

崩壊土石の高速・遠距離移動に関する振動台実験

九州大学工学部 学生会員○仲里 桃子 九州大学大学院 フェロー 善 功企
九州大学大学院 正会員 陳 光斉 九州大学大学院 正会員 笠間 清伸

1. はじめに

2008年5月12日、中国四川省を震源とするマグニチュード8規模の大地震が起こり、大地震に起因した土砂災害においては、崩壊土石の高速・遠距離移動という未解明現象が生じた。その結果、1200mを移動した崩壊土石により、3つの集落が呑み込まれるなどの被害を生じた。そこで、本文では、地震による崩壊土石の高速・遠距離移動メカニズムとして提案されている

「多重加速モデル」と「エアークッション効果」を振動台実験により検証し、実用的な崩壊土石の到達距離の推定方法を提案することを目的とする。

2. 実験概要

「多重加速モデル」と「エアークッション効果」に着目し、エネルギー保存の理論と見掛けの平均運動摩擦角 $\bar{\phi}$ を用いてメカニズムを解明する。

図-1に示すように、地震波形をN-phaseとP-phaseに分ける。N-phaseは、斜面が土石から離れる方向の波であり、P-phaseは、斜面が土石を押し出す方向の波である。ここで、N-phaseとエアークッション効果によって動摩擦が低下し、P-phaseによって土石は押し出され遠距離移動すると考える。また、土石は押し出されて速度を得るが、本文ではそれを、地震から得た水平速度 v_e とよぶ。

図-2に模型装置を示す。模型斜面は、1800mm(横幅)×3000mm(縦幅)の板で作製し、斜面角度は30°で固定した。土石を斜面上端に置き、落下させた。その始点から終点の距離 L を斜距離とよび、 L と水平がなす角 $\bar{\phi}$ を平均運動摩擦角とよぶ。 $\bar{\phi}_1$ は静止時、 $\bar{\phi}_2$ は加振時における角である。加振が増加すると斜面距離が伸び、 $\bar{\phi}_2$ は減少する。これをエネルギー保存則の観点から考える。陳らが提案する式(1)と式(2)を比較すると、静・動摩擦係数比 k の差と、 $v_e^2/2gD_2$ の項の有無が、平均動摩擦係数 $\tan \bar{\phi}$ の差を生じ、 v_e と k が $\bar{\phi}$ に影響を与えることが明らかである。

$$\tan \bar{\phi}_1 = \frac{h_1}{D_1} = \sum_i w_i k_i \tan \phi_{si} \quad (1)$$

$$\tan \bar{\phi}_2 = \frac{h_2}{D_2} = \sum_i w_i k_i^* \tan \phi_{si} - \frac{v_e^2}{2gD_2} \quad (2)$$

