

## 2. 土石流による家屋被災範囲の設定方法

### 2. 1 対象とする土石流

過去に桜島<sup>4</sup>や焼岳<sup>5</sup>で観測された土石流の流量の時間変化を見ると、ピークが30分から1時間といった短い間に1回しか現れない場合や複数回現れたる場合など、ピークが何回生じるのか一概に言えない。また、ピークが複数回現れる場合、最も大きいのが第1波目に現れたり、第2波目以降に現れたりするなど、何波目が最大となるのかという点についても一概に言えない。そこで、本資料では土石流発生時に必ず生じる第1波目に最も大きいピークが生じると想定する。

### 2. 2 家屋被災範囲の設定方法

#### 2. 2. 1 家屋被災範囲の定義

本資料では、土砂災害のおそれのある土地の区域の中で、家屋が被災する土地の区域を「家屋被災範囲」と呼ぶことにし、その範囲は後述する方法で算出した流体力が耐力を上回る土地の区域とする。

2. 2. 2以降で述べる設定手順は本資料で用いたものである。

#### 2. 2. 2 設定手順

家屋被災範囲を設定する手順は大きく分けると5段階から構成される。第一段階では基準地点の設定、第二段階では基準地点における土石流のピーク流量の算出、第三段階では土石流の流下経路の設定、第四段階において流下経路上の地点での流体力と耐力の算出、第五段階において流体力と耐力の比較と家屋被災範囲の図示を行う。

#### 2. 2. 3 基準地点の設定

本資料でいう基準地点とは、「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律施行令」(平成13年政令第84号)でいう土石流についての「流水が山麓における扇状の地形の地域に流入する地点」とし、設定方法は第3章で述べる。

#### 2. 2. 4 基準地点における土石流のピーク流量の算出

基準地点における土石流のピーク流量は式(2.1)で算出する。

$$Q_{SP0} = \frac{0.01V_0C_s}{C_{d0}} \quad \dots (2.1)$$

<sup>4</sup> 建設省九州地方建設局大隈工事事務所(1995): 桜島の土石流2、p.30

<sup>5</sup> 諏訪浩(1988): 土石流先端への大岩塊の集中機構、京都大学防災研究所年報第31号B-1、pp.139-151

ここで、 $Q_{SP0}$ ：基準地点における土石流のピーク流量[m<sup>3</sup>/s]、 $V_0$ ：基準地点における土石流により流下する土石等の量（空隙込み）[m<sup>3</sup>]、 $C_*$ ：堆積土砂の容積濃度、 $C_{d0}$ ：基準地点における土石流の土砂濃度である。 $V_0$ は溪床に堆積している溪床堆積土砂量( $Ve'$ )と、対象とする降雨で運搬できる運搬可能土砂量<sup>6</sup>( $Vec$ )を比較して小さい方の値とする。 $Ve'$ は基準地点より上流の溪流での値のうち最も大きい値とする。なお、この場合の溪流とは、基準地点を起点として上流へ一本の線で引ける溪流である。また、 $Vec$ は式(2.2)、(2.3)から算出する。

$$f_r = 0.05 \cdot (\log A - 2.0)^2 + 0.05 \quad \dots (2.2)$$

$$V_{ec} = \frac{10^3 \cdot R_T \cdot A}{1 - \lambda} \left( \frac{C_{d0}}{1 - C_{d0}} \right) f_r \quad \dots (2.3)$$

ここで、 $f_r$ ：流出補正率、 $A$ ：流域面積[km<sup>2</sup>]、 $R_T$ ：24時間雨量[mm/24hrs.]、 $\lambda$ ：空隙率である。また、 $C_{d0}$ は基準地点における土石流の土砂濃度で、式(2.4)で算出する。

$$C_{d0} = \frac{\rho \tan \theta_0}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta_0)} \quad \dots (2.4)$$

ここで、 $\rho$ ：流水の密度[kN/m<sup>3</sup>]、 $\sigma$ ：砂礫の密度[kN/m<sup>3</sup>]、 $\theta_0$ ：基準地点における土地の勾配[度]、 $\phi$ ：砂礫の内部摩擦角[度]である。

