

アラミド繊維シート補強したRC版の裏面剥離抑制効果に関する解析的検討

○防衛大学校 学生会員 清田 翔吾 防衛大学校 正会員 別府 万寿博
防衛大学校 正会員 市野 宏嘉 前田工織株式会社 佐藤 和幸

1. 緒言

近年、竜巻に伴う飛来物や火山噴石の衝突を受ける鉄筋コンクリート構造物の耐衝撃補強法の確立が急務となっている。特に、火山噴石への対策では、連続繊維シートの適用が示されているが、具体的な研究例は少ない。本研究は、衝突荷重を受けるアラミド繊維シート（繊維シート）補強したRC（AFRPRC）版の裏面剥離抑制効果について解析的な検討を行ったものである。

2. 実験の概要

質量 8.3kg、先端部の直径 90mm の鋼製飛翔体を RC 版（1100×1100×150mm）に速度 51～55m/s で衝突させる実験¹⁾を行った。繊維シートはアラミド繊維を FRP 化したもので、アラミド繊維は目付量 330g/m²、厚さ 0.095mm、密度 1.45g/cm³、引張強度 2060N/mm²、ヤング係数 118000N/mm² および破断伸び 2% である。図-1 に試験体の設置要領を示す。図-1(b)に示すように、ひずみゲージを RC 版裏面の中央から 100mm 間隔で貼付した。図-2 に実験で得られた破壊性状を示す。無補強の RC（無補強）版では、裏面のコンクリートが飛散し、裏面剥離が生じた。一方で、AFRPRC 版には裏面剥離が生じていない。すなわち、RC 版の裏面を繊維シート補強することで、裏面剥離が抑制されていることがわかる。

3. 解析モデル

解析は、衝撃解析コード AUTODYN Ver. 19 を用いて行った。図-3 に示すような 1/4 モデルを作成し、RC 版、裏面支持具、鋼製飛翔体および連続繊維シートをモデル化した。RC 版は 5mm×5mm の固体要素でモデル化し、裏面支持具（15mm×15mm）についてはシェル要素でモデル化した。鉄筋については梁要素（要素長 5mm）でモデル化し、コンクリートの節点と結合した。鋼製飛翔体は固体要素でモデル化した。繊維シートは 5mm×5mm×0.095mm のシェル要素でモデル化し、コンクリートの節点と結合した。境界条件については、裏面支持具のロードセルの位置の面内（x,y 方向）および衝突方向（z 方向）の変位を固定した。また、初期条件については鋼製飛翔体の全節点に初速度 55m/s を与えた。コンクリートの構成則および破壊則は、図-4 に示す二直線降伏関数およびスポール破壊則を用いた。なお、二直線降伏関数は、コンクリートのひずみ速度依存性、硬化および軟化を考慮したモデルである。繊維シートは要素に生じるひずみが破断ひずみに達すると要素を削除するカットオフモデルとした。

4. 解析結果および考察

図-5 に、解析結果における破壊性状を示す。無補強版の裏面の破壊性状をみると、円周状の破壊が生じていた。この円周状の破壊を実験における裏面剥離直径としてそれぞれ比較をすると解析では 350mm、実験では 625mm と

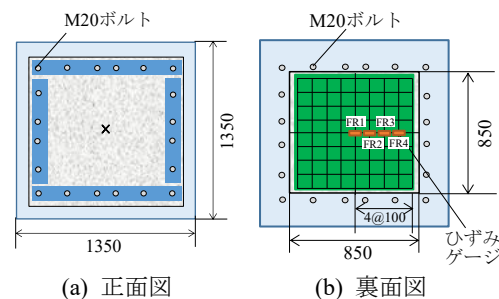


図-1 RC版の設置要領

実験 ケース	無補強	繊維シート補強			
衝突速度	55m/s	51m/s			
破壊モード	裏面剥離	表面破壊			
破壊性状	表面	断面	表面	断面	
					
	裏面		裏面		
					

図-2 実験結果における破壊性状

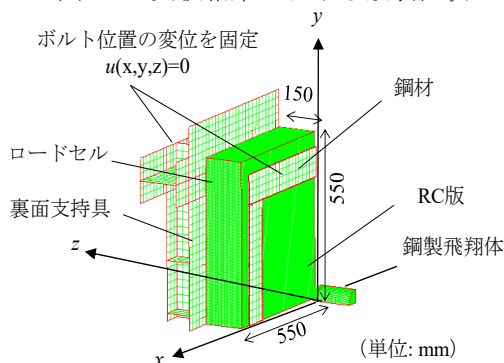


図-3 解析モデル

キーワード 飛来物衝突, RC版, アラミド繊維シート, 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 : em58042@nda.ac.jp

過小に評価した。ただし、断面の破壊性状においては、実験結果に類似した斜めひび割れが生じている。図-6に、無補強版における飛翔体の時刻歴応答を示す。なお、実験結果は1.6ms以降については粉塵のため計測不能であった。図から、解析結果は無補強版における飛翔体の時刻歴応答をよく再現していることがわかる。ただし、実験後に計測した無補強版表面の貫入深さと解析結果の最大変位を比較すると解析結果は7.7mm程度過小に評価した。図-7に、繊維シートに生じた相当ひずみ分布を示す。図中には実験において繊維シートに剥離が生じた部分の外周を黒線で示している。図から相当ひずみが 2000μ 以上を示した部分において繊維シートの剥離が生じたと判断される。すなわち解析結果は破壊性状や貫入深さを過小に評価する傾向にあるが、実験結果をある程度再現した。

