

不連続変形法を用いた土砂流下運動予測の基礎的検討

独立行政法人防災科学技術研究所 正会員 ○酒井 直樹
 基礎地盤コンサルタンツ(株) 伊計 秀明
 基礎地盤コンサルタンツ(株) 正会員 三木 茂

1. はじめに

崩壊土砂の到達範囲は、崩壊土砂の移動距離と崩壊土砂量との関係より得られた経験式に基づいて予測する経験式が多く使われてきた。しかし、適用範囲が明確でないことや斜面の形状や地質構造等は考慮されない等の問題点がある。一方斜面崩壊に対するリスク評価には、崩壊土砂の到達範囲だけでなく、堆積分布や運動速度(エネルギー)も必要とされ、より精度の高い土砂の流下運動の予測法が必要である¹⁾。そこで、斜面崩壊における崩壊土砂の流下運動の予測を精度よく行うための一手法として、斜面形状や地質構造等が考慮できる「不連続変形法」を用いて、大型模型実験の結果に対し土砂流下運動予測の適用性の基礎的検討を行った。

2. 模型実験概要²⁾

実験は、防災科学技術研究所にある大型降雨実験施設内に大規模斜面模型を作製し実験を行った(写真-1)。模型の形状は、総斜面長は、23m(うち斜面部 16m)、幅 3m、深さ 1.6m(土層深 1.2m)、高さ 7.8mの複合斜面型模型(図 1)であり枠組みは鋼製である。水路末端はスリット型擁壁(浸透水は金網を通じて自然排水)で斜面土層を抑止している。水路末端以外は非排水条件である。斜面底面には粗度として、棧が水平方向に一定間隔で固定されている。また、片側壁は強化ガラスを用いて、土層内部の変形状況が外側から確認できるようになっている。試料には、市販の佐原砂を用いた。その粒度特性は、礫分 9%、砂分 84%、シルト分 7%、均等係数 $U_c=4.2$ 、 $D_{20}=0.185$ である。土槽模型は、初期含水比 8%の試料を用いて、湿潤密度が 1.45g/cm^3 を目標に人力により作製した。飽和透水係数は $2.71 \times 10^{-2}(\text{cm/sec})$ である。

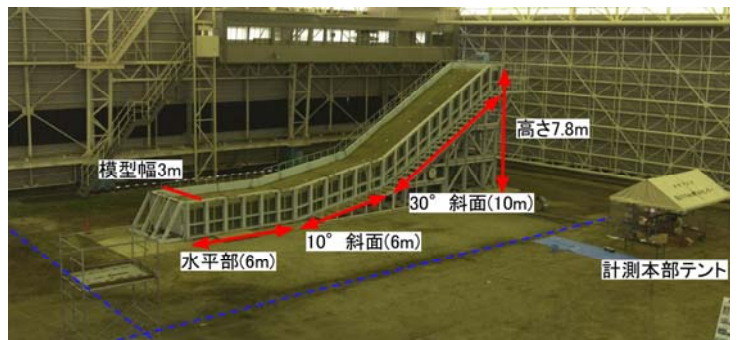


写真-1 降雨実験施設における斜面模型全景

実験結果(写真-2)の主な特徴を次にあげる。
 ①30°斜面での土塊は一体となって流下。
 ②その土塊下部は土層内でせん断されている。
 ③10°斜面にせり上がって押し出しながら水平部に達し小さく乗り上げながら停止した。

3. 不連続変形法の適用と考察

崩壊後の土砂移動状況を不連続変形法(Discontinuous Deformation Analysis³⁾, DDA)を用いて解析を行った。DDAは、斜面形状、地質構造、不連続面等の多くの崩壊要因を考慮することができ、崩壊土砂の移動距離や移動速度、そして堆積状況を精度よく推定できる手法である。

図-1(a)に崩壊実験のモデル図を示す。これをDDAで計算するために図-1(b)のようにモデル化



写真-2 崩壊実験後の土砂堆積状況

キーワード 模型実験, 不連続変形法, 流下運動

連絡先 〒305-0006 つくば市天王台 3-1 (独) 防災科学技術研究所 TEL : 029 (863) 7868

した．ここでモデルに使用した多角形粒子は、平均粒径 11.8cm，粒子数 1822 個である．ブロックの形状は概ね 8 角形を成している．その解析パラメータは、表-1 のように与えた．最初に自重解析を行い、その後崩壊解析を行った．崩壊解析時の累積時間は、10 秒以内で運動が止まっている．これは、実際の崩壊実験とほぼ一緒である．一方一連の解析には 1 ケース 1 日強の時間がかかり、計算時間の短縮は課題である．

解析結果 (図-2) をみると、斜面上に赤い部分があるがこれは土塊として一体となり流下したことを示す．また、赤の周りに存在する黄色→黄緑部分は変位が小さくせん断層とみられる．斜面下方濃い緑は変位がごく小さく、前方土砂に乗り上げながら停止したと考えられる．以上より結果①～③が再現されている．

