

表層崩壊危険度評価手法を用いた流域スケール生産土砂量の推定

(株)東京建設コンサルタント 秋山 浩一
 国土技術政策総合研究所 内田 太郎
 (独)土木研究所 つくば中央研究所 石塚 忠範
 (独)土木研究所 寒地土木研究所 村上泰啓

1. はじめに

土砂生産過程のうち、斜面崩壊が果たす役割は大きい。これまで、斜面崩壊に関する数値モデルが構築され、斜面崩壊の危険度評価が行われてきた。しかし、これまでの物理モデルを用いた研究の大半は、斜面崩壊の危険度を評価したもので、生産土砂量の推定に活用した事例は少ない。

また、物理モデルは、対象領域の降雨条件、地形情報、土層厚、土質強度などの多数の入力条件の設定が必要となる。降雨条件や地形情報は比較的容易に入手できるが、土層厚、土質強度や土の水利特性に関する入力データを広域で面的に入手することは困難である。

これに対し、内田ら(2009)は、実測結果に基づき、対象地域の土層厚、土質強度、土の水利特性を確率的に評価することで、地下情報のある程度取り入れた崩壊発生確率を推定できることを示した。そこで、本研究では、表層崩壊危険度評価モデルと土層厚の確率分布データを用いて、流域スケールの生産土砂量の推定を行った。

2. 方法

2.1 モデル

表層崩壊危険度評価モデルは、内田ら(2009)に示す C-SLIDER 法とした。斜面安全率の算出は、土層内の間隙水圧は定常状態に達した状態を仮定した式 1 で算出した。

$$F_s(t) = \frac{c + \left(\gamma h(I) \cos^2 I - \frac{rA\gamma_w}{K_s \tan I} \right) \tan \phi}{\gamma h(I) \cos I \cdot \sin I} \quad \text{式 1}$$

ここで、 c は粘着力[kN/m²]、 γ は土の単位体積重量[kN/m³]、 γ_w は水の単位体積重量[kN/m³]、 h は土層厚[m]、 r は降雨強度 [mm/h]、 I は基岩面勾配[°]、 ϕ は内部摩擦角[°]、 A は単位等高線長さあたりの集水面積[m²/m]、 K_s は透水係数である。また、土層厚に関しては、測量データをもとに、勾配と土層厚の平均値、90% 値をそれぞれ線形近似し、斜面勾配から式 2 より確率的に土層厚を与えた。

$$h(I) = h_m(I) + h_{stdev}(I) \times rd \quad \text{式 2}$$

$h_m(I)$ 、 $h_{stdev}(I)$ は斜面勾配 I の土層厚の平均値及び標準偏差、 rd は正規乱数である。正規乱数の発生には、Box-Muller 法を用いた。確率計算の回数は 100 回とし、土層厚以外の入力条件は降雨強度も含めて固定した。

2.2 検討対象地域

検討対象地域は図 - 1 に示す北海道沙流川水系の支川宿主別川、総主別川および貫気別川の支渓（貫気別

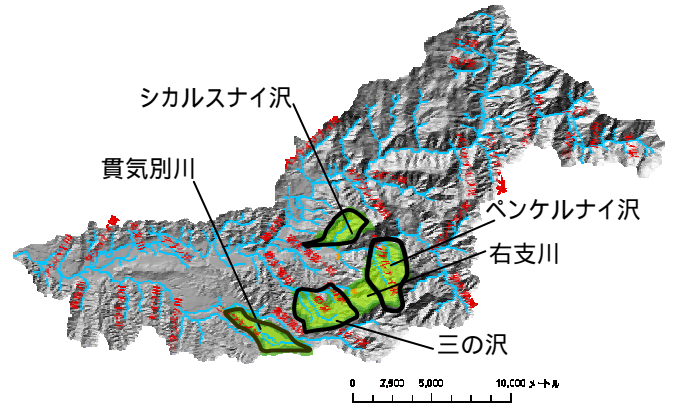


図-1 検討対象地域

川、三の沢、シカルスナイ沢、右支川、ペンケルナイ沢)を含む近傍の 5 地区とした。同地域の地質は、堆積岩類、付加体からなる。5 地区の検討対象面積は貫気別川で 4.85、三の沢で 5.93、シカルスナイ沢で 2.19、右支川で 2.40、ペンケルナイ沢で 6.75km² である。2003 年 8 月台風 10 号(最大日雨量 358mm、1 時間最大雨量 76mm 旭観測所)では、表層崩壊が貫気別川で 39、三の沢で 153、シカルスナイ沢で 99、右支川で 80、ペンケルナイ沢で 143 箇所発生した。

