

超強度繊維補強セメント系材料の圧縮破壊挙動に関する高速度画像計測

神戸大学 学生会員 ○渡邊大基

神戸大学 正会員 三木朋広

太平洋セメント 正会員 河野克哉

1. はじめに

超強度繊維補強コンクリートの急激に進展する圧縮破壊現象を理解するためには、破壊に至る瞬間を計測することが重要である。本研究は、高速度カメラとデータロガーを用いて急激に進展する破壊現象をとらえ、圧縮強度と繊維補強の有無が破壊進展にどのような影響を及ぼすかについて検討することを目的とする。円柱供試体に対して圧縮載荷試験を行い、実験より得られた画像を用いて、いくつかの破壊基準を設けることで供試体によって異なる破壊進展を比較した。

2. 実験概要

供試体は直径 50mm、高さ 100mm の円柱であり、3種類の材料を用意した。1 つは市販のプレミックス粉体を使用した超強度繊維補強コンクリート (UFC) であり、残りの 2 つは最密充填となる粉体構成とした超強度セメント硬化体¹⁾の試作供試体 (CPC) と、それと等しい材料構成の供試体 (CPC2) である。表 1 に示す条件のもと、UFC に関しては繊維混入率の有無の 2 つの条件に対してそれぞれ 3 体、CPC, CPC2 に関してはそれぞれの条件に対して 1 体の円柱供試体を対象として、油圧式 2000kN 万能試験機を用いて圧縮載荷試験を行った。

本研究では、急激に進展する圧縮破壊挙動を計測するために、高速度カメラ (8000fps) とデータロガー (20000fps) を用いた。撮影時間は 3.488 秒、つまり 27904 フレームの画像、69760 個のデータを得た。

3. 実験結果

圧縮強度において、前出の表 1 に示すように、どの供試体においても高い圧縮強度を示した。

また、いずれの供試体においても非常に脆性的な破壊挙動を示したが、破壊に至る性状は供試体条件によってそれぞれ異なるものであった。そこで、破壊の種類を大まかに以下の 4 つに分類した。図 2 に特徴が顕著な破壊挙動を示した 4 つの供試体の画像を示す。1

表 1 供試体概要

供試体概要	繊維混入率 (%)	水結合材比 (%)	吸水処理	圧縮強度 (MPa)
UFC-14-NF	0	14	なし	251.7*
UFC-14-2F	2	14	なし	217.5*
CPC-NF	0	17	なし	296.4
CPC-2F	2	17	なし	288.5
CPC-1FB	1	13	あり	357.2
CPC2-NF	0	14	なし	320.3
CPC2-2F	2	14	なし	328.5

つは図 1 (1) のように、載荷軸方向に発生した割裂ひび割れが供試体全体に伝播し広がるような破壊挙動を示したもので、CPC, CPC2 に特に見られたものである。2 つ目は、同図 (2) のように破壊が一部に集中し、破裂し潰れるような破壊挙動を示したものである。このような破壊挙動を示したのは UFC-14-2F, CPC2-2F のみであった。3 つ目は同図 (3) のように割裂ひび割れ、横ひび割れなどが直線的に発生し、ひび割れが広がっていく破壊挙動を示したもので、UFC-14-NF においてよく見られた。最後の 4 つ目は、同図 (4) のように上部にひび割れが網羅的に亀甲状に広がり、供試体が折れるような挙動を示したものである。いずれの供試体においてもこれらの破壊形状のいずれか 1 種類、または 2 種類の破壊形状が複合的に発生するような破壊挙動を示した。

載荷試験において得た荷重の経時変化を図 2 に示す。すべての供試体多少違いはあるが、図 2 において見られように、ある時点から急激に荷重が落ちる挙動を示した。ただし、UFC14-2F のみ一旦、徐々に荷重が落ちてから、一気に変化するという挙動を示した。これは、繊維補強の影響で徐々にひび割れが発生したことが原因であると考えられる。

キーワード 超強度繊維補強コンクリート、高速度画像計測、圧縮破壊、高速度カメラ

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 大学院工学研究科市民工学専攻 TEL 078-803-6094

