

## 実規模斜入射実験による衝突体一被衝突体の特性と反発挙動

名古屋工業大学 学生会員 ○杉山 直優 正会員 前田 健一  
 学生会員 松尾 和茂 学生会員 峯 祐貴  
 (株) 構研エンジニアリング 正会員 牛渡 裕二  
 東電設計 (株) 正会員 中瀬 仁

## 1. はじめに

わが国では落石挙動の把握手段として落石シミュレーションが広く用いられている。しかし、巨石の反発挙動は未解明な点が多く、重要パラメータとなる反発係数も明らかになっていない<sup>1)</sup>。そこで本稿では巨石の反発挙動解明を目的に巨石を模した重錘による実規模斜入射実験を行い、反発挙動を検証した。

## 2. 実験概要

実験概要図を図-1に、実験条件一覧を表-1に示す。本実験では0.49t、1.0t、1.6tのEOTA型重錘(図-2に重錘の仕様を示す)を所定の高さの実斜面からアスファルト舗装、コンクリート舗装に落下させた。重錘が落下する様子を高速カメラ(400fps)で撮影し、PTV解析により反発挙動を計測した。また、重錘の到達距離を手計測により求めた。

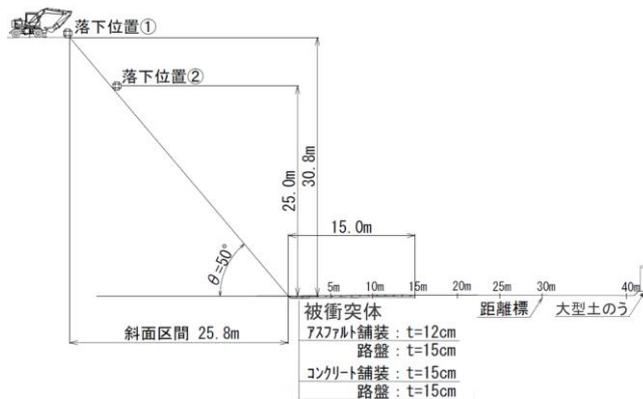
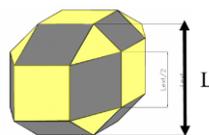


図-1 実験概要図



質量 (t)	単位体積質量 (kg/m <sup>3</sup> )	L: 1辺の長さ (m)	球形換算時直径 (m)
0.49	2.513	0.650	0.720
1.0	2.381	0.840	0.930
1.6	2.552	0.960	1.062

図-2 重錘寸法

## 3. 実験結果および考察

## 3.1 実験結果

実験結果一覧を表-2に示す。ケース No.のAはアスファルト、Cはコンクリートを表している。反発係数は被衝突体への衝突前後の鉛直速度の比から、エネルギー減衰率は被衝突体への衝突前後の全運動エネルギー(線速度エネルギーと回転エネルギーの和)の比から算出した。また、到達距離について、大型土のうに衝突したケースは「大型土のうまで」、途中で停止した場合は「途中まで」と記載している。

## 3.2 重錘質量と反発係数の関係

図-3に重錘質量と反発係数の関係を示す。図-3より、アスファルト、コンクリートともに質量が大きいくほど反発係数は小さくなる傾向にあることがわかる。その理由として質量(外力)が大きいくほど被衝突体に与えるエネルギーが大きいく、被衝突体の変形や破壊にエネルギーを消費するためだと考えられる。ここで、アスファルト・重錘質量1.6tの反

表-1 実験条件一覧

被衝突体	落下高さ (m)	重錘質量 (t)
アスファルト	30.8, 25.0	1.6
	30.8, 25.0	1.0
	30.8	0.49
コンクリート	25.0	1.6
	25.0	1.00

表-2 実験結果一覧

ケース No.	被衝突体	落下高さ (m)	重錘質量 (t)	反発係数	エネルギー減衰率	到達距離(m)
A-01	アスファルト	30.8	1.6	0.340	0.687	39.9 大型土のうまで
A-02		30.8	1.6	0.480	0.576	41.1 大型土のうまで
A-03		30.8	1.6	0.370	0.629	39.9 大型土のうまで
A-04		25.0	1.6	0.277	0.737	32.1 途中まで
A-05		25.0	1.6	0.276	0.808	26.5 途中まで
A-06		25.0	1.0	0.352	0.674	40.0 大型土のうまで
A-07		30.8	1.0	0.375	0.520	40.3 大型土のうまで
A-08		30.8	0.49	0.471	0.609	40.2 大型土のうまで
C-01	コンクリート	25.0	1.6	0.294	0.647	40.6 大型土のうまで
C-02		25.0	1.6	0.290	0.698	40.4 大型土のうまで
C-03		25.0	1.0	0.349	0.776	32.7 途中まで
C-04		25.0	1.0	0.389	0.726	33.6 途中まで

キーワード 反発係数, 衝突痕, エネルギー減衰率, 到達距離

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 16号館 227号室 TEL 052-735-5497