さらに、土層の動きを詳細にみるために、図 1-(a)にあるようなインデックス (黄, 白) を解析モデル粒子に設定 (カラー) し、その挙動を追跡した (図-3)．30° 斜面部分のインデックスを追うと、下部の粒子を残して引きずるよう土層内でせん断しながら土塊として崩壊しているのがわかる．また、10° 斜面では、土層上部が折れ曲がるように変形し乗り上げようとしてするのがわかる．ここまでをまとめると、実験で見られた①から③の挙動が再現され、実験と同様の傾向を示していることが明らかになった．

4. まとめ

以上の結果より、DDA により定性的に崩壊運動を説明できることがわかった．これらの結果を用いれば、崩壊土砂の到達範囲だけでなく、堆積分布、運動速度等がわかる．しかし通常の斜面崩壊では、水位が上昇し、間隙水圧の増加や、強度低下等により崩壊が発生するが、現在ではそのメカニズムが考慮されていない．今後、辺一角、辺一辺、角一角接触において、不飽和部分における粘着力の効果を DDA に導入し、またパラメータ決定手法についても検討を行う予定である．

参考文献

1) 陳光齊, 善功企, 吉田一光, 笠間清伸: 斜面災害のリスクアナリシスに関する一考察, 土と基礎, 51-10(549), 2003. 2) 酒井直樹, 福岡輝旗: 降雨による大型斜面模型の崩壊実験とその浸透挙動と地表面変位の関係, 第 43 回地盤工学研究発表会, 広島, 2008. 3) Shi, G. H. and Goodman, R. E., Discontinuous deformation analysis. Proc. of the 25th U.S. Symposium on Rock Mechanics, 269-277, 1984.

表-1 解析に用いたパラメータ一覧

区 分	パラメータ名	設定値
ブロックの材料物性	ヤング率	$7.5 \times 10^{10} \text{N/m}^2$
	ポアソン比	0.25
	密度	2650kg/m^3
	粘性係数	0.1kNs/m^4
粒子間の境界の強度	内部摩擦角, ϕ	45°
	粘着力, c	10kPa
	引張り強度	0N/m^2
	速度エネルギー比	0.1
ブロック間のバネ剛性	鉛直バネ剛性	$1.0 \times 10^7 \text{N/m}$
	せん断バネ剛性	$1.0 \times 10^7 \text{N/m}$

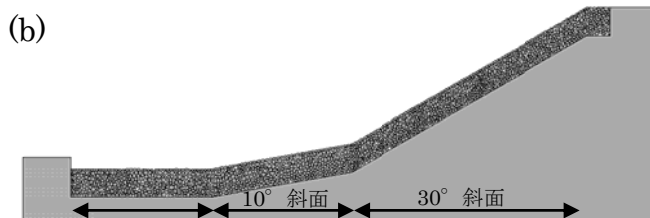
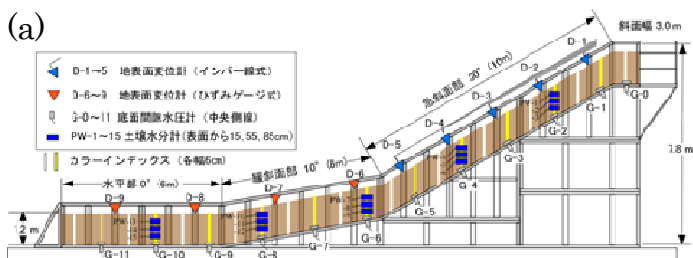


図-1 (a)模型斜面の断面図¹⁾ (b)解析モデル

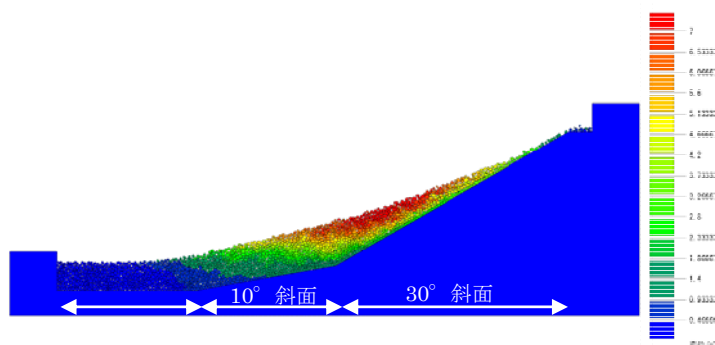


図-2 解析結果 (変位図 10s 後, 単位(m))

凡例は、暖色ほど変位量大きいことを示す。

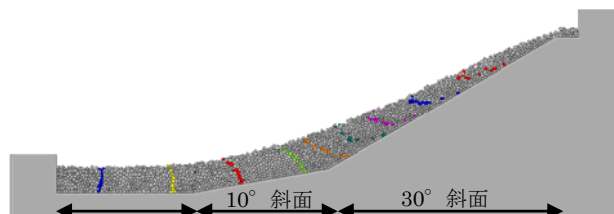


図-3 解析結果 (粒子別変位図, 7s 後)