

高速衝突を受ける繊維補強セメント系複合材料板の局部破壊に関する考察

防衛大学校 学生会員 ○上野 裕稔 正会員 別府 万寿博
(株)クラレ 正会員 小川 敦久

1. 緒言

コンクリート部材に飛散物等が高速度で衝突すると、曲げ破壊やせん断破壊など部材の全体破壊だけでなく、飛翔体の衝突部近傍において局部破壊(表面破壊、貫入、裏面剥離および貫通)が発生することがわかっている。したがって、社会的に重要な構造物は、全体破壊だけでなく、これらの局部破壊に対しても設計法や補強方法を確立する必要がある。本研究は、3種類の繊維補強セメント系複合材料板に対する高速衝突実験を行い、繊維補強セメント系複合材料板の局部破壊について検討したものである。

2. 高速衝突実験の概要

実験は、図-1 に示す高圧空気式飛翔体発射装置を用いて行った。写真-1 に鋼製剛飛翔体を示す。飛翔体は、先端形状が半球形で、質量 50g、直径 25mm であり、ナイロン製の固定具に取り付けて発射される。試験体の寸法は縦 50cm×横 50cm、板厚 6cm で、木製の治具および L 型クランプを用いて上下 2 辺を固定した。表-1 に、本研究で用いた繊維補強セメント系複合材料板に混入されている短繊維の種類および材料特性を示す。PPFRC はポリプロピレン繊維(PP)、VFRC および DFRC はビニロン繊維(PVA-1、PVA-2)で補強したものである。PP および PVA-1 はコンクリートに、PVA-2 はモルタルにそれぞれ体積比で 2%混入している。各試験体の圧縮強度は、約 43N/mm² である。実験は、各試験体の破壊モードが貫通となるまで、速度を 200m/s、250m/s、300m/s および 400m/s と変化させた。実験ケースの一覧を表-2 に示す。PPFRC および VFRC は 4 ケース、DFRC は 3 ケースの合計 11 ケースの実験を行った。

3. 実験結果および考察

3. 1 破壊性状

図-2 に、実験による破壊・損傷の一例として、衝突速度 300m/s における各繊維補強セメント系複合材料板の破壊性状を示す。PPFRC、VFRC および DFRC の破壊モードは、それぞれ貫通、裏面剥離および表面破壊となった。

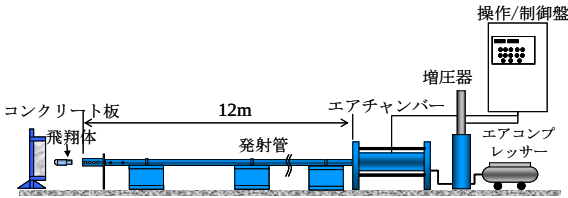


図-1 高圧空気式飛翔体発射装置の概要

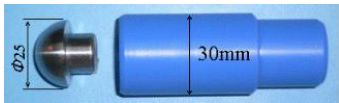


写真-1 鋼製剛飛翔体

表-1 短繊維の材料特性

種類	直径 (mm)	長さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)
PP	0.7	30	500	10	0.91
PVA-1	0.66	30	900	23	1.30
PVA-2	0.1	12	1,200	28	1.30

表-2 実験ケース及び結果

番号	実験ケース名	設定速度 (m/s)	計測速度 (m/s)	板厚 (cm)	破壊モード
1	PPFRC-1	200	198.62	6	表面破壊
2	PPFRC-2	200	186.92	6	表面破壊
3	PPFRC-3	250	250.62	6	表面破壊
4	PPFRC-4	300	294.74	6	貫通
5	VFRC-1	200	207.97	6	表面破壊
6	VFRC-2	250	244.78	6	表面破壊
7	VFRC-3	300	296.77	6	裏面剥離
8	VFRC-4	400	407.69	6	貫通
9	DFRC-1	250	241.66	6	表面破壊
10	DFRC-2	300	289.9	6	表面破壊
11	DFRC-3	400	408.32	6	貫通

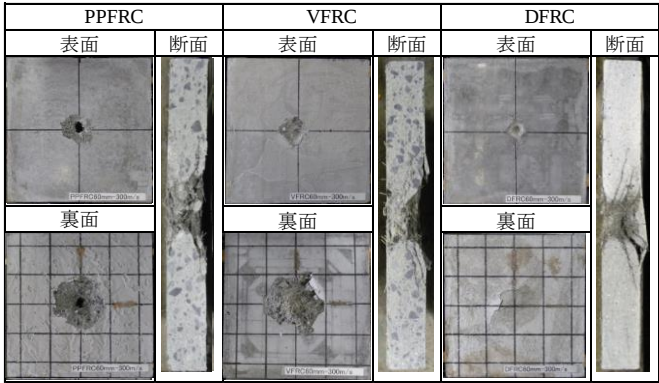


図-2 各試験体の破壊性状(300m/s)

キーワード：高速衝突、繊維補強セメント系複合材料、局部破壊、裏面剥離、貫通

連絡先：〒239-8686 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

すなわち、DFRC,VFRC,PPFRC の順に耐衝撃性が高いことがわかる。PPFRC では、表面破壊と裏面剥離が繋がって、貫通孔が生じていることがわかる。VFRC では、断面を見ると裏面の外側に2〜3本の斜めひび割れが発生していることがわかる。また、DFRC では、断面内の斜めひび割れとともに、裏面に膨らみが生じ、一部に亀裂が発生して裏面剥離片を形成しようとしている。しかし、繊維補強セメント系複合材料の架橋効果によって剥離が抑制されたため、裏面剥離限界になったものと考えられる。

