

モルタル補強用鋼繊維の開発とその強化特性

Newly Developed Steel Fiber for the Reinforcement of Mortar and its Reinforcing Effect

柳 沢 章*・中 川 威 雄**

Akira YANAGISAWA and Takeo NAKAGAWA

1. ま え が き

びびり振動切削法を利用した金属短繊維の製造法¹⁾が開発されて以来、数多くの材種の短繊維が試作され、それぞれの金属短繊維の特徴を生かした、複合材料用繊維としての用途が開発、研究されてきた^{2),3)}。びびり振動切削法による金属短繊維の製造法は、直径10 μ mのオーダーの非常に細い繊維が金属素材から、直接、切削により製造可能な事を大きな特徴とするが、理論的には、任意の直径、長さの金属短繊維の製造が可能である。

一方、金属短繊維の主要な応用分野の1つに、鋼繊維補強コンクリート(SFRC)があり、脆性材料であるコンクリート、モルタルの欠陥を著しく改善し、高強度と共に靱性を持った新しい複合材料として、道路、トンネル等の土木分野、間仕切壁、左官モルタル等の建築分野で優れた特性を発揮している。SFRCの使用はコンクリート構造体の薄肉化による省資源と共に、省力、安全性、耐久性などによる利益も大きい⁴⁾。

現在行われているSFRC用鋼繊維の製造方法には薄鋼板をせん断した“せん断ファイバー”、鋼線を切断した“カットワイヤ”とがあり、また著者の一人が先に開発したフライス切削法による“切削ファイバー”もその補強効果と作業性が評価されてすでに実用段階に入っている⁵⁾。これらの鋼繊維の寸法範囲は、直径0.3~0.6mm、長さは25~60mmである。

これら従来の製造方法に対し、SFRC用の鋼繊維をびびり振動切削法で製造する場合、(1)製造装置として、最も一般的な工作機械である旋盤を用いる事、(2)素材として鋼塊を用いるフライス切削法に次いで安価な丸棒を用いる事、(3)高価な工具を必要としない事、等を考慮すると、モルタル用途として、SFRC用鋼繊維と比較して、より安価な鋼繊維が供給できる可能性がある。また、この製造法における鋼繊維の性状は前記の切削フ

ァイバーと類似しており、切削ファイバー同様、相当大的な補強性能を持つ事が予想される。現段階でのびびり振動切削法による試作鋼繊維は、その繊維寸法からモルタル補強用に適していると考えられる。本文は、この新しいびびり振動切削法によるモルタル補強用鋼繊維の試作結果と、その補強用鋼繊維としての適性、および、主として曲げ試験による補強効果の評価の実験結果について述べる。

2. びびり振動切削法によるモルタル用鋼繊維の製造方法

びびり振動切削法による金属短繊維の製造は、通常、有害であると考えられている旋削中のびびり振動現象を逆に利用するもので、図1に示すように、丸棒材の旋削加工において、刃先が弾性的に変位する弾性切削工具を用いて切屑の分断を行い、切削工具の振動数に応じた本数の繊維の生成を行うものである。生成される繊維の長さは工具切込み量と一致し、断面積は切削速度、工具送り量、工具の固有振動数で定まる。また、繊維の生成が定期的に行われるためには、これら諸量の間に適当な繊維生成域が存在する事が確かめられている¹⁾。

モルタル用鋼繊維の試作は、普通旋盤を用い、弾性切削工具として図2に示す形状のものを用い⁶⁾、刃先に超硬チップ(材種K10)を取付けて切削を行った。また被削材(繊維素材)として、イオウ快削鋼(SUM22)を用

