

## 実規模落体斜入射実験による敷砂の緩衝効果の発現機構

名古屋工業大学 学生会員 ○磯合凌弥 正会員 前田健一  
 学生会員 峯 祐貴 学生会員 杉山直優  
 (株)構研エンジニアリング 正会員 高橋浩司  
 土木研究所寒地土木研究所 正会員 今野久志

## 1. はじめに

落石対策工の現行設計マニュアルに位置づけられる落石対策便覧<sup>1)</sup>において落石防護土堤（以下、土堤と示す）は道路側方に平坦な余地があり、土堤及び土堤背面にポケットを設置できる場合、施工性、経済性に優れた落石対策工であるとされている。しかし、同便覧において土堤での落石エネルギーの吸収メカニズムに関する記載はなく、土堤の性能設計法は未だ確立されていない。以上の背景から、昨年度に土堤の性能設計法確立に向けた実規模実験<sup>2)</sup>を実施し、ポケットのエネルギー吸収性能が土堤全体の落石捕捉性能に大きく影響を及ぼすことが示された。この結果を踏まえ、本研究ではポケットのエネルギー吸収性能の検証を目的に、ポケットに砂による緩衝層を設置した実規模落体斜入射実験を実施した。本稿では異なる層厚での落体の反発挙動及び緩衝層のエネルギー吸収性能に着目し、検討した。

## 2. 実験概要

図-1 に実験概要図、表-1 に実験ケース一覧を示す。本実験では質量 1.6t、落体径  $D=0.96\text{m}$  の EOTA 型重錘（図-2）を高さ約 30m、勾配約 50 度の斜面から長さ 5m、幅 5m、層厚 1.2m、0.9m、0.6m、0.3m の緩衝層へ斜入射させた。計測項目は落体の緩衝層での反発挙動（図-3）及び衝突痕形状の寸法（図-4）であり、反発挙動は高速度カメラ（500fps）で撮影した。また、PTV 解析により撮影データから落体の重心座標を求め、落体軌跡、速度等を算出した。

## 3. 実験結果と考察

## 3.1 実験結果一覧

表-2 に実験結果一覧を示す。なお、層厚  $T$  は落体径  $D$  で正規化して評価するため、層厚比  $T/D$  として整理した。水平速度比、反発係数、角速度比はそれぞれ緩衝層衝突直前と衝突後の各速度の比であり、

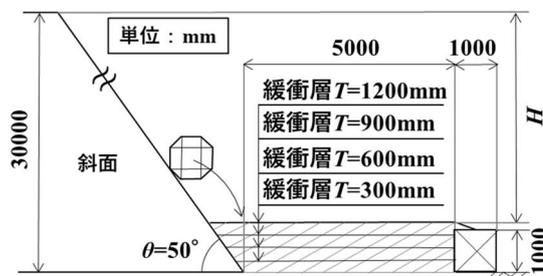


図-1 実験概要図

表-1 実験ケース一覧

No.	落体質量 $M(\text{t})$	緩衝層厚 $T(\text{m})$	落下高さ $H(\text{m})$
1	1.6	1.2	28.8
2		0.9	29.1
3		0.6	29.4
4		0.6	29.4
5		0.3	29.7
6		0.3	29.7

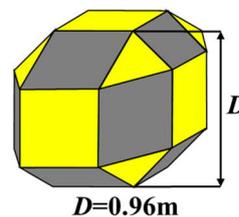


図-2 EOTA 型重錘

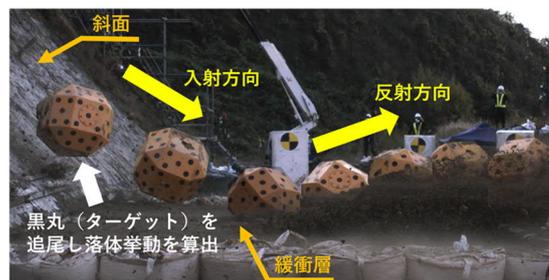


図-3 落体の反発挙動（ケース No.3）

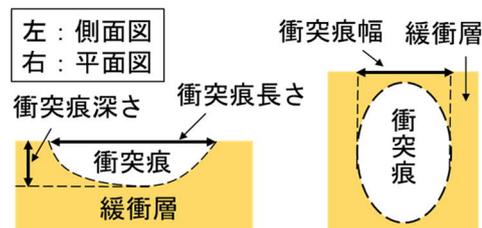


図-4 衝突痕の寸法

表-2 実験結果一覧

No.	層厚比 $T/D$	水平速度比	反発係数	角速度比	衝突痕 深さ (m)	衝突痕 面積 ( $\text{m}^2$ )	エネルギー 吸収率 (%)
1	1.25	0.605	0.203	0.583	0.44	17.3	75.8
2	0.938	0.719	0.279	0.743	0.26	16.4	57.6
3		0.682	0.266	0.687	0.28	14.5	53.5
4	0.625	0.818	0.248	0.668	0.28	10.9	60.1
5		0.820	0.285	0.540	0.23	12.5	53.5
6	0.313	0.966	0.215	0.761	0.20	8.26	49.4

