

大阪大学工学部 正員 室田 明
大阪大学工学部 正員 多田 尊登

1. はじめに；有田川上流域では（Fig.1）昭和28年災により $2 \times 10^7 \text{ m}^3$ の崩壊土砂が生産された。高野谷においては、昭和32年に溪間土砂貯留量は $4.9 \times 10^5 \text{ m}^3$ と推定されている¹⁾。昭和48年の筆者らの砂防ダム堆砂量調査では、河道の約1/3の区間において約 $1.2 \times 10^5 \text{ m}^3$ の土砂貯留が推定された。オーダー的には当時同支谷に堆積した土砂は20年経過後もほとんど貯留されている。この様に大粒径を含む土砂の移動は支谷流路で大きな時間遅れを伴うことが予想される。一方支川湯子川河道のNo.13断面（Fig.1参）における横断測量の結果によれば（Fig.2），昭和47年9月と同10月の断面に 25.5 m^2 の堆積， 5.0 m^2 の死蔵がみられる。これは同年9月16日，226 mm（高野山）の一雨による土砂移動の結果でありうと思われ，大きな土砂移動が想像される。この様な山地小流域における土砂移動の解析を河道数モデルから試みた例を報告するものである。

2. 流域モデル；山地河川の土砂移動を解析する場合，支谷河道の様な小流域の流量推定等が必要である。しかし対象流域をあまり小流域にまで分割すると地形等のパラメーターのばらつきが大きくなり，また更に複雑なパラメーター（植生・流路・斜面の不整など）が必要となり，精度・計算時間のいづれも不利となる。むしろ単純な流域オーダーモデルの組合わせから各オーダーの降雨流出・土砂移動を検討するのが实际的であろう。

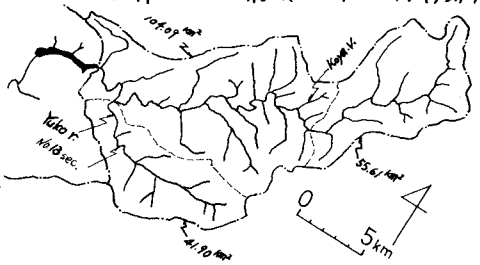


Fig.1 有田川上流域

本流域は地形地質的にほぼ homogeneous であると思われる。1/25,000 地形図、流域踏査等から Table-1 のようなオーダー分類を試み天々に対して流出モデルを検討した。以下同表の記号を用いる。O(0)には通常河道はない。降雨流出は中間流と表面流からなる。O(1), O(2)は河道を全て実測することは不可能でありばらつきも大きいからモデル的に河道を表現せねばならない。O(3), O(4)は堤などによって固定されていて実測資料を得ることができず。揚流公式の適用範囲は通常この領域であり，O(1), O(2)は限界掃流力のみが適用できる。特にO(1)は突発的な土石流による大土量の流送が起る。O(0)は豪雨による突発的な山腹崩壊，通常の降雨での裸地の表面浸食による土砂生産の場合である。

Table - 1		
オーダー		勾配範囲
O(0)	山腹斜面	3×10^{-1} 以上
O(1)	溪谷流路	$3 \times 10^{-1} \sim 10^{-1}$
O(2)	支谷流路	$10^{-1} \sim 10^{-2}$
O(3)	支川流路	$1.6 \times 10^{-2} \sim 3 \times 10^{-3}$
O(4)	本川	

O(0)における最もシンプルなパラメーターとして，地形：斜面傾斜角 θ_0 ，斜面長さ l_0 ，地質および風化度：透水係数 k ，空隙率 ε ，風化土厚 h を考える。模式的に Fig.3 に示している。飽和浸潤面進行速度は空隙空気圧を無視すると， $\dot{x} = k \cos \theta_0 / \varepsilon$ ……(1) で表わされる。風化土厚中の流れは Darcy 則に従い， $\sin \theta_0 \gg h x$ として，連続式とともに

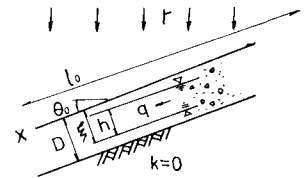


Fig.3 山腹斜面模式図

$$q = k \sin \theta_0 \cdot h \quad \dots (2), \quad q_x + \varepsilon h x = i_e \quad \dots (3)$$

ここに q ：単位幅流量， h ：飽和水深，添字 x ， ε は偏微分を表わす。最上流端水深 h^u は $\tau = 0$ で $h = h^u$ とする

$$h^u = \frac{\varepsilon \tau}{E} \left\{ i_e e^{\frac{\varepsilon \tau}{E}} + h_0^u \right\} \quad \dots (4)$$

$$\therefore C = \frac{k \sin \theta_0}{E} \quad \dots (5)$$

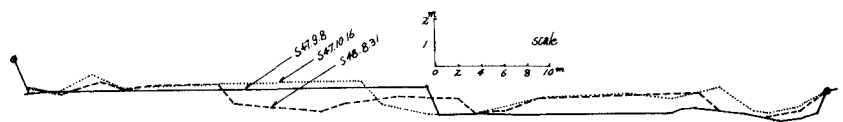


Fig.2 No.13 横断面図

任意断面の水位は特性表示の次の様に表わされる。

$$\frac{dx}{dt} = C \quad \dots (6) \quad \text{L} \quad h = h_0 + \int_{t_0}^t \frac{1}{C} dt \quad \dots (7)$$