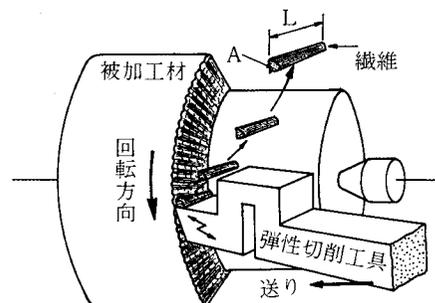


図1 びびり振動切削法による鋼繊維製造法

*東京大学生産技術研究所 第2部

**東京大学生産技術研究所 複合材料技術センター, 第2部

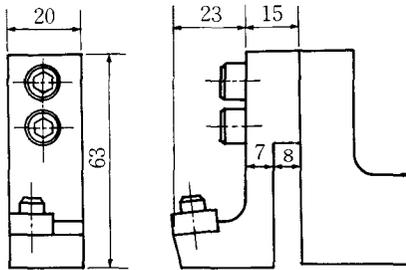


図2 弾性切削工具

いた。試作に用いた弾性工具は、びびり振動切削法のための弾性工具として設計されたもので、鋼、青銅、アルミ合金等種々の材質の金属短繊維の製造に用いられ、換算直径 10 μ m 程度までの非常に細い繊維の製造が可能であるが、モルタル補強用鋼繊維としては、この工具において生成可能な最大寸法の繊維の製造が必要であると考えられる。本実験においては切削速度 230m/min、工具送り量 6.4 μ m/rev の乾式切削で換算直径 0.11mm の鋼繊維を試作した。表 1 に本実験で試作した鋼繊維の諸元を示す。また、図 3 に鋼繊維の外観、図 4 に断面形状、図 5 に表面性状を示す。本切削法による鋼繊維は、切削時に切刃のすくい面上をすべるすくい面、その反対面の自由表面、工具の弾性により繊維が母材から分断される時に生ずる分離面、の 3 つの表面から構成されており、自由表面と分離面には微細な凹凸が数多く存在し、また、その断面形状から同一断面積を持つ既存の鋼繊維よりも表面積が大きいと思われるので、セメントマトリックスとの付着力、モルタル破断時の繊維引き抜け抵抗が大きい事が予想され、それだけ大きな強化能を持つと思われる。

3. 曲げ試験による強化能評価実験

3-1. 実験方法

びびり振動切削法による鋼繊維は、その性状が切削フレイバーに類似し、また、その寸法からモルタル補強用として適すると予想されるものの、従来の SFRC 用鋼繊維に比較して、その直径が非常に小さいため、補強用鋼繊維としての実際の適性、作業性、強化能は未知である。本実験では、試作鋼繊維により鋼繊維補強モルタル試料を作成し、主として曲げ強度試験により強化能評価を行い、あわせて、混練時の繊維折れ、フレッシュモルタルの流動性の検討を行った。

表 2 に実験に用いたモルタルの配合を示す。使用セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は比重 2.56、粗粒率 2.57 の川砂を使用した。練り混ぜ方法は、あらかじめ練り鉢で細骨材とセメントを良く混ぜたものに鋼

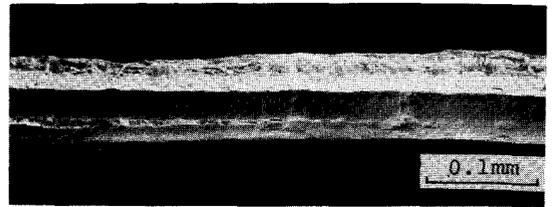


図3 試作鋼繊維外観

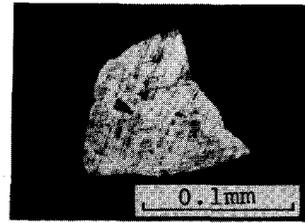


図4 繊維断面

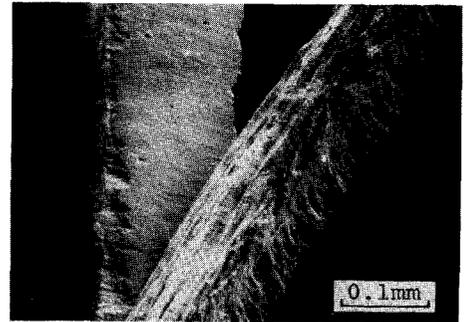


図5 表面拡大写真

表 1 試作鋼繊維諸元

	Fiber A	Fiber B	Fiber C
平均長さ : l (mm)	6.7	8.9	10.1
換算直径 : d (mm)	0.11		
アスペクト比 : l/d	59	78	90
引張り強さ (kg/mm ²)	65		

表 2 モルタル配合

水セメント比 セメント砂比		単 位 量 (kg/m ³)		
w/c (%)	c/s (%)	水	セメント	細骨材
60	50	353	589	1177

繊維を散布し、良く分散させた後に水を加え 3 分間練り混ぜた。鋼繊維混入量が増加するとモルタルの流動性が急激に低下し、混練が困難となる。本実験においては混和剤は使用せず、混練可能な限度まで繊維混入量を増加させた。供試体寸法および曲げ載荷法を図 6 に示す。供試体作製には振動台を用いて、振動数 2850rpm、振幅 0.4 mm で 20 秒間締固めを行った。供試体は打込み 24 時間湿空養生の後脱型し、材令 7 日まで標準水中養生を行っ

研究速報

後、曲げ試験を行った。試験機は島津オートグラフ(DS S-10T)を用い、荷重速度を0.5mm/minとした。また、混練時の繊維の破断、折れ曲がり、分散性を調べるために、フレッシュモルタルの洗い試験を行った。

