

39 雲仙岳の土石流とその発生予測

九州大学工学部 ○平野宗夫・橋本晴行・森山聡之
西日本工業大学 岩元 賢

1 土石流の概要

雲仙普賢岳は1990年11月17日198年振りに噴火した。91年2月の噴火で普賢岳山頂付近に大量の火山灰が堆積したため、島原市の諸河川、特に水無川において火山性土石流の発生が懸念されていた。このため、長崎県では3月に「雲仙岳緊急火山対策委員会」を発足させ、土石流対策を検討・実施することになり、水無川およびその支川の赤松谷川においては、砂防ダムの除石、河道の掘削、ワイヤセンサーの設置などが行われていた。

最初の土石流は水無川で5月15日に発生したが、事前の対策が功を奏して、被害は軽微であった。5月19日に再度水無川に土石流が発生し、筒野橋など2本の橋が流出した。続いて5月20、21、26日と水無川で土石流の発生が確認され、住民の避難が行われたが、規模は小さく被害は出ていない。5月26日から火砕流が頻発するようになり、水無川の様相は一変した。また、火砕流にともなって周辺に大量の火山灰が撒き散らされるため、他の流域でも土石流発生の危険性が高まった。

大きな被害が出たのは6月30日で、おしが谷と赤松谷川で発生した土石流が水無川に流入し、水無川の河道が火砕流堆積物で埋没していたため堤内地を流下して海まで達した。このため、表-1に示すように百数十戸の住家が破損したが、すべて警戒区域内であったため人身の被害はなかった。同じ6月30日に、湯江川でも土石流が発生し、有明町で被害が生じた。湯江川の土石流は大量の流木を含み、橋梁を閉塞して氾濫するなど、90年の阿蘇一の宮町災害と類似の形態を示した。痕跡から推定される最大流量は $1000\text{m}^3/\text{s}$ を超えている。しかし、強雨の継続時間が短かったことと人家が少なかったため、土石流の規模のわりには被害は少なかった。6月30日の土石流による被害は下表のようである。

表-1 6月30日の土石流による被害状況

警戒区域内の家屋被害				警戒区域外の被害概況		
	全壊	半壊	合計		島原市	有明町
住家	40	17	57	家屋半壊		9
非住家	61	16	77	床上浸水	15	10
合計	101	33	134	床下浸水	140	26
				橋梁流失・損壊		3

7月以降はたいした降雨はなく、9月の再度の台風の際にも土石流の被害は報告されていない。しかし、地震計の記録によると、7月に5回、9月に2回の土石流の発生が認められる。92年に入って3月1日と15

日に水無川に土石流が発生し、前年6月30日と同じ経路を流下し海まで達した。このため、島原鉄道が不通となり、国道251号線も一時通行止めとなった。いずれも1時間30mm前後の雨で発生しており、土石流発生の危険性が依然として高いことが明かとなった。

5月15日に発生した最初の土石流では、事前に砂防ダムの除石や河道の掘削などの対策が功を奏して、堤内地の被害は軽微であった。しかし、いたるところで河道の天端近くまで土石が堆積し、もう少し雨が降り続いたら大きな災害が発生していたと思われる。また、センサーは作動したが、避難勧告が出されたのは係員が現地に行って確認したのあとであり、対応は遅れた。しかし、住民は土石流の恐ろしさを目の当たりにすることになり、格好の避難訓練となった。これが貴重な教訓となって、その後の避難は迅速に行われた。さらに、下流の河道に大量の土石が堆積し、危険な箇所や地域が明らかになり、それに応じて警戒区域の追加や堤防の補強工事などが行われた。6月30日の水無川土石流では百数十戸の住家が破損したが、すべて警戒区域内であったため人身の被害はなかった。

2 土石流の発生限界降雨

2.1 土石流発生限界の理論

山腹や溪流の土砂が豪雨により流動化する条件については、いくつかの提案がなされている。たとえば、芦田ら¹⁾は溪流における土石流の発生条件として次式を与えている。

$$Q_c = \sqrt{\frac{8 \sin \theta}{f_0 \kappa^3} B^2 g d^3} \quad (1)$$

ここに、 Q_c は発生限界流量、 f_0 は摩擦損失係数、 κ は土石流流動厚と表面流水深との比で1に近い値、 θ は溪床勾配、 B は川幅、 g は重力の加速度、および d は堆積物の粒径である。

