

森林総合研究所 ○大倉 陽一
北原 曜
三森 利昭

1, 目的

崩壊土砂の到達距離を予測することは、崩土の直撃から被災対象を保全するのみならず、溪間工の効果的
配置により崩土の下流への直接流出をコントロールする上からも重要な情報となる。崩土の到達距離に関す
るこれまでの研究例として、動摩擦係数に間隙水圧の効果を加味することにより、等価摩擦係数が表現され
ることを示したものがある¹⁾。これは崩壊を質点系の移動として単純化しており、実際斜面への適用が容易で
あるが、崩土の堆積の広がり表現できない。そこで、著者らは崩壊を粒子運動の集合体としてとらえ、個
々の粒子の運動が崩壊運動に及ぼす影響を実験的に検証するとともに、ニュートンの第2法則に従って差
分的に追跡する個別粒状法の検討を行ってきた²⁾。その結果、乾燥粒子流においては粒子数が多くなるほど内部
摩擦によるエネルギー損失が大きくなり、停止堆積距離が短くなることが明らかとなった。そこで、今回は
個々の粒子の物理性、特に質量ならびに転がり摩擦係数が停止堆積距離に及ぼす影響を、室内実験ならびに
個別粒状法によるシミュレーションにより検討し、さらに落石堆積斜面における石礫分粒の現地調査結果と
の比較をおこなう。

2, 方法

実験斜面は斜面部2.5m, 下部平坦部5m, 幅0.1m, 傾斜15°ならびに25°の可変であり、床面には粗度
をつけるためφ2mmのガラスビーズを全面に張り付けた。実験に用いた粒子の各物理定数を表-1に示す。

表-1 実験に用いた各粒子の物理定数

物質	数	直径(m)	質量(g)	跳ね返り係数		動摩擦係数	転がり摩擦係数 μ_r
				粒子-粒子	粒子-床面		
ガラス1	300	0.014	2.99	0.899	0.452	0.325	0.123
アルミナ	300	0.014	3.23	0.868	0.330	0.325	0.123
ジルコニア	300	0.014	4.69	0.791	0.316	0.325	0.123
ガラス2	300	0.014	3.08	0.899	0.452	0.325	0.0875

質量の違いが停止距離に及ぼす影響を検討する実験ではガラス1, アルミナ, ジルコニアを用い、粗度の違
いについてはガラス1ならびにガラス2を用いた。各粒子の表面には粗度を増すためにφ2mmのガラスビ
ーズを全面に張り付けた。ガラス2ではガラス1との対比で粗度を小さくするためにφ1mmのビーズを張り付
けた。粒子の初期配列については、斜面上端部の水平距離0.2m部分にランダムに積み上げ、積み上げた上端
面が水平となるようにした。実験の開始に当たっては、積み上げた粒子を支えていた側壁を斜め上方に引き
上げ粒子との間に摩擦力が働かないようにした。さらに堆積域においては個別の粒子の停止座標を計測した。

各実験例についてシミュレーションを行ったが、アルミナならびにジルコニアについては質量の違いの影
響のみを抽出する目的で、ガラス1と同一の跳ね返り係数とした。手法については前報²⁾にて報告してい
るので割愛する。

現地調査は兵庫県中央区芦川谷
流域において、兵庫県南部地震に
よる落石堆積斜面の石礫径調査を
行った。粒径の計測は、崖錘頂部
より測線を設定し、計測点近傍の
石礫数個の直交3方向の直径を計
測し、その平均値を求めた。

3, 結果ならびに考察

図-1ならびに図-2に実験斜
面下部平坦部における粒子の平均
停止距離を示す。これらの図から
以下のことが明らかとなった。す
なわち、粒子同士の衝突よりも粒
子と床面との接触が粒子運動を規
定するような場合は、①粒子の質
量の違いは停止距離に影響しない、
②転がり摩擦係数 μ_r が大きいほ
ど停止距離は短くなる。これらの

