

接触爆発荷重を受ける高分子材料で裏面補強したコンクリート板の耐爆性能に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○大久保一徳 学生会員 上野裕稔 正会員 大野友則
正会員 別府万寿博 JFM(株) 福井秀平 KIR(株) 横島順一

1. 緒 言

近年、花火工場等における不測の爆発事故やテロ活動による爆破被害が国内外で多発している。構造物が爆発荷重を受けると、爆風圧による直接的な破壊と破壊されたコンクリート破片などが飛散することによって生じる二次的な被害が生じる。したがって、構造物の耐爆性能としては、主として爆風圧によって損傷・破壊しないことおよび飛散物を出さないことが求められる。

本研究は、高分子材料(特殊アクリル樹脂およびポリウレア樹脂)で裏面補強したコンクリート板の耐爆性能を調べるため、接触爆発実験を行ったものである。

2. 爆発実験

2.1 実験の概要

実験は、図-1 に示すように、供試体を H 鋼上に設置し、支持幅 50mm の二辺支持とした。爆薬は C4 爆薬を用い、円柱形(高さ/径=1)に成形し、6 号電気雷管で起爆した。コンクリート板供試体は、縦 500mm、横 500mm、厚さ 80mm で、実験時の圧縮強度は 28.9N/mm^2 であった。裏面補強用の高分子材料としては、特殊アクリル樹脂およびポリウレア樹脂を用いた。特殊アクリル樹脂およびポリウレア樹脂の力学特性を、表-1 に示す。実験ケースは、表-2 に示すように、補強する樹脂の厚さを 2mm、4mm および 8mm に変化させた。爆薬量は、局部損傷の予測式である森下らの式¹⁾を用いて算出し、貫通限界の破壊モードが得られる 46g とした。コンクリート板の破壊モードは、図-2 に示すように、クレータ（表面破壊）、スポール（裏面剥離）、貫通および斜めひび割れ、に分類される。ここで、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、分離せず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定義する。また、破壊の程度を評価するため、図-3 に示すように、クレータおよびスポールの直径および深さの測定を行った。クレータおよびスポールの直径は、4 箇所を測定しその平均とした。クレータおよびスポールの深さは、貫通孔が発生しない場合には損傷箇所の最も深い位置で深さを計測し、貫通孔が発生する場合には貫通孔の断面積が最小となる位置で孔の直径を測定した。

2.2 損傷結果

実験で得られた損傷状況を、図-4 に示す。図中において、高分子材料で補強したコンクリート板裏面に描いた円状の実線は、高分子材料の上からパルハンマーを転がすことによる音の変化から確認した損傷領域を示している。また、切断面は、支持方向に対して直交方向の断面である。無補強のケース（実験番号 1）では、クレータとスポールが生じた。また、クレータの深さおよびスポールの深さは、それぞれ 31mm および 47mm であり、損傷深さの合計は 78mm であった。すなわち、コンクリート板が貫通限界であり、概ね McVay 式による推定値と一致している。

厚さ 2mm および 4mm の特殊アクリル樹脂で補強したケース（実験番号 2, 3）では、どちらのケースも貫通した。厚さ 2mm で補強したケースの貫通孔の直径は 30mm、厚さ 4mm で補強したケースの貫通孔の直径は 63mm であった。厚さ 8mm で補強したケース（実験番号 4）では、クレータおよびスポールが生じた。すなわち、厚さ 8mm の特殊アクリル樹脂で補強しても局部損傷を防ぐことはできないことがわかる。アクリル樹脂で補強したコンクリート板には、いずれもスポールが

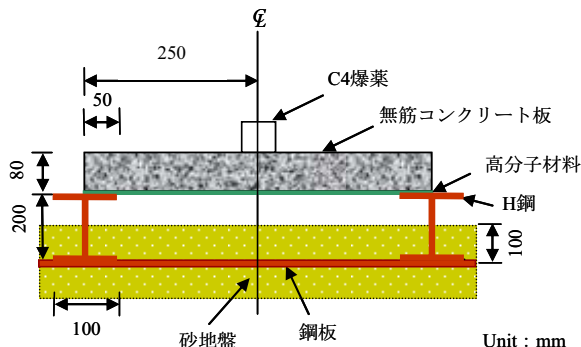


図-1 実験の概要図

表-1 高分子材料の材料特性

補強材料の種類	引張強度(N/mm ²)	破断伸び(%)	破断エネルギー(N/mm ²)
特殊アクリル樹脂	2	150	1.93
ポリウレア樹脂	30	450	56.44