上式に合理式を適用すると、発生限界降雨は次式で与えられる。

$$r_T = \frac{1}{T} \int_0^T r dt \geq \frac{1}{fA} \sqrt{\frac{\sin \theta}{f_0 \kappa^3} B^2 g d^3} \quad (2)$$

ここに、 r_T は T 時間内の平均降雨強度、 T は到達時間、 r は降雨強度、 A は流域面積、および f は流出係数である。

また平野ら²⁾は、山腹における側方浸透流の水深がある値（一般的には堆積層の厚さ）になった時崩壊がはじまると考え、発生条件として次式を導いた。

$$r_T = \frac{1}{T} \int_0^T r dt \geq \frac{Dk \tan \theta}{l} \quad (3)$$

ここに、 D は浸透流の崩壊限界水深、 l は斜面長、 k は浸透係数、 λ は堆積物の空隙の割合、および θ は斜面勾配である。

(2)式と(3)式は対象も式誘導の過程も異なるが、到達時間内の平均降雨強度がある値を超えると土石流が発生することを表している。両式右辺をそれぞれ溪流および斜面に固有の値と考えると、土石流の発生は到達時間とその間の雨量によって規定されることになる。また、(2)式は洪水流出を、(3)式は中間流出を表すと考えられるから、合理式の代りに単位図法やタンクモデルを利用することもできよう。

従来から土石流発生限界に関して、直前の雨量と累加雨量によって表す手法が多用されている。たとえば、建設省の指針（案）³⁾ やそれを修正した矢野の方法⁴⁾ では、縦軸を直前の時間雨量、横軸を1時間前までの累加雨量（または実効雨量）とした平面上に、発生限界がほぼ-1:1の直線で表わされている。しかし、この平面上で-1の傾きで表される直線は、いうまでもなく、直前までの累加雨量（または実効雨量）が一定値であることを表す。また、直線の傾きが-1でない場合や矢野の方法は、単位図法と同じ表示になることは明かであり、その根拠は(1)～(3)式であたえられているというべきであろう。

以上のことから、土石流の発生限界は、洪水流量と同じように、到達時間内の降雨強度や降雨の線型結合（すなわち、単位図法や実効降雨）によって表すことができることが分かる。

一方土石流の規模に関しては、平野ら⁵⁾ は計算式を導き、桜島の土石流に適用している。同式は近似的に下記のように表される。

$$\frac{Q}{A} \approx M r(t) \int_0^t r \cos \theta dt \quad (4) \quad \text{ここに、} M = \frac{f_s}{f_s - 1} \frac{1}{\lambda} \int_{kt \sin \theta \lambda}^{\infty} \phi(\eta_0, l) dl, \quad \eta_0 = \int_0^t r \cos \theta dt,$$

$f_s = (1-\lambda) / (1-\lambda-c)$ 、 c は土石流の濃度、 Q は土石流の流量、 A は流域面積、 $\phi(\eta, l)$ は $\eta = \lambda D$ および l の結合密度関数、 t は時間である。上式から、土石流の流出高は直前の降雨強度と累加雨量の積に比例することが分かる。また、発生直前の雨量と累加雨量を両軸とする平面上に(4)式を描くと $(Q/A) / M = \text{const.}$ の線が双曲線として示される。したがって、直前の雨量と累加雨量で表される平面は、土石流の発生限界というより、土石流流出の強度を示すものと見なすことができる。

降雨強度が大きいとき、また累加雨量の大きいときに土石流が発生するというのは、まぎれもない経験的事実であり、これらによって、土石流の発生や規模を予測することの妥当性は上述の通りである。しかし、累加雨量を1時間前で分けて二つのパラメータとすることは物理的に無意味であり、1次元のものをわざわざ2次元にしていたずらに繁雑にするだけの、実用上も不便な方法であることは明らかである。

2.2 雲仙岳における土石流発生限界

下図は91年5月15日と92年3月1日の土石流発生時の降雨波形（雲仙岳測候所）を示したものである。いずれも降り始めから1～2時間で発生しており、前駆降雨がなくても土石流が発生しうることが分かる。

