

# 鋼繊維補強コンクリートにおける切削ファイバーの補強効果

Reinforcing Effect of Steel Fiber Produced by Machining in SFRC

中川 威雄\*・小林 一輔\*\*・内田 貴之\*

Takeo NAKAGAWA, Kazusuke KOBAYASHI and Takayuki UCHIDA

## 1. はじめに

鋼繊維補強コンクリート (SFRC) は、従来のコンクリートの脆性を著しく改善する複合材として注目を浴びて以来、実際の施工例も徐々に増えており、その優れた特性が実証され、広範囲にわたる用途が検討されている。<sup>1),2)</sup> 特に我国のように地震国であり、周囲を海に囲まれた山国では、道路・トンネル・耐震構造物・海洋構造物等に有効な利用が期待されている。これまで SFRC の普及の問題点の一つとして、基本素材である鋼繊維が高価であることが指摘されてきたが、これに対しては本所で開発された切削ファイバーがある程度この問題を解決するものと考えられている。<sup>3)-5)</sup>

切削ファイバーは、その強度と形状等から推察して、その強化能が優れていることは従来より予測されていたものの、いまだに系統だった検討結果は報告されていない。最近になって切削ファイバーの製造技術もほぼ確立し、少量であれば切削ファイバーの試作品も供給される段階となった。本報告は、試作切削ファイバーについて、その強化能を現在使用されているせん断ファイバーとの比較において調査したものである。

## 2. 供試ファイバーの製造条件

コンクリート補強用鋼繊維は、これまで図1(a)のように薄鋼板を回転刃でせん断する方法で製造されており、

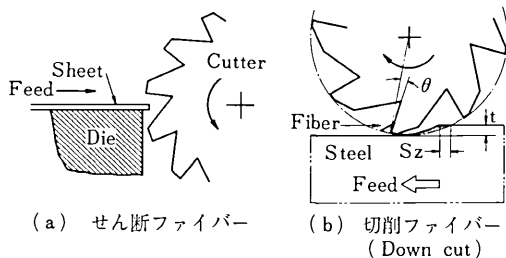


図1 鋼繊維の製造法

\* 東京大学生産技術研究所附属複合材料技術センター, 第2部

\*\* 東京大学生産技術研究所 第5部

この種の鋼繊維をせん断ファイバーと称する。一方切削ファイバーは鋼塊または厚板を図1(b)のようにフライス平刃で切削し、それによって生ずる針状チップをファイバーとする方法である。両者を比較すると、製造コストの面ではせん断法の方が加工度の高い薄鋼板を使うので、その分だけ切削ファイバーよりコスト高とも言われている。またファイバー化する上での製造技術面では、切削法の方が原材料に加える加工度が高い分だけ高度な加工技術を要することになる。

切削ファイバーは切削条件を変化させることにより多様な寸法と形状をもつものを製造することができる。ここでは、広範囲にわたって切削条件を変化させ、量産可能な条件下で最も付着強度が高く、強化能が良好であると予想される切削条件を選んだ。また、できるだけ純粋な形で互いの強化能を比較するため、寸法的には比較に用いたせん断ファイバーと一致させた。また、せん断ファイバーとしては最も標準的な表面に凹凸のないストリートなものを用いた。

表1に両者の供試ファイバーの諸特性を示したが、寸法的なものばかりでなく、ファイバー強度もほぼ一致している。切削ファイバーは軟鋼を原料としているが、加工硬化により 72 kg/mm<sup>2</sup> の引張強度を示す。せん断ファイバーも比較的高強度で、ほぼ同一強度を示すものを選んだ。これらのファイバー特性値は、ファイバー 30 本の平均値であるが、寸法および強度のパラツキは切削ファイバーの方がかなり大きい。これは、切削ファイバー製造に使用した工作機械の不備によるものと思われる。

表1 供試ファイバーの諸特性

	せん断ファイバー	切削ファイバー
平均長さ(mm)	30.1	31.2
一本当りの平均重量(mg)	58.7	56.2
平均断面積(mm <sup>2</sup> )	0.246	0.228
平均引張荷重(kg)	17.6	16.4
平均引張強さ(kg/mm <sup>2</sup> )	71.6	72.1

