

落体の反発挙動に関する実験的検討

(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 堀 耕輔
 (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 学生会員 松尾 和茂
 (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

落石問題を検討するにあたり、落石の挙動把握は重要なポイントとなるが、落石対策便覧収録範囲外の扱いについては課題が残る。この解決策として近年精度が向上している落石シミュレーションの採用が挙げられるが、より信頼性を高めるためには反発係数などのインプットデータの整理が必要となる。

本研究では、個別要素法等による落石シミュレーションの精度向上を最終目的として、落体の反発挙動に着目し、落石に見立てた重錘落下実験を行った。

落下対象は、特に道路際での跳躍が最も道路利用者の安全性に影響があるものと考え、一般的なアスファルト舗装面を対象として実験を実施した。

2. 実験概要

表-1 に実験ケースを、写真-1 には実験状況を示す。

実験は鋼製またはコンクリート製の重錘をアスファルト舗装面またはコンクリート面に自由落下させることにより実施した。実験時には、衝突時における反発挙動を高速度カメラ(400fps)で撮影し、速度を算出している。反発係数については、重錘の落下面への衝突直前・直後の速度比により算出している。

実験は北海道江別市にある国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所の角山実験場内にて行った。落下対象であるアスファルト舗装の厚さは 6 cm 程度であり、その直下は砂礫主体の盛土地盤となっている。簡易動的コーン貫入試験結果は、表層 1 m までは $N_d = 10 \sim 30$ (N 値換算: $N=5 \sim 10$) 程度であった。また、コンクリート部の厚さは 1m 程度で、それ以上はアスファルト舗装箇所と同様である。

3. 実験結果

3.1 落下高さと反発係数(計測速度エネルギー)の関係

図-1(左図)には、「落下高さ-反発係数」の関係を示す。図より、反発係数はいずれも 0.14 未満であり、各落体ともに落下高さが高いほど反発係数が小さく

表-1 実験ケース一覧

質量	落体種類	底面形状	落下高さ	落下対象	回数
0.11t	鋼製	球底面	1,3,5(m)	アスファルト	各3回
0.309t	鋼製	球底面	1,3,5,7(m)	アスファルト	3,1,1,1回
0.89t	鋼製	球底面	1,3,5(m)	アスファルト	3,1,1回
1.6t	コンクリート製	平底面	1,3,5(m)	アスファルト	各1回
2.0t	鋼製	球底面	1,3,5(m)	アスファルト	各1回
計					29回



写真-1 実験状況

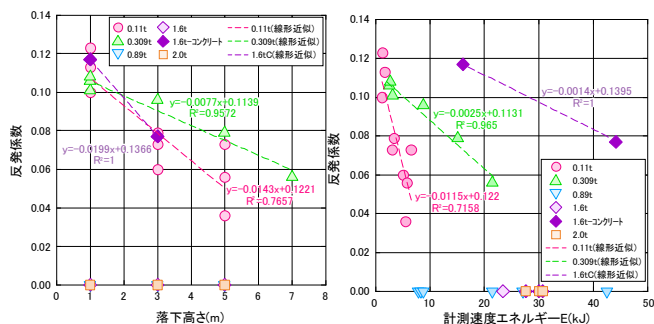


図-1 反発係数-落下高さ・計測速度エネルギー

なる傾向にあることがわかる。また図-1(右図)には、「計測速度エネルギーと反発係数」の関係を示す。図より、計測速度エネルギーが大きいほど、反発係数が小さくなり、重錘質量が大きくなるほど、反発係数の低下率が緩やかであることがわかった。

一方、図-2 に重錘 2.0t 落下高さ 5m の時刻歴応答波形を示すが、20ms 以降において負の速度分布が生じているものの、変位波形分布では変位が地表面から離脱していないため、見かけの反発係数は 0 とした。また今回実施した重錘質量 0.89t, 1.6t, 2.0t について同様の結果となっている。

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

3.2 落下エネルギーと貫入量の関係

写真-2に、アスファルト舗装面への貫入量計測状況を示す。また図-3に、重錘質量0.89t, 1.6t, 2.0tの「計測速度エネルギーと貫入量（貫入深さ、貫入平面積）」との関係を示す。図より、どの重錘も計測速度エネルギーが増加するのに伴い貫入量が増加していることがわかる。今回の実験では、質量0.89t以上の重錘の場合、貫入量を増してエネルギーが吸収され、反発係数が得られなかったものと考えられる。

