

表層崩壊に起因する土石流発生危険度評価手法の検討

土木研究所 ○内田太郎、盛 伸行、田村圭司、寺田秀樹
 国土交通省四国地方整備局四国山地砂防事務所 石塚忠範
 日本工営 高橋 秀
 国土交通省 亀江幸二

1. はじめに

土石流のうち、山腹の表層崩壊が土石流化するタイプの発生予測・危険度評価については、浸透流解析と斜面安定解析を組み合わせた物理モデルを用い、予測できる可能性がある。一般に物理モデルは、降雨条件、地形情報、土層厚、土質強度（内部摩擦角、粘着力）、土の水理特性（水分特性曲線、透水係数）を入力条件として、斜面の安全率を出力するものである。入力条件のうち、降雨条件、地形情報は比較的容易に手に入るものの、土層厚、土質強度、土の水理特性は広域で面的に情報をえることは現時点では多大な労力を必要とし、現実的ではない。一方、土層厚、土質強度、土の水理特性を確率的に評価できれば、少なくとも、崩壊発生確率を推定することができる可能性が考えられる。仮に、斜面ごとの崩壊発生確率が算出された場合、崩壊発生確率が高い斜面が多い溪流が土石流発生危険度の高い溪流と評価すれば、溪流単位の土石流発生危険度が求まることになる。そこで、本研究では、土層厚、土質強度、土の水理特性など地下の情報を確率的に与え、斜面崩壊確率を算出し、斜面崩壊確率に基づき、土石流発生危険度を評価する手法について検討する。

2. 方法

2.1 モンテカルロシミュレーション

本研究では、メッシュごとに、ある降雨条件下において、土層厚、土質強度、土の水理特性を確率的に与え、当該降雨条件下において、安全率が1以下となる確率を、「崩壊確率」として算出した。地下の情報を確率的に与えるにあたっては、以下の式を用いた。

$$C = C\mu + C\sigma \times rd$$

ここで、 C はあるパラメータとし、 $C\mu$ はパラメータ C の平均値、 $C\sigma$ はパラメータ C の標準偏差、 rd はモンテカルロシミュレーションで発生する正規乱数である。正規乱数の発生には、Box-Mullerの方法（三根、1994）を用いた。シミュレーション回数は10000回とした。

2.2 安全率の算出手法

安全率の算出にあたっては、土層内の間隙水圧を算出する必要があり、平松ら(1990)などは、飽和—不飽和浸透流解析により算出する方法を提案している。この手法は、実現象を忠実に再現しているが、同種の計算に依然として膨大な時間を要するという問題があり、数多くのシミュレーション回数を計算するには多大な時間を要する。一方、斜面崩壊が発生するような豪雨時は土層が極めて湿潤な状態にあり、土層内の含水率変化が小さいことが予想され、Montgomery and Dietrich(1994)などは、土層内の間隙水圧が定常状態に達した状態を想定し、安全率を算出し、表層崩壊箇所をある程度再現できる可能性を示した。そこで、本研究においても、安全率の算出にあたっては、土層内の間隙水圧は定常状態に達した状態を仮定し、以下の式で算出した。

$$Fs(t) = \frac{c + (\gamma \cos I - \gamma_w \frac{Ar}{K_s \tan I}) \cos^2 I \cdot \tan \phi}{\gamma \cos I \cdot \sin I}$$

ここで、 c は粘着力、 A は集水面積、 r は降雨強度、 K_s は飽和透水係数、 I は斜面勾配、 ϕ は土の内部摩擦角、 h は土層厚、 γ 、 γ_w は土層及び水の単位重量とする。これにより、地下の情報に関するパラメータは、①土層厚、②粘着力、③土の内部摩擦角、④飽和透水係数の4つとなる。また、定常状態を仮定したことにより、飽和—不飽和の浸透流解析が不要となるため、多ケースのシミュレーションが比較的短時間で可能となる。

