
スチールファイバーコンクリートの特性と適用例

Characteristics and Application of Steel Fiber Reinforced Concrete

石渡 正夫(Masao Ishiwata) 中村 博胤(Hirotane Nakamura)

要旨：

スチールファイバーは小さな断面積（ $0.06\sim 0.3\text{mm}^2$ ）、長さ 20～35mm 程度の針状鋼片であるが、コンクリート中に 1～2vol%（ $80\sim 160\text{kgf/m}^3$ ）混合すると、引張強度、曲げ強度、靱性などにすぐれたスチールファイバーコンクリート(SFRC)となる。SFRC の利用は多方面で研究されており、今後さらに用途が拡大すものと期待されている。本報では、SFRC の一般的性質、製造法、適用性など述べ、さらに当社独自の適用例である橋梁床版補強工事および機械基礎工事について、施工と使用結果の詳細を報告する。

Synopsis：

Steel fiber has needle-like configuration with $0.06\sim 0.3\text{mm}^2$ area and 20～35mm length. Steel fiber reinforced concrete (SFRC) which usually contains 1 to 2% of steel fiber in volume ($80\sim 160\text{kgf/m}^3$), shows much more excellent tensile strength, bending strength and ductility than those of plain concrete. Many studies have been conducted for the application of SFRC, to wider scope of its usages. This report first describes the mechanical properties, manufacturing process and usages of SFRC and then details of our unique application examples to heavy machine foundation and reinforcement of an existent bridge slab.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

スチールファイバーコンクリートの特性と適用例

Characteristics and Application of Steel Fiber Reinforced Concrete

石 渡 正 夫*
Masao Ishiwata

中 村 博 胤**
Hirotane Nakamura

Synopsis:

Steel fiber has needle-like configuration with $0.06 \sim 0.3 \text{ mm}^2$ area and $20 \sim 35 \text{ mm}$ length. Steel fiber reinforced concrete (SFRC) which usually contains 1 to 2% of steel fiber in volume ($80 \sim 160 \text{ kg/m}^3$), shows much more excellent tensile strength, bending strength and ductility than those of plain concrete.

Many studies have been conducted for the application of SFRC, to wider scope of its usages.

This report first describes the mechanical properties, manufacturing process and usages of SFRC and then details of our unique application examples to heavy machine foundation and reinforcement of an existent bridge slab.

1. まえがき

スチールファイバー（以下 SF と記す）は小さな断面積（ $0.06 \sim 0.3 \text{ mm}^2$ ）、長さ $20 \sim 35 \text{ mm}$ 程度の針状鋼片であり、これをコンクリート中に容積比で $1 \sim 2\%$ （ $80 \sim 160 \text{ kg/m}^3$ ）混入したスチールファイバーコンクリート¹⁾（以下 SFRC と記す）は靱性などすぐれた性能をもつ構造材料である。

SFRC は、約 120 年前に発明された鉄筋コンクリート、戦後普及したプレストレスコンクリートにつぐ、第三のコンクリート構造材料として高く評価されている。SFRC の研究は始まってから 10 年足らずであり、その利用法の開発も緒についたところで、今後の飛躍的な発展が期待されている。このため、昭和 53 年 7 月鉄鋼各社共同による鋼材倶楽部 SFRC 調査研究委員会が設けられ、SFRC の利用技術の開発と普及活動が積極的にすすめられている。

