

鋼繊維補強コンクリートの流動性と曲げ性能に関する実験的研究

早稲田大学 学生会員 ○影山 卓己, Lim Sopokhem, Ramiz Ahmed Raju, 松田 充弘
早稲田大学 正会員 秋山 充良

1. はじめに

鋼繊維補強コンクリート (SFRC) は、引張力に弱いというコンクリートの欠点を補うばかりでなく、それを用いた部材は、保有耐力や変形能の向上など、通常のコンクリート部材よりも高い構造性能を有すると期待される。しかし、既往の実験研究で報告されているように、部材内の鋼繊維分布は、振動、型枠の形状・配置、あるいは鋼繊維自体の特性の違いなどによる影響を受けるため、極めて不均一であり^{1,2)}、鋼繊維の量を増やしても、期待した構造性能が得られないことがある^{3,4)}。

そこで本研究では、均一な鋼繊維分布を得ることを目的に流動性を高めた鋼繊維補強コンクリート (SCFRC) を作製した。また、曲げ載荷実験も行い、流動性が部材の曲げ性能に及ぼす影響を考察した。

2. 実験概要

切欠き供試体と構造試験体の2種類の供試体を作製した。切欠き供試体は、SCFRC と SFRC の2種類を作製した。鋼繊維量は 20 kg/m^3 、 40 kg/m^3 とした。幅×高さ×長さ=100×150×550 (mm)とし、供試体名は「コンクリート種類((PS(SCFRC), PN(SFRC))), 鋼繊維量, 一番号 (1,2,3)」で表す。図-1 に供試体の打設方法を示す。SCFRC の打設方法は、Vandewalle ら⁵⁾によるものを参考にした。打設の直後に3枚の金属板を挿入することにより、供試体を3つの切欠き供試体に分割した。3つの切欠き供試体は、それぞれ流し込んだ位置から近い順に切欠き供試体1、切欠き供試体2、および、切欠き供試体3とした。養生後28日目に材料試験を行い、また、図-2(a)に示すように切欠き供試体の3点曲げ試験を行った。なお、一般のSFRCを用いる場合には、図-1に示す充填器を用いず、型枠中央部から打設を行った。構造試験体においても切欠き供試体と同様、SCFRC と SFRC の2種類、鋼繊維量を 20 kg/m^3 、 40 kg/m^3 として作製した。幅×高さ×長さ=100×140×1460 (mm)とし、供試体名は「コンクリート種類 ((BS(SCFRC), BN(SFRC))), 鋼繊維量」で表す。養生後28日目に、4点曲げ試験を実施し、曲げ耐力を得た(図-2(b))。

3. 実験結果と考察

図-3 に、PS20 の切欠き供試体の X 線画像を示す。個々の切欠き供試体の断面内での鋼繊維の分布は、かなり均一であり、鋼繊維の配向はコンクリートを流し込んだ方向に平行である。しかし、3つの切欠き供試体の鋼繊維の分布は一樣ではないことが分かる。流し込む位置から遠いほど、鋼繊維

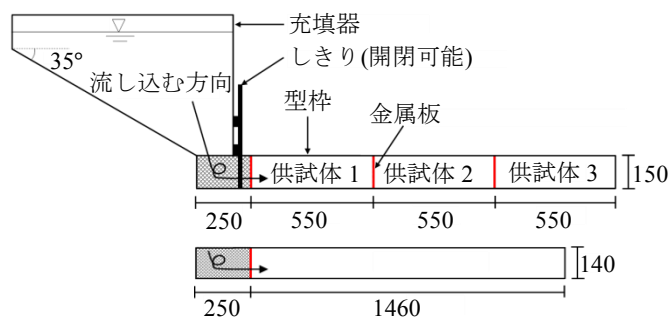


図-1 打設方法 (単位 : mm)

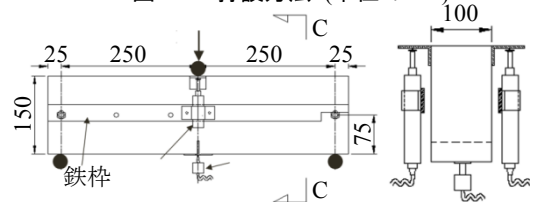


図-2(a) 載荷方法 (切欠き供試体) (単位 : mm)

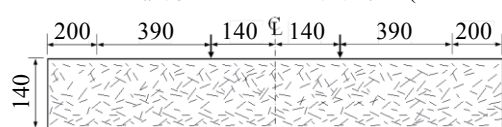
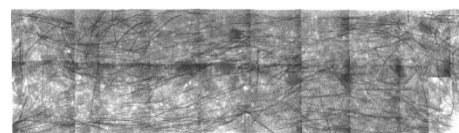
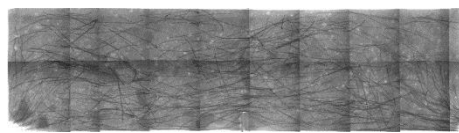


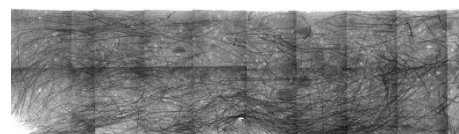
図-2(b) 載荷方法 (構造試験体) (単位 : mm)



(a) PS20-1



(b) PS20-2



(c) PS20-3

図-3 X線画像

キーワード SFRC, SCFRC, 鋼繊維分布, X線撮影, 自己充填コンクリート

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学創造理工学部社会環境工学科 TEL: 03 (5286) 2694

