

(3) 重錘落下実験による高密度EPSを用いた落石衝撃力の算出における一提案

THE FALLING WEIGHT IMPACT TESTS USING HIGH-DENSITY EPS AND
THE CALCULATION OF IMPACTING FORCE OF FALLING ROCKS.勘田益男^{*}, 前育弘^{**}

Masuo KANDA, Yasuhiro MAE

^{*} (有) 斜面防災研究所 代表取締役 (〒921-8062金沢市新保本4丁目4番地)^{**} 積水化成品工業(株) 建材技術部 (〒306-0235茨城県猿島郡総和町下辺見1336-2)キーワード: 高密度EPS, 吸収エネルギー, 衝撃力
(High-density EPS, Absorbent energy, Impacting force)

1. はじめに

落石用の緩衝材として発泡スチロール (EPSという) が広く用いられ, 特にロックシェッド上に設けられることが多くなっている. 落石の規模が大きくなるにつれて従来の密度 $\rho = 15 \sim 20 \text{ kgf/m}^3$ では落石の貫入量が大いいため, 高く積み上げる必要があり, コスト面や景観上問題がある. そこで, 密度 $\rho = 50 \text{ kgf/m}^3$ のEPSを用いれば落石の運動エネルギーの吸収量が大幅に増加し, 層厚を減少させることが可能となる. 本研究では高密度EPSの吸収エネルギーや衝撃力の算出方法を提案し, 重錘落下実験にて照査を行う.

2. エネルギー吸収の考え方

吉田らの実験的研究では^{2) 3) 4)} 密度 $\rho = 15 \sim 20 \text{ kgf/m}^3$ のEPS (従来型EPSと言う) を用いた場合, 落石の吸収エネルギーがEPSの応力・歪み曲線よりほぼ理論的に求められることが確認されている. また, 衝撃荷重の分散が, $30^\circ \sim 1:0.05$ としている.

したがって, EPS密度 $\rho = 50 \text{ kgf/m}^3$ (高密度EPSと言う) においても以上の2点が求められれば理論的に設計式を導入することが可能である.

a) 応力-ひずみ関係

従来型EPS (密度 $\rho = 15 \sim 20 \text{ kgf/m}^3$) と高密度EPS (密度 $\rho = 50 \text{ kgf/m}^3$) のエネルギー吸収能力は応力-ひずみ関係より図-1に示すように大きな差異が見られる.

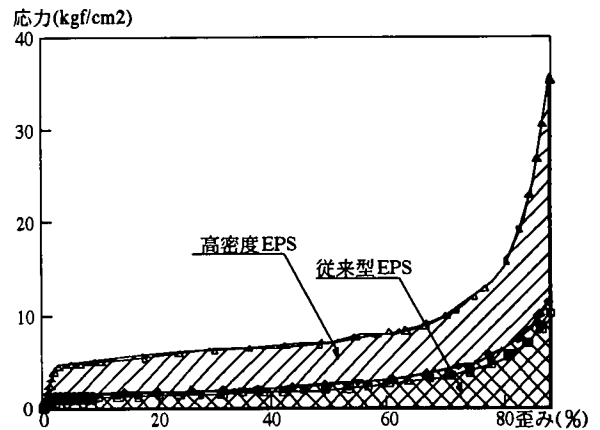


図-1 EPSの応力-ひずみ関係

b) 衝撃力の分散

重錘がEPSに衝突した初期においては, 比較的広い範囲に衝撃力は分散し, 重錘の貫入とともに範囲が狭くなる. 高密度EPSの場合も, 同様の傾向を示すことから従来型EPSと同じように仮定した.

すなわち, 衝突初期における分散の直径 d_1 は,

$$d_1 = d_0 + 2\lambda \tan 30^\circ$$

となる. ここに, d_0 は重錘の直径, λ はEPS1層の厚さである. また, 最大貫入時の分散直径 d_2 および貫通時の分散直径 d_3 は以下のとおりである.

$$d_2 = 1.1d_0, \quad d_3 = 1.05d_0$$

これらに対応する分散面積は,

$$A_1 = 1/4 \pi d_1^2, \quad A_2 = 1/4 \pi d_2^2, \quad A_3 = 1/4 \pi d_3^2$$

となる.

c) 設計式

設計式は従来型EPSの式⁴⁾を修正して求められる.