研究速報

表2 切削ファイバー製造条件

カッター諸元 カッター直径: $D = \phi 250 \text{ mm}$ 刃数: $Z = 18$ ネジレ角: $\alpha = 15^\circ$ スクイ角: $\theta = -15^\circ$ 超硬カッター	
切削条件 回転数: $N = 130 \text{ rpm}$ 切削速度: $V = 102 \text{ m/min}$ 一刃当りの送り: $S_z = 0.85 \text{ mm}$ 切り込み: $t = 0.3 \text{ mm}$ 切削幅: $W = 30 \text{ mm}$ Down-cut milling 乾式切削	
原材料成分 (铸造スラブ)	
C : 0.04 %	P : 0.005 %
Si : 0.04 %	S : 0.006 %
Mn : 0.30 %	

表2に上記切削ファイバーの製造条件を示す。原料は普通に生産されている低炭素鋼と同一成分の鋼塊よりファイバー長さに等しい厚板を切り出したものを使用した。切削は超硬チップを植え込んだ平フライスカッターにより乾式で行っている。

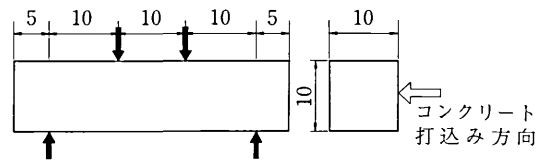
3. 曲げ試験による強化能比較

SFRCにおける鋼繊維の特性比較の方法として種々のものが提示されているが、ここでは基本引張り特性と実用性の点で最も重要と考えられる曲げ試験を採用した。表3に曲げ試験片製作条件をまとめ、図2に曲げ試験条件を示す。鋼繊維混入量は体積比で0, 1.0, 2.0%とし、試験片数は3~4本である。試験ではまず練りませの容易さや作業性について検討したが、両者のファイバーについて差は認められなかった。また、混練時のファイバーの曲がり、切断等も認められなかった。

表3 コンクリートの配合表

	鋼繊維混入率 $V_f$ (%)	細骨材率 $S/a$ (%)	コンクリート 1 m <sup>3</sup> 当り (kg/m <sup>3</sup> )			
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
	0	50	190	380	903	935
	1.0	57	210	420	981	764
	2.0	77	230	460	1260	388

水セメント比:  $W/C = 50\%$   
 粗骨材(砕石)の最大寸法: 15 mm  
 スランプ:  $8 \pm 1 \text{ cm}$



3等分2点曲げ載荷 (試験片寸法 10×10×40 cm)

図2 曲げ試験片と載荷条件

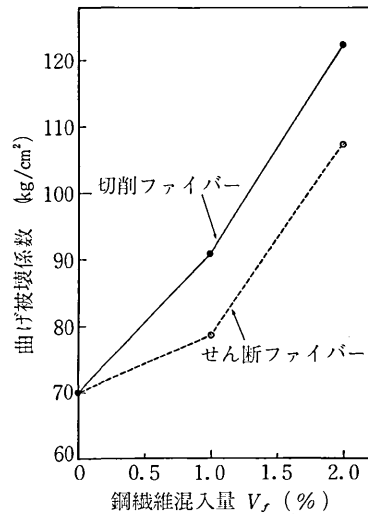


図3 繊維混入量と曲げ強度

図3は曲げ強度とファイバー混入量との関係を示したもので、ファイバー混入量と共に強度は増しているが、使用した2種のファイバー間にかかなりの強化能の差が認められる。1.0%と2.0%の混入量で切削ファイバーを使用した時の強度は、せん断ファイバーの場合のそれに比較して約15%高くなっている。

図4は曲げ試験によって得られる荷重-変形線図を示したものであるが、両者の線図については最大荷重の差を除いては、荷重下降域の特性に関して顕著な差は認められない。また、以上の結果より容易に推測できること

