

18 土石流の発生危険度評価に関する研究

広島県土木建築部砂防課 高橋 秀彰
広島大学総合科学部 栄木 省二
(財)砂防地すべり・技術センター 宮本 邦明
(株)新日本技術コンサルタント 大槻 英樹
アジア航測(株) 小川 恒一

1. はじめに

広島県は広くマサ土が分布しており地形が急峻で、数多くの土石流危険渓流が存在し(3,674箇所)土砂災害を起こしやすい(土石流危険渓流のうち最も危険度が高いとされるAランクの危険渓流が85%強の3,144渓流ある)といえる。それだけに、土石流対策の早急な整備が望まれるが、その際、より細かい危険度評価が得られれば、対策の実施計画の検討や優先順位の検討の際の参考資料として非常に有用なものとなろう。

本研究は、このような観点にたって広島県に広く分布するマサ土地帯における土石流の発生危険度の評価手法について検討したものである。

本検討を行うにあたって以下のことを念頭においている。

- (1)数多くの土石流危険渓流を対象としなければならないため、調査をなるべく簡素化する。そのため危険度評価は地形条件を主として解析することにより行う。
- (2)危険度は、もし、同一の降雨があった場合、土石流危険渓流間の相対的な危険度として評価する。
- (3)危険度評価の対象とする土石流は、マサ土地域に代表的な、斜面の表層崩壊により生じた土塊が流動化することにより発生する土石流とする。

2. 土石流の発生モデルと危険度の評価

図.1は、土石流の発生のプロセスを模式的に示したものである。土石流は、

- (1)斜面における表層崩壊の発生
 - (2)崩壊土塊の河道への到達と停止
 - (3)河道に停止・堆積した崩壊土塊の流動化(土石流化)
- といったプロセスで発生する。

このプロセスで発生する土石流の発生危険度は、

- (1)表層崩壊の発生危険度。
- (2)崩壊土塊の流動化の危険度。

の組合で評価することができる。

表層崩壊の発生危険度と、土塊の流動化の危険度とは危険度として独立である。従って、土石流の発生危険度は、崩壊の発生の危険度と土塊の流動化の危険度との積で評価されなければならない。

表層崩壊の発生危険度は斜面の状況により定まり、河道における土塊の流動化の危険度は、土塊が停止・堆積した地点の勾配とその地点における流量により決定される。

そこで、図.1のように河道を渓床勾配で区分して、斜面をそれぞれの区間河道に対して河道に接し

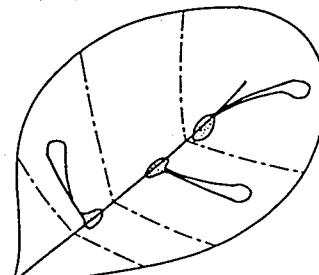


図.1

た斜面に分割する。分割されたそれぞれの区間河道の土塊の流動化の危険度と、その河道に接続する斜面の崩壊危険度を求める。今、 i_k 個に分割した河道のそれぞれの区間における流動化危険度を $M(i_k)$ 、それぞれの区間河道に接続する斜面における崩壊危険度を $F(i_k)$ とすると、対象としている土石流危険渓流の土石流発生危険度示標Dが、次式で得られる。

$$D = \sum_{i_k} M(i_k) \cdot F(i_k) \quad (1)$$

3. 崩壊発生危険度

表層崩壊は、作用外力（重力）が抵抗力を上回ることにより発生する。作用外力の大小は斜面勾配に依存し、その変化や抵抗力の変化は集水性に依存する。そこで、斜面を、斜面勾配 θ と尾根線からの距離 L （斜面の集水域を一次元で近似したときの集水性の代表パラメータ）の組み合わせで分割し、それぞれの区分された斜面における崩壊危険度を評価する。崩壊危険度は、単位面積当たりの崩壊個数として評価する。すなわち、崩壊危険度は、斜面勾配 θ と尾根線からの距離 L の組み合わせ毎の単位面積当たりの崩壊個数で評価され、

$$F_o(\theta, L) = N(\theta, L) / a_o(\theta, L) \quad (2)$$

で求められる。ここに、 $F_o(\theta, L)$ は (θ, L) 斜面の崩壊危険度、 $N(\theta, L)$ は (θ, L) 斜面の崩壊個数、 $a_o(\theta, L)$ は (θ, L) 斜面の面積である。

