

鋼繊維補強コンクリートにおける繊維の配向に関する研究

Study of Fiber Orientation in Steel Fiber Reinforced Concrete

睦好宏史*・富田 強**・小林 一輔*・高木 幹雄**

Hiroshi MUTSUYOSHI, Tsuyoshi TOMITA, Kazusuke KOBAYASHI and Mikio TAKAGI

1. ま え が き

鋼繊維補強コンクリートにおける繊維の配向度は、その力学的性質に著しい影響を及ぼす。たとえば、鋼繊維がすべて特定の方向に配向している場合と配向していない場合では、その方向に作用する引張応力に対して補強効果は全く異なってくる。したがって鋼繊維補強コンクリートを用いた構造部材の設計、またはすでにつくられた部材の強度の推定を行う場合には、鋼繊維の配向度を定量的に把握しておく必要がある。従来、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、鋼繊維補強コンクリート中の鋼繊維の配向度とこれに影響を及ぼす要因との関係を多次元画像情報処理を用いて実験的に明らかにしたものである。

2. 実験の概要及び配向係数の求め方

供試体は断面が10×10, 4×4, 2×2 (cm) の3種類のものを用いた。鋼繊維は $l/d=30, 60$ 及び 80 ($d=0.5$ mm) の3種類のカットワイヤーを用い、マトリックスは $W:C:S=1:2:2.9$ のモルタルとした。粗骨材を用いなかった理由は、鋼繊維の配向度に及ぼす供試体の断面寸法の影響が粗骨材の存在によって増幅されることを避けるためである。これらの供試体から厚さ 5 ± 1 (mm) 程度の試験片を切りだし、試験片の厚さを分割した各要素中の繊維の本数を測定した。

配向係数は図-1に示すように、繊維は試験片の両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、 $\beta = \cos\theta \cos\varphi$ と定義した。また供試体から切り

