

飛来物の繰返し衝突を受ける RC および PPFRC 版の耐衝撃性能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

バルチップ株式会社 正会員 室賀 陽一郎

1. 緒言

近年、火山噴石や竜巻飛来物の衝突による構造物への被害が報告されている。火山噴石および竜巻飛来物が構造物に衝突すると、局部破壊が発生する。この局部破壊を抑制する方法の一つとして、ポリプロピレン繊維補強コンクリート（PPFRC）の適用がある。ただし、火山噴石および竜巻飛来物は構造物に繰返し衝突する可能性がある。既往の研究¹⁾では、単一衝突に対する局部破壊抑制効果の評価は行われているが、飛来物が繰返し衝突する場合に関する検討は行われていない。本研究は、飛来物の繰返し衝突を受ける RC および PPFRC 版の耐衝撃性能に関して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 版に平均速度 28.1、38.4 および 49.5m/s で繰返し衝突させる実験を行った。PPFRC 版には平均速度 38.7m/s で飛翔体を衝突させた。図-1 に、試験体の寸法および配筋図を示す。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 として引張側に配筋した。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容積比率は 2.0vol%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/mm²であった。表-2 に、実験ケースを示す。RC および PPFRC 版に裏面剥離が生じるまで飛翔体を繰返し衝突させた。

3. 実験結果および考察

図-2 に、RC および PPFRC 版に裏面剥離が生じた際の破壊性状を示す。飛翔体を平均速度 28.1m/s で 4 回衝突させることで RC 版に裏面剥離が生じた。速度 38.4m/s では飛翔体を 3 回、速度 49.5m/s では 2 回衝突させることで RC 版に裏面剥離が生じた。PPFRC 版については、速度を約 38.7m/s とし飛翔体を 4 回衝突させることで裏面剥離が生じた。図-3 に、速度約 39m/s における RC および PPFRC 版の裏面の破壊の進展を比較して示す。RC 版では、1 回目および 2 回目の衝突で裏面にそれぞれ放射状のひび割れおよび円周状のひび割れが発生し、3 回目の衝突で裏面剥離が生じた。PPFRC 版では、1 回目の衝突において RC 版と同様に放射状のひび割れが発生したが、RC 版と比較するとひび割れの本数は少ない。2 回目の衝突で放射状のひび割れが進展し、3 回目の衝突で円周状のひび割れが発生した。4 回目の衝突で裏面剥離が生じた。同等の衝突速度において、裏面剥離が生じるまでの衝突回数が増加したことから

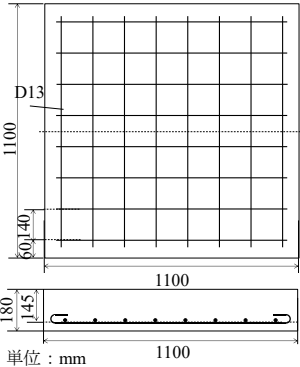


図-1 試験体の寸法および配筋図

表-1 ポリプロピレン繊維の材料特性

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)
1.0	30	500	10	0.91

表-2 実験ケース

ケース名	平均衝突速度	衝突回数
RC-28.1	28.1m/s	4
RC-38.4	38.4m/s	3
RC-49.5	49.5m/s	2
PPFRC-38.7	38.7m/s	4

