

接着状態が異なるポリウレア樹脂で裏面を補強したコンクリート板の接触爆発実験

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 IMARI 株式会社 福井 秀平

1. 緒言

近年、爆破テロや爆発事故等により構造物に損傷が生じ、人的、物的ともに大きな被害が生じている。コンクリート構造物が爆発を受けた場合、コンクリートの局部破壊や破片の飛散が大きな問題となる。そこで、コンクリート部材の爆発を受ける面の裏側にポリウレア等の樹脂を塗布すると、板の損傷が低減、あるいは破片の飛散が防止され、高い耐爆補強効果をもたらすことが報告されている¹⁾²⁾。コンクリート部材の損傷を低減するには補強材料により部材の変形が抑制されたり、応力波が緩和されたりすること、破片の飛散を防ぐには損傷された部材の一体性が保たれる必要があることから、樹脂の接着状態も補強部材の耐爆性能に影響を及ぼすと考えられる。しかしながら、裏面補強に用いた樹脂の接着状態が耐爆性能に及ぼす影響については明らかにされていない。

本研究では、コンクリート構造物の耐爆補強法の確立に資するため、コンクリートとの接着状態が異なるポリウレア樹脂で裏面を補強したコンクリート板の接触爆発実験を行い、それぞれの補強効果について調べる。

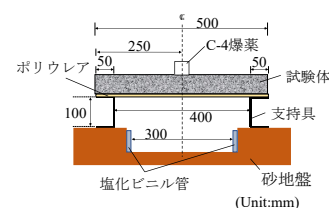


図-1 設置条件

表-1 実験ケース

	クレータ の直径 (mm)	スポールの 直径 (mm)	スポールの 質量 (kg)	接着強度(N/mm ²)	
				周縁部	膨らみの縁 付近
無補強	150	182	1.1		
樹脂吹付	138			1.2	0.04
樹脂テープ	150			0.2	0.3
接触	134	220	1.4		
間隙	144	194	1.1		

図-1 に実験の概要を示す。縦横 500mm、厚さ 60mm のコンクリート板試験体を支持具に載せて 4 辺支持とし、跳ね上がり防止のため 4 か所をクランプで留め、板中央に設置した爆薬を爆発させた。

表-1 に実験ケースを示す。実験の主なパラメータはコンクリート板の爆発面の反対側（裏面）の補強樹脂の接着状態である。

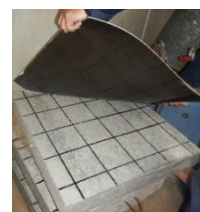
- ①無補強の試験体（無補強）、図-2(a)に示す②裏面にプライマー処理を施しポリウレア樹脂を吹付塗布した試験体（樹脂吹付）、図-2(b)に示す③ポリウレア樹脂シートを両面テープにより接着した試験体（樹脂テープ）、④ポリウレア樹脂シートをコンクリート板の裏面に接触させたのみの試験体（接触）、図-2(c)に示す⑤ポリウレア樹脂シートとコンクリート板の間に 10mm の間隙を設けた試験体（間隙）の 5 種類の実験を各 1 回行った。

コンクリートの圧縮強度は 37.8N/mm² で、割裂引張強度は 3.9N/mm² であった。爆薬は全ケースで C-4 爆薬 40g とし、直径と高さが等しい円柱形に成型した。

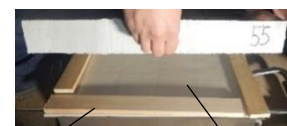
コンクリート板が接触爆発を受けると、爆発面（表面）にクレータとよばれる破壊が生じる。爆薬量がある大きさを上回ると、爆発面の反対側（裏面）にスポールと呼ばれる剥離破壊が生じ、破片が飛散される。さらに爆薬量が大きくなると貫通孔が生じる。ポリウレア樹脂を用いた場合は、ポリウレア樹脂が破断されなければ破片の飛散は生じない。



(a) 吹付塗布



(b) テープ接着



(c) シートと板の間隙

図-2 コンクリート板とポリウレア樹脂の接着状態の例



図-3 接着強度試験

キーワード 接触爆発、ポリウレア樹脂、コンクリート、接着

連絡先 〒239-0811 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 : 046-841-3521 E-mail : em60015@nda.ac.jp