維の量が多い。切欠き供試体の荷重と変位 (P- δ) の関係を図-4 に示す。PS20-3 は、PS20-1 に比べて大きな最大荷重を発現している。PS20-2 は PS20-3 と同様の最大荷重を示すものの、ひび割れ位置での鋼繊維の抜け出しに伴い、脆性的な荷重の低下が生じている。PS40 でも、同様の傾向が得られており、打設位置から遠く離れた場所ほど、鋼繊維の向きは部材軸と平行になる傾向があり、そして、曲げ載荷実験では、大きな荷重の発現が確認された。

図-5 は構造試験体 BS20, BS40, BN40 の曲げ挙動を示している。BS20 は BN40 よりも少ない鋼繊維量であるものの、BS20 の方が優れた曲げ挙動を示した。これは、図-3 の X 線画像に示されるように、流動性の高い SCFRC 供試体では、打設時、コンクリートが型枠に沿って流れる際に鋼繊維が部材軸に平行となり易く、曲げ載荷実験で生じる曲げ引張に抵抗できる鋼繊維量が多いためである。本研究は、基礎実験の段階にあるが、流動性の高いコンクリートの使用は SFRC 部材の性能改善に寄与できる可能性が示唆された。

図-6 に、BS40 の曲げ載荷実験で得られた純曲げ区間内のひび割れ図を示す。BS20 および BN40 には、局所的な 1 つの曲げひび割れしか生じなかった。一方、BS40 には、最初のひび割れ発生から応力の再分配が徐々に生じ、複数の曲げひび割れが発生している。結果として、これが図-5 に示す優れた曲げ挙動をもたらしている。

4. まとめ

本論文では、X 線画像を用いて部材内の鋼繊維分布を可視化することで、コンクリートの流動性が鋼繊維分布の配向に及ぼす影響を実験的に確認した。得られた結論を以下に示す。

- (1) コンクリートの流動性を高めると、鋼繊維の配向は部材軸に沿ったものとなり、これが部材の優れた曲げ挙動をもたらすことを確認した。
- (2) コンクリートの流動性が同じでも、鋼繊維の分布は位置毎に異なり、本実験においては、打設時に最もコンクリートの流れが遅くなった位置（打設点に近い位置）にある部材の鋼繊維分布の配向が最も乱れていた。

謝辞：本実験で使用した鋼繊維は、BEKAERT 社の提供によるものです。また、同社の Gan Cheng Chian 氏と董賀祥博士には、多くのご助言や資料の提供を受けました。高流動コンクリートの製作時には、佐藤工業の宇野洋志城氏、および BASF ジャパンの阿合延明氏にご指導いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Edgington, J. and Hannant, D. J., "Steel Fiber Reinforced Concrete. The Effect on Fiber Orientation of Compaction by Vibration," Materials and Structure, Vol. 5, 1972, pp. 41-44.
- 2) Abrishambaf, A., Barros, A. O. and Cunha, V. M. C. F., "Relation Between Fiber Distribution and Post-Cracking Behaviour in Steel Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete Panels," Cement and Concrete Research, Vol. 51, 2013, pp. 57-66.
- 3) Lim, S., Matsuda, M., Raju, R. A. and Akiyama, M., "Flexural Behavior Prediction of SFRC Beams using Finite Element Method and X-ray Image," JCI Annual Convention, Vol. 39(2), 2017, pp. 1099-1104.
- 4) Lim, S., Okamoto, T., Matsuda, M. and Akiyama, M., "Flexural Behavior Prediction of SFRC Beam: A Novel X-Ray Technique," JCI Annual Convention, Vol. 38(2), 2016, pp. 1351-1356.
- 5) Vandewalle, L., Heirman, G. and Rickstal, F. V., "Fiber Orientation in Self-compacting Fiber Reinforced Concrete," 7th Int. RILEM Symp., 2008, pp. 719-728.

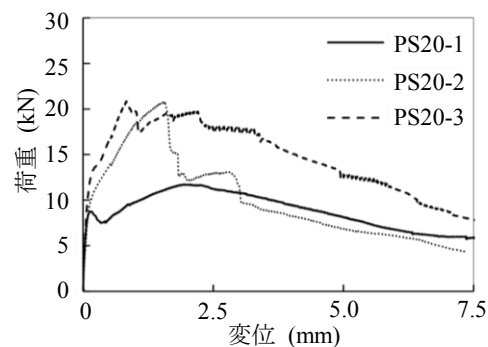


図-4 荷重-変位関係図 (PS20)

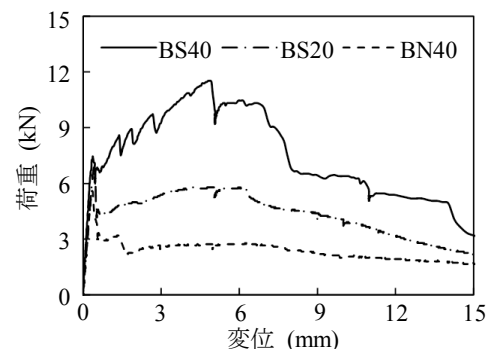


図-5 荷重-変位関係図 (構造試験体)

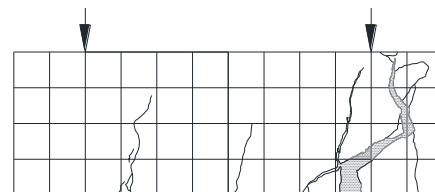


図-6 ひび割れの様子 (BS40)