

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求められている。特に、火山噴石への対策では、連続繊維シートの適用が例示されているが、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、半球形の先端部（直径 90mm）を有する鋼製飛翔体を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。また、図-1(b)に示すように、ひずみゲージを繊維シート裏面の中央から 100mm 間隔で貼付するとともに、加速度計を中央から 50mm 離れた位置から 100mm 間隔で設置した。図-2 に実験で得られた破壊性状を示す。無補強のRC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、繊維シートで裏面補強したRC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、裏面に生じる剥離の進展および剥離片の飛散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 50m/s を与えた。コンクリートの構成則は、図-4 に示す非線形 Drucker-Prager 降伏関数を用いた。また、負圧による破壊の判定を行った。なお、コンクリートの動的圧縮および引張強度は、藤掛らの式²⁾および Ross らの式³⁾を用いてひずみ速度 10¹ s⁻¹ に

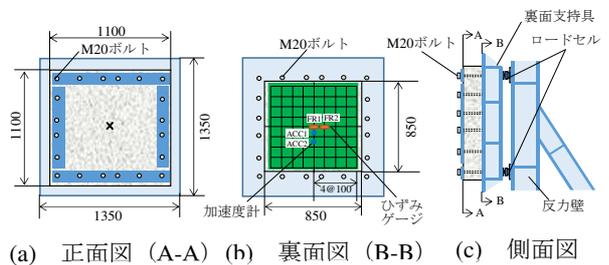


図-1 RC版試験体の設置要領

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	裏面	裏面

図-2 破壊性状

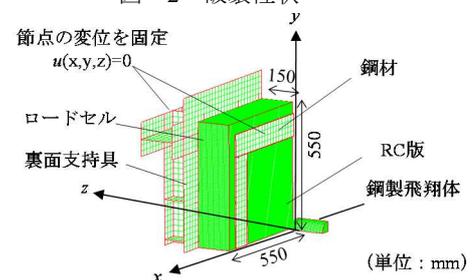


図-3 飛翔体およびRC版試験体の解析モデル

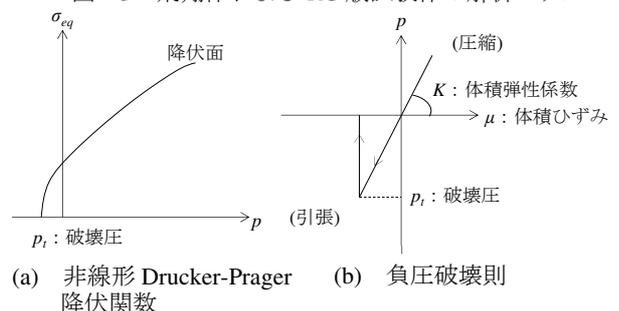


図-4 コンクリートの構成則

キーワード 裏面剥離, アラミド繊維シート, RC版, 飛来物衝突

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

おける強度倍率を算定し、静的強度に乗じて求めた。

4. 解析結果および考察

図-5に、実験および解析における繊維シートで補強したRC版の破壊性状および解析による速度分布を示す。図-5(a)から、解析によってひび割れの領域は概ね再現されているが、実験に比べて破壊の程度が大きくなった。図-5(b)から、RC版に生じた速度は、中央部と繊維シート貼付位置の端部に集中し、最大で1.0m/sとなった。既往の研究では、裏面剥離が生じる際の剥離片の速度は10m/s前後であることが報告されており、繊維シート補強が裏面剥離を抑制することで裏面の速度が小さくなることがわかる。図-6に、飛翔体の速度および支点反力～時間関係の比較を示す。図から、飛翔体の速度がゼロとなるのは実験および解析ともに約0.65msであるが、減速の勾配は解析の方がやや緩やかとなった。支点反力の最大値は解析が275kN、実験が305kNであり、誤差は10.9%である。ただし、支点反力の立上がり時間や波形は、実験と解析で大きな差が生じた。図-7に、繊維シート裏面の加速度～時間関係を示す。図から、衝突直後の繊維シート裏面中央から50mm離れた位置における加速度の最大値は、実験および解析でそれぞれ6500Gおよび4800Gであり、解析値は実験を過小に評価しているが、波形の特徴はある程度再現した。図-8に、繊維シート裏面のひずみ～時間関係を示す。図から、衝突直後のひずみ応答は解析の方が大きく、RC版の中心では時刻0.5ms時において、実験および解析でそれぞれ約5000 μ および約9000 μ であり、解析値は実験値の約1.8倍となった。また、中心から100mm離れた位置では、時刻0.6ms時において、実験と解析でそれぞれ約2700 μ および約8200 μ であり、解析値は実験値の約3倍となった。また、最大ひずみは実験では時刻2.0ms～2.3msで生じているのに対し、解析の最大値は時刻0.5～0.8msで生じている。これらの差が生じた理由としては、解析においてモデル化した繊維シートはFRP化を考慮せず、アラミド繊維の物性値を直接入力したことやRC版の破壊領域が実験よりも大きいことなどが考えられる。