2.3 パラメータの設定

土層厚は、SH 貫入試験を計 1,810 点実施し設定した。また、内田ら(2009)に従い、各計測点の N_d 値が 20 より上部の厚さを土層厚と設定した。ある勾配における土層厚の確率分布は、対数正規分布で近似した。

土質強度は、秋山ら(2010)で示した地形及び土層厚から粘着力を逆推定する手法を併用した。本研究では、内部摩擦角を 35° と仮定し、少なくとも、不飽和時には、安全率が 1 以下になることはないと考え、全ての地点で地下水位が 0 cm の状態で安全率が 1 を切らない範囲の最小の粘着力を算出し用いた。用いた粘着力は、貫気別川 8.5kN/m²、三の沢 9.4 kN/m²、シカルスナイ沢 9.4 kN/m²、右支川 11.5 kN/m²、ペンケルナイ沢 13.0 kN/m² である。

2.4 崩壊確率・崩壊面積率の算定

設定した土層厚や土質定数をもとに式 1、式 2 より土層厚を確率的に与えて安全率を算定した。計算は 10 × 10m のメッシュを用いて、メッシュ単位で安全率を算出した。計算に用いた降雨強度は、2003 年 8 月豪雨で崩壊が発生したと考えられる時間 30mm/h (長谷川ら、2004)とした。また、計算結果のうち、安全率が 1 以下になる確率を各メッシュの崩壊確率として算出

した。

各メッシュの崩壊確率を用いて、溪流単位で崩壊危険面積率の算出を行った。ここで溪流は概ね集水面積 5ha 程度の溪流とし、検討対象地域を溪流に分割した。溪流数は、貫気別川で 47、三の沢で 59、シカルスナイ沢で 36、右支川で 25、ペンケルナイ沢で 75 となった。溪流ごとの危険度を表す指標として、崩壊危険面積 (α) 及び崩壊危険面積率 (α/A) を式 3、式 4 でそれぞれ算出した。

$$\alpha = \sum_{i=1}^n ap_i \quad \text{式 3}$$

$$\alpha/A = \sum_{i=1}^n ap_i/A \quad \text{式 4}$$

ここで、 a はメッシュの面積 (= 100m²)、 p はメッシュ i の崩壊確率、 n は溪流内のメッシュ数、 A は溪流の面積である。

2.5 生産土砂量の推定

各メッシュの崩壊危険面積に平均土層厚を乗じて生産土砂量を推定した。一方、2003 年 8 月豪雨における実績の崩壊土砂量を長谷川ら (2004) が現場で計測した各地質の崩壊深に写真判読から求めた崩壊地面積を乗じて算出した。なお、長谷川ら (2004) が計測した崩壊深は堆積岩類の崩壊深は 1.93m、付加帯の崩壊深は 2.41 である。