### 2.2.5 土石流の流下経路の設定

土石流の流下経路は基準地点より下流において設定する。まず、基準地点の下流の現流路において、2.2.6の方法を用いて算出される土石流のピーク流量を流すために必要な流過能力を有していない断面、及び、外湾部の流路の高さが湾曲による水位上昇を加味した土石流の表面よりも低くなる断面が存在する場合、それらの中から最も上流の地点（ここでは、「氾濫開始点」と呼ぶ）から流心線の接線方向の直線を土石流の流下経路とする。なお、今回収集した資料では災害当時の流路の流過能力を推定できなかったため、土石流の流下経路は原則として現流路の流心線とする。

### 2.2.6 流体力と耐力の算出

土石流の流体力と耐力は土石流の流下経路上に設定した地点（以後、本資料では「計算地点」と呼ぶ）において算出する。本資料では計算地点を、土地の勾配を計測する地点毎に設定する。その間隔は第3章で述べる。

<sup>6</sup> 土石流対策技術指針(案)、平成12年7月、建設省河川局砂防部砂防課

まず、計算地点における土石流の流速と波高を算出する。図-2.1はそれらを算出するフローである。流速と波高は等流計算により求めることとし、その際の横断方向は土石流の流下経路に対して直角の向きとする。このとき、土石流の流速は Manning 型の流速式で近似できるとすれば、式(2.5)のように書ける。

$$U = \frac{1}{n} \cdot h^{2/3} \cdot (\sin \theta)^{1/2} \quad \dots (2.5)$$

ここで、U：土石流の流速[m/s]、n：粗度係数、h：土石流の波高[m]、θ：土地の勾配[度]である。なお、θは当該計算地点とその上流側に所定の水平距離だけ離れた、流下経路上の地点の2地点間で計測する。土石流の波高は式(2.6)により算出する。流下断面は矩形と近似する(図-2.1)。

$$h = \left( \frac{n Q_{SP}}{B (\sin \theta)^{0.5}} \right)^{0.6} \quad \dots (2.6)$$

ここで、Q<sub>SP</sub>：土石流のピーク流量[m<sup>3</sup>/s]、B：土石流の流下幅[m]である。Bの値は基本的に図-2.1に示すように等流計算で求めるが、扇状地上の計算地点では両岸が相当離れている場合が想定されるので、Bの最大値を設定する。図-2.2は過去の土石流災害の実態から推定したBとQ<sub>SP</sub>の関係をプロットしたものである。BとQ<sub>SP</sub>の関係が式(2.7)のようなレジーム型の式で表わすことができる<sup>7</sup>と仮定すると、その係数は表-2.1のようになる。

表-2.1 対象とした溪流名と土石流の諸元及び係数

溪流名	ピーク流量 m <sup>3</sup> /sec	流下幅 m	a
東沢	71.4	35	4.1
中屋洞	18.9	40	9.2
古野川	434.0	18	0.8
笹利川	61.3	35	4.5
中倉川	395.7	25	1.3
布勢川	1225.5	35	1.0
松ヶ沢	60.9	57	7.3
犬間沢	134.4	14	1.2
大櫃沢	78.6	29	3.2
悪谷沢	221.1	80	5.4
河上瀬	235.9	40	2.6
櫃ヶ沢	67.7	27	3.3
井ノ洞	98.4	45	4.5
平均			3.7

