

# ポリエチレン繊維を用いた繊維補強コンクリートの曲げ特性

Flexural Characteristics of Polyethylen Fiber Reinforced Concrete

小林 一輔\*・趙 力采\*・西村 次男\*

Kazusuke KOBAYASHI, Ryokche CHO and Tsugio NISHIMURA

## 1. はし が き

コンクリート中に短繊維をランダム配向状態で分散させたものがいわゆる、繊維補強コンクリートであるが、これに用いられる繊維材料としてはスチール、耐アルカリガラス及び合成樹脂などがある。前2者を用いた複合体の曲げ挙動に関してはすでにある程度明らかにされているが、合成樹脂系の短繊維を混入した繊維補強コンクリートに関しては、この種の繊維の開発が遅れたために、曲げ特性に限らずその複合材料としての特性がほとんど明らかにされていない。本文は最近国内で開発された高密度ポリエチレン繊維を混入した繊維補強コンクリートの曲げ特性とこれに影響を及ぼす諸要因を明らかにしたものである。

## 2 高密度ポリエチレン繊維

使用した高密度ポリエチレン繊維は三井石油化学工業(株)の開発によるもので、その諸元は表-1の通りである。この繊維には軸線に沿って一定間隔ごとに枝状の突起があり、コンクリートマトリックスとの付着を確保する役割を果たしている(写真-1)。

## 3. 実験の概要

曲げ強度試験のための供試体としては10×10×40cmの梁を用い、3等分点2点载荷(スパン:30cm)で曲げ試験を行った。繊維混入率( $V_f$ )は2, 3及び4%の

表-1 ポリエチレン繊維の諸元

比 重	0.96
長 さ	40 mm
換 算 径	0.9 mm
重 量	25 mmg
引 張 強 度	20 kg/mm <sup>2</sup>
ヤ ン グ 率	500 kg/mm <sup>2</sup>

3種類とし、コンクリートの配合は水セメント比50%、細骨材率77%、単位セメント量476 kg/m<sup>3</sup>、のものを用いた。セメントは早強ポルトランドセメント、細骨材はFM:3.00の川砂、粗骨材は最大寸法15mmとした。なお、比較検討のために鋼繊維(せん断品、0.3×0.7×30mm)を用いたコンクリートについても実験を行った。供試体は成形後20℃の水中養生を行い、材令2週で載荷試験を行った。載荷試験には変位制御型の材料試験機(島津オートグラフ、DSS-10T)を用いた。

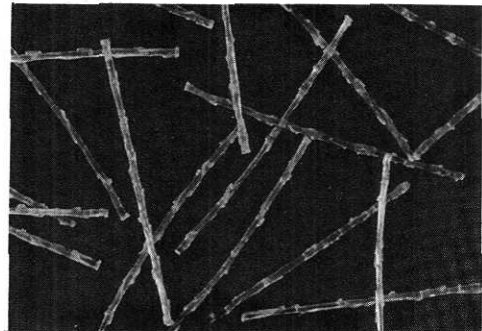


写真-1 ポリエチレン繊維の概観

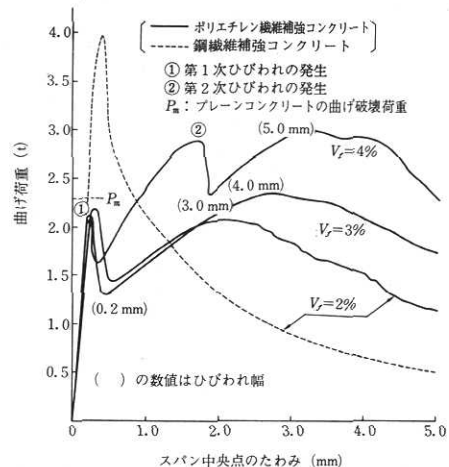


図-1 ポリエチレン繊維を用いた繊維補強コンクリートの曲げ挙動と繊維混入率の関係

ークロスヘッド速度: 1 mm/min の場合—

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

研究速報

4. ポリエチレン繊維補強コンクリートの曲げ特性

4.1 ポリエチレン繊維補強コンクリートの曲げ荷重-変形特性

図-1はポリエチレン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ように、ポリエチレン繊維を用いたコンクリートの曲げ荷重-変形特性は現在主流となっている鋼繊維補強コンクリートの場合(図中の点線)とは相当に異なっている。

すなわち、ひびわれ発生荷重まではほぼ弾性的に挙動し、ひびわれ発生と同時にその耐力は一たん低下するが、変形の進行に伴って再び耐力が増加しはじめ、最大値に達したのちはゆるやかに減少して破断に至る。以上のような荷重-変形特性は次のように説明すれば理解できるであろう。ここで、ポリエチレン繊維補強コンクリートの曲げ荷重-変形曲線を図-2のように表わし、これを破壊過程に基づいていくつかの領域に分割し、耐力機構を考えることにする。

