

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実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○塩見 恭平 正会員 別府 万寿博
正会員 電気化学工業(株) 高橋 順 (株)クラレ 小川 敦久

1. 序言

近年、不測の爆発事故や爆破テロが世界的に頻発している。これらの災害により発生する高速度の飛散物が構造物に衝突すると、構造物や人命などへ被害が生じることが報告されている。高速飛翔体からコンクリート構造物を防護するためには、局部破壊に対する耐衝撃設計法や補強方法の確立が必要である。本研究は、短繊維補強したコンクリート板供試体に対し高速衝突実験を行い、短繊維補強によるコンクリート板の耐衝撃性の向上効果を調べたものである。

2. 実験の概要

(1) 実験装置および計測項目

実験は、図-1 に示す高圧空気式飛翔体発射装置¹⁾を用いて行った。写真-1 に飛翔体の概要を示す。鋼製飛翔体の先端形状は半球であり、質量 50g、直径 25 mm である。この飛翔体を専用の固定具に取り付けて空気圧により発射した。コンクリート板は縦 50cm×横 50cm、板厚は 8cm および 10cm の 2 種類であり、上下 2 辺を固定して発射管出口から 1m の位置に写真-2 のように設置した。板厚 8cm のコンクリート板については、衝突速度 300m/s および 400m/s で実験を行った。板厚 10cm のコンクリート板については衝突速度を 300m/s とし、コンクリート板内部に図-2 に示すひずみ計測装置を埋め込み、ひずみ応答を計測した。支点反力は、コンクリート板裏面の四隅にロードセルを設置し計測した。

(2) 短繊維補強コンクリートの力学特性

使用した短繊維は、ポリプロピレン繊維(以下、PP)とビニロン繊維 2 種類(以下、DFRC、VFRC)の計 3 種類である。各繊維の力学特性を表-1 に示す。これより、短繊維はいずれも引張強度が大きいことがわかる。とくに DFRC 繊維は、直径、長さともに最も小さく、引張強度に関しては最も大きい特徴がある。これらの繊維を体積比で 2% 混入した、短繊維補強コンクリートはり供試体に対する曲げ試験で得られた曲げ応力～載荷点変位関係を図-3 に示す。この図から、全ての供試体の曲げ剛性や強度はほぼ等しいことがわかる。しかし、短繊維補強コンクリートは曲げ強度後に大きなエネルギー吸収能力を示している。

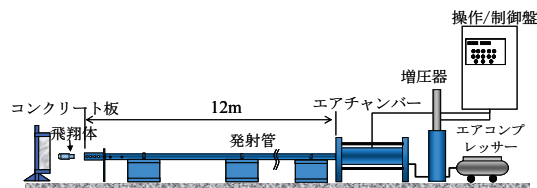


図-1 高圧空気式飛翔体発射装置

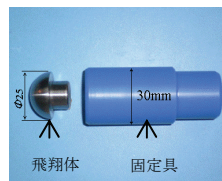
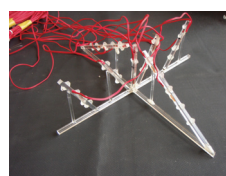


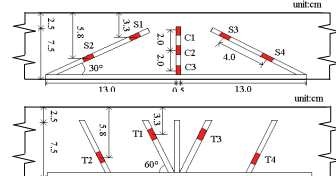
写真-1 飛翔体



写真-2 コンクリート板の設置状況



(a) ひずみ計測装置



(b) ひずみゲージの設置位置

図-2 ひずみ計測装置の概要

表-1 短繊維の力学特性

短繊維	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)
PP	0.7	30	500	10000	0.91
VFRC	0.66	30	900	23000	1.3
DFRC	0.1	12	1200	28000	1.3

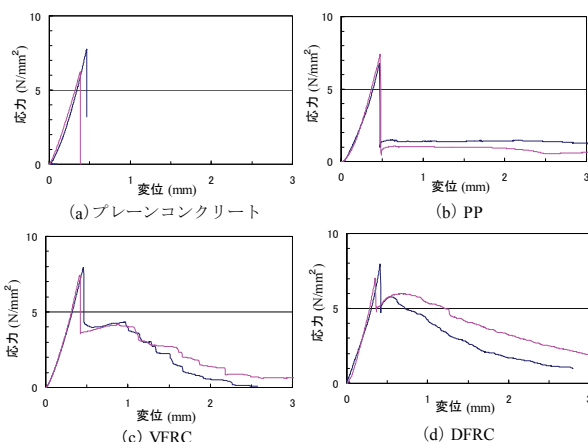


図-3 曲げ試験で得られた応力～変位関係

キーワード：高速衝突、短繊維補強コンクリート、局部破壊

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 Fax:046-844-5913

3. 実験結果および考察

図-4 に板厚 8 cm, 衝突速度 300m/s の場合に生じた各供試体断面の破壊状況を示す。これより, プレーンコンクリート板は裏面が完全に剥離しているが, その他の短繊維補強コンクリート板は斜め方向のひび割れが発生する程度であった。すなわち, 短繊維補強コンクリート板はプレーンコンクリートとほぼ等しい剛性・強度であるにも関わらず, 短繊維の補強効果によりひび割れの開口, 進展が抑制されていることがわかる。

