不連続変形法を用いた地震時崩壊土石の運動挙動に関する解析

九州大学大学院　　学生会員　○松村　賢
九州大学大学院　　正会員　　陳　光斉

1. はじめに

土砂災害の危険性のある区域の周知，警戒避難体制の整備などのソフト対策を推進するため，平成 13 年 4 月に土砂災害防止法が施行された．同法では，土砂災害の危険性のある区域の指定を行うために，法尻から斜面高さの 2 倍の距離を土砂災害警戒区域の地域基準とする．この地形的基準は，既往の研究により，十分安全性を確保されるものであることが確認されている．しかし，平成 20 年 5 月に発生した四川大地震において，崩壊土石の到達距離が 1km を超える遠距離移動が観測された．これは土砂災害警戒区域の地形的基準をはるかに超えるものである．そこで，このような現象の特徴の把握，危険個所の予測を行うため，土石の高速・遠距離移動化の発生メカニズム解明が求められる．

本研究では，不連続変形法(DDA)を用いて，斜面モデルに様々なパターンの地震波を設定し解析を行い， 地震が土石の運動挙動に与える影響について調べた．

2. 内容

2.1　斜面モデルの解析概要

図-1 に単斜面ブロックと土石ブロックからなる解析モデルを示す．単斜面ブロックは，斜面長は 40m，斜面の傾斜は 30°，平坦部の長さは 150m であり，法尻より先は平坦面とした．崩壊土石ブロックは，正六角形とし，斜面上端に設置した．解析に用いたブロックの物性値を**表-1** に示す．重力加速度 g は 10m/s^2 とし，ブロック間の摩擦角 φ は 25°とした． 地震波の入力加速度は余弦波を用い，鉛直方向と水平方向の組み合わせにより，**表-2** に示す 4 パターンに分類し解析を行った．ここで， A は入力加速度振幅(gal)，ω は角周波数(rad/sec)，t は経過時間(sec)である．また，入力加速度振幅 A は 0gal, 500gal, 1000~2000gal までは 100gal 刻みで設定した．また，周波数は 1Hz，加振時間は 20.0sec とした．

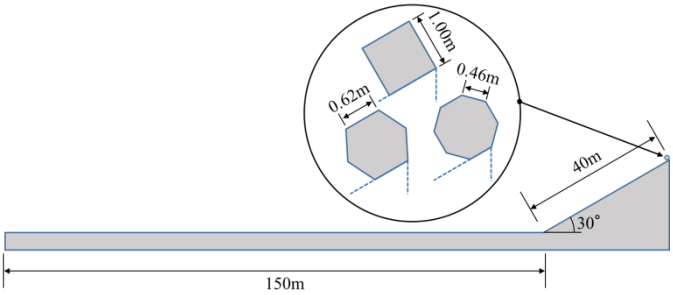

図-1 斜面モデル

表-1 各要素の物性値

	単位体積重量 W(N/m^3)	弾性係数 E(GPa)	ポアソン比 ν
土石	2.5×10^4	1.86	0.30
地面	2.6×10^8	14.8	0.10

表-2 入力加速度

	鉛直加速度(gal)	水平加速度(gal)
case-1	$A\cos(\omega t)$	0
case-2	0	$A\cos(\omega t)$
case-3	$A\cos(\omega t)$	$1000\cos(\omega t)$
case-4	$A\cos(\omega t)$	$1000\cos(\omega t+\pi)$

2.2　斜面モデルの解析結果

各解析パターンにおける最高速度を**図-3** に，到達距離を**図-4** に示す．最高速度は土石の速度の最大値，到達距離は土石が到達した法尻からの水平距離の最大値とした．case-1，および case-3 では入力振幅 A が 1800gal 以上において，case-4 では入力振幅 A が 1300gal 以上において，それぞれ土石の高速・遠距離移動現象が発生した．一方，case-2 では入力振幅 A の大きさに関わらず最高速度，到達距離はほぼ一定であった．このことから地震波の鉛直成分，水平成分の組み合わせにより土石の運動挙動が大きく異なることがわかった．また，土石は速度の増加に応じて，到達距離が増大する傾向がみられるが，一部では例外的挙動もみられた．これは土石の回転の状態，衝突のタイミングなどの偶然的要素の影響によるもので

キーワード　地震，不連続変形法，高速・遠距離移動
連絡先　〒819-0395　福岡県西区元岡 744 番地　ウエスト 2 号館　1110 室　ＴＥＬ092-642-2111

あると考えられる．

次に，高速・遠距離移動が起きたケース(case-1 A=1900gal)と，起きなかったケース(csae-2 A=1700gal)の運動挙動の違いを図-5 および図-6 に示す．それぞれ 1 sec 毎の土石の位置をプロットした．case-1 では鉛直方向の強い揺れにより，土石が地面から浮き上がり，衝突を繰り返すことで，長時間運動を続けているが，case-2 では土石は地面から離れることなく，斜面上を滑っており，短時間で運動を停止している．

