# 飛来物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考察

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, 竜巻の発生や火山噴火が増加傾向にあり, 竜巻飛来物 や火山噴石の衝突による被害が報告されている. なお, これら の飛来物の衝突速度は, 50m/s~150m/s と推定されている. 衝 突荷重を受ける鉄筋コンクリート版(RC版)については多く の研究が行われているが, 上記の衝突速度に対する RC版の破 壊メカニズムについてはまだ不明な点が多い. 本研究は, 中速 度衝突を受ける RC版の破壊メカニズムについて考察を行った ものである.

### 2. RC版に対する衝突実験

飛来物の衝突を受ける RC 版の衝撃応答を調べるために,鋼 製飛翔体の衝突実験を行い, RC 版の破壊性状を調べた.飛翔 体の発射については,図-1に示す高圧空気式の飛翔体発射装 置を用いて行った.試験体については図-2(a)に示す先端が半 球形で,質量が 4.5kg の剛飛翔体を作製し,図-2(b)に示す版 厚 12cm の RC 版に衝突速度 23m/s~54m/s で衝突させた.図-3 に,実験後の RC 版の破壊性状を示す.衝突速度の増大に伴 い,RC 版の裏面には円周状のひび割れが形成され,断面には 斜めひび割れが生じることがわかる.特に,衝突速度 35.6m/s のケースでは断面の斜めひび割れは大きく開口し,衝突速度 53.5m/s のケースでは RC 版の裏面が剥離した.

# 3. 衝突実験による RC 版の破壊解析

衝突荷重を受ける RC版の破壊メカニズムを調べるため,衝 突実験の数値シミュレーションを行った.解析には,衝撃解析 コード AUTODYN (Ver.16)を使用し,図-4に示す1/4モデル を作成した.コンクリートは六面体要素,鉄筋は梁要素でモデ ル化し,裏面支持具四隅の節点のx,y,z軸方向の自由度を固 定した.コンクリートの材料モデルは,図-5に示す非線形 Drucker-Prager型の降伏関数を用いて塑性の判定を行い,負圧 基準を用いて破壊の判定を行った.コンクリートの動的圧縮お よび引張強度は,藤掛らの式<sup>1)</sup>および Ross らの式<sup>2)</sup>を用いてひ ずみ速度10<sup>1</sup> s<sup>-1</sup>における強度倍率を算定し,静的強度に乗じて 求めた.

図-6に、衝突後時刻 4ms における RC 版の速度分布を示す. 衝突速度 23.2m/s のケースでは、飛翔体が衝突後に跳ね返るた

レーザー式 ガイドフレ・ 操作/制御盤 および飛翔体 エアチャンバ 速度検知器 .... 発射 速管 空気圧縮器 図-1 高圧空気式飛翔体発射装置 0mm@6 1001 ı ŝ 280mm 質量:4.5kg 85mm 20mm 鋼製飛翔体 (a)150mm@6 1100mm

(b) RC版

図-2 飛翔体および試験体の概要



図-3 RC版の破壊性状



キーワード 飛来物, 衝突実験, 数値解析, 鉄筋コンクリート版, 破壊メカニズム

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

め衝突方向と反対方向の速度が生じており, RC 版は振動するこ とで衝突方向と反対の速度が生じている.また,中心部近傍には 斜めひび割れが生じた.衝突速度 35.6m/s においては,速度分布 はケース1と同様に衝突方向と反対の速度が生じているがケース 1より小さい速度となった.一方で,衝突速度 53.5m/s のケースに ついては斜めひび割れの内側部において 3.0m/s以上の速度が生じ ている.これは RC 版の裏面が剥離していることを示しており, 実験結果と整合している.

### 3. 裏面剥離発生前の RC 版の衝撃応答の特徴

図-7は、衝突速度 23.2m/s のケースの RC 版の速度分布の推移 を示している. 衝突後 0.5ms までの間は、衝突部近傍のみに速度 が生じている. その後, RC版の両端まで変形が伝播し, 時刻 1.0ms 以降では RC 版全体に正負方向の速度が生じて RC 版全体が振動 していることがわかる.また、断面の斜めひび割れについては時 刻約 0.5ms から進展し、時刻 0.8ms においてひび割れの進展は終 了している.図-8に、RC版裏面の変位および加速度時刻歴を示 す. なお, 図-8の横軸は RC 版の中心から端部までの距離を, 図 -8(b)の縦軸は衝突方向を正とした加速度を表している. 図-8(a) の変位分布では、衝突部から約 200mm の範囲で変位が急激に生 じ,時刻 0.8ms 以降では衝突部から約 150mm の位置において変 位が増大している.なお、衝突部から 200mm 以上離れた位置の変 位は約0.5mm 程度である.次に、図-8(b)の加速度分布では、衝 突位置から約200mmの範囲で衝突方向に最大50000m/s<sup>2</sup>の加速度 が生じ、時刻 0.3ms までの間に加速度の最大値を示している.こ れは, 図−7 において時刻 0.3ms から RC 版の断面に斜めひび割 れが生じたことと対応していると考えられる.また、衝突後 0.8ms では衝突部から150mmの位置に約50000m/s<sup>2</sup>の加速度が生じてお り,変位が増大したことに対応している.これは,RC版の中央部 に衝突荷重が作用することにより衝突部近傍に慣性力が集中し て生じることを示している.

## 4. 結言

衝突荷重を受ける RC 版の数値シミュレーションの結果から, 衝突荷重が作用することで衝突部近傍に慣性力が集中して生じ, 斜めひび割れが進展することがわかった.

#### 参考文献

- 藤掛一典、上林勝敏、大野友則、水野淳、鈴木篤:ひずみ速度を考慮 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.
- 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.

