の測定	-	○
振動台式コンシステンシー試験	-	○
洗い分析試験	-	○

表-5 硬化コンクリート試験

試験項目	供試体寸法(cm)
圧縮試験	φ15×30
引張試験	φ15×20
曲げ試験	15×15×53
衝撃試験	10×10×40
乾燥収縮	10×10×40

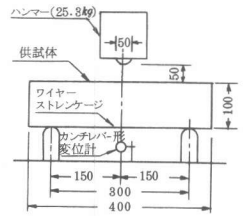


図-2 衝撃試験装置

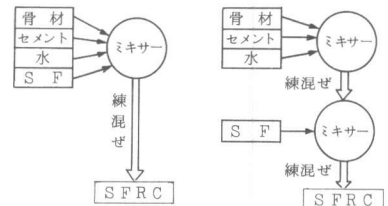


図-3 SFの投入順序

(a)方法 (B,C,D区間で使用)

(b)方法 (E,F区間で使用)

表-6 練混ぜ調査結果

区間	バッチの容量(m ³)	練混ぜ時間(バッチ分)	練混ぜ能力(バッチ/時間)
A	1.5	1.7	52.9
B	0.75	8.4	13.2
C,D	0.75	8.9	11.5
E,F	0.75	4.8	9.4

が1/4～1/5と減少した。SFの投入順序

による練混ぜの相違は図-3(a), (b) いずれの方法でもSFの分散性は良好であり、ファイバーボールも見られなかった。

5.2 まだ固まらないコンクリート

コンクリートの試験結果は表-8に示すように、1)生コンプラントと現場のスランブrossは普通コンクリートで1.4cm, SF FRCで平均1.6cmと大差がない。

2) 生コンプラントと現場の空気量の低下量は普通コンクリートで

1.8%, SF FRCで平均0.4%と少し差があるが、これは運搬車の相違に起因しているかもしれない。

3) 洗い試験結果は目標混入率に対して、最大で10%の増加(E区間)となったが他区間でSFの良好な分散状態が確認された。

5.3 硬化コンクリート

1) SF FRCは普通コンクリートに比べ水セメント比10%の差があるにもかかわらず、圧縮強度は普通コンクリートの0.98～1.07倍、平均1.02倍と同程度の強度が得られた。

2) 材令28日のSF FRC曲げ強度は図-4に示すように、混入率1.5%で普通コンクリートの1.7倍、2.0%で1.7～2.0倍、平均1.9倍であり、すべての区間において設計基準曲げ強度を満足した。

3) SF FRC引張強度(割裂強度)は図-5に示すように混入率1.5%で普通コンクリートの1.4倍、2.0%で1.5～1.7倍、平均1.6倍であった。

4) SF FRCは衝撃強度、タフネスのいずれも普通コンクリートに比較して著しく改善されている。

5) ヤング係数はSF FRCが単位セメント量, 単位水量, 単位細骨材率が高いため普通コンクリートの $31.8 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ に対し, $23 \sim 25.9 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ と低下したと考えられる。ポアソン比は普通コンクリートと同程であった。

6) 材令13週までの乾燥収縮量は図-6に示すごとく, SF FRCは単位水量, 単位セメント量が大きくなるにもかかわらず小さくなっている。これはSFがコンクリートマトリックスを拘束しているためと考えられる。また, 膨張材を添加したF工区のそれは低減効果が大きくなっている。

II SF FRC混練システム(以下システムとよぶ)

SF FRCの製造についてはいくつかの方法が提案されているが, 既存の生コンプラントで製造する場合分散機の設置場所やSF置場の確保が困難であるばかりでなく, SFの投入作業にも多くの労力を要する。しかも(1)練混ぜ量はミキサーの負荷が大きくなるため公称容量の約 $\frac{1}{2}$ に減ずる必要がある, (2)練混ぜ時間もSF投入時間の関係から3～5分を要する, ので製造能力は普通コンクリートの $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$ に低下するという問題点がある。

これらの問題を解決するために, 施工現場でSF FRCを簡単に製造するシステムを試作したので, 概要を述べる。

1. システムの構成

表-8 コンクリートの試験結果

施工区間	まだ固まらないコンクリート					硬化コンクリート										沈下度 (mm)	洗い分析試験 (%)
	プラント		現場			標準養生											
	スランブ (cm)	空気量 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	単重 (kg/m ³)	圧縮 (kg/cm ²)	ヤング係数 ($\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$)	ポアソン比	引張 (kg/cm ²)	曲げ強度 (kg/cm ²)			衝撃強度 (回)	タフネス比			
A	6.5	4.7	5.1	3.4	2.302	845	31.8	0.19	32.1	59.2	63.0	66.0	2	1	13.6	-	
B	6.1	4.8	3.7	4.1	2.310	339	24.9	0.16	46.8	87.5	107.0	118.0	38	98	17.4	1.52	
D	6.3	4.7	4.7	4.8	2.205	347	23.0	0.23	47.1	90.9	120.0	127.0	27	95	7.5	1.97	
E	5.8	4.6	5.4	3.9	2.305	356	23.1	0.18	49.6	115.0	126.0	136.0	68	91	17.5	2.20	
F	6.1	4.5	4.3	3.8	2.310	370	25.9	0.22	53.1	96.0	104.0	107.0	79	81	17.9	1.98	