<sup>7</sup> 池谷浩(1978)：流路工計画における計画河幅の考え方、新砂防、vol.108、pp.7-13

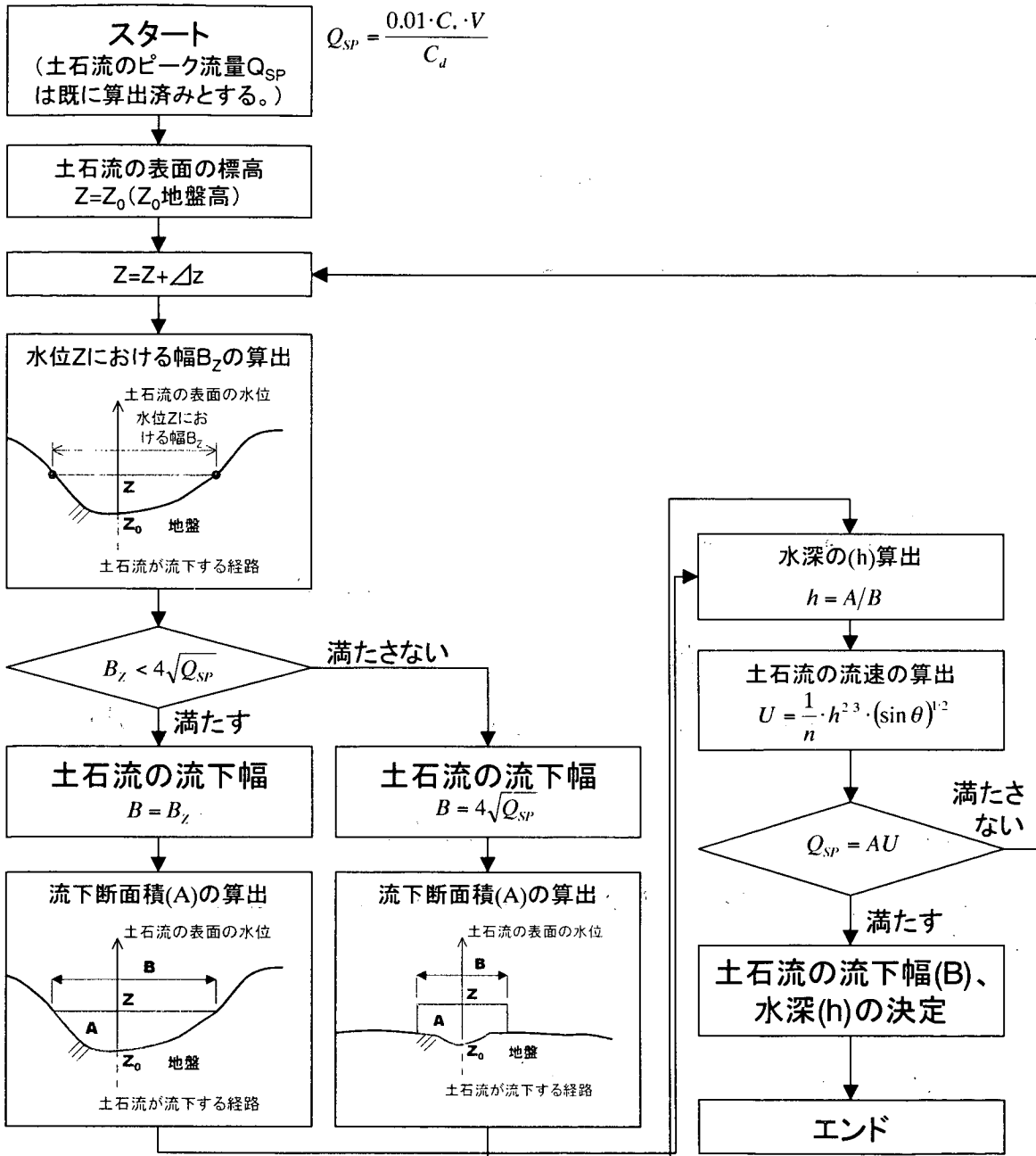


図-2. 1 各計算地点における土石流の流下幅、水深の算出フロー

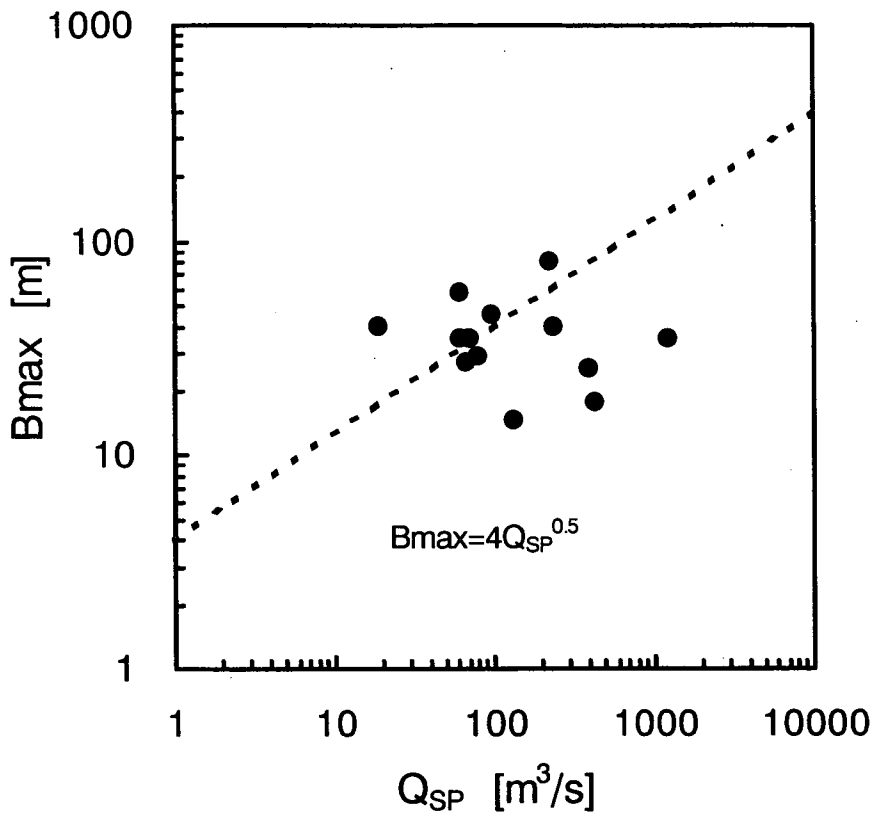


図-2. 2 過去の土石流災害における土石流の流下幅とピーク流量の関係

$$B = a\sqrt{Q_{SP}} \quad \dots (2.7)$$

ここで、 $a$ :係数である。表-2.1から、 $a$ の値の小数第一位を四捨五入して4とし、 $B$ の最大値を式(2.8)とする。

$$B_{max} = 4\sqrt{Q_{SP}} \quad \dots (2.8)$$

ここで、 $B_{max}$ :土石流の流下幅の最大値[m]である。なお、 $Q_{SP}$ は東沢・中屋洞・古野川・笹利川・中倉川・布勢川の場合では実際の氾濫開始点を基準地点として式(2.1)により推定し、松ヶ沢・犬間沢・大櫃沢・悪谷沢・河上瀬・櫃ヶ沢・井ノ洞の場合では実際の氾濫開始点の縦横断形状を参考に式(2.9)から推定した。

$$Q_{SP} = \frac{1}{n} \cdot A_{DEB} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad \dots (2.9)$$