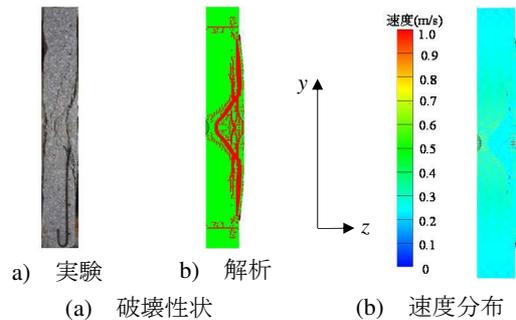


図-5 破壊性状および速度分布

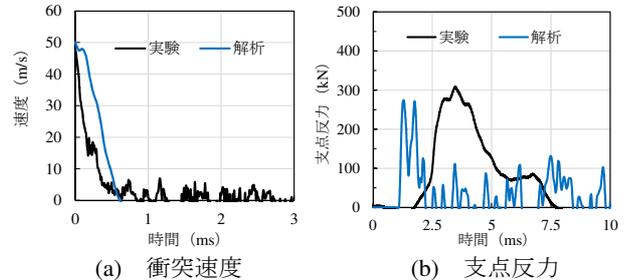


図-6 衝突速度および支点反力～時間関係

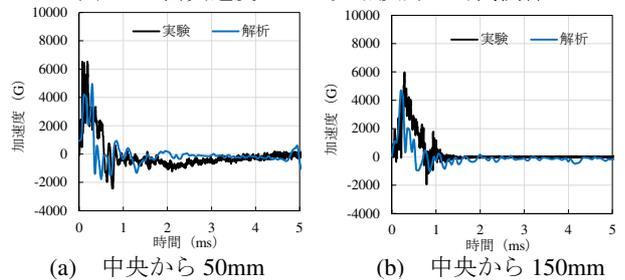


図-7 加速度～時間関係

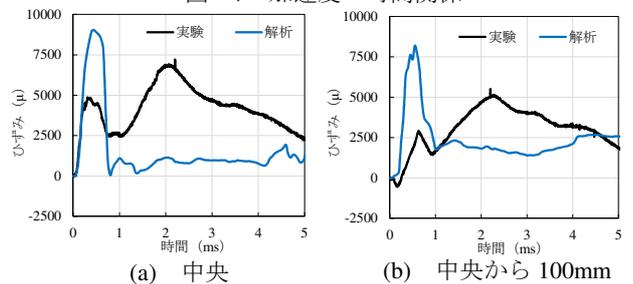


図-8 ひずみ～時間関係

5. 結論

本研究は、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ついて数値解析的な検討を行ったものである。解析結果から、アラミド繊維シート補強によりRC版の裏面剥離が抑制される挙動を定性的に再現した。しかし、解析による繊維シートのひずみ応答や加速度の最大値は実験と異なる傾向を示した部分もあり、今後詳細なモデル化を行う必要がある。

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.
- 2) 藤掛一典, 上林勝敏, 大野友則, 水野淳, 鈴木篤: ひずみ速度効果を考慮した三軸応力下におけるコンクリートの直交異方性構成モデルの定式化, 土木学会論文集, No. 669/V-50, pp. 109-123, 2001.
- 3) Ross, C.A., Thompson, P.Y. and Tedesco, J.W.: Split-hopkinson pressure-bar tests on concrete and mortar in tension and compression, ACI Material Journal, Vol. 86, pp. 475-481, 1989.