

土砂移動も考慮した洪水予測技術の提案

三井共同建設コンサルタント株式会社 正会員 ○原田 紹臣
立命館大学 正会員 里深 好文

1. 研究の目的

近年、気象観測技術や解析技術の向上に伴い、一級河川等を対象に、雨量から河川水位をリアルタイムに求めることが可能な水位予測システム等が構築されている。本来、河川の水位は水深と河床位を用いて予測する必要があるが、現在普及している予測システムの殆どは水の移動のみを取り扱っている。しかしながら、土砂生産量の多い流域においては、土砂移動に伴う河床変動を考慮する必要がある¹⁾。一方、計画規模程度の出水を対象にしている既往の予測システムを改良すれば、高い頻度で発生する中小規模の出水における土砂移動までを把握することが可能となる。なお、モデルの改良に伴い経年的な土砂動態の変化を知ることが可能になると、ダムの堆砂問題や河川の土砂環境に関する検討に際して有効な予測手段が得られることになる。

本研究では、河床変動も考慮した河川水位予測システムの提案を目的に、既往研究²⁾³⁾で構築されたモデルを一部改良し、土砂生産の活発な流域を対象に解析結果と観測結果との比較によりそのモデルの妥当性に関して検証を行った。

2. モデルの概要

本研究で用いる土砂流出予測モデル²⁾では、流域を複数の斜面群と一組の河道網とによって表現している。なお、斜面下端における流量および今回新たに考慮する斜面からの土砂供給量を河道への横流入とし、河道部において一次元河床変動計算を行う。基礎式の一部について以降に示す。

(1) 斜面部における流出解析

斜面部における雨水の流出に関しては、Kinematic wave法を用いると、

$$q_0 = \alpha_k h^m \quad (1)$$

$$\alpha_k = \frac{\sin^{1/2} \theta_s}{n_e} \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e \quad (3)$$

と表される。ここに、 q_0 : 単位幅流量、 θ_s : 斜面勾配、 n_e : 等価粗度、 h : 水深、 r_e : 降雨強度および係数 m は 5/3 である。

(2) 流砂形態別に応じた流れの抵抗則

既往の研究⁴⁾によると、粗粒子が全流動層に分散して流れる(土石流)条件については、 $C_L > 0.4C_{sL}$ とされている。ここで、 C_L は粗粒子の容積濃度、 C_{sL} は堆積層の粗粒子容積濃度である。また、 $C_L < 0.4C_{sL}$ の場合は掃流状集合流動、粗粒子濃度が約0.01以下の場合には掃流砂または浮遊砂として

考えられる。それぞれの流砂形態別の抵抗則は、

【 $C_L \geq 0.4C_{sL}$ の場合】

$$q = \frac{2}{5d_{mL}} \left\{ \frac{g \cdot C_L + (1 - C_L)\rho_m}{\sigma} \right\}^{1/2} \cdot \left\{ \left(\frac{C_{sL}}{C_L} \right)^{1/3} - 1 \right\} h^{5/2} \sin^{1/2} \theta_u \quad (4)$$

【 $0.01 < C_L < 0.4C_{sL}$ の場合】

$$q = \frac{0.7\sqrt{g}}{d_{mL}} h^{5/2} \sin^{1/2} \theta_u \quad (5)$$

【 $C_L \leq 0.01$ あるいは $h/d_{mL} \geq 30$ の場合】

$$q = \frac{0.7\sqrt{g}}{n_m} h^{5/3} \sin^{1/2} \theta_u \quad (6)$$

と表される。ここに、 q : 単位幅流量(水+流砂)、 d_{mL} : 流砂中における粗粒子の平均粒径、 g : 重力加速度、 ρ_m : 細粒子(細粒礫)を含む液体相の単位体積重量、 θ_u : 水面勾配および n_m : マニングの粗度係数である