3. 結果

3.1 崩壊危険面積および崩壊危険面積率

崩壊確率が 0 より大きく崩壊のおそれのあるメシ

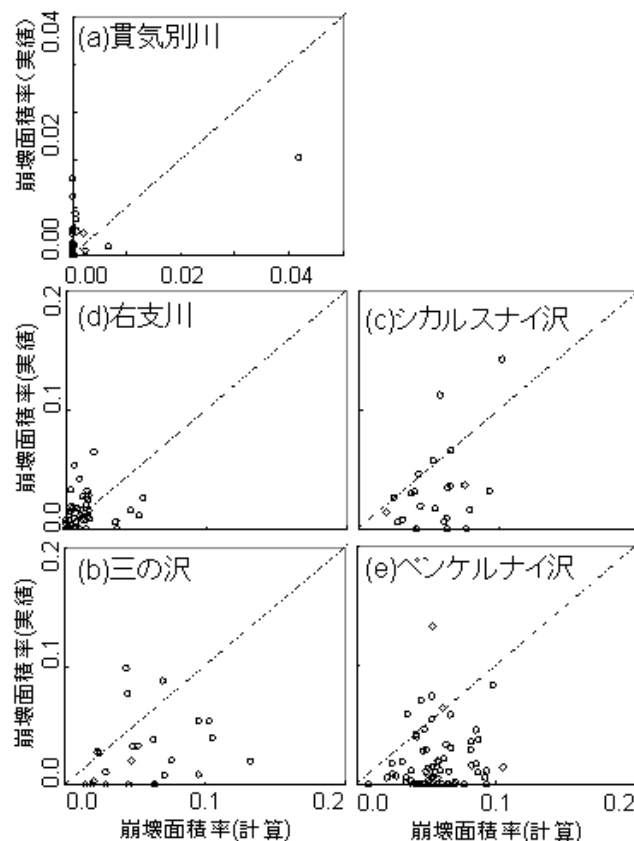


図-2 崩壊面積率の比較

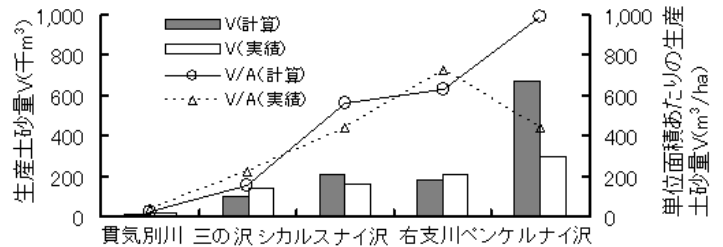


図-3 生産土砂量の比較

ユの割合は、貫気別川 0.5%、三の沢 10.8%、シカルスナイ沢 34.3%、右支川 54.8%、ペンケルナイ沢 45.9% となった。

算出した崩壊危険面積率と実績の崩壊面積率との関係を図-2 に示した。また、算出した崩壊危険面積率と実績の崩壊面積率の順位相関係数を算出した。順位相関係数は、貫気別川 0.47、三の沢 0.50、シカルスナイ沢 0.31、右支川 0.32、ペンケルナイ沢 0.11 となり、ペンケルナイ沢を除き、順位相関係数は比較的高く、ある程度、溪流単位の相対的な崩壊面積の大小を予測できたと言えよう。図-2 より、計算で求めた崩壊危険面積率は実績の崩壊面積率と同オーダーであり、崩壊面積の絶対値もある程度、予測できることがわかった。

3.2 生産土砂量

計算で求めた単位面積あたりの生産土砂量は、貫気別川で 24.7、三の沢で 154.8、シカルスナイ沢で 564.6、右支川で 635.2、ペンケルナイ沢で 996.4m³/ha となった。ペンケルナイ沢においては、計算値が実績値を大きく回ってはいるが、他の地域では実績値と非常に近い値であった。

4. 結論

本研究では、広域に適用可能な溪流単位の危険度評価手法である C-SLIDER 法を北海道沙流川水系の 5 地域に適用した。入力データには、実測に基づき推定した土層厚の確率分布を与えた。

各溪流の崩壊危険面積率を算定した結果、溪流間の相対的な崩壊発生危険度および崩壊面積をある程度、推定できることがわかった。さらに、崩壊危険面積に平均土層厚を乗じて生産土砂量を算出した結果、計算結果は実績の崩壊土量を概ね再現していた。すなわち、土層厚空間分布の不確実性を考慮した生産土砂量の算出方法が有効であるといえる。

参考文献

- 1) 内田ら, 場の条件の設定手法が表層崩壊発生箇所の予測に及ぼす影響, 砂防学会誌, Vol.61, No.1, 23-31, 2009.
- 2) 精度空間情報を用いた表層崩壊発生危険度評価手法に関する研究, 土研所報, 47-61, 2010.
- 3) 秋山ら, 内田 太郎・田村 圭司, 物理モデルに基づく表層崩壊発生危険度評価に及ぼす地質の影響, 平成 22 年度砂防学会研究発表会概要集
- 4) 長谷川ら, 平成 15 年台風 10 号北海道豪雨災害調査報告書, 2004