

EPS材を併用した覆土層の爆発荷重緩衝効果に関する研究

防衛大学校 学生会員 ○結城 江理佳 正会員 市野 宏嘉 大野 友則
東原 健一 原口 望 大城戸 秀人

1. はじめに

爆発を伴うテロ行為や不測の爆発事故によって、政治・経済の中枢を司る重要な施設が被害を受けた場合、社会に与える影響は極めて大きなものがある。したがって、重要施設を設計する際には、爆発からの防護を考慮する必要がある。防護手段の一案として、耐爆性能を有する構造物を地中に建設する方法がある。この方法は、構造物と爆発物の間に覆土層が存在することにより、構造物の近くで爆発が起こることを防ぎ、構造物の損傷の程度を低減できる点で優れている。この覆土層には、通常、土砂材が使用されるが、覆土層にEPS材を併用することにより、地中構造物に作用する爆発荷重を緩衝する効果を向上できる可能性がある。EPS材による衝撃荷重の緩衝の例としては、落石による衝撃を緩和するための、EPS材と土砂材を使用した三層緩衝構造が提案されている¹⁾。しかし、EPS材と土砂材を組み合わせた覆土層による、爆発荷重に対する緩衝効果は検討されていない。

本研究では、土砂材とEPS材を併用した覆土層の上部で爆薬を爆発させる実験を行い、底面での圧力を計測し、EPS材を併用した覆土層の爆発荷重緩衝効果について検討した。

2. 模型覆土層の爆発実験

本実験で構築した覆土層の構造を図-1に示す。覆土層は、実験室の地盤面を掘り下げ、そのたて穴の中に構築した。まず、覆土層の底面に小型圧力センサー（定格容量5MPa、固有振動数約71kHz）を爆源直下および爆源直下から水平距離7.5cm、22.5cm、37.5cmの位置に設置した。続いて、砂およびEPS材を用いて厚さ275mmの緩衝層を構築した。緩衝層の上部には、爆発物の地中への侵入を遮断する目的で設置される層を模した爆発物遮断鋼板（厚さ1.2mm×2枚）および砂を用いて75mm厚の砂層を敷設した。覆土層の構造は図-1に示す3種類である。Case1では、砂のみを使用した緩衝層での爆発荷重を計測した。Case2では、EPS材と砂を併用し、EPS材による爆発荷重緩衝効果について検討した。Case3では、EPS材の破損防止処置として防護用鋼板（厚さ1.2mm）をEPS材の上面に敷設し、EPS材に対する破損防止処置が緩衝効果に及ぼす影響について検討した。砂は、各実験で密度が均一なるように締め固めた。使用した砂は、日本統一土質分類では粒度の悪い砂（SP）に分類され、その平均粒径は0.4mmである。各実験における砂層仕上がり時の密度は、 $1.39 \times 10^3 \sim 1.45 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 、含水比は10.6～11.1%である。使用したEPS材の密度は 16kg/m^3 で、ひずみ5%における圧縮強度は0.11MPa、変形係数は3.9MPaである。その後、Composition C-4爆薬53gを、直径および高さがともに3.7cmの円柱形に成形して爆発物遮断鋼板上面に設置し、6号電気雷管を用いて爆発させた。

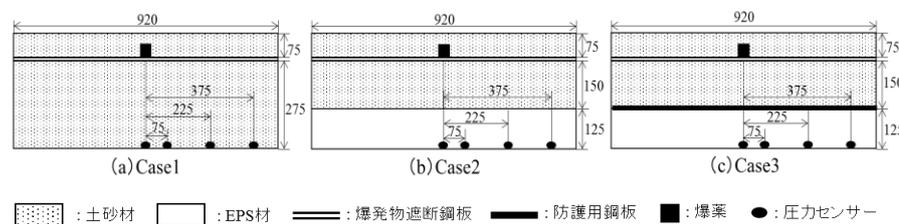


図-1 覆土層の構造

表-1 実験ケースおよび圧力の計測値

Case	条件	回数	圧力の最大値(kPa)			
			0cm	7.5cm	22.5cm	37.5cm
1	砂	2	2941	1238	-	333
2	砂+EPS	1	269	193	85	95
3	砂+EPS+鋼板	2	191	135	129	104

キーワード EPS, 覆土層, 爆発荷重

連絡先 〒239-0811 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 E-mail:s59714@ed.nda.ac.jp