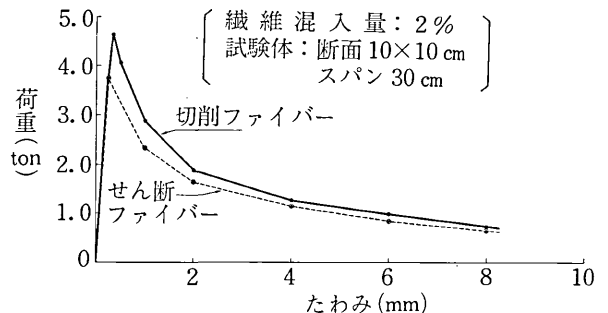


図4 鋼繊維補強コンクリートの曲げ荷重-変形線図

があるが、両者のファイバーのいずれも引抜けによって破壊していることが、破面の観察結果より確かめられた。

#### 4. 考察

##### 4・1 強化能の差について

前述のように、切削ファイバーで補強したコンクリートの強度がせん断ファイバーで補強したものより15%程度高い値を示したが、強化能で比較すると、1.0%の混入量で2.4倍、2.0%で1.4倍であり、その強化能の差としてみた場合極めて大きな差が認められたと言える。

強化能に差を与える因子として、

- ① ファイバーの強度および硬さ
- ② ファイバーの寸法（アスペクト比及び長さ）
- ③ ファイバーの付着性状
- ④ ファイバーの分散

が考えられる。このうち、①、②は前述のように同一条件になるよう準備され、④についても特に差は認められていない。したがって、このような強化能に大きな差が現れた原因としては、③のファイバーの付着性の差によるものと考えられる。

ファイバーとコンクリート間の付着性に関係するファイバー特性としては、物理的要因と化学的要因が考えられる。化学的要因としては、せん断ファイバーに圧延油が多少残存しているのに対し、切削ファイバーではそれが無いことがあげられよう。その他、切削ファイバーの表面には切削熱により薄い酸化皮膜が覆われているが、これらの化学的要因が強化能の差として現れているかは疑問である。

一方、物理的要因としては、表面積と表面凹凸の差が挙げられる。図5は供試ファイバーの断面形状を比較したもので、かなり大きな差が認められる。特に切削ファイバーの自由表面に波状のうねが認められる点に特徴がある。したがって、この断面形状より単純に表面積を試

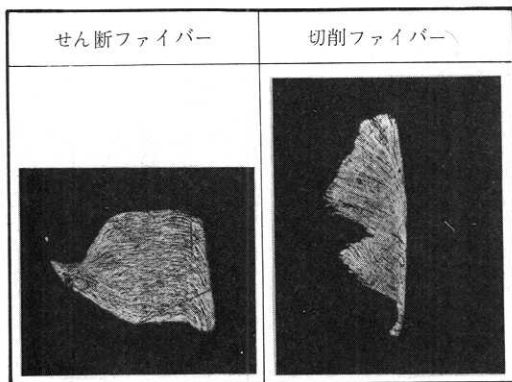


図5 供試ファイバーの断面形状

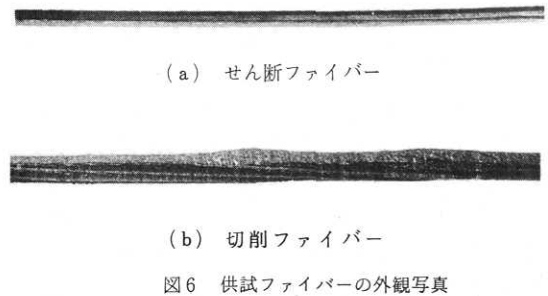


図6 供試ファイバーの外観写真

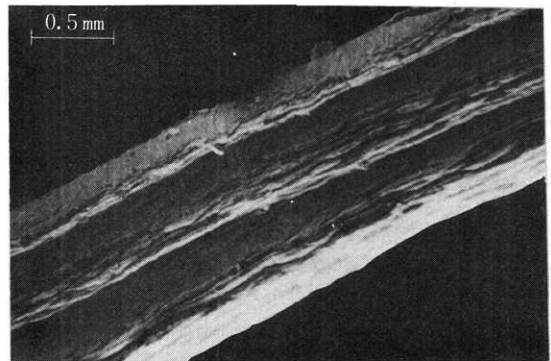


図7 供試切削ファイバーの表面拡大写真

算して比較すると、切削ファイバーはせん断ファイバーの1.3倍の表面積をもつことになる。図6は両ファイバーの外観を比較したものであるが、切削ファイバーについて切削時の自由表面を拡大すると図7のようになり、断面形状に現れる波が長手方向に数条の筋となって走っているのが明瞭に認められる。これらの物理的要因の差は、両ファイバーで認められる諸特性の差のうち最も顕著なものである。おそらくは、この表面積と表面凹凸の差が付着性の差として現れ、強化能に差が生じた主因と考えられる。

