

# 接触爆発を受けるコンクリート板のひずみ応答に関する数値シミュレーション

防衛大学校 学生会員 ○岩根利浩 正会員 別府万寿博

## 1. 諸言

爆発荷重を受けるコンクリート構造物の安全性を評価するためには、構造物の破壊挙動をシミュレートできる解析法の確立が不可欠である。本研究は、衝撃解析コード AUTODYN を用いて、爆発荷重を受けるコンクリート板内部のひずみ応答について数値シミュレーションを試みたものである。この際、コンクリート板内部のひずみを用いて、本研究のシミュレーション結果と比較した。

## 2. 実験の概要

澤田らは、コンクリート板供試体に対して接触爆発実験を行い、コンクリート板内部のひずみを調べている<sup>1)</sup>。コンクリート板は縦500mm×横500mm×100mm、コンクリートの圧縮強度は45.7 N/mm<sup>2</sup> である。実験に用いた爆薬は写真-1に示す密度1.4/cmのComposition C-4(C4爆薬)であり、質量は10gである。供試体内部のひずみを測定するため、写真-2に示すひずみゲージを用いた計測装置を使用している。このひずみ計測装置は、アクリル棒に長さ5mmのひずみゲージを貼付したものである。ひずみゲージの設置位置を図-1に示す。Cシリーズはコンクリート板裏面から垂直な方向に、Sシリーズは30°、Tシリーズは60°の角度をなす直線上に設置されている。実験の概要を写真-3に示す。

## 3. 数値シミュレーションおよび考察

### 3.1 解析モデル

衝撃解析コード AUTODYN を用いて、シミュレーション解析を行う。図-2 に解析モデルを示す。コンクリート板および C4 爆薬モデルの寸法は実験と同じである。コンクリート板供試体は、対称性を考慮して板の4分の1をモデル化した。空気およびコンクリート板の要素分割はそれぞれ 160×160×15 分割、80×80×30 分割とし、総分割数は空気が 384,000、コンクリート板が 192,000 である。なお、C4 爆薬の総分割数は 64 であり、C4 爆薬の起爆点は爆薬の中心とした。C4 爆薬と空気は、要素間の物質移流を評価することにより物質の挙動を記述するオイラーの方法を用い、コンクリート板のモデル化にはラグランジェの方法を用いた。また、ラグランジェとオイラー要素の境界には相互作用面を設定し、板下面の両端部50mmの領域を固定して、空気の部分は境界面を爆風圧が透過でき

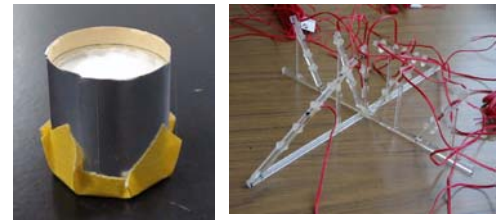


写真-1 C4 爆薬

写真-2 ひずみ計測装置

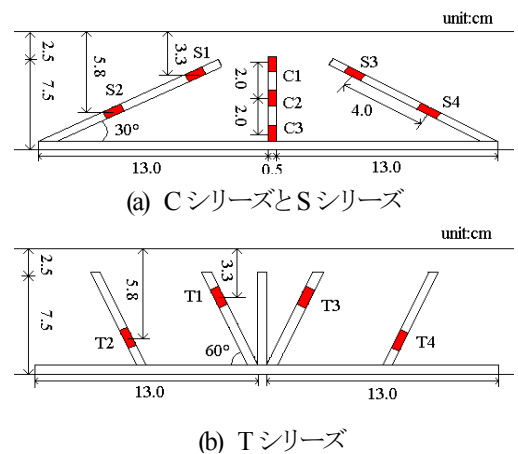


図-1 ひずみゲージの位置

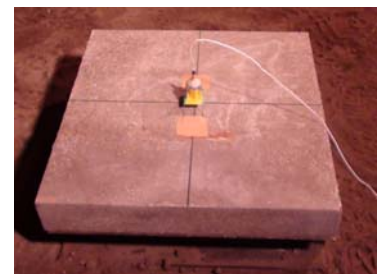


写真-3 実験の概要

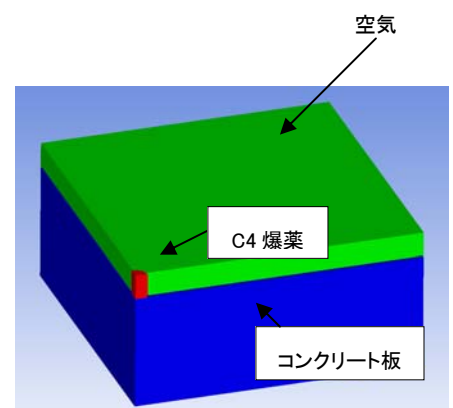


図-2 3次元解析モデル

キーワード: 接触爆発, コンクリート板, 局部破壊, ひずみ応答, 数値シミュレーション

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(ex3521) E-mail:s56075@nda.ac.jp

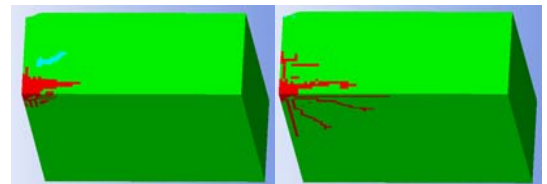
るように流出条件を設定した。また、爆発実験で得られたコンクリート板内部のひずみ応答と比較するため、図-1 で示したひずみゲージの端点にデータ出力点を設定し、2 点間の変位差からひずみを求めた。

