

超高強度繊維補強コンクリートの引張特性と繊維の分散・配向の関係に関する検討

岐阜大学
岐阜大学大学院
岐阜大学大学院
岐阜大学大学院

正会員
学生会員

○

内田裕市
周波
平岩 修人
Ha Duy Nhi

1. はじめに

繊維補強コンクリートにおいて供試体中の繊維の配向が試験結果に影響することに関しては、多くの報告があり事実として認められている。また、構造物中の繊維の配向は、打込み方法や構造物の寸法によって変化することも知られている。こうした背景から、筆者らは曲げ供試体を対象として、コンクリートを透明な粘性を有する流体でモデル化することで供試体中の繊維の簡易観察手法を提案した。その結果、コンクリートの注ぎ口を型枠の片端に固定して打ち込むと、繊維はコンクリートの流れに応じて斜め上方向に配向することが明らかになった。しかしながら、供試体中の繊維の分散・配向と力学特性の定量的関係についてはまだ不明な点が多い。

そこで、本研究では切欠き深さの異なる供試体の3点曲げ試験を行い、J積分方法¹⁾により断面高さごとの引張軟化曲線を推定した。試験後、供試体を切断し、切断面の繊維本数と配向を計測し、断面高さごとの引張特性との定量的な関係について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

本実験で用いた UFC は市販のプレミックスタイプのものであり、材料、配合は仕様通りであり、φ0.2×15mmの鋼繊維を2vol%混入したものである。

2.2 供試体の作製方法

表1に本実験で用いた供試体の一覧を示す。本実験では100×100×400mmの角柱供試体を用い、練り混ぜ後、コンクリートの注ぎ口を型枠の片端に固定しコンクリートを型枠内で流動させて打ち込む方法を用い、一条件5本ずつ作製した。標準熱養生終了後、型枠底面から深さ0、15、30、45mmの切欠きを導入した。また、側面型枠のせき板効果を排除するために、供試体中央断面の両側面にも10mmの切欠きを導入した。

2.3 力学特性の試験方法

図1に力学特性の試験方法を示す。すべての供試体について、切欠きはりの3点曲げ試験を行い、荷重(P)、供試体底面ひび割れ開口変位(CMOD)、ひび

表1 供試体の一覧

試験体	切り欠き 深さ(mm)	数量(本)
A	0	5
B	15	
C	30	
D	45	

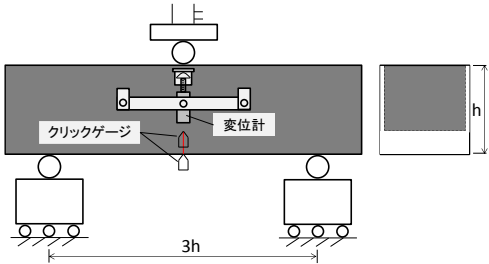
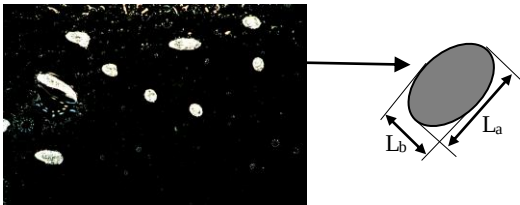


図1 切欠きはりの3点曲げ試験



$$N_e = N * \eta = \sum_1^N \cos \varphi = \sum_1^N \frac{L_b}{L_a} \quad [1]$$

ここで、N：一画面あたりの繊維本数
η：配向係数

図2 有効繊維本数

割れ先端開口変位 (CTOD) および荷重点変位 (LPD) を計測した。荷重後、P-CMOD曲線から、逆解析²⁾により各切欠き深さの供試体の引張軟化曲線を推定した。また、試験体A-B、B-CおよびC-Dの各組合せによりJ積分法により断面高さごとの引張軟化曲線も推定した。

2.4 切断面の繊維状況の測定方法

曲げ試験を行った後に、破断面直近をコンクリートカ

ッターで切断し、断面内の繊維の本数と配向を測定した。図2にデジタルマイクロスコープで撮影した写真の一例を示す。図中、白い面積が鋼繊維の切断面であり、繊維が切断面に対して垂直に配向している場合は真円になり、斜めに配向すると、繊維の切断面は楕円になる。そこで、倍率50倍のマイクロスコープで1画面の寸法を $4 \times 6\text{mm}$ として供試体切断面全体(54画面)を撮影した。1画面ごとに繊維の本数と各繊維の切断面の長径(L_a)と短径(L_b)を計測し、式[1]により配向を評価することとした。また、繊維の本数と配向係数 η の積を有効繊維本数として、1画面ごとに有効繊維本数 N_e を求め、切断面内の有効繊維数 N_e の分布を調べた。

