

落下方法および被衝突面の違いによる落体の反発挙動の関係性

(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 学生会員 杉山 直優
 (株)構研エンジニアリング 正会員 鈴木健太郎 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 フェロー 川瀬 良司 東電設計(株) 正会員 中瀬 仁

1. はじめに

本研究では、落石シミュレーションの精度向上を最終目的として落体の反発挙動に関する実験的検討を行った。反発挙動は落下方法や被衝突面の状態に影響を受ける。本稿では、落石を模擬した重錘による鉛直落下実験および実際の道路への落石を想定した斜面転落実験を行い、落体の落下方法の違いによる反発挙動に関する実験的検討を行った。

2. 実験概要

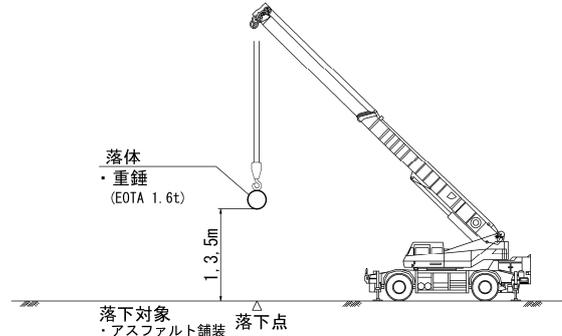
図1に実験概要を示す。鉛直落下実験では、質量0.11t, 0.30t, 0.89t, 1.0t, 1.6t (EOTA形状), 2.0t, 3.0tの重錘を所定の高さから被衝突面に鉛直落下させ、重錘質量、被衝突面の違いが反発挙動に及ぼす影響を検討した。斜面転落実験では、質量0.25t, 0.49t, 1.0t, 1.6t (全てEOTA形状)の重錘を所定の高さの斜面から被衝突面へ転落させ、重錘質量、衝突面の違いが反発挙動に及ぼす影響を検討した。

被衝突面はアスファルト、コンクリート、土砂の3タイプとした。表1に実験ケース一覧を示す。

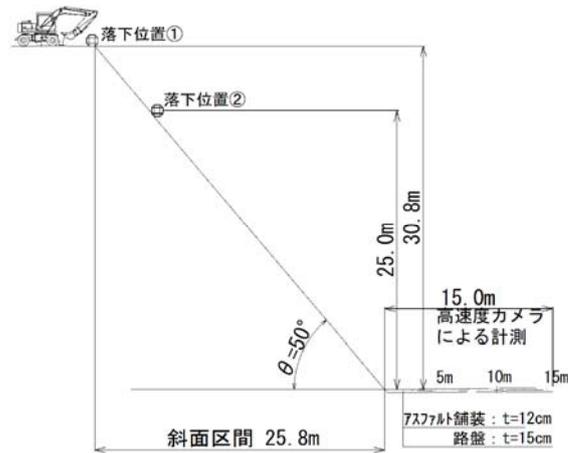
3. 実験結果と考察

3.1 被衝突面の違いが反発係数に及ぼす影響

図2に各被衝突面での重錘質量と反発係数の関係を示す。アスファルトおよびコンクリートは $R^2=0.4284\sim0.8785$ と相関関係が認められる。いずれも落下方法によらず重錘質量が大きいほど反発係数は小さい傾向を示す。これは重錘質量が大きくなると被衝突面の損傷の程度も大きくなり、エネルギー消費量も増加するためと考えられる。一方、土砂は反発係数が斜面転落実験 $e=0.29\sim0.44$ 、鉛直落下実験 $e=0.06\sim0.11$ と落下方法毎のばらつきは少ないが、この傾向は成立しない。重錘衝突時の土砂への貫入によりエネルギー消費されるが、一方で被衝突面の土砂が締固まり硬くなる。この際重錘質量が重いほど土砂が締固まり硬くなるため、アスファルトやコンクリートとは異なる傾向を示すものと考えられる。



