

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、ピーク時で体積濃度 $C=15\% \sim 40\%$ にも達するとともに、時にはそれ以上の高濃度流れが発生している。このような高濃度洪水は、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などを引き起こしており、高濃度洪水による土砂流出評価は長年の課題となっている。著者らは、その研究の一環として、従来より、黄河中流支川における高濃度洪水の普遍的な抵抗と流砂量則の解明を行ってきた^{1), 2), 3)}。その結果、中流域北部右支川窟野河について、著者らにより提案された泥流型土石流モデルが流れの抵抗と流砂量をとともに説明できることを明らかにした。本研究は、その成果をもとに窟野河における土砂流出量の評価法について検討したものである。

まず、観測点において測定された水理・水文学⁴⁾ から貯留関数法を用いて流出解析を行い、流量ハイドログラフを評価する。次に、得られた流量に対して流れの抵抗と流砂量式を用いることにより流砂量ハイドログラフを求め、観測値と比較する。最後に、観測点における流量ハイドログラフを境界条件とし、それより下流における河床変動解析を行い任意地点における流量、流砂量ハイドログラフの予測法について検討する。

2. 高濃度洪水の抵抗と流砂量則

正確な土砂流出予測には、河道における高濃度洪水の普遍的な抵抗と流砂量則の解明が必要である。高濃度洪水は高濃度の含有土砂のため、流砂濃度の増加とともに抵抗則などの流れ特性を変化させる。既往のモデルとして、泥流型土石流モデル^{5)~7)} を取り上げ、その黄河支流への適合性を検討した。その結果、窟野河における洪水流の観測結果については、泥流型土石流モデルによりその流れの抵抗と流砂量が同時に説明できることが分かった^{2), 3)}。

3. 水理・水文観測点における流出解析に基づく流砂量ハイドログラフの評価

窟野河において、流域内の観測雨量を用いて貯留関数法による流出解析を行い、実測ハイドログラフと比較し、パラメータ k_1, k_2 の同定を行う。次に流出解析より得られた流量から流砂量式を用いて流砂量ハイドログラフを求め、実測結果と比較する。

図-1は、貯留関数法⁸⁾を用いて流出解析を行った結果の1例である。ここに、図中の f_0 は流出係数である。

得られた流量ハイドログラフから、流れを等流と仮定し、河川断面を長方形とし、摩擦損失係数 f については2章の成果を用いて、流砂量を評価する。図-2は、このようにして求めた流砂量ハイドログラフの計算値と観測値との比較である。計算値は観測値と概ね一致している。従って、流出解析により水理・水文観測点における流量ハイドログラフが得られれば、その結果と、抵抗則および流砂量式を用いて流砂量ハイドログラフを評価することができる。

4. 任意地点における河床変動解析に基づく流砂量ハイドログラフの評価

次に、窟野河において、観測点における流量を境界条件として河床変動解析を行い、任意地点の流量、流砂量を予測する方法について検討する。

4. 1 基礎式

基礎式として、1次元不定流の運動方程式、全相連続式、固相連続式を用いる。運動方程式、全相連続式、固相連続式はそれぞれ以下ようになる。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial vQ}{\partial x} = gBh \left[-\frac{\partial(h+z)}{\partial x} \right] - (B+2h) \frac{f}{8} v^2 \tag{1}$$

$$B \frac{\partial(h+z)}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{in} \tag{2}, \quad B \frac{\partial C_* z}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} = 0 \tag{3}$$

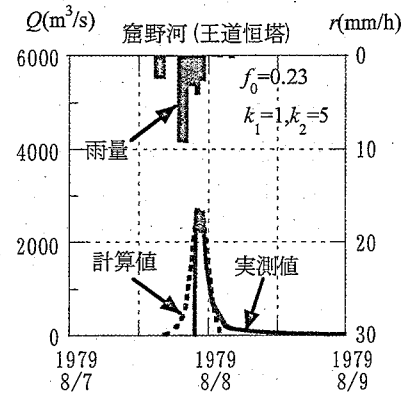


図-1 流量ハイドログラフの観測値と計算値との比較

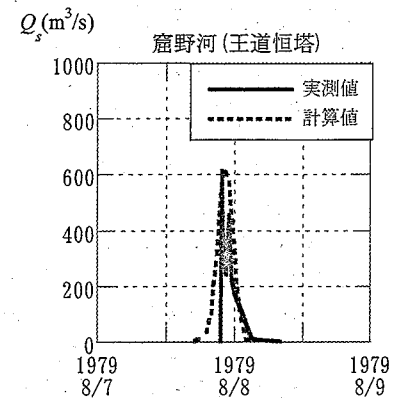


図-2 流砂量ハイドログラフの観測値と計算値との比較

ここに、 Q :全流量、 h :水深、 z :河床高、 B :川幅、 C_* :最密充填濃度、 v :流れ方向流速、 q_m は側方からの流入流量であり、合理式により求める。ここに、 x 軸は上流端から水平にとった距離、 z は基準水平面から垂直上向きに測った河床高である。最密充填濃度は $C_*=0.6$ である。摩擦損失係数 f 、流砂量 Q_s の評価式として2章の成果を用いる。

