

近接爆発を受ける鉄筋モルタルはりの損傷に覆土が及ぼす影響

防衛大学校 学生会員 ○坂井 知士 正会員 市野 宏嘉 正会員 別府 万寿博
カネカケンテック株式会社 東原 健一 原口 望 岡三リビック株式会社 大城戸 秀人

1. 序言

爆発事故や爆破テロにより政治、経済の中核を担う重要な施設や化学工場などの危険物の滞留施設が損傷を受けた場合、その被害の大きさから社会に大きな影響を及ぼす。とりわけ、部材に近接あるいは接触して爆発が生じた場合の構造物の損傷は著しい。このような損傷を防ぐ手法の一つとして、構造物を地中に建設するなどして、覆土層を設けて構造システムとして耐爆性を付与することが考えられる。この際、覆土層に緩衝性能に優れた発泡スチロール(EPS)を用いる場合についても検討されている。本研究では、鉄筋モルタルはりに対する近接爆発実験を行い、覆土層がその損傷の程度に及ぼす影響を調べる。

2. 鉄筋モルタルはりの近接爆発実験の方法

実験の概要を図-1 に示す。実験施設の地盤面を掘り下げ、その底面を整地して厚さ 9mm の鋼板を水平に敷設した。この鋼板に支持具を取り付け、M12 ボルトを用いてはりを固定した。はりの上面から 180mm の位置で爆薬を爆発させ、はりの残留変位を計測した。実験ケースを表-1 に示す。実験のパラメータは覆土層および覆土層中の EPS の有無、はりのスターラップの有無である。爆薬設置位置からはりまでの覆土層の厚さは 180mm である。EPS を使用する場合は、このうち下層の 80mm が EPS となる。EPS は爆発に対しても優れた緩衝性能を有することが知られているため、覆土下層の砂 80mm を EPS で置き換えた実験を行った。実験ケースの記号のアルファベットは覆土層の有無及び種類を示す。すなわち、覆土層なしは N、砂のみの覆土層は S、EPS を使用した覆土層は E で表す。数字はスターラップの本数を示す。実験に用いたモルタルの水セメント比は 67.5% であり、実験時の一軸圧縮強度は 34.2N/mm^2 であった。割裂引張強度は 3.3N/mm^2 であった。実験で使用した鉄筋モルタルはりの寸法および配筋を図-2 に示す。はりの寸法は長さ 600mm、高さ 70mm、幅 80mm である。鉄筋はすべて D6 鉄筋を使用し、スターラップがある場合とない場合のはりの損傷性状を比較した。はりの上面に載せる覆土層の構成は図-1 に示した通りである。EPS の密度は 33.2kg/m^3 である。

EPS の脆性的な破壊を防ぐ目的で EPS



図-1 爆発実験の概要

表-1 実験ケース

番号	砂層の有無	EPSの有無	スターラップ
N-5	なし	なし	5本
S-6	あり	なし	6本
S-2	あり	なし	2本
E-6	あり	あり	6本
E-2	あり	あり	2本

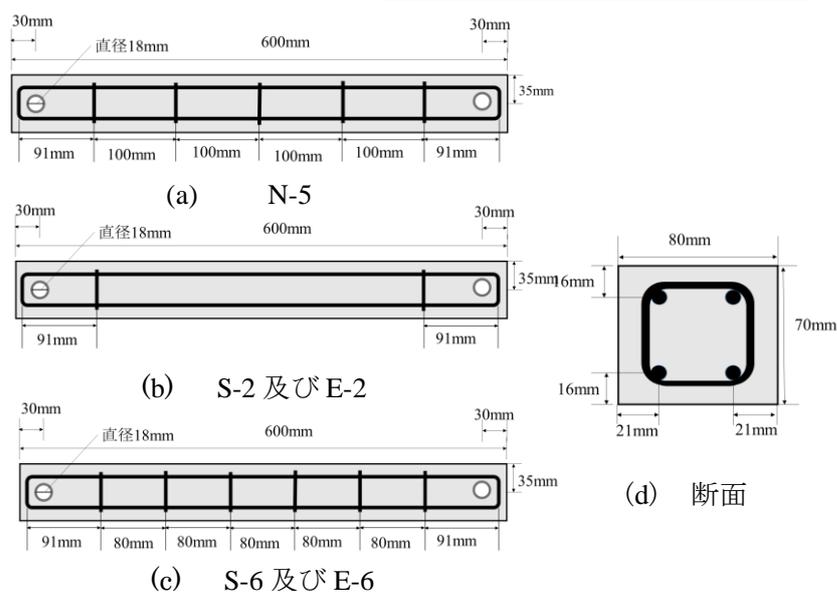


図-2 鉄筋モルタルはりの寸法及び配筋

キーワード 近接爆発, 鉄筋モルタルはり, 覆土, EPS, 底づき

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 TEL : 046-841-3810 E-mail : ichino@nda.ac.jp

の上に厚さ 0.5mm の鋼薄板を敷設した。覆土層には日本統一土類分類で粒度の悪い砂 (SP) に分類される砂を用いた。砂の平均粒径は約 0.4mm, 実験時の砂の湿潤密度は 1.53~1.57g/cm³, 含水比は 10.6~11.5% である。爆薬は成型が容易で熱や衝撃に対して比較的安定な C-4 爆薬である。この C-4 爆薬 50g を直径および高さがそれぞれ 36mm の円柱に成型し、実験に用いた。なお、EPS を用いた実験では、高速度ビデオカメラによる撮影を行った。撮影速度は 16,000 フレーム/秒であり、画像解像度は横 1280×縦 296 ピクセルである。