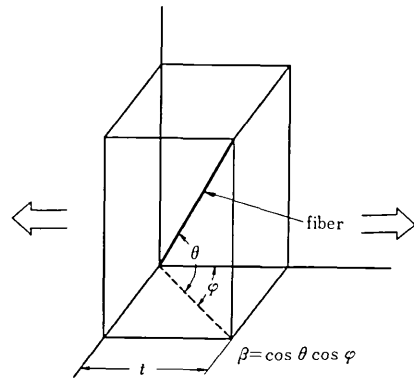


図-1 配向係数

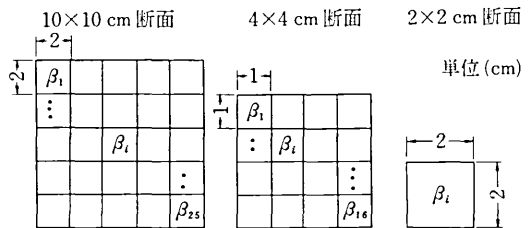


図-2 供試体断面の要素分割

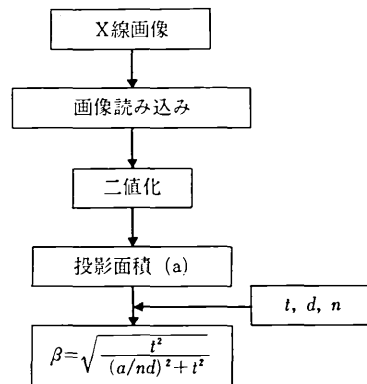


図-3 画像処理過程

*東京大学生産技術研究所 第5部

**同上 第3部

研究速報

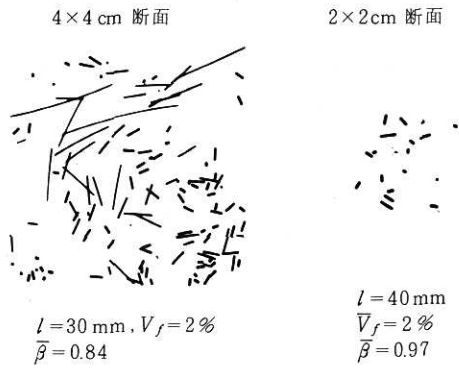


写真-1 X線画像の例

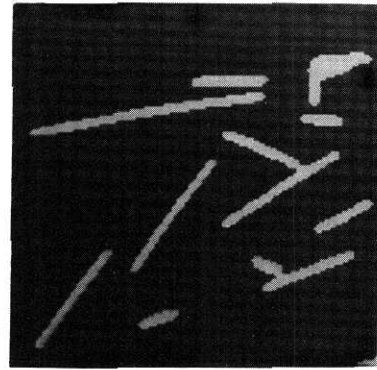


写真-2 二値化写真

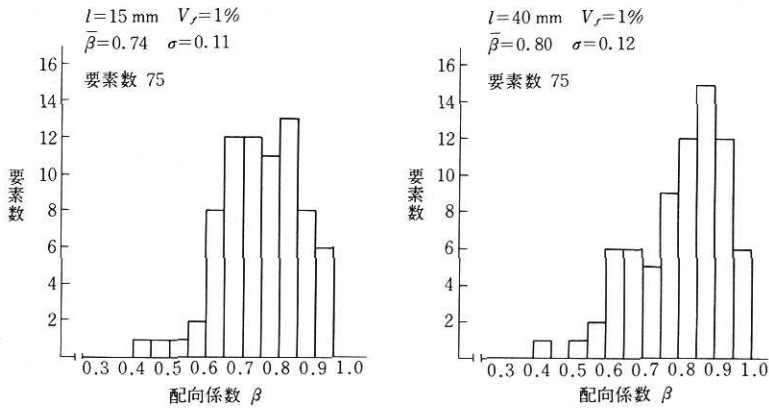


図-4 配向係数の分布 (I) (10×10 cm 断面)

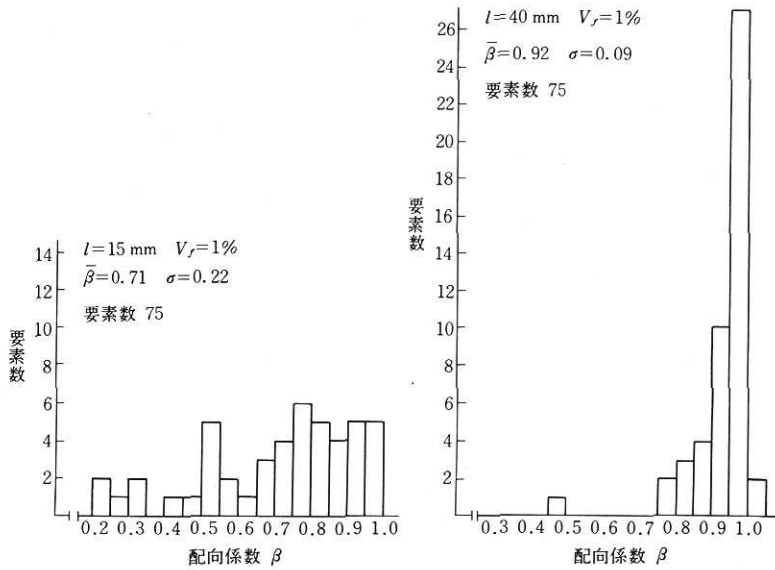


図-4 配向係数の分布 (II) (4×4 cm 断面)

だした試験片は図-2のように要素に分割され、各要素の平均配向係数を求めた。配向係数(β)を求めるために、上で述べた試験片の厚さ l 、繊維の直径 d 、および各要素中の繊維の本数 n のほかに、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。これは、X線画像を簡易入力装置を用いて適当な方法で走査して、画像を小さな画素に分割して入力する。入力したデータから繊維部分の画素を決定し2値化することによって繊維の投影面積を求めた。本実験ではX線画像からの取り込み密度を、1要素につきデータサイズで 128×128 、画素数で 6.4 本/mmと 12.8 本/mmとし、2値化レベルを決めるにあたって、画像によってすべて濃度レベルが異なるので、レベル誤差をできるだけ小さくするためにX線写真を1枚ごとと画像にディスプレイして2値化レベルを決めた。写真-1は試験片のX線写真を示し、写真-2は1要素の2値化した写真を示す。

3. 配向係数に影響を及ぼす諸要因

図-4は配向係数(β)と供試体断面における要素の度数との関係を表したヒストグラムの一例である。一般に繊維の長さが短くなると、 β 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 β の値に集中した分布になる傾向がある。

図-5、図-6は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示したもので、図からわかるように断面寸法が小さくなるほど、また繊維の長さが長くなるほど β 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。一般に断面寸法が与えられ、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配向係数