3-2 実験結果および考察

試作鋼繊維がモルタルの流動性に与える影響を調べるためにフロー試験(JIS R5201)を行った。図7に試験結果を示す。Fiber Aで3.5vol.%, Fiber Bで2.5vol.%, Fiber Cで2.0vol.%まで混入可能であり、それ以上の繊維混入率となると、流動性の低下と共にファイバボールを生じ、混練不可能となる。本製造法による鋼繊維は、その生成過程から考えてかなりの加工硬化を受けていると思われ、事実、引張強度は母材の1.5倍以上となるが、延性は多少低下する事が予想される。また、本繊維は従来の鋼繊維と比較してかなり細いために、切欠き等の影響を受け易いともいえる。これらの点から、混練時の繊維折れのために補強用鋼繊維としての適性を欠く

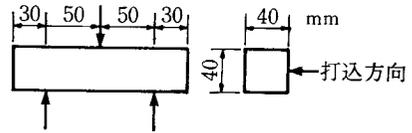


図6 供試体および曲げ載荷法

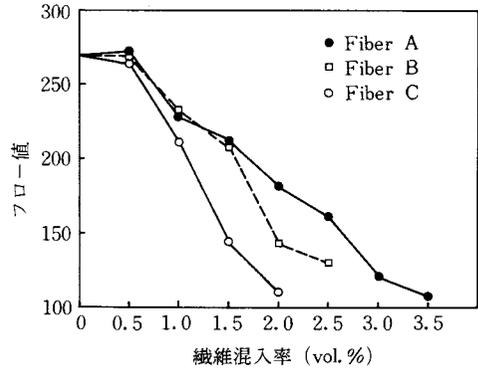


図7 フロー試験

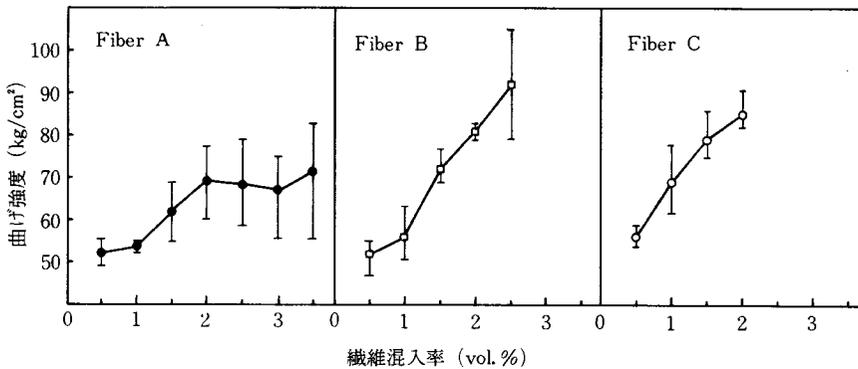


図8 曲げ試験

事が懸念されたが、混練後の繊維混入モルタルの洗い試験を行い、鋼繊維のみを取り出して観察したところ、繊維の破断、折れ曲がりは認められなかった。また、本鋼繊維が特にファイバボールを生じ易い傾向を持つ事もなかった。したがって、本試作鋼繊維がモルタルの混練性に与える影響は、従来の鋼繊維と比較してそれ程差がないと思われ、モルタル補強用鋼繊維として十分に使用に耐える事が判明した。

図8に曲げ試験結果を示す。曲げ強度は繊維混入量の増加と共に上昇するが、その増加率はアスペクト比の大きな繊維ほど大きくなっている。図9に補強モルタルのプレーンモルタルに対する曲げ強度比を示す。アスペクト比78のFiber Bにおいて、繊維混入率2.5vol.%で強度比1.94、アスペクト比90のFiber Cは繊維混入率2.0vol.%で強度比1.81を示している。曲げ強度に関しては、ほぼこの程度の値が本試作鋼繊維の強化能であると考え

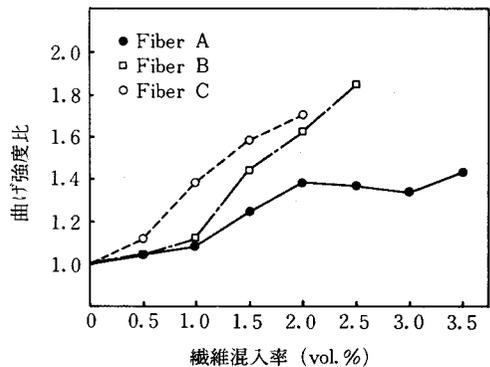


図9 曲げ強度比

られる。図10にFiber Bの曲げ試験における荷重-たわみ曲線の1例を、また、この曲げ試験において、モルタル供試体のスパン中央のたわみ量が1mmになるまで変形するときの吸収エネルギーと、プレーンモルタルの

