

黄河中流域における流出解析と土砂流出評価に関する研究

九州大学大学院工学研究院 正 員 ○橋本晴行
九州大学大学院工学府 学生員 高岡広樹
九州大学大学院工学府 正 員 池松伸也
九州大学大学院工学府 学生員 池本亮二

1. はじめに

黄河中流域では、その支川が黄土高原を深く切り刻みながら通過するため、微細土砂を高濃度に含有した洪水が本川に流れ込み、流域内の水利・電源開発などの障害や河床上昇による洪水疎通能力の低下を来している。従って、高濃度洪水による土砂流出の正確な評価が重要であり、長年の課題となっている。

本研究は、まず、対象流域として窟野河(Kuye River)、秃尾河(Tuwe River)、佳芦河(Jialu River)を選び(図-1)、現地の水理・水文観測資料を用いて、流域の流出特性を調べる。次に、水理・水文観測点において、貯留関数法による流出解析を行い、パラメータ同定を行う。その結果を用いて土砂流出の評価について調べる。最後に、水理・水文観測点を境界として洪水追跡計算を行い、任意の地点のハイドログラフを求める。

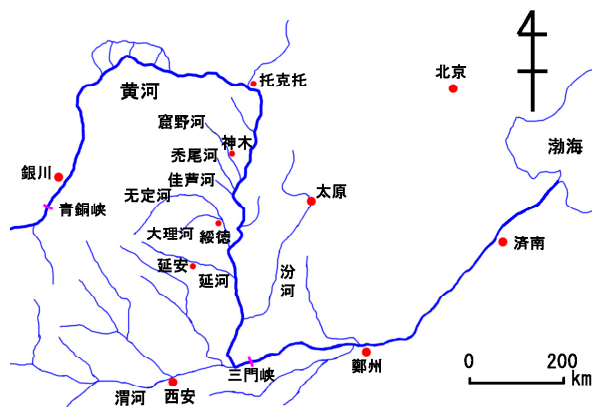


図-1 黄河中流域における主な支川

2. 流域の流出特性

流域面積から見ると、我が国では、窟野河は淀川(流域面積 $A=8,240\text{km}^2$)、佳芦河は太田川(流域面積 $A=1,690\text{km}^2$)、秃尾河は吉野川(流域面積 $A=3,652\text{km}^2$)にそれぞれ匹敵する。

現地水文観測点における雨量、流量の実測値を用いて流出係数を算出する。流出係数は次式によって求める。

$$\int Q dt = 10^3 f_0 \left(\int r dt \right) A \quad (1)$$

$$Q_p = \frac{1}{3.6} f_p \bar{r} A \quad (2)$$

ここに $\int Q dt$: 総流量(m^3)、 Q_p : ピーク流量(m^3/s)、 r : 降雨強度(mm/h)、 A : 流域面積(km^2)、 $\int r dt$: 総降雨量(mm)、

$\bar{r}$: ピーク到達時間内の平均降雨強度(mm/h)、 f_0 : 平均的な流出係数、 f_p : ピーク時の流出係数である。

図-2に流出係数の値を示す。図-2より $f_0 = 0.05 \sim 0.62$ 、 $f_p = 0.05 \sim 1.57$ であることが分かる。また f_0 は f_p より小さな値をとり、 f_p は1より大きい値もある。これはピーク時には土砂を高濃度に含有するためである。

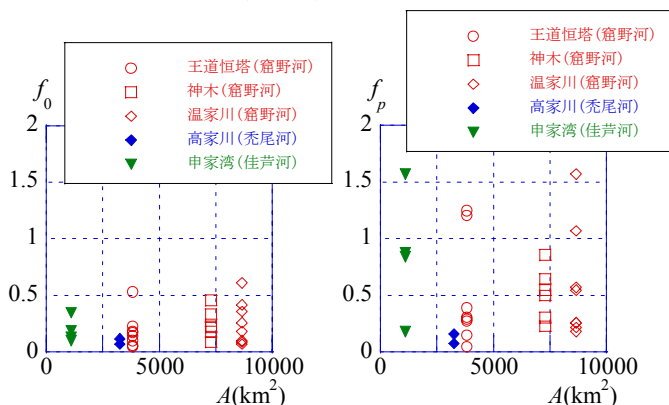


図-2 流出係数と流域面積との関係

3. 流出解析

各雨量観測点における降雨波形を用い、ティーセン法によって流量観測点における空間平均雨量を求め、これらを用いて貯留関数法による流出解析を行い、パラメータ同定を行う。