まず荷重-変形曲線の全過程をひびわれを発生するまでの弾性領域である領域(I)とその後破壊に至るまでの領域(II)に大別する。

領域(I)ではコンクリート部分のみが荷重を負担し、繊維は特殊な外力が作用する場合を除いてほとんどこれに寄与していないと考えられる。これはポリエチレン繊維のヤング率がコンクリートに比べて相当に小さいため、ひびわれ抑制に関してはむしろマイナスに働くためである。このことは図-1においてひびわれ荷重  $P_{cr}$  が繊維混入率を増しても普通コンクリートの破壊荷重である  $P_m$  と大差のない値にとどまっていることから認められる。従って、この領域の曲げ挙動、とくに  $P_{cr}$  の値の改善はコンクリートの品質によって左右されることになる。

領域(II)では繊維のみが引張応力を受けており、

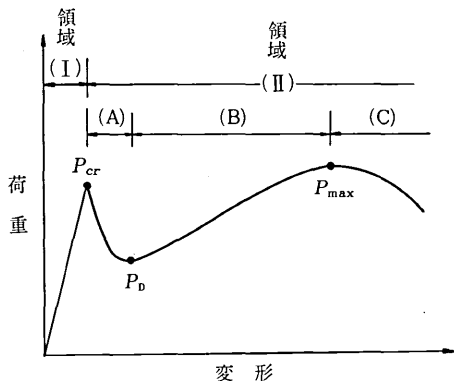


図-2 ポリエチレン繊維補強コンクリートの曲げ荷重-変形特性

わば鉄筋コンクリートと同様な機構で荷重を負担していることになる。この領域はさらに、コンクリートから繊維に荷重が移行される領域(A)、繊維が全引張力を受けて耐力を増大させる領域(B)及び繊維の局部的破断もしくは引抜けにより耐力が減じて破断に至る領域(C)に分けられる。領域(A)においてはひびわれの発生にとともに、コンクリートが受けていた引張力が繊維に移行する領域であるが、ひびわれ発生直前まで繊維はほとんど応力を分担しておらず、しかもヤング率が相当に小さいためにひびわれが発生しても直ちにコンクリートが受けていた全引張力を受持つことが出来ない。従って、一たん耐力は低下することになる。この低下の大きさ ( $P_{cr}-P_0$ ) は繊維混入率、載荷速度、コンクリートの強度によって左右される。領域(B)は繊維が全引張力を受け、変形の進行とともに繊維が伸長して耐力を回復し、繊維混入率の値如何によってはひびわれ荷重をこえる最大耐力 ( $P_{max}$ ) にまで到達する過程であって、従来の繊維補強コンクリートでは得られなかった大変すぐれた靱性を発揮する区間である。領域(C)は繊維が少しずつ破断もしくは引抜けを生じて漸次耐力を失ない破断に至る領域である。

以上より明らかなように領域(II)における曲げ挙動はポリエチレン繊維の粘弾性材料としての力学的特性ならびに繊維混入率によって支配されることになる。

4.2 ポリエチレン繊維補強コンクリートの曲げ特性に及ぼす各種要因の影響

図-3及び図-4は載荷速度がそれぞれポリエチレン繊維及び鋼繊維を用いたコンクリートの曲げ荷重-変形曲線に及ぼす影響を示したものである。図-3より明らかなようにポリエチレン繊維を用いたコンクリートの曲げ荷重-変形曲線は載荷速度によって大きく変化し、載

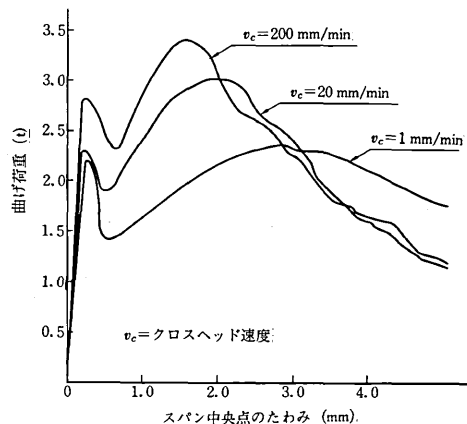


図-3 ポリエチレン繊維補強コンクリートの曲げ荷重-変形特性に及ぼす載荷速度の影響 ( $V_f=3\%$ )