D : 土石の始点から終点までの水平距離, h : 土石の始点から終点までの鉛直高さ, $w_i = D_i/D$ とする。

写真-1に実験で用いた石を示す。それぞれの形状

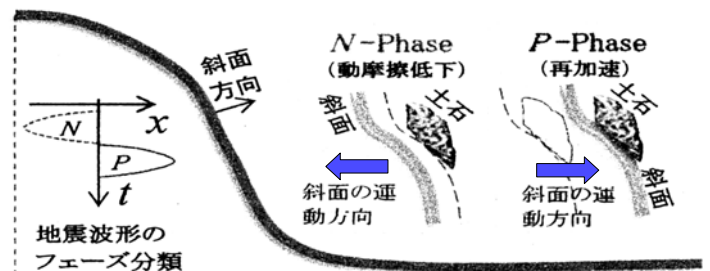


図-1 地震波形のフェーズ分類および崩壊土石の再加速および動摩擦低減概念

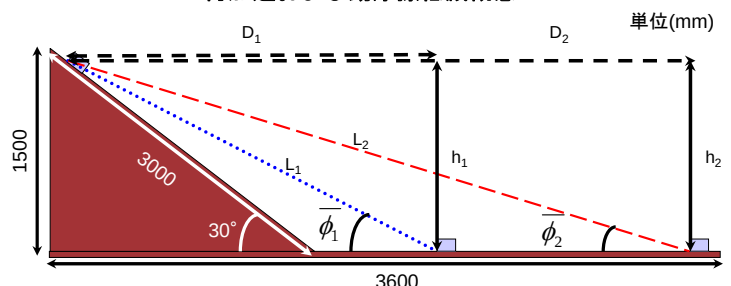


図-2 模型装置



写真-1 実験で用いた石

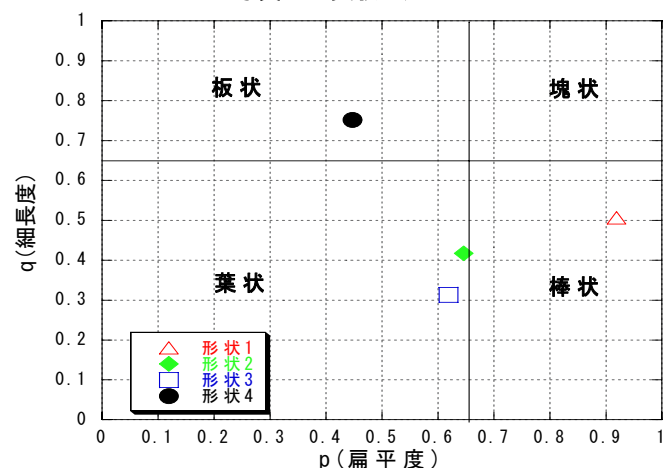


図-3 形状特性

において, 0Gal(静止時), 200Gal および 400Gal(3 Hz の正弦波) の 3 種類で実験を行った. 落下後, L_1, L_2 を計測し $\bar{\phi}_1, \bar{\phi}_2$ を算出した. また, 石の落下状況を調べるために, 斜面全体をビデオカメラで撮影し, v_e を算出した. 図-3 に実験で用いた石の形状特性を示す¹⁾. 各石の最大径, 中間径および最小径を測定し, 扁平度と細長度を算出した.

3. 実験結果

図-4 に, 形状 4 における入力加速度と水平到達距離 D の関係を示す. 図-4 より, 入力加速度が増加するとともに, 水平到達距離は増加した. これは, 落石が得る水平速度が増加したためであると考えられる. 各入力加速度において水平到達距離にばらつきが生じており, 0Gal から 200Gal では変動係数が約 0.02 増加するが, 200Gal から 400Gal では約 0.9 増加した. 200Gal では, 変動係数が比較的小さく, 一定距離の移動であるので, 水平到達距離の予測が比較的容易だが, 400Gal では, 変動係数が大きく, 遠距離移動する土石が存在し, 水平到達距離の予測が困難であると考えられる.

図-5 に, 400Gal 加振時の落石の形状と水平到達距離の関係を示す. 図-5 より, 落石の形状が, 水平到達距離とそのばらつきに大きく影響するといえる. 形状 1 や形状 3 のように平たい面があるものは, 振動の影響を受けにくく, 形状 2 のように平たい面はあるが, その表面に凹凸が多いものや, 形状 4 のように丸いものは振動の影響を受けやすいと考えられる. 以上より, 平たい面がある形状は, 水平到達距離のばらつきが小さいが, 丸い形状はばらつきが大きく, 遠距離移動する可能性があると考えられる.

図-6 に, 形状 4 の平均運動摩擦係数と振動から得た水平速度の関係を示す. 図-6 より, 平均運動摩擦係数が増加するとともに, 水平速度は増加した. 式(2)より, 高速・遠距離移動メカニズムでは, 水平速度が増加すると, 平均運動摩擦係数は減少するはずである. 斜面を滑る場合, $-v_e^2/2gD_2$ が増加するが, それを上回って $\sum w_i k_i^* \tan \phi_{si}$ が増加するので $\tan \bar{\phi}$ は増加した. 斜面を跳ねる場合, $-v_e^2/2gD_2$ は減少するが, それを上回って $\sum w_i k_i^* \tan \phi_{si}$ が減少するので, $\tan \bar{\phi}$ は減少した. 以上より, 今回の実験条件では, 平均運動摩擦係数に与える影響は, 水平速度より摩擦の方が大きいと考えられる.

