

第V部門

世界最高レベルの圧縮強度を有する超高強度繊維補強コンクリートの
圧縮破壊挙動の高速度計測

神戸大学 学生会員 ○渡邊 大基

神戸大学 正会員 三木朋広

1. はじめに

非常に脆性的な圧縮破壊挙動を示す超高強度繊維補強コンクリートの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破壊する瞬間をとらえ、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とデータを用い、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速度を比較した。

2. 実験概要

供試体はすべて直径 50mm、高さ 100mm の円柱である。材料は大きく分けて 2 種類用意し、1 つは市販のプレミックス粉体を使用して作成された超高強度繊維補強コンクリート (D)、もう 1 つは近年開発された超高強度繊維補強コンクリート¹⁾の実験段階として作製されたもの (UFC) である。表 1 に示す条件のもと、供試体 D に関しては 2 つの条件に対してそれぞれ 3 体ずつ、供試体 UFC に関してはそれぞれの条件に対して 1 体ずつ、合計 13 体の円柱供試体を、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、爆裂するような圧縮破壊挙動を示す供試体を計測するために、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、よって 27904 フレーム、69760 個のデータを得ることになる。また、供試体を均等に明るく映すために LED 照明を 2 つ、飛び散る破片を防ぐためのプラスチックカバーを用いるなど、撮影環境を工夫した。

3. 実験結果

まず圧縮強度において、供試体 D に関しては約 200~250MPa、供試体 UFC に関しては約 250~350MPa という結果となり、どの供試体においても高い圧縮強度を示した。

次に高速度カメラにより得られた画像において、すべての供試体のひび割れ進展の違いを比較し、破壊の種類を大まかに 4 つに分類した。図 1 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 つは D14-NF のように、徐々に縦ひび割れが発生し進展するような破壊挙動を示したもの、2 つめは、D14-2F のように破壊が一部に集中し、潰れるような破壊挙動を示したもの、3 つめは UFC13-NF のように急激にあら

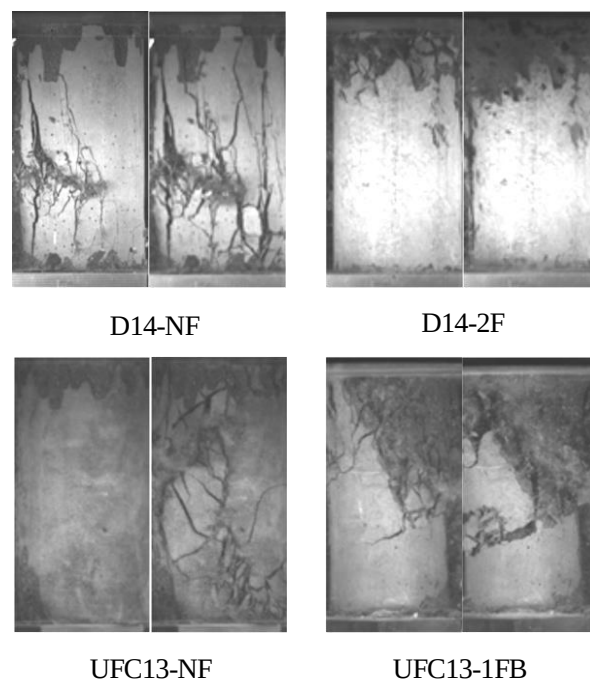


図 1 破壊に至る瞬間の画像

表 1 供試体条件

供試体名称	纖維混入率(%)	水結合材比(%)	加熱処理	
D14-NF	0	14	×	
D14-2F	2			
UFC13-NF	0	13		○
UFC13-1F	1			
UFC13-NFB	0		17	×
UFC13-1FB	1			
UFC17-NF	0	17	×	
UFC17-2F	2			
UFC20-2F	2	20		

ゆる方向にひび割れが進展する破壊挙動を示したものの、そして4つめが、UFC13-1FBのように上部にひび割れが網羅的に広がり、折れるような破壊挙動を示したものである。どの供試体もおよそこの4つのうちのどれかに当てはまる破壊挙動を示したが、2つめのような破壊挙動を示したのはD14-2Fのみであった。

最後にデータロガーより得られた荷重データを図2に示す。すべての供試体多少違いはあるが図2のようにある点から急激に荷重が落ちる挙動を示した。すべての供試体の中でD14-2Fのみ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。