計測項目は、全ケースにおいてクレータの直径を、実験ケース①④⑤においてスポールの直径およびスポールによる破片の質量を、実験ケース②③において接着強度をそれぞれ計測した。クレータおよびスポールの直径は4箇所測定し、その平均値を採用した。接着強度は、図-3に示す建研式接着試験器を用いた試験での樹脂の接着の強度であり、後述するように爆発による剥離の影響を受けない支持具上の周縁部と爆発の影響を受けた膨らみの縁付近の2点の強度を計測した。

3. 実験結果および考察

実験結果を表-1に、試験体の損傷状態を図-4にそれぞれ示す。①無補強の場合、板は貫通され、クレータの直径は150mm、スポールの直径は182mmに達し、裏面側に破片が飛散した。

②樹脂吹付の場合、コンクリート板には貫通孔が生じ、クレータの直径は138mmで無補強の場合と大きな変化はないが、裏面側には破片の飛散は生じなかった。図中の実線はコンクリート打診棒で供試体の裏面を打診して打音に変化する境界である。この線の内側では試験体に膨らみが生じており、この範囲は無補強のスポール直径よりも広い。膨らみ縁付近の接着強度が周縁部の3%に低下していること、図-4の写真より破線部に示す貫通孔の下に樹脂にコンクリートが接着していることから、樹脂とコンクリートの界面付近でコンクリートの破壊が生じていると考えられる。

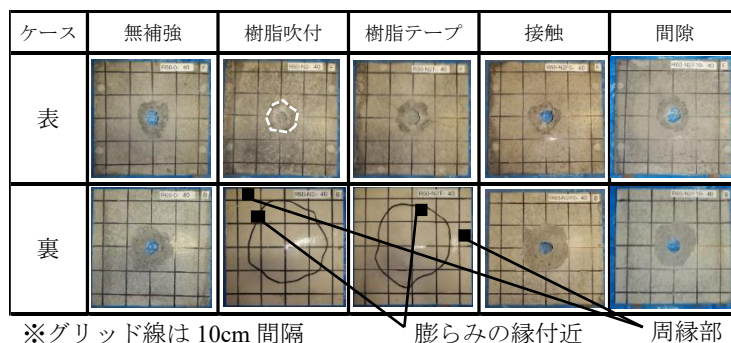
③樹脂テープでは、損傷状態は樹脂吹付と大きな変化がなく、接触爆発による破片の飛散を防ぐ効果が得られた。接着強度に着目すると、周縁部と比較して膨らみの縁の付近での大幅な低下は認められなかった。これは、粘着テープでは一度ポリウレア樹脂シートがコンクリート板から剥離されたとしても再度接着が可能であるためである。この位置での打音の変化は、コンクリート板内部に生じた微細なひび割れに起因したと考えられる。④接触および⑤間隙では、クレータ、スポールの直径およびスポールの質量が無補強とほぼ同等で、コンクリート板には貫通孔が生じており、ポリウレア樹脂シートの有無はコンクリート板の両面の損傷状態には影響しない。ただし、図-5に示すようにポリウレア樹脂シートは破断されず、破片の飛散は生じなかった。接触のケースでは、実験後にコンクリート板を回収すると、図-5に示すようにポリウレア樹脂がスポールによるコンクリート片を捕捉していた。コンクリートにはスポール破壊に特徴的な層状の破壊を呈し、それぞれの破片の位置は破壊される前の板の形状を概して保っていた。すなわち、ポリウレアとコンクリートの接着はなくとも、破片が運動量を獲得してポリウレアを破断し板の裏面から飛散することを防ぐことができた。なお、図-6に示すように、ポリウレア樹脂シートには顕著な残留変形は認められなかった。

4. 結言

本研究では、コンクリート板の裏面をポリウレア樹脂の接着状態を変えて接触爆発実験を行った。その結果、ポリウレア樹脂の接着状態を問わず、コンクリート板の損傷には影響しない一方で、コンクリートの破片が裏面に飛散することを防止できた。

参考文献

- 1) Wang, W et al.: Experimental investigation of polyisocyanate-oxazodone coated square reinforced concrete slab under contact explosions, International Journal of Impact Engineering, Vol 149, pp.1-14, 2021
- 2) Ha, J.-H. et al.: Experimental study on hybrid CFRP-PU strengthening effect on RC panels under blast loading, Composite Structures, Vol.93, pp.2070-2082, 2011.



※グリッド線は10cm 間隔

図-4 試験体の損傷状態



図-5 捕捉したコンクリート片

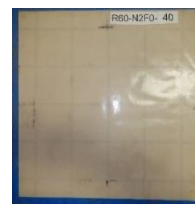


図-6 爆発後のポリウレア樹脂シート