

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数値解析的考察

防衛大学校 学生会員 ○片岡 新之介 正会員 別府 万寿博 正会員 市野 宏嘉

1. 緒言

近年、竜巻災害や火山噴火に起因する飛来物衝突による構造物の被害事例が報告されている。なお、これらの衝突速度は、50m/s~150m/s と推定されている。これまでに、衝突荷重を受ける鉄筋コンクリート版（以下では RC 版と呼ぶ）の破壊挙動については、衝突速度 10m/s 以下の低速度、あるいは衝突速度 150m/s 以上の高速度を対象に多くの研究が行われている。しかし、RC 版の破壊メカニズムについてはまだ不明な点が多く、竜巻飛来物や火山噴石のような中速度衝突を対象とした研究は少ない。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数値解析的な考察を行ったものである。

2. 中速度衝突実験の数値解析

中速度衝突を受ける RC 版の衝撃応答を調べるために、既報<sup>1)</sup>の中速度衝突実験について数値解析を行い、破壊メカニズムに関する考察を行う。数値解析には、有限差分法の衝撃解析コードである AUTODYN (Ver.15) を使用し、実験条件の対称性を考慮して図-1 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、裏面支持具についてはシェル要素でモデル化し、裏面支持具四隅の節点を x, y, z 軸方向に固定した。コンクリートの材料モデルは、図-2 に示す動的非線形材料モデルである CAPROUS モデル<sup>2)</sup>を用いた。CAPROUS モデルは、非線形の状態方程式、コンクリートの圧力・ひずみ速度依存性を考慮した降伏関数および負圧破壊基準から構成されている。鉄筋については Johnson-Cook の降伏関数を、飛翔体および裏面支持具の鋼材については Von Mises の降伏関数を適用した。

3. 実験結果と解析結果の比較

解析は、飛翔体質量 4.5kg、衝突速度 53.5m/s および RC 版厚 120mm の実験ケースに対して行った。なお、この試験体の平均圧縮強度は 32.3N/mm<sup>2</sup>、引張鉄筋比は 0.65% である。図-3 に、実験および解析結果を比較して示す。図-3(a) から、実験で生じた RC 版の裏面剥離や断面の斜めひび割れが数値解析においても再現されていることがわかる。また、図-3(b) および (c) に示す解析結果では、飛翔体の貫入深さおよび最大変位が実験結果よりも 1.3 倍~2 倍大きいのが、飛翔体の速度および衝突荷重については、波形や継続時間をある程度良好に再現した。

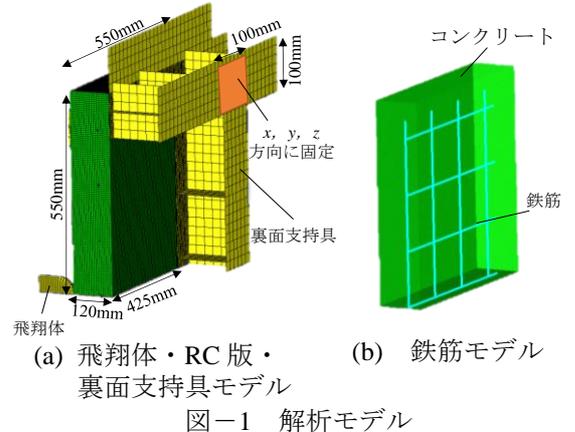


図-1 解析モデル

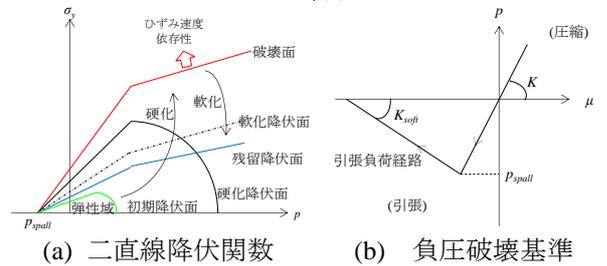
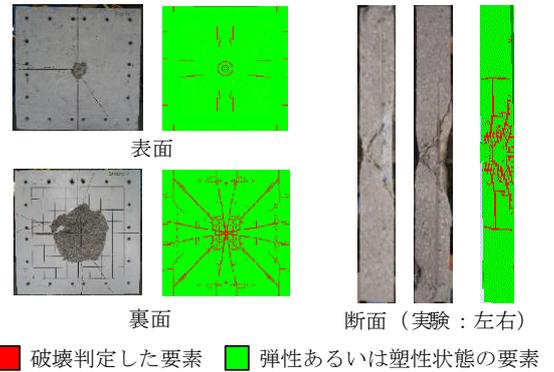
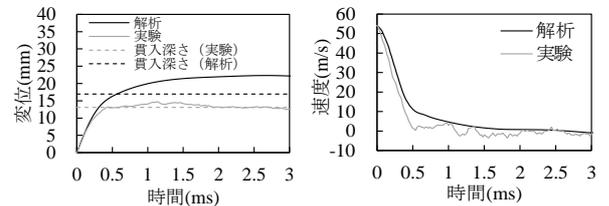


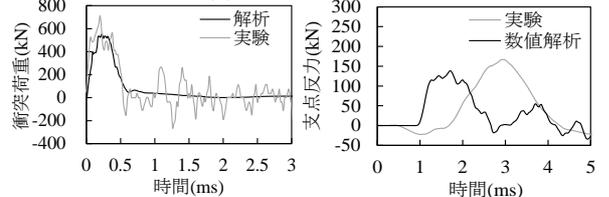
図-2 CAPROUS モデル<sup>2)</sup>



(a) 破壊性状



(b) 飛翔体の運動



(c) 衝突荷重と支点反力

図-3 実験結果と解析結果の比較

キーワード 中速度衝突, 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 TEL046-841-3810

