

接触爆発を受けるポリウレア樹脂裏面補強コンクリート板の損傷

防衛大学校 正会員 ○山内 稔也 正会員 市野 宏嘉 正会員 別府万寿博

1. 序言

近年、爆破テロや爆発事故等の爆発災害により多くの構造物に被害が生じ、人命や財産が失われている。コンクリート構造物が爆発作用を受けた場合、局部破壊や破片の飛散が大きな問題となる。コンクリート部材に対して爆発作用を受ける面の反対側（裏面）を樹脂材料などで補強すると、局部破壊の低減や破片の防止の効果が得られることが知られている。ただし、その裏面補強による耐爆補強の効果は、定量的に評価できていない現状にある。

本研究では、ポリウレア樹脂で裏面補強されたコンクリート板に対する接触爆発実験を行い、その損傷について検討するとともに、ポリウレア樹脂による補強の効果を定式化した。

2. 実験の概要

本研究では、厚さ 2mm のポリウレア樹脂により裏面補強を行った縦横 500mm のコンクリート板と裏面補強を施さない無補強のコンクリート板に対して接触爆発実験を行った。表-1 に実験ケースを示す。実験のパラメータはコンクリートの板厚および爆薬量であり、これらの変化が厚さ 2mm のポリウレア樹脂によるコンクリート板の損傷に及ぼす影響を調べた。コンクリートの一軸圧縮強度は 35.9N/mm²、割裂引張強度は 2.7N/mm²であった。裏面補強に用いたポリウレア樹脂の引張強度は 9.9N/mm²、破断ひずみは 276%である。

図-1 にコンクリート板を設置した状態を示す。鋼製の支持具上にコンクリート板を載せて 4 辺支持とし、直径と高さが等しい円柱形に成型した C-4 爆薬をコンクリート板の中心に置き、これを電気雷管で起爆した。

爆発後の試験体の損傷状態をコンクリート板とポリウレア樹脂に分け、次の定義にしたがって分類した。無補強のコンクリート板の損傷状態は、爆発面（表面）の損傷のみにとどまる「クレータ」、クレータに加え爆発面の反対側（裏面）も剥離破壊される「スポール」、クレータとスポールが接続して生じる「貫通」の 3 段階に分類した。この場合、「スポール」、「貫通」においては裏面にコンクリートの破片が飛散される。補強したコンクリート板の損傷状態は、「貫通」の有無のみに分類し、ポリウレア樹脂の損傷状態は、裂傷や貫通孔が生じた場合を「破断」とした。

3. 実験後の試験体の状態およびその評価

表-1 に実験結果を、実験後の試験体の代表例を図-2 に示す。

図-2(a)に示すように、板厚 60mm の無補強コンクリート板の爆薬量 15g のケースでは、爆発面(表面)側にクレータ、裏面側にスポールが発生し、裏面側にはコンクリートの破片が飛散した。図-2(b)に厚さ 2mm のポリウレア樹脂を塗布した板厚 60mm、爆薬量 15g の損傷状態を示す。無補強の場合と比較すると、表面の破壊に大きな変化はない一方、裏面側では破片の飛散は生じなかった。裏面の膨らみは目視では確認が困難なほど軽微であった。図-2(c)に示す、板厚 60mm の補強コンクリート板の爆薬量 50g の場合、コンクリート板には貫通孔が生じたのに対し、ポリウレア樹脂は破断に至らず、破片の飛散は生じなかった。しかし、15g のケースと比較すると、裏面の変形は増大した。次に、板厚を 80mm の場合を図-2(d)に示す。コンクリート板の損傷状態はクレータにとどまり、ポリウレア樹脂の膨らみも軽微なものとなった。ここで爆薬量を 100g に増すと、図-2(e)に示すようにコンクリート全体に破壊が生じポリウレア塗膜は裂け目が生じて破断された。このように、樹脂による補強によって破片の飛散が防止

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

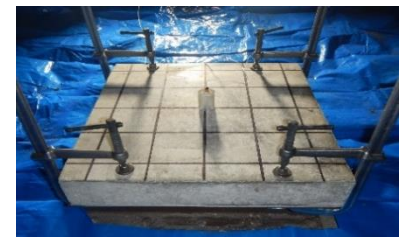


図-1 設置状態

表-1 実験ケースおよび結果

| No. | 板厚(mm) | 爆薬量(g) | 樹脂補強 | 損傷状態 | |
|-----|--------|--------|------|--------|---------|
| | | | | コンクリート | ポリウレア樹脂 |
| 1 | 60 | 15 | 無 | スポール | — |
| 2 | 80 | 50 | 無 | スポール | — |
| 3 | 50 | 20 | 有 | 貫通 | 破断せず |
| 4 | 50 | 30 | 有 | 貫通 | 破断 |
| 5 | 50 | 50 | 有 | 貫通 | 破断 |
| 6 | 60 | 15 | 有 | 非貫通 | 破断せず |
| 7 | 60 | 30 | 有 | 貫通 | 破断せず |
| 8 | 60 | 50 | 有 | 貫通 | 破断せず |
| 9 | 60 | 75 | 有 | 貫通 | 破断 |
| 10 | 80 | 30 | 有 | 非貫通 | 破断せず |
| 11 | 80 | 50 | 有 | 非貫通 | 破断せず |
| 12 | 80 | 75 | 有 | 貫通 | 破断せず |
| 13 | 80 | 100 | 有 | 貫通 | 破断 |

