

不連続変形法(DDA)を用いた地震時における崩壊土石の移動現象に関する研究

九州大学工学部 学生会員○津末 佳朋 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

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形的基準とする。この地形的基準は、既往の研究より、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¹⁾。ところが、平成 20 年 5 月に発生した四川大地震において、崩壊土砂の到達距離が 1km におよぶような、土砂災害警戒区域の地形的基準をはるかに越える崩壊土石の遠距離移動が観測された。

このような背景から、地震時における崩壊土石の高速・遠距離移動メカニズムを解明するために、本文では「多重加速モデル」と「エアークション効果」に着目し、不連続変形法(DDA)を用いてモデルの解析を行い、エネルギー保存則より得られる見かけの平均運動摩擦角の式について考察する。

2. 解析概要

図-1 に平均運動摩擦角の理論を示す。式(1)は静止時における平均運動摩擦角、式(2)は地震時における平均運動摩擦角を表す。ただし、式中の変数は以下に示す通りである。

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

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

$\bar{\phi}_1, \bar{\phi}_2$: 平均運動摩擦角(°)

h : 斜面高さ[m]

D_1, D_2 : 静止時、地震時の土石の最大水平到達距離[m]

w_i : 区間 i の水平到達距離 D_i と D_1 および D_2 との比

k_i : 区間 i の動摩擦係数と静止摩擦係数の比

ϕ_{si} : 区間 i の摩擦角(°)

v_e : 崩壊土石が地震波から受け取る速度[m/s]

g : 重力加速度[m/s²]

式(2)は、第二項により崩壊土石が衝突のさいに地震波から受け取る運動エネルギー(多重加速)および斜面が崩壊土石と逆方向に移動するさいの動摩擦の低減(エアークション)を考慮する。

図-2 に、解析に用いた急傾斜斜面モデルを示す。斜面高さ h は 176.8m、斜面の傾斜 θ は 57.3°、斜面の水平距離は 148.3m であり、法尻より先は平坦面とした。解析に用いた入力条件として表-1 および表-2 を示す。崩壊土石と斜面間の摩擦角 ϕ は 25° と設定し、ブロックの物性値は表-2 に示す。このモデルの落石解析を行い、地震波を入力しない場合(静止時)と入力する場合(地震時)の崩壊土石の水平速

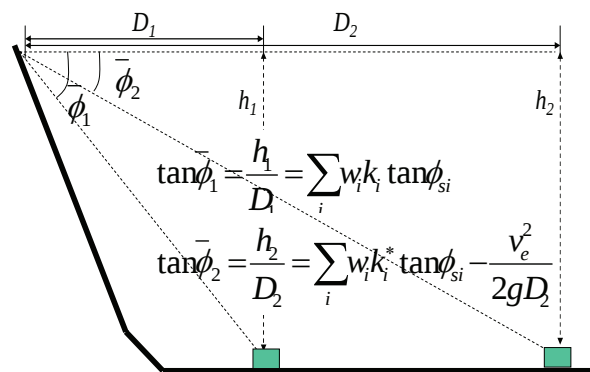


図-1 平均運動摩擦角の理論

表-1 DDA の設定

SOR		1.5
許容変位	%	0.20
時間間隔 Δt	sec	0.005
ペナルティ ばね定数 K	N/m ²	1.0×10^9

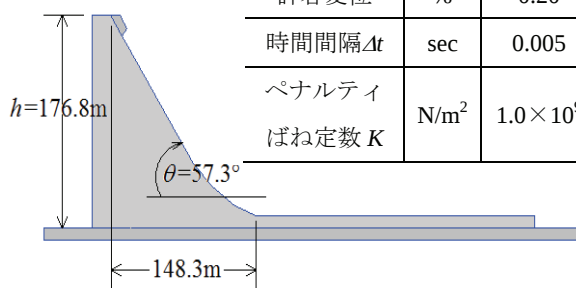


図-2 斜面モデル

表-2 各要素の物性値

	質量 M [kg]	重量 W [N]	ヤング率 E [N/m ²]	ポアソン比 ν
土石	2.0×10^3	2.0×10^4	1.0×10^9	0.10
斜面	2.0×10^5	2.0×10^3	1.0×10^{15}	0.10
底面	2.0×10^3	2.0×10^4	1.0×10^9	0.10

度 v [m/s]および水平移動距離 D [m]を比較した．入力した地震波には正弦波を用い，最大入力加速度 1500gal，周期 1.0sec および周期 2.0sec と設定した．

3. 解析結果および考察

図-3 に，崩壊土石が単に斜面内を滑動する場合の理論解析水平距離 D_0 [m]と DDA 解析水平距離 D [m](静止時)の関係を示す． D が D_0 にほぼ一致することから，DDA による解析精度は高いことがわかる．