表-2 実験ケース

実験番号	補強の種類	樹脂の厚さ(mm)
1	無補強	
2	特殊アクリル樹脂	2
3		4
4		8
5	ポリウレア樹脂	2
6		4
7		8

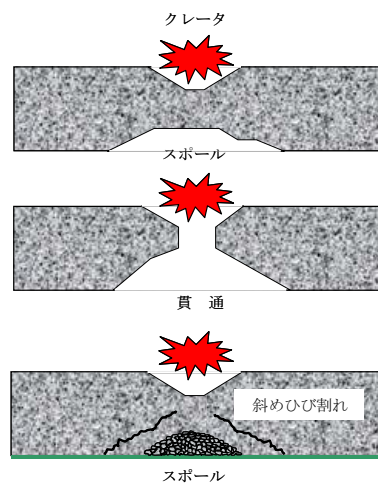


図-2 破壊モードの種類

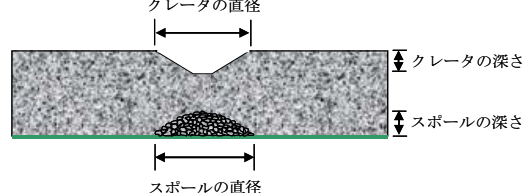


図-3 計測項目

生じた。これは、アクリル樹脂の引張強度がコンクリートの引張強度と同程度に小さいためと考えられる。

厚さ 2mm および 4mm のポリウレタ樹脂で補強したケース（実験番号 5, 6）では、いずれのケースもクレータ、スポールおよび斜めひび割れが生じた。厚さ 2mm で補強したケースのクレータの深さおよびスポールの深さは、29mm および 42mm であった。スポールが発生した領域には、細かく破砕されたコンクリート片が認められる。また、爆薬直下裏側のコンクリート板中央部は大きくふくらんでいることがわかる。なお、コンクリートとポリウレタ樹脂の接着面において剥離は全く認められなかった。厚さ 4mm で補強したケースのクレータの深さおよびスポールの深さは、28mm および 30mm であった。スポールが発生した領域は、厚さ 2mm で補強したケースよりも小さくなっていることが認められる。厚さ 8mm で補強したケース（実験番号 7）では、スポールは発生せず、クレータおよび多数の斜めひび割れが発生した。ここで、膨らみの高さを、図-5 に示すように、コンクリート板裏面からポリウレタ樹脂が最も変

形した位置までの高さとして定義する。図-6 に、膨らみの高さと樹脂の厚さの関係を示す。厚さ 2mm で補強した場合に最も膨らみが大きく、膨らみの高さは 15mm であった。これは、ポリウレタ樹脂の引張強度がコンクリートよりも高く (30N/mm^2)、破断伸び 450% と極めて大きいという性質によるものと考えられる。つまり、ポリウレタ樹脂で補強することによって、飛散物を防止する効果が向上した理由は、ポリウレタ樹脂が破断することなく大きな変形をすることができたためと考えられる。

以上の結果より、特殊アクリル樹脂で補強しても、局部損傷およびコンクリート片の飛散を防止することができないことがわかる。また、ポリウレタ樹脂による補強は、破壊されたコンクリート片の飛散を防止することができるとともに補強厚さを増加させることによってコンクリート板内部の局部損傷を低減させる効果があることがわかる。

3. 結 言

本研究の成果をまとめると、以下のようになる。

- (1) 特殊アクリル樹脂で補強厚さ 8mm 以下のコンクリート板の耐爆性能は向上しなかった。
- (2) ポリウレタ樹脂で補強したコンクリート板の耐爆性能は、すべてのケースにおいて向上することがわかった。また、厚さを増加させることによって耐爆性能は向上することがわかった。
- (3) ポリウレタ樹脂で補強したコンクリート板の耐爆性能が向上したのは、特殊アクリル樹脂よりも引張強度、破断伸び、破断エネルギーが大きかったためと考えられる。

参考文献

- 1) 森下政浩, 阿曾沼剛, 齋藤和伸, 松尾啓: 近接爆発による RC 版の居所損傷, 防衛施設学会平成 17 年度年次研究発表会, pp.35-39, 平成 18 年 1 月

実験番号	補強材料の種類	厚さ (mm)	損傷状況			破壊モード
			表 面	裏 面	断 面	
1	無補強					クレータ スポール
2	特殊アクリル樹脂	2				貫 通
3		4				貫 通
4		8				クレータ スポール
5	ポリウレタ樹脂	2				クレータ スポール 斜めひび割れ
6		4				クレータ スポール 斜めひび割れ
7		8				クレータ 斜めひび割れ

図-4 コンクリート板の損傷状況

接触爆発



膨らみの高さ

近接爆発



膨らみの高さ

図-5 膨らみの高さの定義

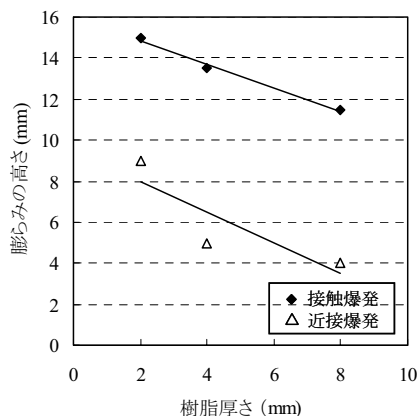


図-6 膨らみの高さ樹脂厚さの関係