3. 2 裏面剥離及び貫通限界板厚の評価について

図-3 に、本実験および塩見ら²⁾の実験による板厚 8cm の繊維補強セメント系複合材料板の破壊モードを示す。図中に修正 NDRC 式で算出したプレーンコンクリート板の裏面剥離および貫通限界板厚を示す。また、裏面剥離限界板厚に低減係数 α および貫通限界板厚に低減係数 β を乗じた限界板厚を示す。PPFRC 板、VFRC 板および DFRC 板の破壊モードに適合する低減係数を検討したところ、それぞれ($\alpha=0.85$, $\beta=1.00$), ($\alpha=0.75$, $\beta=0.90$)および($\alpha=0.70$, $\beta=0.90$)となった。すなわち、PPFRC 板、VFRC 板および DFRC 板の裏面剥離限界板厚は、プレーンコンクリート板と比べて、それぞれ約 15%, 25%, 30%低減する。また、VFRC 板および DFRC 板の貫通限界板厚は、プレーンコンクリート板と比べて約 10%低減することがわかる。なお、PPFRC 板については、貫通限界板厚の向上は認められなかった。神田ら³⁾の高速一軸引張試験によると、ひずみ速度が大きくなるほど、VFRC および DFRC の破壊エネルギーが増加するが、PPFRC は低下する傾向があることが報告されている。つまり、ひずみ速度が大きくなると、PPFRC の破壊エネルギーが低下するため、貫通抵抗が向上しなかったものと考えられる。

4. 結言

本研究は、3 種類の繊維補強セメント系複合材料板に対する高速衝突実験を行い、繊維補強セメント系複合材料板の局部破壊について検討した。PPFRC 板、VFRC 板および DFRC 板の裏面剥離限界板厚は、プレーンコンクリート板と比べてそれぞれ約 15%, 25%, 30%低減することがわかった。VFRC 板および DFRC 板の貫通限界板厚は、プレーンコンクリート板と比べて約 10%低減するが、PPFRC 板の貫通限界板厚は低減しないことがわかった。

参考文献

- 1) R.P.Kennedy : A review of procedures for the analysis and design of concrete structure to resist missile impact effects, Nuclear Engineering and Design, 37, pp.183-203, 1976
- 2) 塩見恭平, 別府万寿博, 高橋順, 小川敦久 : 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に関する研究, 第 38 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 2011.3.3
- 3) 神田健介, 別府万寿博, 小川敦久, 高橋順 : 短繊維補強セメント複合材料の動的引張特性に関する実験的研究, 第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 2013.3

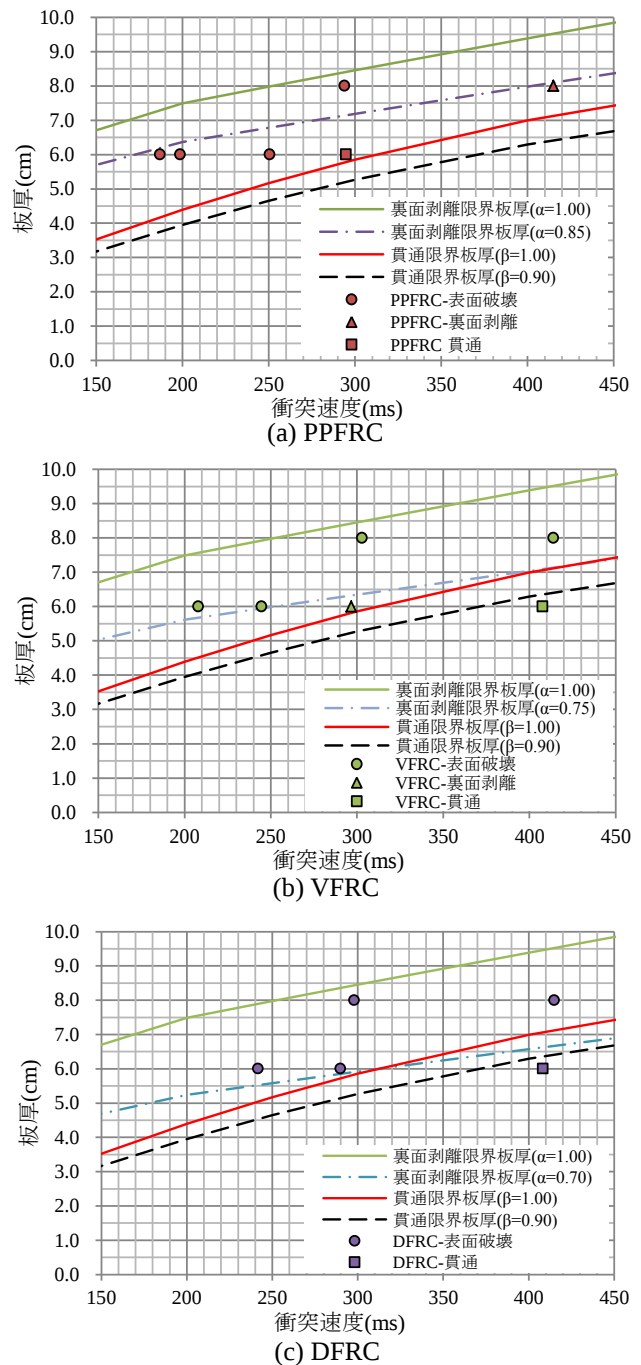


図-3 裏面剥離および貫通限界板厚の比較