

# 飛翔体衝突を受ける RC および PPFRC 版の衝撃応答に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○森 広毅 正会員 別府 万寿博 市野 宏嘉  
バルチック株式会社 正会員 室賀 陽一郎

## 1. 緒言

飛翔物が大きな速度で鉄筋コンクリート (RC) 版に衝突すると局部破壊が生じる。局部破壊が発生する際の衝撃応答の中でも、版に作用する荷重や版の慣性力については不明な点が多い。また、RC 版の局部破壊を抑制する方法の一つとして、コンクリートマトリクス中に短繊維を混入して靱性を向上させたポリプロピレン繊維補強コンクリート (PPFRC) の適用が挙げられる。本研究は、PPFRC による裏面剥離抑制効果および飛翔体衝突を受ける RC および PPFRC 版の衝撃応答に関する実験的な検討を行ったものである。

## 2. 実験の概要

質量 8.3kg、先端部直径 90mm の鋼製飛翔体を RC 版に速度 49~95m/s で衝突させる実験を行った。図-1 に、試験体の設置要領を示す。RC および PPFRC 版の寸法は 1100×1100×180mm とした。鉄筋比を 0.63% とし、D13 鉄筋を格子状に 16 本、かぶりを 35mm とし引張側に配筋した。表-1 に、ポリプロピレン繊維の力学特性を示す。PPFRC 中のポリプロピレン繊維の混入率は 2.0% とした。コンクリートおよび PPFRC の平均圧縮強度は 41.1 および 35.0N/mm<sup>2</sup> であった。表-2 に、実験ケースを示す。一部のケースでは、図-1 に示すように版の裏面に加速度計を 8 個設置して加速度を計測し、後述する方法で質量を乗じて慣性力を算定した。衝撃荷重は、撮影速度 100000 フレーム/秒の高速ビデオカメラによる連続画像を解析して得た変位-時間関係を 2 回微分し、得られた加速度-時間関係に飛翔体の質量を乗じることで算定した。

## 3. 実験結果および考察

図-2 に、破壊性状の一例を示す。衝突速度約 73~75m/s において、RC 版の破壊モードは裏面剥離となったが、PPFRC 版には裏面剥離が発生せず、衝突速度約 95m/s で裏面剥離が生じた。このことから、PPFRC による裏面剥離抑制効果が高いことがわかる。図-3(a)に、衝突速度約 50m/s のケースにおける RC および PPFRC 版の裏面中央の加速度-時間関係を比較して示す。いずれの加速度も、高周波成分を含みながら、周期約 0.5ms で振動する波形を示した。RC 版の加速度は飛翔体衝突直後から増加しているのに対して、PPFRC 版の加速度は飛翔体衝突後約 0.25ms から増加し始めた。これは、コンクリートマトリクス中の繊維の影響が考えられる。版中央の最大加速度は RC および PPFRC 版でそれぞれ、時刻 0.2ms で約 1800G および時刻 0.4ms で 1500G であった。図-3(b)に、RC および PPFRC 版の加速度を積分して得られた速度-時間関係を比較して示す。いずれの速度も、加速度の増減にしたがって振動する傾向を示した。以上から、同じ衝突速度帯では RC および PPFRC 版に生じる加速度および速度の最大値

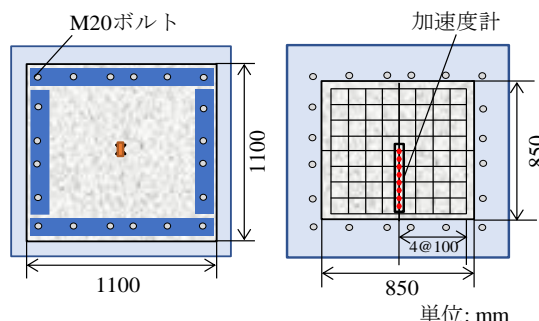


図-1 試験体の設置要領

表-1 繊維の力学特性

直径 (mm)	長さ (mm)	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
1.0	30	500	10	0.91