3.3 換算ラーメ定数と計測速度エネルギー

図-4に、重錘質量0.89t, 1.6t, 2.0tの「換算ラーメ定数と計測速度エネルギー」の関係を示す。換算ラーメ定数については、高速度カメラより得られた計測値より衝突直前の加速度を算出、衝撃力については、重錘質量と加速度から算出した。換算ラーメ定数については、振動便覧式¹⁾(1)より算出した。

$$\lambda = (P / (2.108 \cdot (m \cdot a)^{2/3} \cdot H^{3/5}))^{5/2} \quad (1)$$

ここに、 λ :ラーメ定数(kN/m²), P:衝撃力(kN), m:重錘質量(kN), a:加速度(m/s²), H:落下高さ(m)である。

図より、どのケースにおいても計測速度エネルギーが大きくなるにつれて換算ラーメ定数が小さくなっており、特にコンクリート面に落下させたケースの低下が顕著であった。

4. まとめ

本研究では、落石の運動形態を再現するために必要な反発係数の適正評価を目的として、アスファルト舗装面およびコンクリート面にて落石を模擬した重錘の鉛直落下実験を行い、検討を行った。本研究で得られた結果を以下に示す。

- 1) 地表面以上の反発高さが生じた重錘質量 0.11t, 0.309t については、落下高さおよび速度エネルギーが大きいほど反発係数が小さくなる傾向を示す。
- 2) 地表面以上の反発高さが生じなかった重錘 0.89t, 1.6t, 2.0t については、落下エネルギーが大きくなると落体の貫入量が大きくなり、見かけの反発係数は 0 となった。
- 3) 落下エネルギーが大きくなるにつれ地盤への貫入量が増加し、また地盤の堅さの評価である換算ラーメ定数が小さくなることから、同じ地盤でも、入力されるエネルギーが大きくなるとラーメ定数は小さくなる、すなわち見かけの地盤の固さが小さくなる傾向を示す。

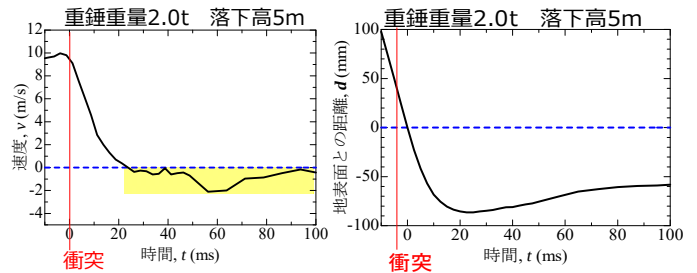


図-2 時刻歴応答波形



写真-2 計測状況(重錘質量 1.0t、高さ 5m 落下)

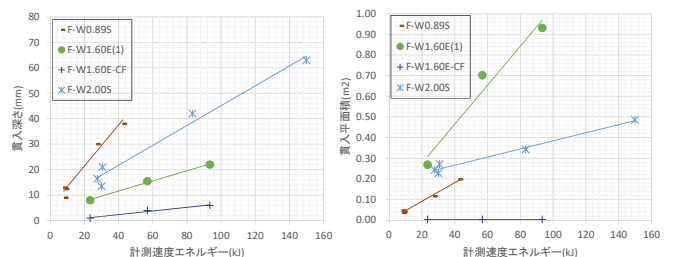


図-3 落下エネルギーと貫入量

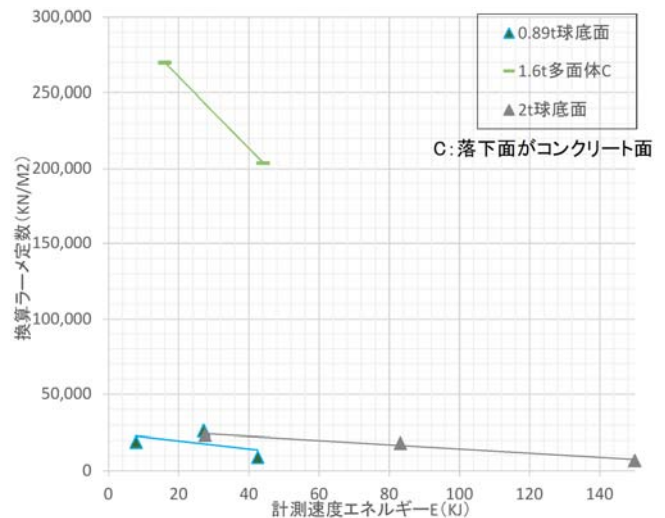


図-4 換算ラーメ定数と計測速度エネルギー

今後は地盤条件や、落体の形状・堅さなど実験条件の精度を高め、反発係数が 0 と見なせる境界線や変化率に関する傾向を実験的に模索する予定である。
謝辞：本研究を行うにあたり、国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地構造チームの皆さまに多大なるご支援を戴きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献：1) (公社) 土木学会：土木技術者のための振動便覧，1985