

超高強度繊維補強コンクリートの動的圧縮特性に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○山口 啓 片岡 新之介
正会員 別府 万寿博 市野 宏嘉 大成建設(株)武者 浩透

1. 緒言

近年、超高強度繊維補強コンクリート(UFC)が高い耐衝性を示すことが確認されており、動的圧縮強度特性に関する研究が行われている¹⁾。しかし、 10^0 1/s を超える高ひずみ速度下における動的強度特性については、未解明の点が多い。本研究は、UFC の高ひずみ速度下における動的圧縮強度特性について検討を行ったものである。

2. 実験の概要

表-1 に、UFC の配合を示す。配合には、図-1 に示す標準配合粉体に、鋼繊維およびポリビニルアルコール(PVA)繊維を混入した。表-2 に、各繊維の力学特性を示す。繊維の混入率は、PVA 繊維は 3vol%，鋼繊維は 1vol% および 2vol% とし、比較のため、繊維を混入していない試験体(0vol%) も作製した。円柱供試体の寸法は、 $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ とした。なお、繊維混入率 0vol%，鋼繊維 1vol%，2vol% および PVA 繊維試験体の静的一軸圧縮強度の平均値は、それぞれ 121, 139, 166 および 115N/mm^2 である。

図-2 に、試験体の設置要領を示す。荷重試験は、油圧サーボ式の急速荷重試験装置を用いて、静的および荷重速度 4m/s の動的荷重試験を行った。荷重は、試験体の上下に設置したロードセルで計測し、試験体の両側に長さ 60mm のひずみゲージを貼付してひずみを計測した。試験体の変形量は、レーザー式変位計(分解能 $0.5\mu\text{m}$)を試験体の左右に設置して計測した。

図-3 に、スプリット・ホプキンソン圧力棒(SHPB)試験装置を示す。図に示すように、同心軸上に並んだ入力棒と出力棒(共に直径 $100\text{mm} \times$ 長さ 3000mm)の間に供試体を挟み、打撃棒(直径 $100\text{mm} \times$ 長さ 600mm)を入力棒に衝突させ、供試体に応力波を伝播させて動的な荷重を与えた。この SHPB 法により、ひずみ速度 10^1 (1/s)における UFC の強度特性を求めた。

3. 実験結果および考察

図-4 に、静的および動的荷重試験における円柱供試体の破壊性状を示す。繊維混入率 0vol% の試験体は、静的および動的のいずれも縦方向のひび割れが生じている。一方で、繊維混入率 2vol% の鋼繊維の試験体は、繊維混入率および荷重速度によらず、試験体の下側が圧壊する傾向を示した。繊維混入率 1vol% および PVA 繊維の試験体についても同様の破壊性状を示しており、繊維の拘束による影響を受けて破壊モードが変化したものと考えられる。

キーワード ひずみ速度効果, 超高強度繊維補強コンクリート, 動的圧縮特性, 動的倍率

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL: 046-841-3810 E-mail: beppu@nda.ac.jp

表-1 UFCの配合

繊維種類	繊維混入率	単位量(kg/m ³)				
		繊維	標準配合粉体	細骨材	水	高性能減水剤
鋼繊維	0 vol%	-	1322	932	152	28
	1 vol%	78.5				
	2 vol%	157				
有機繊維	3 vol%	39				

表-2 繊維の寸法および引張強度

繊維種類	直径(mm)	長さ(mm)	引張強度(N/mm ²)
鋼繊維	0.2	15	2800
有機繊維	0.3	15	1050

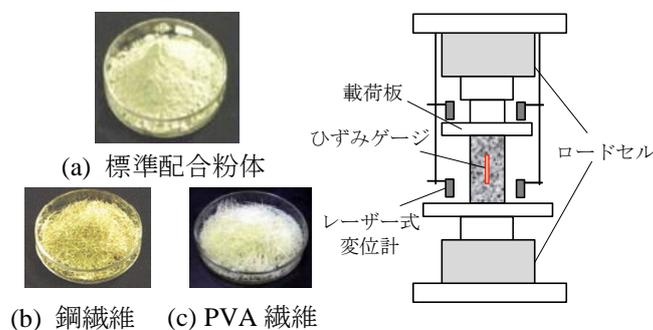


図-2 試験体の設置要領

図-1 UFCの材料

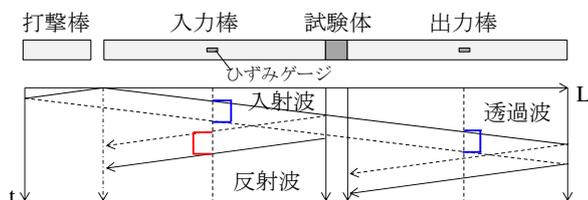


図-3 SHPB法の概要

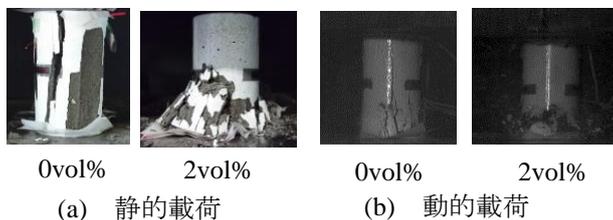


図-4 円柱供試体の破壊性状

図-5 に、繊維混入率 0vol% および鋼繊維 2vol% のケースにおける応力～ひずみ関係を示す。繊維混入率 0vol% の静的（ひずみ速度 $10^{-5}1/s$ ）圧縮強度は $121.3N/mm^2$ であり、ひずみ速度 $10^01/s$ においては $221.1N/mm^2$ に増大した。鋼繊維 2vol% については、静的圧縮強度は $166N/mm^2$ であったが、ひずみ速度 $10^01/s$ においては $224N/mm^2$ であった。

