

活発な土砂生産・土砂流出を考慮した 洪水予測技術に関する研究

NUMERICAL PREDICTION OF FLOODING CONSIDERING SEDIMENT RUNOFF

原田 紹臣¹・里深 好文²
Norio HARADA and Yoshifumi SATOFUKA

¹正会員 三井共同建設コンサルタント株式会社（〒552-0007 大阪市港区弁天1丁目2番1-1000号）

²正会員 工博 立命館大学教授（〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1）

Systems that can predict rainfall runoff have incorporated improvements in weather survey and analysis technologies. Data on both water depth and stream bed height are needed to predict the water level in a river. However, most constructed forecasting systems in use now base their predictions on the movement of water without considering stream bed height. Furthermore, to manage the river environment, it is necessary to forecast sediment runoff. To develop a numerical simulation to predict flooding that considers sediment runoff, we compared observations with the analytical results obtained by improving existing models. We also showed the relationship between the drainage area and river channel width in a mountain area, considering the geology and type of vegetation in the valley, using a statistical technique.

Key Words : *Sediment runoff, bed variation, rainfall runoff, slope failure, mountain watershed*

1. はじめに

2011年8月に発生した大型の台風第12号（*Talas*）に伴い、紀伊半島の河川において計画規模を超える洪水や多量の土砂が流出し、甚大な被害を受けた。

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分布型河川水位予測システム^{例として1)}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²⁾。さらに、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り、既往システムの利用目的が拡大できる。

流域一貫の土砂流出予測に関しては、ダム堆砂を対象に浮遊砂の非平衡性を考慮した小澤らの研究³⁾や、種々

の土砂動態を対象に粒径分布を考慮した高橋らの研究⁴⁾がある。また、土砂生産過程に関して無限長斜面の安定解析を用いた守利ら⁵⁾の研究、高濃度浮遊砂を考慮した橋本ら⁶⁾の研究、高橋ら⁴⁾の土砂流出モデルを用いて山地河川を対象に約20日間における流出量に関して観測値と解析値とを比較した平澤ら⁷⁾の研究等がある。

本報告では、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、平澤ら⁷⁾が構築した流域モデルを一部改良し、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。なお、既往モデルにおいて同じ幅で設定されていた山地河川の河道幅（谷幅）を見直すとともに、新たに斜面からの土砂生産を予測可能なモデルに改良した。さらに、我が国における代表的な山地河川の約800溪流を対象にした既往の現地調査結果を用いて統計解析し、流域面積と河道幅との関係について地質及び斜面の植生状況により分類した新たな相関式を示した。

2. 山地河川における河道幅と流域面積との関係

山地河川における流域面積と河道幅との関係について、既往の調査結果を用いて整理する。

(1) レジーム理論を用いた流域面積と河道幅との関係

流域モデルの構築に際し、一般的に植生等により上空からの判別が困難な山地河川における河道幅に関して、撮影画像を基にしたデータをそのまま利用できない場合がある。

河道幅に関して、一般的なレジーム理論を用いると、

$$B_0 \approx \alpha Q^{1/2} \quad (1)$$

$$B_0 \approx (\alpha k^{1/2} r_e^{1/2}) A^{1/2} = \beta A^{1/2} \quad (2)$$

と表される。ここに、 B_0 は河道(谷)幅、 Q は流量、 r_e は有効降雨強度、 A は上流の流域面積および α , β , k は係数である。係数 β の値に関して、土流危険渓流カルテ(有効標本数: 838)⁸⁾を用いて統計解析を行い、要因を分析する。

(2) 河道幅に影響を与える因子

山地河川における河道幅に影響を与える因子に関して、多変量解析(数量化理論Ⅲ類)を用いて分析した。図-1に解析結果の一部を示す。なお、分析結果より河道幅に対して地質および植生が影響を与えることが推測される。

(3) 回帰分析手法から得られた予測式

流域内における地質および植生に着眼して分類した標本(流域面積と河道幅との関係)を対象に、回帰分析手法を用いて山地河川における河道幅と流域面積に関して分析した。ただし、一部の地質においては標本数が少ないため、植生に関して考慮できていない。なお、地質の分類に関しては、既往土流危険渓流カルテ内で分類された項目をそのまま採用している。

回帰分析を用いた解析結果の一部を、表-1および図-2に示す。なお、提案する β の相関は、表-1に示されるとおり、重相関係数 r^2 が0.57~0.86(平均0.73)であった。今後、他の地域における検証が望まれる。

