

SHPB 法によるポリビニルアルコール短繊維補強コンクリートの
動的一軸圧縮強度に関する実験的検討

防衛大学校 学生会員 ○岩根 利浩 正会員 別府 万寿博 市野 宏嘉
株式会社クラレ 正会員 小川 敦久

1. 緒言

衝撃荷重を受けるコンクリート構造物に対する補強法の一つとして、短繊維補強コンクリート(FRC)の適用が考えられる。FRC を用いた合理的補強法を確立するためには、高ひずみ速度下における力学的特性を把握することが必要である。既往の研究では、ひずみ速度 $10^0/s$ 以下における動的圧縮試験は行われている¹⁾が、高ひずみ速度下($10^1\sim10^2/s$)における研究例は極めて少ない。本研究は、ポリビニルアルコール短繊維補強コンクリート(以下、VFRC という)に対するスプリットホプキンソン棒法圧縮試験(以下、SHPB 法という)を行い、高ひずみ速度下における圧縮強度の増加率について調べたものである。

2. 実験の概要

(1) SHPB 法試験

SHPB 法の概要を図-1 に示す。同心軸上に並んだ入力棒と出力棒(共に直径 100mm×長さ 3000mm)の間に供試体を挟み、打撃棒(直径 100mm×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負荷を与える。入出力棒を伝播する応力波によるひずみは入出力棒に貼付したひずみゲージにより計測され、これにより供試体に生じる応力が求められる。供試体の平均応力 $\bar{\sigma}(t)$ 、平均ひずみ速度 $\dot{\bar{\epsilon}}(t)$ 、平均ひずみ $\bar{\epsilon}(t)$ は、一次元応力波理論に基づき、式(1)~(3)で表される。

$$\bar{\sigma}(t)=\frac{E}{2}\{\epsilon_i(L,t)+\epsilon_R(L,t)+\epsilon_T(L+L_s,t)\}$$
 (1)

$$\dot{\bar{\epsilon}}(t)=\frac{c}{L_s}\{\epsilon_i(L,t)-\epsilon_R(L,t)-\epsilon_T(L+L_s,t)\}$$
 (2)

$$\bar{\epsilon}(t)=\frac{c}{L_s}\int_0^t\{\epsilon_i(L,t)-\epsilon_R(L,t)-\epsilon_T(L+L_s,t)\}dt$$
 (3)

ここに、E：入・出力棒のヤング係数、 ϵ_i ：入射波によるひずみ、 ϵ_R ：反射波によるひずみ、 ϵ_T ：透過波によるひずみ、t：時間、c：入・出力棒の縦弾性波速度、L：入・出力棒の長さである。

(2) 供試体

試験に用いた円柱供試体の寸法は、直径 100mm×高さ 100mm である。材料は、プレーンコンクリート(PC)と VFRC である。表-1 に、PC および VFRC に使用した材料を、写真-1 および表-2 にそれぞれ繊維として用いたポリビニルアルコール短繊維の外観および力学特性を示す。短繊維は、体積比 1%でコンクリートに混入した。また表-3 に、材料の配合表と空気量試験およびスランプ試験の結果を示す。静的圧縮強度は PC で 48.8N/mm²、VFRC で 43.0N/mm²であった。

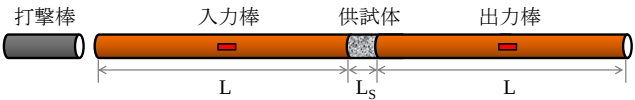


図-1 SHPB 法の概要

表-1 使用材料

記号	材料	仕様
C	セメント	普通ポルトランドセメント
W	水	水道水
S1	細骨材	砕砂 表乾密度2.57(g/cm ³)
S2	細骨材	海砂表乾密度2.59(g/cm ³)
G1	粗骨材	砕石2015 表乾密度2.62(g/cm ³)
G2	粗骨材	砕石1505 表乾密度2.62(g/cm ³)
F	繊維	ビニロンクラチック RF4000/30 クラレ製
SP	混和剤	高性能AE減水剤 SP8N BASFジャパン製



写真-1 短繊維の外観

表-2 短繊維の力学特性

直径 (mm)	長さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)
0.66	30	880	29	1.3

キーワード SHPB 法、短繊維補強コンクリート、ひずみ速度効果、動的圧縮強度

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 TEL 046-841-3810 E-mail:em55044@nda.ac.jp

表-3 PC および VFRC の示方配合

名称	繊維の 混入率(%)	W/C	S/a	単位量(kg/m ³)								空気量 (%)	スランプ (cm)
				C	W	S1	S2	G1	G2	F	SP		
PC	0	0.55	0.60	358	197	696	299	304	371	—	3.58	3.6	24.5
VFRC	1	0.55	0.60	358	197	696	299	304	371	26.0	2.69	4.6	11.0

表-4 試験結果

ケース	PC						VFRC					
	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
最大応力(N/mm ²)	84.5	61.9	80.1	67.5	73.3	73.5	68.7	78.7	65.1	84.3	75.6	74.5
ひずみ速度(1/s)	11.8	15.5	16.0	17.9	17.8	15.8	20.5	15.7	19.2	18.1	21.9	19.1
動的圧縮強度倍率	1.73	1.27	1.64	1.38	1.50	1.51	1.60	1.83	1.51	1.96	1.76	1.73



(a) PC



(b) VFRC

図-2 破壊性状

3. 実験結果および考察

打撃棒の衝突速度を約 8~10m/s に設定して, PC, VFRC とともに 5 回ずつ SHPB 法試験を行った. 図-2 に, PC および VFRC の破壊性状を示す. 図から, PC の方が VFRC よりも脆性的な破壊性状を示すことがわかる.