図-8に、時刻1.2msにおける断面の破壊性状と速度分布の比較を示す。比較のため、各ケースの衝突速度は55m/sとして解析を行った。断面の破壊性状を比較すると、実験結果と同様に斜めひび割れの進展に顕著な影響は認められなかった。ただし、繊維シートの貼付により、一部の要素における損傷の程度は低減された。無補強版の断面の速度分布をみると斜めひび割れの内側に3.0m/s以上の速度が生じていることが確認できる。すなわちこの部分が実験における裏面の剥離片となったと考えられる。図-8(b)の断面の速度分布から、繊維シートの貼付によって剥離片の速度が20%程度小さくなっていることがわかる。すなわち解析結果から繊維シートの貼付により、形成された剥離片の衝突方向への運動を拘束することが裏面剥離の抑制に影響を与えていることがわかる。

5. 結言

本研究は、衝突荷重を受けるAFRPRC版の裏面剥離抑制効果について解析的な検討を行ったものである。解析結果から繊維シートの貼付により、剥離片の衝突方向への運動を拘束することが裏面剥離抑制効果に影響を与えていることがわかった。

参考文献

- 1) 清田翔吾, 片岡新之介, 別府万寿博, 市野宏嘉, 佐藤和幸: アラミド繊維シート補強によるRC版の裏面剥離抑制効果に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol. 66A, pp. 1047-1058, 2020

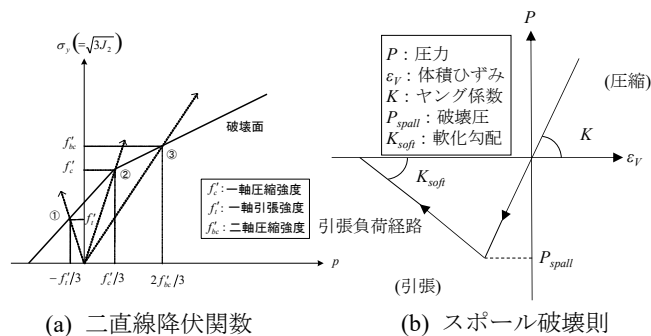


図-4 コンクリートの構成モデル

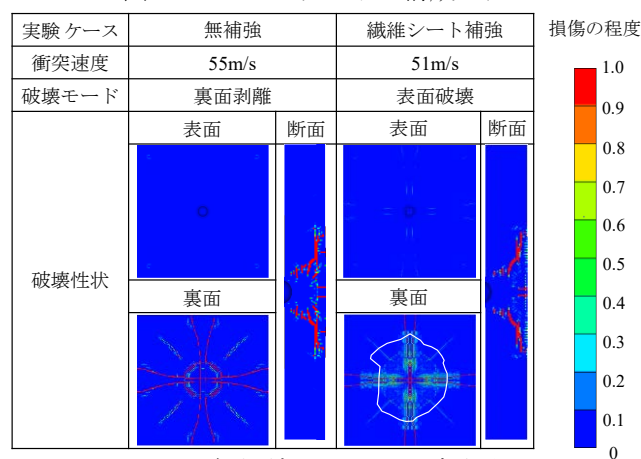


図-5 解析結果における破壊性状

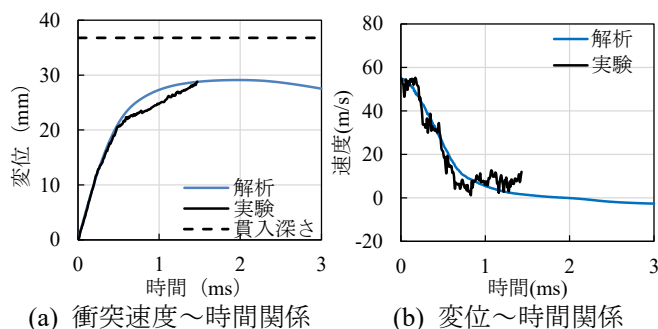


図-6 飛翔体の時刻歴応答 (無補強版)

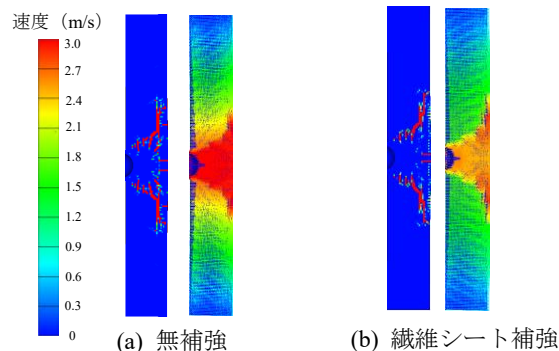
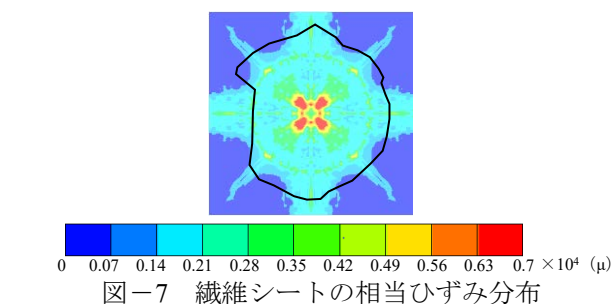


図-8 断面における速度分布