表-2 実験ケース

No.	ケース	衝突速度 (m/s)	裏面加速度計
1	RC-49.8	49.8	○
2	RC-74.6	74.6	×
3	PPFRC-49.4	49.4	○
4	PPFRC-72.9	72.9	×
5	PPFRC-95.0	95.0	×

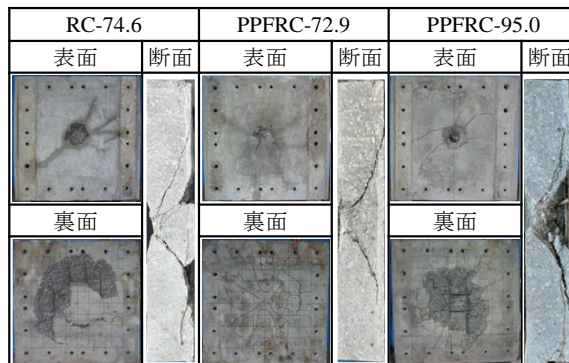


図-2 破壊性状の一例

キーワード 飛翔体衝突, 衝撃応答, 慣性力, 表面破壊, 裏面剥離

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: em60034@nda.ac.jp

や周期に大きな差はないことがわかった。次に、図-4 に示す版の中央から 35 cm までの範囲を 5cm 間隔で中空円筒形状 (図中の着色部) に分割し、中空円筒形の体積にコンクリートの密度を乗じることで質量を算定した。この質量と該当する位置の加速度を乗じて慣性力を求め、足し合わせた。図-5 に、RC および PPFRC 版に生じる慣性力を示す。比較した時刻については、加速度が増加し始めた時刻から 0.2ms 後とした。すなわち、RC 版は飛翔体衝突後 0.2ms、PPFRC 版は飛翔体衝突後 0.45ms である。RC および PPFRC 版の慣性力を比較すると、版中央から 20~35cm の範囲で最大 150kN の差が生じた。これは、PPFRC 中のポリプロピレン繊維の分布および配向性が影響していると考えられる。図-6(a)に、RC および PPFRC 版の衝撃荷重-時間関係を比較して示す。衝撃荷重の最大値は RC および PPFRC 版でそれぞれ、時刻 0.2ms で約 850kN および時刻 0.6ms で約 700kN を示した。最大値を示す時刻に 0.4ms のずれは生じるが、衝撃荷重の波形特性は類似した傾向を示した。図-6(b)に、RC および PPFRC 版の中央からの距離に応じた慣性力の総和を比較して示す。図から、RC および PPFRC 版に生じる慣性力の最大値が概ね一致した。版中央から 30cm までにおいて慣性力が一致しない理由は、図-5 に示す慣性力分布に差が生じているためである。図-7 に、衝撃荷重および慣性力-時間関係の比較を示す。RC-49.8 においては、衝撃荷重と慣性力の最大値に約 25% の差が生じた。これは、加速度計を設置していない領域の慣性力が含まれていないためと考えられる。しかし、飛翔体衝突から 0.2ms までは力の釣合いは概ね成立している。PPFRC-49.4 では、衝撃荷重の立ち上がる時刻と慣性力が立ち上がる時刻に 0.25ms の差が生じたが、衝撃荷重と慣性力の最大値は概ね一致した。

4. 結言

本研究は、飛翔体衝突を受ける RC および PPFRC 版の衝撃応答に関する実験的な検討を行ったものである。RC および PPFRC 版の破壊性状から、PPFRC 版の裏面剥離抑制効果が高いことがわかった。衝撃荷重および慣性力は、RC および PPFRC 版において概ね同じ傾向を示した。RC および PPFRC 版に生じる衝撃荷重および慣性力を比較したところ、PPFRC 版では慣性力が立ち上がる時刻に差は生じるが、版に作用する衝撃荷重と慣性力の最大値が概ね一致した。