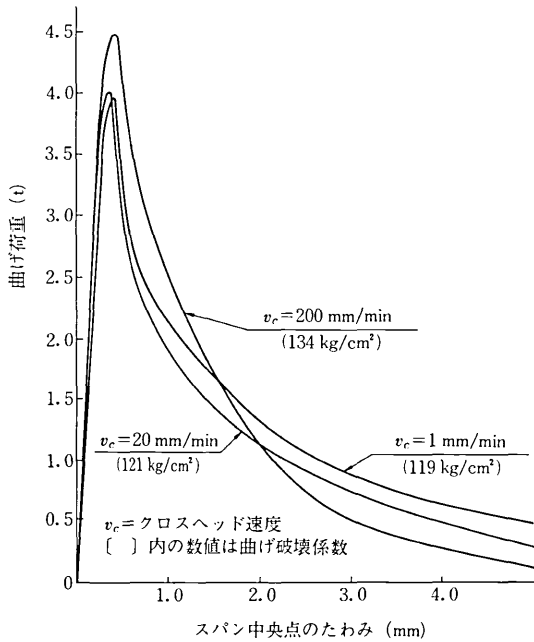


図-4 鋼繊維補強コンクリートの曲げ荷重-変形特性に及ぼす載荷速度の影響 ( $V_f=2\%$ )

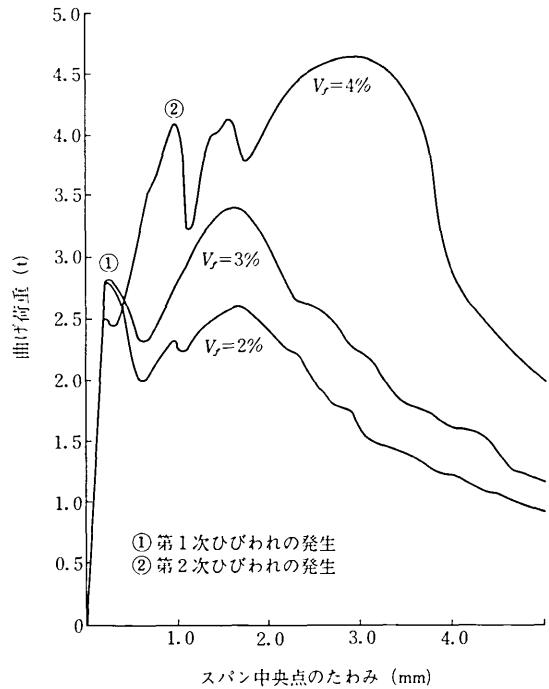


図-6 ポリエチレン繊維補強コンクリートの荷重-変形曲線と繊維混入率との関係  
—クロスヘッド速度: 200 mm/min の場合—

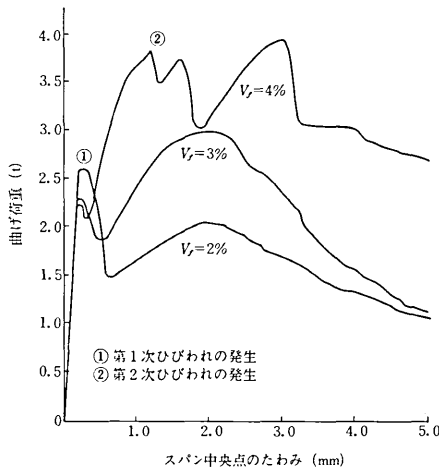


図-5 ポリエチレン繊維補強コンクリートの荷重-変形曲線と繊維混入率との関係  
—クロスヘッド速度: 20 mm/min の場合—

荷速度が大きくなるに従って、ひびわれ発生後における曲線の立上りが急激になり、比較的早い変形段階でより高い最大耐力に達する。すなわち、見掛けの剛性が著しく増大したような結果になる。これはポリエチレン繊維の粘弾性材料としての特性によるものである。一方、鋼繊維補強コンクリートでは繊維材の材質と強化機構の差もあずかって以上のような現象はほとんど認められない(図-4参照)。

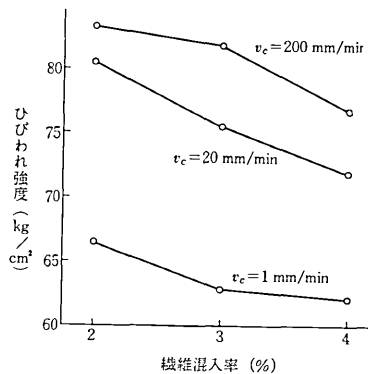


図-7 ひびわれ強度と繊維混入率の関係

図-1、図-5及び図-6はそれぞれ繊維混入率と荷重-変形曲線との関係を載荷速度別に示したものであり、図-7及び図-8はひびわれ強度及びひびわれ発生後の最大荷重と繊維混入率との関係を示したものである。

これらの図から明らかなのは、i) ひびわれ発生後の最大荷重は繊維混入率を増すとともに上昇し、その程度は載荷速度が大きい程顕著となること、ii) ひびわれ強度は繊維混入率を増すとともに、わずかではあるが減少する傾向があること、iii) ひびわれ発生後の最大荷重の値をひびわれ荷重よりも大きくするためには繊維混入

