

I - B191

EPSの復元性を考慮した落石衝撃力の算出法

積水化成品工業（株） 大橋 成光
 積水化成品工業（株） 前 育弘
 （有）斜面防災研究所 勘田 益男

1. はじめに

落石の緩衝材として発泡スチロール（EPSと言う）が広く用いられ、落石がEPSへ貫入した場合のEPSの取り替えについて判断基準は一般化されていない。一般的に、EPSは復元性能が大きいため、繰り返し落石に対してある程度対応可能であると考えられる。吉田らの研究によって均一な材質のEPSでは、落石吸収エネルギーが理論的に求められることが確認されているため、EPSの繰り返し圧縮試験より繰り返し落石の衝撃力算定を試みた。

2. EPSの繰り返し圧縮試験

EPS（20kgf/m³）の繰り返し圧縮試験の結果を表1、応力—歪み曲線を図1に示す。EPSは1回目の圧縮に対して2～5回目では85～81%程度の復元率（元の層厚に対する復元後の高さの比）となり、高い値を示す。また、2～5回目の応力—歪み曲線は1回目を下回るものの、差異は小さくほぼ一定している。

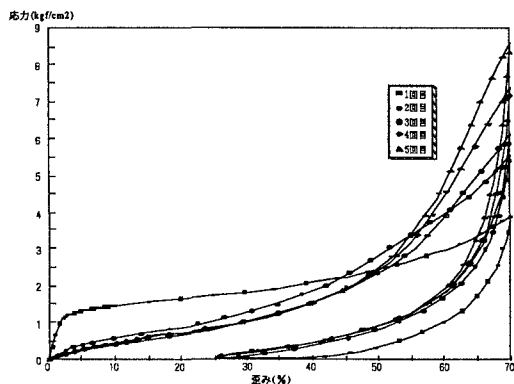


図1 応力・歪み曲線

表1 応力と歪みの値

		応 力 (kgf/cm ²)				
圧縮回数		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
復元率		100%	85%	82%	81%	81%
歪 %	5.0	1.33	0.63	0.58	0.40	0.40
	10.0	1.47	0.83	0.76	0.72	0.71
	15.0	1.58	0.97	0.88	0.85	0.84
	20.0	1.67	1.10	1.00	0.98	0.97
	25.0	1.76	1.26	1.13	1.14	1.11
	30.0	1.86	1.42	1.26	1.30	1.24
	35.0	1.97	1.64	1.48	1.53	1.43
	40.0	2.10	1.86	1.69	1.76	1.62
	45.0	2.26	2.22	2.00	2.09	1.92
	50.0	2.47	2.58	2.30	2.41	2.22
	55.0	2.72	3.23	2.81	3.02	2.74
	60.0	3.04	3.88	3.31	3.62	3.25
	65.0	3.47	4.94	4.31	4.66	4.38
	70.0	4.08	6.00	5.30	5.70	5.50

3. 設計式の提案

EPSを緩衝材とした場合、吉田らの研究報告^{2), 3)}により、以下の衝撃力評価式が一般的に用いられている。

EPSの単位体積重量を $\rho=15\sim20\text{kgf/m}^3$ 、落石は完全球形で単位体積重量 $\rho=2.6\text{tf/m}^3$ 、EPS1層の厚さ $\lambda=0.5\text{m}$ と

して式を求める。ただし、 W (tf) および H (m) は既知とする。また $h>3.33e$ でなければならない。

$$\begin{aligned}
 d_0 &= 0.902W^{1/3}, \quad \bar{e} = d_0/6 & (\text{m}) \\
 P_s &= 7.854(d_0 + 0.577)^2 & (\text{tf}) \\
 P_{60} &= 28.51d_0^2 & (\text{tf}) \\
 P_{100} &= 56.29d_0^2 & (\text{tf})
 \end{aligned}
 \quad (A.1)$$

