

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

Relationship of Flexural Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete and Bond property of Steel Fibers

趙 力采*・小林 一輔*・西村 次男*

Ryokche CHO, Kazusuke KOBAYASHI and Tsugio NISHIMURA

1. はし が き

鋼繊維補強コンクリートの引張荷重-変形特性は繊維量や繊維の配向および分散状態によって支配されるが、その他鋼繊維の形状寸法および表面特性によっても相当に異なったものとなる事が確かめられている。これまでに、この複合体としての力学的挙動と素材としての繊維の付着特性を関連づけようとした研究報告は数編に上るが、いまだに両者の関係を明確にしたものはない。

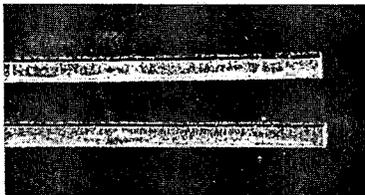
本文では、まず表面形状の異なる種々の鋼繊維の付着試験によって得られる引張荷重-すべり曲線の特性を明らかにし、さらに、それらの鋼繊維を混入した鋼繊維補強コンクリートの曲げ荷重-変形性状との関係を詳細に検討した。

その結果、素材としての鋼繊維の付着試験によって得られる荷重-すべり曲線から、複合体としての鋼繊維補強コンクリートの曲げ荷重-たわみ特性をある程度推定できることが明らかとなった。

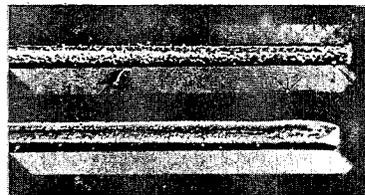
2. 実験の概要

本実験に用いた鋼繊維は冷延鋼板をせん断して製造したせん断ファイバー(繊維D)ならびにインデント加工を施した異形のカットワイヤー(繊維E)1種の計5種であり、それらの形状特性を表-1に、外観を写真-1に示す。

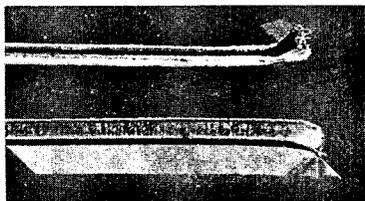
供試体はモルタルの直接引張試験に用いられるブリケット供試体と同様な形状寸法のものであって、写真-2に供試体と型枠を示す。しかし、供試体は図-1に示すよう



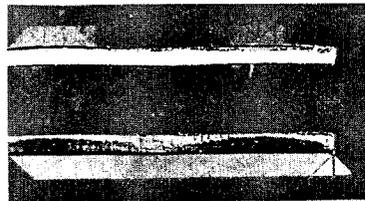
繊維 A



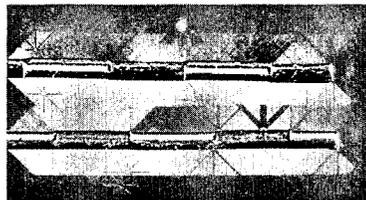
繊維 B



繊維 C



繊維 D



繊維 E

写真-1 用いた鋼繊維の外観

* 東京大学生産技術研究所 第5部

に、最小断面部分においてスリットにより2分されており、鋼繊維はスリットに1.5 cm 間隔で正方形を構成するように設けられた4個の穴を横切って引張応力方向に配置した。これらの鋼繊維の埋込み長さはいずれも15 mm とした。

