

LiDAR データを用いた崩壊土砂の滑動距離推定と地形の影響に関する考察

土木研究所 正会員 ○泉山 寛明
 土木研究所 正会員 清水 武志
 国土交通省 近畿地方整備局 六甲砂防事務所 正会員 石塚 忠範

1. はじめに

斜面崩壊起因の崩壊土砂が滑動した際、平野部に到達する前に斜面上や河道で停止する場合がある。このような土砂は後の豪雨などで再び土砂移動現象を起こしうするため、崩壊土砂が停止する地点を推定することは土石流氾濫計算の境界条件設定、あるいは土砂災害の発生しうる範囲を推定・評価する上で重要と考えられる。芦田ら(1984)は運動量保存則から解析的に崩壊土砂の到達範囲を推定する手法を提案している。この手法は土塊の内部構造十分に破壊しない場合でも滑動距離を合理的に推定できる点に特徴がある。ただし芦田ら(1984)が対象としているのは飽和した土塊の滑動であり、飽和-不飽和領域が存在しうる土砂の滑動を厳密には評価することができない。また、実際の河道は大きく湾曲している場合があり、河岸に衝突することで運動エネルギーが消費されることも考慮する必要がある。そこで本研究では不飽和領域の存在を考慮し、斜面崩壊起因の土砂の滑動を評価できるようなモデルを提案する。その上で、H21(2009年)7月の豪雨で多数の土砂災害が発生した防府市周辺のLiDARデータから作成した1m水平解像度の地形データ(以下、DEM; 土木研究所ら, 2012)を用いてモデルの妥当性を検討した。

2. 斜面崩壊起因の土砂の滑動距離推定方法

2.1 崩壊発生時の地下水面および崩壊土砂の滑動速度と滑動距離の算定

斜面は無限長斜面を仮定し、岩盤面が斜面に平行に存在してその上に高さ h_f の土層が存在すると仮定する(図-1)。地下水面が降雨により上昇して高さ βh_f ($\beta \leq 1$) の時に崩壊すると仮定したときの力の釣合、その後の滑動時の力の釣合はそれぞれ式(1)、(2)で表される:

$$0 = (\rho_f \beta + \rho_u(1-\beta))h_f l_f g \sin \theta_u - \mu_s (\rho'_f \beta + \rho_u(1-\beta))h_f l_f g \cos \theta_u - c l_f \tag{1}$$

$$\frac{d}{dt} \{ (\rho_f \beta + \rho_u(1-\beta))h_f l_f u_f \} = (\rho_f \beta + \rho_u(1-\beta))h_f l_f g \sin \theta - \mu_k (\rho'_f \beta + \rho_u(1-\beta))h_f l_f g \cos \theta - \rho'_f f_g l_f u_f^2 \tag{2}$$

ここに、 ρ_f : 湿潤単位堆積重量 ($= (1-\lambda)\rho_s + \lambda\rho$)、 ρ'_f : 有効単位堆積重量 ($= (1-\lambda)\rho_s + \lambda\rho$)、 ρ_u : 飽和単位堆積重量 ($= (1-\lambda)\rho_s + S\lambda\rho$)、 λ : 間隙率、 ρ_s : 土の単位堆積重量、 ρ : 水の単位堆積重量、 S : 飽和度、 l_f : 土塊の長さ、 c : 粘着力、 g : 重力加速度、 θ_u : 斜面崩壊発生箇所の勾配、 θ : 土塊の滑動する斜面の勾配、 μ_s : 静摩擦係数 ($= \tan \phi$)、 μ_k : 動摩擦係数、 ϕ : 内部摩擦角、 f_g : 流体抵抗係数、 u_f : 土塊の滑動速度、 t : 時間である。式(2)を解けば時間 t の関数として u_f 、滑動距離 x_f が得られる(芦田ら, 1984)。なお、 c ($= 4.4 \text{ kN/m}^2$)、 ϕ ($= 34^\circ$) は今泉ら(2009)が整理したデータを参考に設定した。

2.2 崩壊土砂の停止位置の算定

式(2)で $u_f = 0$ と置けば、減速して停止しうる斜面の勾配 θ_d 、停止位置 x'_f が算定できる。詳細は芦田ら(1984)の原論文を参照されたい。なお、土砂の堆積域は、 x'_f を崩壊土砂の重心点の位置として算出していることから、勾配が θ_d となる地点から堆積が開始すると仮定して $2x'_f$ の範囲とした。

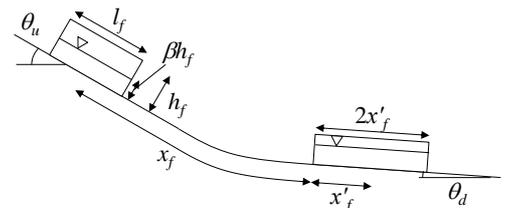


図-1 モデルの概念図

2.3 崩壊発生から土塊の停止位置までの距離の算定

斜面崩壊発生により発生した土砂が滑動し、停止するまでの距離

キーワード 斜面崩壊, 地形, 滑動, 平成 21 年山口県防府災害, LiDAR

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 土木研究所 火山・土石流チーム TEL029-879-6785

