

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

防衛大学校 学生会員 ○澤田 晃平 正会員 別府 万寿博 学生会員 前田 良太

1. 序言

近年、世界的に爆破テロが多発しており、テロの対象となり得る重要構造物に対しては耐爆設計を行う必要がある。爆発荷重を受けるコンクリート板の局部破壊モードには、表面破壊、裏面剥離および貫通がある。構造物内部の人命・機器の安全を確保するため、また構造物の損傷を抑止する観点から、コンクリート構造物の裏面剥離を防止する必要がある。

本研究は、コンクリート構造物の耐爆設計に資するため、接触爆発を受けるコンクリート板に生じる裏面剥離の発生メカニズムについて検討を行ったものである。

2. 実験の概要

(1) コンクリート板に生じる裏面剥離の可視化実験

写真-1(a)に示す縦500mm×横500mm×板厚60mm、圧縮強度45.7N/mm²のコンクリート板供試体に対して接触爆発実験を行い、裏面剥離の挙動を写真-1(b)に示す高速ビデオカメラで撮影した。実験に用いた爆薬は写真-2に示す密度1.4g/cm³のComposition C4

(C4爆薬)である。爆薬の質量は10, 13, 15, 17gとし、実験回数はそれぞれ2回、合計8回の実験を行った。

(2) コンクリート板内部のひずみ応答実験

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。供試体の寸法は先述したコンクリート板と同じであり、板厚は100mmとした。C4爆薬の密度は1.4g/cm³、質量は10gとした。供試体内部でひずみを測定するため、ひずみゲージを用いた計測装置¹⁾を作製した。写真-3に示すひずみ計測装置は、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。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した。反力を計測するため供試体の四隅にロードセルを設置した。

3. 実験結果及び考察

(1) コンクリート板に生じる裏面剥離の可視化実験

写真-4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。t=0.1msで直径15cm程度の円形のひびが発生し、t=0.2ms以降ではその部分が剥離していくことがわかる。写真-5に、コンクリート板内部の破壊を示す。裏面から35mmの高さから、30°の角度で破壊が生じており、コンクリート板の押し抜きせん断破壊に類似していることがわかる。



(a) 供試体

(b) 撮影機器

写真-1 実験の概要

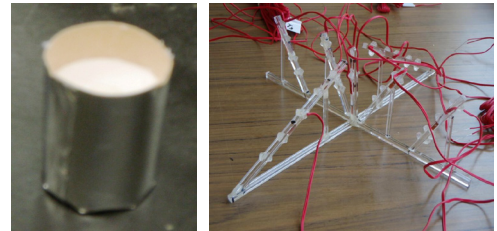
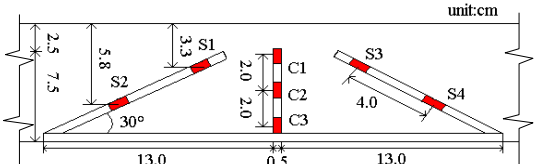
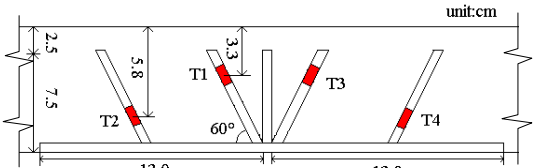


写真-2 C4爆薬

写真-3 ひずみ計測装置

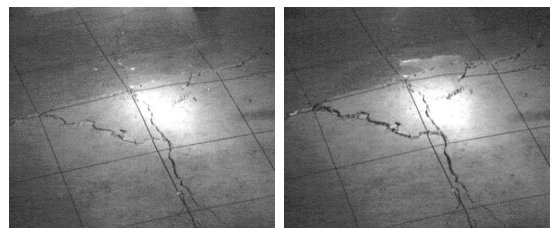


(a) CシリーズとSシリーズ



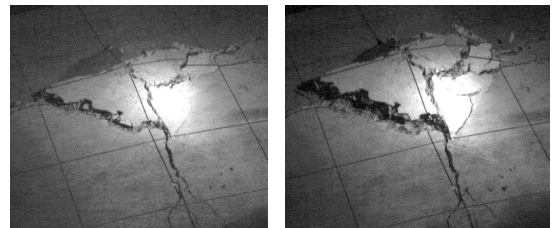
(b) Tシリーズ

図-1 ひずみ計測装置



t=0.1ms

t=0.2ms



t=0.3ms

t=0.4ms

写真-4 裏面剥離の挙動

キーワード：接触爆発、コンクリート板の裏面剥離、応力波、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

(2) コンクリート板内部のひずみ応答実験

図-2に、ひずみC1, S1, T1および支点反力の時刻歴応答を示す。ロードセルが反応を始める $t=0.18\text{ms}$ よりも早い時刻でひずみC1, S1, T1が $4000\ \mu$ 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あまり影響していないことがわかる。

