

高速衝突を受ける PVA 繊維補強セメント系複合材料板の 局部破壊抑制効果に関する検討

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に対しては、全体破壊だけでなく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、ポリビニルアルコール(PVA)繊維を用いた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、局部破壊の抑制効果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 46g、直径 25mm である。試験体は、寸法が縦 50cm×横 50cm、板厚 6cm である。表-1 に、短繊維の材料特性を示す。短繊維は、ポリビニルアルコール繊維である PVA-1 および PVA-2 を用いた。表-2 に実験ケースの一覧を示す。VFRC および DFRC は PVA-1 および PVA-2 で補強した繊維補強セメント系複合材料である。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。実験パラメータは衝突速度であり、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。VFRC 板は4ケース、DFRC 板は3ケースの合計7ケースの実験を行った。計測項目は、破壊モードならびに貫入深さである。貫入深さは、表面から破壊によって生じた凹みの一番深い位置までの距離を計測した。

3. 実験結果および考察

3. 1 実験結果

表-2 に各ケースの破壊モードを示す。また図-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。衝突速度 300m/s における破壊モードは、VFRC 板が裏面剥離、DFRC 板が表面破壊となった。すなわち、DFRC 板は、VFRC 板より局部破壊を抑制する効果が高いことがわかる。図を見ると、DFRC 板では、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

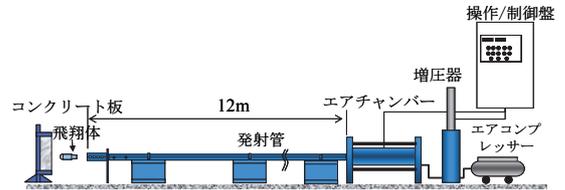


図-1 高圧空気式飛翔体発射装置の概要



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 (N/mm ²)	密度 (g/cm ³)
PVA-1	0.66	30	900	23	1.30
PVA-2	0.10	12	1,200	28	

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	VFRC-1	200	207.97	6	表面破壊
2	VFRC-2	250	244.78	6	表面破壊
3	VFRC-3	300	296.77	6	裏面剥離
4	VFRC-4	400	407.69	6	貫通
5	DFRC-1	250	241.66	6	表面破壊
6	DFRC-2	300	289.9	6	表面破壊
7	DFRC-3	400	408.32	6	貫通

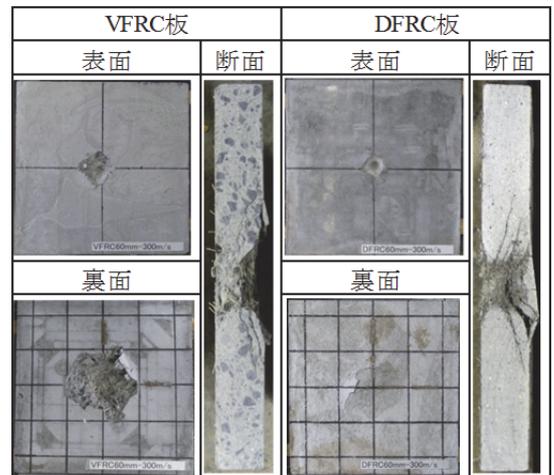


図-2 各試験体の破壊性状(300m/s)

キーワード：高速衝突, PVA 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

片を形成しようとしている。しかし、DFRC 板に含まれている細く短いPVA-2 繊維が高いひび割れ分散効果を発揮したことによって剥離が抑制され、裏面剥離限界になったものと考えられる。

3. 2 貫入深さ

図-3 に、各繊維補強セメント系複合材料板における貫入深さを示す。なお、プレーンコンクリート板の貫入深さは、三輪らの提案する評価法¹⁾により算出した。図から、全ての材料において、衝突速度の増加とともに貫入深さが大きくなっていることがわかる。プレーンコンクリート板と各繊維補強セメント系複合材料板を比較すると、貫入深さの差は最大で約 5%であり、両者の貫入深さはあまり変わらないことがわかる。