4. まとめ

- (1) 入力加速度が増加すると, 水平到達距離が増加する.
- (2) 石の形状が水平到達距離とばらつきに差を与える.
- (3) 高速・遠距離移動メカニズムに与える影響は, 水平速度より摩擦が大きいと考えられる.

<参考文献> 松島亘志, 前田健一, 石川達也: 粒子形状の評価と土の力学挙動, 土と基礎, Vol.55, No.6, pp.37~44, 2007.

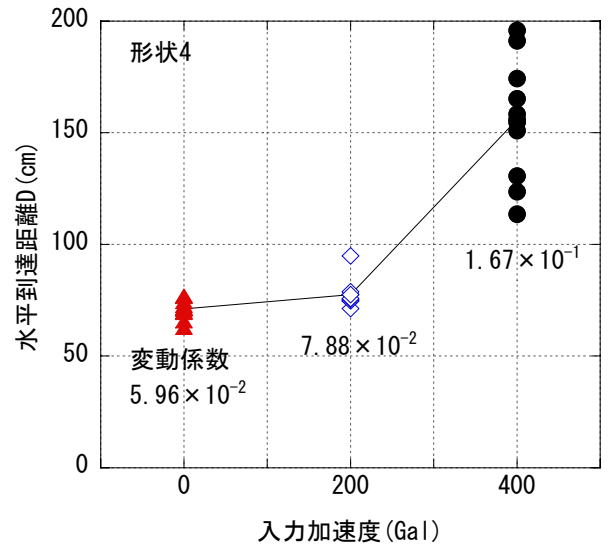


図-4 入力加速度と水平到達距離の関係

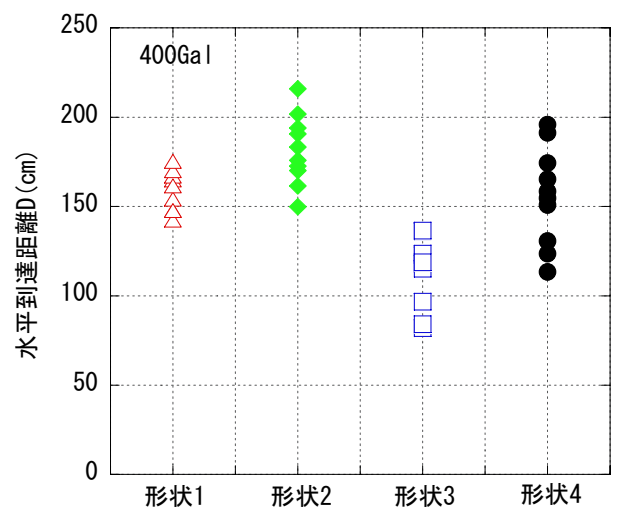


図-5 形状と水平到達距離 D の関係

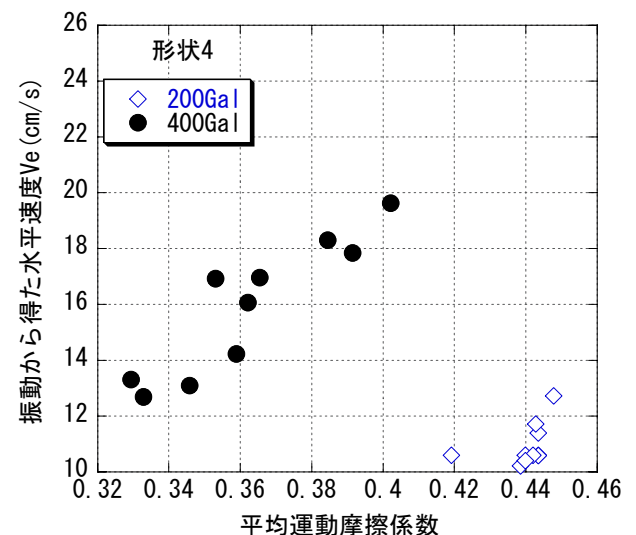


図-6 平均運動摩擦係数と水平速度 v_e の関係(形状 4)