1) 鉛直落下実験



2) 斜面転落実験

図1 実験概要図

表1 実験ケース一覧

ケース名	落下方法	被衝突面	落下高さ (m)	重錘タイプ	重錘質量 (t)		
F-S0.11-H1-A01,F-S0.11-H3-A01,F-S0.11-H5-A01	鉛直落下	アスファルト	1.3.5	鋼製	0.11		
F-S0.30-H1-A01,F-S0.30-H3-A01,F-S0.30-H5-A01				鋼製	0.30		
F-S1.00-H1-A01,F-S1.00-H3-A01,F-S1.00-H5-A01				鋼製	1.00		
F-E1.00-H1-A01,F-E1.00-H3-A01,F-E1.00-H5-A01				EOTA	1.60		
F-S2.00-H1-A01,F-S2.00-H3-A01,F-S2.00-H5-A01				鋼製	2.00		
F-S3.00-H1-A01,F-S3.00-H3-A01,F-S3.00-H5-A01				鋼製	3.00		
F-S0.11-H1-C01,F-S0.11-H3-C01,F-S0.11-H5-C01		コンクリート	1.3.5	鋼製	0.11		
F-S0.30-H1-C01,F-S0.30-H3-C01,F-S0.30-H5-C01				鋼製	0.30		
F-S0.89-H1-C01,F-S0.89-H3-C01,F-S0.89-H5-C01				鋼製	0.89		
F-S2.00-H1-S01,F-C2.00-H3-C01,F-S2.00-H5-C01				鋼製	2.00		
F-S0.11-H1-S01				土砂	1	鋼製	0.11
F-S0.11-H1-S01						鋼製	0.89
S-E0.49-H30-A01	斜面転落	アスファルト	30.8	EOTA	0.49		
S-E1.0-H25-A01,S-E1.0-H30-A01				EOTA	1.00		
S-E1.6-H25-A01,S-E1.6-H30-A01				EOTA	1.60		
S-E1.0-H25-A01			コンクリート	25	EOTA	1.00	
S-E1.6-H25-A01					EOTA	1.60	
S-E0.25-H30-S01					土砂	30.8	EOTA
S-E0.49-H30-S01		EOTA	0.49				
S-E1.0-H30-S01		EOTA	1.00				
S-E1.6-H30-S01		EOTA	1.60				

※実験ケース名末尾の数字は実験回数に対応

キーワード: 衝撃, 反発係数, 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

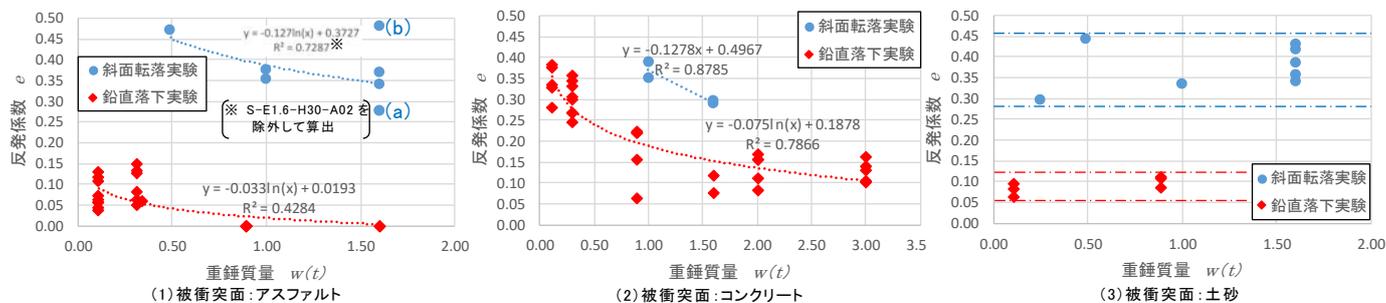


図2 重錘質量と反発係数

3.2 落下方法が反発係数に及ぼす影響

表2に落体挙動計測結果を示す。鉛直落下実験では、衝突直後に上向きの速度が確認されているが地表面からの跳躍高が0で反発係数も $e=0.054\sim 0.098$ とばらつきが少なく小さな値となっている。一方、斜面転落実験では、反発係数は $e=0.276\sim 0.480$ とばらつきが大きく、鉛直落下実験に比べ値も大きくなっている。中でも S-E1.6-H30-A02 の反発係数は $e=0.480$ と特に大きな値を示している。図3に衝突時の比較画像を示す。S-E1.6-H30-A01 はアスファルトとの接触面積が右図よりも小さいことで外力が局所化し、アスファルトの変形・破壊にエネルギーを消費したと考えられる。S-E1.6-H30-A02 は画像からわかるように、平らな面で衝突したことで外力が分散され、アスファルトのひび割れや局所破壊が発生しなかったと考えられる。その結果、アスファルトの損傷にエネルギーが消費されず、反発係数が大きくなり、エネルギー消費率が小さくなったと考えられる。このことから斜面転落実験における反発挙動は、衝突時の重錘姿勢に影響を受けるものと考えられる。

