

画像解析を用いた繊維補強セメント系複合材料のひび割れ進展評価

東京工業大学大学院 学生員 ○山本亜沙実
 東京工業大学大学院 正会員 渡辺 健
 東京工業大学大学院 フェロー 二羽淳一郎

1. はじめに

HPFRCC(High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composite)は、一軸引張応力作用下において、複数の微細ひび割れを伴いながら引張応力が上昇する、繊維補強セメント系複合材料である¹⁾。

本研究では、HPFRCCの一軸引張試験を行い、CCDカメラを用いて、ひび割れの進展を捉えることを試みた。そして、得られた画像と応力-ひずみ関係を同期させることで、ひび割れの進展に着目した、HPFRCCの破壊メカニズムの検討を行った。

2. 試験概要

表-1に、HPFRCCの配合を示す。なお、この配合で作製したHPFRCCの圧縮強度は 31.6N/mm^2 であった。図-1に、供試体の形状ならびに寸法を示す。本試験では、供試体 5体の計5体を用意した。

図-2に、計測システムの概要を示す。試験区間における測定項目は、荷重、軸方向の変位および画像である。荷重および軸方向の変位は、高速データロガーにて、1/10秒毎に取得した。一方、画像は、試験区間の中央約60mmを、約80万(1024×768)の有効画素を有するCCDカメラにて、1/30秒毎に撮影した。そして、これら3つの測定項目は、随時、映像・センサデータ同期記録再生装置に記録した。

3. 試験結果

(1)応力-ひずみ関係

図-3に、応力-ひずみ関係を示す。HPFRCC特有の、鋸歯状の応力-ひずみ関係が得られた。応力-ひずみ関係は、傾きの違いに着目して、(a)応力急増型、(b)応力漸増型の2種類に大別することができた。(a)では、ひずみ軟化開始点のひずみ(以下、引張終局ひずみ)が小さくなり、(b)では、増大する傾向が見られた。表-2に、一軸引張特性を示す。ここで、引張降伏強度は、応力-ひずみ関係における凸変曲点のうち、最小荷重を示す点における応力を、引張強度は、応力の最大値を表している。

表-1 HPFRCCの配合(6ℓ)

プレミックス材料(kg)	水(kg)	高性能 AE 減水剤(g)	収縮低減剤(g)	PVA 繊維混入率(Vol.%)
9.38	2.10	101.25	91.88	2.0

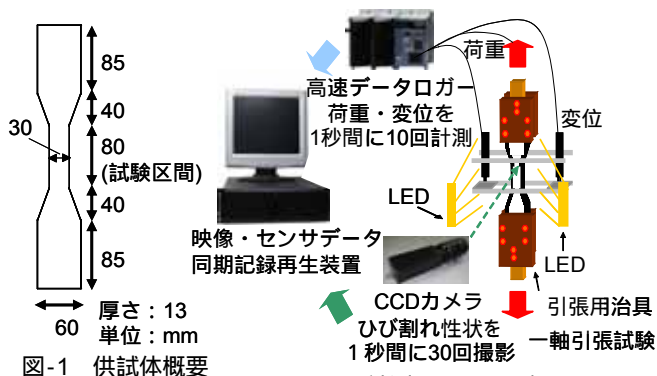


図-1 供試体概要

図-2 計測システムの概要

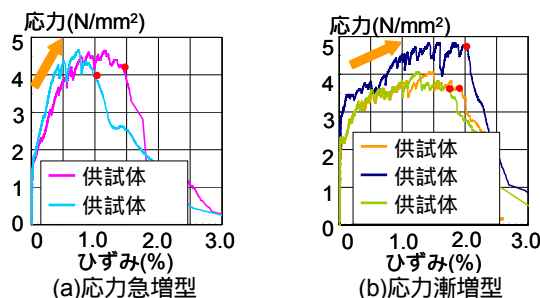


図-3 応力-ひずみ関係(●印:ひずみ軟化開始点)

表-2 一軸引張特性

引張降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	引張終局ひずみ (%)
2.2	4.1	1.7

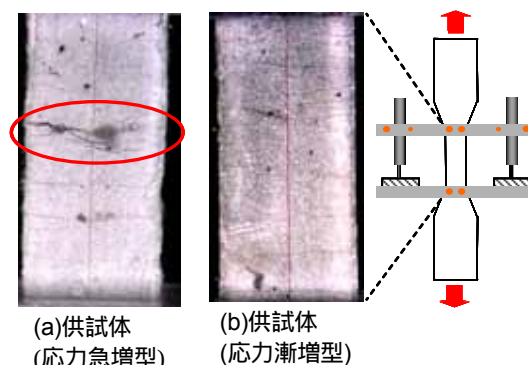


図-4 ひずみ軟化開始点におけるひび割れ分布

(2)応力急増型と応力漸増型のひび割れ性状の違い

図-4に、ひずみ軟化開始点のひび割れ分布を示す。供試体では、ひび割れが図-4(a)の楕円内に集中して発生

キーワード：画像計測、ひび割れ進展、HPFRCC、CCDカメラ、映像・センサデータの同期

連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-17 TEL03-5734-2584 FAX03-5734-3577

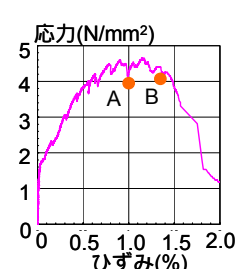


図-5 応力 - ひずみ関係
(応力急増型：供試体)