発係数に着目すると0.276から0.480と広い範囲の値をとっていることがわかる。A-02, A-05の衝突時の重錘姿勢および衝突痕の画像をそれぞれ示した図-4, 図-5から、反発係数が0.480と最も大きいA-02はアスファルトの貫入はみられるものの、ひび割れは生じていない。一方で、反発係数が0.276と最も小さいA-05はアスファルトがひび割れている様子が観察される。このことから、A-02では重錘の平らな面で衝突したことにより外力が分散され、アスファルトが破壊せず、貫入のみにとどまったことで反発係数が大きくなったと考えられる。一方、A-05では重錘の角で衝突したことにより外力がアスファルトの狭い範囲に集中し、ひび割れが生じたことで反発係数が小さくなったと考えられる。

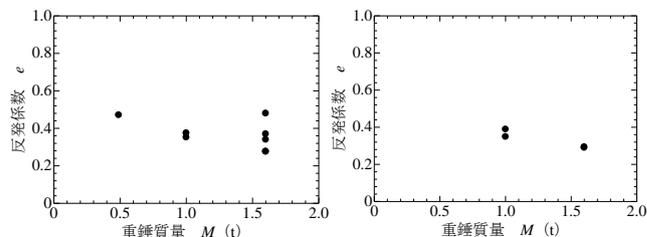
### 3.3 最終到達距離に関する考察

表-2より、被衝突体がアスファルトの場合は、1.6tの2ケースを除いたすべての質量で重錘が大型土のうまで達する結果となった。途中で停止した2ケースについては、エネルギー減衰率が0.737, 0.808と大型土のうまで到達したケースよりも大きな値をとったために大型土のうまで到達しなかったと考えられる。また、この2ケースでエネルギー減衰率が大きくなった理由は3.2で述べたように、衝突によるアスファルト舗装の破壊に多くのエネルギーを消費したためであると考えられる。

被衝突体がコンクリートの場合、1.6tでは重錘は大型土のうまで達したが、1.0tでは途中で停止する結果となった。エネルギー減衰率に着目すると、1.6tは0.647~0.698, 1.0tは0.726~0.776となっており、アスファルトと同様、途中で停止した1.0tのケースの方が衝突によるエネルギー減衰率が大きい結果となった。ここで、図-7に示すC-01とC-03の衝突痕画像より、1.0t, 1.6tともに衝突時にコンクリート表面が削られ、同規模で破壊している様子がわかる。このことから、コンクリート表面の破壊に要するエネルギーは重錘質量によらず同程度であることより、衝突前の運動エネルギーが小さい1.0tの方が衝突によるエネルギー減衰率が1.6tを上回ったと推定される。

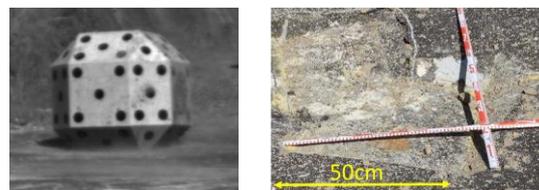
## 4. まとめ

本項では巨石の反発挙動解明を目的に重錘による実規模斜入射実験を行い、反発挙動を検証した。得られた知見を以下にまとめる。



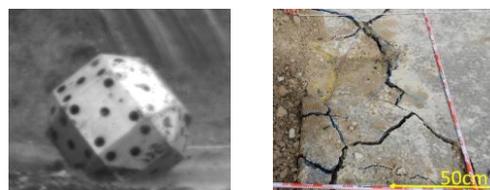
(a) アスファルト (b) コンクリート

図-3 重錘質量と反発係数の関係



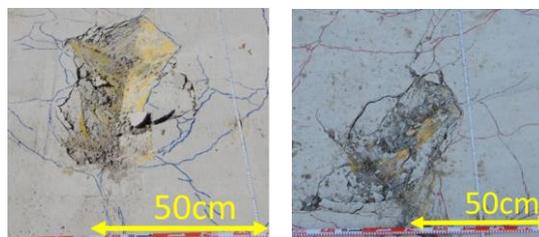
(a) 衝突時重錘姿勢 (b) 衝突痕

図-4 衝突画像 (A-02)



(a) 衝突時重錘姿勢 (b) 衝突痕

図-5 衝突画像 (ケース A-01)



(a) C-01 (1.6t) (b) C-03 (1.0t)

図-7 衝突痕画像 (コンクリート)

- 1) 重錘質量が大きいほど衝突時に被衝突体の変形や破壊にエネルギーを消費し、反発係数が小さくなると考えられる。また、同じ質量であっても衝突時の重錘姿勢の違いにより被衝突体の損傷度合いが変化することで反発係数はばらつく。
- 2) エネルギー減衰率が大きいほど重錘到達距離は短くなる。また、衝突により被衝突体を同規模で破壊する場合、破壊に要するエネルギーが質量によらず同程度であることで質量が軽いほどエネルギー減衰率が大きくなることが示唆された。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，2017.12