当社においては、数年前に薄板切断法によるスチールファイバーの製造法を確立し、製品（製品名ファイバークリート 写真 1 参照）の販売を開

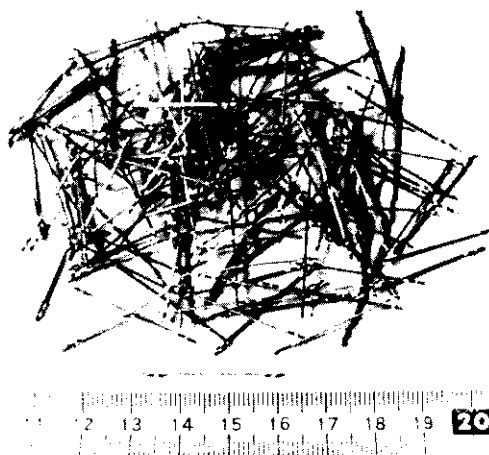


写真 1 スチールファイバー（ファイバークリート）

始しており、また自社工事などにおいて SFRC の特長を活かした利用技術の開発にも努めている。

2. SFRC の性質^{1,2)}

コンクリートは圧縮強度にすぐれ、耐久性を有

* エンジニアリング事業部開発部主査(課長待遇)
〔昭和 55 年 3 月 11 日原稿受付〕

** エンジニアリング事業部プラント技術部主査(課長待遇)

し、しかも経済的な構造材料であるが、引張りに弱く、ひび割れの発生が避けられない欠点をもっている。このため、鉄筋コンクリートが用いられるが、鉄筋の伸びに比してコンクリートの伸び能力が不足し、同様にひび割れが生ずるため、海洋環境などの厳しい条件下では鉄筋の腐食により長年月の耐久性が期待できない。また、収縮、熱、衝撃などによる応力に対しても、複雑なひび割れが生じ、短期間のうちに破損し、補修を繰返し行うようなことが多い。

SFRCは表1に示すように普通コンクリートに比して、大きな伸び能力を有しており、引張強度、曲げ強度、衝撃強度の向上などめざましいものがある。図1はSFRCの引張荷重-変形曲線を示したもので、普通コンクリートが最大荷重時

表1 SFRCと普通コンクリートの性能比較

性 質	普通コンクリート に対する改善率
靱性(破壊に至らしめる仕事量)	20~60倍
引張強度・曲げ強度	1.3~1.8倍
圧縮強度	1.0~1.3倍
衝撃強度	5~10倍

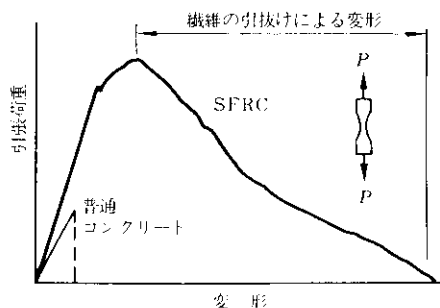


図1 SFRCの引張荷重-変形特性

から脆性的に破壊するのに対し、SFRCは最大荷重に達してからもSFの引抜けによる抵抗が続き、破壊に至るまで極めて大きな仕事量を必要とする。

土木学会「コンクリート標準示方書」や諸外国の規程では、コンクリートのひび割れ幅が鉄筋の

耐久性に有害にならないような考慮のもとに鉄筋の許容引張応力度を定めている。図2はSFRC梁およびRC梁の最大ひび割れ幅に関する実験結果³⁾であるが、鉄筋の許容応力度(SD30で 1800kg/cm^2)の時のSFRCの最大ひび割れ幅はRC梁に比して、60~75%となっている。

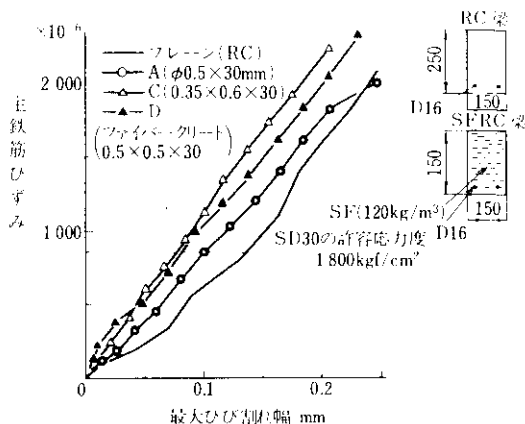


図2 主鉄筋ひずみと最大ひび割れ幅

3. SFの製造

SFの製造方法¹⁾は図3に示すように、(a)鋼線切断 (b)薄板切断 (c)溶鋼抽出 (d)厚板切削の4種類に大別される。

当社のSFは薄板切断法により製造しているが、現状の需要量に対しては、最も経済的な方法と考えられる。この方法は薄板(0.25~0.5mm)を、まずSFの長さに相当する幅(例えば30mm)のスリットコイルに作り、ついでこれを0.5mm程度の送りで連続的に切断する。断面拡大写真を写真2に示す。断面は菱形状で、切断により適度な粗面となっているのでコンクリートとの付着性は良好である。