ここで、 $n$ :粗度係数、 $A_{DEB}$ :流下断面積[m<sup>2</sup>]、 $R$ :径深[m]、 $I$ :勾配(=sin $\theta$ 、 $\theta$ :災害での氾濫開始点から上流200mの区間の平均勾配)である。 $A_{DEB}$ は現地の流下痕跡から推定した。

計算地点における  $Q_{SP}$  は式 (2. 10) により算出する。

$$Q_{SP} = \frac{0.01VC_*}{C_d} \quad \dots (2. 10)$$

ここで、 $C_*$  : 堆積土砂の容積濃度、 $C_d$  : 土石流の土砂濃度、 $V$  : 土石流により流下する土石等の量 (空隙込み) [ $m^3$ ] である。 $C_d$  は式 (2. 11) で算出する。

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad \dots (2. 11)$$

一般的に、基準地点は扇頂部に位置すると想定されるので、土石流の流下経路は土石流が堆積する区域であると考えられる。つまり、土砂の堆積を考慮して  $V$  を算出する必要がある。土石流は土砂濃度  $C_d$  で流れることと、土砂は容積濃度  $C_*$  で堆積すると仮定すると、 $Q_{SP}$  は式 (2. 12) のようになる (図-2. 3)。

$$C_{d0} \cdot Q_{SP0} = C_d \cdot Q_{SP} + C_* \cdot (Q_{SP0} - Q_{SP})$$

$$\therefore Q_{SP} = \frac{C_{d0} - C_*}{C_d - C_*} \cdot Q_{SP0} \quad \dots (2. 12)$$