3. 実験結果

3.1 曲げ試験結果

図3にはP-CMOD 曲線から逆解析により求められた引張軟化曲線を示す。図4には断面高さごとのJ積分法で求められた引張軟化曲線を示す。

図3より、切欠き深さが大きくなると、引張応力低下する傾向が見られた。また、図4より、型枠底面から0～15mm、15～30mm および30～45mm の位置に、ひび割れ発生後の最大引張応力がそれぞれに 13 N/mm^2 、 11 N/mm^2 、 8 N/mm^2 になり、断面高さごとに明確な差が生じ、型枠底面に近いほど、引張応力が高くなることが明らかになった。

3.2 有効繊維本数 N_e

図5には有効繊維数 N_e の分布図を示す。特に、断面の幅方向の中央部分では打設面付近と比べ、型枠底面付近の N_e は2倍以上になった。また、側面型枠付近では、切断面中央部分より N_e が高くなる傾向も見られた。すなわち、型枠底面および側面付近では繊維は切断面に対して垂直に近い状態に配向しているのに対して、断面の上部では断面に対して繊維が斜めに配向している状況を示された。

3.3 最大引張応力と有効繊維本数 N_e の関係

図6には断面高さごとのJ積分法で求められた引張軟化曲線のひび割れ発生後の最大引張応力と有効繊維数の関係を示す。ただし、最大引張応力は高さ0～15mm 区間の値を基準とした。また、有効繊維数はその高さ内の平均値とし、高さ0～15mm 区間の値を基準としたものである。同図より、断面高さごとに最大引張応力の変化の割合は有効繊維数の変化の割合とほぼ同様な傾向が示された。

4. まとめ

本研究で得られた主な結果は以下の通りである。

(1) 曲げ供試体を対象として、切欠き深さの異なる供試体の3点曲げ試験を行い、J積分により断面高さごとの

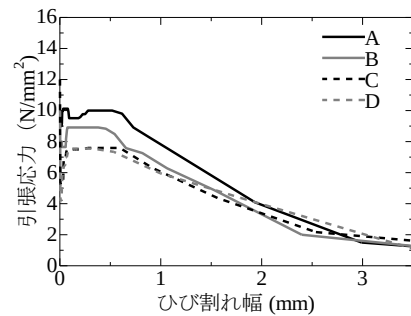


図3 逆解析により引張軟化曲線

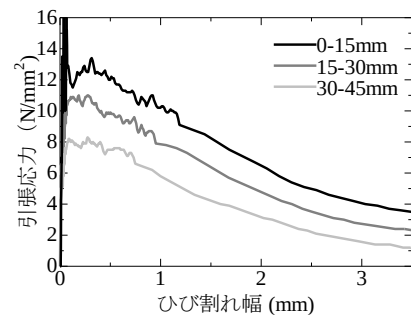


図4 J積分法により引張軟化曲線

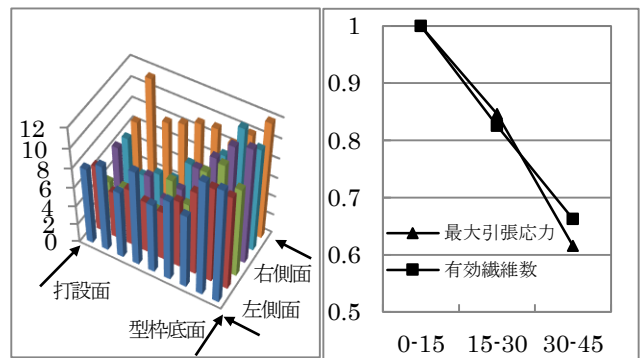


図5 有効繊維本数

図6 最大引張応力
と有効繊維の関係

引張軟化曲線を推定した。その結果、型枠底面に近いほど、最大引張応力が高くなることが明らかになった。

(2) 3点曲げ試験後、切欠き直近の切断面の繊維情報をデジタルマイクロスコープで撮影し、有効繊維本数を計算した。その結果、型枠底面および側面付近では有効繊維本数が大きくなり、切断面高さ方向に沿って低下する傾向が示された。

(3) 断面高さごとに最大引張応力の変化の割合は有効繊維数の変化の割合とほぼ一致した。

【参考文献】

- 1) Li, V.C. and Ward, R.J: A Novel Testing Technique for Post-peak Tensile Behavior of Cementitious Material, Fracture Toughness and Fracture Energy, Balkema, 1989, pp.183-195