

破碎EPSを用いたロックシェッド用緩衝材の開発

DEVELOPMENT OF ABSORBING MATERIAL
FOR THE ROCKSHED USED BY BROKEN EPS

上浦正樹*・長橋孝次**

by Masaki KAMIURA and Kouji NAGAHASHI

1. はじめに

道路や鉄道などの公共施設の安全を確保する各種防災設備のなかで、落石や雪崩などからこれらを守る設備としてロックシェッドなどの落石防護工がある。平成8年2月に、一般国道229号北海道古平豊浜トンネルの大規模な岩盤崩落が発生し、多大な犠牲者がでたが、このように巨大な落下エネルギーを有する落石が直撃すると落石の重量の数10～数100倍の衝撃荷重を発生して落石防護工を打ち抜き、そこを通る交通に甚大な被害を及ぼす。このような極端な例でなくても落石は落石防護工にかなりの被害を与えるので、これを緩和するために屋根部にサンドクッションと呼ばれる敷砂を用いている。また近年になって死荷重が小さく緩衝性に優れたEPS(発泡スチロール)を用いた工法の開発が進んでいる。既往の研究においては、急峻な斜面のかなり落差のある浮き岩を想定しての研究もあるが、実務サイドでは、危険と推定される浮き岩等は事前に撤去するか落石とならないように処置をする方向で進んでいる。従って、今後の研究の一つとしては甚大な被害に至らない中程度の落石に対して落石防護工の屋根部を防護する衝撃緩和材料の開発であると考えられる。

この点に着目して、魚等の冷凍食品などの保存・運搬に使用される発泡スチロール箱を破碎(破碎EPS)して衝撃緩和材に使用することとした。この種のEPSは再利用方法が検討されているが、現状では十分な活用方法が確立していない。そこで衝撃緩和材として実用化できれば、環境問題の解決法の一方策としてEPSの廃棄物を再利用することが可能となり、防災と環境保護の2面から一石二鳥の効果が期待できる。

本研究では砂と破碎発泡材を網袋状入れた材料(破碎発泡ユニット)を用いて自然石を所定の高さ

から落下させ、砂および破碎発泡ユニットを支える支持板に作用するそれぞれの衝撃力から破碎発泡ユニットの衝撃緩和効果を求めようとするものである。

2. 破碎発泡ユニット

2.1 概要

破碎発泡ユニットとは発泡スチロール箱を碎石程度の大きさ(5～150mm程度)に砕き、ポリエチレン製の網袋(直径約45cm、高さ120cmの円筒)に詰めたものである。この袋は施工時の作業性や衝撃時の一体性を保つために2つの網袋を長手方向に縫い合わせて1ユニットとして使用する(写真1)。この破碎発泡ユニットは次の特徴を有する。

- ①山岳地で使用する時に雨水や出水などに対して透水性に優れている。
- ②空隙が多く、死荷重が小さく軽量な材料なため構造物の設計時に有利となる。
- ③2つ1組のユニット形式であり、軽量で持ち運びが容易であることから施工性に優れている。



写真1 破碎発泡ユニット

*北海学園大学教授 工学部 土木工学科 (〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目)、**東洋道路興業株式会社 取締役 製造部長

2. 2 作成

発泡スチロール箱は大きく2種類の製品(白、青)からなりたっており、一般的にその使用分布は様でないので本研究では、それぞれ同量を混ぜて用いた。破碎発泡ユニットの諸元を表1に示す。

表1 破碎発泡ユニットの諸元

質量	発泡スチロール(白)	3.5 kg
	発泡スチロール(青)	2.8 kg
	ポリエステル網袋	1.0 kg
体積	ポリエステル網袋	0.7 m ³
品質	ポリエステルメッシュ	XM2530

本研究では破碎発泡ユニットを2段と3段に重ねて緩衝効果を検討する。なお破碎発泡ユニットのみを現場に敷設すると紫外線などの風化のおそれがあり、また景観の上からも破碎発泡ユニットの上部を土砂などで覆うこととする。