式 (2. 1) と式 (2. 10) を式 (2. 12) に代入して  $V$  について整理すると、式 (2. 13) のようになる。

$$V = \frac{C_* - C_{d0}}{C_* - C_d} \cdot \frac{C_d}{C_{d0}} \cdot V_0 \quad \dots (2. 13)$$

また、計算の対象となる土石流の流下経路は堆積区間になるので、下流に行くにつれて  $Q_{SP}$  が大きくなるのは不自然である。そこで、下流に行くにつれて  $Q_{SP}$  が大きくなりないように式 (2. 13) の計算時についてのみ、ある計算地点 a の土地の勾配  $\theta_a$  が当該地点の上流にある計算地点 b の土地の勾配  $\theta_b$  を上回った場合 ( $\theta_a > \theta_b$ )、 $\theta_a = \theta_b$  とする。

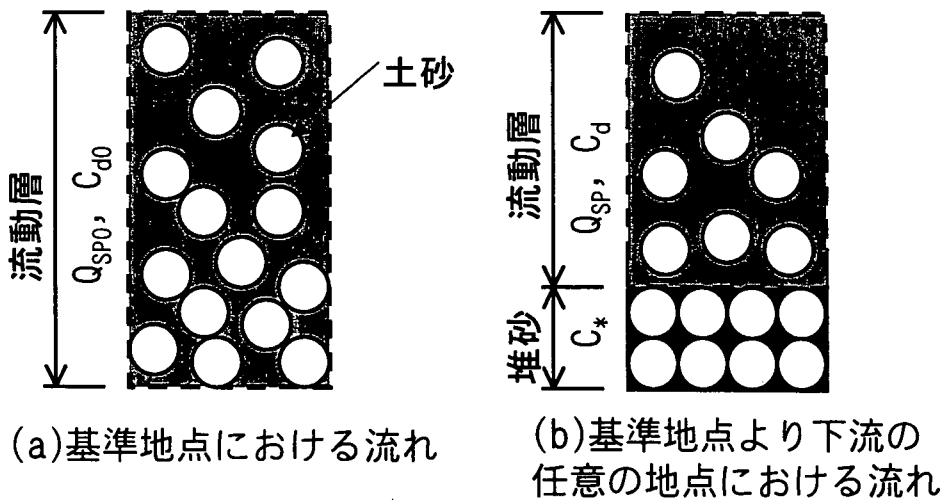


図-2. 3 基準地点及び計算地点における流れの状態

土石流の流体力は式(2.13)に式(2.5)から式(2.13)を用いて算出した $U$ を代入して算出する。

$$F_d = \rho_d U^2 \quad \dots (2.14)$$

ここで、 $F_d$ : 流体力[kN/m<sup>2</sup>]、 $\rho_d$ : 土石流の密度[kN/m<sup>3</sup>]である。土石流の密度は式(2.15)で算出する。

$$\rho_d = \frac{\rho \tan \phi}{\tan \phi - \tan \theta} \quad \dots (2.15)$$

また、家屋の耐力は式(2.16)に式(2.5)から式(2.13)を用いて算出した $h$ を代入して算出する。

$$P = \frac{35.3}{h(5.6-h)} \quad \dots (2.16)$$

ここで、 $P$ : 家屋の耐力[kN/m<sup>2</sup>]である。

#### 2.2.7 家屋被災範囲の図示方法

家屋被災範囲は平面図上に図示する。まず、2.2.6の手法で算出した $F_d$ と $P$ を比較して、式(2.17)を満たす計算地点を抽出する。

$$F_d > P \quad \dots (2.17)$$

次いで、式(2.16)を満たす計算地点において、土石流が流下する幅を土石流の流下経路に対して直交するように直線で平面図上に引く。式(2.17)を満たす計算地点が隣り合う場合に、平面図上に引いた流下幅の左岸・右岸の両端をそれぞれ結ぶ。そのようにして描画した範囲を家屋被災範囲とする。