

# フック付きファイバーを用いた鋼繊維補強 コンクリートの曲げおよびせん断性状

Flexural and Shear Behaviors of Steel Fiber Reinforced Concrete Employing Hooked Fiber

趙 力采\*・小林 一輔\*・西村 次男\*

Ryokche CHO, Kazusuke KOBAYASHI and Tugio NISHIMURA

## 1. はし が き

鋼繊維補強コンクリートの特性はプレーンコンクリートに比し、ひびわれ荷重が著しく増大するのみならずひびわれが発生しても容易に耐力の低下が生じないことにある。この特性が用いる鋼繊維のマトリックスとの附着性状によって著しく左右されることは前報<sup>1)</sup>において指摘した通りである。

本研究では、カットワイヤーの両端にフック状の加工を施したフックドファイバーの補強効果を検討し、2・3の知見を得たので報告する。

## 2. 実験の概要

用いた鋼繊維は写真-1(a)、(b)および(c)にその外観を示したようなフックドファイバー3種ならびに比較対象のために異形カットワイヤー1種とストレートのカットワイヤー2種の計6種であり、それらの形状寸法は表-1に示すようである。



なお、フックドファイバーは写真-1からもわかるように、10本が水溶性接着剤によって接合され、一束となっている。したがって、練り混ぜは一般のカットワイヤーあるいはせん断ファイバーとは異なり、繊維の分散投入機を必要としない反面、繊維が一本ずつ分離しかつ十

分に分散させることを要するために、本実験では練り混ぜ時間をせん断ファイバーの場合の2倍以上とした。

鋼繊維補強コンクリートは、水セメント比が50%で粗骨材最大寸法が15mmのコンクリートマトリックスに表-1の鋼繊維をそれぞれ容積百分率で1.0、1.5および2.0%混入して製造した。供試体は、鋼繊維の長さが40mm程度までの場合に用いられる10×10×40cmの角柱体とした。なお、繊維長さが60mmの場合、供試体の長手方向への配向度が大きくなることが考えられるが、同一断面寸法における補強効果を比較するために前述の断面寸法と同様とした。

一方、鋼繊維の補強効果は繊維混入率が1.0%にお

表-1 鋼繊維の形状特性

| 繊維の種類     | 直径 (mm) | 長さ (mm) | 形状特性  |
|-----------|---------|---------|---|
| フックドファイバー | 0.40    | 30      |  直径に拘らず図のようなフックを有する(両端部)<br>滑らかな表面 |
|           | 0.40    | 40      |   |
|           | 0.60    | 60      |   |
| 異形カットワイヤー | 0.50    | 30      |  2mm 2mm 2mm 間隔にインデント加工のデフォーメーション  |
| カットワイヤー   | 0.50    | 40      | 滑らかな表面  |
|           | 0.50    | 30      |   |

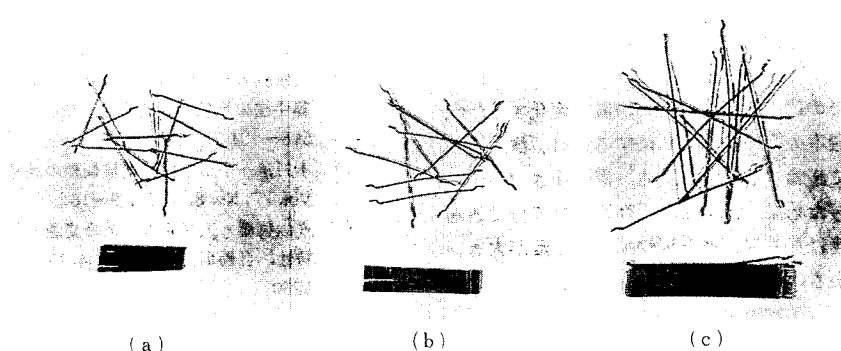
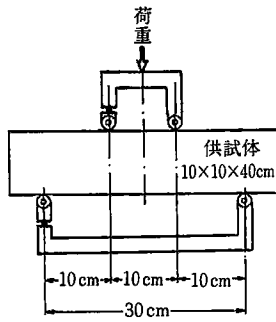
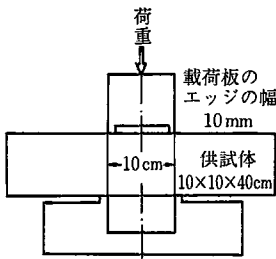


