

雲仙・水無川における土石流の流出解析

建設技術研究所 福岡支社 原田民司・川原恵一郎
九州大学 工学研究科 ○平野宗夫
砂防・地すべり技術センター 安養寺信夫
建設省雲仙復興工事事務所 前田昭浩・五十嵐祥二

1 はじめに

雲仙・普賢岳の1990年11月噴火以降、同火山を源流とする水無川では大規模な土石流が頻発し、91～93年に全壊家屋700棟を超える甚大な被害が発生した。普賢岳の火山活動は94年以降次第に沈静化し、95年5月に終息した。それに伴い、水無川の土石流も発生頻度・規模ともに減少している。しかし、97年にも3回の土石流により30万 m^3 を超える土砂が流出しており、土石流の発生は依然として続いている。本研究は、任意の降雨波形に対して、土石流の流動・氾濫の予測法開発の一環として行われたものである。

2 土石流の流出モデル

2.1 基礎式

土石流の流量 Q は次式で表される。

$$Q = f_s A_s r(t) = f_s \frac{A_s}{A} A r(t) = f A r(t) \quad (1)$$

ここに、 A_s は土石流生起場の面積、 $r(t)$ は降雨強度、 A は流域面積、 $f = f_s A_s / A$ は流出係数である。 $f_s (= Q / A_s r)$ は簡単な考察から次式で与えられる¹⁾。

$$f_s = (1 - \lambda) / (1 - \lambda - C) \quad (2)$$

ここに、 λ は堆積物の空隙の割合、 C は土石流の濃度である。

上記2式が土石流の合理式に相当する。平野¹⁾ は、表面流の発生を土石流発生条件として土石流の流量の式を導いた。その式により流出係数 f を表すと

$$f = \frac{f_s}{(f_s - 1) \lambda} \int_0^t r \cos \theta dt \int_{k t \sin \theta / \lambda}^{\infty} \phi(\eta_0, l) dl \quad (3)$$

ここに、 θ は斜面の傾斜角、 k は透水係数である。上式は、土石流発生場の面積が累加雨量に比例することを示している。

一方川原²⁾ は、(3)式を簡略化した次式を用いている。

$$Q(t) = K A r(t) R(T), \quad R(T) = \int_{t-T}^t r dt \quad (4)$$

ここに、 K は定数、 T は時定数である。

上式では $f = K R(T)$ となり、流出係数が T 時間累加雨量に比例することになる。(4)式は K と T の2個のパラメータをもつパラメトリックモデルとして扱うことができる。

水無川における土石流の流出量は、図1に示すように推移しており、93年をピークにその後は流出土砂量が減少している。この変化は損失雨量の変化により、ある程度説明できると考えられる³⁾。そこで、(4)式に損失雨量強度 f を導入した次式を用いることにする。

$$Q(t) = K A \{r(t) - f\} \int_{t-T}^t \{r(\tau) - f\} d\tau \quad (5)$$

2.2 パラメータの同定

水無川における土石流の計測例はいくつかあるが、規模の大きいものとしては、93年6月12～13日に、国道57号線橋梁地点でえられたハイドログラフ(図2)が、現在までのところ最も信頼性が高い。この流量データと、雲仙測候所の10分雨量を用いて計算された $rR(T)$ との相互相関係数を求め、 T に対してプロットすると図3のようになる。図によると、 Q と $rR(T)$ との相関は、いずれも20分のところでピークとなっている。これは河道における到達時間に相当する。斜面における到達時間は40～60分程

