

## 不連続変形法を用いた斜面崩壊による損失分析に関する一考察

九州大学大学院 学生会員 森山 崇 フェロー会員 善 功企  
正会員 陳 光斉 正会員 平松 浩三

## 1. はじめに

急峻な斜面を多く有する日本では、地震や集中豪雨に伴う斜面崩壊が毎年発生し、道路や構造物などの社会資産に甚大な被害を与えている。平成9年の日本全国危険斜面調査の結果によると、急傾斜地崩壊危険箇所は81,850ヶ所にのぼるといわれており、全ての危険斜面において対策を実施して、完全に安全な斜面にするためには、時間、技術、人力、経済的に大きな制約がある。したがって、各危険斜面のリスクを適切に評価し、それを優先的な対策斜面の選択基準や対策効果の評価指標とする土砂災害リスクマネジメントの有効実施が望まれている。

## 2. 内容

リスクアナリシスのフローを図-1に示す。リスクアナリシスは確率分析と損失分析に大別され、それらの積をリスク  $R = P_i \times C_i$  として算出する。斜面崩壊による損失分析において、損失の計算では、式(1)、(2)に示されるように斜面崩壊の損失の大きさ  $L$  が崩土の到達距離  $D_{max}$ 、衝突力  $F_{max}$  と比率するので、崩土の到達距離および衝突力の正確な予測が重要である。本文では、3種類の計算手法により、崩土の到達距離および衝突力の比較検討を行った。

$$L_1 = \int_0^{\infty} \left( -\frac{dP_D}{dD_{max}} \right) l(D_{max}) dD_{max} \quad (1)$$

$$L_2 = \int_0^{\infty} \left( -\frac{dP_D}{dF_{max}} \right) l(F_{max}) dF_{max} \quad (2)$$

ここで、 $P_D$ ：条件付崩壊確率、 $l(D_{max})$ 、 $l(F_{max})$ ：崩土の到達距離  $D_{max}$ 、衝突力  $F_{max}$  であるとき推定される損失。

## 2.1 経験式による推定

Scheidegger や森脇<sup>1)</sup>は、エネルギー保存則より、崩土の到達距離と崩壊土量との関係について、過去の災害実績に基づき、次の経験式を得ている。

$$\log \left( \frac{D_y}{D_x} \right) = k \log V + C \quad (3)$$

ここで、 $D_y$ 、 $D_x$ ：崩土の到達距離の鉛直成分と水平成分、 $V$ ：崩壊土量、 $k$ 、 $C$ ：災害実績により得られた経験式の定数である。従来から、崩土の到達距離の推定には、経験式(3)がよく用いられている。しかし、経験式(3)の定数  $k$  および  $C$  は既往の研究によって、また崩壊場所によって得られた値が大きく異なっている。崩土の到達距離を崩壊土量だけに関連つけているが、斜面形状や地盤条件等は直接的には考慮されておらず、さらに、式(3)では、崩土の衝突力の推定ができず、損失の計算式としては、実用的ではないと考えられる。

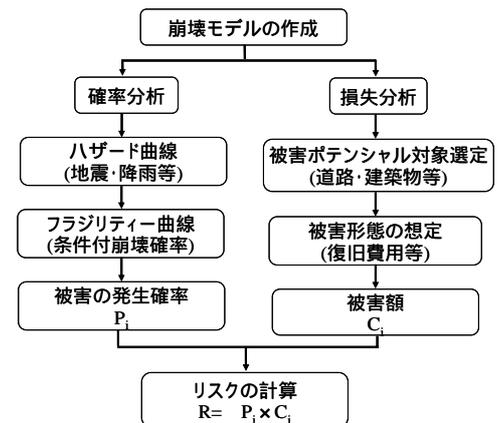


図-1 リスクアナリシスの流れ

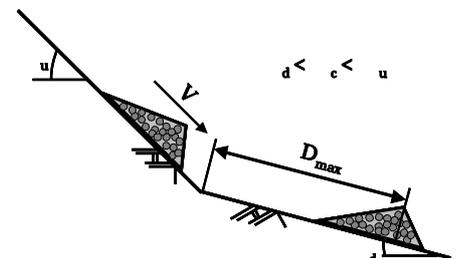


図-2 土塊の滑動モデル

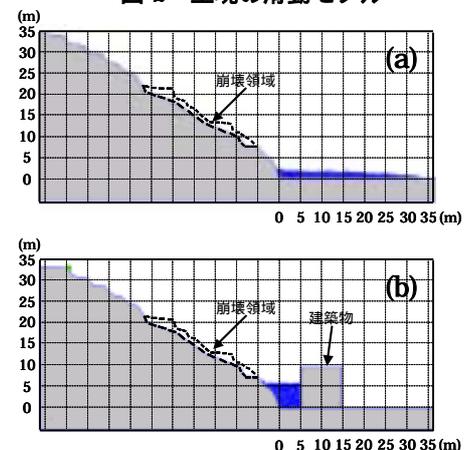


図-3 DDA解析の一例

キーワード 不連続変形法, 斜面崩壊, 到達距離, 衝突力, リスクマネジメント

連絡先 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学大学院防災地盤工学研究室 TEL 092-642-4399

