

東京理工専門学校 ○正員 趙 カ 糸
東大生産技術研究所 正員 小 林 一 輔

1. はしがき

短い鋼繊維をランダム配向状態で分散せしめた鋼繊維補強コンクリートにおける顕著な力学的特性の1つは、従来のコンクリートに比しひびわれ強度が大巾に増加することであるが、これを正確に求める方法は未だ確立されていない。本文では、鋼繊維補強コンクリートの単軸引張荷重-変形曲線上の各特異点を引張応力によって生ずる破壊過程の各段階の変化を示す点として捉え、その1つとしてのひびわれ開始応力度を正確かつ簡便に求める方法を提案し、さらに、この方法に基いて求めたひびわれ開始応力度の値に対応する引張ひずみを以て鋼繊維補強コンクリートの伸び能力と定義し、それらに及ぼす各種要因の影響を明らかにした。

2. 鋼繊維補強コンクリートの引張荷重-変形特性

本実験では表-1に示すように繊維の形状特性(アスペクト比, 直径)を広範囲に変化させた。図-1はアスペクト比が52と100の鋼繊維とそれぞれ容積百分率で3.5%混入した鋼繊維補強コンクリートの荷重-ひずみ曲線(I, II)と荷重-変形曲線(I', II')とを対比したものである。変形測定のスケールにも関連するが、荷重-変形曲線では可視ひびわれを生じたB点までの詳細な変形性状は明らかでない。しかし、アスペクト比が100の繊維を用いた曲線I'を例にとると、ひびわれを生じた後もコンクリートマトリックスとの付着力によってさらに荷重の増加に抵抗して最大値に達し、その後は次第に

表-1. 繊維の形状特性

記号	アスペクト比 (l/d)	長さ (mm)	直径 (mm)	容積 (mm^3)
A	1	1.0	1.0	0.79
B	3	2.0	0.7	0.79
C	5	3.0	0.6	0.79
D	11	5.0	0.45	0.80
E	23	8.0	0.35	0.79
F	52	14.0	0.27	0.80
G	100	22.0	0.22	0.83

繊維が引抜けつつ対耐力を減ずるというようなマクロな変形特性をよく示している。一方、荷重-ひずみ曲線においては上記のB点に達するまでの変形特性が極めて詳細に示され、例えば荷重-ひずみ関係が線形から非線形に移行するA点などがとらえられている。

3. ひびわれ開始応力度と伸び能力の求め方

鋼繊維補強コンクリートの曲げ荷重による初期ひびわれ強度は、従来荷重-変形曲線、荷重(応力)-ひずみ曲線が線形から非線形へ移行する点の応力として求める場合が一般的であるが、この点を以て初期ひびわれ強度とすることの根拠が明確でなく、また上記の荷重-変形(ひずみ)曲線は厳密には原点の立上りからわずかに変曲しているため正確にこれを求めることは相当に困難を伴うなどの問題がある。そこで筆者らは一般に材料が応力の増加にともない降伏またはひびわれを生じた場合には当然のことながら剛性の急激な低下ならびに残留ひずみの著しい増加を生ずると考え、このような変化を生ずる応力度を以てひびわれ開始応力度とした。図-2は鋼繊維補強コンクリートの漸増荷重試験による典型的なくり返し応力-ひずみ曲線の1例であり、図中の点線は単調漸増荷重による応力-ひずみ曲線にほぼ近似すると考えられる各くり返し載荷における最大応力時のひずみの包絡線を示したものである。線形→非線形の移行点による判定方法によればA点(応力: 55 kg/cm^2 , ひずみ: 150×10^{-6})がひびわれ開始応力度となるが包絡線で与えたような応力-ひずみ曲線からの判定は困難である。図-3はくり返し応力-ひず

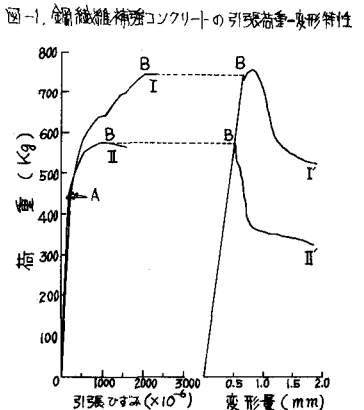
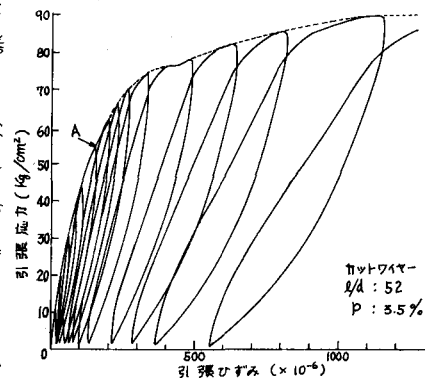


