

低速度衝突を受ける鉄筋コンクリート版の局部損傷シミュレーション

防衛大学校 学生会員 ○金子 鉄兵 正会員 別府 万寿博
伊藤忠テクノソリューションズ 正会員 松澤 遼 伊東 雅晴

1. 緒言

土石流、落石等の自然災害から人命を守る防護構造物は、衝突速度数～十数 m/s の衝突荷重に対して設計を行う¹⁾²⁾。これらの防護構造物の設計においては衝撃荷重の算定が必要であるため、実験、解析の両面から検討することが不可欠である。近年、コンピュータの性能が発達しており、今後は数値解析による荷重評価や損傷評価手法を確立する必要がある。本研究は、鋼製衝突体の低速度衝突による RC 版の局部損傷に関する実験³⁾を対象として、局所的に生じる衝撃荷重および損傷状況の数値シミュレーションを行ったものである。

2. 実験の概要

三輪らが行った鋼製衝突体の低速度衝突による RC 版の局部損傷実験³⁾について概説する。図-1 に水平衝撃荷重載荷装置を示す。衝突体速度はゴム棒の弾性エネルギーによって調整し、ガイド上に設置したレーザー式速度センサーおよび高速度カメラ(5000 フレーム/秒)によって測定している。実験は、反力壁に固定した支持梁に 4 辺をクランプで固定した RC 版に、装置の 4 本のガイド上に沿って、衝突体を衝突速度 3m/s で版中央に衝突させている。図-2 に衝突体の略図を示す。図に示す位置に加速度センサーが設置されている。衝突体は質量が約 100kg であり、衝突体の先端部は写真-1 に示すように直径が 10cm (鋼製: S45C) の半球型である。計測項目は、衝突体の加速度および速度である。衝突体の加速度は、加速度センサ(圧電素子型)を用い、容量は 1000G、サンプリングタイムは 50kHz に設定して計測している。図-3 に RC 版の概要を示す。RC 版は、寸法が縦 110cm×横 110cm×版厚 7cm であり、複鉄筋断面のものが用いられている。コンクリートの圧縮強度は 33.5N/mm² であり、鉄筋は $\phi 3.2$ mm の普通鉄線(引張強さ: 540～1130N/mm²)、間隔 5cm (鉄筋比 0.25%) で配筋している。なお、コンクリートのかぶり厚さは 1.5cm である。

3. 数値シミュレーション

(1) 解析モデル

解析は衝撃解析コード AUTODYN を用い、解析モデルは対称性を考慮して図-4 に示す 1/4 モデルとした。衝突体は先端部を弾性体、衝突体後部は剛体、鉄線は Beam 要素、反力壁は Shell 要素でモデル化した。コンクリートの構成則⁴⁾については、状態方程式を非線形モデル、降伏条件を二直線降伏モデル、破壊基準をス