SFが今後コンクリート補強材料として多用されるためには、製造法の改良によるコストダウンが大きな課題となる。またSFの箱詰にあたって、整列して箱詰することにより、空隙がなくコンパクトとなり、ミキサ投入時の分散性もよいので、今後はこの梱包法によりすべて出荷されることに

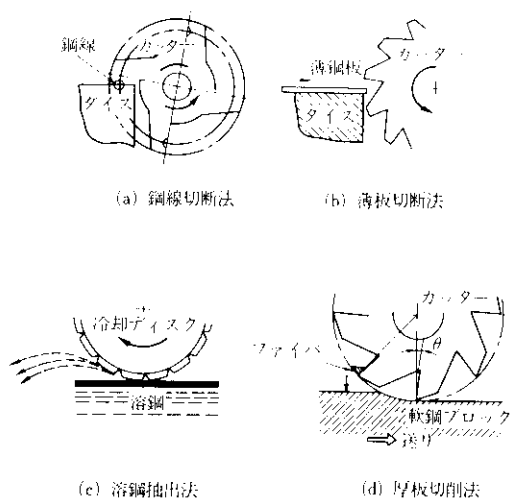


図3 SFの製造方法

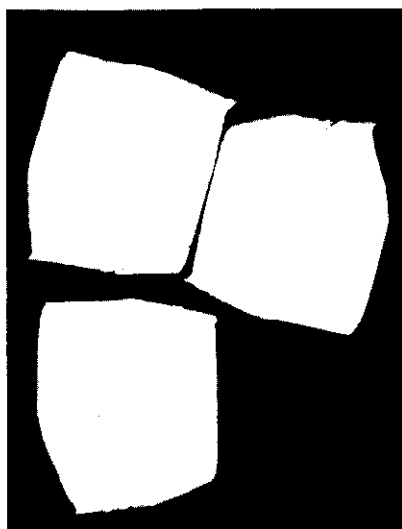


写真2 スチールファイバーの断面

なろう。

住宅外壁などではSFの錆により点状に変色するのを防ぐため、ステンレススチールファイバーが使用される。当社では、この材料もSFと同様に薄板切断法により製造している。

4. SFRCの適用性¹⁾

SFRCはすぐれた特性を有し、コンクリートの欠点を補う構造材料として多くの分野での適用が

期待できる。SFRCの特性と需要分野、そのメリットの関係を表2に示す。以下分野別にSFRCの一般的な適用について述べる。

(1) トンネル

H形鋼支保工により地山の崩壊を防ぐ工法に代って、図4のように地山をロックボルトと薄層のライニングで安定させる工法(NATM工法)が急速に普及する傾向にある。SFRC吹付けライニン

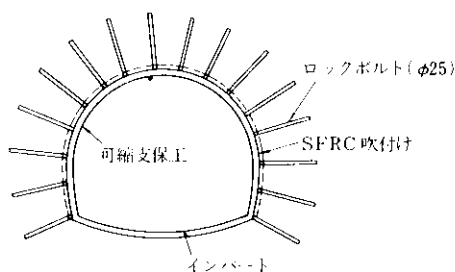


図4 NATM工法によるトンネル断面

グは強度、省力化、急速施工などすべての点ですぐれており、今後多くの需要が期待される。このため、昭和53年よりトンネル技術協会においてSFRCのトンネルライニングのための設計施工指針を作成中であるが、この完成によりSFRCライニングは急速に普及するものと考えられる。

(2) 舗装

雪国の道路、空港舗装、橋面舗装、トンネル舗装、工場内の舗装などは破損しやすく、補修を繰返しているが、SFRCを使用することにより、耐久性が向上し、補修コストが低減することが期待される。SFRCは撓み性があるので、アスファルト舗装上のオーバーレイ(厚さ5cm~10cm)に使用して良好な結果を得ている。

