

落石緩衝材としての敷砂と碎石の緩衝特性に関する大型重錘落下衝撃载荷実験

寒地土木研究所 正会員 ○山口 悟
 室蘭工業大学大学院 正会員 木幡 行宏
 室蘭工業大学大学院 正会員 小室 雅人

釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光
 寒地土木研究所 正会員 西 弘明
 寒地土木研究所 正会員 今野 久志

1. はじめに

本研究ではロックシェッドの性能照査型設計の確立に向け、頂版部における耐衝撃問題に着目して、緩衝材をとおして頂版部に入力される設計のための伝達衝撃力について検討を行っている。

本論文では、現行設計の敷砂緩衝材と既設ロックシェッド頂版上の礫質土と同様な粒度分布の碎石緩衝材について、大型実験装置を用いた重錘落下衝撃载荷実験により、緩衝材の緩衝特性の把握を行った。

2. 緩衝材の概要

北海道の国道における建設年度の古い既設ロックシェッド頂版上の緩衝材の多くは、現地発生土の礫質土であり非常に強固に締め固まっていることが分かっている¹⁾。このため、礫質土の緩衝材については、図-1に示す既設ロックシェッドの礫質土¹⁾と同様な粒度分布で、当所が共同研究を締結しているスイス連邦工科大学(以後、ETH)²⁾が実験で使用しているものとほぼ同様な粒度分布の碎石(0~30mm級)を用いることとした。敷砂緩衝材については、既往実験と同一産地の砂(細目砂)を用いた。

3. 衝撃実験の概要

写真-1には、重錘による衝撃载荷実験状況を示している。緩衝材は敷砂、碎石ともロックシェッド頂版上と同じ90cmの厚さで設置し、機械(タンピングランマー)により強固に締め固めている(敷砂の2ケース(-S)のみ、従来同様の人力足踏み締め固め)。

衝撃実験は表-1に示す全12ケースを実施した。実験は質量2, 5, 10 tonの鋼製重錘をトラッククレーンにより2.0~31.25mの高さまで吊り上げ、脱着装置により緩衝材の設置されているSRC版中央部に自由落下させることにより行っている。SRC版下面に構造物の設計荷重測定のためのロードセル(図-2)を29個設置し、ロードセルの合計値を伝達衝撃力として計測している。

鋼製重錘の2, 5 ton重錘は直径が1.0 m, 10 ton重

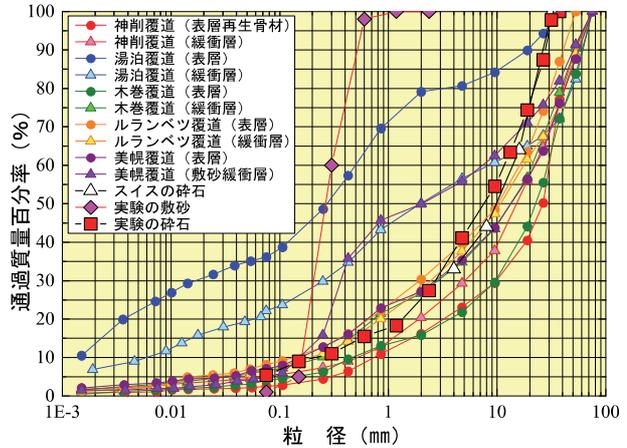


図-1 実験に用いた敷砂と碎石とETH²⁾と原位置の緩衝材の粒度比較図(粒径加積曲線)

表-1 実験ケース一覧

実験ケース	緩衝材	重錘質量 (ton)	落下高さ H(m)	入力エネルギー Ek (kJ)
S-m2-H2	敷砂	2	2.00	39.2
S-m5-H5-S		5	5.00	245.2
S-m5-H5		5	5.00	245.2
S-m10-H10-S		10	10.00	980.7
S-m10-H10		10	10.00	980.7
S-m10-H20		10	20.00	1,961.3
G-m2-H2	碎石	2	2.00	39.2
G-m2-H20		2	20.00	392.3
G-m2-H31.25		2	31.25	613.0
G-m2-H31.25		2	31.25	613.0
G-m5-H5		5	5.00	245.2
G-m5-H5		5	5.00	245.2
G-m10-H10		10	10.00	980.7