##### 4・2 切削ファイバー導入に当たって

新しく開発された切削ファイバーと既存のせん断ファイバーの相互の比較試験により、切削ファイバーの強化能が極めて優れていることが明らかとなった。このように強化能が優れていることは、単にSFRCの強度を上昇させるのみならず、切削ファイバーの出現により、SFRC導入における以下に示すいくつかの問題点を解決する。

前述の試験結果によれば、せん断ファイバーに代って切削ファイバーを用いることにより、同一強度を得るために混入する鋼繊維量をかなり減少させることができる。これまでの実績より、混入繊維量の範囲は1.0~2.0%近辺の例が多い。実験データよりせん断ファイバー1.5%混入のSFRCの強度は切削ファイバー1.0%混入の

研究速報

強度に相当するので、ファイバー量は約3割方節約できる。ファイバー量の節約は、SFRCに占めるファイバー価格の占める割合が高いことからしても、経済性の点でかなり大きな意味をもつ。特に切削ファイバー自体の生産コストはせん断ファイバーに比べて約2割低いとされているので、これに混入量の節約が加わると、切削ファイバーはせん断ファイバーの4~5割安となる。さらにまた、ファイバー量の減少により、セメントの水の使用量が減少し、さらに現有施工設備がそのまま使用できる利点も大きい。

5. おわりに

切削ファイバーの強化能が極めて優れていることが、確認できた。この理由はファイバーの表面形状によるものと考えられ、あわせて鋼繊維の強化能改善の方向も明らかとなった。今後は、この種の切削ファイバーの量産技術の確立も問題であり、今後その方向での努力を続けたい。さらに今回は比較のため、せん断ファイバーの寸法と一致させたが、アスペクト比を含めて切削ファイバ

ー自身に適した最適寸法も考えられよう。

おわりに、試験に用いた切削ファイバーに関して、原材料を提供いただいた新日鉄基礎研究所、および切削ファイバーを試作していただいたアイダエンジニアリング(株)に厚くお礼申し上げます。(1978年3月6日受理)

参考文献

- 1) 小林一輔, 繊維補強コンクリート, コンクリート工学, 13-8, (1975. 8), P. 21
- 2) 小林一輔ほか, 特集繊維補強コンクリート, コンクリート工学, 15-3, (1977. 3)
- 3) T.Nakagawa, K.Suzuki, Production of Steel Fiber by Machining for Reinforced Concrete, 生産研究 28-11, (1976. 11), P. 44
- 4) 中川威雄, コンクリート補強用繊維の種類と製造, コンクリート工学, 15-3, (1977. 3) P. 31
- 5) 中川威雄, コンクリート補強用鋼繊維の製造法について, 生産研究, 30-2, (1978. 2), P. 67

次号予告(6月号)

研究解説

滴状凝縮—実用化への道.....棚 沢 一 郎

研究速報

Studies on Interaction of CO with Zeolites by Calorimetric Measurements(2)  
—Adsorption Properties of CO on Cu(II)-Exchanged Zeolites Y— {三 輪 洋 司  
堤 橋 和 男  
高 橋 浩

鋼繊維補強コンクリートにおける繊維の配向に関する研究 ..... {睦 好 宏 史  
小 林 一 輔  
富 田 田 宏 輔  
高 木 幹 雄

高炉水砕スラグを混和材として用いたコンクリートの中性化に関する一実験 ..... {小 林 一 輔  
伊 藤 本 利 健 治  
魚 本 健 人

散乱ガンマ線スペクトルの挙動 II ..... {齊 藤 秀 雄  
佐 藤 乙 丸  
—多重散乱ガンマ線とその応用—

Al-22 at % Zn 合金の初期時効について ..... {山 西 浩 一  
口 川 精 一

微量熱量測定法によるシリカアルミナ表面のルイス酸性の検討..... {谷 増 人 文  
堤 田 立 男  
高 橋 和 浩

ベイナイト鋼板積層強化による Zn-Al 超塑性簡易打抜き型 ..... {鈴 木 清  
中 大 川 雄  
大 川 威 陽 康