

京都大学防災研究所

正会員

高橋 保

"

"

芦田 和男

"

"

澤井 健二

1. 緒言 土石流災害が頻発している現状に鑑み、全国の土石流が発生するとみられる流域の土石流発生危険度、さらには危険地帯の予測や避難基準などの設定を行おうとする試みが行われている。しかし、従来土石流発生機構が明確でなく、流域内の各種要因と抽出した多変量解析の手法がとばらう用いられている。この方法の一般性にはかなりの疑問があるので、ここでは最近著者の提案した土石流発生機構にもとづいて発生危険度の判定法を提案し、適用性と検討した。

2. 土石流発生機構と発生降雨・流域条件 図-1のように、渓床堆積物の層に降雨に伴って浸透流および表面流が発生したものとする。 $\theta_2$ よりも急勾配の堆積層では、浸透流の水面がある高さ以上になれば不安定となり崩壊が発生する。浸透流だけでは崩壊土砂の空隙を満たすのに十分な水量がないので土石流とはならない。一方、 $\theta_1$ と $\theta_2$ の間の勾配地点で表面流が発生するものとするれば、その水深に応じて、堆積層表面からある深さまで不安定となり、質量力に基づく粒子移動が発生する。このとき表面流が発生するほどの水量がある。移動破れき空隙と満たすのに十分な水が存在し、土石流化することができると判っている。ただし、

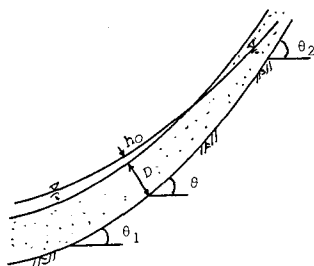


図-1 渓床堆積層における流れ

$$\tan \theta_2 = G_s(\sigma - \rho) \cdot \tan \phi / \{G_s(\sigma - \rho) + \rho\} \quad \dots (1)$$

$$\tan \theta_1 = G_s(\sigma - \rho) \cdot \tan \phi / \{G_s(\sigma - \rho) + \rho(1 + 1/K)\} \quad \dots (2)$$

$$\tan \theta = G_s(\sigma - \rho) \cdot \tan \phi / \{G_s(\sigma - \rho) + \rho(1 + R_0/d)\} \quad \dots (3)$$

で表わされる。ここに、 $G_s$ : 堆積層の砂れき濃度、 $\phi$ : 内部摩擦角、 $\sigma$ ,  $\rho$ : 砂れきおよび水の密度、 $R_0$ : 表面流水深、 $d$ : 粒径、 $n$ : 正整数、 $K$ : 定数であり実験によれば $0.7 \sim 1.0$ 。なお、(3)式の $n$ は流動開始の層厚が粒径の $n$ 倍になることを意味しており、図-2の傾向から、同一勾配上では表面流の水深が大きいくほど、また同一水深では勾配が大きいくほど、流動開始の厚さが大きくなり、土石流規模が大きくなること判る。

実際の渓床堆積層において土石流が発生するためには、上記

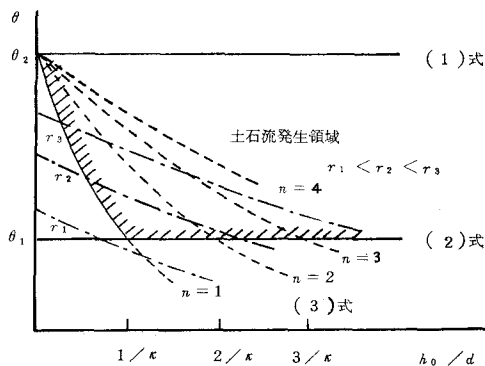


図-2 土石流発生領域および発生条件

の発生領域に入るような水深の流れが降雨流出によってもたらされる必要がある。一般に表面流の水深と流量の関係は、摩擦損失係数を $f$ 、流水幅を $B$ 、表流水の流量を $Q_0$ とすれば、 $R_0 = \{f/(8g \sin \theta)\}^{1/2} (Q_0/B)^{1/3}$  であるから、雨水流出量をラショナル式によって見積ることとし、全流出量中で浸透流量に費される流量を $Q_0$ とて

$$R_0/d = \{f/(8g \sin \theta)\}^{1/2} \{f_e A_d / (2.6 - Q_0) / (g d^3 B^2)\}^{1/2} \quad \dots (4)$$

が得られる。ここに、 $f_e$ : 洪水到達時間内の有効降雨強度(mm/hr)、 $A_d$ : 流域面積( $km^2$ )である。ある特定の流域についてみれば、流域面積は $\theta$ が減少するほど増加する傾向にある。また、 $f$ の値は急勾配の相対水深の小さい流れでは、 $\sin \theta$ に比例して増加する傾向があり、 $f/(8g \sin \theta)$ は一定値に近い。したがって、ある有効降雨強度を仮定すれば、 $R_0/d$ は $\theta$ が減少するにつれて増加する傾向のあることが予想され、 $\theta_1$ と $\theta_2$ の間の勾配地点で表面流が発生するときの $R_0/d$ の変化状況と模式的に示せば、仮定した有効降雨強度ごとに、図-2中の領域

のようになるはずである。この曲線が土石流発生領域と交われば(図中の降雨強度 $R_1$ ,  $R_2$ )、その流域内で土石流が発生することになる。このような条件は、勾配 $\theta_1$ での流域面積 $A_{d01}$ が、

$$A_{d01} \geq \frac{3.6}{f_0} \left\{ \left( \frac{8.4 \sin \theta_1}{f_0 K^2} g d^3 B^2 \right)^{1/2} + Q_{01} \right\} \quad \dots\dots (5)$$

