A - 4 4

# EPS ブロックの緩衝性能に関する重錘落下衝撃実験

Falling-weight impact test on absorbing performance of EPS block

至闌丄業大字大字阮
室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院
共和企興 (株)
(株) JSP

○ フェロー	岸谷	恵光	(Norimitsu Kishi)
正会員	栗橋衫	右介	(Yusuke Kurihashi)
正会員	牛渡褚	谷二	(Yuji Ushiwatari)
非会員	荒川渚	告幸	(Hiroyuki Arakawa)
非会員	小林酒	青次	(Kiyotsugu Kobayashi)

### 1. はじめに

我が国の山岳部や海岸線を通過する道路は,急峻な地形 を呈していることから,落石災害を防止するための落石防 護構造物が数多く建設されている.一方で,近年の異常気 象(ゲリラ豪雨など)や対象斜面の経年変化,調査手法の 高度化によって,設計当初には想定され得なかった大規模 な落石要因が確認されるなど,落石防護構造物の安全性向 上が望まれている.しかしながら,これらを再度新設する 場合には既設構造物の撤去も含め,莫大な費用が必要とな り,建設コストの縮減が求められている中で,大きな負担 となっている.このようなことから,落石衝撃力を緩和さ せるための効果的かつ安価な緩衝工の開発が望まれている.

そこで、本研究では、これまでに著者らが研究開発して きた三層緩衝構造(ロックシェッド、砂+ RC 版+ EPS ブ ロック)や二層緩衝構造(落石防護擁壁, RC 版+ EPS ブ ロック)に用いられている EPS ブロックに着目し、各種設 計法の確立や数値解析的検討に資する基礎資料を得るた め、EPS ブロック単体が有する緩衝効果や耐衝撃性能に ついて把握することを目的に、EPS ブロックに関する静載 荷実験および重錘落下衝撃実験を実施した。

#### 2. 実験概要

図-1には、本研究に使用した実験装置の概要を示している。本実験装置は、伝達衝撃応力計測用の起歪柱型ロードセル(受圧面の直径20mm、容量7MPa)が設置された鋼製底盤(1.6m四方、厚さ75mm)および鋼製底盤を支持する9個の反力計測用の起歪柱型ロードセル(受圧面の直径87mm,容量100kN)から構成されている。なお、反力計測用ロードセルは厚板鋼板を介して実験室ピット内の剛基礎上に設置されている。また、伝達衝撃応力計測用ロードセルは、図に示すように底盤中央部より対称軸上に50mm間隔で13個設置されており、その受圧面は底盤上面と面ーとなっている。

**写真-1**には,重錘落下衝撃実験の状況を示している. 衝撃荷重載荷実験は,所定の厚さに成形した EPS ブロック に対して,重錘を所定の高さから供試体中央部に落下させ ることにより行っている.なお,重錘は,写真に示すよう にリニアレールに沿って精度よく落下衝突させている.

衝撃荷重載荷実験に使用した鋼製重錘は質量 400 kg で あり,先端部には起歪柱型ロードセルが組み込まれてい る.重錘衝突部の直径は 200 mm で,底面には片当たり防 止のため 2 mm のテーパが設けられている.また,静載荷 実験は,鋼製フレームに設置された油圧載荷装置の先端に



図-1 実験装置概要



写真-1 衝撃実験状況

衝撃載荷実験で使用した重錘先端部を取り付けて実施して いる.

**表-1**には,静載荷および衝撃実験のケース一覧を示している.衝撃実験は,衝突速度をパラメータとしている. EPS 厚は全て*t* = 25 cm に成形している.また,衝撃実験

表 - 1 実験ケース一覧								
試験体名	EPS 厚さ	重錘質量	重錘径	載荷速度	入力 エネルギー			
	te(cm)	m(kg)	$\varphi$ (cm)	V(m/s)	E(kJ)			
E-S	25	400	20	静的	—			
E-V0.5				0.5	0.05			
E-V1.0				1.0	0.20			
E-V1.5				1.5	0.45			
E-V2.0				2.0	0.80			
E-V2.5				2.5	1.25			
E-V3.0				3.0	1.80			
E-V3.5				3.5	2.45			



図-3 載荷荷重-貫入量曲線(静載荷実験)





図-2 EPS ブロックの応力-ひずみ関係

を行う前に静載荷実験を実施し、その静的挙動を把握して いる。

重錘衝突速度は、荷重計の計測可能容量(定格容量の200%以下とした)を超過しない範囲で実験を実施した。

実験ケース名は, EPS の頭文字 E の後ろに, 静載荷実験 の場合は S を, 衝撃実験の場合は衝突速度 V (m/s) をハイ フンで結び示している.