(1) 基礎式

貯留関数法の基礎式は次式で表される。

$$\frac{ds}{dt} = f_0 r - q \quad (3) \quad s = k_1 q^{p_1} + k_2 \frac{dq^{p_2}}{dt} \quad (4)$$

ここに、 t : 時間(h)、 s : 貯留高(mm)、 f_0 : 流出係数、 r : 降雨強度(mm/h)、 q : 直接流出高(mm/h)、 k_1 、 k_2 、 p_1 、 p_2 : モデル定数であり、パラメータ p_1 、 p_2 については $p_1=0.6$ 、 $p_2=0.465$ である。

洪水1波形毎に流出解析を行い、パラメータ k_1 、 k_2 の同定を行う。

(2) 解析結果

流出解析結果の1例を図-3に示す。図中には流量の実測値と空間平均雨量も示している。パラメータ k_1 、 k_2 の同定した値と流域面積との比較を図-4に示す。ややばらつきが大きく、 $k_1=0.1 \sim 6$ 、 $k_2=2 \sim 65$ となった。また、流域面積が大きいくほど k_2 は大きくなっている。これは、流域面積が大きいくほど流出が緩やかであることを示している。

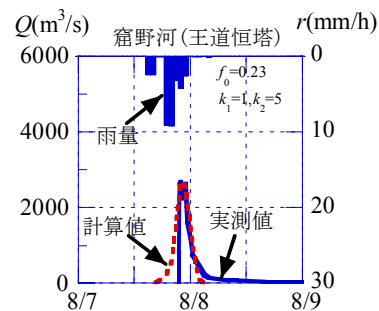


図-3 流出解析結果

キーワード 黄河流域、流出解析、貯留関数法、土砂流出

連絡先 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学大学院工学府 TEL:092-642-3289

(3) 土砂流出量の評価

流出解析によってパラメータの同定を行い、その結果を用いて土砂流出量の評価を行う。まず、断面を矩形とし、流れを等流と仮定することにより次式から水深を計算する。

$$Q = Bh \sqrt{\frac{8}{f}} \sqrt{ghI} \quad (5)$$

ここに、 Q : 流出流量, f : 摩擦損失係数, g : 重力加速度, h : 水深, I : 河床勾配である。

ここで、摩擦損失係数 f が必要である。図-5は、窟野河のデータについて摩擦損失係数と無次元水深との関係を調べたものである。図中にはシルト～細砂を用いた水路実験結果¹⁾も示している。実線は泥流型土流について橋本らによって提案されている式^{2,3)}を示しており、窟野河のデータは理論式とよく一致していることがわかる。

式(5)から水深 h を計算し、流砂量式より土砂流出量を評価することができる。流砂量式としては従来より提案されている、広範な流砂形態に適用可能な平衡流砂量式を用いる⁴⁾。

図-6は土砂流出量の計算値と実測値との比較である。計算値は実測値と比較的一致しているのが分かる。そのため流量ハイドログラフが与えられればその結果を用いて流出土砂量を評価できる。

4. 洪水追跡計算

窟野河（神木～温家川間）を対象として、神木の現地観測流量を用いて洪水追跡計算を行う。計算時間は1979年8月7日～8月14日である。計算に用いた基礎式は以下のものである。

運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = gBh \left(-\frac{\partial(h+z)}{\partial x} \right) - (B+2h) \frac{f}{8} v^2 \quad (6)$$

全相連続式

$$B \frac{\partial(h+z)}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{in} \quad (7)$$

固相連続式

$$B \frac{\partial C_* z}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} = C_{in} q_{in} \quad (8)$$

ここに、 z : 河床高(m), h : 水深(m), f : 摩擦損失係数, v : 平均流速(m/s), B : 川幅(m), C_* : 最密充填濃度, q_{in} : 降雨の河川への横流入量であり、合理式によって求める。

