

## 接触および爆発を受けるコンクリート板の局部破壊に関する基礎的考察

防衛大学校 正会員 ○別府 万寿博

### 1. はじめに

コンクリート部材が爆薬の接触あるいは近接爆発を受けると、局部破壊が発生する。一般に局部破壊は、爆発により部材に入射される応力波の反射・干渉によって生ずると説明されている。しかし、著者はコンクリート内部のひずみを計測して、押し抜きせん断破壊に類似した斜めひび割れの進展によっても裏面剥離が発生することを確認した<sup>1)</sup>。本研究は、C4爆薬の接触および近接爆発を受けるコンクリート板の局部破壊性状の特徴を調べるため、実験および解析的な検討を行ったものである。

### 2. 接触および近接爆発実験

#### 2.1 実験の概要

図-1に示す縦500×横500mm、板厚80mmのコンクリート板供試体（圧縮強度45.7N/mm<sup>2</sup>）に対して接触および近接爆発実験を行い、局部破壊性状を観察した。実験に用いた爆薬は密度1.4g/cm<sup>3</sup>のComposition C-4爆薬である。爆薬の質量は20～80gとし、爆薬下面とコンクリート表面との離隔距離（スタンドオフ）を0cm（接触爆発）～10cmに変化させた。

#### 2.2 実験結果

図-2に、薬量50g、スタンドオフ0cm（接触爆発）、2cmおよび4.5cmの場合における破壊状況を示す。なお、表面破壊深さはそれぞれ2.8cm、2.1cmおよび0.4cmであった。図から、破壊モードは、スタンドオフが大きくなるにしたがって、貫通限界、裏面剥離、表面破壊と損傷が軽減することがわかる。断面の損傷状況をみると、接触爆発では表面近傍が大きく破壊するとともに、裏面剥離とともにかなり多くの微細ひび割れが発生していた。また、表面破壊の直径と裏面剥離の直径は同じ程度であった。スタンドオフ2cmの場合は、押し抜きせん断破壊に類似した裏面剥離が生じたが、微細なひび割れはほとんど確認できなかった。スタンドオフ4.5cmの場合は、外観の観察では表面破壊と判断されたが、断面をみると斜めひび割れが生じていた。図-3は、薬量50gで接触爆発（換算距離0.54cm/g<sup>1/3</sup>）の場合と薬量80gでスタンドオフ8cm（換算距離2.01cm/g<sup>1/3</sup>）の場合における剥離片を比較したものである。これより、換算距離が小さい方が剥離片は粉々になっていることがわかる。一方、換算距離が大きくなると、剥離片は大きな塊となっており、内部からの斜めひび割れによって裏面剥離が生じたことが推察される。

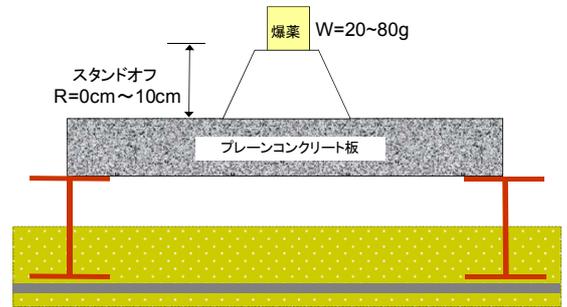


図-1 実験の概要

スタンドオフ=0cm	スタンドオフ=2cm	スタンドオフ=4.5cm
貫通限界	裏面剥離	表面破壊

図-2 実験結果 (W=50g)

薬量50g スタンドオフ0cm	薬量80g スタンドオフ8cm

図-3 剥離片の相違

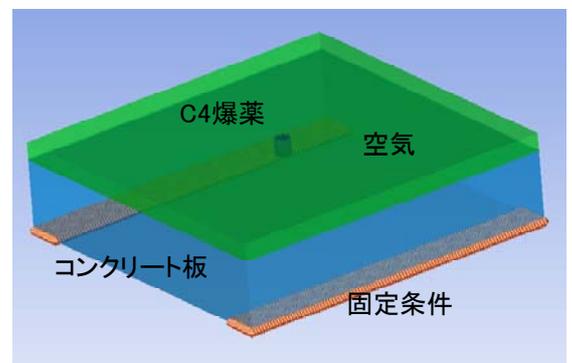


図-4 解析モデル

キーワード 接触爆発, 近接爆発, 局部破壊, コンクリート, スポール破壊, 斜めひび割れ

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

### 3. 数値シミュレーションおよび考察

#### 3.1 解析モデル

図-4 に解析モデルを示す。解析では、コンクリート板をラグランジュ座標系で、空気と C4 爆薬をオイラー座標系でモデル化した。コンクリート板には、非線形 Drucker-Prager モデルとスポール破壊基準を設定した。ひずみ速度  $10^3$  (1/s) を仮定し、強度を増加した上で構成則に入力した。また、スポール破壊基準の膨張圧は 22MPa とした。空気および C4 爆薬には、それぞれ理想気体および JWL の状態方程式を適用した。解析の対象とした実験は、換算距離が  $0.54\text{cm/g}^{1/3}$  (薬量 50g, スタンドオフ 2cm) と換算距離  $2.01\text{cm/g}^{1/3}$  (薬量 80g, スタンドオフ 8cm) とした。コンクリート板中心の表面、表面から 4cm および 8cm の位置において圧力を出力した。