#### 3. 実験結果

#### 3.1 載荷荷重-貫入量関係(静載荷実験)

図-3には、静載荷実験時における荷重-貫入量曲線お よび載荷点直下の応力-重錘貫入部の平均ひずみ(以後, 応力-ひずみと呼称)曲線を示している.なお、応力-ひ ずみ曲線の図中には、EPS ブロックの応力-ひずみ関係も 併せて示している.

荷重-貫入量曲線より,載荷荷重および底盤反力はほぼ 一致した分布性状を示していることが分かる。荷重は,貫 入量が30mm程度の段階で,剛性勾配が小さくなる性状 を示している。また,貫入量が180mm程度の段階から, 剛性勾配が大きくなる傾向を示している。

応力-ひずみ曲線に着目すると、EPS ブロックの応力-ひずみ関係と概ね一致した挙動を示すことが分かる.

### 3.2 時刻歴応答波形

図-4には、衝突速度毎に整理した (a) 重錘衝撃力,(b) 伝達衝撃力,(c) 載荷点直下伝達衝撃応力,(d) 重錘貫入量 の波形を示している.なお,本論文における伝達衝撃力 は,底盤下のロードセルで計測された荷重の合計値を示し ている.

(a) 図に示す重錘衝撃力波形より,波形性状は,最大応 答値を示す第1波が生じた後,その50%程度である正弦 半波状の第2波が発生し,その後は減衰自由振動する傾向 を示している.最大応答値は衝突速度にかかわらず*t*=0.1 s程度で発生しており,衝突速度の増加に対応して増加し ている.なお,第2波の発生時刻は衝突速度の増加に対応 して遅延する傾向となっている.これは,衝突速度が大き いほど,第1衝突時におけるリバウンド量が大きいためと 推察される.

(b) 図に示す伝達衝撃力波形に着目すると,波形性状・応 答値ともに重錘衝撃力波形とほぼ同様の傾向を示している ことが分かる.

(c) 図に示す載荷点直下における伝達衝撃応力に着目す ると,波形性状は重錘衝撃力および伝達衝撃力と概ね同様 の傾向を示している.しかしながら,E = 1.80 kJ 以降にお いて,第1波の一部が鋭角状に突出し,応力値が急激に増 加している.これは, EPS ブロックの応力-ひずみ関係よ り,E = 1.80 kJ 以降の衝突時に,ひずみが 60 % 程度を超 えたためと推察される.

(d) 図に示す重錘貫入量波形より,衝突速度の増加に伴い,最大貫入量が増加していることが分かる.また,残留貫入量も増加する傾向にあるが,E = 1.80 kJ およびE = 2.45 kJ の残留貫入量はほぼ同程度である.最大応答値発生後の挙動に着目すると,衝突速度が大きいほどリバウンド量が大きく,E = 2.45 kJ 以降においては,衝突位置よりも高い位置までリバウンドしていることが分かる.

#### 3.3 載荷荷重-貫入量関係(衝撃実験)

図-5には、重錘落下衝撃実験時における荷重-貫入量 曲線および載荷点直下伝達衝撃応力-平均貫入ひずみ(以 下,応力-ひずみと呼称)関係を示している.なお,応 カ-ひずみ関係には、静載荷実験時の結果も併せて示して いる.図より、荷重-貫入量曲線に着目すると、重錘衝撃 力と伝達衝撃力はほぼ一致した挙動を示すことが分かる. しかしながら、伝達衝撃力は荷重増加時に一定周期で振動 する性状を示していることが分かる.これは、重錘が EPS ブロックに貫入する際における EPS ブロックの局所的な せん断破壊時の応答であるものと推察される.

載荷点直下の応力-ひずみ関係に着目すると, すべての

### 平成23年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第68号



図-5 載荷荷重-貫入量曲線(衝撃実験)

ケースにおいて,静載荷実験結果と類似の性状を示していることが分かる.これは,EPS ブロックの力学的挙動が,静載荷時と衝撃時において変化しないことを示唆している.