図-4 に，静止時および地震時における崩壊土石の水平速度 v の経時変化を示す．周期 1.0sec の地震波の方が，周期 2.0sec の地震波よりも振動エネルギーは大きいにも関わらず，崩壊土石が受け取る運動エネルギーは，周期 2.0sec の地震波からの方が大きい．これは，周期の短い地震中の落石現象では，崩壊土石と斜面との衝突回数が多くなり，一度の衝突で受け取る運動エネルギーは小さく，衝突によってほとんど損失されることが原因だと考えられる．

静止時および周期 1.0sec の地震時では，崩壊土石に回転が発生することなく落下したが，周期 2.0sec の地震時では，図-5 のように回転が発生した．この回転により，エネルギーの摩擦による損失が減少し，衝突による損失が主となる．また，周期の長い地震では，崩壊土石の速度が最大となるまでの衝突回数が少ないので，衝突によるエネルギー損失が小さい．かつ，崩壊土石が斜面から加速される時間が長く，一度の衝突で受け取る運動エネルギーが大きくなり，比較的遠距離の移動が可能になったと考えられる．

図-6 に，静止時および地震時における崩壊土石の水平距離 D の経時変化を示す．静止時および周期 1.0sec の地震時における D の変化はほとんど差が見られず，どちらの場合も 16sec で停止し，215m に到達した．一方，周期 2.0sec の地震時における D は，24sec で停止し，350m に達した．これより，周期 2.0sec の地震時に，崩壊土石が受け取る運動エネルギーが大きく，これを摩擦や衝突で損失させるための距離は長くなることがわかる．

4. まとめ

(1) 崩壊土石の形状および斜面の状況などにより，回転が発生する場合は遠距離移動となる可能性がある．(2) 最大入力加速度 1500gal と大きな地震時において，崩壊土石の移動距離は周期の違いに影響する．例えば，地震波の周期が 1.0sec の場合の移動距離は 215m，周期が 2.0sec の場合の移動距離は 350m であった．(3) 地震時における崩壊土石の遠距離移動現象は，単に地震のエネルギーの大きさだけによるものではないといえる．

<参考文献>

- 1) 森山崇ら：土砂災害防止法の適用に向けた危険区域指定に関する考察，平成 16 年度九州大学卒業論文，pp.58-60，2000．

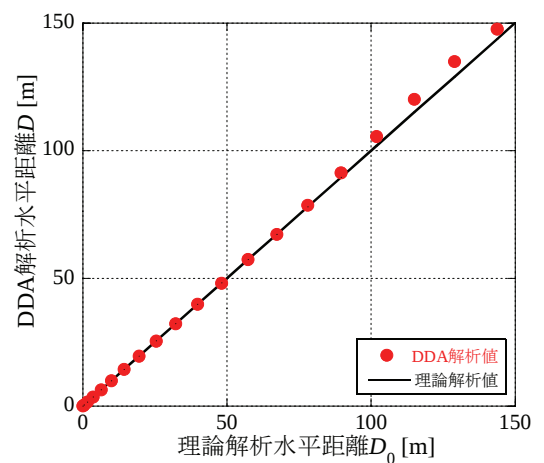


図-3 水平移動距離の理論値との比較

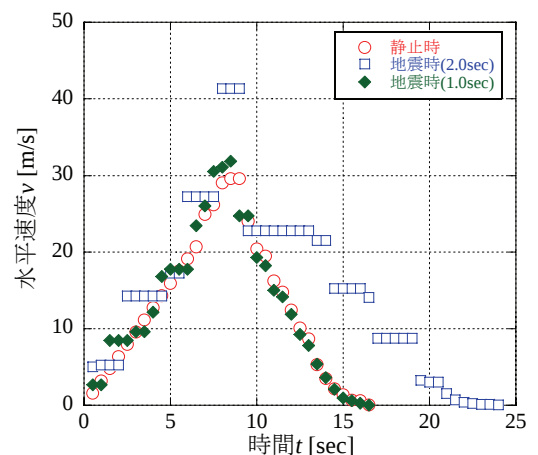


図-4 落石の水平速度の経時変化



図-5 地震時(周期 2.0sec)の崩壊土石の動き

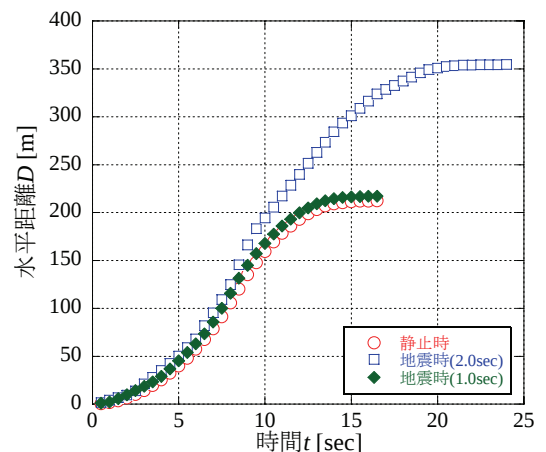


図-6 水平移動距離の経時変化