実設計にあたっては、EPS厚さ h と衝撃力 P を必要とし、未知数が2つとなることから、これらの決定には試行錯誤法によらねばならない。ひずみ70%における衝撃力 P_{70} の近似値 P' を求め、EPSの必要厚さの推定値 h' を求める。得られた衝撃力に対し、 $C_{\max} < 0.7h'$ の条件を満足していることを確認する。

$$P_P = 1.182P_{60} - 0.182P_s \quad (\text{tf})$$

落石, EPS, 復元性, 衝撃力

石川県金沢市高島3丁目196番地 TEL.(0762)92-1740 FAX.(0762)92-1741

$$\left. \begin{aligned} T &> 3.077 / (P + P_s) \cdot WH & (m) \\ P &= (2WH / (0.55T + e) \cdot (P_{60} - P_s) + P_s^2)^{1/2} < P_{70} & (tf) \\ P_{70} &= P_s + (0.65T + e) / (0.55T + e) \cdot (P_{60} - P_s) & (tf) \\ C_{max} &= 2WH / (P + P_s) + 0.05T < 0.7T & (m) \end{aligned} \right\} (A.2)$$

ここに、 W : 落石の重量(tf) P_{70} : EPS70%ひずみに対応する衝撃力(tf)
 H : 落石の落下高さ(m) P_{100} : EPS100%ひずみに対応する衝撃力(tf)
 d_0 : 落石の直径(m) P : 落石の衝撃力(tf)
 e : 落石の凹凸の平均高さ(m) P_p : 落石の衝撃力の推定値(tf)
 P_s : EPS5%ひずみに対応する衝撃力(tf) T : EPSの厚さ(m)
 P_{60} : EPS60%ひずみに対応する衝撃力(tf) C : 落石の最大貫入量(m)

吉田らの式を基に2回目以降の落石に対する設計式を導入する。第1層貫入時の分散直径および最大貫入時の分散直径は落石直径の110%とする。

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_s &= 4tf/m^2, \sigma'_{s0} = 23tf/m^2 \text{ とすれば,} \\ P'_s &= 4 \cdot 1/4 \cdot \pi (d_0 \cdot 1.1)^2 & (tf) \\ &= 3.801 \cdot d_0^2 \\ P'_{s0} &= 23 \cdot 1/4 \cdot \pi (d_0 \cdot 1.1)^2 & (tf) \\ &= 21.858 \cdot d_0^2 \\ P' &= (2WH / (0.45T + e) \cdot (P'_{s0} - P'_s) + P'^2_s)^{1/2} & (tf) \\ C_{max} &= 2WH / (P' + P'_s) + 0.05T < 0.6T & (m) \end{aligned} \right\} (B)$$

ここに、 σ'_s : 2回目落下以降のEPS5%ひずみに対応する応力(tf/m²)
 σ'_{s0} : 2回目落下以降のEPS50%ひずみに対応する応力(tf/m²)
 P'_s : 2回目落下以降のEPS5%ひずみに対応する衝撃力(tf)
 P'_{s0} : 2回目落下以降のEPS50%ひずみに対応する衝撃力(tf)
 P' : 2回目落下以降の落石の衝撃力(tf)
 T : 初期設定したEPS層厚の80%厚さ(m)

4. 設計手法

設計対象となる落石に対して、1回目落下の場合は吉田らの式により必要厚さ・衝撃力・貫入量を求めるが、2回目以降はEPSの吸収エネルギー量が減少するため最小必要厚さより厚く設定する必要がある。

2回目以降の落下の場合は、設定した厚さの80%復元すると考えて、復元式より衝撃力が1回目落下の場合を下回ることを確認する。

以上の点をフローチャートにして図2に示す。

5. あとがき

緩衝材にEPSを用いる場合の繰り返し落石における設計が可能となった。落石覆工の設計については落石1個⁴⁾を対象として考えることが一般的であるが、繰り返し落石の場合も対応可能と考えられる。

また、2回目落下以降の復元率や応力-歪み曲線に差異は小さいため2~5回程度の落下は許容できると考えられる。

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) 吉田・松葉・法貴・久保田：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/-14，'91.3.
- 4) 建設省北陸地方建設局：設計要領〔道路編〕（P473），H7.8

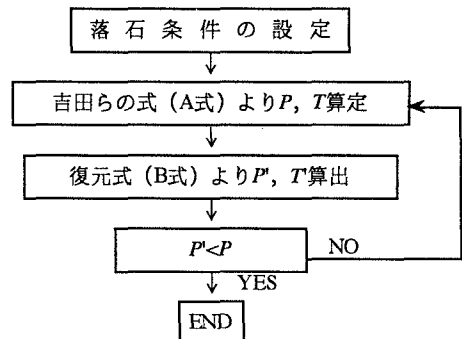


図2 EPS設計のフローチャート