

正会員 ○ 小林一輔 (東大生研)

中川威雄 (東大生研)

1. はしがき

鋼繊維補強コンクリートは普通コンクリートに比べて数々のすぐれた特性を有していることから、トンネルなどの地中構造物や舗装の他、建築や二次製品の分野における適用が有望視されているが、鋼繊維そのものの価格が高いことがその本格的な実用化に対する大きいブレーキになっている。筆者らは鋼繊維のコストダウンを製造方法の合理化を通じて図るべく開発研究を進めた結果、現在市販されている主流の鋼繊維であるせん断ファイバーに比べて1トン当り数万円安く製造できる切削ファイバーの実用化に成功した。本文ではこの切削ファイバーの品質とこれを用いたコンクリートの強度特性について述べることにする。

2. 切削ファイバーの製造方法と品質について

切削ファイバーは原材料に鋼のスラブ(厚板)を用い、図-1のように回転するフライス平刃によって切削を行なって紙面に垂直方向の長さを持つ繊維を得るものであって、切削時に極めて大きい塑性変形が加えられて繊維がつけられることがこの方法の特徴である。即ち、図-1の下部左方における細長いハッチ部分の断面が切削によって塑性変形してその上部の三角形のハッチ部分の断面となるのである。従って普通の軟鋼材を原料として用いても、得られた繊維は加工硬化によって原料の2倍以上の高強度となり、しかも切削加工によって表面に複数の線条が形成されるので(写真-1~2)表面積が増加し(同一断面積で円形のものと比較すると周長は約2倍になる)、この結果コンクリートとの付着強度が改善されて鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度を増大させる。また切削熱によって表面が多少焼けて青味がかった酸化皮膜が覆われるが、これは繊維の防錆の役割を果たす。

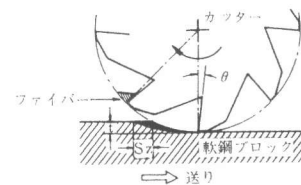


図-1 切削ファイバーの製造方法

一方、写真-2の断面形状より明らかなようにこの繊維は扁平な断面をしており、しかも硬度が高いので相互にからみ合ってファイバボールを形成する恐れがない。従って、施工時にディスペンサーを必要としない。製造コストはせん断ファイバーが薄板を使用するのに対して、切削ファイバーでは薄板の約半値でしかもこれに加工する一歩手前の材料であるスラブを利用するので、原材料で1トン当り約4万円の差を生ずることになる。原料より繊維に加工する手間は両者ともにほとんど相違がないと考えられるので、コストダウンが可能になるのである。

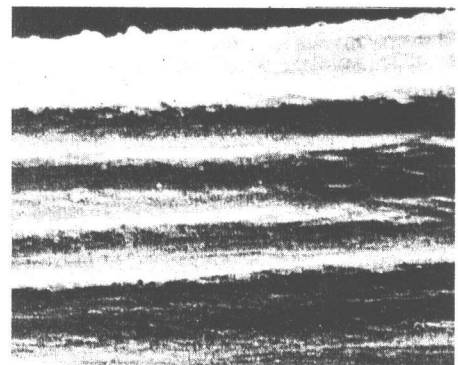


写真-1 切削ファイバーの表面拡大写真

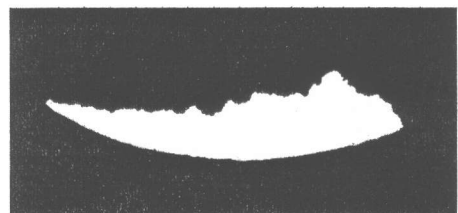


写真-2 切削ファイバーの断面形状

3. 実験の概要

上記のような切削ファイバーを用いたコンクリートの強度特性を明らかにするための実験を行なった。使用した切削ファイバーは、1本当りの平均重量： $7.8.9 \text{ mm}^2$ 、平均長さ： $3.1.4 \text{ mm}$ 、平均断面積： $0.3.1.8 \text{ mm}^2$ 、平均引張強さ： $6.6.7 \text{ Kg/mm}^2$ のものであり、また比較検討のためのせん断ファイバーは1本当りの平均重量： $53.6 \text{ mm}^2$ 、長さ： $30 \text{ mm}$ 、平均断面積： $0.257 \text{ mm}^2$ 、平均引張強さ： $5.3.6 \text{ Kg/mm}^2$ のものである。コンクリートはすべて粗骨材の最大寸法が $15 \text{ mm}$ でスランプが $7.5 \pm 1 \text{ cm}$ のものを用いた。供試体は材令28日まで $20^\circ \text{C}$ の水中養生を行なったのち、所定の試験を実施した。なお、セメン

