

実規模斜入射実験による異なる落体・衝突面の反発挙動

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 非会員 阿部和樹

1. はじめに

我が国の落石対策検討時の参考文献として落石対策便覧が広く用いられているが、比較的小規模な落石が収録対象となっている。一方、本便覧の収録範囲を超える規模の落石災害も多発しており、安全かつ最適な落石対策の検討には大規模な落石の運動形態の把握も必要となる。特に道路利用者や落石対策施設への影響が大きい大規模な落石を対象とする場合には落石シミュレーションを用いた落石挙動の把握が有益な手法となるが、反発係数など解析に必要な重要なパラメータには未解明な点が多い。

そこで本稿では、大規模落石を模した重錘を用いた実規模斜入射実験を実施し、落下対象が異なる際の反発挙動に着目し検討した。

2. 実験概要

図-1 に実験状況概要図 (断面図)、表-1 に実験ケース一覧を示す。実験は大規模落石を想定した EOTA1.0t, 1.6t 重錘 (図-2 に重錘の仕様を示す) を所定の高さから転落させ、アスファルト舗装面、コンクリート舗装面、表土へ斜入射させた。所定落下対象へ重錘が入射し反発する様子を高速度カメラ (400fps) で撮影し、PTV 解析により重錘速度、軌跡等を算出した。図-3 に重錘落下状況を示す。

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。反発係数 e は衝突前後の鉛直速度の比をとり、エネルギー減衰率は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) の比をとることで算出した。

3.2 重錘の軌跡

図-4 に衝突から最大跳躍時までの重錘重心の軌跡図を示す。なお、水平方向位置は重錘進行方向を、鉛直方向位置は鉛直上向きを正とし、衝突位置を原点として軌跡を算出している。

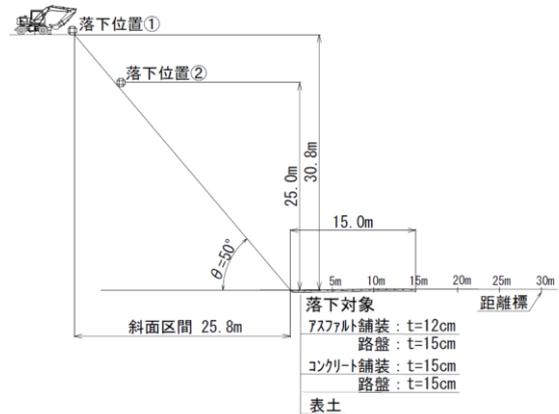


図-1 実験状況概要図 (断面図)

表-1 実験ケース一覧

No.	重錘質量 (t)	落下対象	落下位置
1	1.0	アスファルト	①
2	1.6		
3	1.0	コンクリート	②
4	1.6		
5	1.0	表土	①
6	1.6		

重錘質量 (t)	体積 (m ³)	単位体積重量 (kg/m ³)	一辺の長さ (m)
1.0	0.420	23.3	0.840
1.6	0.627	25.0	0.960

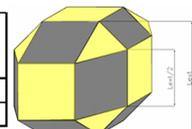


図-2 重錘の仕様



図-3 重錘落下状況 (実験ケース No.2)

表-2 実験結果一覧

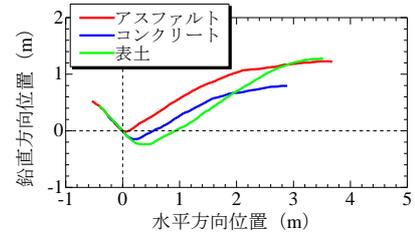
No.	重錘質量 (t)	落下対象	落下高さ (m)	反発係数 (鉛直速度比)	最大跳躍高 (m)	エネルギー減衰率
1	1.0	アスファルト	30.8	0.375	1.227	0.687
2	1.6			0.274	0.963	0.702
3	1.0	コンクリート	25.0	0.250	0.794	0.771
4	1.6			0.300	0.973	0.703
5	1.0	表土	30.8	0.250	1.274	0.784
6	1.6			0.250	0.928	0.807

