

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

防衛大学校 正会員 ○別府 万寿博 学生会員 前田 良太

1. はじめに

コンクリート部材が爆薬の接触爆発を受けると、局部破壊が発生する。一般に局部破壊は、接触爆発により部材に入射される応力波の反射・干渉によって発生すると説明されている。しかし、局部破壊は瞬時に終了するため、データの取得や可視化が非常に困難であった。本研究は、爆薬の接触爆発を受けるコンクリート板の裏面剥離の可視化および板内部のひずみを計測し、裏面剥離の発生メカニズムを考察したものである。

2. 実験の概要

2.1 裏面剥離の可視化実験

写真-1 に示す縦 500×横 500mm、板厚 60mm のコンクリート板供試体 (圧縮強度 45.7N/mm²) に対して接触爆発実験を行い、裏面剥離の挙動を高速ビデオカメラで撮影した。実験に用いた爆薬は密度 1.4g/cm³ の Composition C-4 爆薬である。爆薬の質量は 10~17g で 4 種類設定し、実験をそれぞれ 2 回行った。



写真-1 供試体

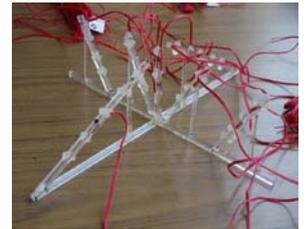
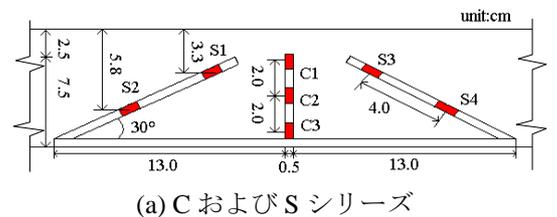


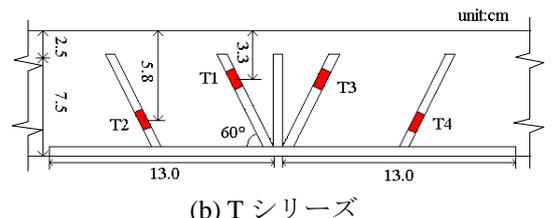
写真-2 ひずみ計測装置

2.2 ひずみ応答の計測実験

爆薬の接触爆発を受けるコンクリート板内部のひずみ応答を調べるため、コンクリート板供試体に対して接触爆発実験を行った。供試体の寸法は可視化実験と同じであり、板厚は 100mm である。C4 爆薬は 10g とした。供試体内部のひずみを計測するため、写真-2 に示す計測装置¹⁾を作製し、板内部に埋設した。これは、アクリル棒に長さ 2mm 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。図中の C シリーズはコンクリート板裏面から垂直な方向に設置した。S および T シリーズは、裏面から 30° および 60° の角度をなす直線状に設置した。また、反力を計測するため、供試体の 4 隅にロードセルを設置した。



(a) C および S シリーズ



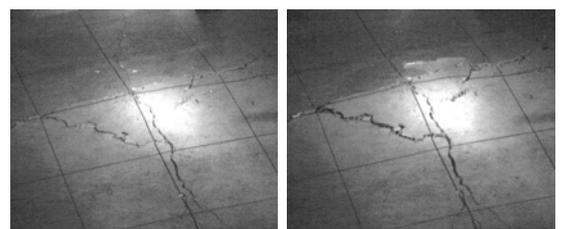
(b) T シリーズ

図-1 ひずみゲージの位置

3. 実験結果および考察

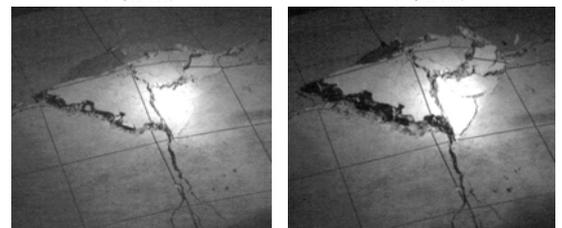
3.1 裏面剥離の可視化実験

写真-3 に、高速ビデオカメラで撮影した裏面剥離の挙動を 0.1ms 間隔で示す。爆薬量は 15g である。写真から、t=0.1ms で直径 15cm の円形のひび割れが発生し、その後ひび割れで囲まれた領域が剥離していくことがわかる。写真-4 に、実験後に供試体を切断して確認したコンクリート板内部の破壊状況を示す。これより、裏面から 35mm の高さから、約 30° の角度で破壊が発生していることがわかる。



t=0.1ms

t=0.2ms



t=0.3ms

t=0.4ms

写真-3 裏面剥離の挙動

3.2 ひずみ応答の計測実験

図-2 に、ひずみ C1, S1, T1 および支点反力の時刻歴応答を

キーワード 接触爆発, 裏面剥離, コンクリート, 応力波

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

示す。図から、ロードセルが反応する時刻 $t=0.18\text{ms}$ よりも早い時刻において各ひずみが 4000μ 以上の大きな値を示している。このことから、支点反力は裏面剥離の発生に影響していないことがわかる。