3. 実験結果および考察

EPS材を使用しない砂のみの覆土層 (Case1) と EPS材を使用した覆土層 (Case2) の爆源直下における圧力～時間関係の代表例を図-2に示す. 図-2の横軸は, 波形の立ち上がり時刻をゼロとしている. Case1では, 爆発直後に約 2MPa/ms 以上の急な勾配で立ち上がり, 時刻約 1ms で最大値 2682kPa に達した後, 約 4ms で静土圧に戻る. Case1では短時間に大きな力が作用していることがわかる. 一方, Case2では立ち上がりから約 8ms 後に最大値の 269kPa に達し, 時刻 27ms で静土圧に戻る. 立ち上がり時の勾配は約 31kPa/ms であり, Case1と比較すると極めて緩やかである. したがって, 覆土層に EPS材を使用することにより, 圧力の値が小さく, 作用時間は長くなる.

次に, 各実験ケースにおける圧力の最大値を表-1に, 圧力の最大値と爆源直下からの水平距離の関係を図-3に示す. なお, 表-1, 図-3の各値は, 同一条件で得られた値の平均値である. また, Case1の爆源直下からの水平距離 22.5cm における値は, 圧力センサーの不具合により得られなかった. Case1~3の圧力の最大値を比較すると, EPS材を使用しない Case1では 2941kPa に達する一方, EPS材を使用した Case2, 3ではそれぞれ 269kPa, 191kPa である. 他の計測点においても, Case1の圧力が最も大きい. したがって, EPS材を使用することにより, 圧力が低減されることがわかる. 距離に応じた圧力の変化に着目すると, 爆源直下から水平距離 37.5cm における圧力は, 爆源直下 (0cm) での圧力と比較して, Case1では 11%, Case2では 35%, Case3では 54%に低下している. すなわち, Case1では圧力が爆源直下に集中して作用するのに対し, Case2, 3では覆土層底面の広い範囲に分散して作用し, 特に Case3ではその傾向がより顕著となる. 図-4に, Case2における爆発後の EPS材の状態を示す. EPS材の中央部にはひび割れが生じていた. 図-5に, Case3における爆発後の EPS材の状態を示す. EPS材には直径約 50cm の下に凸の塑性変形が生じたものの, EPS材にはひび割れ等の破損はなかった. したがって, Case3では, EPS材はひび割れを生じることなく, 広い範囲にわたり塑性変形を生じたことにより, 爆発によるエネルギーを最も効率的に吸収するとともに, 荷重を分散できたと考えられる.

4. おわりに

本研究は, 土砂と EPS材を併用した覆土層の上部で爆薬を爆発させ, 底面での圧力を計測し, EPS材を併用した覆土層による爆発荷重緩衝効果について検討したものである. その結果, EPS材と砂を併用した覆土層は, 砂のみの覆土層よりも爆発荷重を低減・分散することが認められた. なお, EPS材の上面に鋼板を設置することで, 爆発荷重緩衝効果が向上することが認められた.

参考文献

- 1) 岸 徳光, 佐藤昌志, 中野 修: 三層緩衝構造の緩衝性能に関する大型屋外実験, 構造工学論文集 Vol.41A, pp.1257-1264, 1995.3

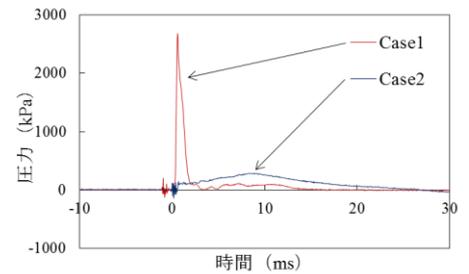


図-2 爆源直下における圧力～時間関係の例

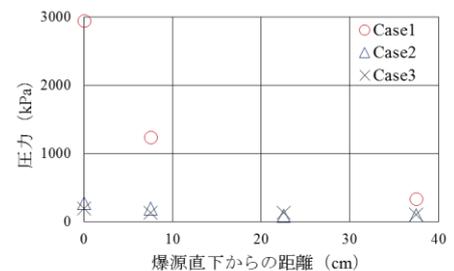


図-3 圧力と爆源直下からの水平距離の関係



図-4 Case2 爆発後の EPS材 (ひび割れ)



図-5 Case3 爆発後の EPS材 (破損なし)