(3) 複合橋梁

メンテナンスフリーの面から鋼橋の使用が制限され、また国鉄では騒音対策の面からコンクリート系の橋が多くなっているが、最近、仙台地震の被害状況から鋼橋が有する大きな利点である軽量、耐震性などが見直されている。SFRCと鋼桁を一体とした複合橋梁は、両者の欠点を補完するものとして、今後の発展が期待される。この複合構造は橋だけでなく、海岸、海上の各種構造物へ

表2 SFRC の特性と需要分野

SFRC の特性	需 要 分 野	メ リ ッ ト
ひび割れ抵抗性	トンネル	急速施工 安全性
靱性（歪エネルギー）	舗装	寿命延長
曲げ、剪断、引張強度	複合構造（橋梁など）	防音 寿命延長
耐衝撃性	ダム	寿命延長
疲労強度	セメント二次製品	軽量化、耐震性 寿命延長
耐摩耗性	建築仕上材・構造物材	同上
耐熱衝撃性	耐火材料	寿命延長

の適用が可能である。

(4) 建築

建築外壁モルタルのひび割れ防止に SF は著しい効果があり、すでに多くの使用例がある。また階段、間仕切壁など薄肉のプレキャスト材としても多くの使用例がある。

(5) ダムその他

ダムの導水路、放水路など土砂流によるすりへりに対して効果がある。また凍結融解の繰返しを受ける冷凍倉庫、高温の繰返しを受ける製鉄所圧延工場機械基礎、石油地下備蓄タンクの漏油防止など多くの用途が期待される。

5. SFRC の適用例

SFRC の特長をいかした当社の代表的な適用例を紹介する。

5・1 橋梁床版の補強⁴⁾

知多2号橋は当社知多製造所内にあり、上部工は耐候性鋼を使用した無塗装橋で、すでに12年経過している。橋の構造は

橋格：一等橋

型式：活荷重合成桁

橋長：57m 支間：27.9m×2Span

幅員：7.0m 全幅員：7.8m

床版：鉄筋コンクリート（厚さ16cm）

である。

従来は60tトレーが最大荷重として供用していたが、総重量103tトレーの走行を可能ならしめ、輸送量アップのため、橋梁の補強法を検討した。

鋼桁は103tトレー1台が橋の中心を走行しても、桁の応力はすべて許容応力度内であった。

一方、鉄筋コンクリート床版は、現荷重で許容応力度に近い値で、荷重の増加により大幅に許容応力度を越えることがわかった。

そこで、現在の鉄筋コンクリート床版上のアスファルトコンクリート舗装（厚さ7cm）を取除き、図5に示すように鉄筋コンクリート床版の上に新たにSFRC（厚さ12cm）を重ねて打設し、一体化させることにより、強度と剛性の向上を図ることにした。

(1) 準備工

アスファルトコンクリート舗装の除去は、ロードヒーターにより軟弱化させ、ロードカッターにより舗装を切削した。在来鉄筋コンクリート床版との付着面は清浄にし、凹凸のある粗面とした。SFRCによる床版は主桁上で大きな引張応力を受けるので、主鉄筋D16-12.5cm、配力鉄筋D13-30cm

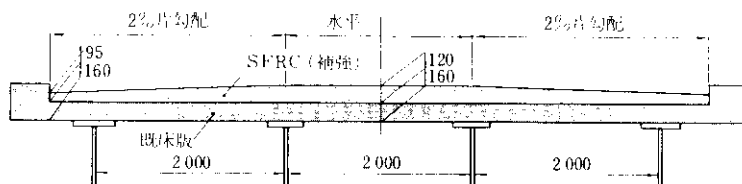


図5 知多2号橋床版の補強

のメッシュ鉄筋を作り、クレーンにより設置した。

(2) SFRCの混合および打設

交通止日数は8日間とし、3日間でSFRCは設計基準強度を得ること、打設はシュートにより行うことにし、スランプ目標値8cmで試験練りを行って配合を決定した。表3に実際に施工したSFRCの配合を示す。SFRCの混合は生コンクリート工場で行い、1バッチ1m³の傾動式ミキサーを用い、SFはディスペンサー(40～60kg/min)を通じて投入した。SFRC施工順序は次のとおりである。