(3) 崩壊裸地斜面からの土砂供給

崩壊斜面から河道へ土砂供給する過程を再現するため、崩壊裸地斜面から河道へ供給される単位時間の単位河道長さあたりの供給土砂量 q_{sin} を、

$$q_{sin} = kr_0 A_h / l_g \quad (7)$$

$$q_{in} = q_0 + q_{sin} \quad (8)$$

のように与えることとした。ここに、 k : 係数、 r_0 : 超過雨量(mm/hr)、 A_h : 崩壊地(裸地)の面積、 l_g : 崩壊地に接続する河道長さ、 q_{in} : 側方からの単位長さあたりにおける水と土砂の流入量である。なお、近年の既往研究⁵⁾より、当該流域における斜面崩壊は長期的な降雨より短期的な降雨に影響を受けることが示唆されている。そこで、本研究では仮定した超過雨量を超えた場合に、その継続時間および裸地斜面の面積に応じて斜面崩壊により土砂が供給されると発生すると仮定している。ただし、今後、他の流域における適用に際しては、別途、議論が必要である。

3. 解析事例

(1) 計算条件

本研究では、雨量、流量ならびに流砂量等に関して継続的に観測されている神通川水系蒲田川上流に位置する足洗谷(約6.5km²: 図-1)流域を対象に、観測値との比較を行う。解析の対象期間は、欠測期間等を考慮して平成24年4月

キーワード 洪水予測, 河床変動, 斜面崩壊, 数値計算, 流砂観測

連絡先 〒552-0007 大阪市港区弁天1丁目2番1-1000号 三井共同建設コンサルタント株式会社 関西支社 TEL06-6599-6019

から10月までとしている。また、本流域から流出する流砂量のデータとしては、当該流域で継続的に実施されているハイドロフォンによる観測結果を用いた。有効降雨量に関しては、既往研究³⁾で整理された当該流域における総降雨量と損失雨量との関係(図-2)を用いる。なお、本研究では損失分の流量に関して、基底流量(No.1観測地点において約1m³/s)として河道に還元している。

その他の解析条件として、初期河床厚を300cm、交換層厚を50cm、 $\sigma = 2,650\text{kg/m}^3$ 、 $\rho = 1,000\text{kg/m}^3$ 、河床の容積濃度0.65、 $g = 9.8\text{m/s}^2$ 、侵食速度係数を0.005、堆積速度係数を0.0002、マンニングの粗度係数を0.003~0.05m^{-1/3}sならびに斜面の等価粗度を1.0とした。

(2) 計算結果と考察

新たなモデルを用いて解析した観測地点(No.1)における流量の計算結果と観測結果との比較を、図-3に示す。一部の流量値に関して計算結果と観測結果とにおいて差が確認された。この要因として、全斜面において一律の等価粗度で設定していることなどが推測される。ただし、時間的変化に関しては概ね再現できていることが明らかになった。

次に、下流端における累積流砂量の計算結果と観測結果との比較に関して図-4に示す。流砂量の時間的変化に関して、計算結果と観測結果とにおいて差が確認された。この要因として、流砂観測の精度、設定した粒度分布特性なら