図-6 に、静的载荷試験、動的载荷試験および SHPB 法試験によって得られた圧縮強度およびヤング係数の動的倍率～ひずみ速度関係を示す。なお、動的倍率とは、静的载荷で得られた値に対する動的载荷による値の比を示す。ひずみ速度については、ひずみゲージにより計測したひずみ～時間関係から、圧縮強度点の 1/3 の点から圧縮強度点までのひずみの勾配から算出した。また、SHPB 法においては、応力とひずみの対応に不整合が生じるため、ヤング係数の検討は行っていない。図-6(a)に示す圧縮強度の動的倍率から、ひずみ速度の増大に伴い、いずれの種類の実験体も圧縮強度の動的倍率は増大する傾向を示した。既往の研究において、藤掛らは鋼繊維混入率 2vol% の試験体に対し、ひずみ速度 $10^{-5} \sim 10^01/s$ における圧縮強度およびヤング係数の動的倍率について以下に示す回帰式を提案している¹⁾。

$$\frac{f'_{cd}}{f'_{cs}} = \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_s} \right)^{\alpha \log_{10} \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_s} \right)} \quad (1) \quad \frac{E_d}{E_s} = \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_s} \right)^{0.005} \quad (2)$$

ここに、 f'_{cs} および f'_{cd} は静的および動的圧縮強度、 $\dot{\epsilon}_s$ および $\dot{\epsilon}$ は静的および動的ひずみ速度、 E_s および E_d は静的および動的ヤング係数、 α は定数で、0.006 である。

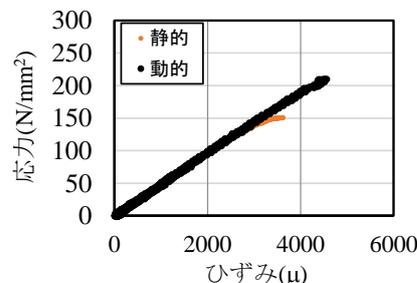
図から、本研究における鋼繊維混入率 2vol% の結果と比較すると、藤掛らの実験結果よりも小さくなり、藤掛らの回帰式における定数 α を 0.005 とすると、本研究の実験結果と一致した。また、繊維混入率 0vol% のケースは、ひずみ速度 $10^0(1/s)$ 以降において、他のケースと比較して大きくなる傾向を示した。図-6(b)に示すヤング係数の動的倍率については、载荷速度および繊維の種類によらずほぼ同様の値を示しており、藤掛らの実験結果についても同様の傾向を示しており、本研究の実験結果と一致している。

4. 結言

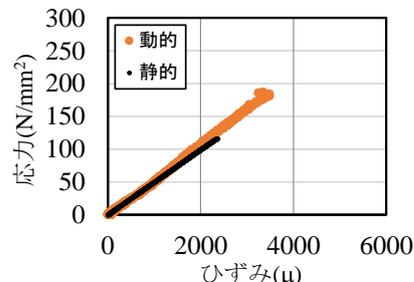
本研究は、UFC の動的圧縮強度特性について実験的な検討を行ったものである。その結果、鋼繊維および PVA 繊維のケースでは、繊維の拘束により、繊維の混入率および载荷速度によらず、試験体の下側が圧壊する破壊を示した。圧縮強度の動的倍率は、载荷速度の増大に伴って大きくなる傾向を示し、藤掛らの回帰式の傾向とほぼ同様の傾向を示すことがわかった。また、繊維混入率 0vol% のケースは、ひずみ速度 $10^0(1/s)$ 以降において、他のケースと比較して大きくなる傾向を示した。一方で、ヤング係数については载荷速度および繊維の種類によらず、ほぼ同様の値を示すことがわかった。

参考文献

1) 藤掛一典, 津田和彦, 大野友則, 下山善秀, 片桐誠: 高速度の三軸圧縮载荷を受ける鋼繊維補強高強度モルタルの動的特性に関する研究, 土木学会論文集, Vol.55, No.704, pp.37-53, 2001.3

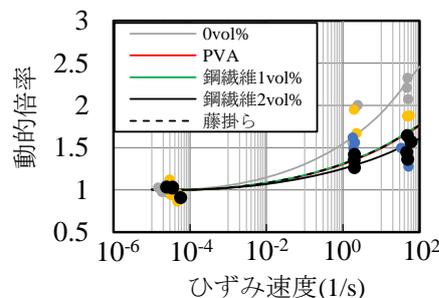


(a) 繊維混入率 0vol%

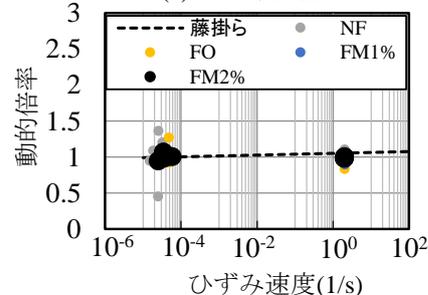


(b) 繊維混入率 2vol%

図-5 応力～ひずみ関係



(a) 圧縮強度



(b) ヤング係数

図-6 動的強度倍率～ひずみ速度関係