

局部損傷を受けた RC 版の耐爆性能に関する基礎的研究

防衛大学校 学生会員 ○長谷川 大 正会員 別府 万寿博 黒田 一郎 市野 宏嘉

1. 緒言

近年,世界的に爆破テロが多発している. 爆破テロにおいては,爆薬を積載した車両等が構造物に衝突し,その後,爆発荷重が構造物に作用する場合は考えられる. この際,衝突によって生じる構造物の損傷が耐爆性能を低下させる可能性がある. 本研究は,衝突によって局部損傷が生じた鉄筋コンクリート版(以下,RC版と呼ぶ)の損傷評価および耐爆性能について実験的な検討を行ったものである.

2. 実験の概要

2.1 高速衝突実験と損傷評価

高速衝突実験は,図-1に示す高圧空気式飛翔体発射装置および写真-1に示す先端形状が半球型,直径25mm,質量46gの鋼製飛翔体を用いて行った. 図-2に示すように縦横寸法500mm,板厚80mmとし,D6鉄筋を用いて引張鉄筋比0.54%のRC版を作製し,試験体とした. なお,コンクリートの一軸圧縮強度は31.0N/mm²である. 実験では裏面剥離が生じない程度の損傷を与えるため,衝突速度を200m/s~300m/sに設定し,合計16体の実験を行った. 衝突による試験体の損傷程度を評価するため,図-3に示す共振振動装置を用いて共振振動試験を行った. 図-3および図-4に示すように,試験体裏面の中心に発振センサーを,表面の端部4か所に受振センサーを設置し,共振振動数を計測した. この4点の平均値に基づいて,試験体の損傷程度を評価した.

2.2 爆発実験

爆発実験は,密度1.4g/cm³のC4爆薬を用いて行った. 試験体および爆薬の設置状況を図-5に示す. 実験パラメータは,爆薬量W:24~183gおよび離隔距離(スタンドオフ)R:30~100mmとした.

3. 実験結果および考察

3.1 高速衝突によるRC版の損傷特性

図-6に,高速衝突によって生じた試験体損傷の一例を示す. 衝突速度250m/sでは表面破壊が生じ(小損傷),

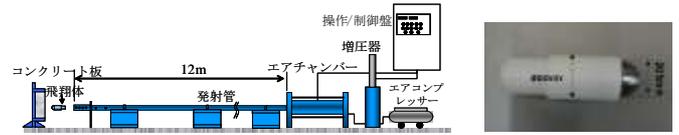


図-1 高圧空気式飛翔体発射装置 写真-1 飛翔体

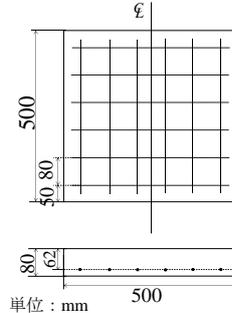


図-2 試験体配筋図

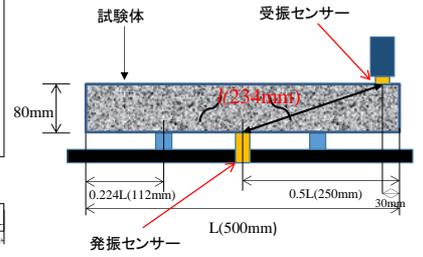


図-3 共振振動装置

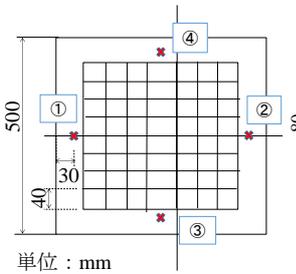


図-4 受振センサー位置

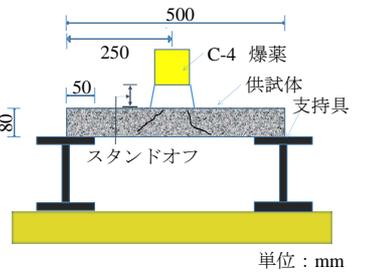


図-5 爆発実験の概要

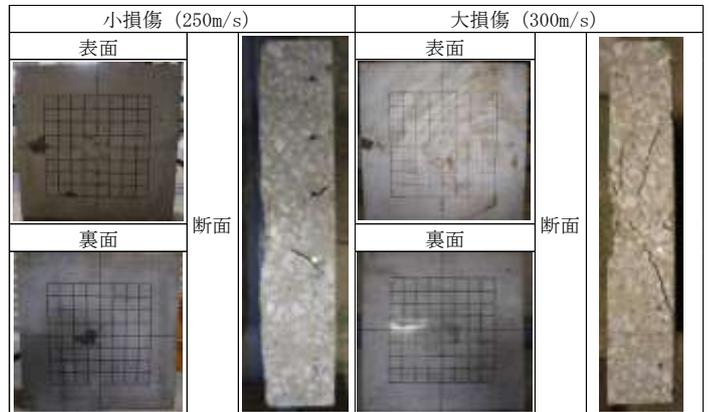
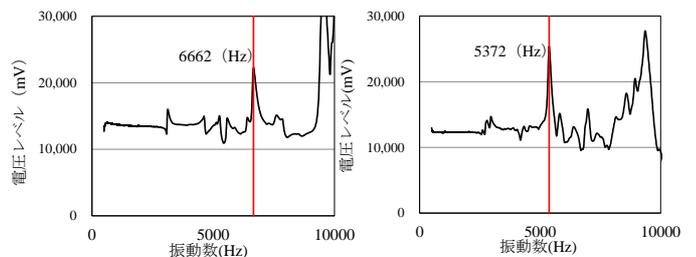


