

三層緩衝構造を用いた場合の伝達衝撃力算定法

開発土木研究所 正 員 佐 藤 昌 志

室蘭工業大学 同 岸 徳 光

室蘭工業大学 同 松 岡 健 一

1. はじめに

著者らは落石覆工上における緩衝材として敷砂材より高い緩衝力、分散性を有する三層緩衝構造を開発し、種々の実験的研究を行ってその性能を確認している¹⁾。しかしながら、本緩衝構造を実構造に適用するための設計手法がいまだ確立されていない。本研究では過去の緩衝性能に関する実験結果に基づいて、エネルギー論的観点から伝達衝撃力評価式の定式化を試みた。

2. 伝達衝撃力算定のための基本的な考え方

本論文で対象とする三層緩衝構造は、表層に 50 cm 厚の敷砂、芯材として 20 cm 厚の RC 版、裏層に 50 ~ 75 cm 厚の EPS 材を用いた標準的な構成とし、大きさは 4 m × 4 m とする。基本的な考え方を以下に示す。

- 重錘落下による衝撃力の推定：①表層材厚が 50 cm と比較的薄く、波動伝播の効果が小さいものと考えられることより、RC 版に作用する衝撃力は重錘衝撃力に等しいものと仮定する。②実験結果より、その波形は最大値がラーメ数 $\lambda = 200 \text{ tf/m}^2$ の振動便覧式による結果に近似出来るものとし²⁾、作用時間が 25 msec の正弦半波であると仮定する。
- 裏層 EPS 材に作用する衝撃エネルギーの推定：RC 版上で発生した衝撃力は全て裏層材である EPS 材に伝搬されるものと仮定する。
- 伝達衝撃力の算定：b)で推定した衝撃エネルギーは、全て裏層材である EPS 材の塑性変形によって吸収されるものとする。その時に発生する EPS 材の塑性応力が伝達衝撃応力に等しいものと仮定する。

3. 算定式の定式化

3.1 芯材 RC 版に作用する衝撃力波形の決定

芯材 RC 版に作用する衝撃力波形は、仮定より次式のように示される。

$$P = P_a \sin \frac{\pi}{T} t \quad (1) \quad \begin{array}{ll} T : & \text{衝撃力の作用時間}(=25 \text{ msec}) \\ P_a : & \text{振動便覧式より求めた最大衝撃力} \end{array}$$

3.2 衝突後の合質点(重錘・敷砂・RC 版)の運動エネルギーの決定

重錘の衝突によって、敷砂、RC 版に力積荷重が作用するものと仮定すると、これらの質量が得る速度は力積と運動量の関係より次のように示される。いま、 m ：重錘、敷砂、RC 版の合質量、 W ：重錘、敷砂、RC 版の合重量、 v ：合質量 m が得る速度とすると、

$$v = \frac{1}{m} \int_0^T P dt \quad (2)$$

一方、力積は式(1)より次式のように表される。

$$\int_0^T P dt = \frac{2T}{\pi} P_a \quad (3)$$

従って、合質量 m の得る速度 v は、

$$v = \frac{2T}{m\pi} P_a = \frac{2Tg}{W\pi} P_a \quad (4)$$

となり、全質量 m の運動エネルギー E_w は、次式のように示される。

$$E_w = \frac{mv^2}{2} = \frac{2gT^2}{\pi^2 W} P_a^2 \quad (5)$$

いま、敷砂、RC 版の単位体積重量を実験結果に基づいて、それぞれ 1.6、2.5 tf/m³ とし、重錘重量を W_w とすると、

$$W = W_s + W_c + W_w = (20.8 + W_w) \text{ (tf)} \quad (6)$$

従って、総エネルギー E_w (tfm) は、

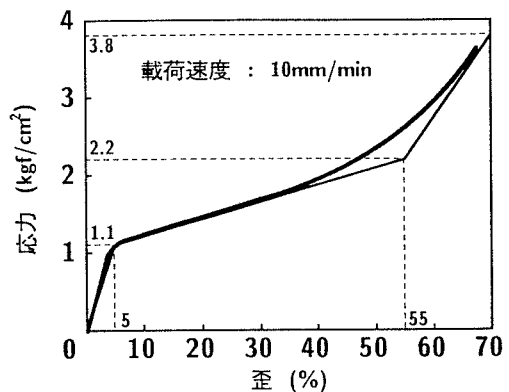


図-1 EPS 材の応力-歪関係

$$E_w = \frac{2 \times 9.8 \times 0.025^2}{\pi^2 (20.8 + W_w)} P_a^2 = \frac{P_a^2}{805.68 (20.8 + W_w)} \quad (\text{tfm}) \quad (7)$$