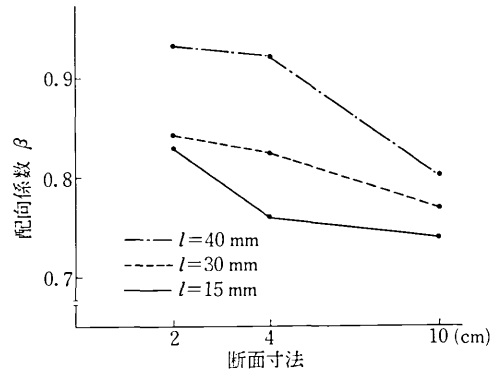


図-6 配向係数と断面寸法

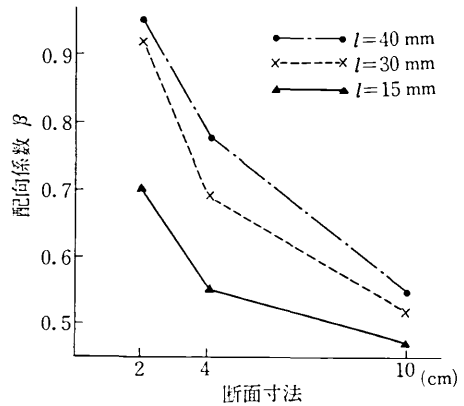


図-7 理論的配向係数と断面寸法

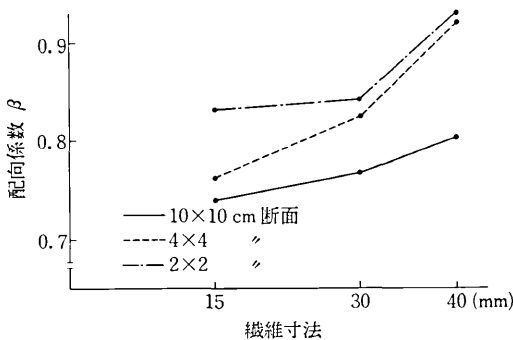


図-5 配向係数と繊維寸法

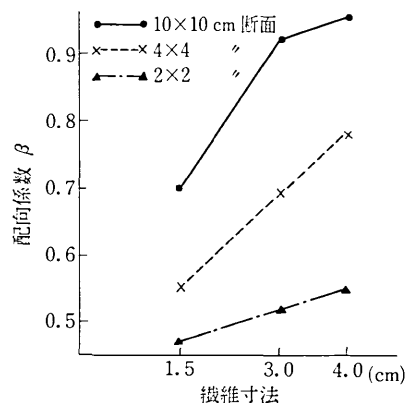


図-8 理論的配向係数と繊維長さ

は繊維の長さと同様に供試体断面の寸法との関数になるが、これを断面全体で平均した理論的配向係数と供試体断面寸法および繊維長さとの関係を同様にして示したものが図-

研究速報

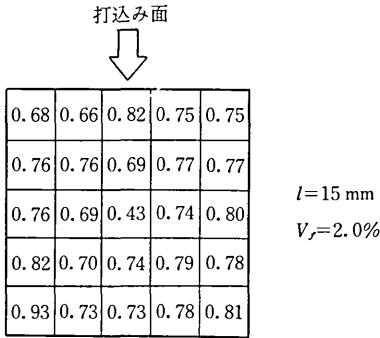


図-9 配向係数の一例

表-1 配向係数の比較

	$V_f = 1.0\%$ (cm)			$V_f = 2.0\%$ (cm)		
	$l=1.5$	$l=3.0$	$l=4.0$	$l=1.5$	$l=3.0$	$l=4.0$
内部	0.72	0.72	0.83	0.70	0.68	0.72
外部	0.76	0.78	0.82	0.78	0.77	0.77

l の単位は cm

7. 図-8である。実際に求めた配向係数もこれと同じ傾向を示している。またこのことを具体的に示しているのが図-9である。これは 10×10 (cm) 断面における各要素の配向係数の実際値の分布を示す一例である。断面内部では繊維は三次元的ランダムな状態をとりうるが、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、 10×10 (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表-1のようになる。 4×4 (cm) では配向係数の分布は 10×10 (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。

4. 配向係数の定式化

上で述べてきたように、配向係数に影響を及ぼす要因の中で、供試体の断面寸法および繊維の長さによる影響が最も大きいことがわかった。ここではこれら二つの影響を考慮することによって、断面全体の平均配向係数は

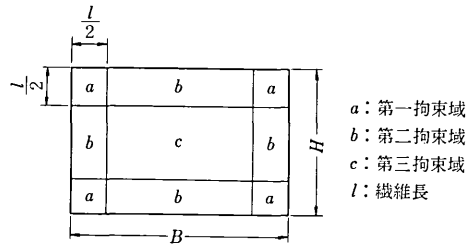


図-10 型枠の拘束による影響

以下の式によって表すことができる。

$B, H \geq l$ のとき

$$\beta = \frac{K_1 l^2 + K_2 l(H+B-2l) + K_3(H-l)(B-l)}{BH}$$

$B \gg H, H \geq l$ のとき

$$\beta = \frac{K_2 l + K_3(H-l)}{H}$$

(ただし、 $K_1=0.8, K_2=0.6, K_3=0.4$)

5. ま と め

以上述べてきたように、鋼繊維補強コンクリートにおける繊維の配向度は繊維の形状寸法、供試体の断面寸法などの要因によってかなりばらつくことが明らかとなった。鋼繊維補強コンクリート部材の強度あるいは変形能を推定する場合、部材断面が比較的大きい場合では繊維は三次元的ランダムな状態であると考えて良い。しかし小さい部材或いは曲げを受ける部材では配向の違いによる影響が大きいと考えられる。前者の場合では同じ繊維を用いた場合でも断面寸法が小さくなるほど、強度、変形能が比較的大きな値となり、後者の場合では、引張側の繊維の配向状態いかんによっては強度のばらつきも大きくなっていく。したがって、引張、あるいは曲げを受ける部材の強度、変形能を推定するにはこれらの影響を加味した推定式、設計方法が用いられることが望ましい。

(1978年3月23日受理)