3. 3 裏面剥離及び貫通限界板厚の評価

図-4 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、修正 NDRC 式³⁾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、各繊維補強セメント系複合材料板の実験結果に適合するように、裏面剥離限界板厚および貫通限界板厚にそれぞれ低減係数 α , β を乗じた曲線を示す。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 ($\alpha=0.75$, $\beta=0.90$) および ($\alpha=0.70$, $\beta=0.90$) となった。すなわち、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 25%および 30%低減することがわかる。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、繊維補強セメント系複合材料では裏面剥離限界板厚と貫通限界板厚の差が小さくなる特徴が認められる。これは、繊維補強セメント系複合材料は裏面剥離を抑制するため、裏面剥離時の貫入深さがプレーンコンクリートよりも大きくなり、両限界板厚の差が小さくなったものと考えられる。

4. 結言

本研究は、ポリビニルアルコール繊維を用いた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抑制効果について検討した。VFRC 板および DFRC 板は、プレーンコンクリート板と比べて、裏面剥離限界板厚をそれぞれ約 25%および 30%、貫通限界板厚を約 10%低減することがわかった。また、繊維補強セメント系複合材料では裏面剥離限界板厚と貫通限界板厚の差が小さくなることがわかった。

参考文献

- 1) 三輪幸治, 別府万寿博, 大野友則, 伊東雅晴, 片山雅英: 改良理論モデルによるコンクリート板の局部破壊評価法, 土木学会論文集 A, Vol.65, No.4, pp.844-858, 2009.10
- 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) R. P. Kennedy: A review of procedures for the analysis and design of concrete structures to resist missile impact effects, Nuclear Engineering and Design, 37, pp.183-203, 1976

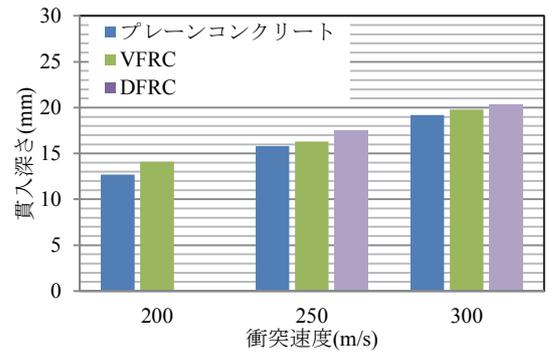
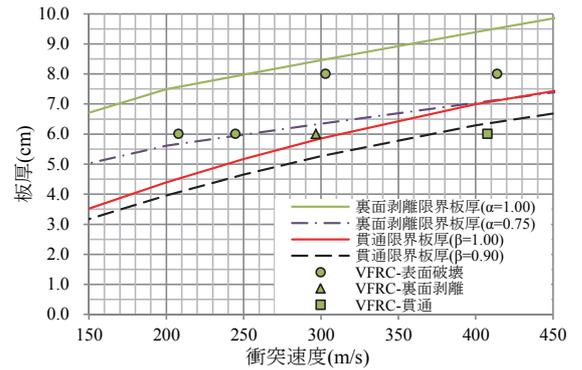
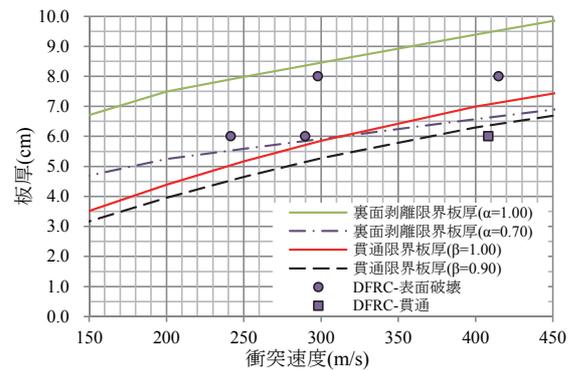


図-3 貫入深さ



(a) VFRC 板



(b) DFRC 板

図-4 裏面剥離および貫通限界板厚の比較