重錘の平均突出量 \bar{e} の設定および衝撃力-貫入量関係のモデル化を従来型EPSの考え方に準拠して決定する.

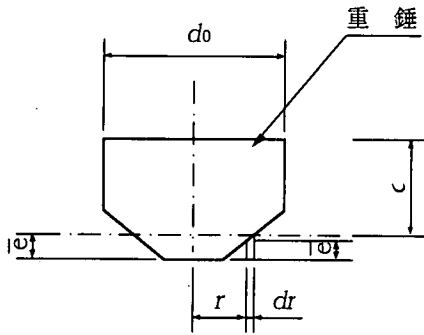


図-2 重錘底面の形状

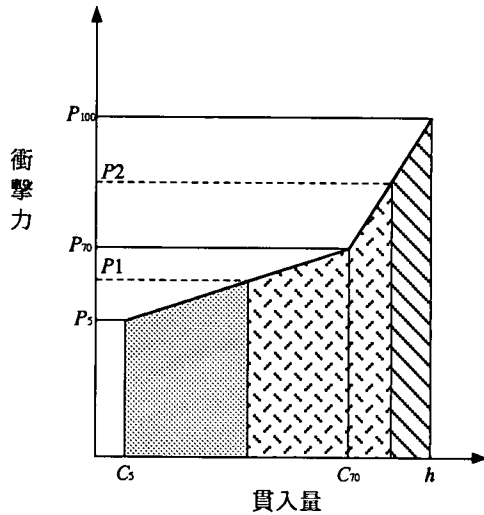


図-3 モデル化された重錘衝撃力-貫入量関係

図-3における C_5 および C_{70} は、それぞれEPS全層厚さの5%および70%に対する重錘の平均貫入量を示しており、 F_5 、 F_{60} 、 F_{70} はそれぞれに相当する衝撃力である。

$$\sigma_5 = 30 \text{ tf/m}^2, \quad \sigma_{60} = 70 \text{ tf/m}^2$$

$$\sigma_{80} = \sigma_{100} = 150 \text{ tf/m}^2 \text{ とすれば,}$$

$$P_5 = \sigma_5 \cdot A_1 = 20 \cdot 1 / 4\pi (d_0 + 0.577)^2 \\ = 23.562 (d_0 + 0.577)^2$$

$$P_{60} = 70 \cdot 1 / 4 \cdot \pi (1.1d_0)^2 = 66.523d_0^2$$

$$P_{70} = P_5 + \frac{(0.65h' + \bar{e})}{(0.55h' + \bar{e})} \cdot (P_{60} - P_5)$$

$$P_{100} = 150 \cdot 1 / 4 \cdot \pi (1.05d_0)^2 = 129.885d_0^2$$

十分な緩衝効果を得るためには図-1よりEPSのひずみは70%以内であることが望ましいので、ひずみはこの範囲内であると仮定する。

貫入量 C における衝撃力 F_C は図-3より

$$P_C = P_5 + \frac{(P_{60} - P_5)}{(0.55h' + \bar{e})} \cdot (C - 0.05h)$$

で表され、また、その時の吸収エネルギー E_w は、

$$E_w = 1/2 (P_C + P_5) \cdot (C - 0.05h)$$

で与えられる。式(6)および(7)より C を消去し、

$E_w = WH$ を代入すると、重錘の衝撃力 $F (= F_C)$ は、

$$P = \sqrt{\frac{2WH}{(0.55h' + \bar{e})} \cdot (P_{60} - P_5) + P_5^2}$$

となる。なお、これに対する貫入量 C_{\max} は、

$$C_{\max} = \frac{2WH}{P + P_5} + 0.05h' \leq 0.7h$$

で与えられる。

ここに、 d_0 : 落石の直径 (m)

\bar{e} : 落石の凹凸の平均高さ (m)

F_5 : EPS5%ひずみに相当する衝撃力 (tf)

F_{60} : EPS60%ひずみに相当する衝撃力 (tf)

F_{70} : EPS70%ひずみに相当する衝撃力 (tf)

