

東京大学 学生会員 ○睦好 宏史

東京大学 正会員 小林 一輔

## 1. 目的

鋼繊維補強コンクリートにおける繊維の配向度は、一方向に対する有効長を考慮して、繊維が三次元的にランダムであるとして、0.41あるいは0.5などの値が考えられてきた。しかしこれらの値は幾何学的に得られたもので、実際は繊維の長さ、および部材断面の寸法効果などの影響で異なった値をとる。また、同一断面においても型枠の拘束効果により、内部と外部では繊維の配向度も異なってくる。本研究は、鋼繊維の配向度と、それに影響をおよぼす繊維の長さ、供試体の寸法効果との関係を実験的に明らかにすることである。

## 2. 実験概要および配向係数

本研究では、骨材として標準砂を用いた。その理由は、供試体断面の寸法を変化させるために、骨材による影響をできるだけなくすためである。鋼繊維は、 $\phi=30, 60, 80$  ( $d=0.5\text{ mm}$ ) の3種類のカットワイヤーを用いた。配合は、 $W:C:S=1:2:2.9$ とし、繊維の混入量は1%, および2% (Vol) の2種類である。供試体は、断面が $10 \times 10, 4 \times 4, 2 \times 2$  (cm) の3種類を用いた。供試体の成型は、試料を2層に分けて充填し、鋼繊維の作為的な配向を避けるため、締固めは木づちによる型枠外部からの打撃のみにより行った。硬化した供試体から図-1に示すような位置で、厚さ $0.5 \pm 0.1$  (cm) 程度の試験片を切りだし、試験片の厚さと要素に分割した各要素の繊維の本数を測定した。

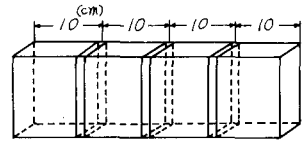
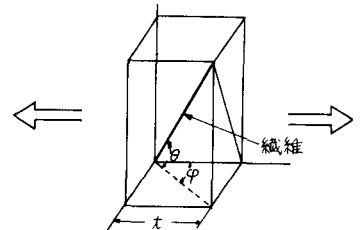


図-1 サンプル位置

図-2 配向係数  $\beta = \cos \theta \cos \phi$ 

配向係数は図-2に示すように、繊維は試験片の面断面を貫くと仮定し、一軸方向に対する繊維の有効率として、 $\beta = \cos \theta \cos \phi$  と定義した。 $\beta$ を求めるために、上で述べた試験片の厚さ $t$ 、繊維の直径 $d$ 、および各要素中の繊維の本数 $n$ の他に、試験片中の繊維の投影長を求めるために繊維の投影面積が必要である。このために、切りだした試験片を軸方向からX線撮影を行い、そのX線画像から電子計算機による多次元画像情報処理を行った。その過程を図-3に示す。本実験ではX線画像からの取り込み密度を、画素数で $6.4\%/mm$ と $12.8\%/mm$ とし、2値化するに当たって読み取り誤差をできるだけ小さくするために、X線写真を一枚ごと画像にディスプレイして2値化レベルを決めた。

## 3. 供試体断面の要素分割

切りだした試験片を要素に分割し、各要素の配向係数を求めた。

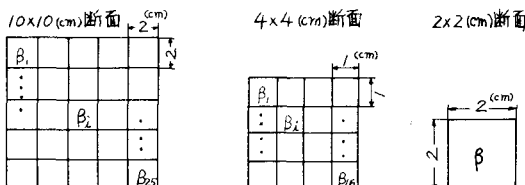


図-4 供試体断面の要素分割

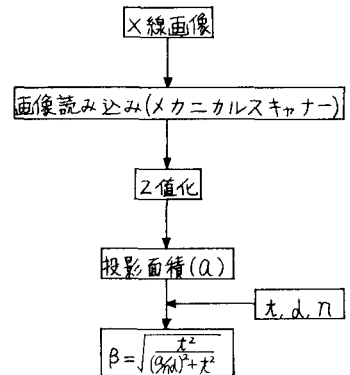


図-3 画像処理過程

#### 4. 実験結果および考察

配向係数( $\beta$ )と要素の度数との関係を表わしたヒストグラムの一例を図-5に示す。一般に繊維の長さが短くなると、 $\beta$ の分布は広い範囲にわたって同程度の度数で分布するが、逆に長くなると、ある $\beta$ の値に集中した分布になる傾向がある。しかし $\beta$ の上限値と下限値は大体同じような値をとり、ばらつきも同程度である。次に平均配向係数と断面寸法、および繊維の長さとの関係をそれぞれ図-6、図-7に示す。図から分かるように、断面寸法が小さくなる程、また、繊維の長さが長くなるほど配向係数は大きくなる。これは明らかに、供試体断面の寸法と繊維の長さによる影響がかなり大きいことを示している。一般に断面が与えられ、繊維の位置が決まると、その繊維が任意にとりうる理論的平均配向係数は、繊維の長さとは供試体断面の寸法との関数になる。このことを具体的に示しているのが図-8である。図-8は $10 \times 10$ (cm)断面における各要素の $\beta$ の実際の値の分布を示す一例である。断面内部では、繊維は3次元ランダムな状態をとっているが、外部では型枠の拘束により、強制的に配向された状態となる。これを比較するために、 $10 \times 10$ (cm)断面の内部の要素と外部の要素の配向係数を平均すると下の表のようになる。