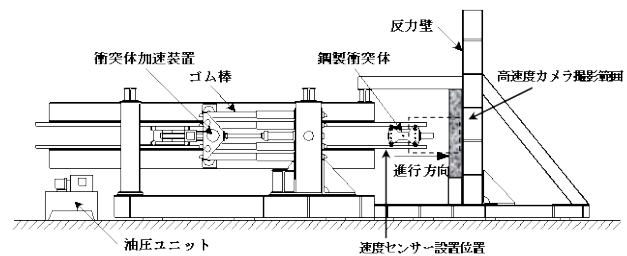


図-1 水平衝撃荷重載荷装置

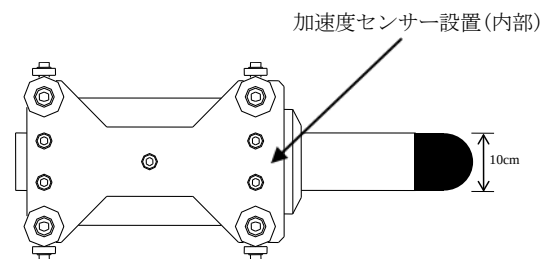


図-2 衝突体の略図

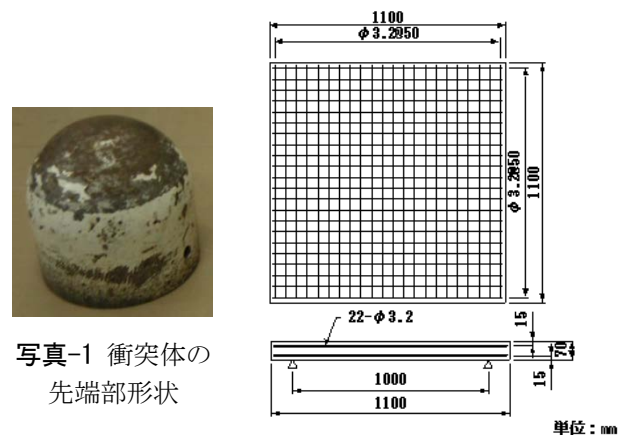


図-3 RC 版試験体

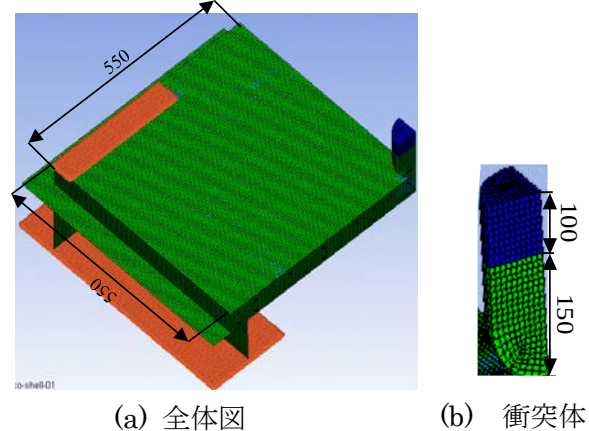


図-4 解析モデル

キーワード 低速度衝突, RC 版, 局部損傷, 衝突荷重

連絡先 〒239-8686 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 : em51065@nda.ac.jp

ポール破壊基準とした。普通鉄線は、降伏条件を線形モデル、降伏条件を Johnson Cook モデルとした。

(2) 解析結果および考察

図-5 に荷重～時間関係を示す。荷重は、加速度センサーによって計測した加速度に衝突体の質量 100kg を乗じて求めた。図中の原点は、RC 版に接触した瞬間を示している。図から、実験結果による衝突荷重は $t=0.9\text{ms}$ において最大荷重約 110kN に達し、 $t=3.0\text{ms}$ で一旦約 20kN に低下した。 $t=4.0\text{ms}$ では再び約 60kN に上昇して、 $t=10\text{ms}$ で 0kN となった。解析では、 $t=0.7\text{ms}$ で実験結果よりも小さい最大荷重約 91.5kN に達している。その後、 $t=2.0\text{ms}$ で一旦 40kN まで低下し、最終的には $t=8.8\text{ms}$ で 0kN となった。解析結果は、実験結果を定性的に再現できているが、最大荷重は実験より 17%程度低く、 $t=2.0\text{ms}$ 以降における、荷重の再現性がやや低い。また、荷重の継続時間は 10%程度短くなった。

図-6 に変位～時間関係を示す。変位は加速度を時間間隔 Δt ($=1/50,000\text{s}$) で積分して計算し、RC 版表面の位置を 0mm とし、衝突体の進行方向を正とした。実験では $t=5.0\text{ms}$ で最大約 7mm まで達している。解析では $t=1\text{ms}$ までは実験結果と同様な増加傾向を示しているが、その後は実験よりも終局変位に達する時間が長く、 $t=7\text{ms}$ で 9.3mm に達している。

図-7 に解析で得られた破壊性状を実験結果と比較して示す。なお、図-7(c)には、解析で得られた断面の損傷性状を示す。実験では、版の表面側の衝突位置にそれぞれ衝突体の先端部分と同じ形状の凹みが生じ、裏面には放射状のひび割れが生じている。解析結果では、実験と同様に版の表面側の衝突位置にそれぞれ衝突体の先端部分と同じ形の凹み破壊が生じている。版表面のへこみが生じた範囲は、実験では直径 30mm であるが、解析では、直径約 60mm と大きくなった。