## 3.4 伝達衝撃応力分布

図-6には、底版に設置された荷重計で計測された伝達 衝撃応力分布を時系列で示している。図より、E = 1.25 kJ までの衝突速度においては、衝突位置からの距離が 50 cm 程度まで広く荷重が分散していることが分かる。また、応 答値も重錘衝突位置付近で若干大きいものの $\sigma = 0.2$  MPa 未満であり、概ね広く分散分布し、効率よく衝突荷重を吸 収・分散していることが分かる.一方、E = 1.80 kJ以降に おいては、広範囲に荷重が作用している傾向が見受けられ るものの、衝突位置近傍における応答値が $\sigma = 0.4 \text{ MPa}$ 以 上と大きな値を示している.これは、衝突位置付近におい て局所的に EPS ブロックのひずみが増大していることを 意味しており、本実験の範囲内において効率的な緩衝効果 を得られる速度の範囲は、E = 1.25 kJまでであることが明 らかになった.



図-6 伝達衝撃応力分布



図-7 各種応答値と入力エネルギーの関係

### 3.5 各種応答値と入力エネルギーの関係

図-7には、各種応答値と入力エネルギーの関係を示している。

図より,入力エネルギーと最大重錘衝撃力および最大伝 達衝撃力は,衝突速度に比例し,ほぼ線形に増加する傾向 にあることが分かる.一方,入力エネルギーと載荷点直下 の最大伝達衝撃応力の関係に着目すると,入力エネルギー  $E \leq 1.25 \text{ kJ}$ において,ほぼ同程度の値で推移している一 方,入力エネルギーが $E \geq 1.8 \text{ kJ}$ においてほぼ線形に応力 値が増加する傾向を示しており,EPS ブロックは載荷点部 近傍のみが局所的に応答していることが推察される.

### 3.6 破壊性状

図-8には、実験終了時における EPS ブロックの破壊性 状を示している。図は、荷重載荷位置における切断面のひ び割れ状況である。図より、静載荷実験も含めた全ての ケースにおいて、重錘径より俯角がほぼ 28°のひび割れが 発生していることが分かる。また、ひび割れの深さに着目 すると、E = 1.80 kJまでは衝突速度の増加に伴い深くなる 傾向にあるが、E = 2.45 kJ時のひび割れ深さはE = 1.80 kJと同程度である。これは、E = 1.80 kJの段階で EPS のひず みが限界近くに達していたことを暗示している。

### 4. まとめ

本研究では、緩衝工としての EPS 材に着目し、各種緩衝 工の設計法確立や数値解析的検討に資するための基礎資料

 $V = 2.0 \text{ m/s} \\ (E=0.80\text{kJ}) \\ 28^{\circ} \\ V = 3.0 \text{ m/s} \\ (E=1.80\text{kJ}) \\ 28^{\circ} \\ 28^{\circ$ 

V = 0.5 m/s(E=0.05kJ)

V = 1.5 m/s(E=0.45kJ)

### 図-8 実験終了後のひび割れ状況

を得ることを最終目的に, EPS ブロック単体が有する緩 衝効果や耐衝撃性能に着目して, 厚さ t = 25 cm の EPS ブ ロックを用いた静載荷実験および重錘落下衝撃実験を実施 した.実験の範囲で得られた知見を整理すると,以下の通 りである.

- 載荷点直下における応力-貫入部の平均ひずみ曲線 は、載荷方法にかかわらず EPS ブロックの応力-ひず み関係と概ね一致する.これは、静載荷時および衝撃 時において、EPS ブロックの力学的挙動が変化しない ことを示唆している.
- 2) 衝突速度 V = 3.0 m/s (E = 1.8 kJ) 時点で,載荷点直下近傍の伝達衝撃応力が増大することから,効率的な緩衝性能を発揮する重錘径に対応した入力エネルギーの範囲を推定することができた.
- 3) ひび割れの角度は全てのケースで、重錘径からの俯角 が約28°を示すことが明らかになった。今後、重錘形 状を変化させた実験を行うことにより、俯角の性状に ついて検討したいと考えている。

#### 参考文献

1) (社) 日本道路協会: 落石対策便覧, 2000.6.