写真-1 フックドファイバーの外観

\*東京大学生産技術研究所 第5部



(a) 曲げ試験方法



(b) 直接二面せん断試験方法

図-1 曲げおよびせん断試験方法

る、曲げ荷重-たわみ性状とせん断荷重-変形状ならびに曲げ強度とせん断強度によって評価することにした。曲げ載荷試験は材令2週で3等分点2点載荷(スパン:30cm)により行い(図-1(a)参照),せん断試験は直接二面せん断試験方法により行った(図-1(b)参照)。

### 3. 荷重-変形特性

図-2(a)はいずれも繊維長さが30mmのフックドファイバー, 異形カットワイヤーおよびストレートのカットワイヤーを用いた鋼繊維補強コンクリートの曲げ荷重-たわみ曲線を示したものである。

この図から明らかなのは、フックドファイバーの曲げ荷重-たわみ性状がストレートのカットワイヤーのものと相当に異なることである。すなわち、後者ではたわみが0.2mm前後で最大耐力に達するが前者ではこのたわみ量に達したのちも耐力が増大し、たわみが0.7mm前後に達した時に最大耐力を示し、それ以降の耐力の低下も緩やかであるのでタフネスは著しく大きくなる。また、表-1に示すようなインデント加工を施した異形カットワイヤーを用いた場合にはこれらの中間の性状を示す。

一方、現在市販されている鋼繊維の主流であるせん断ファイバーを用いた場合の曲げ荷重-たわみ性状は図-

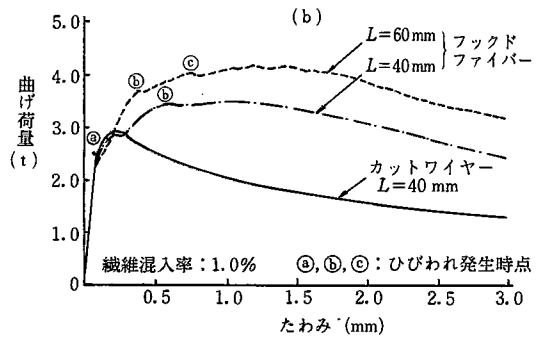
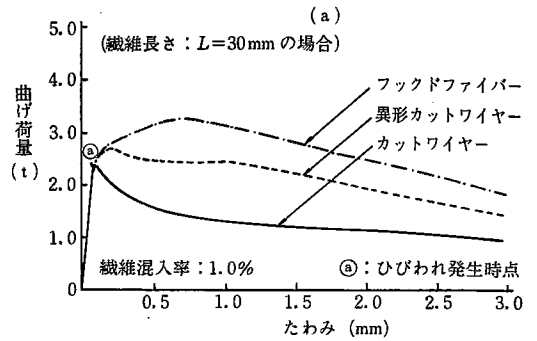


図-2 曲げ荷重-たわみ曲線

2(a)における異形カットワイヤーとストレートのカットワイヤーの曲げ荷重-たわみ曲線の間での挙動を確認している。

さて、前述のフックドファイバーを用いた場合に認められる傾向、すなわち極めて大きいたわみ量時に最大荷重に達し、最大荷重以降の耐力の低下が小さいという傾向は、図-2(b)からも明らかのように繊維長さが長い場合ほど著しくなる。ただし、繊維長さが60mmの場合の結果については供試体寸法との関係で、鋼繊維の供試体の長手方向への配向度が大きくなっていることが予想されるので、配向度を考慮してより大きい断面寸法の供試体を用いて試験した場合に比べて見掛け上大きい値を示していると考えられる。さらに、図中の①、②および③はひびわれ発生時点を示したものであるが、長さが40mm以上のフックドファイバーを用いた場合は複数のひびわれが生じ、そのいずれかが進展して破壊に至ることがわかる。このことはフックドファイバーの引張力の伝達能力、すなわちマトリックスからの引き抜き抵抗が極めて大きいことを示すものである。