以上 $k > r \cos \theta_0$ のとき $h = r \cos \theta_0$, $k \leq r \cos \theta_0$ のとき $h = k$ となる。表面流は、 $k < r \cos \theta_0$ のとき $r_u = r \cos \theta_0 - k$, $h = \xi$ または $h = \phi$ より下流では $r_u = r \cos \theta_0$ とし Manning 則と連続式は次の様になる。

$$h' = K_0 g^{1/P_0} \quad \dots (9) \quad h' + g' x = r_u \quad \dots (10) \quad \text{ここに } K_0 = (n/\sqrt{\sin \theta_0})^3, P_0 = 3/5 \quad \dots (11)$$

$$\text{故に } \frac{dx}{dt} = \frac{g'^{1-P_0}}{K_0 P_0} \quad \dots (12) \quad \text{L} \quad g' = \left\{ \frac{1}{K_0 P_0} \int r_u dt \right\}^{1/P_0} \quad \dots (13)$$

ここに h' : 表面流水深, g' : 表面流単位幅流量, n : 粗度係数。O(1), O(2)は同様の形式で

$$A = K Q^P \quad \dots (14) \quad A_t + Q_x = g \quad \dots (15) \quad R = K_1 A^2, K = \{n/(K_1^{1/3} \sqrt{\sin \theta})\}^3, P = 3/(2z+2) \quad \dots (16)$$

$$\text{故に } \frac{dx}{dt} = \frac{Q^{1-P}}{K P} \quad \dots (17) \quad \text{L} \quad Q = \left(\frac{1}{K P} \int g dt \right)^{1/P} + Q_0 \quad \dots (18)$$

ここに A : 流水断面積, Q : 流量, g : 河道への単位幅流入である。O(3), O(4)も同様に

$$\frac{dx}{dt} = \frac{Q}{A} \pm \left(\frac{gA}{B} \right)^{1/2} \quad \text{L} \quad dH + \frac{1}{gA} \left[\frac{Q}{A} \pm \left(\frac{gA}{B} \right)^{1/2} \right] dQ = - \left[\frac{1}{gA} \left\{ \frac{Q}{A} \mp \left(\frac{gA}{B} \right)^{1/2} \right\} \right] dx \quad \dots (19), (20)$$

3. 支川湯子川における解析例; 地図からO(1)流域モデルとしてFig.4に示すスケールを決定する。山腹の幅はO(2), O(3)にも適用する。山腹崩壊土砂の粒度分布¹⁾, 洪水流出の流出率および洪水流量の低減曲線のシミュレーションから k は, $\bar{k} = 10 \text{ mm/hr}$, $k_{\max} = 2.15 \times 10^3 \text{ mm/hr}$ の対数正規分布に従うとする。($\varepsilon = 0.2$)。 n は簡単のため共通して 0.035 とした。また高野谷の実測から、代表値として O(1): $K_1 = 0.594$, $z = 0.5$, O(2): $K_1 = 0.327$, $z = 0.5$ を用いる。 ϕ は山腹崩壊深度分布¹⁾ のモード 1.5m を使用した。支川湯子川における各オーダーの組合せはFig.5に示す通りである。ここに断面間隔は 500m, 右岸側の数字は支谷面積の流入を、左岸の積線は支川河道に流入するO(1)流域を表わす。各支谷

に対しても地図、流域面積および河道長から同様の流入図を作成した。上に述べた基礎式を差分化して流入図に使い、昭和47年9月16日降雨の流出計算を行ない各オーダーのハイドログラフを得た。断面13の掃砂流量計算値とともにFig.6に示している。河床の粒度分布は実測値(昭和48年)を用い、計算式は芦田・道上の方法による。流砂量は17時間中に 290m³ となり、下流での流量の適合とともに妥当な値ではないかと思われる。河床変動については講義時に述べる予定にある。以上山地小流域の土砂移動解析例を示したが、支谷河道以下のオーダーの土砂移動の取扱いを今後検討してやかねばならないと思われる。

なお本研究は自然災害特別研究(代表者: 石原龍次 郎名誉教授)「土砂の流送・運搬に伴う自然環境の変化に関する研究」の補助を受けて行われた。

1) 和歌山県砂防利水課「有田川上流域崩壊調査」昭和32年。

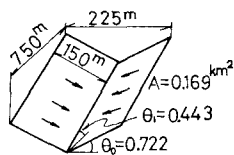


Fig. 4 O(1) 流域モデル

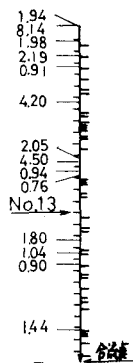


Fig. 5 流入図

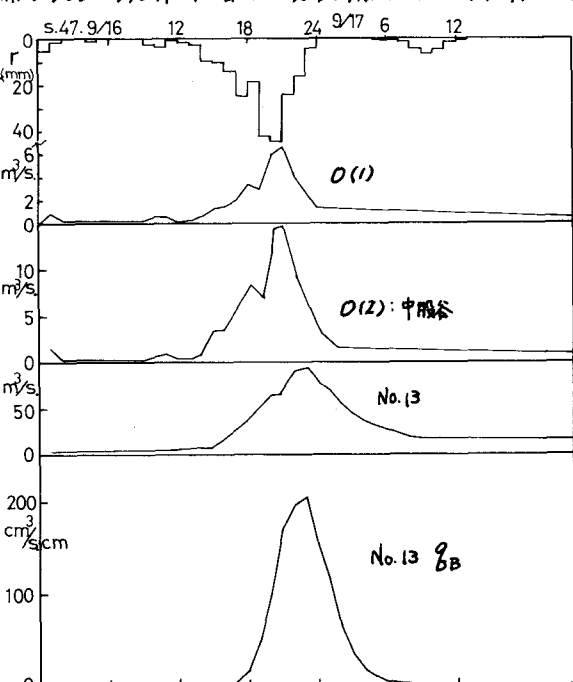


Fig. 6 ハイドログラフ