3. 落下衝撃力の測方法

既往の研究では、落下衝撃力を推定するのに砂などの緩衝材の直下にロードセルを設置しこの衝撃圧力から推定するのが一般的である。この方法では衝撃の分散によってかなり幅広くロードセルをセットする必要があるが、本研究では40tトラックスケール(図1)を用いて全体にかかる荷重を直接測定することとした。

40tトラックスケールは、8m×3mの板が4隅の支点で支えられ、その支点にロードセルを配置して荷重を測定するものである。ロードセルの最大荷重は100kNで最小200Nまで測定可能である。

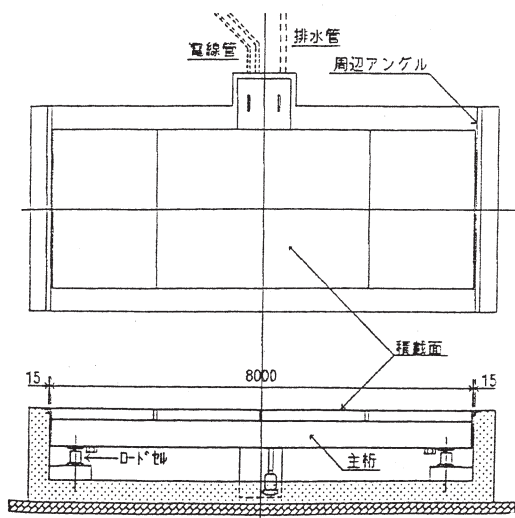


図2 40tトラックスケールの概要

衝撃力の発生方法は重さ約300kgの自然石をクレーンでつり上げ(写真2)、供試体に落下させるもので、つり上げ高さは表2のとおりである。

表2 つり上げ高さ

5m	10m	15m	20m
----	-----	-----	-----



写真2 クレーンによる落下石のつり上げ

供試体は縦1.8m×横1.8mとし、高さは表3の条件とする。ここで破碎発泡ユニットは景観などの理由から土砂で覆う必要があることから、破碎発泡ユニットを長手方向を横にして重ねて段を作り、30cmの砂層をその上面にセットする。各ケースで全体の高さはほぼ同じとした。

表3 供試体の種類

①	砂	0.9 m
②	砂	0.5m + 破碎発泡ユニット 2段
③	砂	0.3m + 破碎発泡ユニット 3段

破碎発泡ユニットを供試体に詰め込んだ状況を写真3に示す。

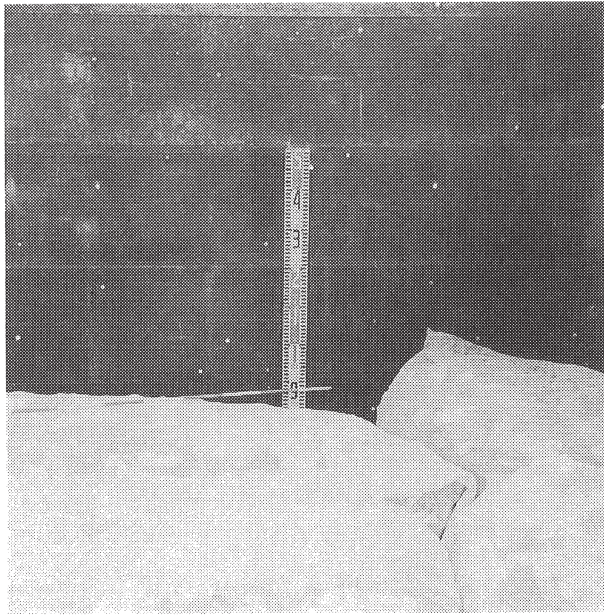


写真3 破碎発泡ユニットの詰め込み状況

4. 衝撃エネルギーと衝撃緩衝効果の推定

4. 1 衝撃エネルギーの推定

衝撃吸収エネルギーを推定する方法として本研究では次の仮定を設けて検討する。

- ①落石と緩衝材が衝突した直後から一体化して移動する。この一体化物の質量を合質量と呼ぶ。
- ②この一体化物の運動量の変化が衝撃力による力積の変化に等しいとする。
- ③衝撃力は正弦波の半波長で作用する。