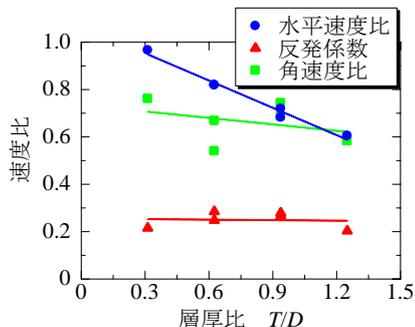


図-5 層厚比と速度比の関係

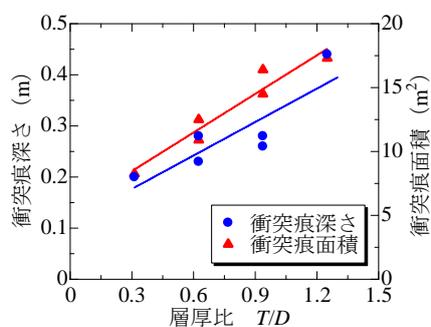


図-6 層厚比と衝突痕寸法の関係

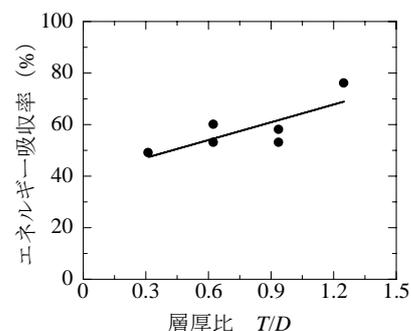


図-7 層厚比とエネルギー吸収率の関係

衝突後の速度は緩衝層衝突後の鉛直速度が上向きに最大となる時刻での速度とした。衝突痕面積は衝突痕長さ、衝突痕幅をそれぞれ長軸、短軸とする楕円の面積として算出した。またエネルギー吸収率は緩衝層衝突による運動エネルギー（線速度エネルギーと回転エネルギーの和）の減少分を緩衝層衝突前の運動エネルギーで除して算出した。

### 3.2 反発挙動の考察

図-5に  $T/D$  と水平速度比、反発係数、角速度比の関係を、図-6に  $T/D$  と衝突痕深さ、衝突痕面積の関係をそれぞれプロットと近似直線で示す。図-5より  $T/D$  が大きくなるほど水平速度比が小さくなること、図-6より  $T/D$  が大きくなるほど衝突痕深さ、衝突痕面積が共に大きくなることから分かる。以上より、 $T/D$  が大きくなるほど衝突時における落体の緩衝層との接触面積が大きくなり、落体に対して摩擦力が及ぼす仕事が大きくなったことで水平速度比が小さくなったと考えられる。角速度比、反発係数も  $T/D$  が大きくなるほど小さくなる傾向にあるが、水平速度比ほど顕著でない。以上より、緩衝層厚の増加により鉛直速度や角速度と比較して水平速度の減衰効果がより大きくなると推察される。

### 3.3 エネルギー吸収率の考察

図-7に  $T/D$  とエネルギー吸収率の関係をプロットと近似直線で示す。図-7より  $T/D$  が大きくなるほどエネルギー吸収率が大きくなることから分かる。これは  $T/D$  が大きくなるほど水平速度比が小さくなることの影響が大きいと考えられる。ここで、落石対策便覧には緩衝層厚を重錘直径以上、つまり、 $T/D$  を1以上としても緩衝効果は小さいとの記載がある。しかし、これは落体衝撃力に関する記載であり、エ

ネルギー吸収率と緩衝層厚の関係に関する記載はない。一方、本実験結果では  $T/D=1.25$  までは緩衝層のエネルギー吸収率が向上した。ゆえに、緩衝層のエネルギー吸収率の向上、すなわち土堤の落石捕捉性能の向上を目的とする場合は、 $T/D$  を1以上とした緩衝層の設計も有効である可能性が示された。今後は施工性や経済性にも優れる合理的な設計方針の確立に向け検討を進める予定である。

## 4. まとめ

本稿ではポケットに砂の緩衝層を設置した実規模落体斜入射実験を行い、反発挙動やエネルギー吸収率を検討した。得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 層厚比  $T/D$  が大きくなるほど水平速度比が小さくなる。これは、 $T/D$  が大きくなるほど衝突時における落体の緩衝層との接触面積が大きくなり、落体に対して摩擦力が及ぼす仕事が大きくなることによる要因として挙げられる。
- 2)  $T/D$  が大きくなるほどエネルギー吸収率は大きくなる。これは、 $T/D$  が大きくなるほど水平速度比が小さくなる影響が大きいと考えられる。
- 3)  $T/D$  を1以上としたケースでもエネルギー吸収率が向上したことから、 $T/D$  を1以上とした緩衝層の設計も有用であると示唆される。

今後は緩衝層の緩衝効果を把握した上で、緩衝層延長上に土堤を設置した実験を行い、落石防護土堤全体での落体捕捉性能を検討する予定である。

### 参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会：落石対策便覧，2017。
- 2) 杉山直優ら：落石防護土堤の性能設計法の確立に向けた重錘衝突実験，第32回中部地盤工学シンポジウム pp.33-40。