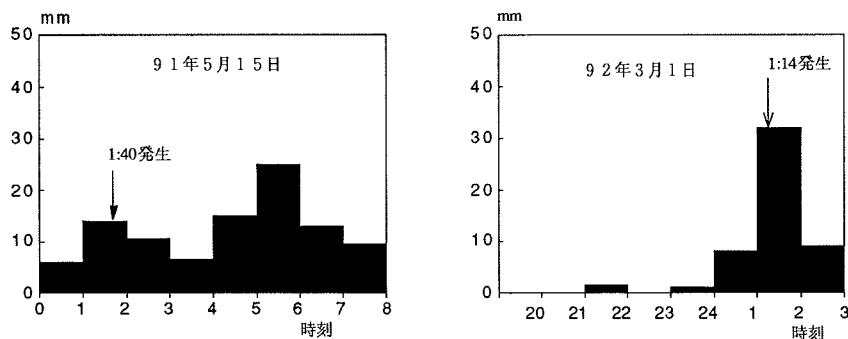
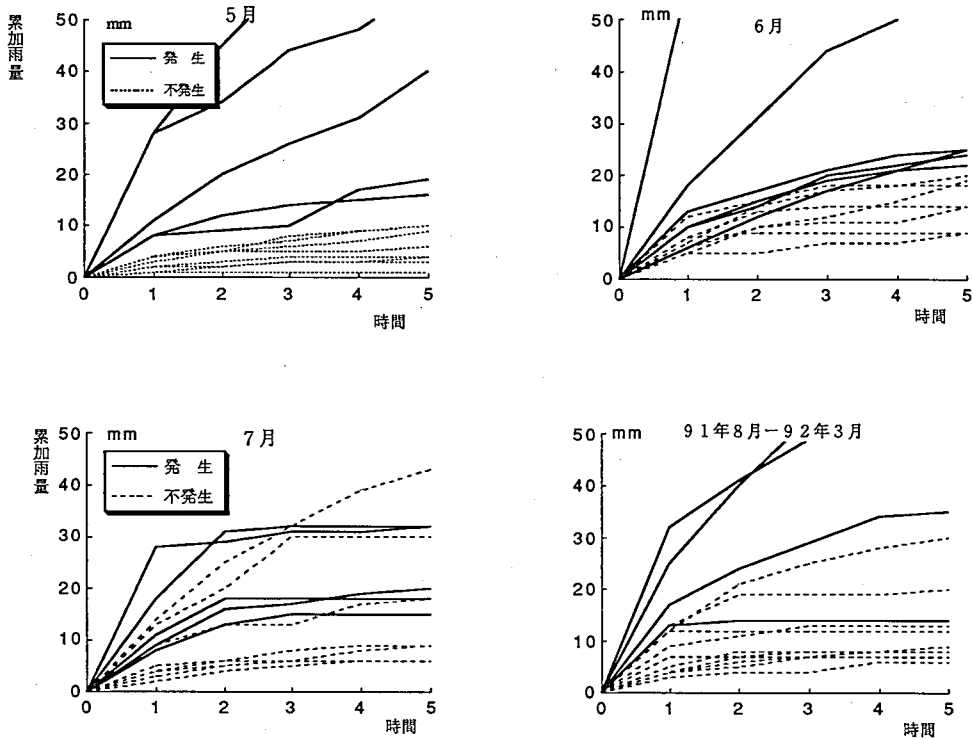


図-1 土石流発生時のハイトグラフ

図-2は(3)式にしたがって、土石流の発生時と不発生時の降雨記録から累加雨量を描いたものであ

る。図より到達時間は1時間程度で、1時間雨量が7mmを越えると土石流発生の可能性が生じ、15mmを越えると必ず土石流が発生していることが分かる。桜島においては、40分雨量が7~13mmで土石流が発生しており⁵⁾、ほぼ同じ値となっている。



図一 2 累加雨量図

参考文献

- 1) 芦田和男・高橋保・沢井健二：土石流の危険度の評価方法に関する研究、京都大学防災研究所年報、第21号、B-2、423-440、(1978)
- 2) 平野宗夫・岩元賢・原田民司郎：人工降雨による土石流の発生機構に関する研究、第31回土木学会年次学術講演会概要集、299-301、(1976)
- 3) 建設省河川局砂防部砂防課：土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針(案)、砂防課長通達、(1984)
- 4) 矢野勝太郎：前期降雨の改良による土石流の警戒・避難基準雨量設定手法の研究、新砂防、Vol.43, No.4(171), 3-13, (1990)
- 5) 平野宗夫・疋田誠・森山聡之：活火山流域における土石流の発生限界と流出規模の予測、第30回水理講演会論文集、181-186、(1986)