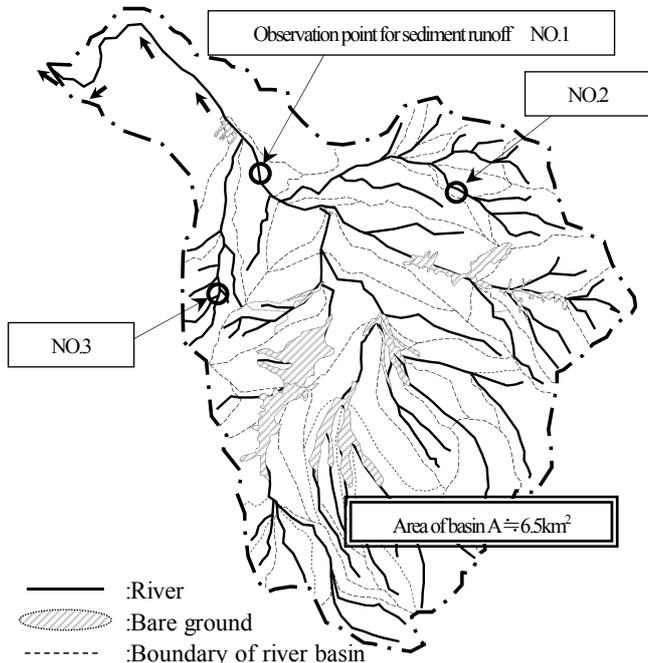


図-1 対象とする流域および崩壊地(裸地)の分布状況

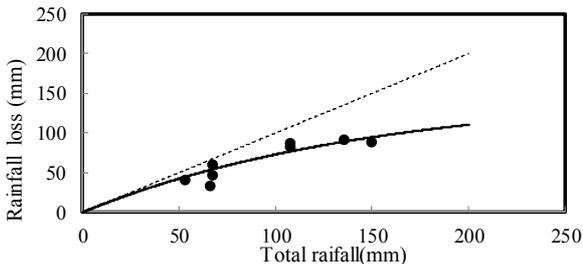


図-2 総降雨量と損失雨量との関係

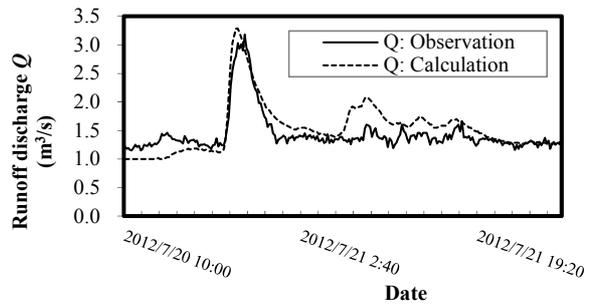


図-3 流量に関する解析結果と観測結果との比較 (No.1)

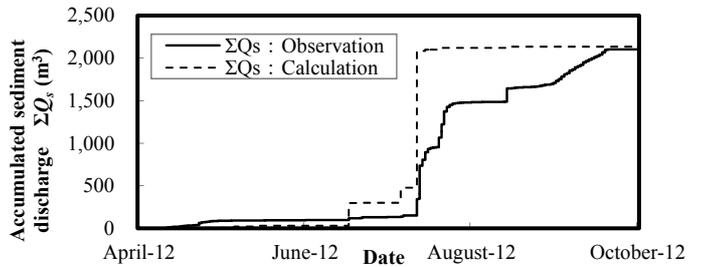


図-4 流砂量に関する解析結果と観測結果との比較 (No.1)

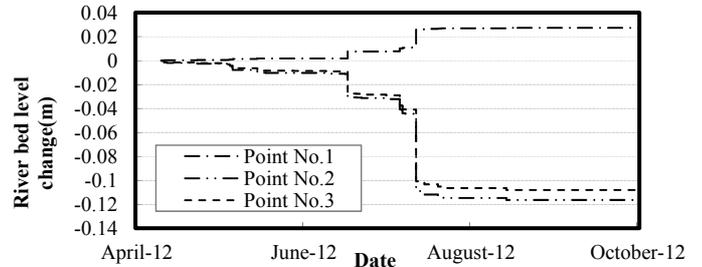


図-5 各地点における河床の時間的変化 (No.1)

びに流下に伴う摩擦による礫径変化の影響等によるものと推測される。ただし、年間の流出土砂量に関して既往モデルでは $\Sigma Q_s = 1,500\text{m}^3$ であったが、今回改良したモデルでは図-4に示されるとおり概ね再現できていることが分かった。

最後に、図-1に示す各地点における河床の変化に関して、図-5に示す。各地点において、河床の変動が確認されている。今後、礫の流下に伴う摩擦による粒径変化に関するモデル化が望まれる。

参考文献

- 1) 高橋保, 中川一, 里深好文, 鈴木信昭: 豪雨時における水系一貫の土砂流出予測に関する研究, 河川技術に関する論文集, Vol.5, pp.177-182, 1999.
- 2) 高橋保, 井上素行, 中川一, 里深好文: 山岳流域における土砂流出の予測, 水工学論文集, Vol.44, pp.717-722, 2000.
- 3) 平澤良輔, 里深好文, 水山高久, 堤大三: 山岳流域の雨水流出, 土砂生産流出シミュレーター (SERMOW-II) の開発と適用, 砂防学会誌, Vol.64 No.5, pp.32-37, 2012.
- 4) 高橋保, 中川一: 豪雨時における石礫型土石流の予測, 新砂防, Vol.44 No.3, pp.12-19, 1996.
- 5) 速見智, 里深好文: 山地源頭部における溪岸堆積物の水分動態と土砂移動の観測, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.69, No.4, pp.943-948, 2013.