図-2. 鋼繊維補強コンクリートのくり返し応力-ひずみ曲線



み由線の各成分を示したものであつて、 $\bar{\sigma}_n$ 、 $\bar{\epsilon}_n$ と $\bar{\epsilon}_{nr}$ はそれぞれ n 回目のくり返し載荷時の最大応力、ひずみと残留ひずみである。また n 回目の剛性は $(n+1)$ 回目の応力までの応力-ひずみ曲線の傾きから求めた弾性係数(E_n)である。以上の方法により図-2から求めた各成分を明確に表わすため縦軸に引張応力、横軸に残留ひずみ、剛性及びひずみを片対教目盛でプロットしたものが図-4である。図(a)、(b)、(c)はそれぞれ $\bar{\sigma}_n - \bar{\epsilon}_{nr}$ 、 $\bar{\sigma}_n - E_n$ 及び $\bar{\sigma}_n - \bar{\epsilon}_n$ の関係を示したもので、いずれの場合も一定応力(71kg/cm²)まで直線関係が成立し、以後はそれらの直線の傾きが大きくなり折れ線関係となることがわかる。このことはある一定応力

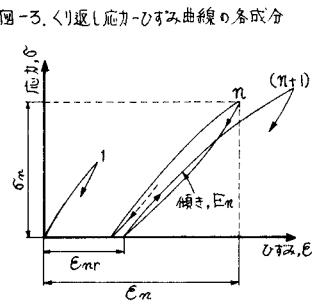
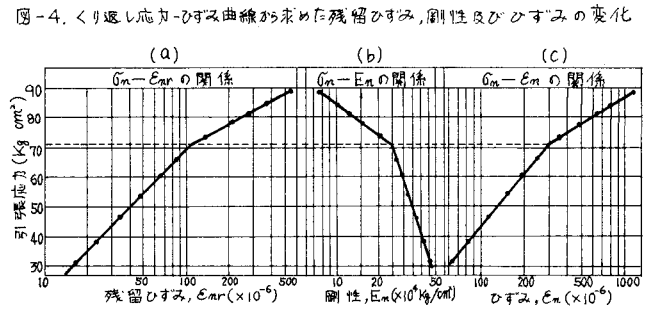


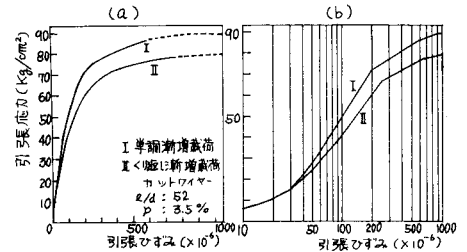
図-4. くり返し応力-ひずみ曲線から求めた残留ひずみ、剛性及びひずみの変化

に達すると残留ひずみとひずみが応力の増加率に比して急激に増加することならびに剛性が同様に低下することを意味している、すなわちこの場合には応力度71kg/cm²がひびわれ開始応力度と考えるのが妥当である。以上の関係はアスペクト比を変化させた場合(繊維量一定)、さらに繊維量を変化させた場合



(アスペクト比一定)、あるいは繊維の種類を変えた鋼繊維補強コンクリートにおいても成立する。図-5(a)は単調漸増載荷による応力-ひずみ曲線(I)とくり返し漸増載荷による応力-ひずみ曲線の包絡線(II)を示したものであり、(b)図はIとIIの曲線を片対教グラフにプロットしたものである。単調漸増載荷による応力-ひずみ曲線においても明確な折れ線関係が得られる。くり返し漸増載荷の場合に比べやや高目のひびわれ開始応力度を求めることになるが、実用的にはこの単調漸増載荷試験による方法が便利である。以上のように鋼繊維補強コンクリートのひびわれ開始応力度を求めることができれば伸び能力はそのときの引張ひずみと定義することにより求める。

図-5. 鋼繊維補強コンクリートの応力-ひずみ曲線



4. ひびわれ開始応力度と伸び能力に影響を及ぼす諸要因

図-6はプレーンコンクリートの引張強度に対する鋼繊維補強コンクリートのひびわれ開始応力度及び引張強度との比に及ぼすアスペクト比と混入量の影響を示したものであつて、アスペクト比、または繊維量が増すにつれてひびわれ開始応力度と引張強度が増大するとともにその強度差が大きくなることがわかる。

図-7はアスペクト比と繊維量がひびわれ開始応力度と伸び能力に及ぼす影響を示したものである。図から明らかなことは1) 繊維量を増すにつれてひびわれ開始応力度と伸び能力は増大するが、その関係はプレーンコンクリートの強度と伸び能力を原典とした直線関係となり、その傾きは繊維形状(アスペクト比)によって異なる、2) 繊維のアスペクト比が23程度までは同一直線となる、3) 同一繊維量では用いる繊維のアスペクト比が大きいくほど伸び能力の大きい鋼繊維補強コンクリートが得られる、などがそのおもなものである。

図-6. 引張強度比に及ぼすアスペクト比と繊維量の影響

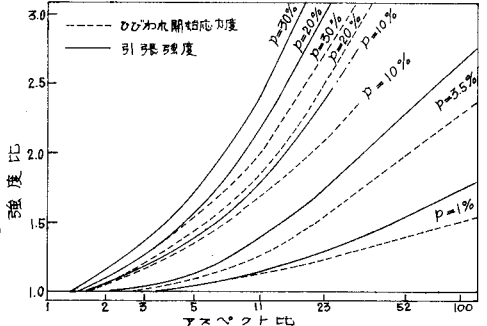


図-7. ひびわれ開始応力度と伸び能力に及ぼすアスペクト比と繊維量の影響