研究速報  
 率を3%以上とする必要があること、iv) 繊維混入率が4%の場合にはひびわれ発生後最大荷重に達する過程で第二次のひびわれ発生が認められたこと、などである。

4.3 ポリエチレン繊維補強コンクリートの曲げ特性と適用分野

ポリエチレン繊維補強コンクリートの構造材料としてのユニークな点は、従来のコンクリート系複合材料には全く期待できなかったような大きい靱性が得られる点であろう。この特性を効果的に活用するためには、次に述べるような点に留意する必要があると思われる。

その一つは、図-9(a)に示すようにひびわれ発生後の最大荷重がひびわれ荷重より大となるような繊維混入率とすることである。本実験で用いたようなコンクリートの配合ではこの限界の繊維混入率は3%程度となる。この値をさらに増すと図-9(b)に示すように第二次ひびわれを生ずる。これを外部荷重を受けている構造物に

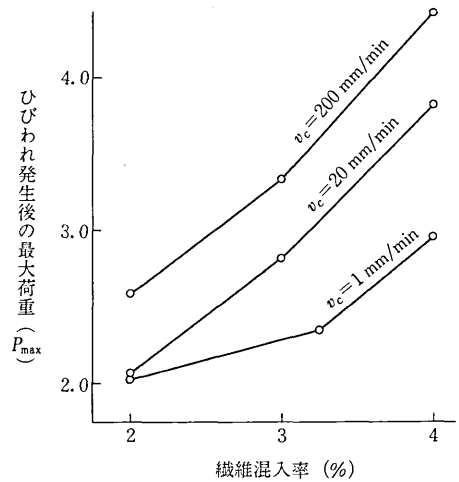


図-8 ひびわれ発生後の最大荷重と繊維混入率の影響

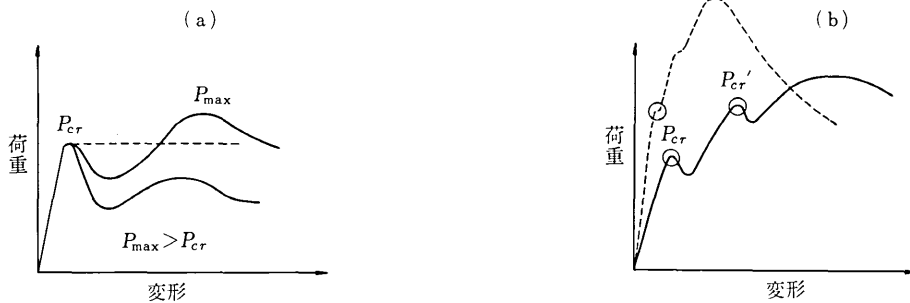


図-9 ひびわれ荷重、ひびわれ発生後の最大荷重及び第2次ひびわれ

あてはめて考えれば、このような連鎖的なひびわれの発生は荷重を分散させる効果を与えている。たとえば、トンネルのライニングに局部的に大きい外圧が作用した場合、その部分にまずひびわれを発生するが、ひびわれ部分が比較的大きい変形を許しつつ外圧に抵抗している間に、その近傍に第二次、第三次のひびわれを誘発するので全体として外圧が分散され、局所的な崩壊を防止することが可能となる。ただし、ここで留意すべきもう一つの点は以上のような大きい靱性がある程度ひびわれが拡大した条件下で得られる点にある(図-1参照)。さて、以上のように比較的大きい変形をとともう外力に対してすぐれた抵抗性を示す特性はこの材料が耐震を要する構造物に適することを示唆している。地震荷重の特性は短時間に大きい変位をとともない、その速度は毎秒数十cmに達する。この値は本実験における最大の変位速度である200 mm/minに比べて2桁も大きい変位速度である。

この材料が大きい変位速度で載荷された場合、その耐

力が顕著に増大することは図-3及び図-6より明らかであるが、上記のような地震荷重と同様な速度で載荷された場合の荷重-変形挙動は図-9(b)における点線のようになることが予測される。すなわち、ひびわれ発生後の落ち込みがほとんど消え、最大荷重が著しく大きくなるとともに見掛け上ひびわれ荷重が最大荷重近くまで改善されたようなパターンになるであろう。実際に交番くり返し載荷試験の結果をみなければ正しい評価は出来ないが、ポリエチレン繊維補強コンクリートが耐震構造物用材料として大変有望な材料であることは以上の結果からも明らかである。

あとがき

本実験の実施に当たり、試料を提供して頂いた三井石油化学工業(株)ならびに実験結果について種々御討議を頂いた本所第一部の田村重四郎教授に深謝します。

(1979年1月29日受理)