

愛媛大学工学部 正会員 河原 荘一郎
愛媛大学工学部 フェロー 室 達朗
愛媛大学大学院 学生会員 ○菊田 裕樹

1. まえがき 右城らは既往の 10 種類の落石実験データを統計分析し、落石の運動定数に関する考察を行っている^{1), 2)}。しかし、斜面の凹凸、斜面勾配などの実験条件を完全に揃えることができず、また測定精度上限界がある。ここでは、種々の斜面角度からなる平坦均質な土砂斜面上の落石運動の室内モデル実験により、沈下を考慮した落石の線運動定数および各種エネルギー消費を解明することを目的とする。

2. 実験方法 落石モデルはアルミニウム円柱(外径 75, 100, 125 mm, 質量 1.022, 1.888, 2.995 kg)とスチール円柱(外径 100, 125 mm, 質量 5.284, 8.401 kg)で、幅は 90 mm のものを使用した。土槽は長さ 300 cm, 幅 30 cm, 深さ 30 cm のスチールパネル製である。 $w=5.8\%$ の豊浦標準砂を 6 層に分けて土槽内に充填し、 $D_r=73\%$ に締固め、深さ 25 cm で平坦均質な地表面に仕上げた。その後、落石モデルを 15~35 deg の 5 通りで落下させた。巻込み型変位計により斜面方向移動距離 s を、また鋼線(直径 1.6 mm, 長さ 1.0 cm)を円柱の側面両端に半周毎に取り付け、土の痕跡から半回転した時の距離を測定し、スリップ率 i を算定した。

3. 加速度 一般に、質点が加速度 a の等加速度運動をする時、距離 s ~ 時間 t 曲線は $s=0.5at^2$ で表される。得られたデータを回帰分析すると、相関係数が 0.978~0.998 と高い値を示した。したがって、土砂斜面上の落石運動は等加速度運動であると言える。斜面方向加速度 a と斜面勾配 $\tan \theta$ の関係を図 1 に示す。 a は $\tan \theta$ が大きくなるにしたがって直線的に増加する。直径、密度に関わらず $\tan \theta$ に対する a の増加率はほぼ等しい。また、落石の質量 m (直径および密度)が大きくなると、沈下による運動抵抗が増加するために a は小さくなる。