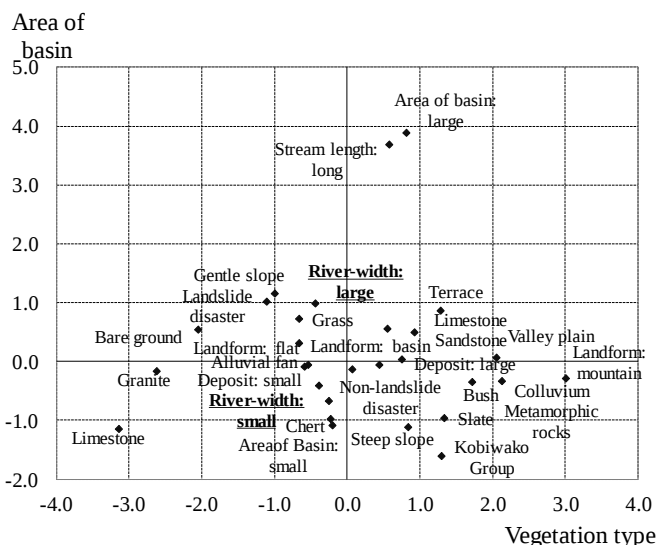


図-1 数量化Ⅲ類理論を用いた河道幅に関する因子分析結果

表-1 河道幅に影響を与える因子に関する回帰分析結果

Geology	Type of vegetation	Number	Correlation coefficient: r^2	Correlation: β
Limestone, Sandstone	Forest	171	0.57	6.8
	Grass	87	0.70	9.4
	Bare ground	55	0.71	5.4
Slate	-	29	0.74	5.7
Chert	-	13	0.86	6.0
Granite	Forest	72	0.69	10.9
	Grass	74	0.61	5.8
	Bare ground	111	0.72	5.4
Kobiwako Group	-	18	0.79	4.8
Colluvium, metamorphic rocks	Forest	135	0.71	9.3
	Grass	34	0.80	7.9
	Bare ground	39	0.86	8.2

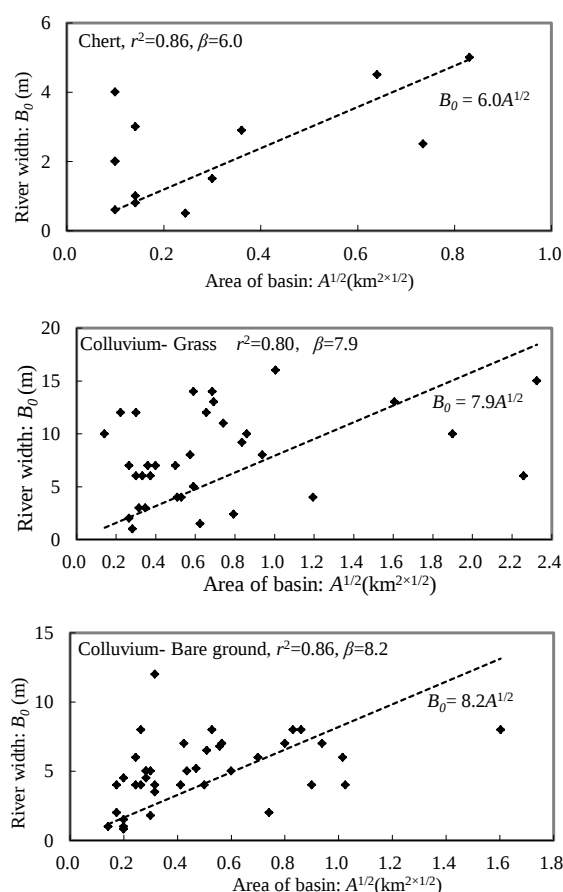


図-2 地質等に着眼した河道幅と流域面積との関係

3. 計算に用いる基礎式

本研究で用いる土砂流出予測モデル⁴⁾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の河床変動計算を行う。基礎式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、

$$q_0 = \alpha_k h^m \quad (3)$$

$$\alpha_k = \frac{\sin^{1/2} \theta_s}{n_e} \quad (4)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_0}{\partial x} = r_e \quad (5)$$

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⁹⁾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、 $C_L > 0.4C_{*L}$ とされている。ここで、 C_L は粗粒子の容積濃度、 C_{*L} は堆積層の粗粒子容積濃度である。また、 $C_L < 0.4C_{*L}$ 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、