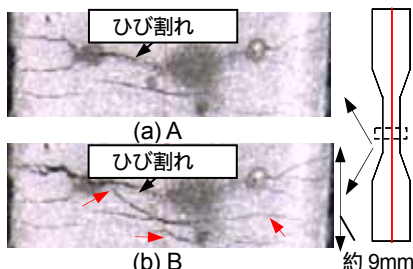


図-6 ひび割れ性状 (供試体)
(矢印：(a)以降に発生したひび割れ)

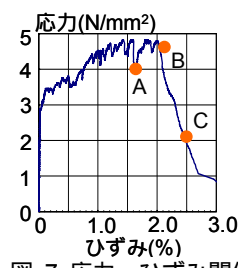
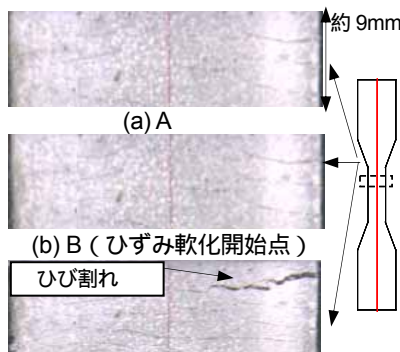


図-7 応力 - ひずみ関係
(応力漸増型：供試体)



(c) C (ひずみ 2.5%時)
図-8 ひび割れ性状 (供試体)

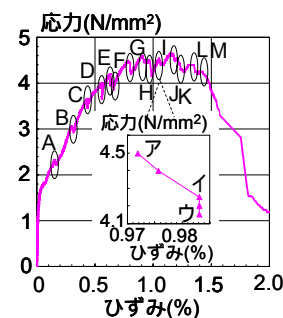


図-9 応力低下箇所
(応力急増型：供試体)

表-3 各応力低下箇所におけるひび割れ性状の変化

A	1本のひび割れが拡幅
B	1本のひび割れが発生・進展
G	1本のひび割れが発生・進展し、別のひび割れが拡幅
I	1本のひび割れが発生・進展
J, K, L, M	既存の大きなひび割れ付近で複数のひび割れが拡幅

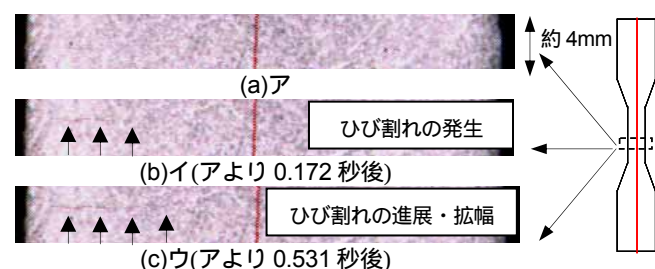


図-10 応力低下箇所Iにおけるひび割れ性状の変化

しているのに対し、供試体では、微細なひび割れが試験区間全域に発生していることが確認できる。

図-5に、供試体の応力 - ひずみ関係を示す。また、図-6に、図-5中に示した点A, Bにおける、供試体のひび割れ性状を示す。なお、同図は、最終破断箇所(ひび割れ)を中心に撮影したものである。図-6(b)では、図-6(a)と比較して、ひび割れの周囲に多数のひび割れが発生している。すなわち、上述したひび割れの集中は、ひずみ軟化が開始する直前のA~B間で生じていたことが確認できた。また、図-6(b)では、図-6(a)において発生

していた複数のひび割れが拡幅しており、特にひび割れでは、変化が顕著に表れている。

一方、図-7に、供試体の応力 - ひずみ関係を、また、図-8には、図-7中に示した点A~Cにおける、供試体のひび割れ性状を示す。図-8(a), (b)より、供試体では、ひずみ軟化開始点の直前においても、ひび割れ性状の明確な変化は見られなかった。また、図-8(c)に示す、最終破断箇所であるひび割れは、ひずみ軟化開始点以前では、発生を確認することができなかった。

(3) 応力低下箇所におけるひび割れ性状の変化

図-9に、供試体の応力 - ひずみ関係において、応力が急激に低下した、A~Mの13箇所を示す。各応力低下箇所において、応力低下開始時・終了時の画像を比較した。その結果、表-3に示す8箇所では、ひび割れ性状の変化が確認できた。特に、応力の低下は、ひび割れの進展・拡幅・その両方に由来していることがわかった。また、応力の低下は、1本のひび割れあるいは複数のひび割れの相互作用に起因していることも確認できた。

また、図-9には、応力低下箇所Iの応力 - ひずみ関係の拡大図を併せて示している。この拡大図に示すとおり、Iでは変曲点が見られる。応力低下開始点を“ア”，変曲点を“イ”，応力低下停止点を“ウ”とし、図-10に、各点におけるひび割れ性状を示す。同図より、ひび割れがア~イ間で発生し、その後イ~ウ間で進展・拡幅していることが確認できた。

4. 結論

- (1) 本試験では、応力急増型・応力漸増型の2種類の応力 - ひずみ関係が得られた。ひずみ軟化開始点の画像より、前者では、ひび割れがある領域に集中して発生し、後者では、ひび割れは試験区間全域にわたって発生していることが確認できた。
- (2) 応力急増型供試体のひび割れの集中は、最終破断箇所付近にて、ひずみ軟化の開始直前に生じていた。
- (3) CCDカメラを用いて、HPFRCCのひび割れ進展を捉えた結果、応力 - ひずみ関係における応力の低下は、1本または複数のひび割れが発生・進展・拡幅したことに起因した現象であることがわかった。

謝辞 本研究で用いたHPFRCCならびに型枠は、(株)鹿島建設よりご提供頂きました。深く謝意を表します。

参考文献：1)土木学会：コンクリートライブラリー127 複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料設計・施工指針(案)，2007.3