初期条件は、計算結果に影響を及ぼさない程度の微小な流量、水深を与える。境界条件として、上流端で神木の観測点における実測流量を与える。

温家川における流量ハイドログラフの計算値と実測値との比較を図-7に示す。計算値と実測値はよく一致しており、上流の洪水波形から下流の洪水波形を推測できることが分かった。

5. おわりに

本研究では黄河中流支川窟野河、佳芦河、秃尾河を対象とし、現地観測資料を用い流出特性を調べた。その結果、流出係数は $f_b=0.05 \sim 0.53$, $f_p=0.05 \sim 1.57$ となり、土砂を高濃度に含むため f_p は1よりも大きくなった。また、水文観測点において、貯留関数法による流出解析を行い、パラメータ k_1 , k_2 の同定を行った。その結果を用いて、流れを等流と仮定することにより、流砂量を評価することができた。従って、現地の降雨データを用いて、観測点における流量、流砂量を評価することが可能であることが分かった。さらに、洪水追跡計算により、観測点の流量ハイドログラフから下流の任意の地点における流量、流砂量を推測できることが分かった。

参考文献: 1) 橋本・高岡・池松・全・上野: 水工学論文集, 第48巻, 2004.

2) 橋本・平野: 水工学論文集, 第39巻, 1995. 3) Hashimoto and Hirano: Debris Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, ASCE, 1997. 4) 橋本・朴・池松・田崎: 水工学論文集, 第47巻, 2003.

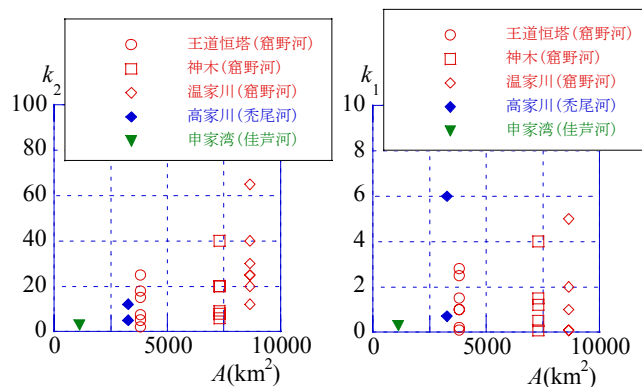


図-4 同定されたパラメータ k_1 , k_2 の値

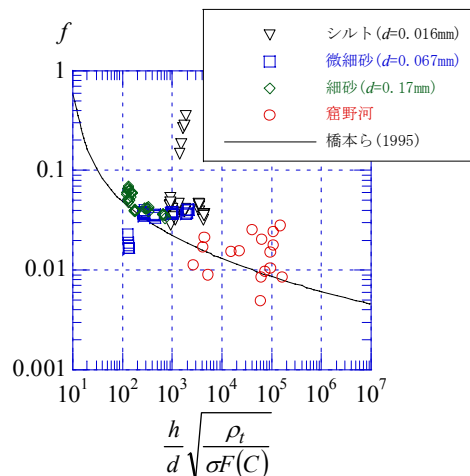


図-5 摩擦損失係数と無次元水深との関係

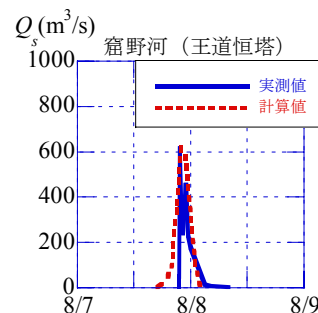


図-6 流砂量の評価

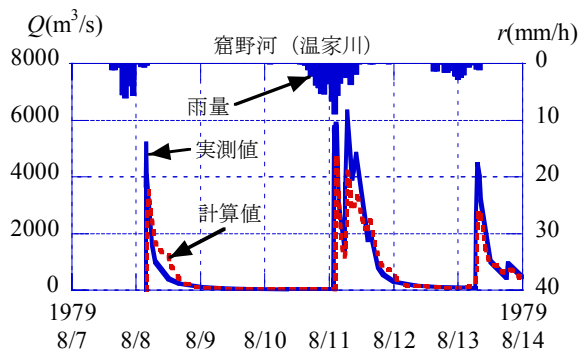


図-7 温家川における流量ハイドログラフ