と満足することである。あるいはまた、土石流発生の際表面流量で示せば、次式のような式である。

$$Q_{01} \geq \left( \frac{8.4 \sin \theta_1}{f_0 K^2} g d^3 B^2 \right)^{1/2} \quad \dots\dots (6)$$

3. 土石流発生危険度 危険度判定対象流域の設定雨量強度に対して、(5)式あるいは(6)式の右辺を計算し、その値で実際の $A_{d01}$ あるいは $Q_{01}$ と割った値 $\gamma$ あるいは $X$ を当該流域の土石流発生危険度と定義する。土石流の発生機構に関する考察では、(5)式あるいは(6)式が満足される時、すなわち $\gamma$ あるいは $X$ が1を越えるときには、100%土石流が発生することになるのであるが、実際には堆積物の粒度分布が広いとき、 $d$ として平均粒径によって全体を代表することかできるかどうか、 $B$ および $Q_0$ の的確に見積れないといった種々の問題点が残されており、危険度が1を越えても発生しない場合もあり得る一層、1以下でも発生する危険が残る。したがって、現状においては、危険度の指標が大きいほど発生する危険が大きいと考えておくのが妥当であろう。

4. 小豆島東部への適用例 以上の方法を昭和49年と51年に土石流災害の多発した小豆島東部地域に適用し、妥当性の検証を試みた。ただし、場の均一性を仮定しているため、流域の50%以上が花崗岩からなっているもののみを対象としている。具体的手順は以下のようである。

表-1 小豆島における適用結果

| 危険度<br>$X$ | 流域数  |      | 土石流発生数 |      | 発生率   |       |
|------------|------|------|--------|------|-------|-------|
|            | 5.49 | 5.51 | 5.49   | 5.51 | 5.49  | 5.51  |
| 12.1以上     | 13   | 10   | 7      | 8    | 0.538 | 0.800 |
| 12.1~6.1   | 23   | 22   | 8      | 15   | 0.348 | 0.682 |
| 6.1~3.0    | 57   | 60   | 21     | 24   | 0.368 | 0.400 |
| 3.0~1.5    | 85   | 89   | 37     | 36   | 0.435 | 0.404 |
| 1.5~0.74   | 42   | 42   | 1      | 12   | 0.024 | 0.286 |
| 0.74以下     | 16   | 17   | 0      | 1    | 0     | 0.059 |
| 計          | 236  | 240  | 74     | 96   | 0.314 | 0.400 |

$G_1=0.7$ ,  $f_0=2.65$ ,  $P=1.0$ ,  $\tan \phi=0.8$ ,  $K=0.7$ と仮定すれば、(1), (2)式から、 $\theta_2=23.2^\circ$ ,  $\theta_1=14.5^\circ$ を得る。一層、従来の土石流調査によれば、ほぼ15度以上で発生しており、崩壊は30度以上で発生している。以上のことを勘案して、土石流発生領域を15から30度の渓床であるとし、当該地域の1/10,000地形図上に水系図を作成して、15から30度の渓床勾配地点を選別後、15度の部分に対する流域面積の計算を行った。堆積物の粒径と流路幅とは本来詳細な現地調査によって求めなければならないが、ここでは、粒径については、昭和49年災害後に木庄川の谷口で採取された試料の粒度分布からすべての流域を代表しているものと仮定し、その50%粒径に相当する4cmを用いることにした。また、流路幅は堆積幅が広いものとして、レジーム論で決定される幅、 $B \approx 5 d^{0.7}$ を採用することにした。 $f$ については、砂粒をはり付けた固定床における $f_0/d \approx 2$ ,  $\theta=11^\circ \sim 20^\circ$ の実験結果をもとに、 $f=1.12 \sin \theta$ を用いることにし、 $K=0.7$ とした。洪水到達時間と流域面積の関係については、角屋・福島による $t_p=290 A_{d01}^{0.22} t_c^{-0.35}$ を用い、災害が発生するような豪雨に対しては降雨量はすべて有効雨量になるものと考えた。西災害に対する最大時間雨量分布が判っている<sup>3)</sup>ので、谷内の降雨強度を $f_0=100 t_c^{0.4} / (t_p+40)$ という式と仮定して、各流域について求めることができ、15地点における各流域の最大流量を求めることができる。 $Q_0$ は前期降雨の影響によって0とみなす仮定した。土石流発生・非発生の区別は災害の前後に撮影された空中写真の判読によった。

以上の手順によって求めた危険度ごとの発生率を表-1に示している。3で述べた問題点の他に、多くの流域の粒径を1種類で代表し、流路幅にも大胆な仮定を置いていること、実際には土石流となるべき渓床堆積物ほとんど存在していない支流があった可能性のあること、等多くの問題点が残されているが、結果は危険度が1程度と境に発生率に顕著な差があり、とくに昭和51年に対しては危険度が大きいほど発生率が大きくなっていて、ここで提案した手順の妥当性を示している。

5. 結論 科学的機構に基づき新しい土石流発生危険度の判定法を考案し、ほぼ満足すべき結果を得た。土石流規模の推定、崩壊土砂量の推定等の精度の向上とともに、総合的な土石流危険度判定法の確立をはかって行きたいと考えている。

参考文献 1) 高橋：土石流の発生と流路に関する研究，京大防災研年報，第20号B2，1977. 2) 角屋・福島：中川河川の洪水到達時間，京大防災研年報，第19号B2，1976. 3) 芦田：小豆島の土石流災害について，昭和51年9月台風17号災害調査報告。