図-7 にエネルギー保持率 E_k と経過時間との関係を，図-8 にエネルギー保持率 E_k と水平距離の関係をそれぞれ示す．ここで，エネルギー保持率 E_k は土石の斜面上端におけるエネルギーに対する現在のエネルギーの割合とした．図-7 より case-1 の方が case-2 に比べ，長時間高いエネルギーを保持していることがわかる．また，case-1 では衝突によるエネルギーの損失は発生しているが，衝突後の浮上中にはエネルギーの損失が生じていないのに対し，case-2 では常に摩擦によるエネルギーの損失が生じていることがわかる．図-5. 17 より同じ水平距離におけるエネルギー保持率 E_k を比較すると，どの地点においても case-1 が case-2 を大きく上回っているおり，位置エネルギーの運動エネルギーへの転換がより効率よくされていることがわかる．さらに，case-1 では一部において衝突により運動エネルギーを得たことによるエネルギーの増加が起きていることも確認できる．

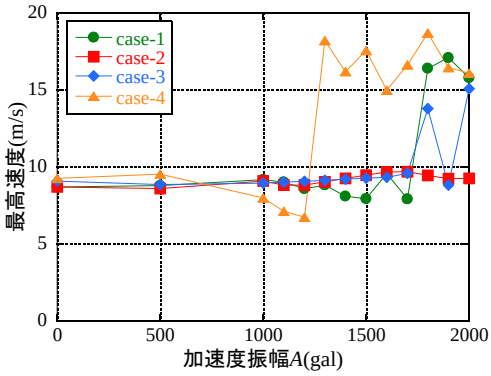

図-3 各解析パターンにおける最高速度

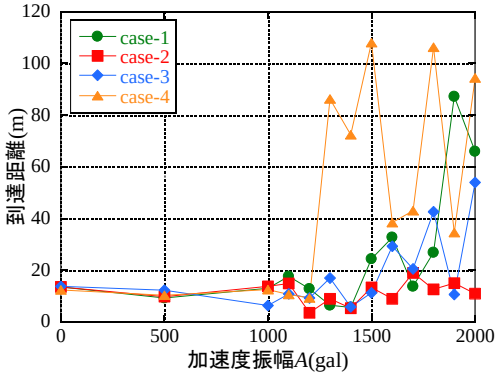

図-4 各解析パターンにおける到達距離

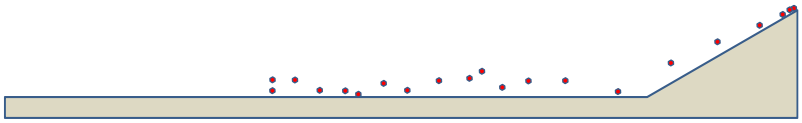

図-5 case-1，A=1900gal における土石の挙動

図-6 非震時における土石の挙動

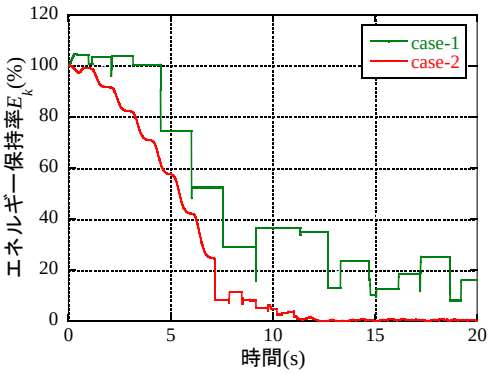

図-7 エネルギー保持率と時間の関係

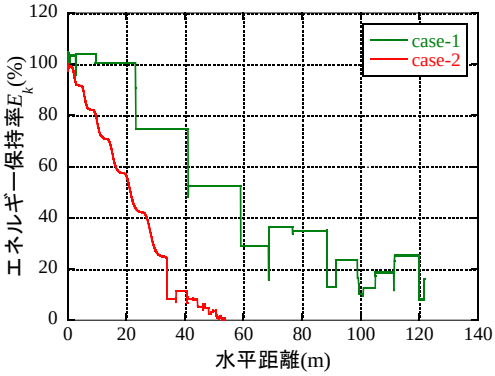

図-8 エネルギー保持率と水平距離の関係

以上のことから衝突によるエネルギー損失量に比べ，摩擦によるエネルギー損失量の方が大きいため，両者における土石の速度，移動距離に大きな違いが生じたといえる．

3. 結論

(1) 斜面上で土石が浮き上がり，衝突を繰り返すことにより土石の高速・遠距離移動が発生した．

(2) 地震波の鉛直成分と水平成分の組み合わせの違いが，土石の速度，移動距離に影響を与えることがわかった．

(3) 土石の速度，移動距離の違いは，運動時のエネルギーの損失形態の違いによるものであることがわかった．