

EPS 材と土で構成される地盤層の爆発荷重緩衝効果に関する基礎的研究

防衛大学校 学生会員 ○中田 拓也 正会員 市野 宏嘉 正会員 別府 万寿博 正会員 大野 友則
カネカケンテック株式会社 東原 健一 原口 望 岡三リビング株式会社 大城戸 秀人

1. はじめに

爆破テロ事件や爆発事故によって、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い。このような施設を設計する際には、爆発に対する防護を考慮する必要がある。そのひとつの手段として、構造物を地中に建設する方法がある。この方法では、構造物と爆発物の間に地盤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、爆発による衝撃を緩和して構造物の損傷の程度を低減できる点で優れている。この層に土砂と EPS (Expanded Poly Styrene: 発泡スチロール) 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 材により、衝撃力に対する緩衝効果を得る例として、岸ら¹⁾により落石による衝撃を緩和するための EPS 材と土砂を使用した三層緩衝構造が提案されている。また、EPS 材と土砂を併用した層による爆発荷重に対する緩衝効果は検討されてはいるが²⁾、EPS 材の厚さが爆発荷重緩衝効果に及ぼす影響を把握するには至っていない。本研究では、厚さが異なる EPS 材と砂で構成される地盤層の上部で爆薬を爆発させる実験を行い、EPS 材と砂による層の爆発荷重緩衝効果について検討した。

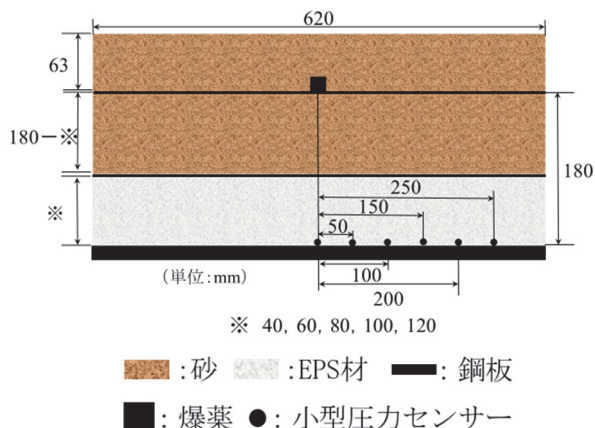


図-1 地盤層の構造

2. 実験方法

本実験では、実験室の地盤面を掘り下げ、その中に図-1 に示す EPS 材と砂による地盤層を構築した。底面を整地し、地盤層の外枠となる内寸 620mm×620mm の木枠を組み立てた。次に、地盤層の最底面に厚さ 25mm の鋼板を敷き、その鋼板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 50mm, 100mm, 150mm, 200mm, 250mm の 6 箇所に貼付した。続いて、EPS 材を設置し、その上に厚さ 0.5mm の鋼板を敷き、さらにその上に砂を入れ、EPS 材と砂の厚さの合計が 180mm になるように締め固めた。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擬した爆発物遮断鋼板(厚さ 0.5mm×1 枚)および砂を用いて 63mm 厚の層を敷設した。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。使用した EPS 材の密度は 16±2kg/m³ で、厚さを 5 段階に変化させた。実験ケースを表-1 に示す。爆源には Composition C-4 爆薬 30g を、直径および高さがともに等しい円柱形に成形して爆発物遮断鋼板上面に設置し、電気雷管を用いて爆発させた。

表-1 実験ケース

Case	EPS材厚さ (mm)	砂層厚さ (mm)	EPS材 使用率 (%)
1	40	140	22
2	60	120	33
3	80	100	44
4	100	80	56
5	120	60	67

3. 実験結果および考察

表-2 および図-2 に、計測された圧力の最大値を示す。Case5 においては、爆源直下からの距離 0mm での計測値がセンサーの定格容量である 5000kPa を超えたため、他のプロットと区別して表示している。距離 0mm における圧力の最大値は Case5 の圧力の最大値が最も大きく 5000kPa を超えた。次いで Case2 が 853kPa, Case1 が 769kPa, Case4 が 638kPa, Case3 が 446kPa の順に小さくなった。距離 50mm～150mm では最も大きな圧力を示すのは Case5

キーワード EPS 材, 地盤層, 爆発荷重, 緩衝効果

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 : ichino@nda.ac.jp

であることに変わりはないが、以下 Case1, Case2, Case4, Case3 の順で小さくなった。爆源直下からの距離が大きくなるにつれて各ケースの圧力の最大値の差が小さくなり、爆源直下からの距離が 250mm では各ケースの圧力の最大値の差は 14kPa にとどまった。

距離 50mm での圧力と EPS 材の使用率の関係を図-3 に示す。図-3 より、EPS 材使用率が約 44% で最も圧力が小さい。また EPS 材使用率約 44% を境にその値が大きくなる、または小さくなるにつれて圧力が大きくなっている。