4. 結 言

本研究は、鋼製衝突体の低速度衝突による RC 版の局部損傷に関する実験³⁾を対象として、局所的に生じる衝撃荷重および損傷状況の数値シミュレーションを行ったものである。解析では、定性的に実験結果の荷重時刻歴を再現できた。しかし、最大荷重は実験より 17%程度低く、 $t=2.0\text{ms}$ 以降における荷重の再現性がやや低い。最大変位は実験よりも 30%程度大きく、終局変位に達する時間が長い。また、破壊している範囲も大きいため、今後検討する必要がある。

謝辞

本研究の一部は、科研費(24560594)の助成を受けて行われたものである。

参考文献

- 1)土木学会，構造工学シリーズ 15：衝撃実験・解析の基礎と応用，丸善，2003
- 2)土木学会：土木構造物共通示方書（作用・荷重）丸善，2010.
- 3)三輪幸治，別府万寿博，大野友則：先端形状が異なる

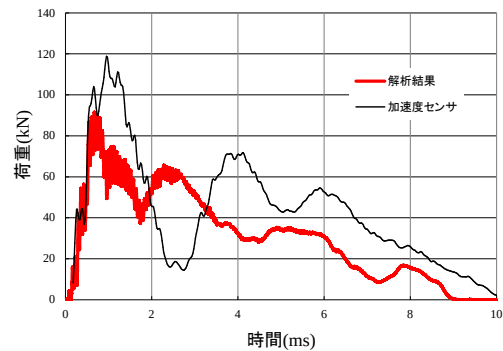


図-5 荷重～時間関係

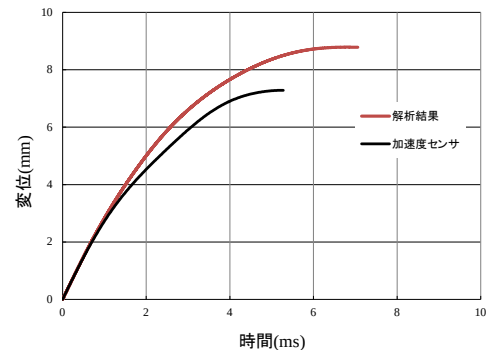
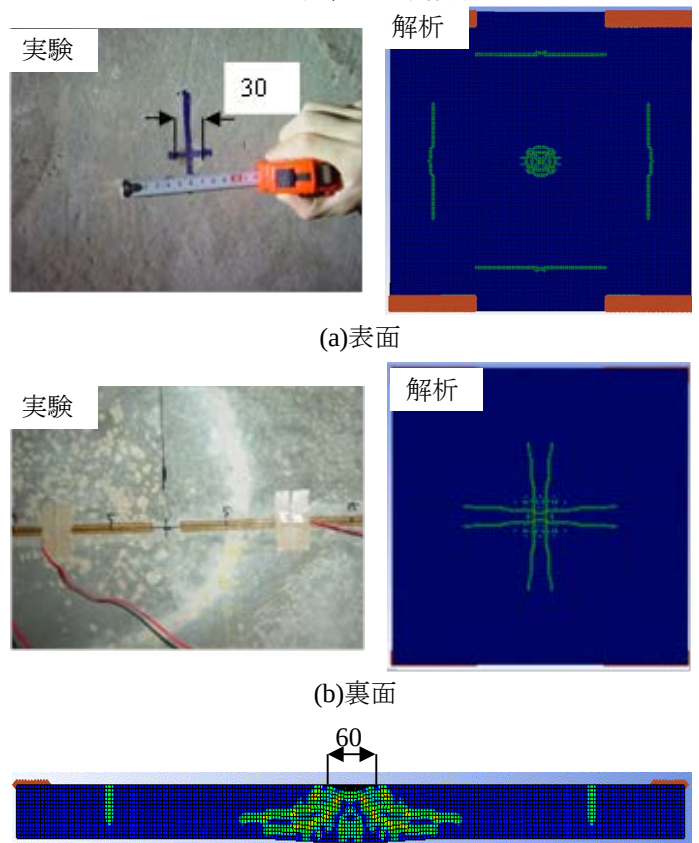


図-6 変位～時間関係



(c)解析による断面の損傷性状

図-7 破壊性状

る衝突体の水平低速衝突を受ける鉄筋コンクリート版の局部破壊メカニズムと評価法，構造工学論文集，Vol56A，2010.3

- 4)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，第 10 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集，2010.3