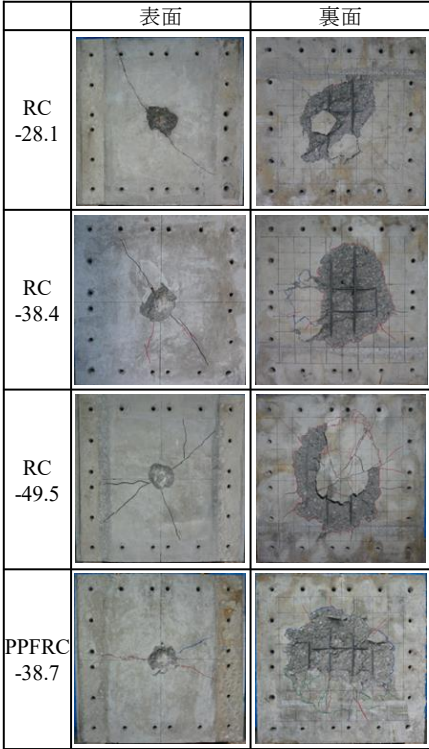


図-2 裏面剥離発生時の破壊性状

キーワード RC 版、飛来物、繰返し衝突、繊維補強コンクリート、局部破壊

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 TEL046-841-3810

ら、PPFRC 版の裏面剥離抑制効果が確認できた。図-4 に、各ケースの裏面剥離が発生するまでの貫入深さを示す。既往の研究²⁾では、単一衝突において貫入深さが版厚の約 25%に到達すると裏面剥離が発生することが報告されており、本試験体では約 45mm となる。RC 版において、平均速度 28.1, 38.4 および 49.5m/s のケースで裏面剥離が発生した際の最終的な貫入深さはそれぞれ 35.0, 41.3 および 36.5mm であった。単一衝突において裏面剥離が発生した際の貫入深さは 40.9mm であり¹⁾、繰返し衝突では単一衝突と同等もしくは小さい貫入量で裏面剥離が発生した。PPFRC 版において、裏面剥離が発生した際の最終的な貫入深さは 50.7mm であった。単一衝突において裏面剥離が発生した際の貫入深さは 64.5mm であり¹⁾、RC 版と同様に繰返し衝突では単一衝突より小さい貫入量で裏面剥離が発生した。図-5 に、各ケースにおける裏面剥離が発生するまでの飛翔体の運動エネルギーの累積値を示す。PPFRC 版に関する既往の研究¹⁾および電力中央研究所が提案する評価式³⁾から、RC および PPFRC 版において単一衝突で裏面剥離が発生する際の飛翔体の運動エネルギー（裏面剥離限界エネルギー）を算定すると、それぞれ約 16000 および 34000J となる。RC 版において、平均速度 28.1, 38.4 および 49.5m/s のケースで裏面剥離が発生した際の最終的な運動エネルギーはそれぞれ約 13000, 18000 および 20000J であった。平均速度 28.1m/s のケースでは、RC 版の裏面剥離限界エネルギーより約 20%小さいエネルギーで裏面剥離が発生した。PPFRC 版においては、裏面剥離が発生した際の最終的な運動エネルギーは約 25000J であり、PPFRC 版の裏面剥離限界エネルギーより約 25%小さいエネルギーで裏面剥離が発生した。以上から、RC 版は繰返し衝突によって単一衝突の裏面剥離限界エネルギーと同等または小さいエネルギーで裏面剥離が発生することがわかった。PPFRC 版に関しても同様の傾向が確認できたが、実験を 1 ケースしか実施していないため、今後データを収集する必要がある。

4. 結言

本研究は、飛来物の繰返し衝突を受ける RC および PPFRC 版の耐衝撃性能に関して実験的な検討を行ったものである。検討の結果、同等の衝突速度において、PPFRC 版のケースでは裏面剥離が生じるまでの衝突回数が RC 版よりも増加したことから、PPFRC 版の裏面剥離抑制効果が確認できた。また、繰返し衝突を受ける RC および PPFRC 版は、単一衝突による裏面剥離限界エネルギーと同等または小さいエネルギーで裏面剥離が発生することがわかった。

参考文献

- 1) 森広毅, 別府万寿博, 市野宏嘉, 室賀陽一郎: 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, 第 50 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2023.
- 2) 三輪幸治: 剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート版の裏面剥離の発生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課程卒業論文, 2010.
- 3) 電力中央研究所: 飛来物の衝突に対するコンクリート構造物の耐衝撃設計法, 電力中央研究所報告, 総合報告 U24, 1991.

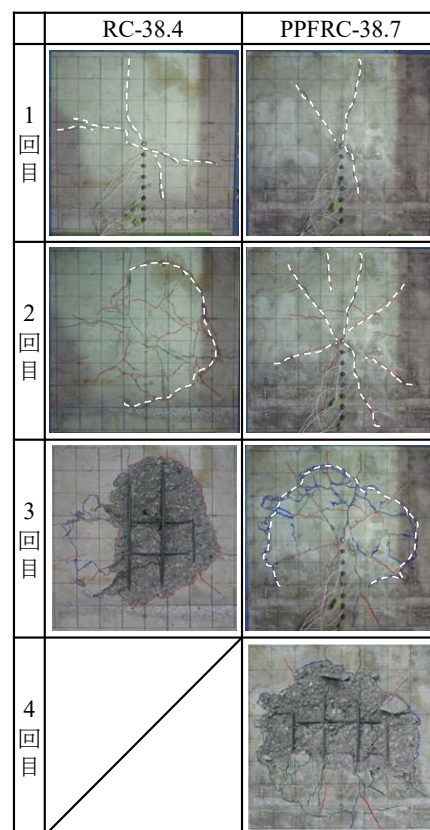


図-3 裏面に生じた破壊の推移

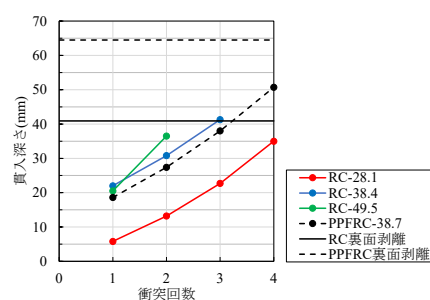


図-4 貫入深さの推移

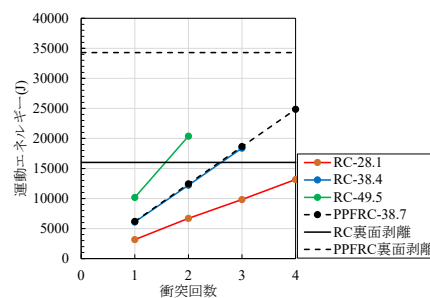


図-5 運動エネルギーの推移