4. 破壊基準の設定

圧縮強度、繊維補強の有無の違いが、圧縮破壊挙動にどのような影響を及ぼすか比較するため、画像と荷重データの2つの観点から破壊基準を定義した。荷重データによる破壊基準は、図に示すように荷重が落ち始める直前直後の500個のデータを用い、荷重が急激に落ち始める直前の点を基準点とした。画像による破壊基準は、供試体の左右の横ひずみが増大したときの画像を基準とした。

5. 破壊進展速度に与える強度、繊維補強の影響

図3は荷重データの荷重速度と圧縮強度の関係を示したものである。荷重速度は、基準点直後に急激に低下する荷重の時間変化を、基準点以降1000個のデータを線形近似することで求めた傾きである。図3より、強度が高いほど荷重速度が速く、ほぼきれいな直線を描いていることがわかるが、D14-2Fのみ供試体の原型が残ったことが原因で、強度に対して荷重速度が小さい値となった。供試体UFCにおいては顕著な繊維補強の影響は見られなかった。

図4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 秒を乗じたものである。図4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。強度が最も低いD-2FがD-NFよりもひび割れ進展が速いのは、繊維補強の影響で部分的に潰れるような破壊挙動を示すので、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いことが原因であると考えられる。供試体UFCに関

しては、繊維補強の有無に関係なく、強度の高い供試体ほど画像時間が短くなるという結果となった。

6. 結論

2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、撮影環境を工夫することで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。荷重データを用いた場合も、破壊に至る画像を用いた場合も、強度が高い供試体の破壊進展が速く、供試体Dのみ繊維補強の影響が大きかった。

参考文献

- 1) 中山莉沙, 河野克哉, 多田克彦: 圧縮強度 460MPa を発現する超高強度セメント硬化体の開発, 土木学会第70回年次学術講演会, V-303, pp.605-606, 2015.9.

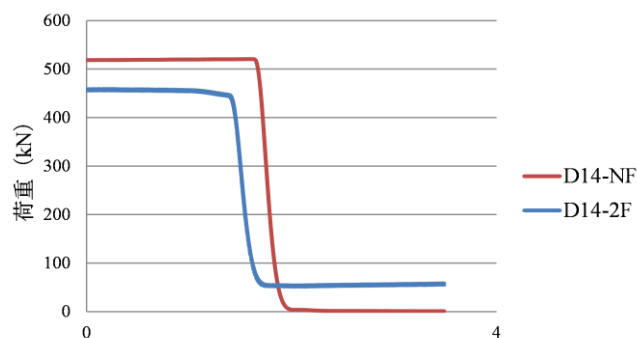


図2 荷重の経時変化

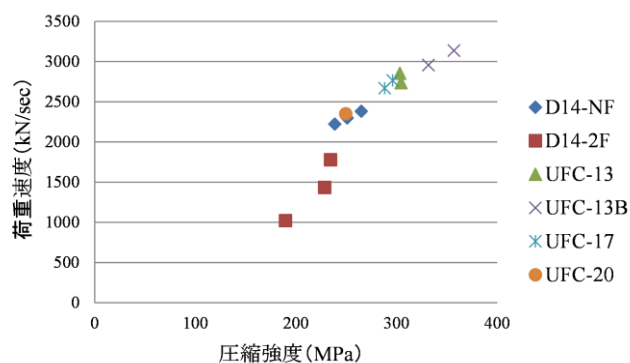


図3 荷重速度と圧縮強度

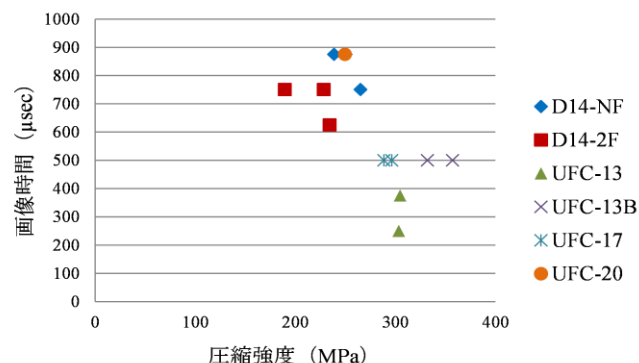


図4 画像時間と圧縮強度