図-5 に, プレーンコンクリートのひずみ～時間関係を示す。図の原点は, コンクリート板の衝突部に貼付したひずみゲージが応答を始めた時刻である。図中には示していないが, ロードセルはひずみ応答が収束した後の時刻 $t=0.7\text{ms}$ において反応を開始したため, 支点反力は局部破壊に影響していないと言える。ひずみ T1 は, 時刻 $t=0.05\text{ms}$ においてコンクリートの引張限界ひずみである 200μ を示した後に最大引張ひずみ 7200μ を示しており, ひずみ T1 の位置においてひび割れが生じていることを示している。ひずみ T2 は時刻 $t=0.26\text{ms}$ において最大引張ひずみ 3400μ を示している。これは, ひずみ T1 に発生したひび割れがひずみ T2 へ進展したものと考えられる。

図-6 に, DFRC 繊維補強コンクリートにおけるひずみ～時間関係を示す。これより, ひずみ S, T シリーズともにプレーンコンクリートと同様の波形を示しているが, ひずみ T1 の最大引張ひずみは 1250μ であり, 引張ひずみが明らかに低下している。T2 においてもひずみが抑制され, 最大引張ひずみは 960μ であった。すなわち, 短繊維はコンクリート内部に発生する引張ひずみを大幅に抑制する効果があると言える。

各供試体のひずみ T1 に生じた最大引張ひずみの比較を図-7 に示す。これより, 短繊維補強コンクリートは, プレーンコンクリートに対して 42%～85%低下することがわかる。図-3 と比較すると, 曲げ強度後の吸収エネルギーが大きいほど, 最大引張ひずみが小さいことがわかる。

図-8 に短繊維による補強メカニズムを模式的に示す。鋼製飛翔体が高速衝突すると, コンクリート板内部に圧縮, 引張ひずみが生じる。コンクリート板に発生したひび割れは, 斜めの方向に進展するが, ひび割れに対する短繊維の架橋効果により, ひび割れの開口と進展が抑制されると考えられる。

4. 結言

本研究は, 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ついて実験的研究を行ったものである。短繊維補強コンクリートは, 引張強度後に高いじん性を示すことがわかった。また, 架橋効果によりひび割れの進展を抑制するため, 短繊維補強コンクリート板の耐衝撃性が飛躍的に向上することがわかった。

参考文献

- 1) 三輪幸治: 剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板内部の裏面剥離メカニズムと耐衝撃補強に関する研究, 防衛大学校理工学研究科後期(博士)課程卒業論文, 2010.3

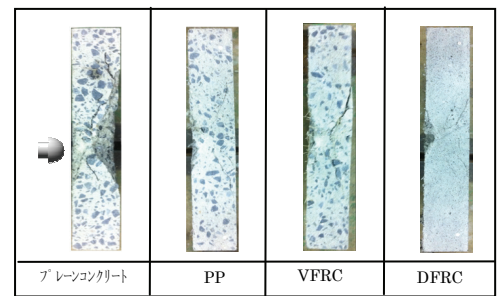


図-4 供試体の破壊状況
(飛翔体速度 300m/s)

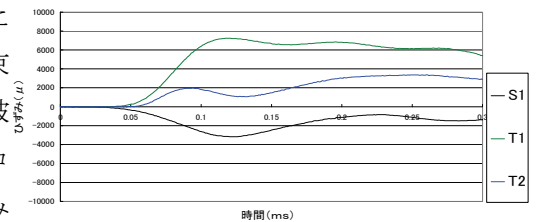


図-5 プレーンコンクリートの
ひずみ～時間関係

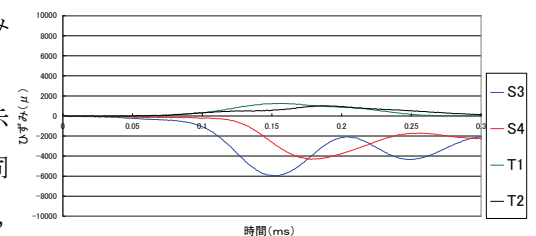


図-6 DFRC 繊維補強コンクリートの
ひずみ～時間関係

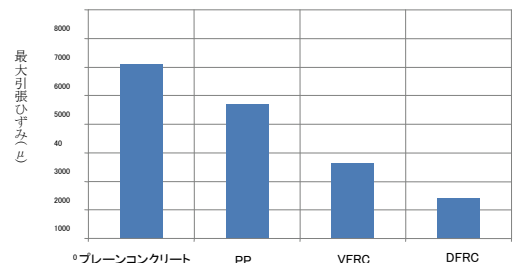


図-7 最大引張ひずみの比較

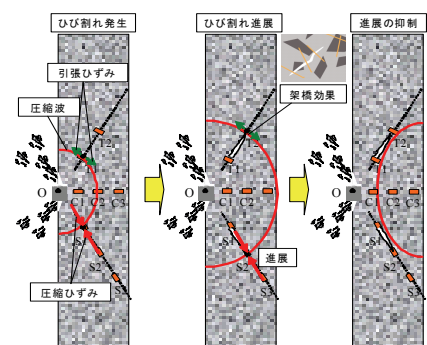


図-8 短繊維による補強メカニズム