超高強度鋼繊維補強コンクリートにおける繊維の配向性が曲げ性能に与える影響

筑波大学　学生会員　○山田　大　渡邉　啓介　橋本　裕子
筑波大学　正会員　八十島　章　金久保　利之

1. はじめに

近年，圧縮強度が 150MPa を超える超高強度コンクリートの利用が進められており，その脆性的な破壊を防止するために鋼繊維が混入されることが多くなっている．鋼繊維は圧縮靭性だけでなく，引張や曲げ性能の向上にも寄与すると考えられ，鋼繊維の架橋性能を的確に評価することができれば，それらに期待した部材設計も可能となる．繊維の架橋性能はその配向性によって変化し，繊維の配向性が引張性能や曲げ性能に与える影響に関する研究が多数行われている．本研究では，150MPa クラスの超高強度コンクリートとスチールワイヤ（比較的細径の表面が平滑な鋼繊維）を使用した鋼繊維補強コンクリート（SFRC）を対象として，ひび割れ面における繊維の配向性をパラメータとした曲げ試験体の加力実験を行い，繊維配向性が曲げ性能に与える影響の検討を行う．

2. 曲げ試験概要

使用した鋼繊維の物性を**表-1**に，コンクリートの配合計画を**表-2**に示す．繊維体積混入率 V_f は 0.5 および 1.0%とした．SFRC のフレッシュ性状および圧縮特性を**表-3**に示す．

試験体は，繊維体積混入率 0.5，1.0%に対してそれぞれ，型枠端部より流込みを行い作製したもの（バイブレーターなし）と，流込み完了後に，従来コンクリートの締固めに使用される棒状バイブレーターを型枠中央部近傍に挿入し振動を加えることで，試験体中央部における繊維を試験体軸方向に対して直交方向に強制配向させた[1]もの（バイブレーターあり）を各 3 体作製した．バイブレーターを使用した試験体作製方法を**図-1**に示す．硬化後，コンクリートカッターにより幅 5mm，深さ 30mm の切欠きを導入した．

JCI-S-001-2003「切欠きはりを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法」[2]に準拠して，切欠きを有する 100×100×400mm の角柱試験体に対する三点加力曲げ試験（**図-2**）を行った．加力には 2MN ユ

表-1　鋼繊維（スチールワイヤ）の物性

繊維径 (mm)	繊維長 (mm)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
0.16	13	2825	210

表-2　コンクリートの配合

W/C (%)	単位量(kg/m^3)				
	W	C	G	S	Ad
16.5	175	1061	594	610	22.3

表-3　SFRC のフレッシュ性状および圧縮特性

繊維体積混入率 V_f (%)	空気量 (%)	フロー値 (mm)	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
0.5	0.9	745×744	167$^+$	44.6$^+$
1.0	1.2	602×523	172$^+$	44.7$^+$

$^+$：Φ100-200mm シリンダー圧縮試験結果

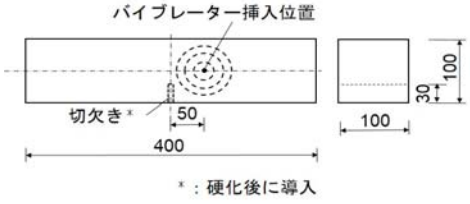


図-1　試験体作製方法（バイブレーターあり）

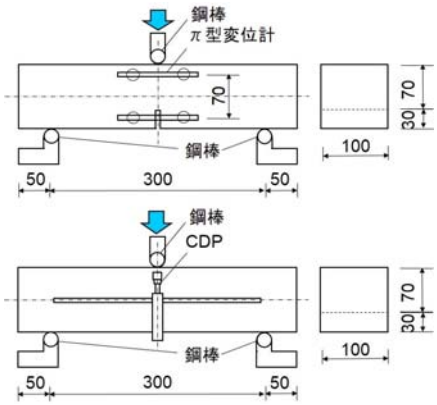
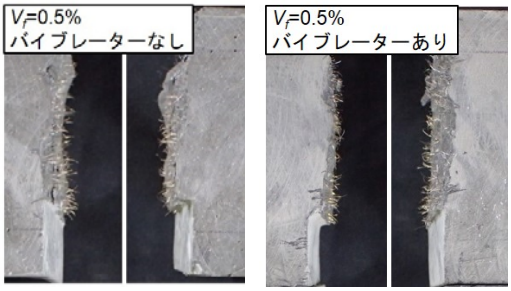
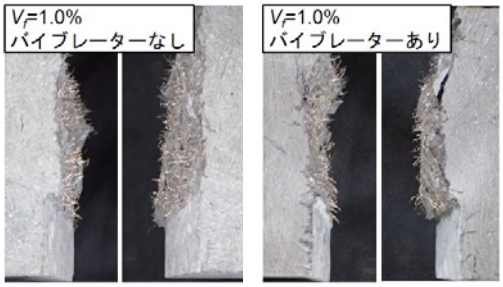


