

# 数値シミュレーションによる爆発荷重を受けるコンクリート版の挙動

防衛大学校 学生会員 海野晋吾 正会員 別府万寿博 大野友則  
CRC ソリューションズ(株) 片山雅英

## 1. 緒言

本研究は、衝撃解析コード「2D-AUTODYN(以下 AUTODYN)」を用いて爆発荷重を受けるコンクリート版の挙動を検討したものである。2次元軸対象の解析モデルと比較的単純な材料の構成モデルを用いて解析を行い、文献1)の実験結果をどの程度シミュレートできるか検討した。

## 2. 近接爆発実験のシミュレーション解析

### 2.1 実験の概要と結果

試験体は図-1 に示すように、600mm×600mm×100mm の鉄筋コンクリート版を用いている。爆薬には Pentolite(PETN と TNT を質量比で 50%ずつ混合したもの)が使用されている。爆薬は直径と高さが等しい円柱形で、試験体上の保持治具上に設置し、治具の高さを変えることによりスタンドオフ距離 R(爆薬表面と試験体表面との距離)を調整している。薬量は 18g, 47g および 113g とし、それぞれスタンドオフ距離を変化させて試験を行っている。

ここで薬量 113g ,スタンドオフ距離 R=10mm のケースで損傷した試験体断面の状況を写真-1(上が爆発面側)に示す。これより、裏面のスポール破壊が顕著に生じ、試験体裏面のほぼ全域が剥離している。また断面中央部分から生じた横方向のひび割れが広範囲に広がっていることがわかる。

### 2.2 解析結果および考察

図-2 に、解析モデルを示す。モデル化は 2次元軸対称で行っている。Pentlite および空間を満たす空気部分は 0.25mm 四方で要素分割し、メッシュ間の物質移流を評価することにより物質の動的挙動を記述する Euler の方法を用いた。コンクリート版は 10mm 四方でメッシュを切り、計算メッシュが物質の変化にともなって変形する Lagrange の方法を用いた。境界条件は実験と整合するように、コンクリート版下面の外から 50mm の領域を上下方向に固定した。爆薬要素の材料モデルは文献 2)を参考にして JWL の状態方程式を用いている。コンクリートの構成モデルは Mohr-Coulomb の降伏条件とし、引張側は主応力が 3MPa に達した時点で軟化させ、破壊エネルギーは 0.1MJ/m<sup>2</sup>とした。また、ひずみ速度効果は考慮していない。図-2 に示しているポイント 1~12 ではコンクリート版内の圧力および主ひずみを、ポイント 13~16 では爆風圧力を算出した。表-1 に、解析に用いたコンクリートの力学特性を示す。

#### (1)爆風圧

図-3 は、ポイント 13~16 における爆風圧と爆発後経過時間の関係

表-1 コンクリートの力学特性

Reference Density (kg/m <sup>3</sup> )	Bulk Modulus (GPa)	Shear Modulus (GPa)	Tensile Failure Stress (MPa)	Crack Softning Gf (mJ/m <sup>2</sup> )
2.45 × 10 <sup>3</sup>	11.1	8.33	3.00	0.10

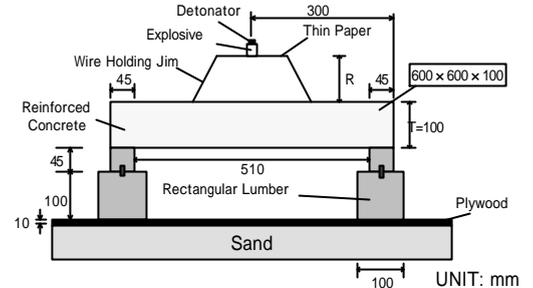


図-1 近接爆発試験体



写真-1 薬量 113g, R=1cm 時の試験体断面図

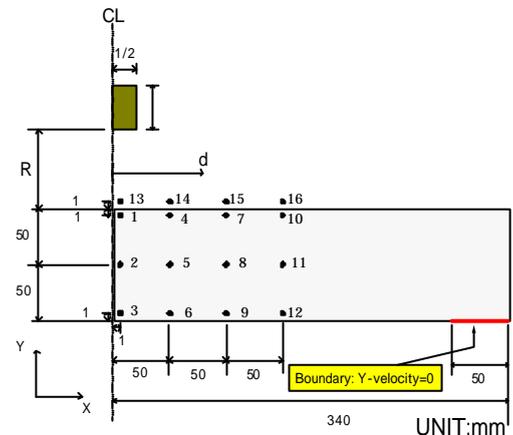


図-2 近接爆発解析モデル

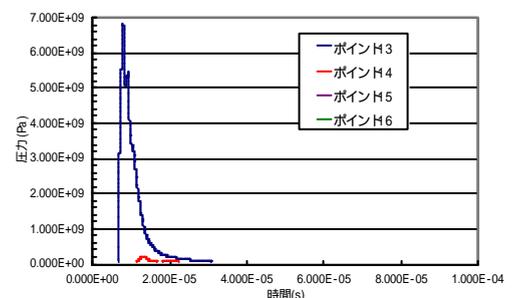


図-3 爆風圧と爆発後経過時間の関係

キーワード：爆圧伝播状況、2D-AUTODYN、爆発荷重、コンクリート版の損傷

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 Fax:046-844-5913

係, 図-4 は最大爆風圧と中心からの距離の関係を示している. ポイント 13 の爆風圧の最大値は 7GPa と極めて大きい値であり, 爆風圧は中心から 50mm の狭い範囲に集中していることがわかる.