図-3(a)に, VFRC 供試体で得られた応力時刻歴波形の一例を示す. SHPB 法では, 供試体が破壊する際に軸方向応力が一様であることを前提としているが, 図から時間の進展とともに入力棒側応力と出力棒側応力の差が小さくなり, 供試体内の応力がほぼ一様となり最大応力を示していることがわかる. また, 平均応力の最大値は 68.7N/mm²であった. 図-3(b)にひずみおよびひずみ速度の時刻歴波形を示す. 図から, 最大応力時のひずみは 4256 μ , ひずみ速度は 20.5/s であった. 静的圧縮強度が 43.0N/mm²であるため, 動的圧縮強度倍率を静的圧縮強度に対する動的圧縮強度の比とすると, 動的圧縮強度倍率は 1.60 倍と求められる.

表-4 に試験結果を, 図-4 にひずみ速度に対する動的圧縮強度倍率を示す. 図中には, PC に対する CEB/FIP Code²⁾による PC の動的圧縮強度倍率を併せて示している. 図から, PC の試験結果は CEB/FIP Code と一致していることがわかる. また, ひずみ速度約 20/s に対する PC, VFRC の動的圧縮強度倍率の平均値はそれぞれ 1.51 倍, 1.73 倍, 標準偏差はそれぞれ 0.19, 0.08 となり, VFRC の動的圧縮強度倍率は PC よりも約 22%大きくなり, PC の方が結果のばらつきが大きくなった.

4. 結言

本研究は, SHPB 法を用いて, ひずみ速度約 20/s における VFRC の動的圧縮試験を行ったものである. 実験の結果, ひずみ速度約 20/s において, VFRC の動的圧縮強度倍率が, PC よりも約 22%大きいことがわかった.

参考文献

- 1)別府万寿博, 小川敦久, 高橋順: 剛飛翔体の高速衝突を受ける短繊維補強コンクリート板の耐衝撃性能, 土木学会論文集, Vol.70, No.2, pp180-193, 2014
- 2)CEB/FIP, “CEB/FIP Model Code for Concrete Structure”, 1990, pp.48-51.

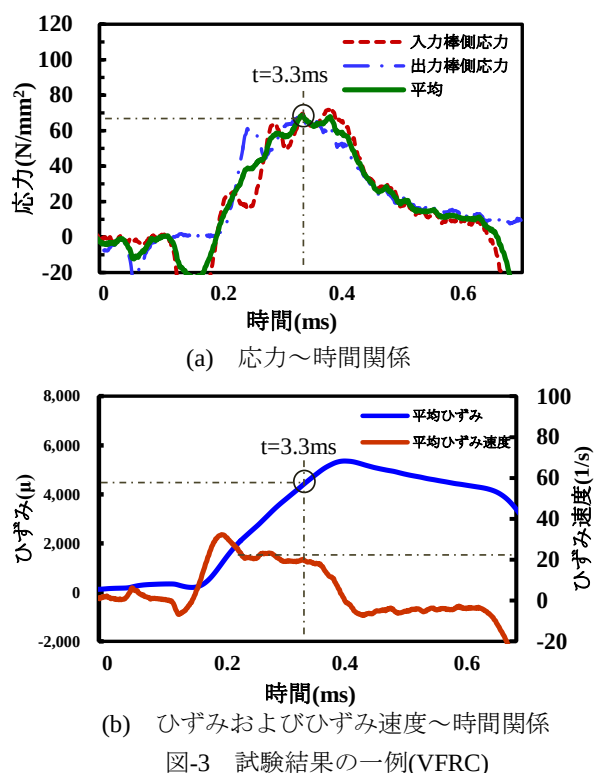


図-3 試験結果の一例(VFRC)

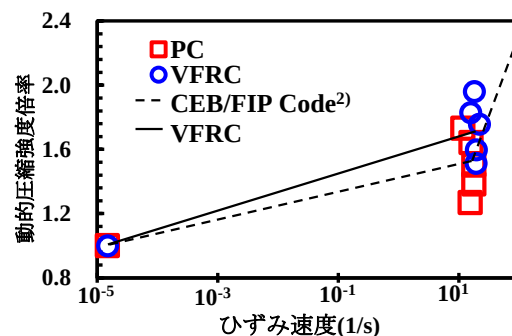


図-4 動的圧縮強度倍率とひずみ速度の関係