- エアーコンプレッサーによる床版表面の清掃
- メッシュ鉄筋の配置
- 生コン車からSFRCをシュートで打設
- 棒状バイブレーター、タンバー等を用いて締固め
- 真空コンクリート工法により水分除去
- 表面仕上げ

SFRC打設量は50m³で、1日で作業が完了した。施工状況を写真3に示す。ファイバー量の管理は、生コン洗い試験により行ったが、測定値は設計値に対して、3%以内の変動値であり、混合は適正であった。

SFRCの7日強度(現場養生)は圧縮407kg/cm²、曲げ68kg/cm²であった。

(3) 載荷試験

SFRCを重ね補強した床版が、期待されたように新、旧コンクリートが一体化し、許容応力度内

にあり、剛性が向上しているかどうか載荷試験により確認した。載荷重は総重量103tトレーラーと60tトレーラーである。載荷試験の状況を写真4に示す。載荷試験により次のことがわかった。

- 床版補強による主桁の荷重分配率の変化
- 中央載荷時、各桁のひずみおよび撓みの実測値



写真3 SFRCの打設



写真4 載荷試験(荷重130t)

表3 床版補強に用いたSFRCの配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント 比W/C (%)	細骨材率 S/A (%)	ファイバ ー量 (vol%)	単位量(kg/m ³)					
						水W	セメントC	細骨材S	粗骨材G	混和剤 ポリリス No.8	ファイバー
25	8 ± 1	4 + 1	46	60	1.5	200	435	1025	641	1.09	120

より求めた主桁の荷重分配率を表4に示す。2本の外桁の分配率は、補強前に比較して、補強後は、ひずみでは43.5%→45.8%に、撓みでは47.6%→48.4%と向上している。偏心载荷でも荷重が直接载荷しない桁の分配率が向上しており、床版補強による荷重分配効果が明確である。

(b) 床版補強による主桁の剛度向上

表4に示す撓みの逆数より剛度を比較すると、中央载荷で4.9%、偏心载荷で14.2%剛度が増加している。

(c) 橋の安全性

総重量103tトレーラーが橋の中央を通過する場合、中桁(G_2)下フランジの実測応力度は 620kg/cm^2 (ひずみ 295×10^{-6})で10%の衝撃応力を加えても 680kg/cm^2 である。これに死荷重応力 1240kg/cm^2 を加えると 1920kg/cm^2 であり、SMA50の許容応力度 2100kg/cm^2 以内である。床版に対しては、旧床版に60tトレーラーが载荷した時の床版下面(デッキプレート)に生ずる応力度と新床版に103tトレーラーが载荷した時の最大応力度は共に 200kg/cm^2 であり、新床版は103t荷重に対して十分耐えられるものと考えられる。

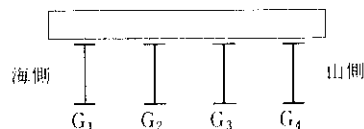
表4 中央载荷時における荷重分配率

(a) ひずみより求めた分配率

ケース		桁名	G_1	G_2	G_3	G_4	G_{2+3}	G_{1+4}	計
ケース2 補強前 60t	実測歪 $\times 10^{-6}$		145	195	195	155	390	300	690
	分配率 %		21.0	28.3	28.3	22.5	56.6	43.5	100
ケース6 補強後 60t	実測歪 $\times 10^{-6}$		150	185	190	165	375	315	690
	分配率 %		21.7	26.8	27.5	23.9	54.3	45.7	100
ケース10 補強後 103t	実測歪 $\times 10^{-6}$		245	295	295	255	590	500	1090
	分配率 %		22.5	27.1	27.1	23.4	54.2	45.9	100

(b) 撓みより求めた分配率

ケース		桁名	G_1	G_2	G_3	G_4	G_{2+3}	G_{1+4}	計
ケース2 補強前 60t	実測撓み mm		9.9	11.3	11.1	10.4	22.4	20.3	42.7
	分配率 %		23.2	26.5	26.0	24.4	52.5	47.6	100
ケース6 補強後 60t	実測撓み mm		9.3	10.4	10.7	10.2	21.1	19.5	40.6
	分配率 %		22.9	25.6	26.4	25.1	52.0	48.0	100
ケース10 補強後 103t	実測撓み mm		15.9	16.7	16.6	15.8	33.3	31.7	65.0
	分配率 %		24.5	25.7	25.5	24.3	51.2	48.8	100