F' : EPS70%ひずみにおける衝撃力の推定値 (tf)

h : EPSの厚さ (m)

h' : EPSの厚さの推定値 (最小値) (m)

C_{\max} : 落石の最大貫入量 (m)

3. 重錘落下実験による照査

理論的に導いた設計式の照査を重錘落下実験によって行う。重錘落下実験は図-4と図-5に示す2パターンで行った。図-4に示す実験Aは、重錘重量100kgf、最大落下高さ10mの比較的に規模の小さなミニチュア版である。また、実験Bでは1tfの重錘を作成し、クレーンを用いて落下させ、最大落下高さを30mとした。それぞれ重錘に取り付けた加速度計の値より、速度・貫入量・重錘衝撃力を求め、設計式による値との照査を行った。表-4において重錘落下実験と設計式による衝撃力を比較しているが、実験BではEPSの基礎に鋼板を用いており、地盤の影響の有無が懸念されるためEPS+敷砂による衝撃力も算出した。実験値の重錘衝撃力は概ね近似しており問題はないと考えられる。

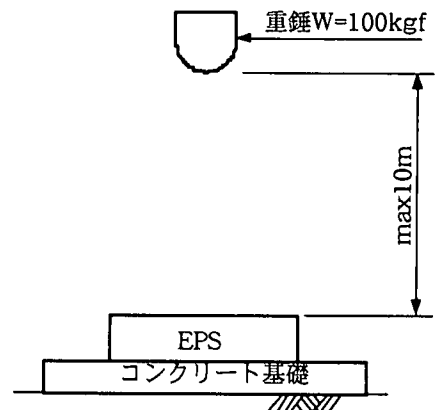
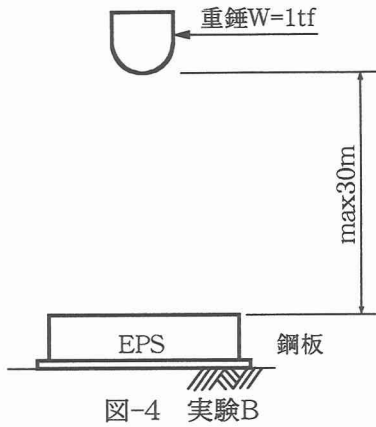


図-4 実験A (ミニチュア版)



4. エネルギー吸収性能の比較

設計式を用いて従来型EPSと高密度EPSおよび敷砂の比較を行う。落石重量は5tfとし落下高さを変化させて、それぞれ敷砂による衝撃力も示す。高密度EPSの長短所は以下のようにまとめられる。

- 1) これまで防護が困難であった大規模な落石に対応できる。
- 2) 層厚が小さくでき、経済性・施工性・景観上有利である。
- 3) リバウンド量が小さいため、第2落下点以降の2次災害の危険性が小さくなる。

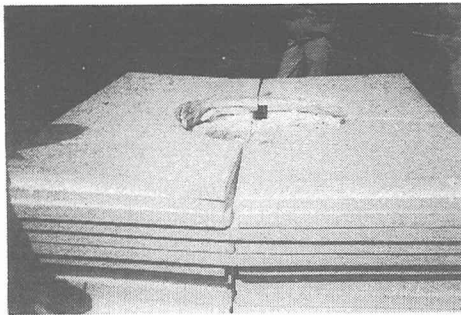
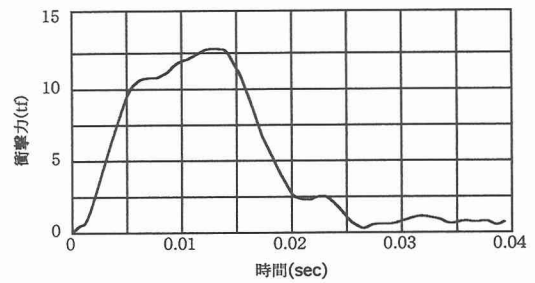
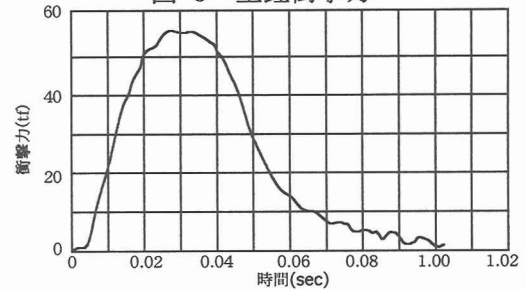


