

鋼繊維分布の X 線撮影と SFRC はりの曲げ耐力に関する実験的研究

早稲田大学 学生会員 ○岡本健弘, Sopokhem Lim

早稲田大学 正会員 秋山充良, 小泉淳

1. はじめに

ひび割れの抑制やコンクリートの剥落防止を目的として鋼繊維補強コンクリート (SFRC) が使用されている。SFRC は靱性に富み、コンクリートのひび割れ発生後のひび割れ進展の抑制およびコンクリートの剥落防止などに有効である。引張抵抗が小さいコンクリート材料の弱点を補うことができるため、通常の鉄筋コンクリート (RC) 部材に対して使用鉄筋量を減らすなどして、コストダウンを図る検討も行われている。一方で、SFRC は打設方法やコンクリートの流動性の違いにより鋼繊維分布が一様にならない不確実性を有する。例えば、通常のはり部材であれば、部材軸方向に対して鋼繊維が水平に配向しているほど曲げに対する大きな抵抗が期待できるが¹⁾、この配向の程度が供試体毎に異なるため、曲げ載荷実験などにより得られる SFRC はりの曲げ耐力のバラツキは RC はりの結果に比べて相当に大きい。この問題に対して、既往の研究では、部材内部の鋼繊維の分布や配向をモデル化することで、曲げ耐力を推定する試みなどが報告されている²⁾。この背景のもと、著者らは X 線技術を SFRC 部材に適用し、予め部材内部の鋼繊維分布を X 線画像から把握することで、部材毎の鋼繊維分布の違いを考慮した耐力推定手法を検討している。

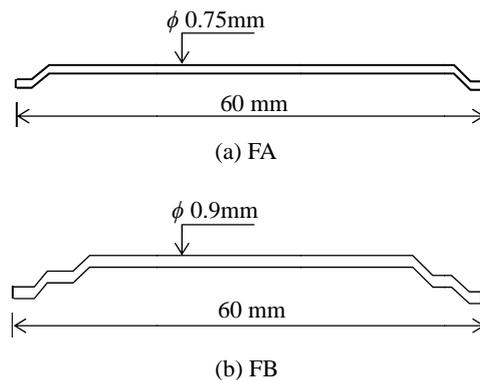


図-1 使用した 2 種類の鋼繊維

本稿では、まずこの基礎検討として、SFRC はりの X 線撮影を行い、あわせてその曲げ載荷実験を行うことで、ひび割れ進展や曲げ耐力の発現と撮影された X 線画像上の鋼繊維分布の関係などについて考察する。

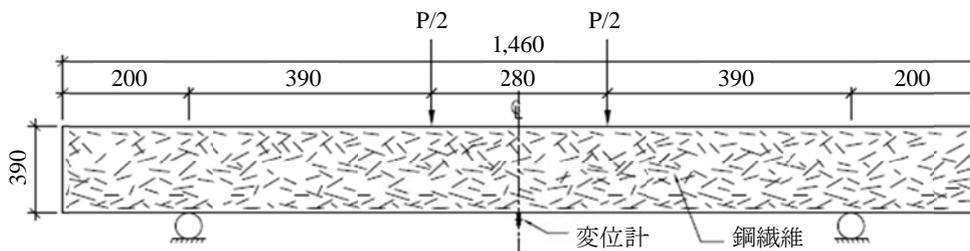


図-2 はりの曲げ載荷の概要

2. SFRC はりの X 線撮影と曲げ試験の概要

実験には、鋼繊維の量と形状が異なる計 8 本の SFRC はり供試体を用いた。用意した供試体の鋼繊維量は 0.5% と 1.1% の 2 種類、鋼繊維形状は図-1 に示す 2 種類であり、同一の供試体をそれぞれ 2 体ずつ作製している。各供試体の寸法は、断面幅 80 mm × 断面高さ 140 mm × 長さ 1460 mm である。曲げ載荷実験は、図-2 に示すように、純曲げ区間 280 mm、せん断スパン 390 mm の 4 点曲げにて行った。図-3 には、SFRC はりを X 線撮影装置にセットした様子を示す。X 線撮影の際、純曲げ区間全体を 14 分割して撮影を行い、撮影後すべての写真を結合して 1 つの X 線画像とした。画像加工の際の誤差により、全ての写真を繋ぎあわせた後の画像は、実際の大きさと完全には一致していない。