参考文献

1) 土木学会：構造物の衝撃挙動と設計法，1994。

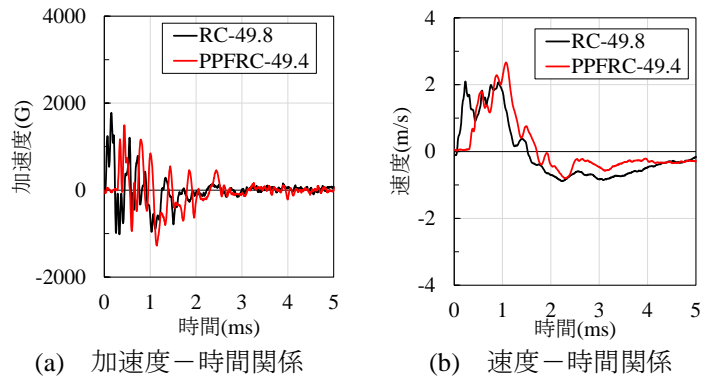


図-3 加速度および速度の比較

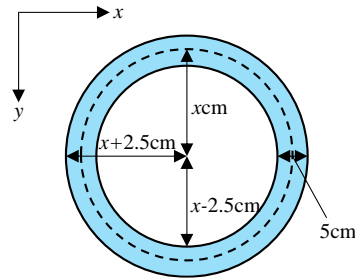


図-4 中空円筒形状の領域 (平面図)

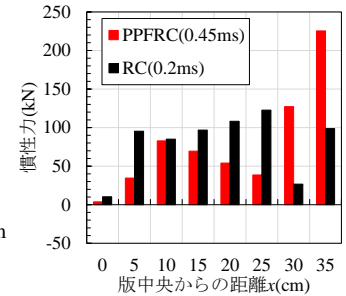


図-5 慣性力分布

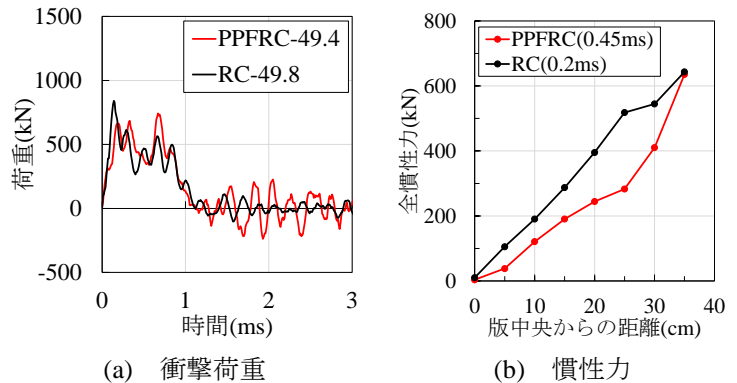


図-6 衝撃荷重および慣性力の比較

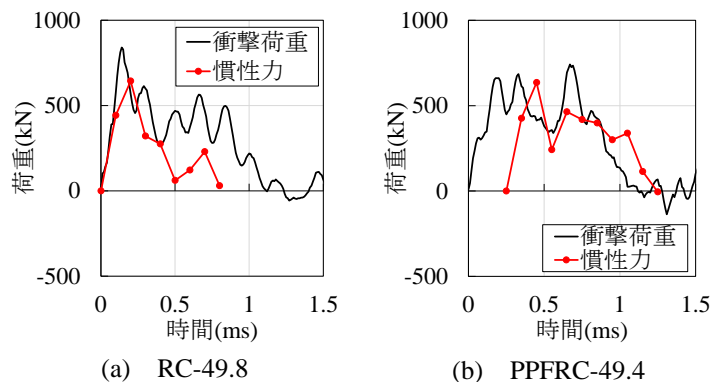


図-7 衝撃荷重および慣性力-時間関係