トは普通ポルトランドセメントを使用した。

#### 4. 曲げ強度ならびにタフネス

曲げ強度試験は  $10 \times 10 \times 40$  cm の梁を用い、3等分点2点載荷（スパン：30 cm）によって行なった。なお、載荷方向はコンクリートの打込み方向と一致させた。

図-2は曲げ強度に関する実験結果を水セメント比別に示したものである。この図から明らかのように、切削ファイバーを用いた場合その曲げ強度は同一繊維混入率のせん断ファイバーを用いた場合に比べて高い値を示す。この原因は前述のように両者の付着特性の差によるものと考えられる。

図-3(a)は図-2の実験のさいに求めた曲げ荷重-たわみ曲線を示したものである。この図より、切削ファイバーを用いた場合には曲げ強度は改善されるが、タフネスはやや劣ることがわかる。その原因は製造時の著しい塑性変形による加工硬化のためにファイバーが折損しやすい状態となっており、その影響が上記曲線の下降域に集中して生じたためと考えられる。図-3(b)はこれを改善するために切削条件を変えて製造した切削ファイバーによる実験結果である。

この切削ファイバーは、1本当りの平均重量：99 mm<sup>g</sup>、平均長さ：32.5 mm、平均断面積：

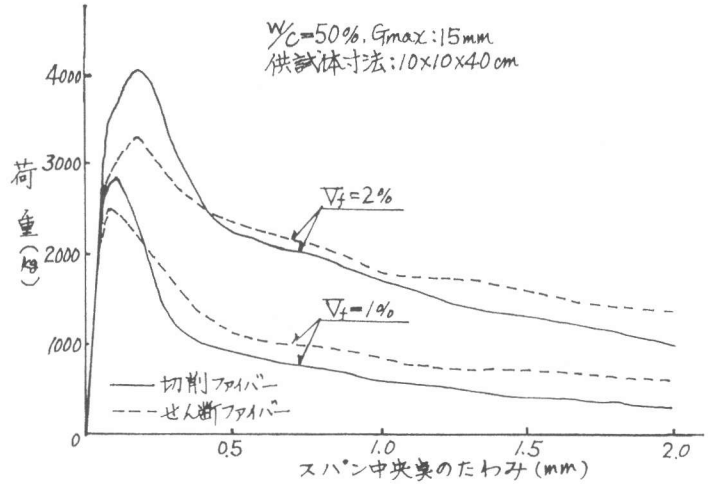


図-3(a) 曲げ荷重-たわみ曲線の1例(試作品)

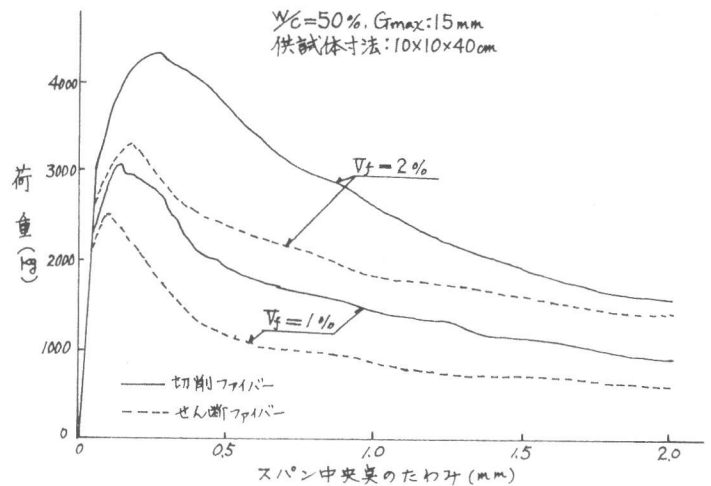


図-3(b) 曲げ荷重-たわみ曲線の1例(改良品)