### 3.2 材料モデル

表-1 に、材料モデルおよび解析定数を示す。静的圧縮強度は  $46\text{N/mm}^2$  とし、引張強度は圧縮強度の 10 分の 1 ( $4.6\text{N/mm}^2$ ) とした。コンクリートの圧縮強度からヤング率は  $32\text{kN/mm}^2$  と設定した。コンクリート材料は、爆発荷重を受けるとひずみ速度が大きくなるため、本解析モデルではひずみ速度を  $10^3(1/\text{s})$  と仮定した。また、破壊則はスポール破壊を考慮し、スポール圧力は  $-12.0(\text{MPa})$  を用いた。状態方程式は線形とし、降伏条件は Drucker-Prager の降伏基準を用いた。

表-1 材料

| 状態方程式     | 線形型                                                |
|-----------|----------------------------------------------------|
| 降伏条件      | Drucker-Prager降伏基準                                 |
| 破壊基準      | スポール破壊                                             |
| エロージョンひずみ | 2.5                                                |
| 圧縮強度      | 静的 : $46.0(\text{N/mm}^2)$                         |
|           | 動的 ( $10^3(1/\text{s})$ ) : $117.9(\text{N/mm}^2)$ |
| 引張強度      | 強度倍率 : 2.56                                        |
|           | 静的 : $4.6(\text{N/mm}^2)$                          |
| 引張強度      | 動的 ( $10^3(1/\text{s})$ ) : $90.16(\text{N/mm}^2)$ |
|           | 強度倍率 : 19.6                                        |
| 縦弾性係数     | $32.0(\text{kN/mm}^2)$                             |
| ポアソン比     | 0.15                                               |
| 密度        | $2.31(\text{g/cm}^3)$                              |



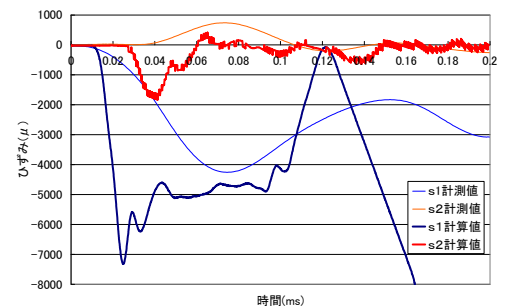
t=0.038ms

t=0.078ms

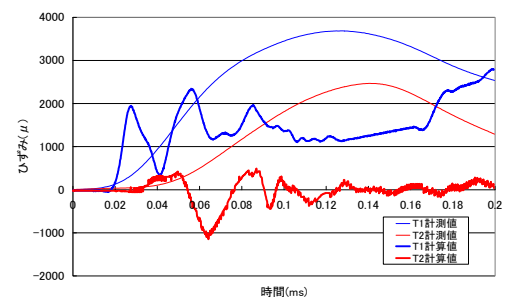
## 4. 解析結果

図-3 に、解析による破壊の進行過程を示す。t=0.038ms において、裏面にひび割れが生じ、t=0.078ms において板内部に斜めひび割れが生じた。実験結果では板内部のひび割れは目視で確認できなかったため、本解析は実験に比べて過大な破壊となった。図-4 に、実験と解析結果のひずみ～時間関係を比較して示す。図-4(a),(b)はそれぞれ S,T シリーズ(斜め方向)のひずみ～時間関係の比較を表している。図-4(a)(b)より、ひずみ S,T は同じ位置では、ほぼ同時刻にひずみ応答が始まっている。また、爆発地点から近い位置の最大圧縮あるいは引張ひずみが大きいことがわかる。図-4(a)より、S1 では爆発荷重を受けた後の実験および解析結果の最大圧縮ひずみはそれぞれ  $7200\mu$ 、 $4300\mu$  であり、いずれも圧縮ひずみが生じた後、残留ひずみが生じている。S2 では実験では引張ひずみが生じているが、解析では圧縮ひずみが生じた。図-4(b)の解析結果から、t=0.05ms において T1 の最大引張ひずみが  $2300\mu$ 、T2 では 0.09ms において  $500\mu$  となっている。一方、実験結果の T1 では、0.13ms に  $3700\mu$ 、T2 において 0.14ms に  $2500\mu$  となっている。以上の結果から、破壊モードやひずみの最大値はやや異なるが、ひずみ波の伝播を再現することができた。

図-3 破壊の進行過程



(a)ひずみ-時間関係(S シリーズ)



(b)ひずみ-時間関係(T シリーズ)

図-4 計算結果と実験結果の比較

## 5. 結言

本研究は、爆発荷重を受けるコンクリート板のひずみ応答をシミュレーションしたものである。ひずみ速度  $10^3(1/\text{s})$  を考慮した比較的シンプルなコンクリートモデルを用いて解析した結果、ひずみ～時間関係を定性的に再現することができた。

## 参考文献

1) 澤田晃平, 別府万寿博, 前田良太: 接触爆発を受けるコンクリート板の裏面剥離発生メカニズムに関する基礎的研究, 土木学会関東支部技術研究発表会, 2011.3