実規模落下実験における重錘のエネルギー減衰に関する検討

(株)構研エンジニアリング	〇正会員	阿部和樹	名古屋工業大学	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	名古屋工業大学	正会員	前田健一
(株)構研エンジニアリング	正会員	鈴木健太郎	東電設計(株)	正会員	中瀬 仁

1. はじめに

本研究では,落石挙動を把握する手段として広く 用いられている質点系落石シミュレーションの精度向 上を目的として,実規模実験におけるエネルギー減 衰に着目した各種パラメータの分析整理を行った.

図-1に示すように、落石は落下前の位置エネル ギーを持っている状態から、落下過程の各段階でエ ネルギーの形を変えながら減速し、停止に至る、『落 石対策便覧』ではこれまでの実験結果等を踏まえ、 斜面を落下する際の減衰要素として①等価摩擦係 数(μ)、線運動と回転運動との関係を示す②回転 エネルギー係数(β)が示されている.また、参考とし て③平場に衝突することによるエネルギー減衰につ いての記載がある.本検討では、これに到達距離を 算定する上で必要なパラメータとなる④転がり摩擦 係数を加え、実規模実験結果を分析整理し、『落 石対策便覧』との比較を行うことで検証を行った.

2. 実験概要

実験概要を図-2に、実験条件を表-1に示す.本 実験では、質量 0.25t, 0.49t, 1.00t, 1.60tの重錘 (全て EOTA に準拠した形状)を所定の高さからア スファルト舗装面、コンクリート舗装面、土砂地盤上 へ転落させ、重錘の挙動を高速度カメラ(400fps)で 撮影した. 重錘にはターゲットを貼り付け、撮影画像 を用いた PTV 解析により重錘の挙動を計測した.

3. 検討結果

3.1 等価摩擦係数の算出

重錘が斜面から転落し,被衝突地盤に衝突する直前 のエネルギーから算出した等価摩擦係数を整理した結 果を図-3 に示す. ばらつきはあるものの, 概ね 0.40 以 上の値を持っていることが分かる. 実験に使用した斜面 は軟岩に区分される(写真-1)ため,『落石対策便覧』に よれば区分 B(設計に用いる μ =0.15 程度)に該当する



図-2 実験概要図

表-1 実験条件一覧

非衝突地盤	重錘質量 (t)	落下高さ (m)	
アスファルト	0.25, 0.49	30.8	
	1.00, 1.60	25, 30.8	
コンクリート	1.00, 1.60	25	
土砂	0.25, 0.49, 1.00, 1.60	30.8	



キーワード:エネルギー減衰,等価摩擦係数,落石,重錘落下実験

連絡先:〒065-8510 札幌市東区北 18条東 17丁目 1-1 構研エンジニアリング TEL 011-780-2813 FAX 011-785-1501









と評価できるが、実験結果はより大きな値となった.これ は落下過程において、重錘の斜面への衝突や貫入等 の多様な減衰作用を受けたためであると考えられる.

3.2 回転エネルギー係数の算出

重錘が被衝突地盤に衝突する直前の線速度及び回 転速度から算出した回転エネルギー係数を図-4 に示 す.『落石対策便覧』では,線速度エネルギーの10% 分を回転エネルギーとして見込んでいるが,既往の実 験結果では40%程度まで達する場合もあるとされてい る.本実験結果でも約7割のケースで0.10を上回る結 果が得られた.また,最大値を見ると重錘質量が大きく なるにつれて β も大きくなる傾向が見受けられる(最大 43%).重錘が大きくなると慣性モーメントも増大するた め,到達距離にも影響を及ぼすことが想定される.

3.3 衝突によるエネルギー減衰

被衝突地盤への衝突直前と衝突直後の全運動エネル ギーの割合を図-5 に示す.この数字が小さければ、より 減衰効果が高いこととなる.『落石対策便覧』では、平場 に衝突した後のエネルギーを 0.45 倍とできる事例が紹 介されている.本実験では最大でも 0.48 であり、全体の 9 割以上のケースで 0.45 を下回る数値が得られており、 地盤衝突時に高い減衰作用があったものと想定される.

被衝突地盤の違いでは,特にアスファルトにおける減 衰率にばらつきが目立つが,これは重錘の衝突のしか



図-5 衝突前後でのエネルギー減衰率の算出結果

表-2 転がり摩擦係数の算出結果

落石質量 (t)	0.25	0.49	1.00	1.60			
転がり摩擦係数	0.098	0.156	0.115	0.090			
			0.117	0.112			

たによって地盤面が陥没やひび割れ等の複数の変 形・破壊のパターンをとったことがエネルギー吸収量の 変化に繋がったためであると考えられる. コンクリートで は表面の損傷のみの単一パターンであったこと, 逆に 土砂は変形を許容しやすいことが要因となり, それぞ ればらつきが抑えられていると考えることができる.

3.4 転がり摩擦係数の算出

重錘が線運動に移行した後の速度の傾きを計測 できた全6ケースについて,転がり摩擦係数を算出し た結果を表-2に示す.線運動はいずれも土砂地盤 上である.重錘質量との相関は見られず,転がり摩擦 係数は0.09~0.15程度の範囲にあると考えられる.

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる.

- ・落石エネルギーを精度良く算出するためには、落 体の斜面への貫入や斜面の変形等の減衰効果を 評価した上で反映させる必要がある。
- ・今回の実験ではβが0.1を上回るケースが多く, 斜面条件によっては,全運動エネルギーに占める 回転エネルギーの割合は無視できないものとなる.
- ・重錘は平場に衝突することで、衝突地盤の種類に関わらず、少なくとも45%程度までエネルギーが減衰する.
- ・EOTA に準拠した形状の重錘が土砂地盤上を転 がる場合,転がり摩擦係数は1.0×10⁻¹程度となる ことが示唆された. 今後,これを落石シミュレーショ ンに加味することで,精度の向上が期待できる.

謝辞

本研究を行うにあたり,実験場の提供及び実験実施に 向けての助言等,株式会社ライテク,富山鉱山株式会社の 皆さまに多大なるご支援を戴いた.ここに記し謝意を表す.