#### 3.2 解析結果

図-5 は、各ケースの圧力～時間関係を比較したものである。換算距離が小さい場合の表面における圧力は、換算距離が大きい場合に対して約 10 倍大きいことがわかる。しかし、表面破壊が大きいためコンクリート板内部における減衰も非常に大きいことがわかる。最終的には、裏面における最大圧力は換算距離  $0.54\text{cm/g}^{1/3}$  の場合で 5300kPa, 換算距離  $2.01\text{cm/g}^{1/3}$  の場合で 4800kPa となり、入射時の圧力差は低減されてかなり近い値となった。図-6 は、各ケースの圧力分布を示している。これより、換算距離  $0.54\text{cm/g}^{1/3}$  の場合は、かなり高い圧力が中央部に集中していることがわかる。一方、換算距離  $2.01\text{cm/g}^{1/3}$  の場合は、圧力が分散しており、また圧力値も小さいことがわかる。すなわち、換算距離が大きい場合には、スタンドオフが大きいためコンクリート板の広い領域に爆風圧が作用することで、コンクリート内部にも圧力が分散することを示している。圧力が広く分散することによって、裏面での入射角も浅くなるため、裏面で反射して生じる引張の応力波も分散していくことが考えられる。その結果、図-7 に示すように、内部に発生するひび割れ性状は、換算距離が小さいほど微細なひび割れが多く、換算距離が大きくなるにつれて応力波による破壊の影響が低減し、斜めひび割れの影響が強くなると考えられる。

#### 4. 結言

本研究は、接触・近接爆発を受けるコンクリート板の破壊性状について、実験および解析的な検討を行ったものである。換算距離の大小によって破壊性状が変化し、換算距離が小さい(爆発の程度が大きい)ほど、応力波による破壊が増大することがわかった。

#### 参考文献

- 1) 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に関する基礎的考察, 土木学会第 66 回年次学術講演会概要集, I-072, 2011.9

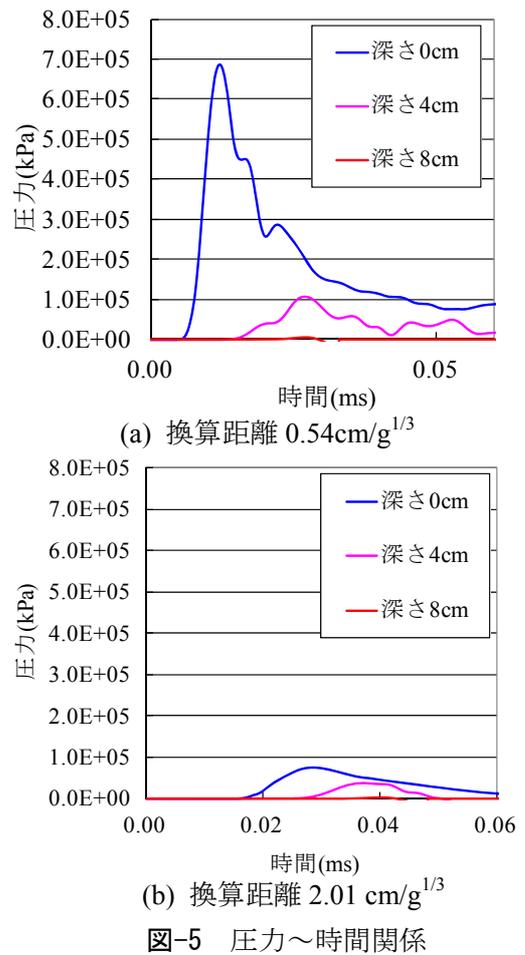


図-5 圧力～時間関係

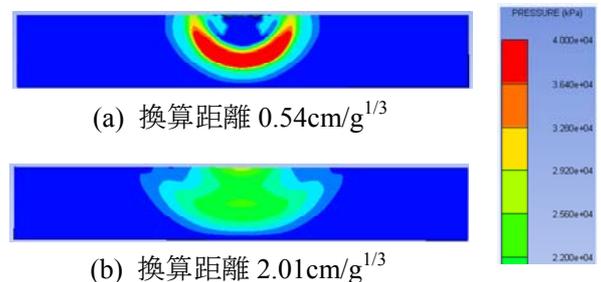


図-6 圧力分布の比較

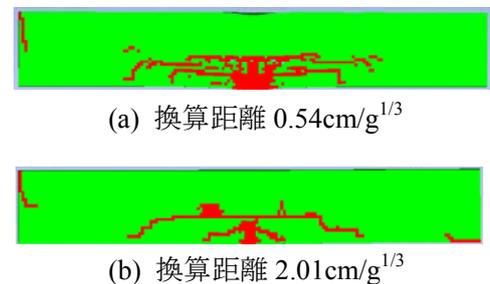


図-7 破壊性状の比較