剛飛翔体の中速度衝突を受ける鉄筋コンクリート版の破壊メカニズムに関する研究

防衛大学校 学生会員 〇片岡 新之介 正会員 別府 万寿博 市野 宏嘉

1. 緒言

近年,気候変動や地殻変動の影響を受けて竜巻の発生や火山噴 火が増加する傾向にあり,竜巻により巻き上げられた飛来物や火 山噴石が構造物に衝突して被害が生じる例が報告されている.こ のような衝突荷重を受ける鉄筋コンクリート(RC)版の耐衝撃性 に関する研究は過去に行われているが^{例えば1)}, RC版の破壊メカ ニズムは不明な点が多い.本研究は,中速度衝突を受ける RC版 の破壊メカニズムを調べるため,衝突実験および数値シミュレー ションを行ったものである.

2. 剛飛翔体の中速度衝突実験

2.1 実験の概要

図-1に、実験に用いた高圧空気式飛翔体発射装置を示す.こ の実験装置は空気圧を調節することで、写真-1に示す質量4.5kg の剛飛翔体を速度 20m/s~100m/s で発射することが可能である. 剛飛翔体の先端形状は直径 90mm の半球型で, 先端部鋼材の材質 は SKS93 を用いた. 図-2 に,実験に用いた RC 版およびプレー ンコンクリート板の寸法を示す.縦横寸法は 1,100mm×1,100mm であり,版厚は90mm, 120mm および 150mm とした.版厚 90mm には D6 鉄筋, その他は D10 鉄筋を用いて鉄筋比 0.65%の RC 版 を各版厚に対し、4体ずつ作製した. コンクリートの平均圧縮強 度は 32.3N/mm² であった. 衝突速度を 20m/s~70m/s に変化させ て実験を行い、衝突による RC 版の破壊性状および衝撃応答を調 べた. 高速ビデオカメラ (50,000 フレーム/秒) で撮影した衝突前 後における飛翔体の変位画像から変位時刻歴を求め, さらに微分 することで速度および加速度を算定した.なお、衝突荷重は飛翔 体の加速度に質量を乗じて算定した.また,衝撃用ロードセル(応 答周波数 30kHz)を用いて支点反力を計測した.

2.2 実験結果および考察

図-3 に実験結果を示す. 破壊モードは既往の研究¹⁾を参考に ¹⁴⁰ 局部破壊の破壊モードに従い区分した. なお, 既往の RC 版の局¹¹²⁰ 部破壊評価式である CRIEPI¹⁾式による各損傷限界版厚も実線と¹⁰⁰ ¹⁰⁰

キーワード 鉄筋コンクリート版,中速度衝突,剛飛翔体, CAPROUS モデル

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: em54019@nda.ac.jp





版 厚 120mm のケースで生じた破壊性状を示す. RC 版の断面 には、衝突部から斜めひび割れが進展し、裏面剥離が生じてい る. 図-4 に、高速ビデオカメラによる画像を解析して求めた 飛翔体の変位、速度、衝突荷重の時刻歴およびロードセルによ り計測した支点反力の時刻歴を破線で示す.また、RC 版の裏面 に円周状のひび割れが生じ始めた時刻を赤破線により示してい る. 図から、時刻約 1.0ms で最大変位を示し、衝突速度および 衝突荷重はほぼゼロとなった.一方、支点反力は時刻約 1.0ms から増大し、時刻約 3.0ms で最大値を示している.写真-3(a)に 示す RC 版裏面を撮影した高速カメラの画像をみると、赤破線 で示した時刻約 1.0ms では微細な円周状ひび割れが生じてい る. その後、写真-3(b)~(d)に示すように時刻 2ms~4ms でひ び割れの開口が進展し、剥離片が形成されていることがわかる.

3. 数値シミュレーション

解析は ANSYS AUTODYN Ver.15.0 を用いて行い, コンクリ ートのモデルは六面体要素 (要素寸法 5mm), 鉄筋は梁要素 (要 素長 5mm)を用いてモデル化した. コンクリートの材料モデル には CAPROUS 構成モデル²⁾を,鉄筋モデルには Johnson-Cook の降伏関数を用いた. 図-4 に、数値解析により算出した飛翔 体の変位、速度、衝突荷重および支点反力の時刻歴を実線で示 す.図から、数値解析の最大変位は実験よりも10%程度大きい が、衝突速度および衝突荷重は比較的良い一致を示している. また、支点反力は実験よりも約 1ms 早く生じているが、実験と 同様に衝突荷重がゼロを示した後に生じている傾向は同様であ った. 図-5 に、数値解析における RC 版の破壊性状の推移を 示す. 衝突後時刻約 0.3ms で断面中央部に斜めひび割れの起点 が生じて進展し、時刻約1msでRC版内部の局部的な損傷の進 展はほぼ終了している. その後,時刻 4.0ms の間に裏面中央部 の要素に破壊が生じている.以上の数値解析結果から、衝突荷 重によって RC 版内部が局部的に損傷し, その後時刻 1.0ms~ 4.0msの間に裏面の損傷が進展すると考えられる.





4. 結言

本研究は、中速度衝突を受ける RC 版の破壊メカニズムついて検討を行ったものである.中速度衝突実験から、 既往の局部破壊評価式による破壊モードと実験結果はある程度一致するが、実験ケースの一部は評価式に対して安 全側の結果を示した.また、鉄筋が破壊へ及ぼす影響は小さいことがわかった.数値解析結果から、衝突により RC 版内部が局部的に損傷し、その後時刻 1.0ms~4.0ms の間に裏面の損傷が進展することが推察された.

参考文献

 1) 伊藤千浩,白井孝治,大沼博志:剛飛来物の衝突に対する鉄筋コンクリート構造物の設計評価式,土木学会論文 集 No.507, I-30, 201-208, 1995

2) 伊東雅晴,別府万寿博,片山雅英:非線形動的コンクリート構成則 CAPROUS の開発と高速衝突解析への応用, 土木学会,第10回 構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集,2010