

接触爆発を受けるコンクリート板に対する樹脂材料を用いた耐爆補強法

防衛大学校 学生会員 ○山内 稔也

正会員 市野 宏嘉

正会員 別府万寿博

1. 序言

爆発を伴うテロ行為や不測の爆発事故により、コンクリート構造物が爆発荷重を受けると、爆薬量や爆発位置等の条件に応じて、曲げやせん断変形による全体破壊や、クレータ、スポール、貫通といった局部破壊が生じる。ここで、クレータとは爆発荷重が作用する面に生じる表面破壊を示し、スポールとは爆発荷重の作用面とは反対の面に生じる剥離破壊を示す。したがって、構造物内部の人命・財産を防護する観点から、爆発荷重に対するコンクリート構造部材の局部的な耐爆性能としてはスポールを防ぐことが求められる。本研究では、コンクリート構造物に対する耐爆設計法の確立に資するため、爆薬がコンクリート板に接触した状態で爆発した場合（接触爆発）の板の局部破壊に対する樹脂材料を用いた裏面補強の効果について検討する。接触爆発実験により、裏面補強が局部破壊の低減および破片の飛散防止に及ぼす影響を調べ、ポリウレア樹脂による補強効果をコンクリート板厚に換算して評価した。

2. 実験方法

コンクリート板供試体の寸法は、縦 500mm、横 500mm および厚さ 80mm で、実験時のコンクリートの一軸圧縮強度は 28.9N/mm^2 である。なお、取り扱い中の供試体の損傷を防ぐために D6 鉄筋をコンクリート板の四周に配置した。図-1 に、接触爆発実験の概要を示す。コンクリート板は二辺単純支持とした。補強材料としては破断伸びが大きい高分子系材料であるポリウレア樹脂を用いた。コンクリート板の爆発面と反対側（裏面）には、ポリウレア樹脂を塗膜厚さ 2, 4 および 8mm に吹き付けた。ポリウレア樹脂の引張強度は 30N/mm^2 、破断伸びは 450% である。比較のため、裏面補強を行わないコンクリート板に対して実験を行った。実験回数はそれぞれのケースに対して各 2 回である。実験用爆薬には、可塑性があり熱や衝撃に対して比較的鈍感な C-4 爆薬 46g を円柱形に成形して使用した。爆発後、コンクリート板試験体を切断し、板内部の損傷の状態を観察した。

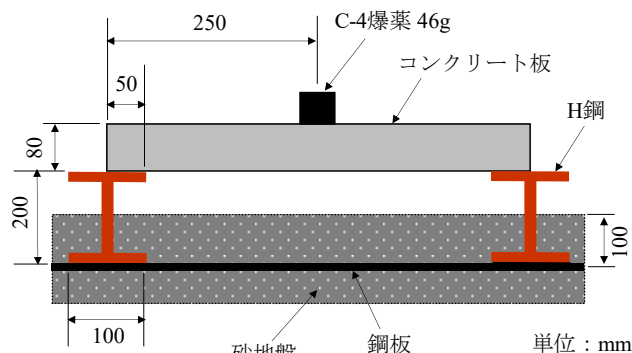


図-1 実験の概要

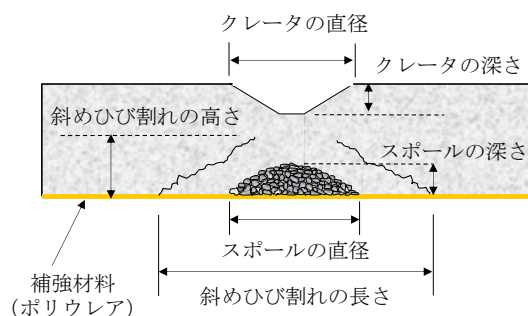


図-2 損傷の定義

3. 実験結果および考察

実験結果の評価にあたり、図-2 に示すようにコンクリート板の損傷状態をクレータ、スポールおよび斜めひび割れに分類した。斜めひび割れは、補強を行わないコンクリート板では発生せず、裏面を補強した場合に生じる損傷状態である。スポールと斜めひび割れの違いは、破壊されたコンクリート片がコンクリート板から完全に分離した場合をスポール、分離はしていないがコンクリート内にひび割れが生じている場合を斜めひび割れとした。