図-6 衝突実験によるRC版の損傷



(a) 無損傷 (b) 大損傷 (衝突速度 300m/s)

図-7 電圧レベルと振動数の関係

キーワード 高速衝突, RC版, 局部損傷, 共振振動試験, 耐爆性能

連絡先 〒239-0811 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: beppu@nda.ac.jp

衝突速度 300m/s では表面破壊および裏面に中心から四隅に向かう微小なひび割れが生じた (大損傷)。

共振振動試験によって得られた電圧レベルと振動数の関係の例を図-7に示す。本研究では、図-7中に赤線で示した一次の振動数(以下、一次共振振動数と呼ぶ)を用いて損傷程度を評価した。なお、無損傷の一次共振振動数は、理論値¹⁾の6757Hzとほぼ一致した。図-8に、一次共振振動数と衝突速度の関係を示す。図から、衝突速度が250m/s以上になると、損傷が進展することにより一次共振振動数が大きく低下し始めることがわかる。

3.2 近接爆発による破壊性状および損傷評価

図-9に、爆発実験後における試験体損傷の一例を示す。爆薬量70g, 離隔距離6.7cmのケースでは、無損傷の試験体には表面破壊が生じ、衝突速度300m/sの試験体には裏面剥離が生じた。すなわち、衝突による局部損傷が大きいほど、試験体の損傷が大きくなることがわかる。図-10に、爆発荷重を受けるRC版の局部破壊評価式であるMcVayおよび森下らの式²⁾を実験値と比較して示す。実験結果の裏面剥離限界板厚が評価式よりも小さくなる傾向を示したため、図中の緑線で示すようにMcVayおよび森下らの式を下方へ移動した。同様に、損傷したRC版に対してMcVayおよび森下らの式を調整した換算裏面剥離限界板厚の評価式も図に示している。図-11に無損傷試験体の換算裏面剥離限界板厚を Z_0 、各損傷試験体の換算裏面剥離限界板厚を Z_p 、また無損傷試験体の一次共振振動を f_0 、各損傷試験体の一次共振振動を f_p として、 $Z_p/Z_0 \sim f_p/f_0$ 関係を示す。図から、一次共振振動数が10%低下した場合には換算裏面剥離限界板厚に大きな差は生じないが、一次共振振動数が20%低下すると換算裏面剥離限界板厚が1.4倍になることがわかる。

4. 結言

本研究は、衝突により局部損傷を受けたRC版の耐爆性能について実験的に検討を行ったものである。高速衝突実験および共振振動試験から、衝突速度250m/s以上の衝突で損傷したRC版の一次共振振動数は大きく低下することがわかった。また、局部破壊評価式で換算した裏面剥離限界板厚は、衝突による損傷が大きい場合は1.4倍に増大することがわかった。

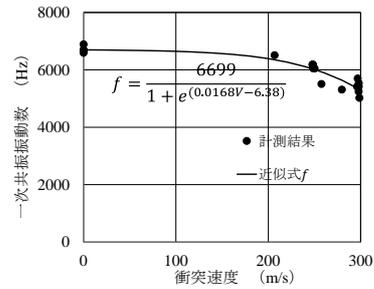


図-8 一次共振振動数と衝突速度の関係

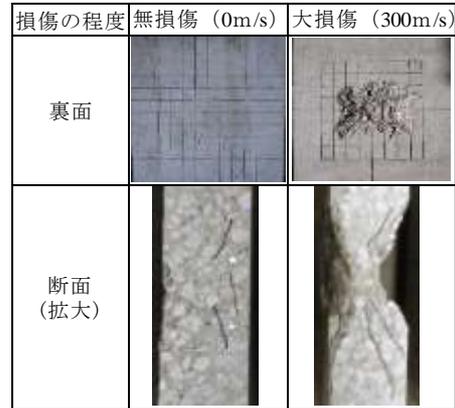


図-9 爆発実験結果による損傷例

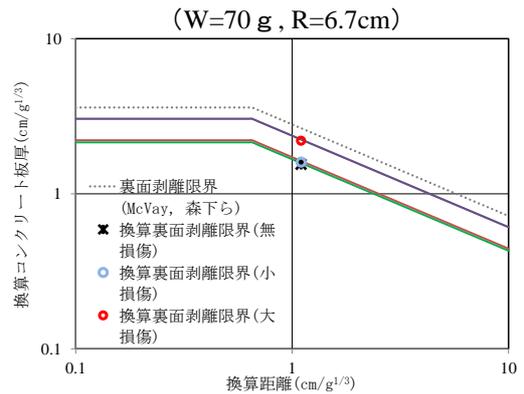


図-10 McVay および森下らの式との比較

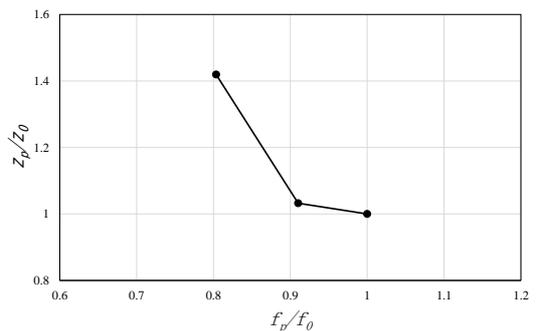


図-11 $Z_p/Z_0 \sim f_p/f_0$ の関係

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート示方書(規準編)，2005
- 2) 大野友則，飯田光明，藤掛一典，藤本一男，別府万寿博，染谷雄史/共著，基礎からの爆発安全工学—構造物の耐爆設計の基礎—，2011