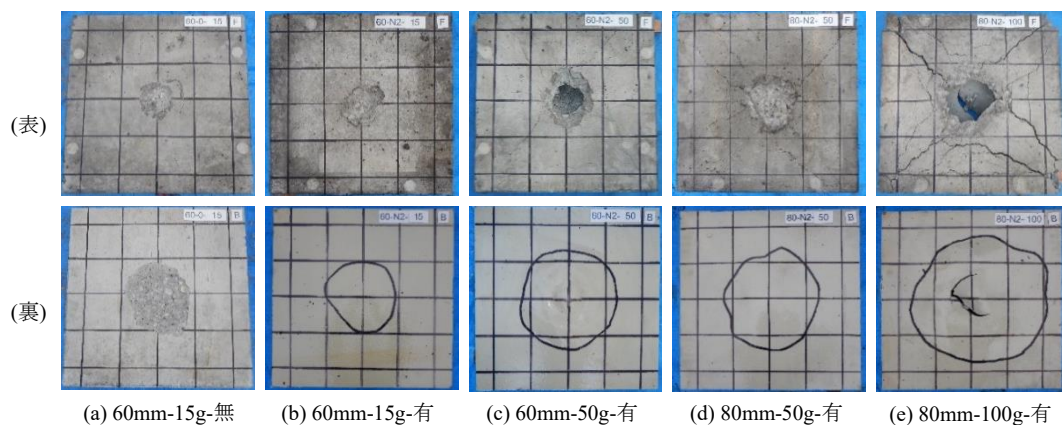


図-2 実験後の試験体

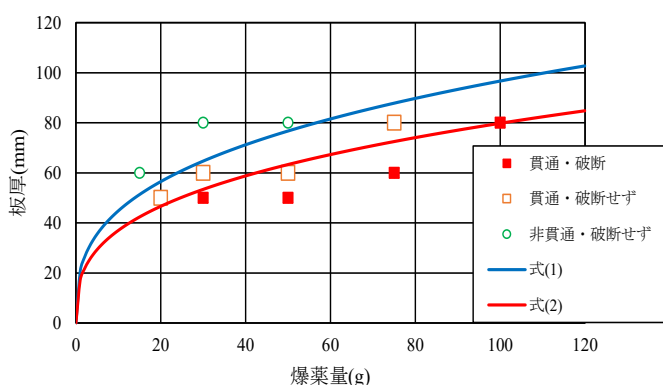


図-3 試験体の板厚と爆薬量との関係

森下ら¹⁾は、裏面を補強しない RC 版に対して接触爆発実験を行い、そのスポール及び貫通孔が発生する限界の条件を以下の通り定式化した。

$$(\text{貫通限界}) T=2.0W^{1/3} \quad (1)$$

ここに、 T : 板厚(cm), W : TNT 換算爆薬量(g)である。これはある種類の爆薬量を、エネルギーを基準として TNT 爆薬に換算した爆薬量であり、C-4 爆薬が爆発で発生させるエネルギーは、TNT の 1.13 倍であるので、本実験では爆薬量に 1.13 を乗じた値が W となる。図-3 には式(1)も示した。図の横軸は C-4 の爆薬量のため、式(1)の W は既に 1.13 倍した値で表している。無補強の RC 版の貫通限界は、厚さ 2mm のポリウレア樹脂で補強された試験体のコンクリート板部分の貫通限界と概ね合致している。ただし、この条件ではポリウレア樹脂は破断されず、破片の飛散も生じていない。ポリウレア樹脂の破断限界、すなわち裏面に破片が飛散するかどうかの限界は、同一の板厚においては式(1)よりも大きな爆薬量を示す。

図-3 において、ポリウレア樹脂が破断される限界となる爆薬量とコンクリート板厚との関係を近似した式を赤い実線で示している。これは、式(1)と同様にコンクリート板厚と爆薬量の関数で与えられ、次式で表される。

$$(\text{破断限界}) T=1.65W^{1/3} \quad (2)$$

この時、式(1)と式(2)の係数の差 0.35 が厚さ 2mm のポリウレア樹脂による補強の効果にあたり、これは板厚 100mm の場合は、TNT 爆薬量 98g の差に相当する。

4. 結言

ポリウレア樹脂で裏面補強されたコンクリート板に対する接触爆発実験を行い、その損傷について検討するとともに、ポリウレア樹脂 2mm で裏面を補強した場合のコンクリートの板厚および爆薬量の関係から、接触爆発による損傷状態を予測する式を提案した。今後の研究では、樹脂の厚さによる影響を反映することが課題となる。

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.

されるとともに、その効果は爆薬量および板厚により異なる。

ポリウレア樹脂で裏面補強した試験体の板厚と爆薬量との関係を損傷状態別にプロットしたものを図-3 に示す。たとえば、図-3 に示すように 2mm のポリウレア

樹脂で補強された 50mm のコンクリート板は、爆薬量 20g の実験ではコンクリート板に貫通孔が生じるが、裏面のポリウレアは破断されない。爆薬量 30g 以上の実験ではコンクリート板が貫通されるとともに、裏面のポリウレアも破断され、裏面側に破片の飛散が生じる。板厚 60mm の場合は爆薬量 50g と 75g の間にポリウレア樹脂の破断の限界が存在し、板厚 80mm の場合には爆薬量 75g と 100g の間に樹脂の破断の限界が存在する。このように、板厚、爆薬量と損傷の状態との間には一定の傾向が認められ、以下にこの傾向の定式化を試みる。