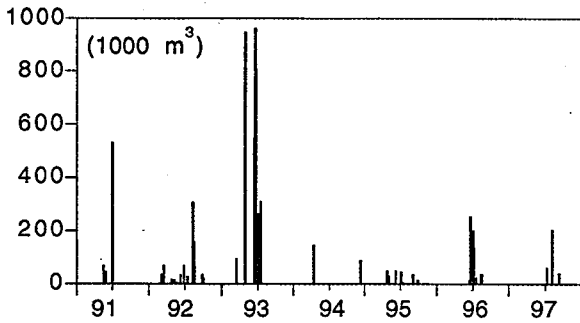


図1 水無川の土石流流出土砂量

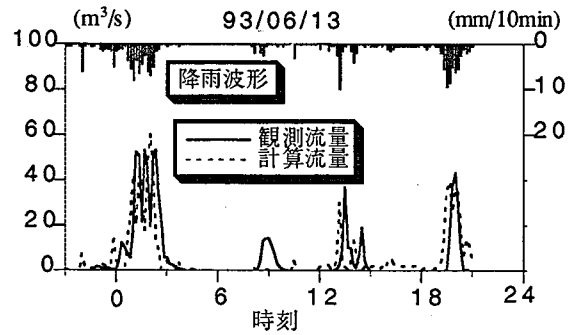


図2 水無川における流出波形と降雨波形

度と推定されている³⁾から、河道の到達時間はその1/2~1/3程度である。また、 $T=300$ 分としたとき相関が最も高いことから、 $T=300$ 分と推定される。

次に、 $T=300$ 分とし、 K と各年の損失雨量強度 f を同定する。パラメータの数は8個である。上記以外に信頼性のあるハイドログラフの実測値はえられていないので、実測流出土砂量を用いる。通常の単位すなわち流量(m^3/s)、流域面積(km^2)、雨量(mm)および降雨強度(mm/hr)とし、最小自乗法を適用して計算した結果、 K と91~97年の各年損失雨量強度について、 $K=4.76(mm^{-1})$ および表1の数値がえられた。これらを(5)式に適用して計算した流出土砂量を、実測値と比較すると図4のようになる。

表1 同定された損失雨量強度(mm/hr)

年	91	92	93	94	95	96	97
損失雨量強度	3	6	0	3	21	21	33

3 おわりに

上記により、任意の降雨波形に対して土石流のハイドログラフが計算でき、それを流入端における境界条件とすることにより、下流域における氾濫シミュレーションが可能である⁴⁾。この手法は、建設省「水無川分流工基本構造検討委員会」において分流工の検討に使用されている。

本研究に当たり、文部省科学研究費総合研究(A)の補助を受けた。また一部は、建設省雲仙復興工事事務所「水無川分流工基本構造検討委員会」のための業務として行われたものであることを付記する。

参考文献

- 1) 平野宗夫：土石流の発生とその予測，土木学会文集，No.486/VI-22，1994年3月。
- 2) 河原恵一郎・平野宗夫・森山聡之・高畑 洋：フトコンピューティングによる土石流のデータ解析，水工学論文集第41巻，1997年3月。
- 3) 平野宗夫・橋本晴行・河原恵一郎：雲仙・水無川における土石流の流出特性とその変化，水工学論文集第40巻，1996年3月。
- 4) M. HIRANO, T. HARADA M. E. Banihabib and K. KAWAHARA : Estimation of Hazard Area due to Debris Flow, 1st Int. Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation, August, 1997.

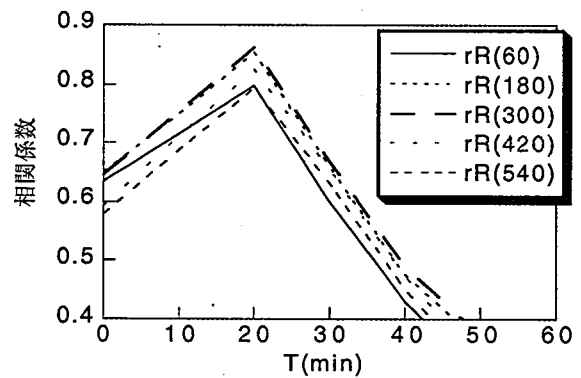


図3 流量と雨量の相互相関係数

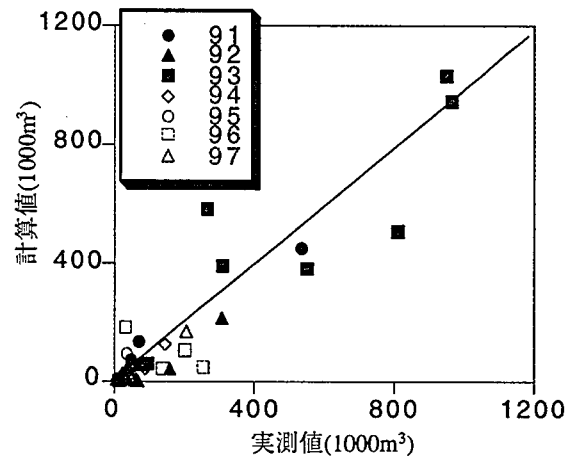


図4 流出土砂量の実測値と計算値の比較