3.3 EPS 材のエネルギー吸収時の塑性応力（伝達衝撃応力）の算定

本研究では、EPS 材の応力-歪曲線を多折線に近似することとする（図-1 参照）。すなわち、添え数字を EPS 材の歪値（%）として、 $\sigma_s = 11 \text{ tf/m}^2$ （弾性範囲内）、 $\sigma_{ss} = 22 \text{ tf/m}^2$ 、 $\sigma_{70} = 38 \text{ tf/m}^2$ とし、対応する歪をそれぞれ ε_s 、 ε_{ss} 、 ε_{70} とする。なお、十分な緩衝効果と安全余裕度を考えると、EPS 材の歪は 55 % 以内であることが望ましいことより、EPS 材の塑性応力は常に $\sigma < \sigma_{ss}$ であるものと仮定する。この値を衝撃力に換算すると、 $P_t < 22 \times 16 = 352 \text{ tf}$ となる。後の解析のために、EPS 材の全面積を $A (= 4 \times 4 \text{ m}^2)$ 、 $P_s = \sigma_s A = 176 \text{ (tf)}$ 、 $P_{ss} = \sigma_{ss} A = 352 \text{ (tf)}$ として、各歪値に対する衝撃力を示すと、

$$P_t = \frac{\sigma_s}{\varepsilon_s} \varepsilon A = P_s \frac{100\varepsilon}{5} \quad \dots \quad 0 < \varepsilon < 0.05 \quad (8)$$

$$P_t = P_s + \frac{P_{ss} - P_s}{\varepsilon_{ss} - \varepsilon_s} (\varepsilon - \varepsilon_s) = P_s + (P_{ss} - P_s) \left(\frac{100\varepsilon}{50} - \frac{5}{50} \right) \quad \dots \quad 0.05 < \varepsilon < 0.55 \quad (9)$$

いま、図-1 のような応力-歪関係に対して歪エネルギーの総和を求めると、EPS 材厚を $h \text{ (cm)}$ として、

$$E_w = \begin{cases} \frac{\sigma_s}{2} A h & 0 < \varepsilon < 0.05 \\ \left[\frac{\sigma_s \varepsilon_s}{2} + \frac{(\sigma_{ss} + \sigma_s)(\varepsilon - \varepsilon_s)}{2} \right] A h & 0.05 < \varepsilon < 0.55 \end{cases} \quad (10)$$

式 (8) ~ (10) より、 P_t について整理すると、

$$P_t = \begin{cases} \sqrt{\frac{7040 E_w}{h}} & (\text{tf}) \quad 0 < \varepsilon < 0.05 \\ 176 \sqrt{\left(0.9 + \frac{E_w}{44h}\right)} & (\text{tf}) \quad 0.05 < \varepsilon < 0.55 \end{cases} \quad (11)$$

4. 算定値と実験値の比較

図-2 は評価式の妥当性を検討するために、評価式による衝撃力を重錘重量 $W_w = 3 \text{ tf}$ とした場合の実験結果より得られた重錘衝撃力値、伝達衝撃力値と比較して示している。実験に用いられた三層緩衝構造は表層が 50 cm 厚の敷砂、芯材が 20 cm 厚の RC 板とし、裏層 EPS 材の厚さを $h = 50, 75 \text{ cm}$ と変化したものである。図より重錘衝撃力に関する実験結果は両 EPS 材厚に対してほぼ同一である。評価式による衝撃力分布を見ると、落下高さが低い場合には重錘による衝撃エネルギーが小さいため、EPS 材はまだ弾性範囲にある。弾性域の限度となる落下高さは、EPS 材厚 $h = 50 \text{ cm}$ では $H \simeq 14 \text{ m}$ 、 $h = 75 \text{ cm}$ では $H \simeq 20 \text{ m}$ である。EPS 材が塑性状態になる場合には伝達衝撃力はほとんど変化せず、 $H = 40 \text{ m}$ でも 200 tf 前後となる。伝達衝撃力に関して実験値と計算値を比較すると、EPS 厚 $h = 50 \text{ cm}$ の場合には落下高さが $H = 30 \text{ m}$ までは評価式による衝撃力が実験値より大きな値となっている。一方、EPS 厚 $h = 75 \text{ cm}$ の場合には評価式による衝撃力が実験値より大きい、同程度となっている。本実験結果より、衝撃エネルギー、及び芯材 RC 版の局所変形や損傷が大きく、伝達衝撃力が大きくなるような場合（EPS 厚 $h = 50 \text{ cm}$ 、落下高さ $H = 40 \text{ m}$ ）を除き、本評価式は実験結果に対して設計的に安全側の値を与えることが明らかになった。以上より、これまでの実験結果と本評価式を併用することにより、三層緩衝構造の実務設計が可能になるものと考えられる。

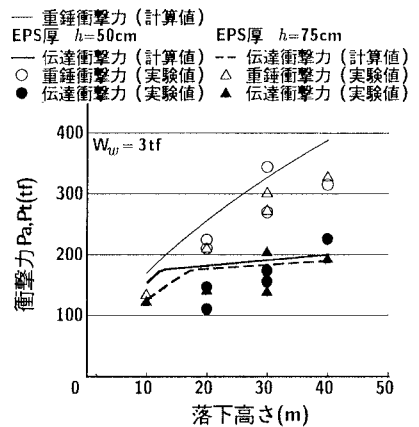


図-2 重錘重量 $W_w = 3 \text{ tf}$ に対する衝撃力

参考文献

- 1) 岸 徳光、中野 修、今野久志、松岡健一：三層緩衝構造の緩衝効果に関する室内実験、構造工学論文集、vol.38A, pp. 1577 ~ 1586, 1992.3
- 2) 中野 修、今野久志、岸 徳光、三上 浩、遠藤 紘：各種緩衝構造を用いた落石覆工の実証実験、第2回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集、pp. 230 ~ 235, 1993.6