【 $C_L \geq 0.4C_{*L}$ の場合】

$$q = \frac{2}{5d_{mL}} \left\{ \frac{g}{0.02} \frac{\sigma \cdot C_L + (1 - C_L)\rho_m}{\sigma} \right\}^{1/2} \cdot \left\{ \left(\frac{C_{*L}}{C_L} \right)^{1/3} - 1 \right\} h^{5/2} \sin^{1/2} \theta_u \quad (6)$$

【 $0.01 < C_L < 0.4C_{*L}$ の場合】

$$q = \frac{0.7\sqrt{g}}{d_{mL}} h^{5/2} \sin^{1/2} \theta_u \quad (7)$$

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

$$q = \frac{0.7\sqrt{g}}{n_m} h^{5/3} \sin^{1/2} \theta_u \quad (8)$$

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 ：マンニングの粗度係数である。

(3) 流砂の粒度分布

本解析は、混合砂礫を対象としている。また、粒度の分布範囲を k_e 個の粒径階に分割し、 k 番目における粒径階の粒径を d_k で表している（ $d_1 < d_k < d_{k_e}$ ）。なお、特定の粒径 k_1 より小さい粒子は水と一体となって流体相を形成すると仮定し、細粒子（粒径成分 $k: 1 \sim k_1$ ）として取り扱う。また、固体相として挙動する粒径を粗粒子（粒径成分 $k: k_1 + 1 \sim k_e$ ）として取り扱う。ここで、粗粒子の容積濃度 C_L ならびに細粒子が間隙水中に占めてい

る容積濃度 C_F は、それぞれ、

$$C_L = \sum_{k=k_1+1}^{k_e} C_k \quad (9)$$

$$C_F = \left(\sum_{k=1}^{k_1} C_k \right) / (1 - C_L) \quad (10)$$

$$\rho_m = \rho + \frac{\sigma - \rho}{1 - C_L} \sum_{k=1}^{k_1} C_k = \rho + (\sigma - \rho)C_F \quad (11)$$

$$d_{mL} = \left(\sum_{k=k_1+1}^{k_e} d_k C_k \right) / C_L \quad (12)$$

と表される。ここに、 C_k ： k 番目の粒径階が全容積中で占める割合および ρ ：水の単位体積重量である。

(4) 河床のモデル

本解析では、河床において粗粒子が骨格構造を形成し、細粒分はその骨格内の空隙に存在すると考えている。ここで、空隙中に存在する細粒分の存在割合 C_{*k} （ $k=1 \sim k_1$ ）は、河床における粒径階 k の粒子の存在率 f_{bk} を用いて、

$$C_{*k} = \frac{C_{*L}}{1 - C_{*L}} f_{bk} / \sum_{k=k_1+1}^{k_e} f_{bk} \quad (13)$$

と表される。ここに、 C_{*L} ：粗粒分のみが堆積する場合の容積濃度である。ただし、細粒子が空隙に収容されるためには、 $\sum_{k=1}^{k_1} C_{*k}$ の細粒子のみが堆積する場合の容積濃度 C_{*F} を超えないことが必要となる。すなわち、

$$\sum_{k=1}^{k_1} C_{*k} = \frac{C_{*L}}{1 - C_{*L}} \frac{1 - F}{F} \leq C_{*F} \quad (14)$$

$$F = \sum_{k=k_1+1}^{k_e} f_{bk} \quad (15)$$

が成立する必要がある。ここに、 F ：粗粒子の存在率である。また、式(14)より

$$F \geq C_{*L} / (C_{*F} + C_{*L} - C_{*L}C_{*F}) \quad (16)$$

となり、ここで、簡単のために $C_{*L} = C_{*F}$ とすると、

$$F \geq 1 / (2 - C_{*L}) \quad (17)$$

である。さらに、 $C_{*L} = 0.65$ とすると $F \geq 0.7407$ となる。なお、細粒分の存在率が 26% を超えると、粗粒子が形成した空隙内への細粒子の収容が困難となる。

細粒子が 26% を超える河床の場合、細粒子が濃度 C_{*F} の状態で堆積中において粗粒子が骨格を形成せず分散していると考えられるため、

$$C_{*k} = f_{bk} C_{*F} / (1 - F) \quad (18)$$

$$C_{*L} = F C_{*F} / (C_{*F} F + 1 - F) \quad (19)$$

となる。

(5) 連続式

水と土砂を対象にした全容積の連続式は

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial qB}{\partial x} = i_{sb} K_1 + \frac{q_{in}}{B} \quad (20)$$

