

地下構造物の耐爆緩衝層における EPS の爆発荷重緩衝効果に関する研究

防衛大学校 正会員 ○市野 宏嘉 正会員 大野 友則
カナ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. はじめに

爆発を伴うテロ事件や不測の事故により爆発災害が発生すると、多くの人的被害が生じるとともに、損傷を受けた施設の機能が失われるために社会に与える影響は極めて大きい。そこで、地盤材料を利用して爆発荷重を緩衝し、施設の耐爆性を高めることを狙いとして、爆発からの防護の対象となる施設を地下構造物として建設することが考えられる。この際、構造物の上部に位置する耐爆緩衝層を構成する地盤材料の一部を発泡スチロール（以下、「EPS」という。）に置き換えることにより、爆発荷重に対する緩衝性能を向上できる可能性がある。EPS による衝撃荷重の緩衝の例としては、落石による衝撃荷重を緩衝するため、EPS を使用した三層緩衝構造が提案されており、砂のみの緩衝層よりも優れた緩衝効果を有することが知られている¹⁾。しかし、地盤材料と EPS を組み合わせた耐爆緩衝層による、爆発荷重に対する緩衝効果についての研究例は見当たらない。本研究は、EPS を用いた地下構造物の耐爆緩衝層を実験室内に再現して、その上部で爆薬を爆発させ、耐爆緩衝層の底面での圧力を計測する実験を行い、爆発荷重に対する EPS の緩衝効果について検討したものである。

2. 爆発実験の概要

本実験で使用した耐爆緩衝層（以下、緩衝層という。）の構造を図-1 に示す。緩衝層の構築にあたり、実験室の地盤面を掘り下げて整地し、底面に圧力センサー（定格容量 5MPa, 固有振動数約 71kHz, 受圧部直径 6mm）を爆薬直下および爆薬直下から水平距離 7.5cm, 22.5cm, 37.5cm の位置の計 4 箇所を設置した。続いて、砂および EPS 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擬した爆発物遮断鋼板（厚さ 1.2mm×2 枚）および 75mm 厚の砂層を敷設した。緩衝層の構造は図-1 に示す 3 種類であり、実験ケースは表-1 に示す 4 ケースである。まず、Case1 と Case2 を比較し、EPS による爆発荷重緩衝効果を確認した。Case3 では、EPS 材の破損防止処置として厚さ 1.2mm の鋼板（EPS 防護鋼板）を EPS の上面に敷設し、これが爆発荷重緩衝効果に及ぼす影響について検討した。Case4 では、Case3 と同様の構造の緩衝層について、EPS の密度を変化させた場合の緩衝効果の変化について検討した。使用した砂は平均粒径 0.4mm であり、日本統一土質分類では粒度の悪い砂 (SP) に分類される。各実験における砂層仕上がり時の密度は、 $1.39 \times 10^3 \sim 1.46 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 、含水比は 10.6~11.1% である。使用した EPS は D-16(Case2,3)と D-30(Case4)の 2 種である。D-16 は密度が 16kg/m^3 、ひずみ 10%における圧縮強度が 0.12MPa、変形係数が 3.9MPa であり、D-30 は密度が 30kg/m^3 、ひずみ 10%における圧縮強度が 0.27MPa、変形係数が 9.4MPa である。供試爆薬には Composition C-4 爆薬 53g を使用し、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、爆発させた。