写真-1 実験状況 (S-m2-H2)

5,000 (SRC版 5,000 x 5,000 x 522)

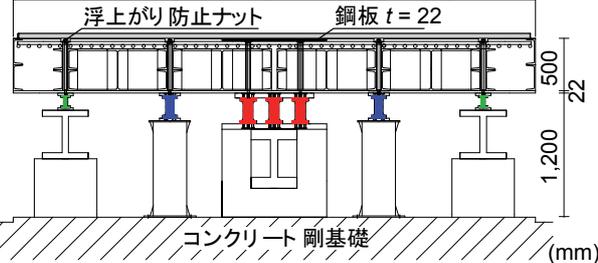


図-2 大型緩衝材実験装置(側面図)

キーワード ロックシェッド, 伝達衝撃力, 性能照査型設計, 重錘落下衝撃载荷実験, 敷砂, 碎石

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 寒地土木研究所寒地構造チーム TEL. 011-841-1698 FAX. 011-841-3502

	$m = 2\text{ t}$	$m = 5\text{ t}$	$m = 10\text{ t}$		$m = 2\text{ t}$	$m = 5\text{ t}$	$m = 10\text{ t}$
敷砂(機械)	●	▲	■	敷砂(人力)	—	▲	■
碎石(機械)	●	▲	■	碎石(機械・重錘傾斜自由落下)	●	—	—

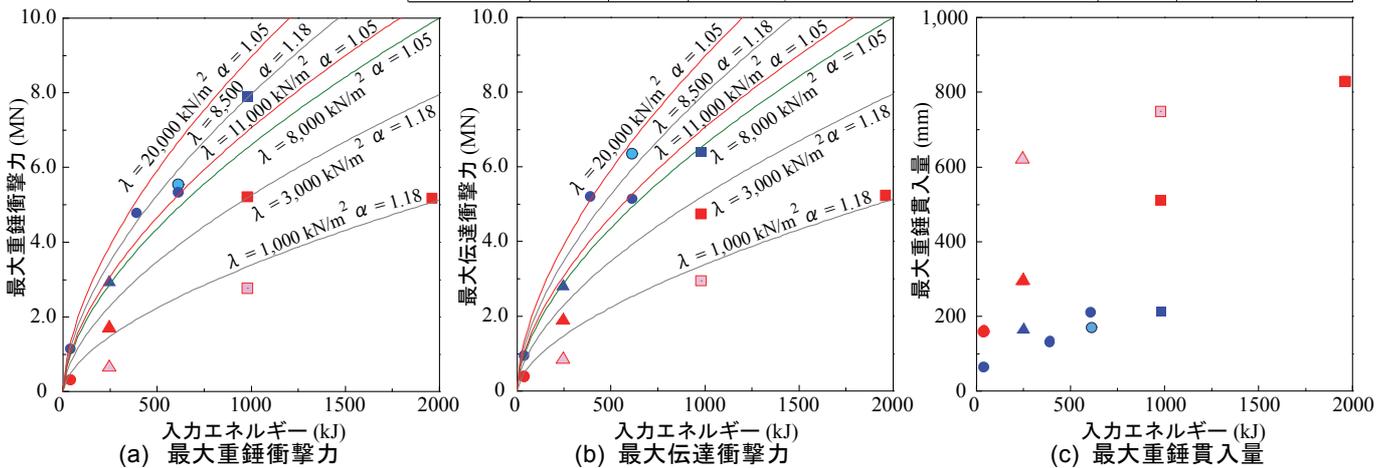


図-3 各種最大値と入力エネルギーの関係

錘は直径が 1.25 m, 底面が半球状となっている. また, 緩衝材は実験の都度, 撤去再設置を行っている.