2.3 検討実施地域

検討対象は、愛媛県新居浜市多喜浜地区の面積3.22km²の地域である(図1)。同地区は新居浜市の背後に広がる標高300m未満の丘

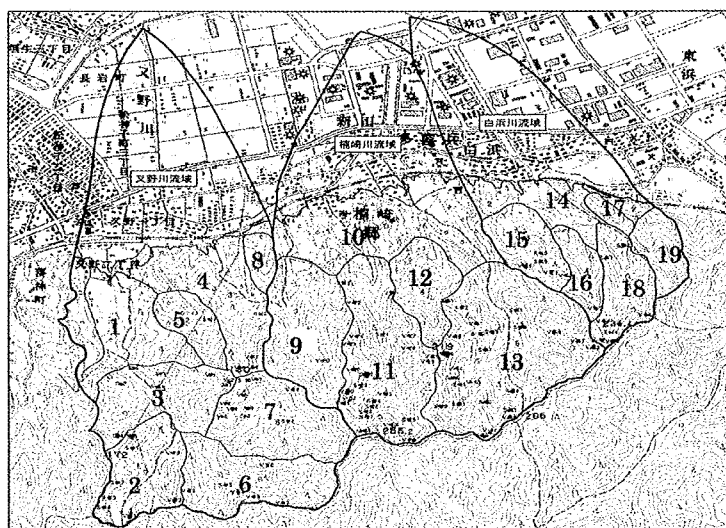


図1 検討対象地域

陵性の山地であり、和泉層群の砂岩、泥岩からなる。同地域は2004年の台風15号と21号により、表層崩壊や土石流が多発した。検討対象地域内では108個の表層崩壊が発生した。

2.4 パラメータの設定

土層厚は図1中の流域13の崩壊地周辺で25点土研式簡易貫入試験を実施し、平均値、標準偏差を求めた。また、粘着力、土の内部摩擦角については、貫入抵抗値と粒度分布より、粘着力および土の内部摩擦角が推定できる若月ら(2007)が提案した式により、貫入試験結果と粒度分布の測定結果より平均値及び標準偏差を算出した。さらに、飽和透水係数については、ここでは、六甲山地において大型サンプルを用い、測定したHedorayanto(1999)のデータを参考に平均値及び標準偏差を設定した。なお、算出結果、いずれのパラメータとも正規分布よりも、対数正規分布に近い分布形を示したため、正規乱数の発生にあたっては、対数値を用いた。

2.5 地形量の算出

ここではレーザープロファイラーによる地形データを用いて、10mメッシュで勾配、集水面積を算出した。算出には、D-Infinity Flow Direction法(Tarboton, 1997)を用いた。

3. 計算結果

3.1 溪流ごとの危険度算出

対象地域を図1に示すように0.04~0.46km²の19の溪流に分割した。その上で、溪流ごとの危険度を「崩壊危険面積(α)」として、以下の式で算出した。

$$\alpha = \sum_{i=1}^n a_i p_i$$

ここで、 a は各メッシュの面積(=100m²)、 p はメッシュ i の崩壊確率(10000回の計算で安全率1以下になる確率)、 n は溪流内のメッシュ数である。降雨強度を50mm/hにした場合の溪流ごとの崩壊危険面積の算出結果と実際に2004年の台風で発生した崩壊地数の関係を図2に示した。図に示したように、溪流単位で見た場合、崩壊危険面積と崩壊地数の相関は高く、崩壊危険面積は溪流単位の表層崩壊発生危険度をよく表しているといえる。

また、図3には、単位面積(1km²)あたりの崩壊危険面積(以下、崩壊危険面積率)と2004年に発生した崩壊地数(以下、崩壊地密度)の関係を示した。崩壊危険面積率が大きいにもかかわらず、崩壊地密度が小さい溪流はあるものの、崩壊地密度が高かった溪流は、崩壊危険面積率も大きく、斜面崩壊が多発する溪流は概ね抽出できていた。