3. 実験結果及び考察

図-3 に爆発後の鉄筋モルタルはりを示す。図-3(a)より、覆土を使用しない N-5 では爆薬の直下付近ではりが局部的に損傷され、モルタルが飛散されていることがわかる。とくに、爆発面と反対側の面 (図中下側) で、スポールと呼ばれる顕著な損傷が生じている。また、曲げ変形も認められる。図-3(b)-(e)は、いずれも覆土を使用した場合である。図-3中、ひび割れは黒の油性ペンにより強調して示されている。すべてのケースにおいて、スポールなどの局部損傷は発生しておらず、はり全体の曲げが卓越する損傷性状を示す。S-2 のみ、軽微なせん断ひび割れ (円内) が生じている。以上より、覆土の存在により爆発荷重が低減、分散され、緩衝効果が得られていることがわかる。図-4 に、鉄筋モルタルはりの残留変位を示す。x=0 が支間中央、すなわち爆薬の直下であることを示す。図-4 より、砂のみの覆土層の実験での残留変位の最大値は 2~3mm, EPS を使用した覆土層では 6~7mm である。この理由は、本実験の条件では EPS が想定以上に变形し、EPS の緩衝効果が十分に発現されなかったためであると考えられる。図-5 に、実験ケース E-2 において高速ビデオカメラで撮影した画像を示す。EPS は著しく变形されており、図中のスケールから、爆薬直下付近の EPS は厚さ 20mm 程度まで圧縮されている。通常、EPS はひずみが約 60% を超えると応力の急増を生じ、緩衝効果が失われる。これを底つきと呼ぶことがある。EPS が 80mm 四方の棒状で剛性がやや小さかったこともあって EPS が底つきを生じたため、本実験の条件では、EPS を用いたことによる緩衝効果の向上はもたらされなかったと考えられる。

4. 結言

本研究では、鉄筋モルタルはりの近接爆発実験を行い、覆土層がその損傷に及ぼす影響を調べた。その結果、覆土層を設けることにより局部損傷が発生しなくなり、曲げが卓越する損傷性状となった。本実験の条件では、EPS が棒状で剛性に乏しく EPS に底つきが生じたため、覆土に EPS を用いたことによる緩衝効果の向上はもたらされなかった。今後は、すでに爆発緩衝の実績がある板状の EPS を用いる等の検討が必要と考える。

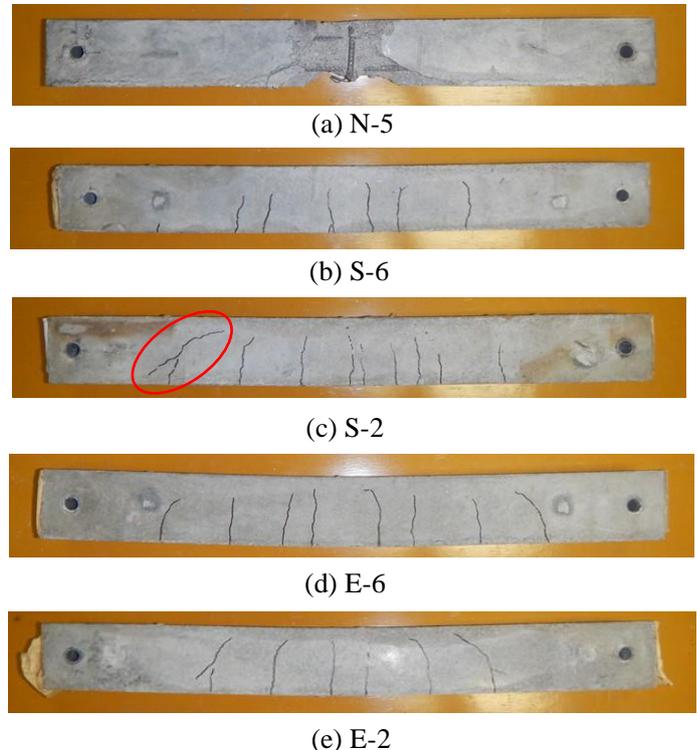


図-3 鉄筋モルタルはりの損傷

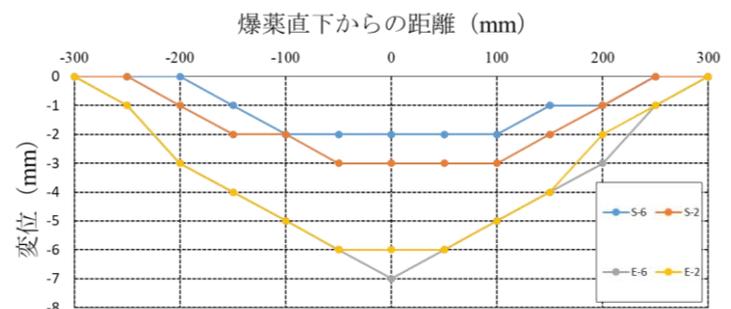


図-4 モルタルはりの残留変位

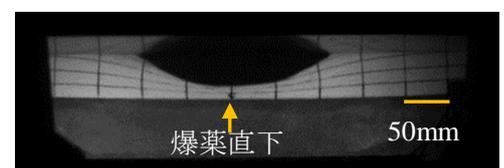


図-5 底つきする EPS