写真4 重錘によって変形したEPS (実験B)



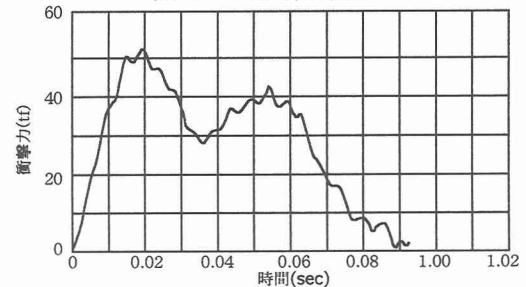
落石条件 $W=0.1tf$, $h=9.0m$, $T=0.2m$

図-5 重錘衝撃力



落石条件 $W=1.0tf$, $h=20.0m$, $T=0.7m$

図-6 重錘衝撃力



落石条件 $W=1.0tf$, $h=30.0m$, $T=1.0m$

図-7 重錘衝撃力

4) 歪みに対する応力が相対的に大きくなり、衝撃力も同様に大きくなるため、小規模な落石防護には適さないと考えられる。ただし、落石規模が比較的小さい場合には敷砂による衝撃力を上回ることがあるので注意する必要がある。

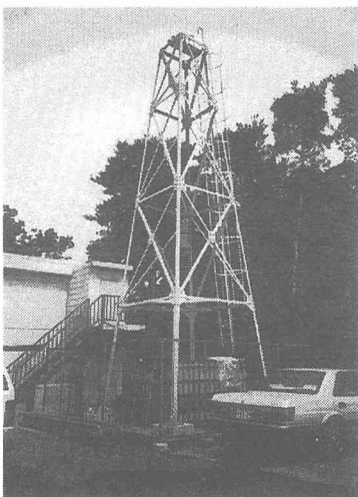


写真1 重錘実験装置 (実験A)

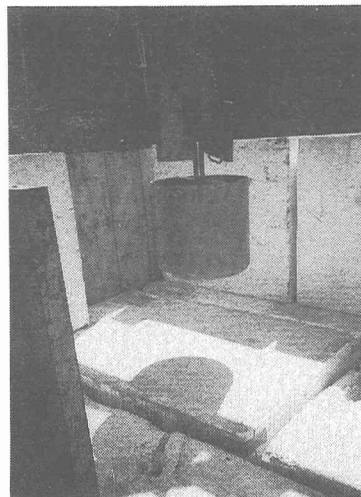


写真2 重錘 (100kgf) と落下装置 (実験A)

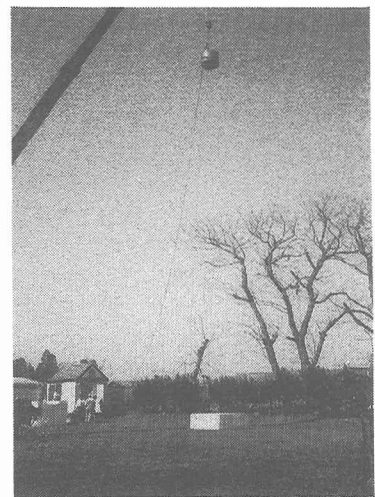


写真3 重錘落下実験B

表-4 重錘落下実験と設計式による衝撃力比較

	重錘	落下高さ	EPS層厚	重錘衝撃力 (tf)	設計式による衝撃力	
					EPS単層	EPS+敷砂
実験A	100kgf	9m	20cm	13.05	11.93	—
実験B	1tf	10m	40cm	46.28	53.67	51.42
		20m	70cm	54.91	52.25	51.48
		30m	100cm	53.91	54.60	53.00

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，'83.7.
- 2) 土木学会：構造物の衝撃挙動と設計法，構造工学シリーズ6，H6.1.
- 3) 土木学会：構造物の衝撃挙動と設計法，一落石覆工の設計法—資料集，H7.4.
- 4) 吉田博・松葉美晴・法貴貫志郎・久保田努：発泡スチロールの落石に対する緩衝効果に関する実験的研究，土木学会論文集，第427号/IV-14