3.2 メッシュごとの危険度算出

次に、メッシュ単位で見た場合の危険度評価の可能性について検討する目的で、崩壊確率別の出現頻度を対象地域の全メッシュと崩壊地メッシュについて図4に示した。図4に示したように、崩壊確率が大きくなるに従い、崩壊地メッシュの出現頻度が全メッシュの出現頻度を上回るようになり、メッシュ単位で見た場合においても、本手法でもとめた崩壊確率はある程度相対的な斜面崩壊危険度を表しているといえよう。

4 まとめ

簡易な物理モデルとパラメータの確率分布を用いて、溪流単位で表層崩壊の発生危険度の評価を試みたところ、概ね良い再現性が見られた。また、今回対象とした3.22km²をパソコン(Intel Core™2 CPU 2.40GHz)を用いて計算するに要した時間は、勾配・集水面積の算出に約2時間、その後の崩壊確率の算出は15分程度であった。今後は、勾配・集水面積の算出手法の改良、パラメータの設定手法及び汎用性に関する検討を行い、より実用性を高めていく予定である。

参考文献：三根(1994)現代応用数学講座4、40-48、コロナ社／平松ら(1990)砂防学会誌43(1)、5-15／Motoomery, DR., and WE. Dietrich(1994) Water Resour. Res. 30, 1153-1171／若月ら(2007)砂防学会誌59(6)、38-46／Hendrayanto(1999) Ph.D. Thesis, Kyoto Univ.／Tarboton DG. (1997) Water Resources Research, 33, 309-319

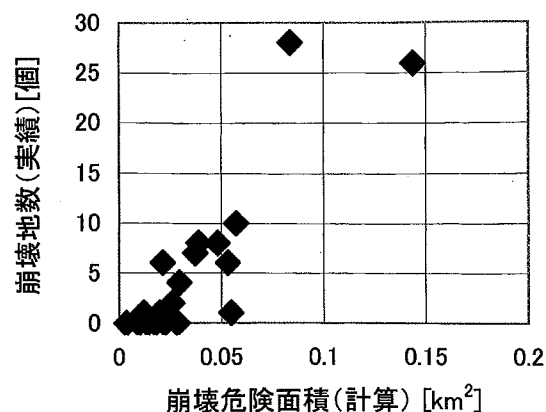


図2 溪流単位の崩壊危険面積と崩壊地数の関係

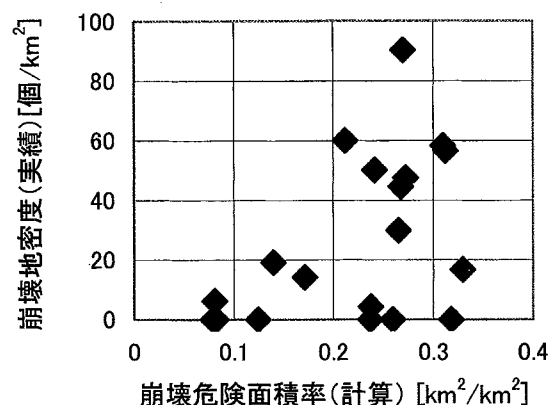


図3 溪流単位の崩壊危険面積率と崩壊地密度

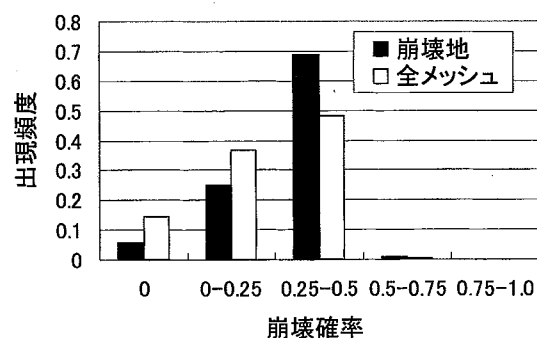


図4 崩壊確率の出現頻度