$$\mu = \tan \theta - \frac{a}{g \cdot \cos \theta}$$

g : 重力加速度

4. 等価摩擦係数 等価摩擦係数 μ と斜面勾配 $\tan \theta$ の関係を図 2 に示す。 μ は $\tan \theta$ が

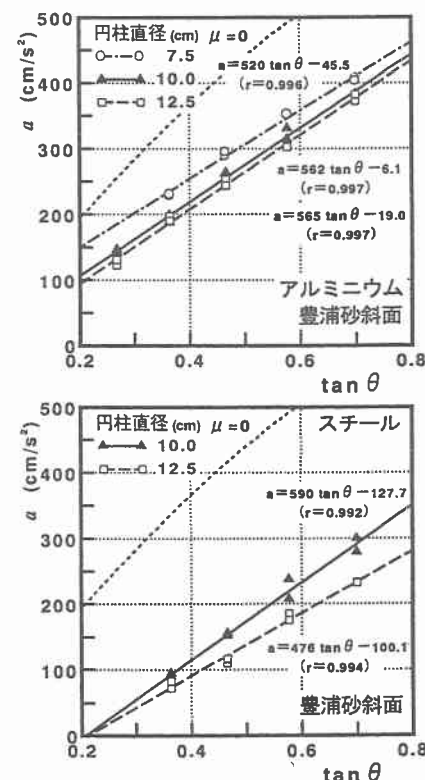


図 1 斜面方向加速度 a と
斜面勾配 $\tan \theta$ の関係

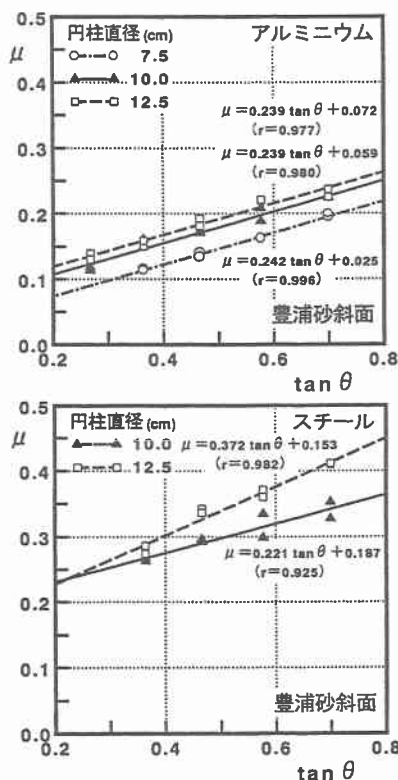


図 2 等価摩擦係数 μ と
斜面勾配 $\tan \theta$ の関係

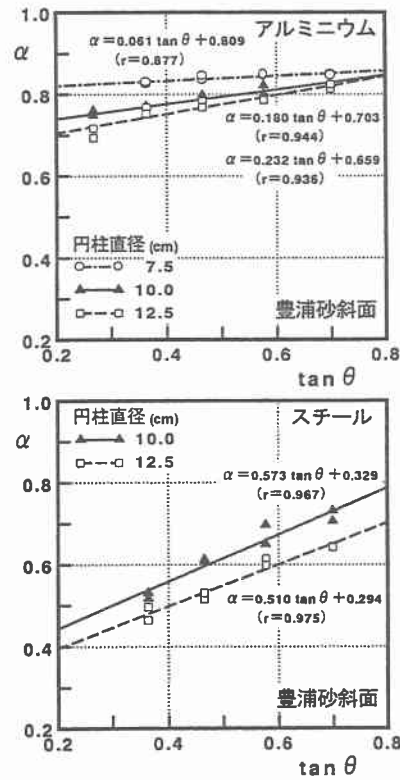


図 3 速度残存係数 α と
斜面勾配 $\tan \theta$ の関係

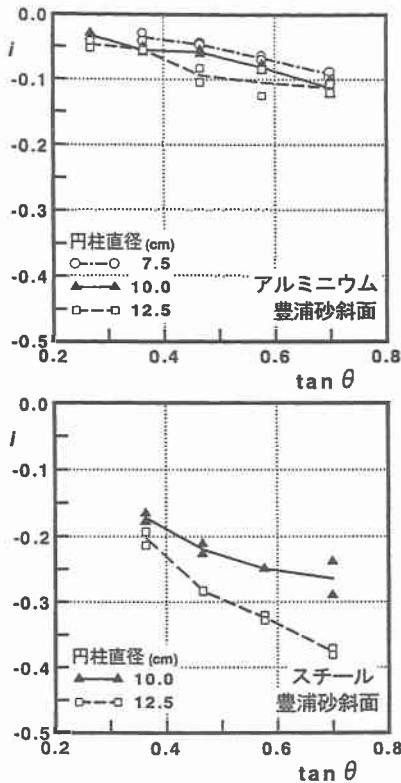


図4 スリップ率*i*と斜面勾配 $\tan \theta$ の関係

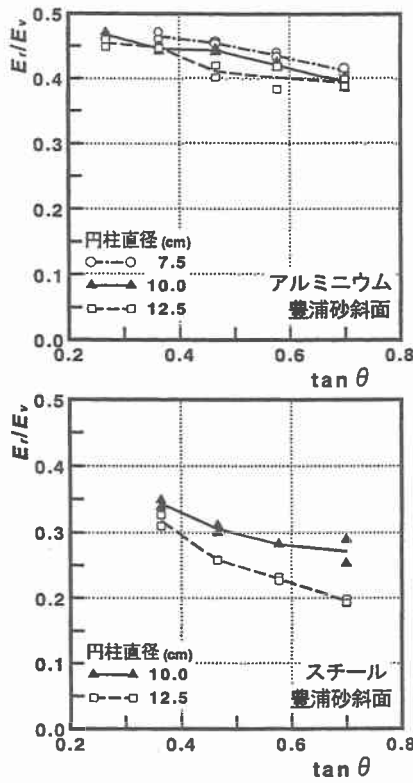


図5 回転運動と並進運動のエネルギー比 E_r/E_v と斜面勾配 $\tan \theta$ の関係

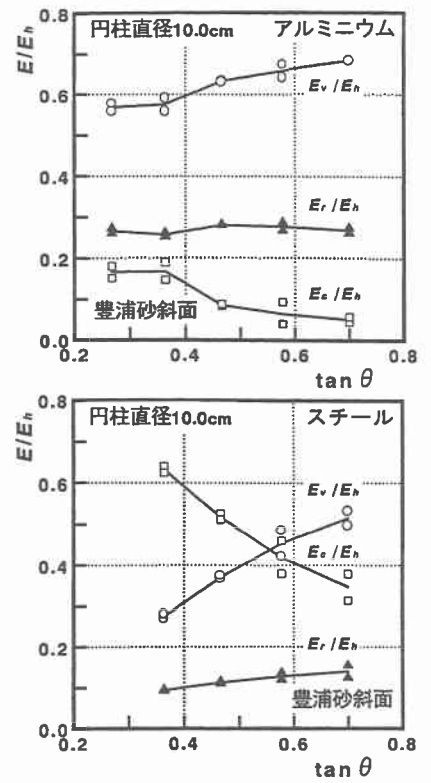


図6 各種エネルギーと位置エネルギーの比 E/E_h と斜面勾配 $\tan \theta$ の関係

大きくなるにしたがって直線的に増加する。また、落石の質量が大きくなると、 μ は大きくなる。

5. 速度残存係数 速度残存係数 α と $\tan \theta$ の関係を図 3 に示す。 α とは、自由落下速度に対する斜面方向速度の比である。 α は $\tan \theta$ が大きくなるにしたがって直線的に増加する。また、落石の質量が大きくなると、 α は小さくなる。

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{\mu}{\tan \theta}}$$

6. スリップ率 制動時のスリップ率 i と $\tan \theta$ の関係を図 4 に示す。 i は $\tan \theta$ が大きくなるにしたがって減少するが、アルミニウム円柱の場合は顕著ではない。また、落石の質量が大きくなると、 i は小さくなる。