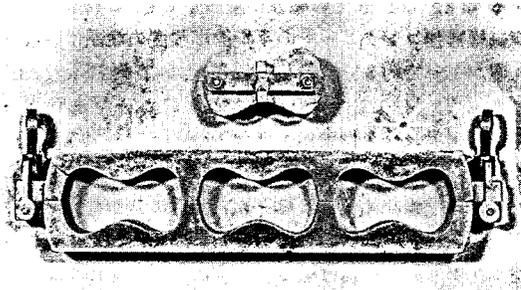


写真-2 付着試験用供試体と型枠

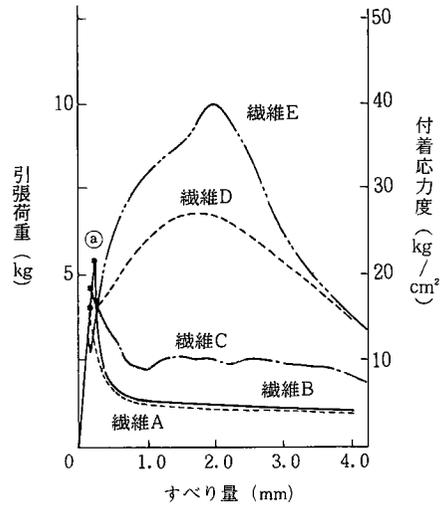


図-2 付着試験による引張荷重-すべり曲線

表-2 ②点の引張荷重と曲げ破壊係数の実験結果

繊維 記号	付着試験②点について		繊維 混入率	曲げ破壊係数	
	引張荷重 (kg)	σ_n (kg)		平均値 (kg/cm ²)	σ_n (kg/cm ²)
A	4.38	1.60	1%	72.1	2.5
			2%	98.1	7.0
B	5.20	1.33	1%	73.8	5.2
			2%	95.5	4.8
C	4.70	0.95	1%	74.5	2.6
			2%	101.3	12.2
D	4.80	1.13	1%	75.6	5.5
			2%	97.5	8.0
E	4.35	1.18	1%	79.7	5.8
			2%	111.5	9.2

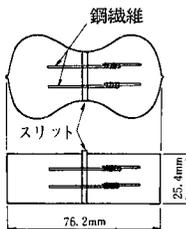


図-1 鋼繊維の付着試験用供試体

一方、鋼繊維補強コンクリートの曲げ荷重-変形特性の試験には、水セメント比が50%で粗骨材最大寸法が15 mm のコンクリートマトリックスに鋼繊維をそれぞれ1%および2%混入した鋼繊維補強コンクリートを用いて成形した10×10×40 cm 角柱体を用いた。曲げ載荷試験は材令2週で3等分点2点載荷(スパン:30 cm)により行った。なお、付着試験に用いたマトリックスとしては鋼繊維補強コンクリートのコンクリートマトリックス中のモルタル分を用いた。

3. 鋼繊維の付着性状

図-2 は表-1 に示した各種の鋼繊維の付着試験によって得られた引張荷重とすべり量との関係を示したもので

ある。図-2 から、鋼繊維とマトリックスとの界面にはく離が生じた引張荷重②点の引張荷重の値は、いずれの繊維を用いた場合も4.35~5.20 kgの範囲にあって大差はない(表-2 参照)が、その後の付着性状は繊維の種類によって著しく相違することがわかる。すなわち、②点以降の性状は、急激に耐力が低下し、その後はすべり摩擦抵抗のみによって低いレベルの耐力を保持する直線状の繊維AとBにみられる性状と、いったん耐力が低下するが、その後はデフォーメーションによって改善されたすべり摩擦抵抗によって、同等またはさらに大きな耐力を示す異形繊維C、DおよびEにみられる性状の2つに大別できる。

表-1 使用した鋼繊維の諸元

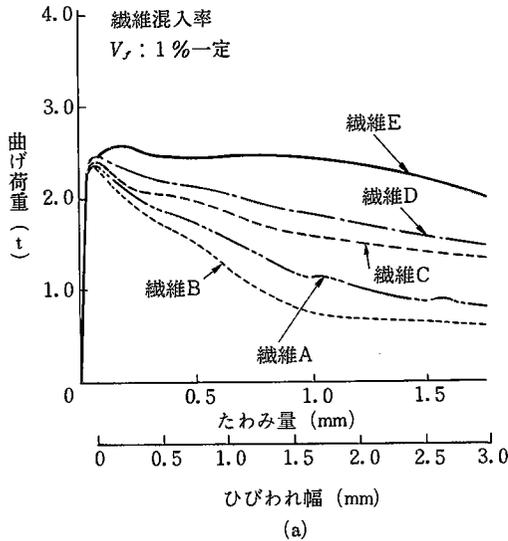
繊維の種類	断面または直径 (mm)	長さ (mm)	形状特性
A	0.5×0.5	30	断面：正方形に近く滑らかな表面
B	0.5×0.55	30	断面：せん断時における長さ方向の軽いねじれあり
C	0.35×0.7	30	一方の端部にせん断時の突起あり
D	0.5×0.5	30	山間隔が約4mmの波形
E	0.5	32	2mm間隔にインデント加工のデフォーメーションあり