4. 衝突速度が破壊に及ぼす影響

飛翔体の衝突速度が破壊性状に及ぼす影響を考察するため、飛翔体の運動エネルギー、先端径および形状を同一条件として衝突速度のみを変化させ、低速度（質量 128kg, 速度 10m/s）および高速度（質量 0.3kg, 速度 200m/s）衝突に対する解析を行った。図-4に、解析によって得られた衝突荷重、RC 版の支点反力時刻歴および破壊性状を示す。図-4(a)に示す低速度衝突のケースでは、衝突後に荷重が最大値を示して急激に低下し、時刻 6ms 以降では緩やかに減少している。また、支点反力については、時刻 2ms 以降で荷重とつり合いながら緩やかに減少している。破壊性状については、時刻 2.0ms 以降に衝突部付近のひび割れが大きく開口している。図-4(b)に示す高速度衝突のケースでは、支点反力が生じる時刻 1ms よりもかなり早い時刻 (0.2ms) で荷重が除荷された。破壊性状については衝突部に局部的なひび割れが進展し、支点反力が生じる時刻 1ms までの間に破壊領域の形成は終了していることがわかる。図-4(c)に示す中速度衝突のケースをみると、衝突後 0.5ms で荷重は急激に減少しており、支点反力が最大値を示す時刻約 1.7ms において衝突荷重は除荷されている。また、破壊性状をみると荷重が低減した時刻 0.6ms までの間で衝突部に局部的なひび割れが発達し、支点反力が生じた後の時刻 2.0ms まで破壊領域が拡大していることがわかる。したがって、中速度衝突においては衝突により局部的な破壊が進展した後、RC 版に支点反力が生じて最終的な破壊領域を形成すると考えられる。

5. 結言

本研究の成果を以下に要約する。

- (1)コンクリートの動的非線形特性を考慮したモデルにより、中速度衝突実験結果をある程度再現できた。
- (2)衝突速度が破壊性状や破壊メカニズムに与える影響に関する考察を行った。その結果、中速度衝突においては飛翔体の衝突により局部的な破壊が進展した後、RC 版に支点反力が生じる間に最終的な破壊領域が形成されることがわかった。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 15K06203, 25289139 の助成を受けたものです。ここに示して謝意を表します。

参考文献

- 1) 片岡新之介, 別府万寿博, 市野宏嘉: 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, 土木学会, 第 44 回関東支部技術研究発表会, 2017
- 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 建造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 2010

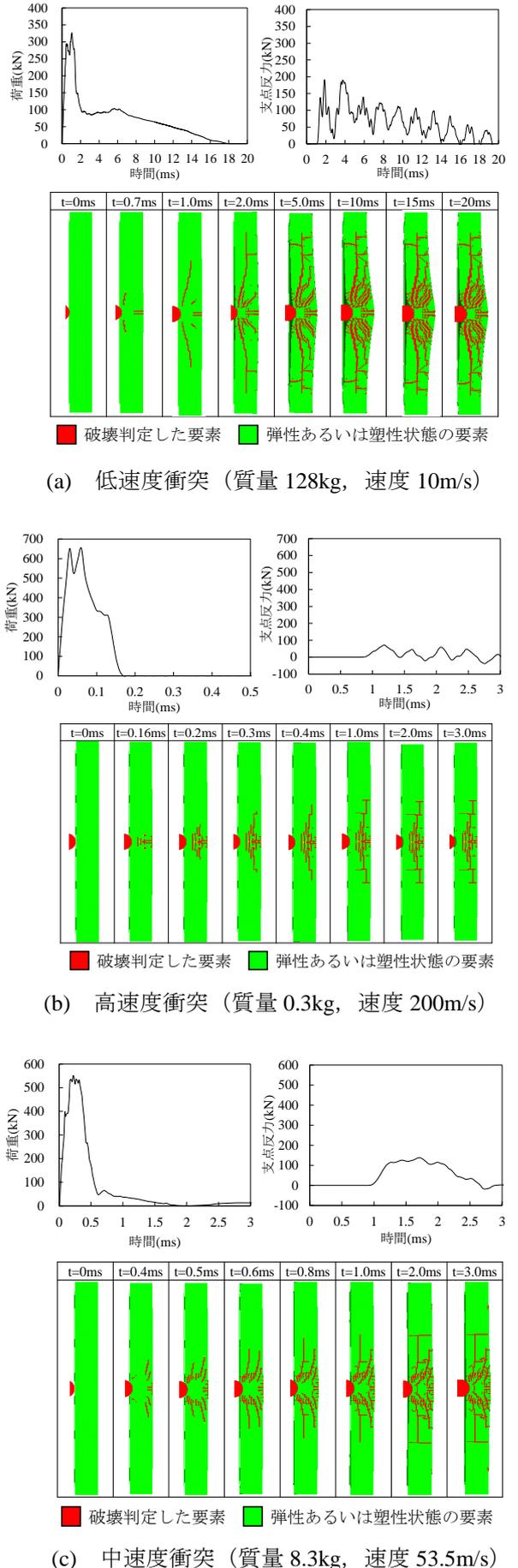


図-4 衝突荷重, 支点反力および破壊性状