①、②の仮定から次式が成り立つ。

$$m \times v = \int P dt \quad (1)$$

ここで m : 合質量 v : 移動速度 P : 衝撃力を示す。合質量 m とこの重量 W は (2) の関係にある。

$$m = W/g \quad (2)$$

落石が T 時間後に停止するものとする。衝撃力 P は③の仮定から時間 t の関数として次のようになる。

$$P = Pa \times \sin((\pi/T)t) \quad (3)$$

ここで Pa : 最大衝撃力を示す。

(1) 式から②の仮定より $0 \sim T$ まで定積分することで (4)、(5) が求まる。

$$m \times v = 2 T Pa / \pi \quad (4)$$

$$v = 2 T Pa / (m \pi) \quad (5)$$

以上から衝撃エネルギー (E) は

$$E = m \times v^2 = 2 g T^2 Pa^2 / (\pi^2 W) \quad (6)$$

である。

4. 2 衝撃緩衝効果の推定

通常の応力～変位現象の解析方法を衝撃緩衝効果

を推定するのに用いる場合、次の点を考慮する必要がある。

- ①荷重の作用時間が非常に短いこと
 - ②荷重作用点に対する荷重の波の分析
 - ③荷重作用点での局所的な大変形、塑性破壊の検討
- 衝突現象を解析する上で、通常の衝撃力の推定方法として振動便覧においては、Hertz の接触理論を用いて次の評価式が示されている¹⁾。

$$Pa = 2.455 Ws^{2/3} \lambda^{2/5} H^{3/5} \quad (7)$$

Pa : 落石の最大衝撃力, Ws : 落石重量 (tf),

H : 落下高さ (m), λ : ラーメ定数 (tf/m²)

ここで ラーメ定数 λ は材質によって定まり、非常に軟らかいもので 100tf/m² 以下, 軟らかいもので 300~500tf/m², 固いもので 1000tf/m² としている。砂に関して、岸らの実物大の試験では λ の値は砂の厚さ (h) によって異なり、 $h=120\text{cm}$ では $\lambda=100\text{tf/m}^2$ 、 $h=90\text{cm}$ では $\lambda=200\text{tf/m}^2$ とよく一致しているとの報告がある²⁾。よって本研究ではラーメ定数 λ を衝撃緩衝効果を推定するのに用いることとした。

4. 3 衝撃力の測定方法

本研究では、40 tトラックスケールの4隅の支持点での荷重を測定する方式である。40 tトラックスケールの供試体を支える板のたわみを無視すると、この4隅の支持点での測定荷重の和が落石の衝撃荷重として見なすことができる。