図-2においてたわみ量が2mmに達するまでの曲げ荷重-たわみ曲線と横軸(たわみ軸)とによって囲まれた面積によって求めた曲げタフネスを示したものが表-2である。なお、ここでは普通コンクリートの曲げタフ

研究速報

表-2 曲げタフネス

| 繊維の長さ<br>(mm) | 曲げタフネス    |           |         |
|---------------|-----------|-----------|---------|
|               | フックドファイバー | 異形カットワイヤー | カットワイヤー |
| 60            | 111.0     | —         | —       |
| 40            | 92.1      | —         | 60.9    |
| 30            | 80.5      | 67.8      | 51.7    |

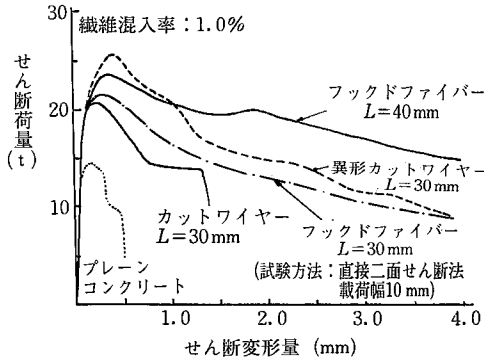


図-3 せん断荷重-変形曲線

ネスに対する比である相対タフネスによって表示してある。この表より、フックドファイバーの曲げタフネスは同一繊維長さのストレートのカットワイヤーあるいは異形カットワイヤーに比して大きく、繊維長さ30mmの場合、ストレートのカットワイヤーの1.56、異形カットワイヤーの1.20倍に達することがわかる。

一方、図-3は魚本<sup>2)</sup>らによって提案された直接二面せん断試験法によって求めたせん断荷重-変形曲線を示したものである。この図から明らかなように、ストレートのカットワイヤーを用いた場合、その荷重-変形状は最大荷重に達したのち、徐々に耐力が低下し、ある変形量で急激にせん断耐力が低下するのに対して、フックドファイバーの場合には異形カットワイヤーの場合と同様に、急激なせん断耐力の低下はほとんど生じない。このことはフックドファイバーが優れたせん断補強効果を有することを示している。

4. 強度特性

図-4はフックドファイバーを用いた鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度と繊維混入率との関係を異形カットワイヤーおよびストレートのカットワイヤーを用いた場合と比較して示したものである。

図より、フックドファイバーは繊維長さが長いものほど優れた補強効果を示すことが明らかである。一方、同一繊維長さで比較した場合、繊維混入率が1.0%のフックドファイバーの補強効果は異形カットワイヤーを約1.6