写真-4 コンクリート板の破壊状況

図-3 に、C1~C3 のひずみ~時間関係を示す。なお、図中の原点はひずみ C1 が応答を開始した時刻であり、以下の図も同様である。図から、ひずみ C1, C2 は圧縮ひずみを生じた後、引張ひずみへ転じていることがわかる。一方、C3 は、 $t=0.02\text{ms}$ において引張ひずみを生じた後、圧縮ひずみを示した。C3 のひずみ応答の傾向が変化した理由は、C3 の位置は裏面に近いため、入射された圧縮応力波が裏面で引張波に変化して干渉したためと考えられる。

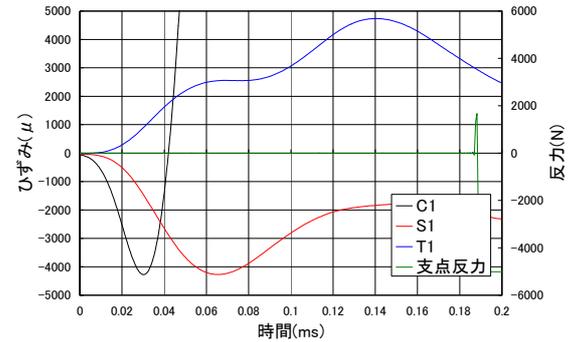


図-2 ひずみと支点反力の時刻歴応答

図-4 に、斜め方向のひずみ S1, S2, T1, T2 のひずみ~時間関係を示す。S1 は、 $t=0.07\text{ms}$ において圧縮ひずみが、T1 では $t=0.013\text{ms}$ においてコンクリートの限界引張ひずみ 200μ を大きく超える引張ひずみが生じている。また、T2 は $t=0.03\text{ms}$ において引張ひずみが生じており、T1 で発生したひび割れが進展したことを示していると考えられる。可視化による裏面剥離の挙動と比較すると、この斜め方向のひび割れによって裏面剥離が形成されたと考えられる。なお、S2 については、S1 に生じた圧縮ひずみが円周状に伝播する場合には圧縮ひずみが発生すると考えられるが、実験結果では引張ひずみが生じた。この理由は、応力波が局部的に伝播し、裏面で反射した引張波の影響が大きくなったものと考えている。

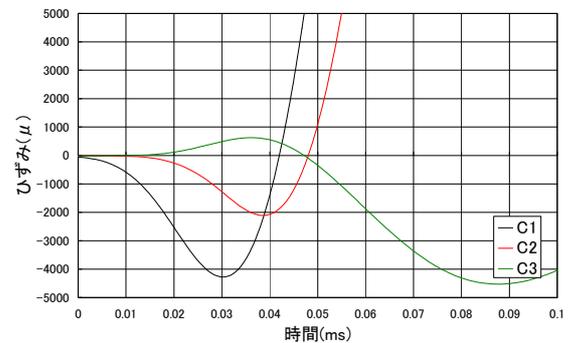


図-3 Cシリーズのひずみ~時間関係

裏面剥離の発生メカニズムの模式図を図-5 に示す。爆発によって大きな圧縮波がコンクリート板に入射される。この圧縮応力波は裏面で反射・干渉することによってスポールひび割れが生じる。その後、コンクリート板内部の斜め方向にもひび割れが進展して裏面剥離の領域を形成すると考えられる。

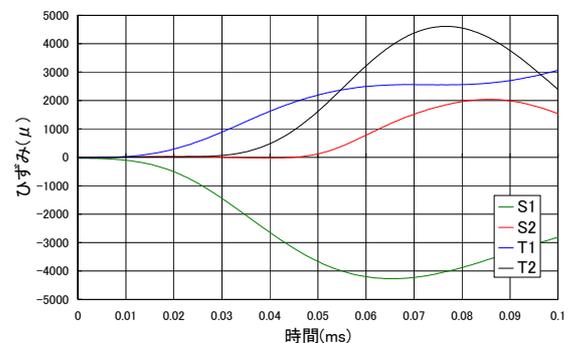


図-4 SおよびTシリーズのひずみ~時間関係

4. 結言

本研究は、爆薬の接触爆発を受けるコンクリート板の裏面剥離について考察したものである。裏面剥離の可視化および板内部のひずみ応答から、爆薬直下における応力波の伝播、干渉とともに斜め方向のひび割れによって裏面剥離領域が形成されていることがわかった。

謝辞：本研究を行うにあたり、電気化学工業(株)高橋順氏および(株)クラレ小川敦久氏にご支援をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 三輪幸治:剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板内部の裏面剥離発生メカニズムと耐衝撃補強に関する研究, 防衛大学校理工学研究科博士後期課程論文, 2010.3

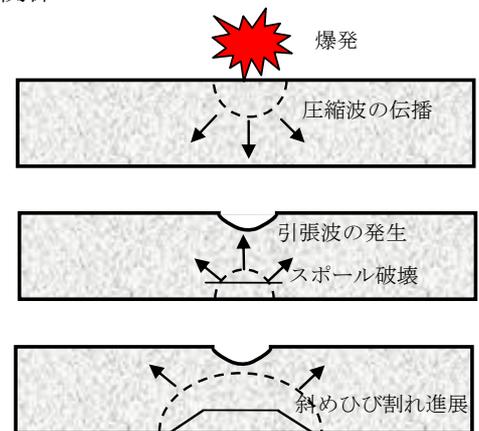


図-5 裏面剥離の発生メカニズム