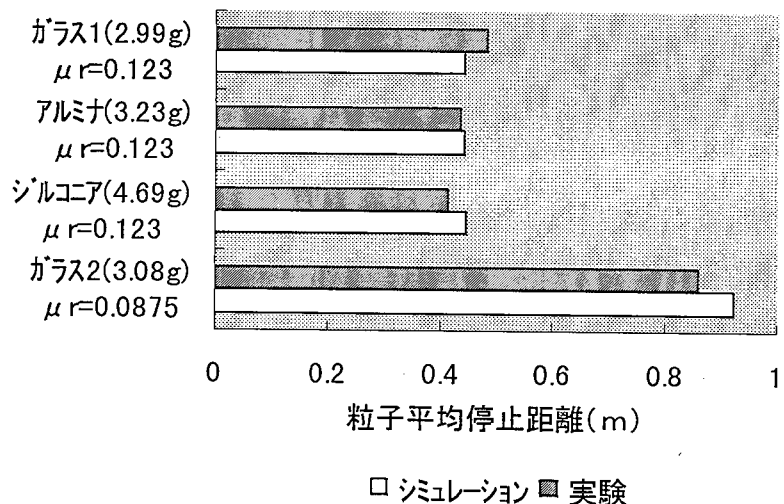


図-1 傾斜15度斜面を崩落した粒子の勾配変換点からの粒子平均停止距離

理由は以下のように考えられる。転がり摩擦力は(1)式で表現される。

$$F_r = \mu_r \cdot P \quad (1)$$

ここで、 F_r ：転がり摩擦力、 μ_r ：転がり摩擦係数、 P ：垂直抗力。もし、質量 M の粒子が傾斜 θ の斜面を加速度 a で斜面との間に滑りを生じないで転がり落ちていると仮定すれば、この粒子の運動方程式から(2)式が導かれ、粒子の運動は μ_r に規定されるが質量に影響されないことがわかる。

$$a = g \cdot (\sin \theta - \mu_r \cdot \cos \theta) \quad (2)$$

次に、 μ_r の規定要因について考察してみる。いま、傾斜 θ の斜面を粒子が一定速度で転がり落ちているとき、高さ S の粗度との接触点が粒子中心から下ろした垂線上にあるとすると、 S は(3)式で表される。

$$S = R(1 - \cos \theta) \quad (3)$$

ここで、 R は粒子半径である。また、 μ_r は(4)式で表される。

$$\mu_r = \tan \theta \quad (4)$$

(3)式ならびに(4)式より μ_r と R の関係は(5)式のように表される。

$$\mu_r = \sin \theta / (1 - S/R) \quad (5)$$

以上から、 μ_r は S/R が小さくなるほど小さくなることがわかる。すなわち、粒径が大きくなるほど μ_r が小さくなり停止距離が伸びることが予測される。

図-4に落石堆積地における崖錘頂部から斜面に沿った方向の粒径分布を示す。No.1, No.2の両測線において、斜距離が大きくなるほど粒径が大きくなる傾向が見られた。土石流中においては、石礫に働く体積力(重力と動摩擦力)と面積力(流体力)との釣り合いから、大きな石礫が段波先端に集中するという研究例があるが⁹⁾、落石においては流体力の効果がないので、粒径が大きな石礫ほど μ_r が小さくなり、斜面下方へ働く加速度が、相対的に大きくなるためと考えられる。

以上から $R-\mu_r$ の関係は、実験、シミュレーションとも良く表現され、野外落石堆積斜面における粒度分布を反映していることがわかった。

<参考文献>

1) 海堀正博(1986)：山腹崩壊土砂の運動に関する研究，京都大学学位論文
2) 大倉陽一・北原曜・三森利昭(1997)：ガラスビーズを用いた崩壊実験と個別粒状法によるシミュレーションの比較，平成9年度砂防学会研究発表会概要集，pp.42-43