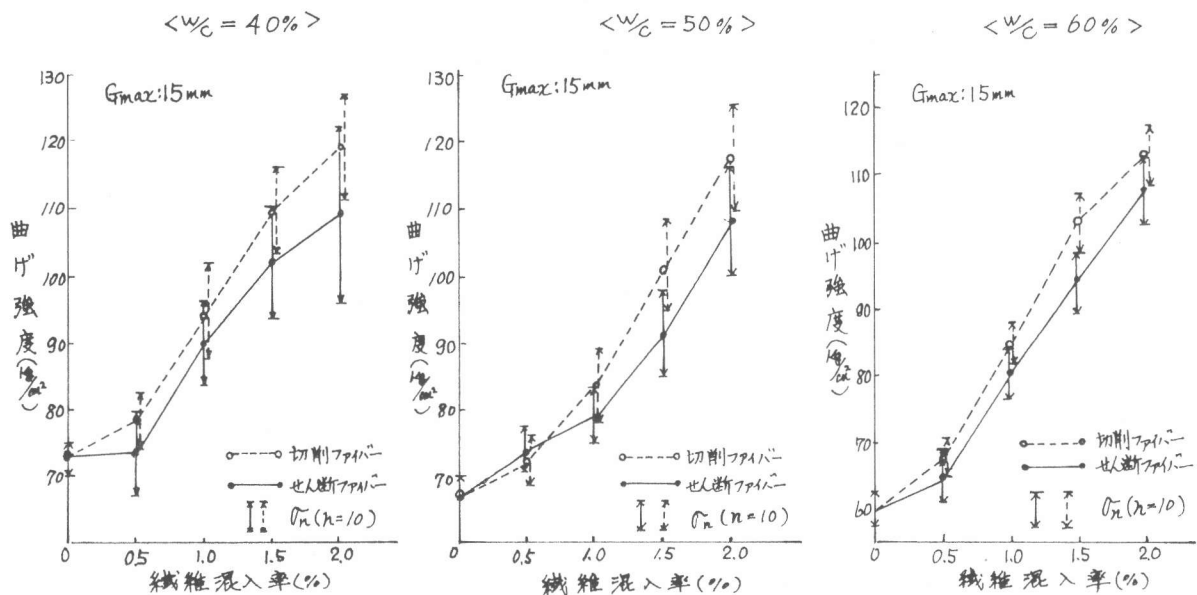
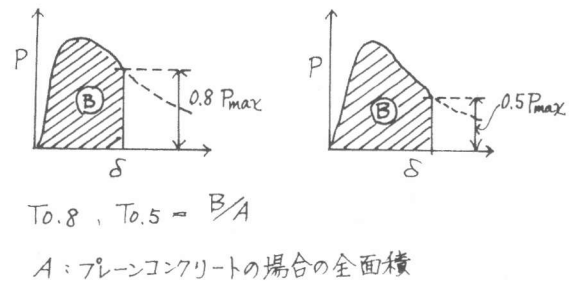


図-2 曲げ強度と繊維混入率との関係

0.386 m<sup>2</sup>、平均引張強さ：105.2 Kg/m<sup>2</sup>であって、その脆性も大巾に改善されている。図-3 (b)は改良された切削ファイバーがコンクリートの曲げ特性を大巾に改善したことを示しているが、この結果が繊維の脆性改善に密接に関連していることは次の試験結果より明らかである。即ち、繊維の脆性を表す1つの方法として、直径dの丸棒に沿って繊維を巻きつけ、折目を生じた丸棒の直径を以って脆性の目安とする試験を行った。この結果、図-3 (a)の実験に用いた繊維は30本中27本がφ25 mm以上の丸棒で折損したが、図-3 (b)の実験に用いた繊維では30本中21本がφ4 mm以下の直径の丸棒で折損し、繊維の脆性が著しく改良されたことがわかる。表-1は繊維の脆性が改良されたことによって、繊維補強コンクリートのタフネスが著しく改良されたことを定量的に表わしたものである。