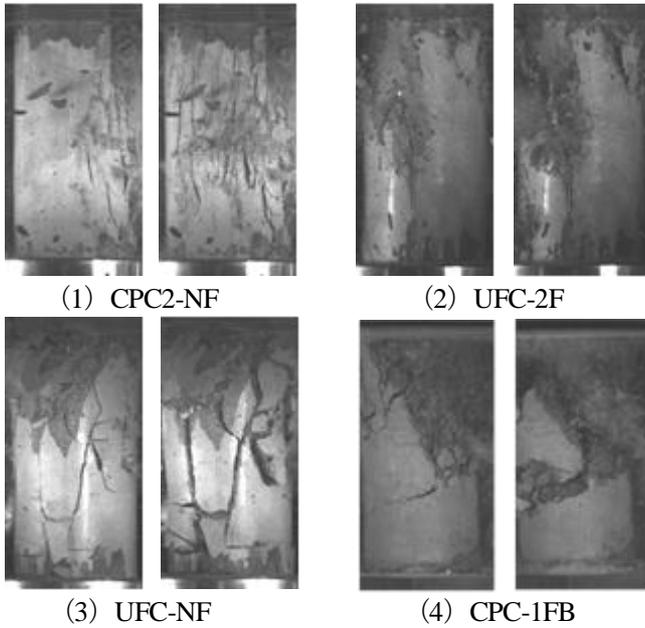


図1 破壊の種類

4. 画像時間と画像解析による着目点変位の関係

圧縮強度、繊維補強の有無の違いが圧縮破壊挙動に与える影響を評価ため、まず、荷重軸直行方向の横方向ひずみが増大した時の画像を破壊基準し、それぞれの供試体の破壊進展速度を比較する。図3は画像時間と圧縮強度の関係を示したものである。画像時間は、脆性的な破壊に直結するひび割れ発生直後の画像から、破壊基準の画像に至るまでの枚数に、1フレームあたりの時間 125 μ 秒を乗じた時間である。図3より、圧縮強度が大きいとひび割れ進展が速くなる傾向があることがわかる。UFC、CPC2において2FがNFよりも画像時間が短いのは、繊維補強の影響で部分的に潰れるような破壊挙動を示したため、ひび割れが発生してから供試体が膨張するまでの時間が短くなったことが原因であると考えられる。

次に CPC2-NF、CPC2-2F、それぞれ1体の供試体において、供試体上端の荷重板に印をつけ、画像解析を用いて、破壊に至る瞬間の変位を高速撮影画像から求めた。横軸の時間は、基準画像を中心とした合計100枚(0.0125秒間)の連続した撮影画像に、1フレームあたりの時間 125 μ 秒を乗じたもので、100枚のうちの最初の画像の時間を0secとしている。また、縦軸の画素は、供試体の荷重軸方向の変形に相当する、撮影範囲の下端から、印をつけた箇所までの画素数を表している。それぞれの結果を図4に示す。図4より、CPC2-NF、CPC2-2Fのどちらの供試体においても直線的な変化をしていることがわかる。ただし、変位の変化量はCPC2-2Fのほうが若干小さいことから、CPC2

において繊維が供試体の荷重軸方向の変位の増大を抑制していると考えられる。

5. まとめ結論

3種類の超高強度繊維補強コンクリートの非常に脆性的な破壊現象をとらえ、破壊に至る瞬間の画像と荷重データを得ることができた。破壊に至る画像を用いて着目点変位を比較した結果、強度が高い供試体の破壊進展が速く、供試体 UFC、CPC2 において繊維補強の影響が大きいことがわかった。

参考文献

1) 河野克哉, 中山莉沙, 多田克彦, 田中敏嗣: 450N/mm²以上の圧縮強度を発現するセメント系材料の製造方法と硬化組織の変化, コンクリート工学年次論文集, Vol. 38, No.1, pp.1443-1448, 2016

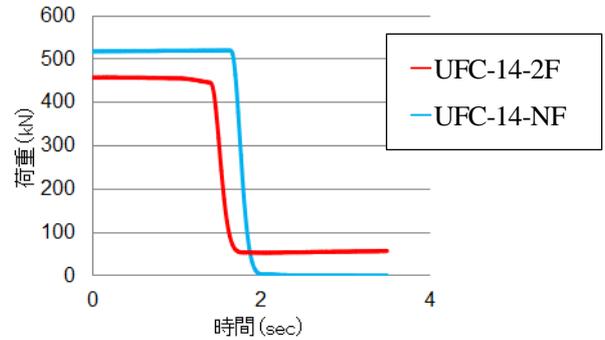


図2 荷重の経時変化

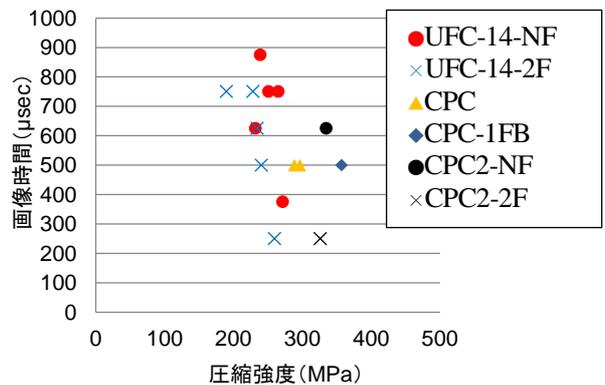


図3 画像時間と圧縮強度

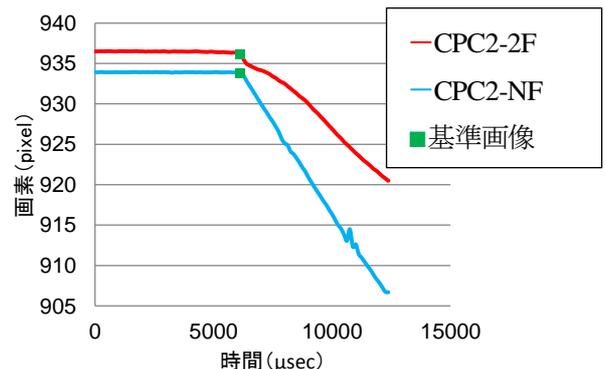


図4 着目点変位