と表される。ここに、 B ：水みち幅、 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、 i_{sb} ：水みち底面の侵食 ($i_{sb} > 0$) または堆積 ($i_{sb} < 0$) 速度である。なお、 $i_{sb} > 0$ (侵食) の場合における k_1 は、

$$K_1 = C_{*L} + (1 - C_{*L}) \{ C_{*F} + (1 - C_{*F}) s_b \} \quad (21)$$

と表される。ここに、 s_b ：水みち底面から侵食される堆積物の飽和度である。なお、 $i_{sb} < 0$ (堆積) の場合は、 $K_1 = 1$ とする。

各粒径階の砂粒における連続式は、

$$\frac{\partial(C_k h)}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial(q C_k B)}{\partial x} = i_{sbk} \quad (22)$$

と表される。ここに、 i_{sbk} ：粒径階 k における粒子の侵食または堆積速度である。

河床変動を表す連続式に関して、河道幅の広い領域を対象にした場合、河道幅より狭い水みち幅 B を持つ流路が形成されているものとする。そして、この流路の横断方向への変動に伴い河道幅全体の河床高さが横断方向にほぼ均等を保ちながら変動すると仮定すると、

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{B}{B_0} i_{sb} = 0 \quad (23)$$

と表される。ここに、 z ：河床位、 B_0 ：河道幅（谷幅）である。

(6) 粒径別侵食・堆積速度

粗粒子濃度 C_{*L} がある地点における平衡土砂濃度 $C_{*L\infty}$ よりも小さく河床が侵食されるとした場合、河床が平均粒径の一樣粒径より構成されていると仮定する。ここで、不飽和河床における侵食速度式⁹⁾は、

$$\frac{i_{sb0}}{\sqrt{gh}} = K \sin^{3/2} \theta_u \frac{\rho_m}{(\sigma - \rho_m)} \left(\frac{C_{*L\infty} - C_{*L}}{C_{*L\infty}} \right)^{3/2} \frac{h}{d_{mL}} \quad (24)$$

と表される。ここに、 K ：係数、 i_{sb0} ：一樣粒径階における粒子の侵食または堆積速度である。

粒径別の侵食速度に関して、河床における粗粒子の粒径がその地点における水深より大きくなった場合に侵食されと考える。ここで、当該地点における水深 h が $d_{k+1} > h \geq d_{k2}$ とした場合、移動可能な粗粒子の存在率 K_3 は、

$$K_3 = \sum_{k=k_1+1}^{k_2} f_{bLk} \quad (25)$$

と表される。ここで、 f_{bLk} は河床表層における粗粒子のみを対象とした場合の粒径階 k の存在率であり、 f_{bLk} は、

$$f_{bLk} = f_{bk} / \left(\sum_{k=k_1+1}^{k_2} f_{bk} \right) \quad (26)$$

と表される。 $d_{k+1} > h \geq d_{k2}$ における粒径別の侵食速度は、

$$\left. \begin{array}{ll} k_1 < k \leq k_2 & ; i_{sbk} = K_3 f_{bLk} C_{*L} \\ k > k_1 & ; i_{sbk} = 0 \end{array} \right\} \quad (27)$$

と表される。また、 $k \leq k_1$ における細粒分に関しては、

$$i_{sbk} = i_{sb0} K_3 (1 - C_{*L}) C_{*k} \quad (28)$$

と表される。

上流から土砂が供給され、粗粒子の濃度 C_L がその地点における平衡土砂濃度 $C_{L\infty}$ よりも大きい場合、粗粒子は堆積すると考える。なお、河床における単位面積あたりの超過土砂量を $h (C_L - C_{L\infty})$ とし、堆積に要す時間を $(h/u) / \delta_d$ (ここに、 u ：流れの平均流速) とした場合の堆積速度は、

$$i_{sb0} = \delta_d \frac{C_{L\infty} - C_L}{C_{*L}} \frac{q}{h} \quad (29)$$

と表される。ここに、 δ_d ：定数である。これより、粗粒子における粒径別の堆積速度は、

$$i_{sbk} = i_{sb0} \frac{C_k}{C_L} C_{*L\max} \quad (k > k_1) \quad (30)$$

と表される。また、水と一体となって流れている細粒分に関しては、粗粒子の堆積に伴い細粒子も堆積すると考えるため、細粒子の堆積速度は、

$$i_{sbk} = i_{sb0} (1 - C_{*L\max}) \frac{C_L}{1 - C_L} \quad (k \leq k_1) \quad (31)$$

