

岩塊の斜面衝突時の速度変化に関する室内模型実験—粒状土斜面の場合—

アサヒコンサルタント(株) 正会員 ○土田 章仁

鳥取大学大学院 学生会員 北迫 勝也

鳥取大学大学院 正会員 河野 勝宣 池添 保雄 フェロー会員 西村 強

1. はじめに

山間部の住宅や道路においては、落石に対する危険度評価や防止対策が必要となる場合が多い。実務においては、これらの検討に有効な手法の確立が期待されており、その際には落石運動の予測が重要となる。落石運動を予測する上では、岩塊と地表面との接触時の特性や衝突前後の運動形態の把握が大切である。岩石平板に球体を落下させた際の速度比に注目した研究は多いが、変形する砂斜面では、反射の定義づけが困難なためか、研究例¹⁾が少ない。本研究では、砂斜面に対して、落石を球体と仮定し、高速度カメラを用いた室内模型実験を行った。衝突斜面の傾斜角度および反射の定義の違いが、実験から得られた球体の砂斜面衝突時の接線方向速度比 R_t および法線方向速度比 R_n と、衝突前後のエネルギー比に与える影響について報告する。

2. 粒状土(砂)斜面への球体の衝突実験

室内模型実験では、球体を斜面へ自由落下させ、高速度カメラを用いて砂斜面衝突時の球体の挙動を撮影した(図-1A)。落下球体はアルミナボールである。衝突斜面の材料には鳥取砂丘砂を用いた(425 μm ふり通過分かつ 250 μm ふり残留分を使用。相対密度 $86\pm1\%$ である)。球体の落下高さは15cmおよび30cmの2通り、斜面衝突時の傾斜角度(入射角度 α_1)は $0\sim35^\circ$ (5° 間隔)とした。本実験で使用した高速度カメラは1/3000秒のシャッタースピードを有している。球体の移動距離(座標)・回転角度は、CADソフトを用いて撮影画像から読み取った(図-1B)。表-1に本研究およびB. Heidenreich and V. Labiouse (2004)¹⁾の実験項目を示す。

球体の平面衝突運動(図-2)における R_t および R_n は、式(1)および式(2)のように表される。

$$R_t = \frac{v_{r,t}}{v_{i,t}} \quad (1) \quad R_n = -\frac{v_{r,n}}{v_{i,n}} \quad (2)$$

砂斜面に球体が衝突すると、球体は斜面中に潜り込み、それに続いて斜面下方の凸部を乗り越えるような運動を行う(図-1A)。これは、岩石平板などを用いるときには、無視できる挙動である。砂斜面では、このような運動を伴うため、式(1)・式(2)のような速度比を用いて、この運動を表現するときには、反射速度 v_r の読み取りが実験結果を左右するものとなる。そこで、本研究では、法線方向移動距離 L_n が最大となる時点(球体が砂斜面に最も貫入した時点： $L_{n,\max}$)以降を反射の状態として捉えた(図-3A参照)。そして、反射後の速度、角速度は、反射の状態における次の3つの時点での計測値を用いて実験結果を整理した。①法線方向加速度 a_n が最初に0となる時点($a_n=0$ 時)、②法線方向反射速度 $v_{r,n}$ が最大となる時点($v_{r,n}$ 最大時)、③接線方向反射速度 $v_{r,t}$ が最大となる時点($v_{r,t}$ 最大時)(図-3B・C参照)。なお、入射速度は、文献1)と同じく、球体が斜面に衝突した(接した)時点の速度とした。また、文献1)では、①の法線方向加速度 a_n が0となる時点を反射と定義している。

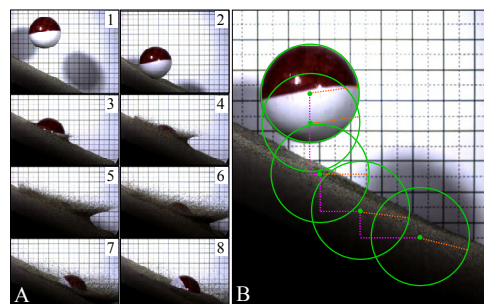


図-1 高速度カメラで撮影した落石運動軌跡(A)と球体の座標および回転角度の読み取り方法(B)

表-1 実験項目

	本研究	文献1)
落下高さ	15cm, 30cm	100 cm
入射角度 α_1	$0\sim35^\circ$ (5° 間隔)	$12^\circ, 22^\circ, 32^\circ$
球体	アルミナボール - 直径: 30.57mm - 質量: 56.87g	コンクリート - 直径: 75mm - 質量: 389g
砂斜面安息角	36°	32°

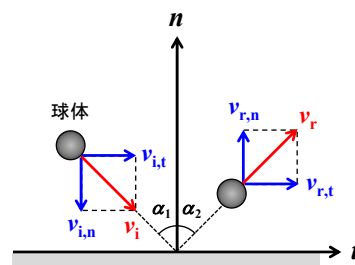


図-2 球体の平面衝突運動

キーワード 落石, 法線方向速度比, 接線方向速度比, 室内模型実験, 粒状土斜面

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101 鳥取大学大学院工学研究科 TEL0857-31-5297

3. 衝突前後の速度変化の特徴

図-4に実験結果を示す. 図中の各ケースのプロットは, 各々, 5回の実験の平均値である. なお, $\alpha_1=0^\circ$, 5° の実験では, 図-2において, 法線方向の反射速度成分が正の法線方向となることがなかった. このため, 図-4には $\alpha_1=0^\circ$, 5° の実験結果を示していない. また, 図-4には文献1)の実験結果も併せて示している.