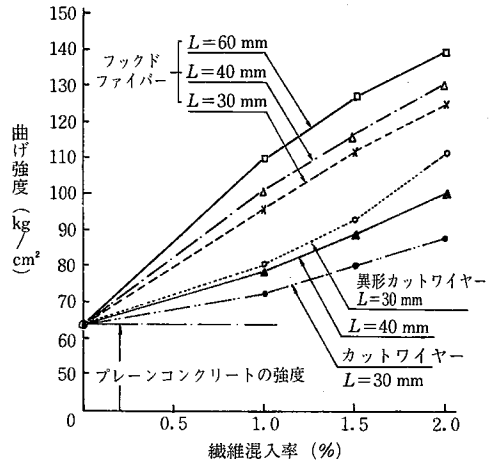


図-4 曲げ強度と繊維混入率との関係

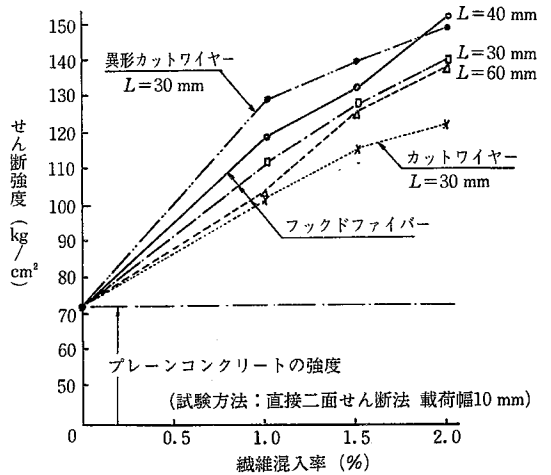


図-5 せん断強度と繊維混入率との関係

程度用いた場合に匹敵することがわかる。このことはフックドファイバーが異形カットワイヤーに比して、所要の強度の鋼繊維補強コンクリートを得るのに経済的な面で極めて有利な鋼繊維であることを示すものと考えられる。

一方、図-5は同様にフックドファイバーと異形カットワイヤーを用いた場合のせん断強度と繊維混入率との関係を示したものである。この場合、曲げ強度試験結果とは異なりいずれのフックドファイバーも異形カットワイヤーよりややせん断補強効果は低くなるようである。

この理由としては、1) 鋼繊維の硬さ、2) 鋼繊維とマトリックスコンクリートの付着性状、3) せん断破壊機構などの要因が考えられる。1) については、鋼繊維の硬さが大きいものほどせん断補強効果が大きくなるが、マイクロビッカース硬度計による硬度( $H_V$ )を測定した結果によれば、異形カットワイヤーは  $H_V=295$ 、フック

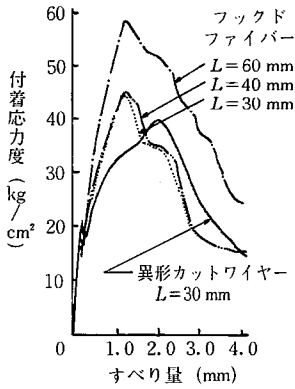


図-6 鋼繊維の付着応力度-すべり曲線

ドファイバーは  $H_v=325$  であり、せん断強度間の差を説明できるような差は生じていない。また2)については、図-6に示す同一繊維長さ(15mm)を埋め込んだ場合の付着試験による付着応力度-すべり曲線から明らかのように、これらを用いた鋼繊維補強コンクリートの曲げに対する補強効果とは関連づけることができるが、せん断強度の差は説明できないようである。以上の点を考慮するとフックドファイバーのせん断強度特性は鋼繊維の形状特性の差によるせん断破壊機構の相違に基づく

ものと考えられるが、詳細については今後の検討にゆずることとする。なお、繊維長さが60mmのフックドファイバーが低い補強効果となった理由は、主としてファイバーの均一な分散が確保できなかったことによると思われる。

5. む す び

以上、フックドファイバーは現状実用化されている各種の鋼繊維の中では最も優れた補強効果を有することが明らかとなった。問題点としてはマトリックスコンクリート中への均一な分散を確保することがやや困難であることがあげられるが、この点も配合条件を検討すれば解決できるものと考えられる。

終わりに、本研究に対して鋼繊維試料を提供して頂いた神戸製鋼(株)に謝意を表します。

(1981年2月26日受理)

参 考 文 献

- 1) 趙, 小林, 西村, 鋼繊維の付着特性と鋼繊維補強コンクリートの曲げ性状との関係, 生産研究, 33.1(1981)
- 2) 魚本, 峰松, コンクリートのせん断強度試験方法, コンクリート工学(論文), 81.4(1981.4)

