

京都大学大学院	○馬場浩司
京都大学農学研究科	水山高久
京都大学農学研究科	藤田正治
京都大学農学研究科	小杉賢一郎

1.はじめに

土石流には溪床に堆積していた土砂が急な出水により押し流されるものや、崩壊土砂が溪流に流れ込んで土石流化するものや、崩壊土砂が緩勾配斜面で一旦堆積して天然ダムを形成し、後続流を堰き止め、決壊する時に土石流化するものなどがある。このうち溪床に堆積していた土砂については、全てが飽和しているが、斜面崩壊を起こした土砂は部分的にしか飽和しておらず、崩壊後の土砂の継続的な移動を考える上で土砂内の水の分布について把握しておく必要がある。

この研究においては1999年6月29日に土石流が発生した広島市の大毛寺川流域を対象とし、二次元浸透計算プログラムを用いて雨水浸透、斜面崩壊、崩壊土砂の移動を通じて土壌中の水の分布状況を把握し、斜面安定解析、崩壊土砂の移動についての解析を行った。

2.二次元浸透計算プログラムについて

鉛直浸透流の基礎式は以下のように表される。

$$C \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] \quad (1) \text{ただし } C: \text{保水性}, \psi: \text{圧力水頭}, t: \text{時間}, z: \text{位置水頭}, K: \text{透水係数}$$

CとKは個々の土壌によって決まるので、任意のt, zにおける圧力水頭を、計算することができ、差分法によって数値計算することにより、時間変化や空間分布を算定できる。

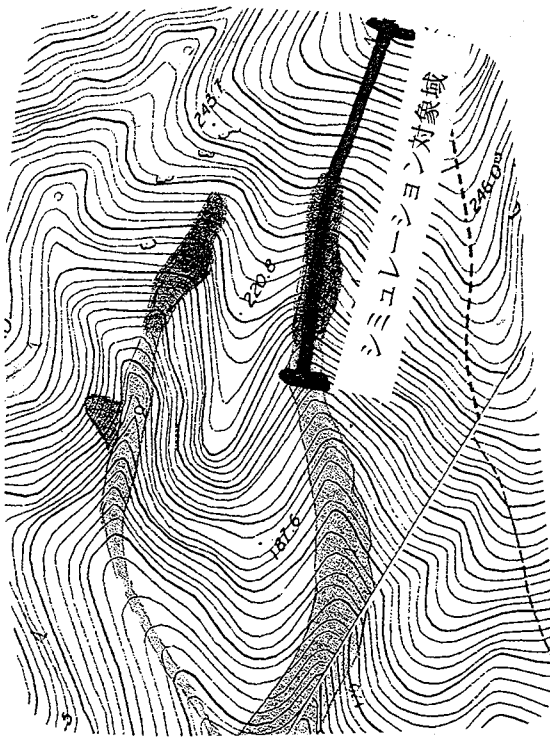


図1 大毛寺川流域周辺図

図1は大毛寺川流域の周辺図である。これを崩壊地付近から上部の斜面をモデル化したものが図2である。この災害の特徴として崩壊跡地に直径20cm程度の無数のレキが見られたが、これにより土壌の毛管力が弱まり、水を通しやすくなると考えられるので透水係数を高く設定した。シミュレーションは1) 設定した斜面全体に20cmの厚さでレキがある場合、2) 斜面c-d-e底部に20cmの厚さでレキがある場合、3) レキがない場合の3パターンについて行った。

土壌の物理条件は初期の圧力水頭を-1mとし、レキが無いところの透水係数を0.1m/h、レキがあるところの透水係数を0.9m/hとし、レキ層の厚さは20cmとした。水の浸透における境界条件としては上面を降雨の浸透面、下面は基岩でフラックスなし、上端は分水嶺でフラックスなし、下端は自由流出面とした。

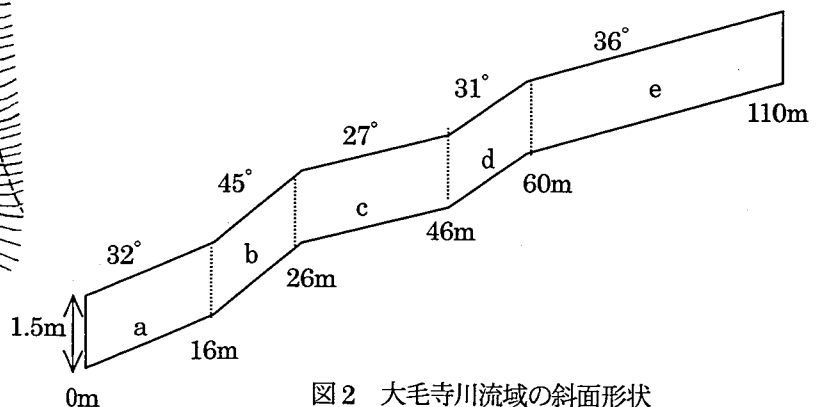


図2 大毛寺川流域の斜面形状

3.斜面安定解析

3.1 解析方法

浸透計算の結果として土壌の水分布状況がわかり、圧力水頭の値から間隙水圧がわかるので斜面安定計算を行うことができる。斜面安定計算の式は式2のように表される。

$$F = \frac{(W \cos \theta - U) \tan \phi + cl}{W \sin \theta} \quad (2) \text{ただし } F: \text{安全率,}$$

$W$ : 土塊の重量,  $\theta$ : 斜面勾配,  $U$ : 間隙水圧,  
 $\phi$ : 内部摩擦角,  $c$ : 粘着力,  $l$ : 斜面長である。

$F$ が1より小さくなるとせん断力がせん断応力を上回り、斜面崩壊が起きると予想される。ここでは $\phi=35^\circ$ 、 $c=0.06\text{kgf/cm}^2$ とした。