一方、図-2 から明らかなように、繊維DとEでは約2mmの引抜け時に付着抵抗が最大値を示す。このように、ある特定の引抜け量において付着抵抗が最大となる理由は明らかではないが、少なくとも繊維の形状寸法またはデフォーメーション(表-1参照)のピッチに関連があるものと思われる。

4. 曲げ荷重-たわみ性状

図-3はそれぞれ上記の5種の繊維(A, B, C, DおよびE)をそれぞれ1%および2%混入した鋼繊維補強コンクリートの代表的な曲げ荷重-たわみ曲線を示したものである。なお、この図では同時に曲げ荷重とひび割れ幅との関係も示してある。図-3から明らかなことは、

- i) 最大荷重の値は繊維の種類によって大差がなく、またこの値に対応するたわみ量は比較的小さいこと、
- ii) 最大値以降のたわみ性状は用いる繊維の種類によって著しく異なり、繊維B, A, C, DおよびEの順に耐荷力の低下率が小さくなる、ことである。



5. 鋼繊維の付着特性と曲げ荷重-たわみ性状との関係

図-4は繊維A~Eを用いて求めた最大付着応力度と鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度との関係を示したものである。なお、曲げ強度にはそれぞれの変動の範囲を示した(表-2参照)。この図から明らかなことは、鋼繊維の最大付着応力度が16 kg/cm²からその約2.6倍に相当する42 kg/cm²までの範囲に変化しても、これを用いた鋼繊維補強コンクリートの平均曲げ強度の範囲は繊維混入率が1%で約8 kg/cm²、2%において約15 kg/cm²であって、その変化は比較的少ないことである。とくに鋼繊維の最大付着応力度が16 kg/cm²~30 kg/cm²の範囲にある各種のせん断ファイバーに限定すると、これらの曲げ強度の間にはほとんど有意の差がない。これらの傾向は、鋼繊維の付着強度とこれを用いた鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度との間に明確な関係を求めることが困難であることを示唆するものであるが、著者らは以上の実験結果に基づいて、鋼繊維の付着性状とこれを用いた鋼繊維補強コンクリートの曲げ荷重-たわみ性状との関係について以下のような結論を引出した。

- 1) 鋼繊維の引張荷重-すべり曲線における②点の引張荷重の値が鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度を支配する。
- 2) 鋼繊維の引張荷重-すべり曲線における②点以降の性状が鋼繊維補強コンクリートの下降域特性を左右する。

すなわち、鋼繊維補強コンクリートの曲げ荷重-たわみ曲線における下降域の性状は、図-3より明らかなようにたわみ量が増大するに従って、すなわち、ひびわれ幅が増大するにつれて繊維のデフォーメーションによる差