3) 諏訪浩(1988)：土石流先端への大岩塊の集中機構，京都大学防災研究所年報第31号B-1，pp139-151

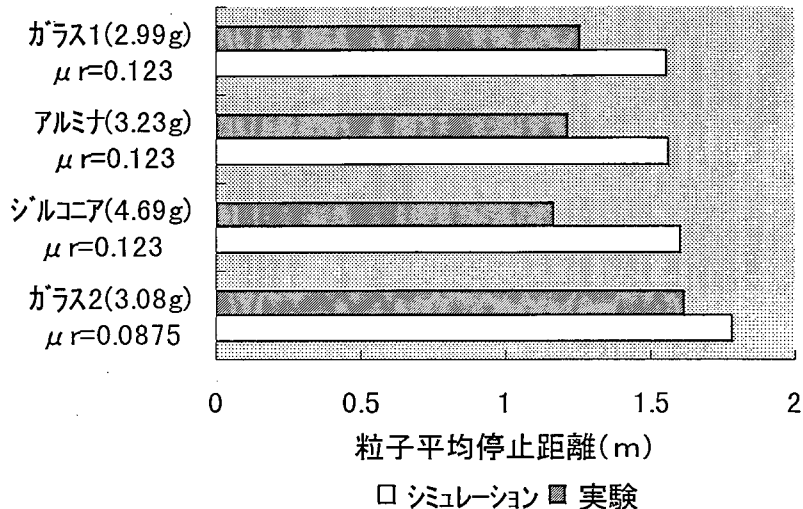


図-2 傾斜25度斜面を崩落した粒子の勾配変換点からの粒子平均停止距離

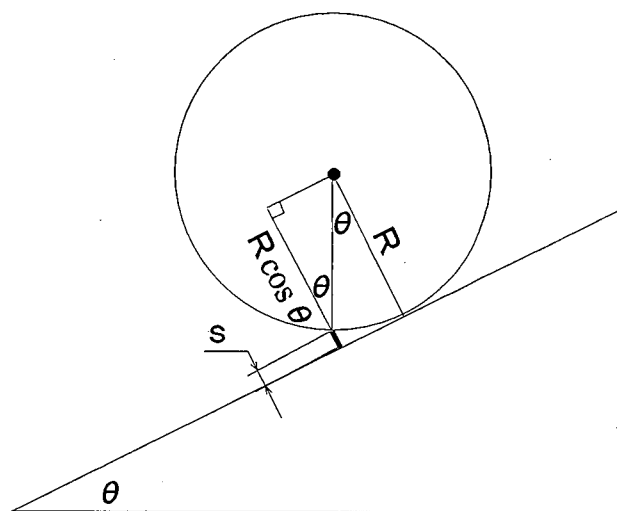
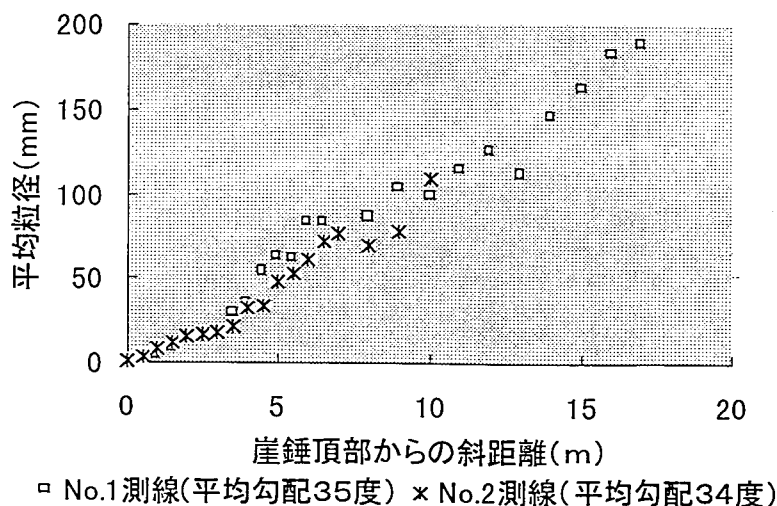


図-3 粒子が一定速度で斜面上を転がり落ちる時の粗度高さ S ，ならびにその作用点に関するモデルの概念図



□ No.1測線(平均勾配35度) × No.2測線(平均勾配34度)

図-4 芋川谷落石堆積斜面における石礫径分布図