## 2.2 運動方程式による推定

芦田ら<sup>2)</sup>は、式(4)に示す崩土の運動方程式を提案している。

$$\frac{d}{dt}(\rho_m AV) = \rho_m Ag \sin \theta - \rho_c g (G-1) Ag \cos \theta \tan \phi - \rho_m^l f_b V^2 \quad (4)$$

ここに、 $\rho_m = \rho((G-1)c_g + 1)$   $A$  : 三角土塊の面積、 $L_m$  : 三角土塊の底辺の長さ、 $\rho$  : 水の密度である。式(4)を面積  $A$  および密度  $m$  が変化しない条件で、図-2 に示す斜面モデルに適用し、停止点における速度をゼロとすると崩土の到達距離が計算できる。また、運動量保存則を用いることにより、崩土の衝突力の計算が可能であり、「土砂災害防止法」<sup>3)</sup>による危険区域指定において、この手法が用いられている。崩土が移動中に見かけの密度の変化等を考慮しないとの前提条件で得られた解析解であるため、そのモデルと前提条件が必ずしも現実と合うわけではなく、流体抵抗係数の推定が困難であるが、比較的容易に崩土の到達距離および衝突力の推定が可能である

## 2.3 不連続変形法(DDA)<sup>4)</sup>による推定

DDA は、未知数として、ひずみと剛体変位を用い、有限要素でのマトリックス構造解析と同様、連立方程式を解くものである。DDA による斜面崩壊シミュレーションにより、斜面の細部形状や崩土の変形、移動中の土石間のエネルギー損失等を考慮でき、比較的精度よく崩土の到達距離および衝突力の推定が可能である。

## 2.4 計算例による比較

図-3(a), (b)に DDA 解析により得られた、崩壊土砂の堆積の様子の一列を示す。異なる内部摩擦角に応じて、DDA より得られた最大到達距離を図-4 に示す。流体抵抗係数  $f_b=0.025$  の時、運動方程式による計算結果と DDA による解析結果がほぼ一致し、パラメータをうまく設定すれば、運動方程式により、崩土の最大到達距離の推定が可能であるといえる。また、建築物に作用する崩土の衝突力を算定するために、斜面下端から 5m の位置に、ブロックを設置して、ブロックに作用する衝突力の経時変化を見た。ここで、ブロックに作用する衝突力を、接触高さおよび単位時間当たりの平均をとって、応力の次元で評価した。結果を図-5 に示す。運動方程式の方が DDA による計算結果よりも衝突力で 1.16 倍過大な値となった。衝突力の評価法については、十分であるとは言い難く、今後検証していくことが課題である。

## 3. おわりに

- 1) リスクアナリシスにおいて、経験式による損失分析は実用的でない。DDA 解析を用いて、到達距離の計算に用いるパラメータを適切に設定すれば、運動方程式により精度よく到達距離の推定が可能であり、両者を組み合わせることが提案される。
- 2) 崩土の衝突力については、接触時間および接触面積を適切に評価する必要があり、検証する必要がある。
- 3) 本文では、損失分析の一部である崩土の到達距離および衝突力の検討を行ったが、今後、確率分析も含めたリスクの計算・評価をしていくことが課題である。

### 《参考文献》

- 1) 森脇寛：崩土の到達距離予測，地すべり，Vol.24, No.2, pp.10~15, 1987
- 2) 芦田・江頭他：斜面における土塊の滑動・停止機構に関する研究，京大防災研究所年報，第 27 号 B-2, pp331-340, 1984
- 3) 土砂災害防止法令の解説，(社)全国治水砂防協会，2003
- 4) 陳光齊：不連続変形法及び土木工学への適用，九州計算力学シンポジウム，pp46-55, 2003

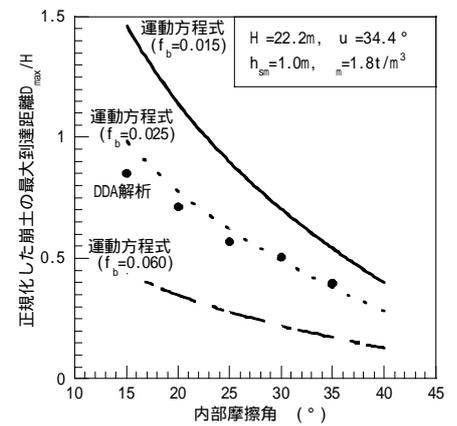


図-4 崩土の到達距離の比較

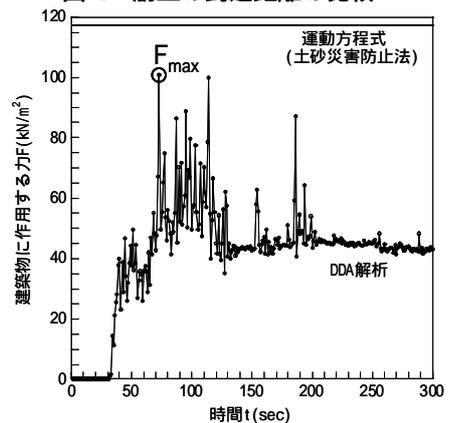


図-5 崩土の衝突力の比較