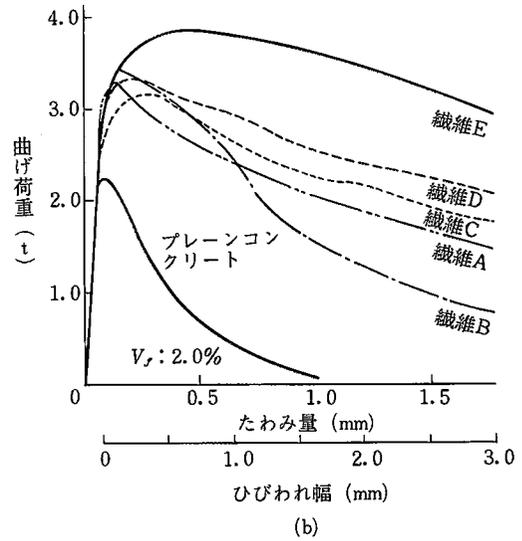


図-3 鋼繊維補強コンクリートの曲げ荷重-たわみ曲線

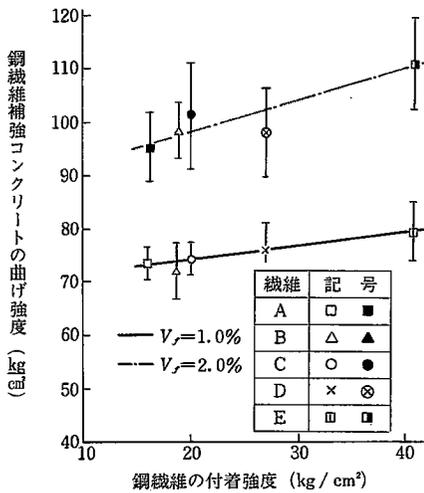


図-4 鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度と最大附着応力度との関係

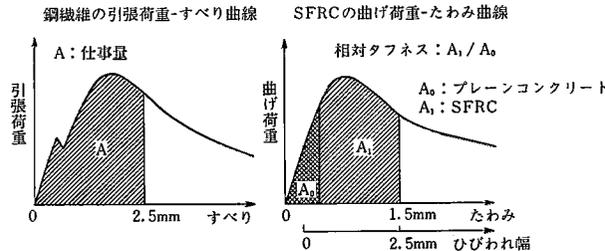


図-5 鋼繊維の附着特性と鋼繊維補強コンクリートの曲げ特性の評価方法

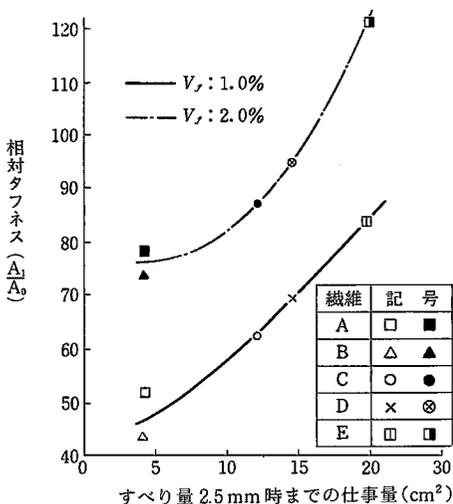


図-6 相対タフネスと附着試験による仕事量との関係

が顕著となってくる。ここで、上記の2)にかかげた関係を明らかにするために、鋼繊維の附着特性と鋼繊維補強コンクリートの曲げ荷重-たわみ特性を以下のように定量化した。すなわち、前者は図-5(a)に示したように鋼繊維の附着試験によって得られる2.5mmのすべり量時までの引張荷重-すべり曲線と横軸(すべり量を示す軸)とによって囲まれた面積を求めて、その仕事量を表すことにした。

一方、後者は図-5(b)に示したように、たわみ量が1.5mmとなる時点、すなわち引張縁のひびわれ幅が2.5mmとなる時点までの曲げ荷重-たわみ曲線と横軸(たわみ軸)とによって囲まれた面積を求めて、その仕事量(タフネス)を表すことにした。ここでは、鋼繊維補強コンクリートのタフネス A_1 とプレーンコンクリートのタフネス A_0 との比として、相対タフネスによって表示した。図-6は上記の鋼繊維補強コンクリートの相対タフネス

と附着試験による仕事量との関係を示したものであって、それらの間には一定の関係があることが明らかである。なお、繊維AとBの附着性状(図-2参照)はほぼ同様であるのに対して、相対タフネスの値が異なるのは繊維AがBに比して繊維の硬さが異なることに起因するものと思われる。

以上の結果は、梁供試体のひびわれをブリッジした引張域の鋼繊維の附着性状が鋼繊維補強コンクリートの曲げ挙動を支配していることを示すとともに、鋼繊維の附着試験による引張荷重-すべり曲線によって得られる仕事量が大きい鋼繊維ほどそれを用いた場合、曲げタフネスの大きい鋼繊維補強コンクリートが得られることを示すものである。

6. む す び

以上、本実験では比較的小型で容易な附着試験によって得られる鋼繊維の附着性状が、複合体としての鋼繊維補強コンクリートの曲げ挙動と密接な関係があることを示した。本実験により、附着試験による引張荷重-すべり曲線の仕事量が大きい鋼繊維を用いた場合に、靱性の大きい鋼繊維補強コンクリートが得られることが確かめられた。

(1980年9月18日受理)