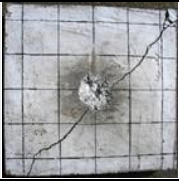
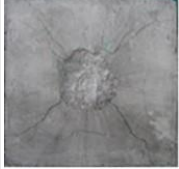
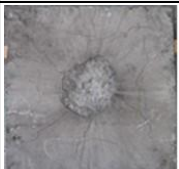
実験後のコンクリート板の損傷状態を表-1 に示す。補強を行わなかったコンクリート板では、顕著なスポー

キーワード 接触爆発, コンクリート, 裏面補強, ポリウレア樹脂

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810

ルが発生し、2 ケース中 1 ケースでは貫通孔が生じた。また、板全体の応答としては板の対角線に沿った曲げひび割れが発生し、支点間の中央での曲げ破壊は顕著ではなかった。このように、爆薬 46g の接触爆発により、コンクリート板は爆発の近傍で局部破壊が生じて破片化されるような損傷を受けた。一方、ポリウレア樹脂で補強したケースでは、塗膜厚さがそれぞれ 2mm および 4mm の場合、クレータ、スポールがともに発生し、板を切断すると一部の細片化されたコンクリートが板本体から分離した。塗膜厚

表-1 実験結果

条件	表面	裏面	断面 損傷状態	損傷計測値 (2回の平均)
補強なし			 クレータ スポール (2ケース中1ケースで貫通)	クレータ直径: 162mm クレータ深さ: 27mm スポール直径: 225mm スポール深さ: 53mm
塗膜 2mm			 クレータ スポール 斜めひび割れ	クレータ直径: 175mm クレータ深さ: 30mm スポール直径: 210mm スポール深さ: 49mm 斜めひび割れ長さ: 275mm 斜めひび割れ高さ: 62mm
塗膜 4mm			 クレータ スポール 斜めひび割れ	クレータ直径: 158mm クレータ深さ: 29mm スポール直径: 164mm スポール深さ: 43mm 斜めひび割れ長さ: 254mm 斜めひび割れ高さ: 48mm
塗膜 8mm			 クレータ 斜めひび割れ	クレータ直径: 155mm クレータ深さ: 25mm 斜めひび割れ長さ: 284mm 斜めひび割れ高さ: 44mm

さが 2mm から 4mm に増大すると、スポール直径は 56mm、スポール深さは 6mm それぞれ低減され、塗膜厚さの増大によりスポール損傷が抑制されることがうかがえる。ポリウレア樹脂には爆薬直下の位置で大きな膨らみが生じていたが、樹脂塗膜にはまったく破壊が生じず、破片は飛散しなかった。本研究で用いたポリウレア樹脂の破断伸びは 450 %と大きく、爆発の際に樹脂部分が変形することにより爆発によるエネルギーを吸収できたと考えられる。全体破壊も発生しなかった。樹脂の塗膜厚さを 8mm に増加すると、板を切断してもひび割れが生じたコンクリートは板本体から分離しなかった。すなわち、ポリウレア樹脂による補強では接触爆発によって発生したコンクリート片の飛散を防ぐ効果、また塗膜厚さを増大させることによりコンクリート板の破壊を抑制する効果も認められた。

森下ら¹⁾は、RC 版に対して接触爆発実験を行い、スポールの発生限界を与える爆薬量と板厚の予測式を提案した。この予測式より、爆薬 46g の接触爆発に対するスポール限界厚 T_s は 139mm となる。なお、この値は鉄筋の存在および配筋にはあまり影響されないことが知られている。一方、本研究では、板厚 80mm のコンクリート板をポリウレア樹脂で補強した。ポリウレア樹脂の塗膜厚さが 4~8mm の間でスポールが発生しなくなることから、ポリウレア樹脂 4~8mm の裏面補強による局部破壊の低減効果は、139-80=59mm のコンクリート板厚の増大に相当すると評価できる。実際には、破壊されたコンクリート片の飛散を防止する効果も加わるため、ポリウレア樹脂による裏面補強は、耐爆補強法として有望であると考えられる。

4. 結言

接触爆発実験により、裏面補強が局部破壊の低減および破片の飛散防止に及ぼす影響を調べ、補強材料による効果をコンクリート板厚に換算して補強効果を評価した。その結果、ポリウレア樹脂による裏面補強により、コンクリート片の飛散が防止されるとともに、塗膜厚さを増大させるとコンクリート板の破壊が抑制された。

参考文献

1) 森下政浩, 田中秀明, 伊藤孝, 山口弘: 接触爆発を受ける RC 版の損傷, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.1787-1797, 2000.