斜面勾配は、間隔 $20^\circ \sim 30^\circ$ 、 $30^\circ \sim 40^\circ$ 、 40° 以上の 3 段階に区分し、尾根線からの距離 L は、 $25m$ 每に区分した。崩壊危険度は、実績の崩壊資料から設定した。実績から崩壊危険度を設定する場合、崩壊に対する降雨の影響を除くため崩壊を発生させた降雨がほぼ同一の降雨である必要がある。ここでは、昭和63年7月に20日から21日にかけて土石流災害を被った広島県加計町の、ほぼ同等の降雨があったであろうと思われる太田川左岸の江河内地区から木坂地区までの5つの流域、江河内谷川、江河内谷川支川、峠谷川、上鶴渡瀬川、上木坂川を選んだ。このときの降雨は、広島県土木事務所の記録によると、7月20日の14時から降り始め、20日の22時から21日の4時までの6時間の間に $236mm$ 、土石流の多くが発生したと想定される21日3時から3時30分の内に約 $50mm$ ($100mm/h$) であった。この土石流災害をもとに得られた崩壊危険度に関する調査結果は、表. 1に示すとおりである。

ある斜面の崩壊発生危険度は、斜面を斜面勾配と尾根線からの距離で分割し、それぞれ計測・集計し、表. 1に区分されたそれぞれの斜面の発生危険度との積をとり合計することにより得られる。すなわち、ある斜面の崩壊危険度は次式で与えられる。

表. 1

$$F = \sum_{\theta, L} F_o(\theta, L) \cdot a_o(\theta, L) \quad (3)$$

4. 崩壊土塊の停止条件と渓床勾配区分

崩壊により斜面を滑動し始めた土塊の停止条件は、

$$\tan i_e = \frac{C_s (\sigma/\rho - 1)}{C_s (\sigma/\rho - 1) + 1} \tan \phi_k \quad (4)$$

| θ | 0~25 | 25~50 | 50~75 | 75~100 |
|----------------------------|------|-------|-------|--------|
| 20° ~ 30° | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 30° ~ 40° | 40 | 60 | 80 | 90 |
| 40° ~ | 45 | 65 | 85 | 95 |

で表される。¹³ここに C_s : 堆積物の体積渓床で、 0.6 、 $\tan \phi_k$: 動摩擦係数で、 0.63 である。これらの値を式(4)に代入すると、 $i_e=17.5^\circ$ を得、崩土は、少なくとも、勾配 17.5° 地点までは、到達して、停止・堆積すると考えられる。そこで渓床勾配の区分を 15° 以上、 $15^\circ \sim 10^\circ$ 、 $10^\circ \sim 5^\circ$ 、 5°

以下と4通りに区分することにする。

5. 土塊の流動化モデルと土塊の流動化の危険度

河道に停止・堆積している崩壊土塊が流動化し、土石流として流動を開始するには、表面流が必要である。土塊は水で飽和していると考えることができるから、土石流化の発生限界条件は、

$$\tan i = \frac{C_s (\sigma/\rho - 1)}{C_s (\sigma/\rho - 1) + 1 + h_0/D_t} \tan \phi_s \quad (5)$$

で与えられる。¹⁾ここに、 i ：渓床勾配、 h_0 ：表面流水、 D_t ：流動化する（土石流化する）層厚でほぼ代表粒径程度、 $\tan \phi_s$ ：静的摩擦係数、である。1.5

表面流水 h_0 は、マニングの抵抗則と流路幅に関するレジームを用いて、

$$h_0 = \left[\frac{n \cdot Q^{1/2}}{\alpha (\sin i)^{1/2}} \right]^{3/5} \quad (6)$$

と表示される。ここに、 n ：マニングの係数、

α ：レジームの係数である。流量 Q を、合理式(7)により降雨量 r を流域面積と結びつける。

$$Q = 1/3.6 \cdot f_o \cdot r \cdot A \quad (7)$$

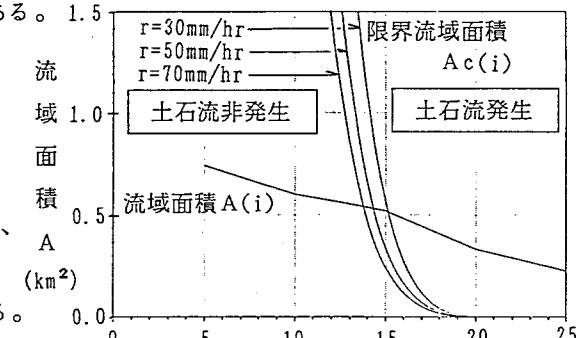


図. 2

渓床勾配が i であるとき、堆積土塊が土石流化。

するのに必要な流域面積 $A_c(i)$ は、式(6)、(7)を式(5)に代入することにより、

$$A_c(i) = \frac{3.6}{f_o \cdot r} \left(\frac{\alpha}{n} \right)^2 \left[D_t \left\{ C_s \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \left(\frac{\tan \phi_s}{\tan i} - 1 \right) - 1 \right\} \right]^{10/3} \sin i \quad (8)$$