(2) 圧力および損傷分布

解析結果の圧力図および損傷図の時刻歴分布を, 図-5 に示す. まず図-5(a)の圧力図より, コンクリート版に爆圧が作用した後の圧力伝播状況は以下のとおりである.

正の圧力(圧縮)が放射状に下方向へ伝播する. ( $t=2 \times 10^{-5} \sim t=4 \times 10^{-5}s$ )

正の圧力がさらに両側に広がっていき, また供試体裏面に負圧(引張)が生じる. ( $t=4 \times 10^{-5} \sim t=6 \times 10^{-5}s$ )

両側へ広がる正圧の真後に負圧が発生し, 左右の端部へ伝播する. ( $t=6 \times 10^{-5} \sim t=1.4 \times 10^{-4}s$ )

次に, 図-5(b)に示す損傷図から損傷領域の発生状況は, まず正圧の伝播とともに圧縮応力による塑性域が広がっていく. またその塑性域に続いて, 板厚方向の引張破壊(スポール破壊)や対称軸回転方向のひび割れも発生していることがわかる. 爆風圧が大きいのは中心から 50mm の範囲までであったが, 解析によると圧力の伝播によって供試体全域が次々と損傷破壊していくことがわかる. ただし, コンクリートの構成モデルが比較的単純なことやひずみ速度効果を考慮していないこと, および鉄筋をモデル化していないことから, 破壊領域は過大に評価されていると考えられる.

(3) 主ひずみの応答

図-6 は, ポイント 3 における主ひずみと爆発後経過時間の関係である. 普通強度コンクリートの引張限界のひずみは約  $150 \mu$  程度であることから,  $150 \mu$  以上のひずみが生じている部分を破壊領域として示している. これより, 約  $3.0 \times 10^{-5} s$  で破壊しており, これは図-5(下)の損傷図と一致している. 図-7 は, 爆発後経過時間が  $5.0 \times 10^{-5} s$  時のスポール部分の主ひずみと中心からの距離  $d$  の関係をポイント 3, 6, 9, 12 の解析結果により示したものである. これより, 中心から 130mm 程度までが破壊領域となり, 写真-1 と傾向は一致している.

3. 結言

1) スポールや横方向のひび割れ発生過程, およびコンクリート版全域が破壊している様子をシミュレートすることができた.

2) 今後, 動的構成モデル, 爆風圧の最大値や到達時間の妥当性, 配筋によるコンクリート版の挙動の変化について検討する必要がある.

参考文献

- 1) 田中秀明: 爆発を受ける鉄筋コンクリート版の損傷に及ぼす爆発位置の影響, 土木学会論文集, No.675/ -55, pp.297-312, 2001. 4
- 2) 萩谷浩之: 数値シミュレーションを用いた鉄筋コンクリート版の爆発損傷の評価, Science and Technology of Energetic Materials, Vol.64, No.5, pp.192-200, 2003.

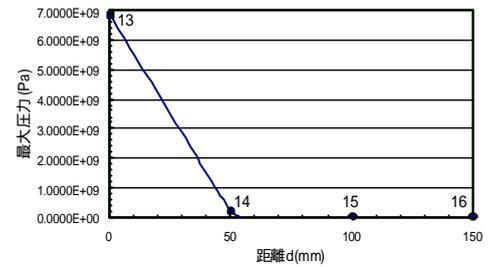
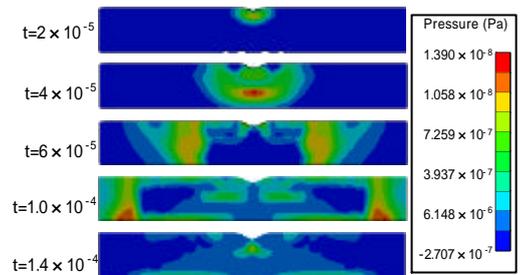


図-4 爆風圧の最大値と中心からの距離の関係



(a) 圧力図



(b) 損傷図

図-5 シミュレーション結果

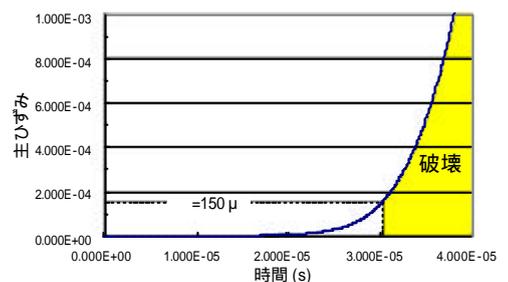


図-6 主ひずみと時間の関係(ポイント 3)

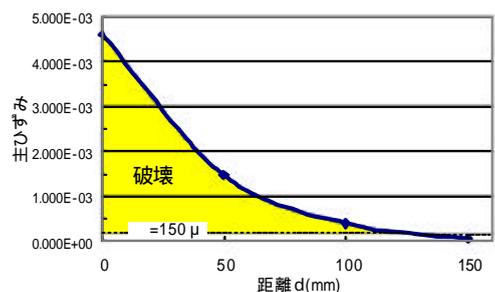


図-7 主ひずみと中心からの距離の関係 ( $t=5 \times 10^{-5} s$ )