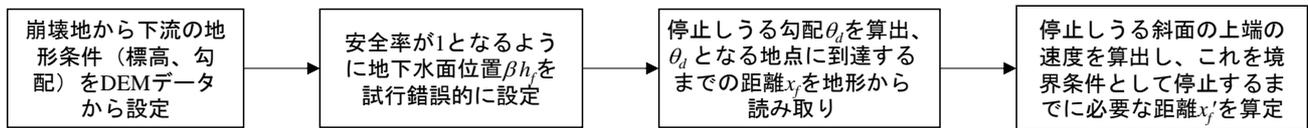


図-2 崩壊土砂の滑動距離推定フロー

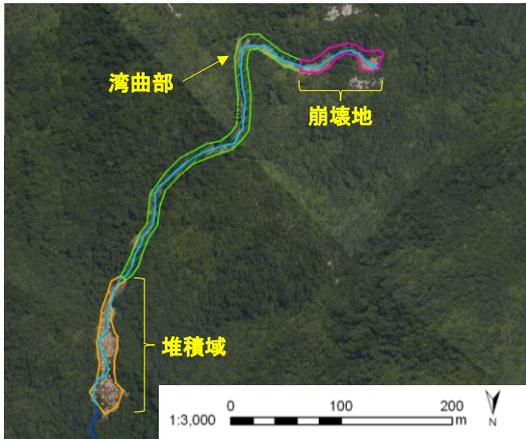


図-3 H21 防府災害における土砂移動現象

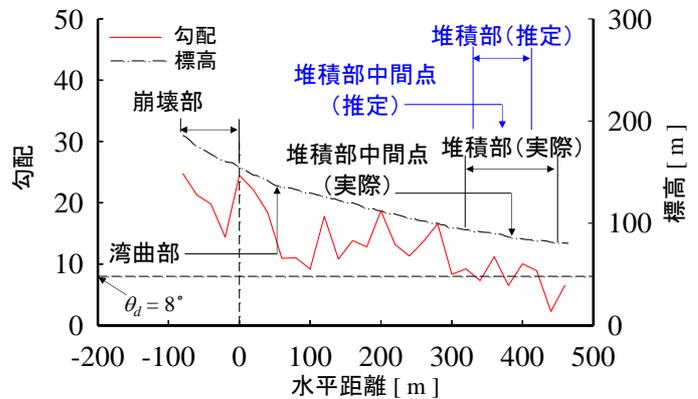


図-4 崩壊土砂の移動距離の実測値と推定値の関係

($x_f + x'_f$)の算定フローを図-2に示す。崩壊の発生する斜面から停止する斜面まで勾配は徐々に変化し、それとともに u_f も勾配変化点で変化する。ただし勾配変化点における勾配変化量が 10° 以下であれば u_f の変化量は小さく無視できると仮定した。つまり、勾配が θ_1 から θ_2 ($\theta_1 > \theta_2$)に変化した場合に式(3)が成立するとした：

$$u_{f2} = u_{f1} \cos(\theta_1 - \theta_2) \approx u_{f1} \quad (3)$$

ここに、 u_{f1} ：勾配変化点直上流での滑動速度、 u_{f2} ：勾配変化点直下流での滑動速度である。また、1 m DEMでは地形の詳細な変化を捉えているために勾配の変化が大きく、 θ_d となる地点が決定しがたい。本研究では崩壊土砂の堆積域の上端付近で θ_d となる地点が決定できればよいと考え、1、5、10、20、40 mごとに勾配の平均値を算出し、崩壊斜面下端からの水平距離との関係図を作成した。これとH21防府災害での崩壊土砂の堆積域とを比較した結果、20 m平均値を用いるのが妥当と判断された。また河道が90度以上湾曲しているような箇所では河岸に崩壊土砂が衝突し、運動エネルギーが消費されることが考えられる。そこでH21防府災害での事例から1事例(図-3)を取り上げ、湾曲部で u_f が0になると仮定したときの最終的な滑動距離を推定した。

3. 結果および考察

図-4はH21災害時に崩壊が発生した溪流(図-3)の縦断形状、斜面勾配、崩壊土砂の滑動距離と堆積域の実績および推定結果である。 f_g は崩壊土砂の堆積形状からあまり流動化が進んでいないと判断して0.2とし(芦田ら, 1984)、 μ_k は芦田ら(1984)が粗度を有する斜面について行った実験で得た値の平均値を用いて $0.78\mu_k$ と仮定した。図-4を見ると、滑動距離、堆積域の推定値は実測値と概ね近い値となっており、推定方法は妥当であると判断できる。なお、湾曲部を考慮せずに同様の計算を行ったところ結果としては同じであった。これは勾配が θ_d となった点において、両者ともに運動が定常状態となっており、 u_f が両者で等しくなったためである。

4. おわりに

本研究ではLiDARデータから作成した地形データを用いて斜面崩壊起因の崩壊土砂が滑動してから溪流の中流で停止するまでの距離推定を試行した。その結果、適切に計測した斜面勾配を用いれば概ね妥当な結果が得られる可能性の高いことが分かった。ただし、湾曲部の与える影響については十分に検討することができなかった。今後は他の発生事例や実験等と比較検討し、モデルの妥当性を確認することを考えている。

参考文献

- 1) 芦田ら：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, 第27号B-2, pp.1-10, 1984
- 2) 土木研究所ら：平成23年度 崩壊土砂流下実態の基礎資料整理業務 報告書, 2012
- 3) 今泉ら：表層崩壊の無次元発生支配パラメータ, 砂防学会誌, Vol.62(2), pp. 13-20, 2009