本橋は工事を昭和54年6月下旬に行い、7月始めより供用開始した。すでに供用後8箇月経過しているが、舗装面などは良好な状態である。

5・2 機械基礎への適用⁵⁾

当社千葉製鉄所第3分塊工場の建設に際して、圧延テーブルの基礎コンクリートは鋼塊の重荷重、振動および衝撃、さらに高熱および散水による湿潤、冷却という厳しい条件下にさらされるため、SFRCを使用し耐久性の向上を図ることにした。なお、従来の基礎コンクリートでは2～3年で補修の繰返しが必要とされている。

SFRCを用いた機械基礎の平面および標準横断面図を図6に示す。SFRCは機械の直下で使用した。配合を表5に示す。粗骨材はスラグ碎石を使用し、SFは120kg/m³とした。

施工したSFRCは約88m³で2日間にわたって

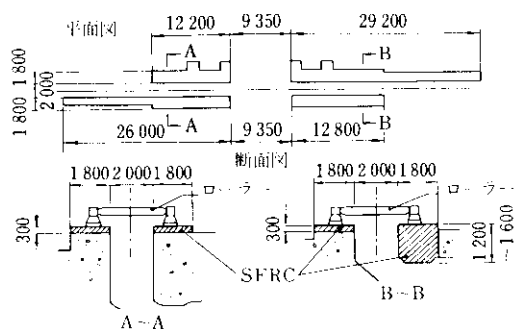


図6 機械(ミルラインテーブル)基礎のSFRC打設概要図

表5 機械基礎に用いたSFRCの配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント 比 W/C (%)	細骨材率 S/A (%)	ファイバー 量 (vol%)	単位量 (kg/m ³)					
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 ポゾリス	ファイバー
10	15 ± 2.5	5 ± 1	55	80	1.5	225	409	1 216	301	1.023	120

参考文献

- 1) 鋼材倶楽部：スチールファイバー，(1977) 7
- 2) 小林：土木施工，繊維補強コンクリート，19 (1978) No.4～No.11
- 3) 穴戸ほか：鋼繊維補強鉄筋コンクリート桁の曲げ性状，土木学会第33回年次学術講演会概要集・第5部，(1978)，47～48
- 4) 石渡，宿口，佐藤ほか：スチールファイバーコンクリートによる知多2号橋床版補強について，第2回コンクリー

行った。スランプは10～16cmでポンプ圧送により運搬し、打設した。平均練りませ量は11m³/h～14m³/hであった。SFRCの28日圧縮強度は設計基準強度(240kg/cm²)を満足し、曲げ強度は60～70kg/cm²であった。

この機械基礎は昭和52年1月より稼動し、すでに3年経過したが、ひび割れ、表面劣化などが全く見られず非常に好結果を得ている。

6. あとがき

以上述べたように、SFRCは新しい構造材料として、広範囲な用途が期待されるが、今後の発展のためには次のような問題点の解決を図らなければならない。

- (1) 製品の強度、形状が一定で低コストのSF製造法の確立を図ること。
- (2) SFRCは施工にあたって、普通コンクリートに比して手作業が多く、手間のかかる例が多い。練りませ、打設にあたって機械化が望まれる。
- (3) トンネル、道路、建築などへの用途拡大を図るためには、設計基準の整備が必要であり、鋼材倶楽部において各社共同でこの作業を現在すすめているが、これに並行して独自の利用技術の開発も推進しなければならない。

おわりに、ファイバークリートの開発にあたり、東京大学生産技術研究所小林一輔教授に種々ご指導いただいたことに深謝の意を表します。

ト工学年次講演会概要集, (1980)

- 5) 松尾, 佐藤, 小林: 鋼繊維補強コンクリートの機械基礎への適用について, 鋼繊維コンクリートに関するシンポジウム報文集, (1977), 160-193