### 3.2 結果

図3より斜面全体にレキがあると設定した場合とレキがないと設定した場合は、土石流発生時刻になっても斜面崩壊は起こらないという結果になった。斜面c-d-e底部にレキがあると設定した場合、その直下の斜面bにおいては透水係数が低く設定されているので、水の流れが滞留し、間隙水圧の上昇が見られ、実際の土石流発生時刻の5時間前である29日11時に崩壊が起こるといった結果になった。

## 4. 崩壊土砂の継続的な移動

### 4.1 解析方法

大毛寺川の災害では、崩壊地と溪流がかなり離れていたため、崩壊土砂が崩壊後ただちに溪流に流れ込んで土石流化したとは考えにくく、一旦緩勾配斜面で停止したと考えられるので、土砂が再び移動を始めるには水が供給される必要がある。崩壊土砂に供給される水は崩壊せずに残った斜面から流出する水と降雨である。これを崩壊土砂表面に均等に与え、浸透計算を行い、堆積した土砂が再移動を始める時刻を求めた。土砂が再移動を始めるには以下の条件式を満たす必要がある。

$$\tan \theta \geq \frac{c * (\sigma - \frac{h'}{h} \rho) + \frac{h-h'}{h} \rho \beta}{c * (\sigma - \frac{h'}{h} \rho) + \frac{h'}{h} \rho + \frac{h-h'}{h} \rho \beta} \tan \phi$$

ただし $\theta$ : 斜面勾配,  $c^*$ : 土砂容積濃度,  $\sigma$ : 砂の密度,

$\rho$ : 水の密度,  $\phi$ : 内部摩擦角,  $h$ : 土層厚,

$h'$ : 地下水位,  $\beta$ : 不飽和帯の体積含水率

ここでは $\theta=25^\circ$ 、 $c^*=0.55$ 、 $\sigma=2.6$ 、 $\phi=35^\circ$ とした。

実際の崩壊地よりも斜面上部にレキがある場合のシミュレーションでは崩壊が起こるといった結果になったので、継続的な移動についての解析を行う。

### 4.2 結果

図4よりシミュレーションで11時に崩壊を起こした土砂はその後、水を獲得し、16時頃に緩勾配斜面での再移動始めるのに十分な量の水を獲得するという結果になった。これは実際の土石流発生時刻と一致している。

## 5. おわりに

浸透解析プログラムを用いて雨水浸透のシミュレーションを行い、土壌内の水の移動を把握することにより、崩壊から土石流化の過程までをうまく再現することができた。ただ、レキ層の透水係数については実際にどれくらいの値なのかかわからない。この研究では、レキ層の透水係数がこのくらいなら実際の現象を再現できるということを示したわけだが、もしレキ層における透水係数の値が実測できたなら、その値を入力することにより、斜面崩壊—土石流化の過程について、より確実に理解することができるだろう。

### 参考文献

広島県土砂災害対策検討委員会 (1999) : 6・29 広島県土砂災害対策検討委員会討議資料 vol.1~4

小橋澄治 (1993) : 山地保全学 pp.171-184

小杉賢一朗 (1999) : 水利科学別冊 no.250 (第43巻第5号) 森林の水源涵養・洪水緩和機能と土壌孔隙特性—森林土壌の孔隙特性が雨水流出に及ぼす影響—

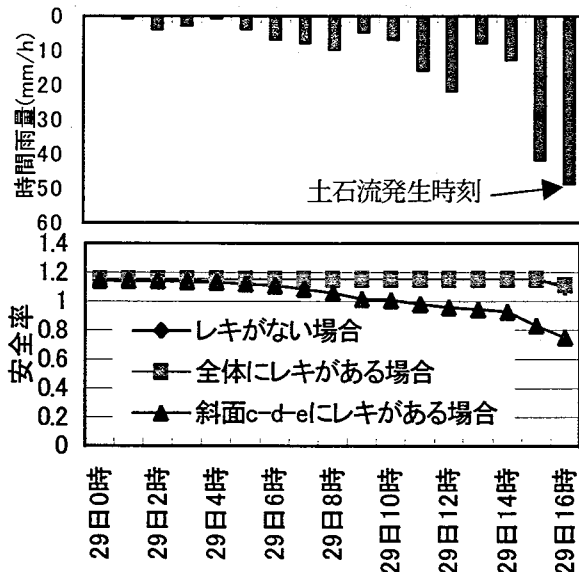


図3 降雨と斜面bの安全率の推移

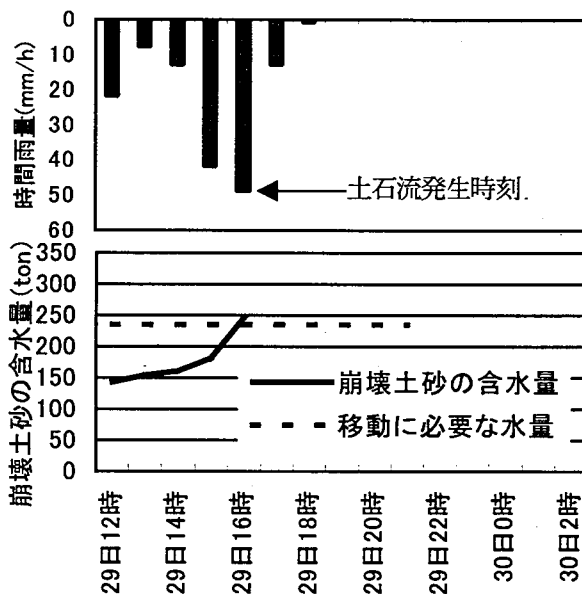


図4 降雨と崩壊土砂の含水量