4.2 初期・境界条件と計算条件

計算区間は神木観測点から黄河本川との合流点付近(温家川観測点)までの全長80km区間、計算対象時間は1979年8月7日0時~13日24時までの時間である。ここで、空間格子間隔 $\Delta x=1\text{km}$ 、時間格子間隔 $\Delta t=1\text{sec}$ とする。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、上流端で神木における実測流量ハイドログラフ(図-3)を与える。

4.3 計算結果

図-4、5は温家川観測点における流量、流砂量の計算値と実測値との比較を示す。流量、流砂量とも計算値と実測値はよく一致していることが分かる。従って、観測点における流量ハイドログラフが与えられ、さらに、それより下流の任意地点において、河床高や河道幅の情報が与えられれば、流量、流砂量ハイドログラフを推測することができる。

5. おわりに

本研究は、黄河中流支川の窟野河を対象とし、そこで発生する高濃度洪水の抵抗と流砂量則の研究成果をもとに、流砂量ハイドログラフの評価法を明らかにした。窟野河について流出解析より得られた流量ハイドログラフから、橋本らにより提案された抵抗則と普遍的な流砂量則を用いて流砂量ハイドログラフを求めることができた。さらに、観測点において流量ハイドログラフが得られれば、それを境界条件として河床変動解析を行い、任意地点における流量、流砂量ハイドログラフの予測が可能となった。

今後、他の支川における洪水流の抵抗則と普遍的流砂量則の解明および、それに基づく土砂流出の評価が課題である。

謝辞: 本研究は、一部、科学技術振興事業団・戦略的基礎研究推進事業「黄河流域の水利用・管理の高持続性化」(代表 楠田哲也 九州大学特任教授)の補助の下におこなわれたものである。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 橋本晴行・高岡広樹・池松伸也・全炳徳・上野賢仁:黄河中流域における河道堆積土砂調査と高濃度流れの水路実験, 水工学論文集, 第48巻, pp.943~948, 2004.
- 2) 高岡広樹:高濃度流れによる河道浸食と土砂流出に関する研究, 九州大学学位論文, 2006.
- 3) 橋本晴行・高岡広樹・池松伸也:黄河中流支川における土砂輸送と抵抗則に関する研究, 水工学論文集, 第51巻, 2007.
- 4) Yellow River Conservancy Commission: Data of Water and Sediment of the Yellow River, 1980 and 1982 (in Chinese).
- 5) 橋本晴行・平野宗夫:泥流の抵抗則に関する研究, 水工学論文集, 第39巻, pp.495~500, 1995.
- 6) Haruyuki Hashimoto and Muneo Hirano: A FLOW MODEL OF HYPERCONCENTRATED SAND-WATER MIXTURES, Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Proceedings of First International Conference, ASCE, August 7-9, pp.464~473, 1997.
- 7) 橋本晴行・朴崎稔・池松伸也・田崎信忠:急勾配移動床水路における種々の流砂形態に対する統合的流砂量式, 水工学論文集, 第47巻, pp.571~576, 2003.
- 8) 土木学会:水理公式集(平成11年版), 1999.

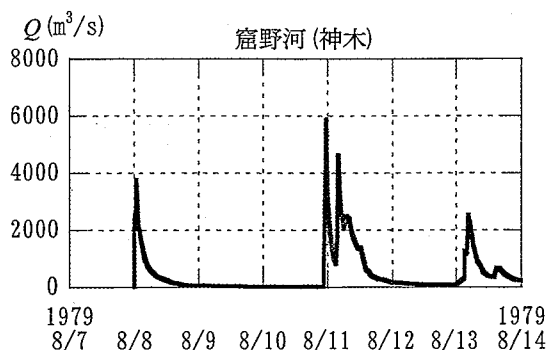


図-3 神木における実測流量

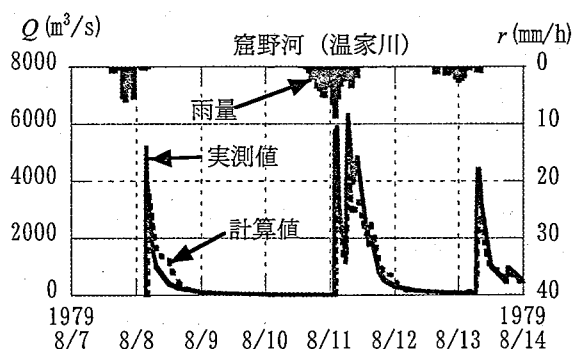


図-4 流量の計算値と実測値との比較

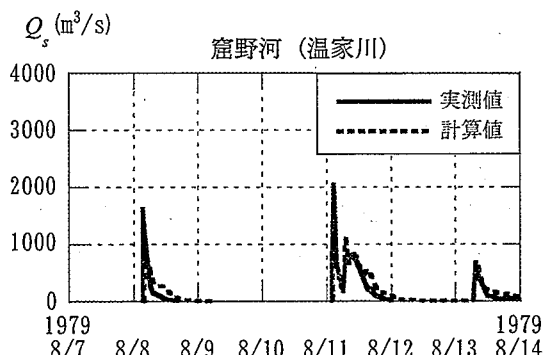


図-5 流砂量の計算値と実測値との比較