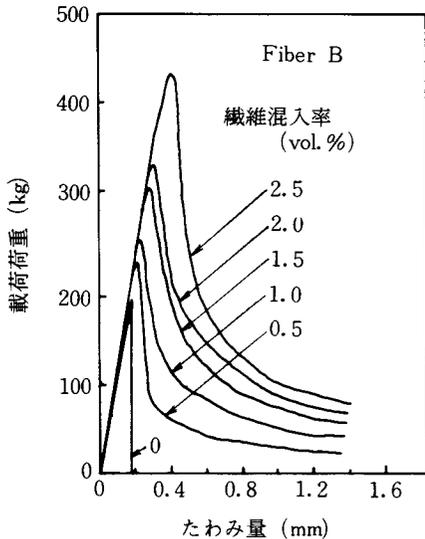


図10 荷重-たわみ曲線

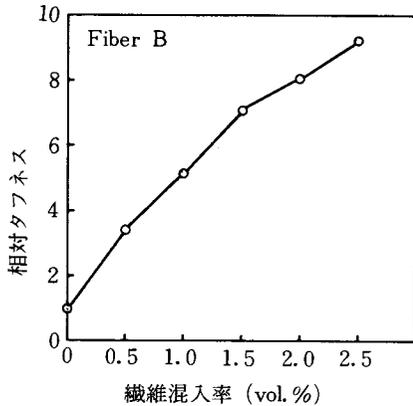


図11 相対タフネス

破断までの吸収エネルギーとの比を相対タフネスとして図11に示した。鋼繊維補強コンクリート、モルタルの最大の特長ともいえる靱性は、曲げ破断時の繊維の引き抜け抵抗によるもので、靱性を増すためには、繊維破断が生じないとすれば、長い繊維程効果があると思われる。本切削法における、現段階までの試作鋼繊維は換算直径でたかだか0.11mmの極細鋼繊維であり、アスペクト比、混練性、ファイバール等の制約から、本実験におけるFiber Cの10mm程度が長さの限界であると思われる。タフネスの値はその定義に種々の方法があり、確定した評価、比較方法がないとはいえ、通常のSFRCの相対タフネスが30~200であるのに比較して、本試作鋼繊維の相対タフネスが10以下であるのは、非常に低い値であると言える。したがって、タフネスの向上のためには、本切削法において、より太く、長い繊維の製造条件の確

立が必要である。一方、本繊維をモルタル補強用として用いる場合には、モルタルが構造体として用いられる事は少ないと考えられるので、それ程大きなタフネスは必要ないと思われる。モルタル補強用鋼繊維に要求される機能は主として、ひび割れ拘束性であると思われる。ひび割れに対する抵抗性は引張強度と密接な関係にあるので、本試作鋼繊維が、曲げ強度1.8~1.9の値を示した事は、モルタル補強用鋼繊維として、有効なひび割れ拘束性を持つ可能性を示している。また、いずれの繊維においても、モルタル試験片の破断は鋼繊維の引き抜けによって生じており、本試作繊維のような極細鋼繊維においても、曲げ破壊時の繊維の破断は生じない事が確認された。

4. む す び

ひびり振動切削法により試作した鋼繊維をモルタル補強用として用いる実験において、換算直径0.11mmという極細の鋼繊維が、補強用鋼繊維としての基本的条件を満足している事、従来の鋼繊維とはほぼ同程度の強化能を持つ事、が確認された。本切削法によって能率良く製造される極細鋼繊維が、モルタル補強用として実用に耐える事が確認された事によって、その寸法、表面性状をより生かすような用途の開発への道が開かれたと考えられる。一方、本切削法による鋼繊維特有の繊維表面の微細な凹凸が強化能の増加にさらに有効に作用するように、また、靱性をより要求されるような用途のために、適切な繊維寸法の検討と共に、切削条件、工具の改良が必要であると思われる。

おわりに、本研究に対し貴重なご教示をいただいた東京大学生産技術研究所、小林一輔教授に厚くお礼申し上げます。
(1981年3月12日受理)

参 考 文 献

- 1) 中川, 鈴木, 小山: 昭和55年度精機学会春季大会学術講演会論文集, (1980), P. 679~681
- 2) 中川, 鈴木, 小山: 昭和55年度粉体粉末冶金協会春季大会, (1980), P. 26~27
- 3) T. Nakagawa, H. Koyama, K. Suzuki and I. Matsu-moto: Proceedings of the Korea-Japan Conference on Manufacturing Processes of Plastics, (1980), P. 31~36
- 4) スチールファイバー調査研究委員会編, 小林一輔監修: スチールファイバーコンクリートの手引, (1980)
- 5) T. Nakagawa, T. Uchida, K. Suzuki: International Journal of Machine Tool Design and Research, (1980), Vol. 20, P. 251~264
- 6) 中川, 鈴木, 小山: 昭和55年度精機学会秋季大会学術講演会論文集, (1980), P. 909~911