接線方向速度比 R_t は, α_1 の増大に伴い増加する傾向となった(図-4A). 法線方向速度比 R_n も α_1 の増大に伴って増加する傾向が見られるが, R_t に比べると増加の度合いは小さい(図-4B). 前述した3つの時点(① $a_n=0$ 時, ② $v_{r,n}$ 最大時, ③ $v_{r,t}$ 最大時)での反射速度を用いた整理の違いについては, R_t , R_n の値に差はあるが, 傾向は同様であった(図-4A・B). また, 本研究の R_n の値は, 文献1)の実験結果に比べて小さいが, α_1 の増大に伴う増加傾向は同様である. 一方, R_t の値は文献1)と同程度かやや小さい値を示す.

衝突前後のエネルギー比 R_{TE} は, 図-4Cに示すように, α_1 の増大に伴い増加する傾向となった. また, ① $a_n=0$ 時, ② $v_{r,n}$ 最大時, ③ $v_{r,t}$ 最大時での反射速度を用いた整理の違いについては, R_{TE} の値に差はあるが, 3者共に同様の傾向であった. なお, R_{TE} は, 式(3)で求めている. ここに, E_V : 並進運動エネルギー, E_R : 回転運動エネルギーであり, 添え字の*i*と*r*は入射と反射を表す.

$$R_{TE} = \frac{E_{V,r} + E_{R,r}}{E_{V,i} + E_{R,i}} \quad (3)$$

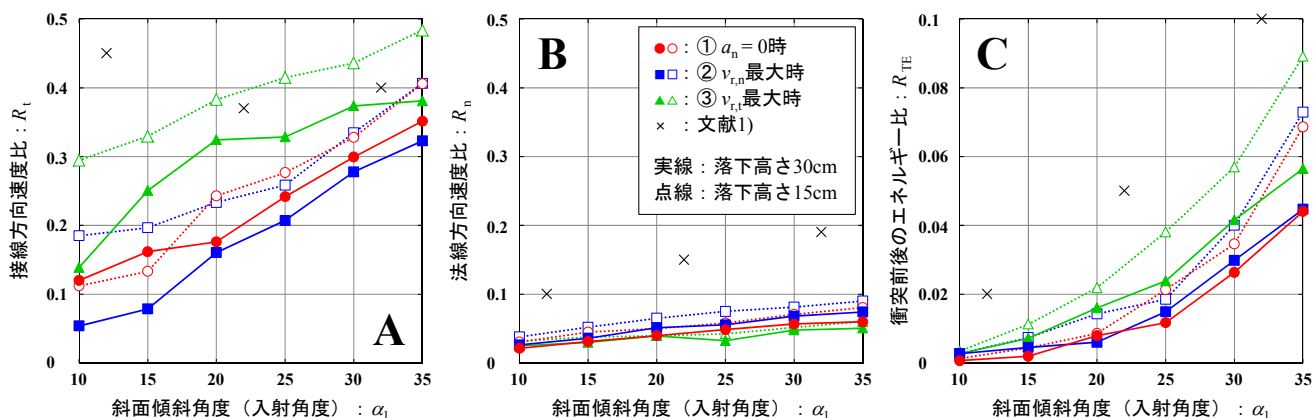


図-4 斜面傾斜角度(入射角度)と接線方向速度比(A), 法線方向速度比(B)および衝突前後のエネルギー比(C)との関係

4. おわりに

- ・ 球体の砂斜面衝突時における R_t , R_n および R_{TE} の値は, α_1 の増大に伴い増加する傾向となった.
- ・ 球体の砂斜面衝突時における R_t , R_n の値は, 反射速度の読み取り方法に依存する. このため, 数値解析時に速度比を用いて球体の運動を表現するときには注意が必要と考えられる.

参考文献

- 1) B. Heidenreich and V. Labiouse : Rivista Italiana di Geotecnica, Vol.38, No.2, pp.80-91, 2004.

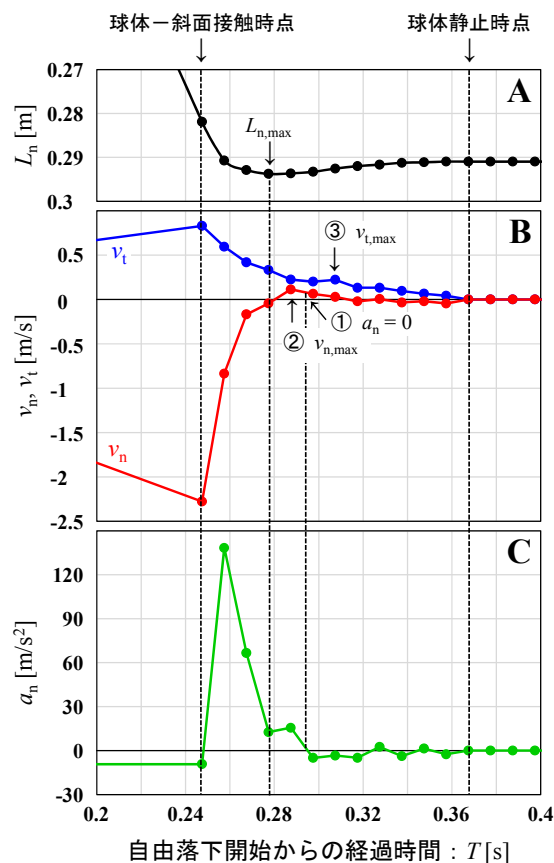


図-3 反射速度を整理した 3 つの時点 (① $a_n=0$ 時, ② $v_{n,r}$ 最大時, ③ $v_{t,r}$ 最大時) の説明 (斜面傾斜角度 20° の例)