5. 試験結果

5. 1 落下試験

自然石を落下させた直後の状況を写真4に示す。この写真から供試体にめり込んで緩衝材と石が衝突後一体となって移動した様子がわかる。

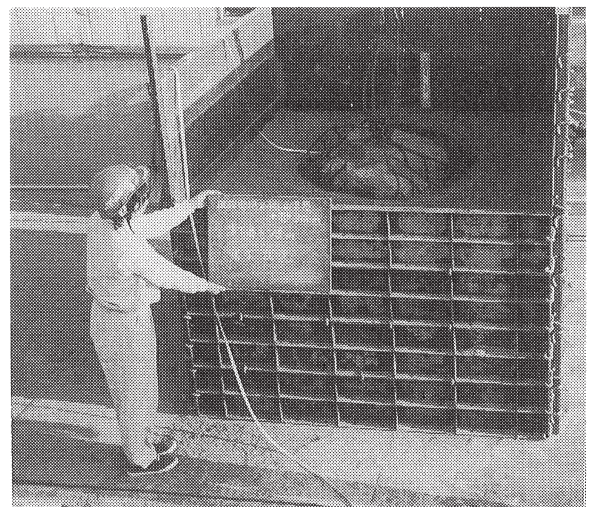


写真4 落下直後の状況

5. 2 衝撃荷重

落下高さと衝撃荷重の関係を図2に示す。これから砂の方がEPSの約3～4倍大きい。

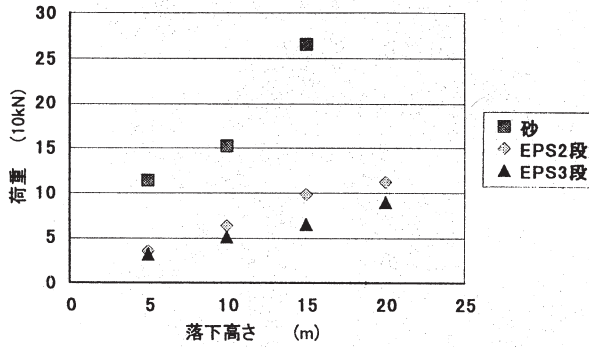


図2 落下高さと衝撃荷重の関係

よって、ほぼ同じ厚みで施工した場合の砂に比べ破砕発泡ユニットの方が緩衝効果が高いことが推論できる。

5. 3 衝突エネルギーの算定

落石が緩衝材に到達する直前に有する運動エネルギーは位置エネルギーから求まるが、緩衝材と一体化して止まるまでの間は衝撃エネルギーとして評価する必要があり、式(6)を用いることとした。この結果を図3に示す。

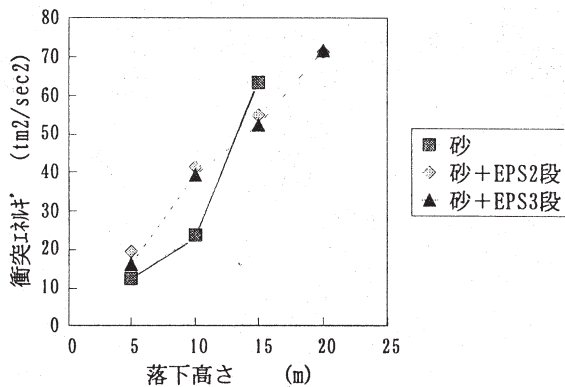


図3 衝撃エネルギーと緩衝材の関係

この図から、いずれの試験においても砂とEPSの材料の差はあまりなく、ほぼ同様な値が得られた。これは落石は緩衝材で止まりトラックスケールに影響をあまり与えていないことから、落石の衝撃エネルギーを衝撃吸収エネルギーと見なしてよいことがわかる。

5. 3 ラーメ定数の算定

衝撃荷重と落下高さなどから式(7)を用いてラーメ定数を算定した(図4)。

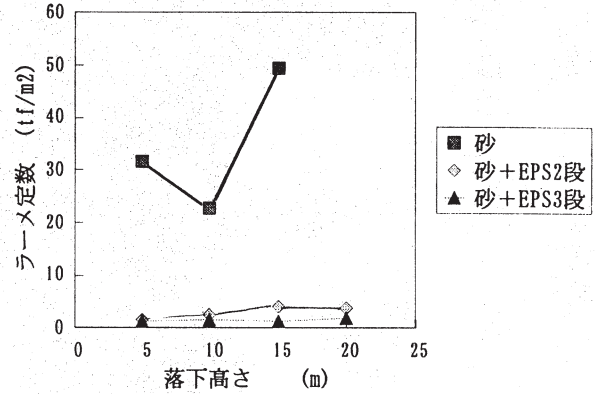


図4 衝撃エネルギーと緩衝材の関係

この結果から固さの程度を示すラーメ定数から破砕発泡ユニットが砂よりはるかに小さいことがわかる。これは衝撃荷重で検討した(図2)と同じ結論となった。

6. 結論

重量 300kg で落下高さが最大 20m 程度の落石について以下の結論が得られた。

- (1) EPSの廃棄物を再利用した破砕発泡ユニットは落石と一体となって衝撃を緩和する。
- (2) 破砕発泡ユニットは砂に比べ、落石による衝撃荷重を1/3～1/4倍に低減する。
- (3) 破砕発泡ユニットは砂と同様の衝撃エネルギーを吸収できる。
- (4) 破砕発泡ユニットの固さはラーメ定数で1桁小さく砂よりはるかに小さい。

今後は、衝突エネルギーに対して破砕発泡ユニットの有効な厚さについて検討を進めていくことを考えている。

参考文献

- 1) 土木学会：土木技術者のための振動便覧, p517, 1985
- 2) 岸徳光、中野修、松岡健一、西弘明：野外実験による敷砂の緩衝性能, 構造工学論文集, Vol.39A, p1596, 1993.3

(1999年4月6日受付 6月10日受理)