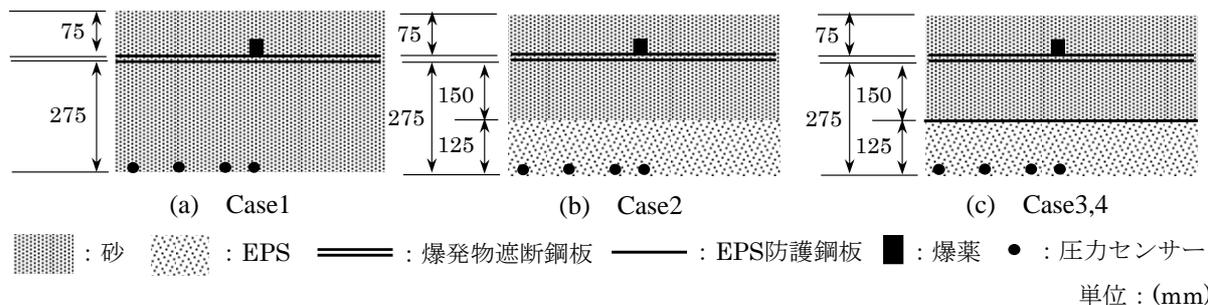


図-1 耐爆緩衝層の構造

キーワード EPS, 地下構造物, 耐爆緩衝, 爆発荷重, 爆発災害

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 TEL046-841-3810

3. 実験結果および考察

計測された圧力の最大値を図-2 および表-2 に示す。Case1 の爆薬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。爆薬直下における Case1,2,3 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。爆薬からの距離と圧力の関係に目を転じると、爆薬直下から水平距離 37.5cm における圧力は、爆薬直下 (0cm) での圧力と比較して、Case1 では 12%、Case2 では 35%、Case3 では 54% に低下した。すなわち、Case1 では圧力が爆薬直下に集中して作用するのにに対し、Case2, 3 では緩衝層底面のより広い範囲に分散して作用し、その分散の度合いは EPS 防護鋼板を設置した Case3 が最も顕著である。図-3 に、Case2,3 における爆発後の EPS の状態を示す。Case2 では、EPS 材の中央部には亀裂が生じていた。Case3 では、EPS 材には直径約 40cm の下に凸の残留変形が生じたものの、亀裂は認められなかった。したがって、Case3 では、鋼板の存在により荷重が分散され、EPS 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、最も効果的に荷重を低減・分散し得たと考えられる。次に、Case3 と Case4 を比較して EPS の密度が緩衝効果に及ぼす影響を検討する。D-30 を使用した Case4 では、爆薬直下で 605kPa の圧力が計測された。これは、D-16 を使用した Case3 と比較して 3 倍以上の値であり、Case4 では爆発荷重が十分に低減されていないことを示している。また、圧力の最大値は爆薬直下から 37.5cm 離れた位置でも 543kPa に達したことから、圧力は広範囲に分散して作用したといえる。この結果から、Case4 では、爆発荷重の分散は認められるものの、Case3 と比べて、爆発荷重が十分に低減されていないことがわかる。また、EPS 防護鋼板の変形を比較すると、Case3 では深さ最大約 25mm の残留変形が生じていたのに対し、Case4 では深さ最大約 10mm にとどまり、爆発時の EPS 材の変形は、Case3 と比較して小さかったと推察される。

4. おわりに

地下構造物の耐爆緩衝層に EPS と砂を用いた場合、砂のみの層と比較して爆発荷重をより低減・分散することが認められ、EPS の上面に鋼板を設置することでその効果は向上した。また、EPS の密度を増加させた場合、EPS による爆発荷重の低減効果が十分に得られなかった。

表-1 実験ケース

	緩衝層の材料	EPSの密度
Case1	砂	-
Case2	砂, EPS	16kg/m ³
Case3	砂, 鋼板, EPS	16kg/m ³
Case4	砂, 鋼板, EPS	30kg/m ³

表-2 緩衝層底面における圧力の最大値(kPa)

爆薬直下からの 水平距離(cm)	0 (直下)	7.5	22.5	37.5
Case1	2941	1238	-	343
Case2	269	193	85	95
Case3	191	135	129	104
Case4	603	490	494	543

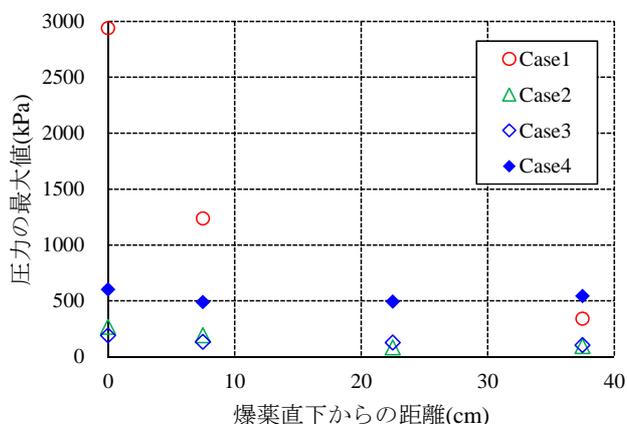


図-2 緩衝層底面における圧力の最大値



(a) Case2 (b) Case3

図-3 爆発後の EPS の状態

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