表-3 に、距離 0mm での圧力の最大値を 100% としたときの、各位置における圧力の百分率(以下、圧力比という)を示す。なお、距離 0mm での圧力の値が 5000kPa を超えた Case5 の圧力比は 5000kPa を 100% として求め、末尾に「以下」を付して示した。距離 250mm における圧力比は、Case1 で 21%, Case2 で 17%, Case3 で 32%, Case4 で 23%, Case5 では 3% 以下となる。すなわち、Case3 の地盤層の構造が最も爆発荷重を分散させる効果が高い。

図-4 は爆発後の EPS 材である。図-4(a)に最も圧力が小さくなった Case3 の爆発後の EPS 材を、図-4(b)に最も圧力が大きくなった Case5 の爆発後の EPS 材を示す。最も圧力が小さくなった Case3 では亀裂は生じていない。Case3 では、広い範囲の EPS セルが徐々に圧潰し、爆発によるエネルギーを吸収して爆発荷重を低減、分散できたと考えられる。一方で、Case5 では EPS 材に亀裂が入っている。Case5 では砂層の厚さが小さいため、より大きな爆発荷重が EPS 材に作用して EPS 材が脆性的に裂けるような損傷を示し、爆発荷重が十分に低減、分散されないままセンサーに伝達されたと考えられる。

これらの結果から、地盤層の厚さを一定として砂層の厚さと EPS 材の厚さを変化させた場合、圧力を低減させるために最適な EPS 材と砂層の割合が存在することがわかる。

4. おわりに

本研究では、EPS 材と砂で構成される地盤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 材と砂による層の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、地盤層による緩衝効果を十分に得るためには、EPS 材と砂層の割合を適切に選ぶ必要があることがわかった。今後、EPS 材と砂層の最適な割合を定量的に評価する必要がある。

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

2) 市野宏嘉, 大野友則, 別府万寿博, 東原健一, 原口望, 大城戸秀人: EPS 材と土で構成される地盤層による地中構造物への爆発緩衝効果に関する基礎的検討, 構造工学論文集 vol.62A, pp.939-951, 2016.

表-2 圧力の最大値(kPa)

Case	爆源直下からの距離(mm)					
	0	50	100	150	200	250
1	769	1171	1203	434	183	159
2	853	688	486	240	170	145
3	446	336	283	169	135	145
4	638	568	359	230	103	149
5	5000超	3244	971	983	244	151

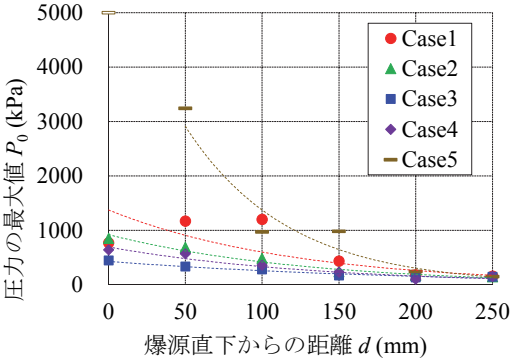


図-2 圧力と爆源直下からの距離との関係

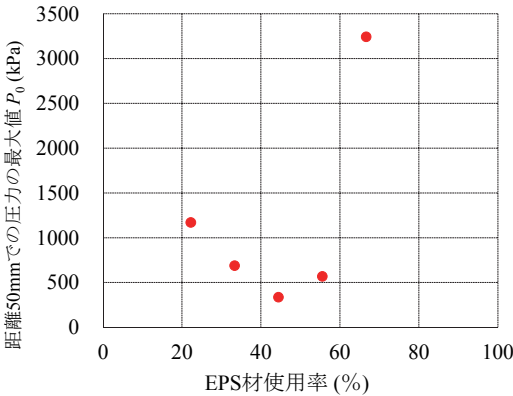
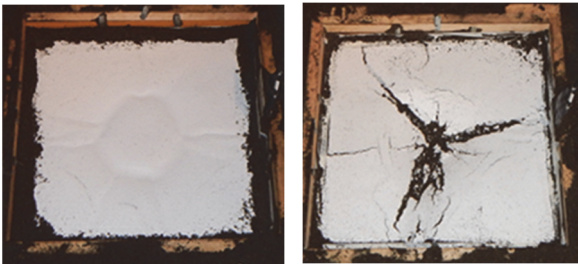


図-3 距離 50mm での圧力と EPS 材使用率の関係

表-3 圧力比(%)

Case	爆源直下からの距離 (mm)					
	0	50	100	150	200	250
1	100	152	156	56	24	21
2	100	81	57	28	20	17
3	100	75	63	38	30	32
4	100	89	56	36	16	23
5	100	65以下	19以下	20以下	5以下	3以下



(a) Case3 (b) Case5

図-4 爆破後の EPS 材