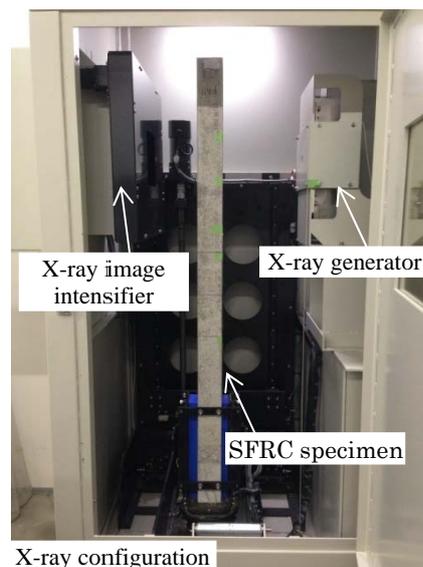


図-3 X 線装置の概要

3. 実験結果と考察

X 線撮影により得られた鋼繊維分布の X 線画像と曲げ実験で観察された曲げひび割れの比較の一例を図-4 に示す。図-4 (a) の X 線画像が示すように、鋼繊維量が 0.5% の供試体は鋼繊維分布の偏りが顕著にあらわれている。図-4 (a)

キーワード SFRC, 鋼繊維分布, X 線撮影, 曲げ耐力

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

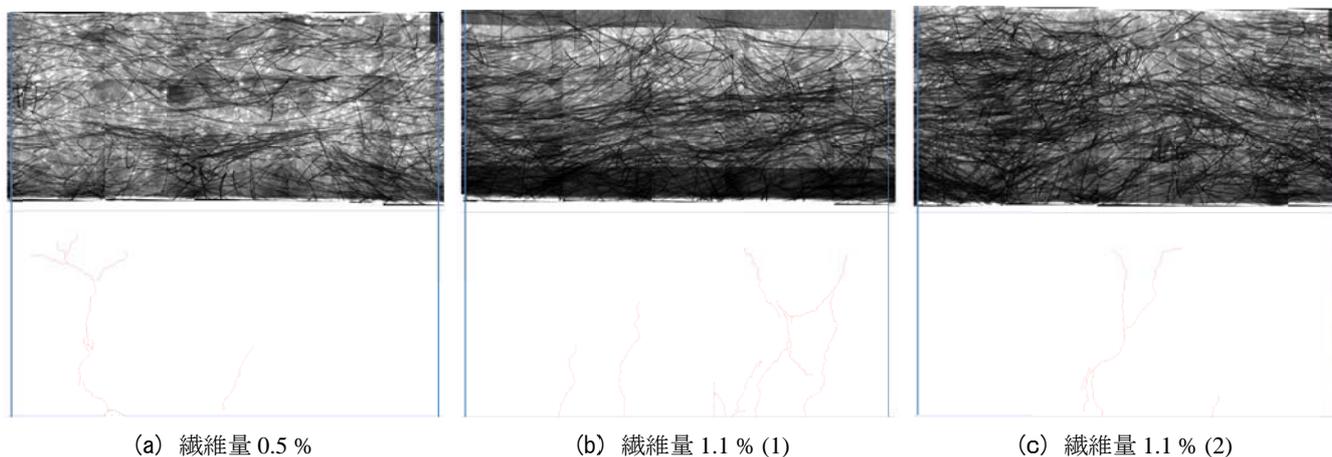


図-4 X線画像とひび割れ状況の例

に示す供試体では特に純曲げ区間左端付近の鋼繊維量が少ない。結果として、図-4(a)に示す SFRC ばかりでは、曲げ載荷実験でその箇所に曲げひび割れが発生した。一方、図-4(b)に示すように、鋼繊維量が 1.1% と多い SFRC ばかりでは、図-4(a)の場合に比べて鋼繊維分布は一様となっており、X線画像において極端に鋼繊維の分布が少ない領域が見受けられないことが多い。この場合、ひび割れは図-4(a)に示すように局所的に発生することはなく、純曲げ区間に多くの曲げひび割れが観察された。これは、X線画像からはひび割れの発生位置を予測することが困難な例である。ただし、図-4(c)に示す供試体は、図-4(b)と同じ鋼繊維量(1.1%)を含んでいるが、X線画像では純曲げ区間の中央付近に鋼繊維量が比較的少ない領域がある。曲げ載荷実験でも、この付近で局所的なひび割れが発生している。