図-4 から、衝突時にはいずれのケースも鉛直方向位置が負になっており、重錘が落下対象に貫入していることがわかる。貫入量は 1.0t, 1.6t とともに表土、コンクリート、アスファルトの順に大きく、表土では 1.0t, 1.6t とともに衝突後、水平方向位置 1m 付近まで鉛直方向位置が負であり、他の落下対象と比べ貫入範囲が大きいことがわかる。

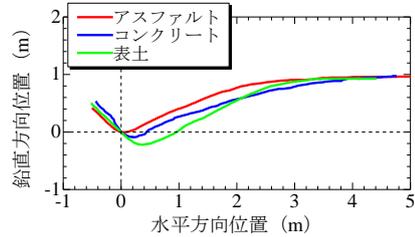
また、最大跳躍高は 1.0t では表土、アスファルト、コンクリートの順に大きく、1.6t ではどの材料もほとんど同じ値（およそ 0.9m）をとっており、コンクリートを除いて 1.0t の方が 1.6t よりも最大跳躍高が大きくなっている。さらに、最大跳躍高をとる時の水平方向位置はいずれの落下対象においても 1.6t の方が大きくなっていることがわかる。

3.3 重錘質量と反発係数に関する考察

図-5 に重錘質量と反発係数の関係を表したグラフを示す。表-2 と図-5 から、反発係数は 1.0t では 0.250 から 0.375 となっており、1.6t では約 0.260 となっている。また、落下対象ごとに比較するとアスファルトでは重錘質量が大きくなると反発係数は小さくなり、コンクリートでは重錘質量が大きくなると反発係数は大きくなり、表土では重錘質量が大きくなっても反発係数は同じ値となっている。鉛直落下時の重錘反発挙動の検討を行った既往の研究²⁾では、重錘質量が大きくなるほど反発係数は小さくなる傾向にあるとされているが、本実験では落下対象がコンクリートの場合、重錘質量 1.0t の方が 1.6t と比べ反発係数は小さくなっており、既往の研究結果と合っていない。これは、落下対象への当たり方や落下対象の損傷度合いの違いにより反発係数がばらついたことが原因だと考えられる。また、表-2 からコンクリートのケースのみ 1.0t は 1.6t よりもエネルギー減衰率が大きくなっており、他の落下対象と異なる傾向を示している。これは、コンクリートでは損傷により消費するエネルギーが他の落下対象よりも大きいことで衝突前の運動エネルギーが大きい 1.6t の方が衝突後のエネルギーが大きくなり、反発係数が大きくなったと考えられる。以上のことから、斜入射では重錘質量が大きくなるほど反発係数が小さくなる傾向が成立しないこともあり得る。また、表土の場合 1.0t, 1.6t とともに反発係数は同じ値であるが、既往の研究²⁾においても表土のケースで



(a) 重錘質量 1.0t



(b) 重錘質量 1.6t

図-4 重錘軌跡図

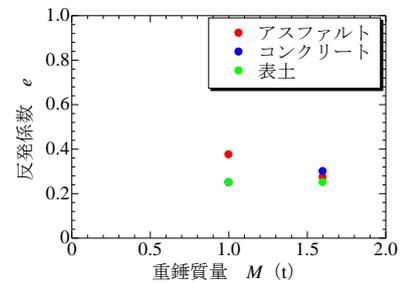


図-5 重錘質量と反発係数の関係

は重錘質量が大きくなるほど反発係数が小さくなる傾向は成立していないため、妥当な結果といえる。

4. まとめ

本稿では実規模斜入射実験を実施し、落下対象が異なる際の反発挙動の違いに着目し検討した。得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 重錘の落下対象への衝突時には落下対象へ貫入し、貫入量は表土のケースが最も大きい。また、最大跳躍時の水平方向位置は 1.0t 重錘よりも 1.6t 重錘の方が大きくなる傾向にある。
- 2) 斜入射では当たり方や落下対象の損傷度合いの違いによりエネルギー減衰率や反発係数がばらつき、重錘質量が大きいほど反発係数が小さくなる傾向は成立しないこともあり得る。

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) 松尾和茂ら：落石の外力が反発係数に及ぼす影響，平成 30 年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会，A-32，2019。