表2 落体挙動計測結果一覧表(抜粋)

ケース名	方法	質量 (t)	落下高さ (m)	衝突直前鉛直速度 (m/s)	衝突直後鉛直速度 (m/s)	反発係数 (鉛直速度比)	最大跳躍高 (m)	エネルギー消費率
F-E1.6-H1.0-A01	鉛直落下	1.6	1.0	-4.20	0.41	0.098	0.000	0.990
F-E1.6-H3.0-A01			3.0	-7.61	0.41	0.054	0.000	0.997
F-E1.6-H5.0-A01			5.0	-10.00	0.73	0.073	0.000	0.995
S-E1.6-H30-A01	斜面転落	1.6	30.8	-12.42	4.22	0.340	1.383	0.687
S-E1.6-H30-A02				-12.95	6.21	0.480	2.116	0.576
S-E1.6-H30-A04				-13.41	4.97	0.370	1.522	0.629
S-E1.6-H25-A01				-12.45	3.45	0.277	1.266	0.737
S-E1.6-H25-A03		25	-12.49	3.45	0.276	1.152	0.808	

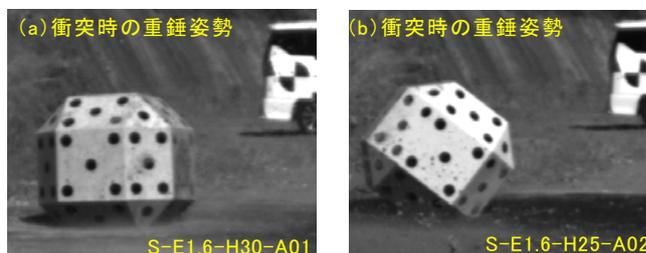


図3 衝突画像(斜面転落,アスファルト,1.6t)

また、F-E1.6-H5.0-A01 は衝突直前鉛直速度が 10.00m/s 斜面転落実験と大きく変わらないのに対し、衝突後鉛直速度、反発係数、最大跳躍高が大きく異なっている。図4に S-E1.6-H30-A01 の落体速度に関する時刻歴波形を示す。被衝突面に接触後、水平で速度および角速度が概ね半減しているものの、その後は一定速度で移動している。これは回転および水平移動を伴う場合、衝突直後から鉛直方向速度は減衰するが、回転と水平方向速度は大きく減衰せず、衝突痕を駆け上がる形で、鉛直方向速度に移行し、見かけの反発が生じたものと考えられる。

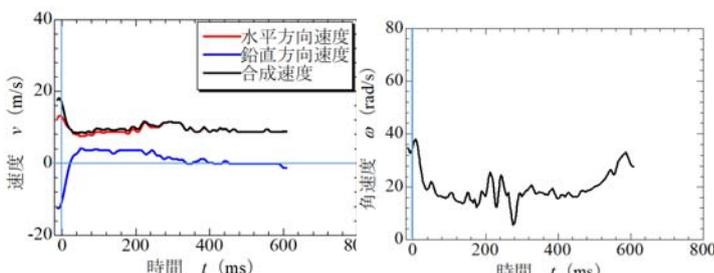


図4 落体速度に関する時刻歴(S-E1.6-H30-A01)

落下方法によらず重錘質量が大きいほど反発係数は小さい傾向を示す。

- 2)被衝突面が土砂の場合、重いほど跳ねない傾向は成り立たない。また、落下方法により反発係数は異なるがばらつきが少ない。
- 3) 斜面転落実験における反発挙動は、衝突時の重錘姿勢に影響を受けるものと考えられる。
- 4)衝突速度が同程度の場合においても被衝突面への入射角やその際回転が伴うかどうかで反発挙動は大きく異なる。

謝辞：

本研究にあたり、実験場の提供、実験実施に向けての助言等、国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所、(株)ライテック、富山鉱山(株)の皆さまに多大なるご支援を戴いた。ここに記して謝意を表す。

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- 1)被衝突面がアスファルト、コンクリートの場合、