

降雨浸透による火山灰の土石流発生に関する研究

立命館大学理工学部 正員 大同 淳之

立命館大学大学院 ○学生員 三輪 浩

1. はじめに. 桜島や有珠山のような活火山地帯に発生する土石流は、山腹に堆積した火山灰のために、少量の降雨でもその発生に至っている。従来より、火山灰が降下・堆積すると浸透能が減じ、その結果表面流が増加して土石流が発生しやすくなるといわれている。しかし、発生雨量があまりに小さいことから、この考え方は必ずしも妥当でないと思われる。このような土石流の発生機構を明らかにするためには、まず、火山灰の流動発生について知る必要がある。以上の理由から、本文では、含水による火山灰の強度変化、火山灰層への降雨浸透と、これによる火山灰の流動発生機構について考察する。

2. 火山灰の含水による強度低下の要因. 降灰堆積した未締め固めの火山灰が少量の降雨で流動するのは、火山灰が含水時、特に、飽和時にせん断をうけると、非排水せん断となり易い粒度分布をもつ¹⁾ことから、せん断強度の低下が生じるためであると考えられる。

そこで、三軸圧縮試験、及び、水路実験を行ない、飽和による内部摩擦角の変化を調べた。三軸試験は、乾燥灰、飽和灰とも締め固めない状態で、側圧0.5~1.5kg/cm²の範囲で行なった。なお測定結果より粘着力は0であるとみなし得た。水路実験は、水路に敷いた灰を散水飽和させ徐々に勾配を上げ、流動したときのすべり面に作用したせん断力から摩擦角を逆算した。測定結果を図1に示す。乾燥灰の場合はBjerrum (2mm以下80%)の測定値²⁾とほぼ一致している。飽和するとみかけ上内部摩擦角が低下し、

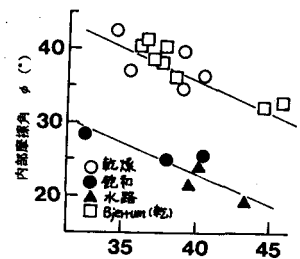


図1 火山灰の摩擦角の測定値

このことが、排水しにくい粒度をもつ火山灰がせん断時に強度の低下を引き起こすことに大きく寄与し、降雨時の火山灰の流動を容易にしているといえる。

3. 火山灰層の降雨浸透. 火山灰層の降雨浸透現象は、降雨強度 I と浸透能 k_s の大小関係により、理論上、次の3つの場合が考えられる。すなわち、i) $I > k_s$ の場合、表層には表面流が発生するとともに、雨水は飽和層を形成しながら降下する。ii) $I = k_s$ の場合は飽和層を形成しながら全て浸透する。iii) $I < k_s$ の場合は、まず不飽和に浸透し、その後不透水層、もしくは、以前に水締めをうけた古い火山灰層に達した後飽和層が形成され、全層の飽和に至る。以上の考え方を念頭に、降雨浸透実験を行なった。図2に実験装置の概要を示す。火山灰は気乾状態のものをを用い、円筒上方より散布して充填した。実験は、円筒上方より降雨させ、浸潤前線を目視で、飽和層の形成位置はメーターで測定した。本実験においては100mm以上の降雨に対しても、 $I < k_s$ の場合に終止した。測定結果を図3に示す。これからわかるように、初期間隙比 e にあまり差がない場合には

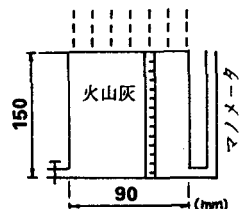
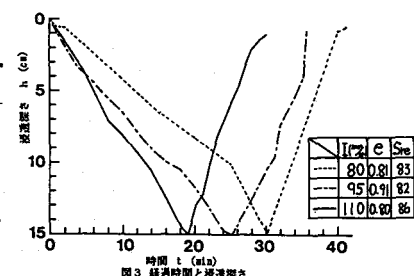


図2 実験装置

浸透速度は降雨強度に影響されるが、終期飽和度 S_{re} はこの影響をあまりうけず、ほぼ同じような値になっている。したがって、少量の降雨に対しても、新鮮な火山灰の深さが浅い場合は、十分に高飽和度の状態となり得ることを示唆していると思われる。

