

東京大学 正員 小林一輔
(株) 間組 正員 ○陸好宏史

1. 目的

鋼繊維補強コンクリート(以下SFRC)における鋼繊維の分散度と配向度は、その力学的性質に著しい影響を及ぼす。従ってSFRC部材の強度の推定あるいは設計を行う場合には鋼繊維の分散度と配向度を定量的に把握しておく必要がある。本研究では、SFRCにおける鋼繊維の分散度と配向度、及びそれに影響をおよぼす要因との関係を実験的に明らかにするとともに定量的に評価した。また、鋼繊維の分散度と配向度を考慮して、引張及び曲げを受けるSFRC部材の挙動を解明した。

2. 鋼繊維の分散

繊維の分散に影響を及ぼす要因として、繊維混入率及び繊維長をとりあげ、任意断面を要素に分割して各要素の繊維本数を数多く求めることによって繊維の分散を調べた。図-1は繊維混入率及び繊維長による繊維量のばらつきを示したもので、横軸は実際に混入した繊維量を示し、縦軸は各要素における繊維量のばらつきを考慮した量で、ここでは実際に混入した繊維量にそのばらつき量である標準偏差を考慮した量を示している。このように繊維混入率及び繊維長の増加に伴って繊維のばらつきは大きくなる。一般にコンクリートのような複合材料では、その強度は最も弱い部分によって支配される。そこでSFRC部材の破断面を観察してみると、プレーンコンクリートに比べてかなり複雑な破面を形成している。破面における繊維分布と任意断面における繊維分布を比較したのが図-2である。破面における平均繊維量は任意断面における繊維量に比べてかなり少なく、その平均量は任意断面における平均繊維量、即ち実際に混入した量からばらつき量である標準偏差に相当する分を差し引いた量となる。この関係は繊維混入率如何によらず常に成り立つことが明らかとなった。このため繊維長及び繊維混入率が与えられると強度を決定する真の繊維量が求められることになる。

3. 鋼繊維の配向

繊維の配向に影響を及ぼす要因として、繊維長及び供試体断面の寸法をとりあげ、繊維長を15, 30, 40 mm、(直径 $d=0.5$ mm)供試体断面を 10×10 , 4×4 , 2×2 cm、と変化させた。硬化した供試体から厚さ5 mm程度の試験片を切りだし、試験片の厚さを要素に分割した各要素の繊維本数 n を測定した。配向係数は図-3に示すように、繊維が試験片の両断面を貫くと仮定し、一軸方向に対する有効率として、 $\beta = \cos\theta \cos\varphi$ と定義した。 β を求めるために試験片中の繊維の投影長が必要となる。このため、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。このようにして各要素ごとの