表-1 タフネスの実験結果

種別	繊維混入率(%)	曲げ強度 (Kg/cm <sup>2</sup> )	タフネス指数	
			T <sub>0.8</sub> *	T <sub>0.5</sub> **
切削ファイバー (試作品)	1	83.3	8.8	12.2
	2	117.8	19.5	41.5
切削ファイバー (改良品)	1	91.1	16.3	37.5
	2	130.4	42.2	82.6
せん断ファイバー	1	74.7	9.3	15.9
	2	98.4	19.1	62.5



5. 引張強度及びひびわれ拘束性能

引張強度は直接引張試験方法によって求めた。即ち中央部の断面が10×6 cmで4 cmの長さの平行部を有する供試体を、モルタルブリケット試験と同様な機構で引張载荷するような治具を介して試験を行った。载荷は変位制御型の材料試験機(島津オートグラフ、容量10 ton)を用い、クロスヘッドの速度を毎分0.3 mmとして行った。一方、ひびわれ拘束性能は鉄筋の両引試験を応用した独自の方法で試験した。この試験はひびわれ発生に対する抵抗度とひびわれの拡大に対する抵抗度の両方を1つの試験によって定量的に評価できるもので、前者をひびわれ荷重比とエネルギー比、後者をひびわれ拘束比と同一ひびわれ巾時の荷重比によって表わすものである。

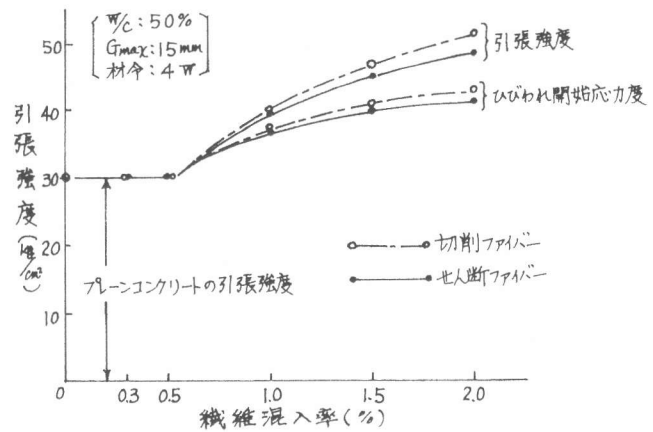


図-4 直接引張強度と繊維混入率

図-4は引張強度試験結果を、図-5はひびわれ拘束性能試験結果を示したものであるが、これらの図より、切削ファイバーを用いた場合の結果はせん断フ

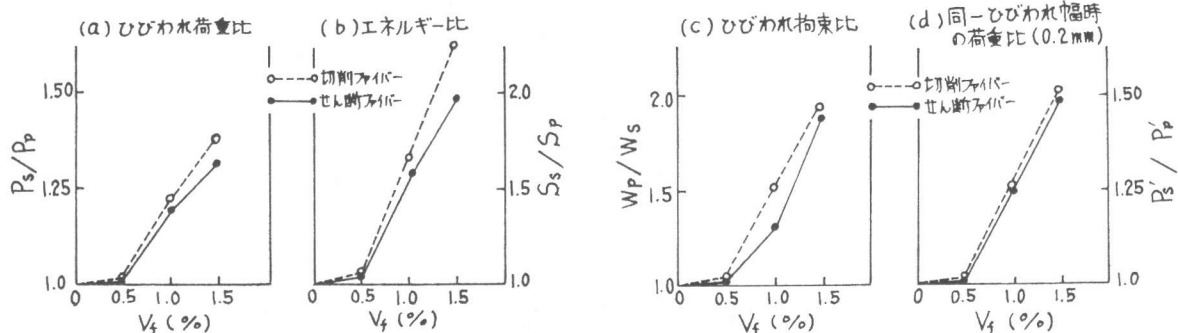


図-5 ひびわれ拘束性能と繊維混入率

イバーを用いた場合と大差のないことがわかる。

#### 6. せん断強度及び圧縮強度

せん断強度は直接二面せん断試験によって求めた。供試体は  $10 \times 10 \times 40$  cm の角柱体を用いた。また、圧縮強度試験は  $\phi 15 \times 30$  cm の円柱体を用い、JIS A1108 に準じて行なった。