| $V_f=1\%$ | (mm)   |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|
|           | $l=15$ | $l=30$ | $l=40$ |
| 内部        | 0.72   | 0.72   | 0.83   |
| 外部        | 0.76   | 0.78   | 0.82   |

| $V_f=2\%$ | (mm)   |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|
|           | $l=15$ | $l=30$ | $l=40$ |
| 内部        | 0.70   | 0.68   | 0.72   |
| 外部        | 0.78   | 0.77   | 0.77   |

$4 \times 4$ (cm)断面では、 $\beta$ の分布は $10 \times 10$ (cm)断面と同じ範囲で分布するが、上で述べたような断面内部と外部における明確な違いはみられなかった。

#### 5. まとめ

今回の実験では、断面の寸法効果と鋼繊維の長さによる配向係数の影響をモルタルで調べた。コンクリートではこれに骨材の影響が加わるが、この場合も同じような関係があると思われる。

従来提案されてきた鋼繊維補強コンクリートの引張、および曲げ強度の推定式では、断面内の繊維の配向度と分散度が断面内で一定であると仮定されてきた。しかし上で述べたように、配向係数は断面内では一定ではなく、かなり広い範囲で分布しているのだから、引張、曲げ強度の推定には、断面内の繊維の配向と分散状態を考慮することが望ましいと思われる。特に曲げ強度の推定において、引張側の繊維の状態如何によっては実験値とかなり違った値が求まることがある。また、このことは、断面寸法が大きくなるほどその影響は大きいと思われる。

最後に本研究の中で、画像処理を行うにあたって、東京大学生産技術研究所高木研究室の協力を得たことに謝意を表します。

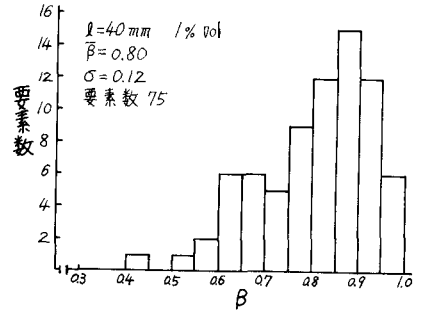
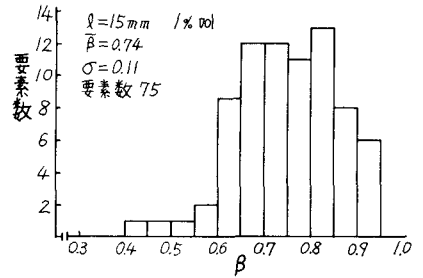


図-5 配向係数の分布

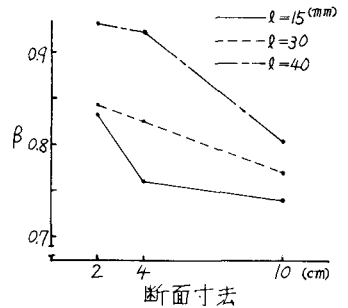


図-6 配向係数と断面寸法

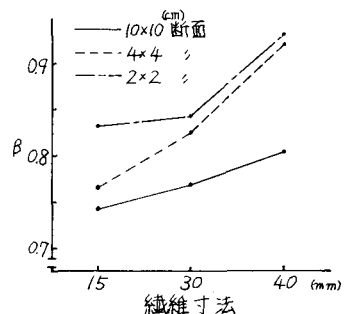


図-7 配向係数と繊維寸法  
打込み面

|      |      |      |      |      |                                             |
|------|------|------|------|------|---------------------------------------------|
| 0.68 | 0.66 | 0.82 | 0.75 | 0.75 | $l=15\text{mm}$<br>2% Vol<br>図-8<br>配向係数の一例 |
| 0.76 | 0.76 | 0.69 | 0.77 | 0.77 |                                             |
| 0.76 | 0.69 | 0.43 | 0.74 | 0.80 |                                             |
| 0.82 | 0.70 | 0.74 | 0.79 | 0.78 |                                             |
| 0.93 | 0.73 | 0.73 | 0.78 | 0.81 |                                             |