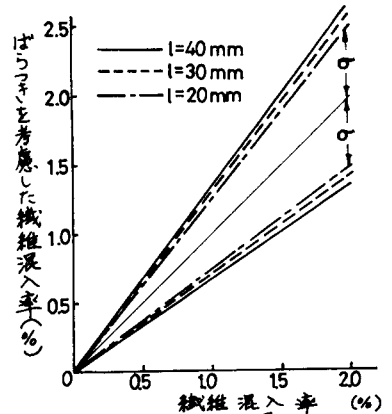


図-1 繊維長による繊維量のばらつき

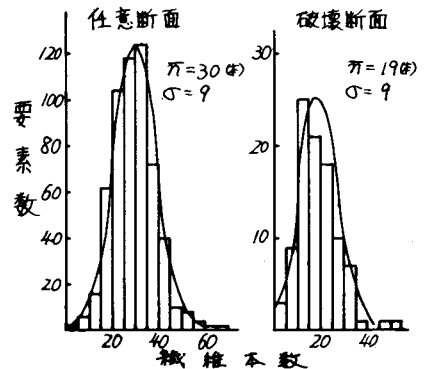


図-2 繊維本数の分布

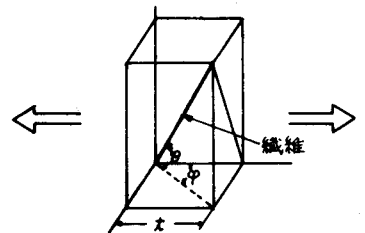


図-3 配向係数

配向係数を求めた結果、一般に繊維の長さが短くなると配向係数は広い範囲にわたって分布し、逆に長くなると配向係数はある値に集中した分布になる傾向がある。図-4は平均配向係数と断面寸法及び繊維長さとの関係を示したもので、断面寸法が小さくなる程、また繊維長さが長くなるほど配向係数は大きくなる。これらの結果は明らかに供試体断面の寸法と繊維長さによる影響がかなり大きいことを示している。図-5は10×10 cm、断面における各要素の配向係数の実測値の分布を示したもので、断面内部では繊維は3次元ランダムな配向状態をとるが、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。

以上の事を考慮して、断面寸法、繊維長をパラメーターとして配向係数は次式で求められる。

矩形断面 (B, H : 断面の中及び高さ l : 繊維長)

$$\beta = \frac{k_1 l^2 + k_2 l (H + B - 2l) + k_3 (H - l)(B - l)}{B \cdot H}$$

平板

$$\beta = \frac{k_2 l + k_3 (H - l)}{H} \quad (k_1 = 0.8, k_2 = 0.6, k_3 = 0.4)$$

4. SFRC部材の強度と変形

上で述べてきたように、繊維の分散及び配向に影響を及ぼす要因が明らかとなり、また定量的に求められたので、SFRC部材の力学的性状を繊維の分散及び配向の影響のみを考慮して部材の挙動を解析した。

引張を受けるSFRC部材の挙動をシュミレートするために、引張を受ける断面を要素に分割して各要素の繊維本数及び配向係数を主なパラメーターとして代入した。各要素の強度及び降伏ひずみは従来から提案されている繊維間隔説に基づく強化則を適用して求め

各要素の応力-ひずみ関係を決定した。次に断面における等ひずみを仮定して、或るひずみを与えると各要素の応力が求まり、これを平均することによって系全体の応力-ひずみ挙動が理論的に求まる。図-6は実験値と計算値を比較したもので、実験では試験機の精度の関係で実験的に求めることが難しい下降域も推定することができた。

同様にして曲げを受けるSFRC部材の挙動を、繊維の分散と配向を考慮することによって、引張に用いた手法を適用して求めた。なお曲げの解析にはDiscrete Elements Methodによってその荷重-変形関係を求め、図-7にその結果を示す。

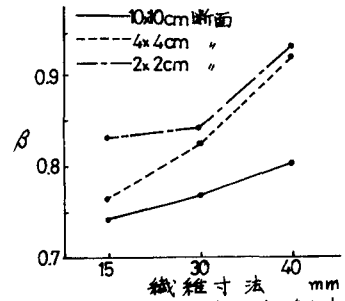


図-4 配向係数と繊維寸法

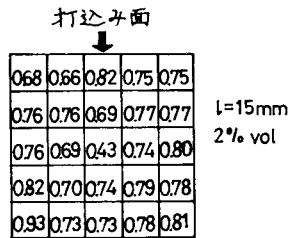


図-5 配向係数の一例

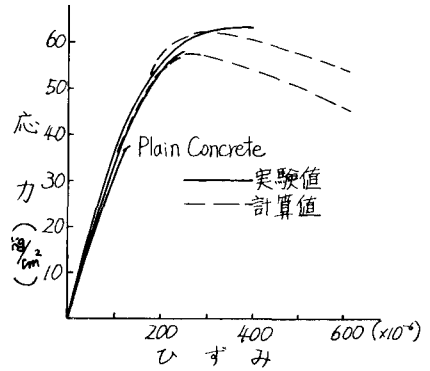


図-6 引張を受けるSFRC部材の挙動

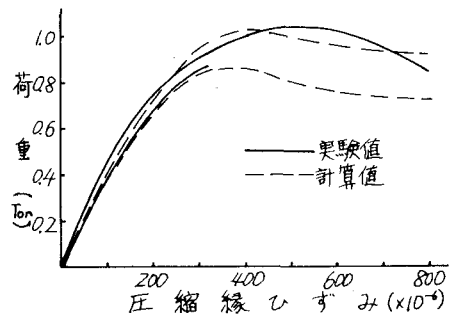


図-7 曲げを受けるSFRC部材の挙動