図-2　曲げ試験概要

キーワード　繊維配向性，曲げ性能，曲げ試験，超高強度コンクリート，スチールワイヤ，SFRC
連絡先　〒305-8573　茨城県つくば市天王台 1-1-1　筑波大学　ＴＥＬ029-853-5462

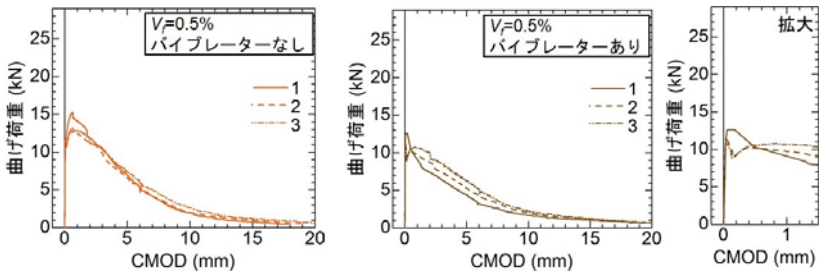


(a) V_f = 0.5%

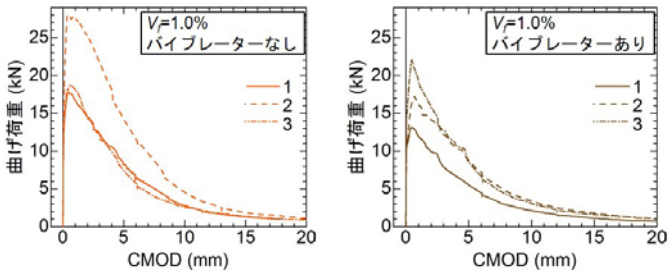


(b) V_f = 1.0%

図-3 曲げ試験終了後のひび割れ面の様子



(a) V_f = 0.5%



(b) V_f = 1.0%

図-4 曲げ荷重－CMOD 関係

ニバーサル試験機を用いて，変位制御により単調載荷を行った．計測項目は，荷重および荷重点たわみ，試験体中央部（100mm）における圧縮側および引張側の軸方向変位である．軸方向変位は，試験体中央部の圧縮側および引張側の位置にそれぞれ固定した，検長 100mm の 2 つのπ型変位計により計測した．

3. 曲げ試験結果

曲げ試験加力終了後のひび割れ面の様子を**図-3**に示す．試験体に導入した切欠き上部からひび割れが発生し，最終的に 1 本の大きなひび割れが開口した．曲げ試験加力終了後のひび割れ面の観察により，バイブレーターありの試験体におけるひび割れ面の繊維は，バイブレーターなしの試験体と比較して，試験体軸直交方向に配向する様子が確認された．

曲げ試験より得られた曲げ荷重－ひび割れ肩口開口変位（CMOD）関係を**図-4**に示す．CMOD は，平面保持を仮定し，π型変位計の測定値から試験体下面における軸方向変形として求めた．ひび割れの開口に伴い，曲げ荷重が増加し最大となった後，徐々に荷重が低下する挙動が見られた．ここで，繊維体積混入率 0.5%，バイブレーターありの試験体において，極めて初期の段階で荷重が最大となった後，一度荷重が低下し，その後再び荷重が増加しピークが現れる挙動をする試験体が確認された．繊維体積混入率 0.5%，バイブレーターありの試験体においては，繊維体積混入率が小さく，かつ，試験体軸方向に対して直交方向に繊維を強制配向させているため，見かけ上の繊維負担応力が小さい．そのため，初めは概ねマトリクスが荷重を受け持ち，マトリクスにひび割れが生じた後，ひび割れ開口に伴い繊維が架橋して荷重を負担し，繊維の架橋性能が発揮されていったと考えられる．

バイブレーター使用の有無による試験結果の比較を行うと，繊維体積混入率 0.5%，1.0%の試験体ともに，バイブレーターありの試験体の強度が，バイブレーターなしの試験体を下回る傾向が見られた．繊維の配向性に伴う架橋性能の差異が，曲げ試験結果に影響を及ぼしていることが推測される．

4. まとめ

繊維配向性が曲げ性能に及ぼす影響を検討した結果，バイブレーターを使用し，ひび割れ発生面における繊維を，試験体軸方向に対して直交方向に強制配向させた試験体は，バイブレーターなしの試験体と比較して，性能が低下することが確認された．

謝辞

本研究は，科学研究助成基金基盤研究（B）課題番号 26289188 によっている．超高強度コンクリートの作製には，株式会社奥村組のご協力を得た．

参考文献

1) 宮口大，渡邉啓介，金久保利之：繊維配向性を考慮した棒状バイブレーターによる HPFRCC の打込み方法，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.265～270，2015.7
2) 日本コンクリート工学会規準 JCI-S-001-2003，「切欠きはりを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法」