図-6及び図-7はそれぞれせん断強度ならびに圧縮強度試験結果を示したものであるが、切削ファイバーを用いた場合の結果はいずれもせん断ファイバーを用いた場合と大差がないことを示している。

#### 7. 切削ファイバーの品質とその評価

以上の実験結果を通じて言えることは、切削ファイバーを用いたコンクリートの力学的諸性状がせん断ファイバーを用いたものと大差がなく、曲げ特性に関してはむしろすぐれていることである。切削ファイバーにはその他繊維相互のからみ合いを生じないので繊維分散機を必要としないこと、酸化皮膜の形成によって発錆しにくいこと、価格が安いこと、など幾多のメリットがあるので今後の発展が期待される。なお、上記のようなすぐれた性能は本文の写真-2及び写真-3に示すような断面外観を有し、本文に記載されたような諸元を有する切削ファイバーを用いた場合にのみ得られることを強調しておきたい。

#### 8. あとがき

本実験の遂行に当っては東大生産技術研究所の下記の諸君の協力を得た。ここに記して謝意を表わす次第である。

魚本健人、趙力采、西村次男、岡村雄樹、峰松敏和(以上第5部 小林研究室関係)、内田貴之(第2部 中川研究室)、

なお、本実験に用いた切削ファイバーはアイダエンジニアリングにおいて製造したものである。

#### 参考文献

- 1) 中川威雄：コンクリート補強用鋼繊維の種類と製造、コンクリート工学、15-3(1977)
- 2) T.Nakagawa, T.Uchida, K.Suzuki and Y.Tezuka : New-Manufacturing Process of Steel Fiber Reinforced Concrete, Proc. of the 1978 Int. Conference on Composite Materials [ICCM/II] p.p. 189-208 (1978)
- 3) 中川威雄：新しいコンクリート補強用鋼繊維“切削ファイバー”、鉄鋼界、昭和53年8月号
- 4) 中川威雄・小林一輔：繊維補強コンクリート用スチールファイバー、塑性と加工、19-213(1978)
- 5) 小林・岡村・梅山：鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度試験方法に関する実験的研究、生産研究、31-2(1979)
- 6) 趙・森谷・小林：鋼繊維補強コンクリートのひびわれ拘束性能の試験方法、生産研究、30-4(1978)
- 7) 趙・小林：鋼繊維補強コンクリートのひびわれ拘束性能、生産研究、30-5(1978)

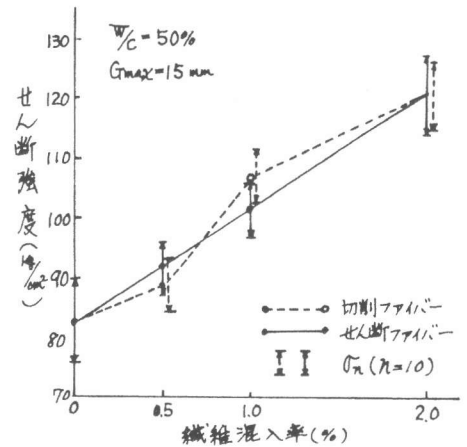


図-6 せん断強度と繊維混入率との関係

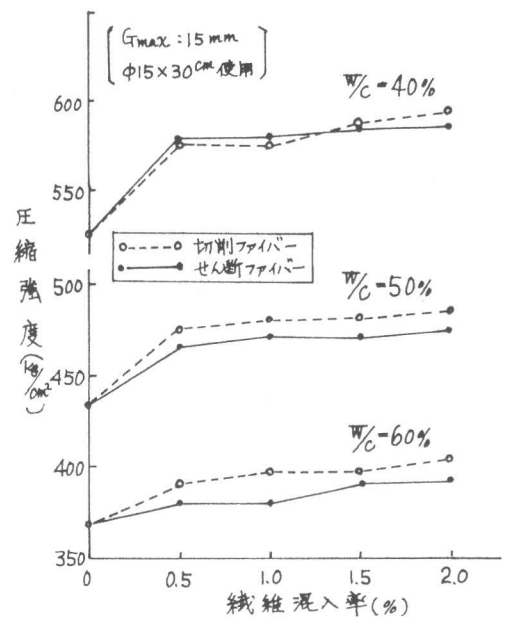


図-7 圧縮強度と繊維混入率との関係