と求まる。

土塊の流動化の危険度 $M(i)$ は、河道のある地点の流域面積 $A(i)$ と式(8)で得られる $A_c(i)$ の比

$$M(i) = A(i) / A_c(i) \quad (9)$$

で表される。図. 2は、江河内谷川を例にとって渓床勾配と $A(i)$ 及び $A_c(i)$ の関係をしたものである。

6. 土石流の発生危険度

崩壊危険度 F 、及び土塊の流動化の危険度 M がそれぞれ式(3)、式(9)で定まつたので土石流の発生危険度を式(1)により求めることができる。ただし、 $M(i)$ は渓床勾配で区分された区間河道毎に定義されているので、 F も、その区間河道毎に求める必要がある。すなわち、 F を、ある渓床勾配ランクで区分された河道に接続する斜面毎に求めなければならない。

図. 3は、江河内谷川に対して $F(i_k)$ と $M(i)$ を求めたものを示したものである。この場合、土石流の発生危険度 D は、図. 3から、

$$D = \sum_{i_k} M(i_k) \cdot F(i_k) \\ = M(7.5^\circ) \cdot F(5 \sim 10^\circ) + M(12.5^\circ) \cdot F(10 \sim 15^\circ) + M(17.5^\circ) \cdot F(15 \sim 20^\circ) \quad (10)$$

として得ることができる。

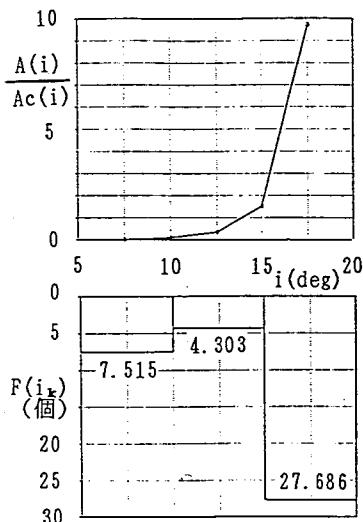


図. 3

土石流発生危険度Dは、斜面の表層崩壊個数の期待値と降雨強度50mm/hにおける流動化の可能性の積の形をしているので、Dの値として 10° のオーダーのとき、50mm/h程度以上の雨に対して土石流が発生、非発生の限界となろう。又、 10^2 程度以上のオーダーのときは、かなりの期待値で発生するものと考えられる。

そこで、表.2のように、Dの大小により発生危険度のランクをつけ、昭和63年7月の加計町の土石流災害時の土石流の発生・非発生と、本手法による危険度ランクの比較を行った。調査を行なったのは30溪流で、その結果を表.3に示す。発生危険度ランクが大きくなるに従い土石流の発生割合が増加しているのがわかる。

7. むすび

マサ土地域における土石流発生危険度評価手法を地形解析と発生の力学的考察に基づいて検討を行い、昭和63年7月の広島県加計町における土石流災害時の土石流の発生・非発生資料と本手法による土石流危険度評価を行った結果との比較を行い、ここで提案した手法の妥当性の検討を行った。その結果、本手法で危険度ランクが高い溪流ほど、発生の割合が大きくなる結果を得、本手法の妥当性が確認され、一応の成果が得られたものと考えている。

最後に、本研究を行うにあたり御指導いただいた京都大学防災研究所、江頭進治助教授に謝意を表するものである。

参考文献

- 1) 江頭進治：土石の流動機構、奥田節夫教授退官記念シンポジウム「災害地形学最前線」、1988、pp 63-82

表. 2

[危険度ランク]

ランク 土石流発生危険度指標

- | | |
|--------------|--|
| A : 200 以上 | : 昭和63年7月豪雨相当の降雨時には 土石流が発生するものと考えるべき危 険な溪流 |
| B : 80 ~ 200 | : |
| C : 20 ~ 80 | : } A ~ E の中間の危険度を有する溪流 |
| D : 5 ~ 20 | : |
| E : 5 未満 | : ほとんど土石流が発生しないと考えられ る比較的安全な溪流 |

表. 3

| 危険度ランク | 溪流数 | 溪流数割合 % | 発生渓流数 | 発生率 % |
|--------|-----|---------|-------|--------|
| A | 2 | 6.67 | 2 | 100.00 |
| B | 3 | 10.00 | 2 | 66.67 |
| C | 9 | 30.00 | 6 | 66.67 |
| D | 4 | 13.33 | 1 | 25.00 |
| E | 12 | 40.00 | 1 | 8.33 |
| 計 | 30 | 100.00 | 12 | |