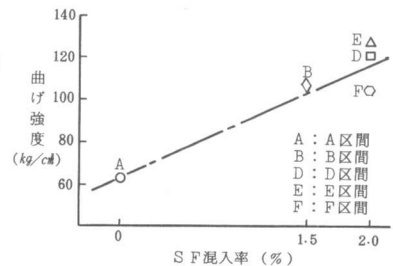


図-4 SF量と曲げ強度

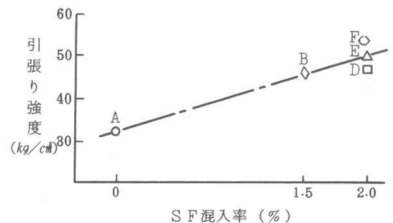


図-5 SF量と引張強度

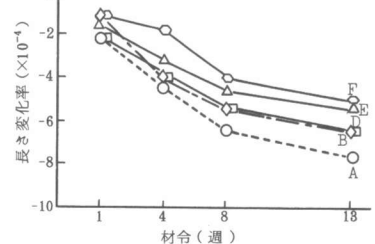


図-6 長さ変化

システムは示方配合からSFを除いたコンクリート（以下BCとよぶ）をシステム内のミキサーへ運搬するバケットローダー①、BCの計量器②、SFを貯蔵するホッパー④、その底部よりSFを切出すディスクローラー型の切出し分散装置⑤、SFの計量器⑥、SFとBCを練混ぜるミキサー⑧およびコンベアー③⑨から構成されている。SF量（X Kg）はバケットローダーに入ったBCの重量（W Kg）、単位容積質量試験（JISA1116）によって測定された（TKg/ℓ）とSF混入率（V_f%）から1式によって求められる。

$$X = \frac{7.85 \cdot V_f \cdot W}{T \cdot (10 - V_f)} \dots\dots\dots 1)$$

シーケンス制御によりSFはホッパーから自動的に切出され、秤量されてコンベアで運ばれてミキサーに入る。ミキサーは練混ぜ性能の高い水平2軸型の強制攪拌式を採用しているため低スランプ、高いSF混入率のコンクリートでも練混ぜが可能である。SFとBCを練混ぜた後、SFRCはコンベアによって排出される。

2. システムの性能

BCの計量精度やSFの切出し精度はレデーミキストコンクリート（JISA5308）に規定されるセメントの計量誤差±1%を満足する他、ミキサー内のSFRCは練混ぜ性能試験（JISA1119）においても良好な結果が得られている。

3. システムと生コンプラントの比較

前述の生コンプラントでの製造能力と比較した結果は表-9に示すとおりである。システムはミキサー容量が小さいが能力的には大差ないので、今後ミキサーの大型化によってさらに能力アップが可能となる。

4. まとめ

システムはBCを生コンプラントより受入れるのでいつでもSFRCの製造ができ、従来の製造に関する問題点を一挙に解決することが可能である。また、フレコンバックの使用によりSF運搬の合理化がはかれるものと思われる。

あとがき

本試験施工は、強固な路盤上を超重車輛が通るという点で一般舗装とは構造的に大きな差があるが供用開始後半年を経過した現在、ひびわれなどの異常はまったく見られない。スラグ運搬車による載荷試験、走行試験なども実施したが、紙面の都合上本文では割愛した。現在も、版の温度特性調査のため各種の追跡調査（版の温度分布、ひずみ、伸縮量、そりなど）を継続中であり機会を改めて発表する予定である。またSFRC混練システムは今後可搬性、製造能力などの向上をはかり、SFRC製造に関する問題点の解決に努めていきたい。

参考文献

- 1) 小林一輔：繊維補強コンクリート，土木施工，Vol. 19 No.4～11，1978
- 2) 河野 清，中原康他：鋼繊維補強コンクリートによる構内試験舗装に関する研究，大阪セメント技報

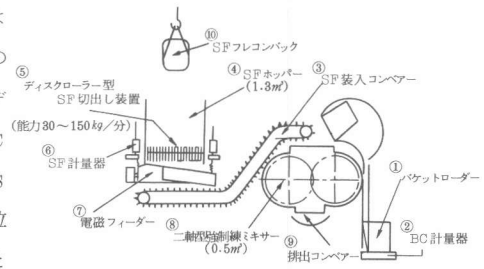


図-7 システムの構成



(全幅2.46m 全長7.3m 全高6.75m)

図-8 システムの外観

表-9 能力比較

	システム	生コンプラント
ミキサー容量 (m ³)	0.5	1.5
練混ぜ量 (m ³)	0.5	0.75
1バッチ時間 (分)	8.5	4.8
製造能力 (m ³ /hr)	8.6	9.4

(SF混入率2%)

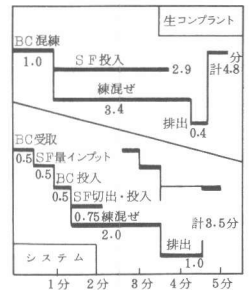


図-9 製造時間の比較