4. 実験結果 (各種最大値と入力エネルギーの関係)

図-3 には, 各種最大値と入力エネルギーの関係を示している.

図中の曲線は敷砂緩衝材を用いた場合における Hertz の接触理論に基づく振動便覧式³⁾の衝撃力算定式 $P = 2.108 \cdot (m \cdot g)^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H^{3/5} \cdot \alpha$ より, 緩衝材厚と落石直径の比から決定される割り増し係数を考慮して算出した衝撃力 (ラーメの定数: $\lambda = 1,000 \sim 20,000 \text{ kN/m}^2$, 割り増し係数: $\alpha = (D/T)^{1/2} = 1.05 \sim 1.18$, D : 重錘径 1.00 ~ 1.25 m, T : 敷砂厚 90 cm) を示している.

(a) 図より, 敷砂, 碎石緩衝材とも入力エネルギーの増加に伴い, 各重錘衝撃力 (加速度計による重錘衝撃力) の最大値も増加傾向にあり, この傾向は (b) 図においてもほぼ同様である. (c) 図の最大重錘貫入量は最大重錘衝撃力が小さい程, 重錘の貫入量が大きい傾向にあることが分かる.

次に敷砂緩衝材の人力 ($D_c = 89\%$) と機械 ($D_c = 95\%$) による緩衝材の締め固め密度の違いに着目して比較する. (a) (b) 図の曲線 (黒色) と最大重錘衝撃力と最大伝達衝撃力の関係を比較すると, 重錘質量 10 ton ($\alpha = 1.18$) の場合には, $\lambda = 1,000 \text{ kN/m}^2$ の曲線 (黒色最下線) と人力, 入力エネルギー $E_k = 2,000 \text{ kJ}$ の機械の最大衝撃力の値は近似した値を示し, これまでの実験結果³⁾と同様な値を示している. S-m10-H10 の機械により締め固めた敷砂の最大重錘衝撃力は, $\lambda = 3,000 \text{ kN/m}^2$ の曲線と同様な値であり, 大きな衝撃力が発生している

ことが分かる. 以上より, 敷砂緩衝材においては, 締め固め度の違いが, 重錘衝撃力や伝達衝撃力, 重錘貫入量に大きく影響を及ぼすことが分かった.

次に碎石緩衝材 ($D_c = 89\%$) の重錘質量 2 ton の場合には, 衝撃力算定のためのラーメの定数 $\lambda = 20,000 \text{ kN/m}^2$ として計算した曲線 (赤色) と最大重錘衝撃力や (b) 図の伝達衝撃力は, 重錘衝撃力よりも伝達衝撃力の方が大きな値となっていることが分かる. 以上より, 碎石緩衝材を用いた場合の衝撃力を振動便覧式により算定する場合, ラーメの定数を $\lambda = 20,000 \text{ kN/m}^2$ とすれば安全側に評価できる.

5. まとめ

本研究では, 大型緩衝材実験により敷砂緩衝材と碎石緩衝材の緩衝特性の把握を行った. その結果, 以下のことが明らかとなった.

- 1) 敷砂緩衝材においては, 締め固め度の違いが, 重錘衝撃力や伝達衝撃力, 重錘貫入量に大きく影響を及ぼす.
- 2) 碎石緩衝材を用いた場合の衝撃力を振動便覧式により算定する場合, ラーメの定数を $\lambda = 20,000 \text{ kN/m}^2$ とすれば安全側に評価できる.

参考文献

- 1) 山口悟ほか: 既設落石防護覆道上の緩衝材の実態調査について, 第 48 回地盤工学研究発表会, pp.2055-2056, 2013.7.
- 2) Schellenberg, Kristian: On the design of rockfall protection galleries, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, ETH e-collection, 2009.
- 3) (社) 日本道路協会: 落石対策便覧, 2000.6.