4. 降雨浸透による火山灰の流動発生機構

先に述べた浸透過程を斜面に適用し、火山灰の流動発生限界について考察する。まず、 $I > k_s$ の場合には表面流が発生する。この表面流の作用による流動発生限界については、高橋³⁾ が種々の場合について詳細に述べている。つぎに、 $I \leq k_s$ の場合は、表面流は発生せず表層から飽和層が成長し、これにともない、せん断力 τ とせん断抵抗力 τ_c の関係は、図4に示すようになる。(a)は限界状態、(b)は流動状態を示している。したがって、この場合の斜面の条件は



$\frac{\partial \tau_{cs}}{\partial z} \leq \frac{\partial \tau_c}{\partial z}$ を満たすことであり、初期間隙比を e 、飽和火山灰の内部摩擦角を ϕ_s とすると、

$$\tan \theta \geq \frac{\sigma - p}{\sigma + p \cdot e} \tan \phi_s \quad \text{--- 1)}$$

となる。なお、等号は限界の状態を表わし、このときの流動深は z_i となる。一方、 $I < k_s$ の場合の τ と τ_c の関係は、不飽和浸透にともな

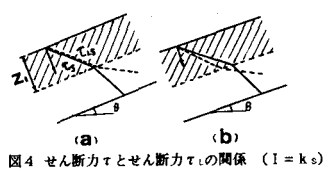


図4 せん断力 τ とせん断力 τ_c の関係 ($I = k_s$)

なっており、図5のようになる。流動の発生は次の状態になったときに起こり、全層流動となる。この場合の斜面の条件は、(d)より不飽和層内で、 $\frac{\partial \tau_c}{\partial z} < \frac{\partial \tau_{ci}}{\partial z}$ 、(e)より飽和層内で、 $\frac{\partial \tau_{cs}}{\partial h} > \frac{\partial \tau_{ci}}{\partial h}$ を満たすことである。不飽和層の飽和度を S_{ri} 、不飽和灰の内部摩擦角を ϕ_i とすると、この条件は、

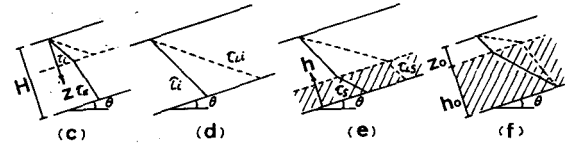


図5 せん断力 τ とせん断力 τ_c の関係 ($I < k_s$)

$$\frac{\sigma - p}{\sigma + p \cdot e} \tan \phi_s < \tan \theta < \frac{\sigma}{\sigma + p \cdot e \cdot S_{ri}/100} \tan \phi_i \quad \text{--- 2)}$$

となる。全層流動が起こるときに飽和層の厚さ h_o は、流動面に作用する全せん断力 ($\tau = \tau_c + \tau_s$) と全せん断抵抗力 ($\tau_c = \tau_{ci} + \tau_{cs}$) とを等置することによって得られ、次のようになる。

$$\frac{h_o}{H} = \frac{\sigma \tan \phi_i - (\sigma + p \cdot e \cdot S_{ri}/100) \tan \theta}{p \cdot e (1 - S_{ri}/100) + \sigma \tan \phi_i - (\sigma - p) \tan \phi_s} \quad \text{--- 3)}$$

5. ちすび、本報では、火山灰による土石流の発生機構を明らかにするための基礎として、含水による火山灰の強度低下の要因であるみかけの内部摩擦角の低下現象を実験により明らかにし、さらに、火山灰層への降雨浸透と、これによる斜面での火山灰の流動発生機構について述べた。内部摩擦角については、今後、実験・検討を加えていくとともに、浸透現象を定式化し、流動発生までの時間的プロセスを説明するつもりである。

参考文献：1) 大同：火山灰の土石流に及ぼす影響、第21回自然災害科学総合シンポジウム、1984.10. 2) L. Bjerrum, S. Kringstad and O. Kummenje: The Shear Strength of a Fine Sand Proc. 5th Int. Conf. SMFE, Vol. 1. 3) 高橋：土石流の発生と流動に関する研究、京大防災研年報 第20号 B-2 昭和52年