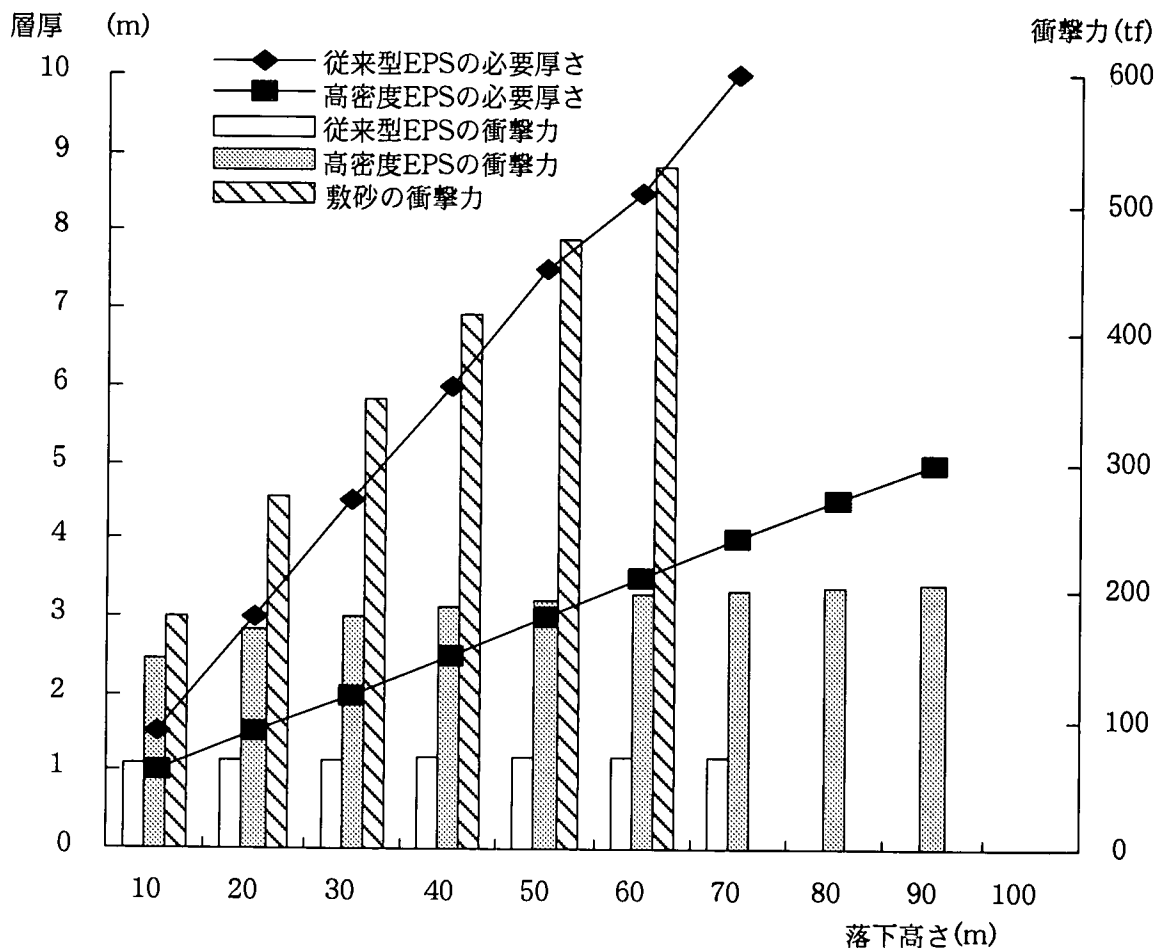


図-8 各緩衝材（単層）の衝撃力と必要厚さ

5. まとめ

これまで用いられてきたEPSの密度を大きくすることによって吸収エネルギーが増大し規模の大きな落石に対応することが可能となった。しかし、吸収エネルギーの増大に伴って、衝撃力も大きくなるため、適用は大規模な落石に限定すべきであろう。