図-3に、爆薬直下のひずみC1, C2, C3のひずみ～時間関係を示す。図中の原点は、ひずみC1が応答を開始した時刻である。ひずみC1, C2ではそれぞれ $t=0\text{ms}$, 0.013ms において圧縮ひずみが生じている。その後、ひずみC1, C2はそれぞれ $t=0.042\text{ms}$, 0.048ms において引張ひずみを生じた。ひずみC3は $t=0.020\text{ms}$ において引張ひずみが生じている。これは、圧縮応力波が裏面で自由端反射して引張応力波となり、引張ひずみが発生したためと考えられる。応力波の伝播速度を 3000ms と仮定すると、ひずみC1の位置からひずみC2, C3の位置までの距離は 20mm , 40mm であるため、ひずみC1からC2, C3へ圧縮応力波が到達する時刻はそれぞれ $t=0.07\text{ms}$, 0.013ms となり実験とほぼ一致する。すなわち爆薬直下のひずみ応答は、応力波理論により説明できる。

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。図中の原点は、ひずみC1が応答を開始した時刻である。ひずみS1では $t=0.007\text{ms}$ において圧縮ひずみが、ひずみ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である $200\ \mu$ 以上の引張ひずみが生じており、T1の位置にひび割れが生じていると考えられる。ひずみT2は $t=0.03\text{ms}$ において引張ひずみが生じていることから、T1に生じたひび割れが進展していることがわかる。これは、写真-5に示した斜めひび割れに対応していると考えられる。なお、S1に生じた圧縮ひずみが円周状に伝播する場合はS2の位置にも圧縮ひずみが生じると考えられるが、ひずみS2では引張ひずみが計測されている。この理由は、応力波がより局所的な領域に伝わり、裏面で反射した引張波が伝播したものと考えられる。図-5に裏面発生メカニズムを模式的に示す。爆発によって生じた圧縮応力波がコンクリート板裏面で自由端反射し、引張応力波となりコンクリート板内部に引張破壊が生じる。同時に、Tシリーズ方向に斜めひび割れが進展する。すなわち裏面剥離は、この斜めひび割れと引張破壊による複合的な破壊であると考えられる。

4. 結言

本研究は、コンクリート板に生じる裏面剥離の可視化とコンクリート板内部のひずみ応答を調べたものである。裏面剥離の挙動を視覚的に確認するとともに、コンクリート板の裏面剥離は応力波の伝播や斜めひび割れの進展が複合した破壊であることがわかった。

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の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後期（博士）課程論文，20103

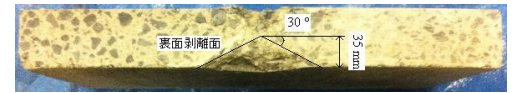


写真-5 コンクリート板内部の破壊状況

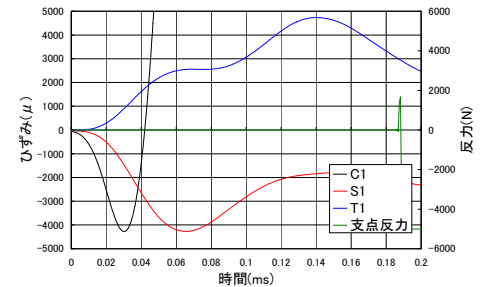


図-2 ひずみおよび支点反力～時間関係

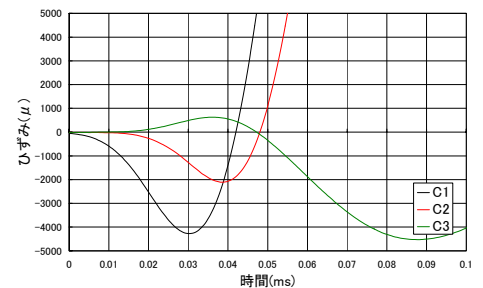


図-3 Cシリーズのひずみ～時間関係

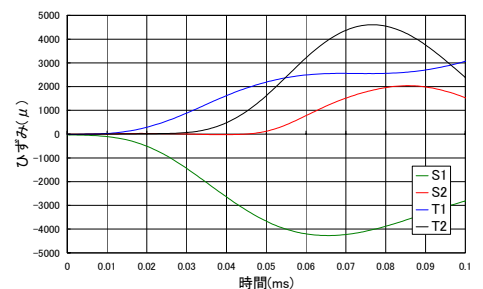


図-4 SおよびTシリーズのひずみ～時間関係

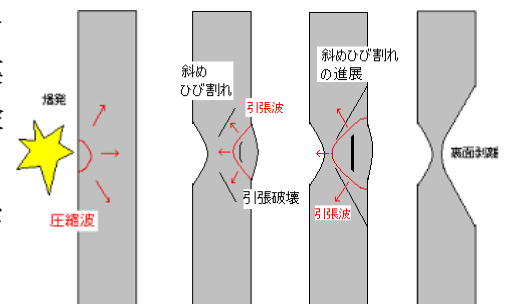


図-5 裏面剥離の発生メカニズム