$$i = \frac{2\pi r \cdot N - l}{l}$$

7. 運動エネルギー比 回転運動と並進運動のエネルギー比 E_r/E_v と $\tan \theta$ の関係を図 5 に示す。並進運動エネルギー E_v 、回転運動エネルギー E_r および E_r/E_v は次式で算定される。

r : 円柱の半径, N : 累積回転数
 l : N 回転した時に進んだ距離

$$E_v = \frac{1}{2}mv^2 = mas, \quad E_r = \frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}ma(1+i)^2s, \quad \frac{E_r}{E_v} = \frac{(1+i)^2}{2} \quad I: \text{慣性モーメント}, \omega: \text{角速度}$$

E_r/E_v は $\tan \theta$ が大きくなるにしたがって減少するが、アルミニウム円柱の場合は顕著ではない。また、落石の質量が大きくなると、 E_r/E_v は小さくなる。

8. 消費エネルギー 各種エネルギーの位置エネルギーに対する比 E/E_h と $\tan \theta$ の関係を図 6 に示す。位置エネルギー E_h 、土の締固めエネルギー E_c は次式で算定され、いずれのエネルギーも、 m および s の関数となる。

$$E_h = mgh = mgs \sin \theta, \quad E_c = E_h - E_r - E_v$$

E_c/E_h は $\tan \theta$ が大きくなるにしたがって減少する。これは、 E_r/E_h がほとんど増加しないのに対し、 E_v/E_h が増加することによる。また、落石の質量が大きくなると、 E_c/E_h は大きくなる。

9. まとめ 落石の線運動定数は、斜面勾配とともに直線的に増加する。また、土砂斜面上の線運動定数および各種エネルギー消費の割合は、落石の質量に大きく影響を受けることが判明した。

参考文献 1) 右城 猛・吉田 博・矢野光明・高石 協・八木則男: 斜面を落下する落石の運動定数と跳躍量に関する考察, 土木学会論文集, No.581/VI-37, pp.49-58, 1997. 2) 明坂宣行・右城 猛: 斜面条件を考慮した落石の速度推定法, 土木学会四国支部第3回技術研究発表会講演概要集, pp.284-285, 1997.