図-5は各供試体の荷重-変位関係を示している。なお、凡例の供試体名は「鋼繊維形状(図-1のFAあるいはFB)、繊維量(0.5%か1.1%) - 番号」である。すべての供試体は、曲げひび割れの発生までは同じ挙動を示し、曲げひび割れの発生後、鋼繊維量が 0.5% の供試体はほとんど荷重の増加が見られないのに対して、鋼繊維量が 1.1% の場合には曲げひび割れが分散しながら荷重が増加した。鋼繊維の形状が曲げ耐力に及ぼす影響は小さいものの、FBを使用した場合には、曲げひび割れ発生後もその荷重の大きさがある程度まで保ち、若干ながらもひび割れ発生荷重よりも荷重が増加している。鋼繊維の形状は耐荷力には大きな影響を及ぼさないが、エネルギー吸収量には影響すると考えられる。FA11-2 供試体のみ鋼繊維量 1.1% にも関わらず鋼繊維量 0.5% の供試体に類似した挙動を示した。鋼繊維量 1.1% の他の 3 つの供試体には、図-4(b)に示す複数の曲げひび割れが観察されたのに対して、FA11-2 は図-4(c)に示す局所的なひび割れ挙動が現れたことが原因と考えられる。今後は、X線撮影から得られる鋼繊維分布の画像のみで FA11-2 と他の 3 つの供試体の曲げ挙動および耐荷力の違いを算定できる手順を確立したい。

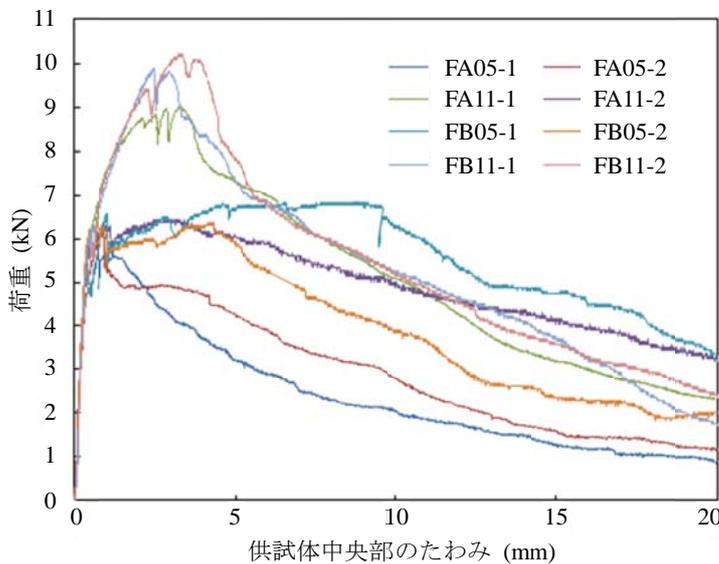


図-5 荷重-変位関係

4. まとめ

本稿では、鋼繊維の量と形状を変えた SFRC ばかり供試体の X線撮影と曲げ載荷実験を行った。X線撮影により得られる鋼繊維の分布と、曲げひび割れの発生個所やひび割れの分散性、あるいは荷重-変位関係との関係などを考察した。今後は、X線画像のみからこの種の構造の曲げやせん断耐力の算定を行うための計算手順を構築したい。

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。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) Stähli, P., Custer, R., van Mier, J.G.M., 2007. On flow properties, fibre distribution, fibre orientation and flexural behavior of FRC, Material and Structures, Vol. 41, 189-196. 2) Prudencio, L., Austin, S., Jones, P., Armelin, H., Robins, P., 2006. Prediction of steel fibre reinforced concrete under flexure from an inferred fibre pull-out response, Material and Structures, Vol. 39. 601-610.