と表される。

(7) 崩壊裸地斜面からの土砂供給

本研究において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、

$$q_{sin} = k r_0 A_h / l_g \quad (32)$$

$$q_m = q_0 + q_{sin} \quad (33)$$

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である。

なお、近年の既往研究¹⁰⁾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。

4. 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）流域を対象に、一部改良した解析モデルを適用し、観測値との比較を行った。なお、当該流域に関して既往研究⁹⁾で構築された流域モデルは、斜面からの土砂供給過程が考慮されていない。また、全ての溪流において谷幅が一定で設定されている等の課題があった。

そこで、本研究では航空写真や地形図等を用いて裸地斜面や河道幅を新たに設定した。また、上流の不明瞭な小溪流における河道幅に関しては、2. で示した流域面積と河道幅との関係（現地状況より $\beta = 8.0$ として仮定）を用いて見直した。なお、本稿では示さないが、これまでの研究において河道幅が明確になっている数地点を対象に提案する流域面積と河道幅との関係を用いて現況の河道幅と比較したところ、ほぼ同じ値を示した。対象とする流域図および崩壊地の分布状況について図-5に示す。

解析の対象期間は、欠測期間等を考慮して平成24年4月から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⁷⁾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-6）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 $1\text{m}^3/\text{s}$ ）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 、 $\sigma = 2,650\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $\rho = 1,000\text{kg}/\text{m}^3$ 、河床の容積濃度 0.65 、 $g = 9.8\text{m}/\text{s}^2$ 、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 $0.003 \sim 0.05\text{m}^{-1/3}\text{s}$ ならびに斜面の等価粗度を 1.0 とした。

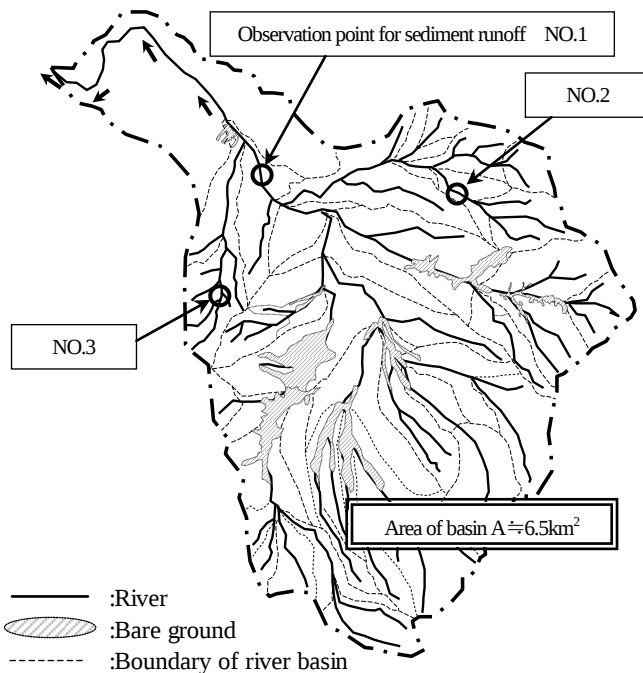


図-5 対象とする流域および崩壊地（裸地）の分布 状況

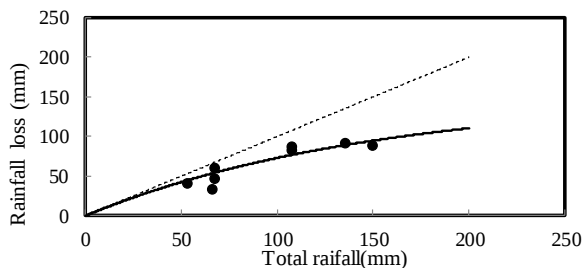


図-6 総降雨量と損失雨量との関係

5. 計算結果および考察

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-7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、時間的な変化に関しては、概ね再現できていることが明らかになった。また、観測地点（NO.1）における水位の計算結果と観測結果との比較に関して、計算結果値と観測結果値との差を最大水深で除した無次元水深を図-8に示す。一部の水位において、計算結果と観測結果とに差が確認されたが、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-9に示す。流砂量の時間的な変化に関して、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。

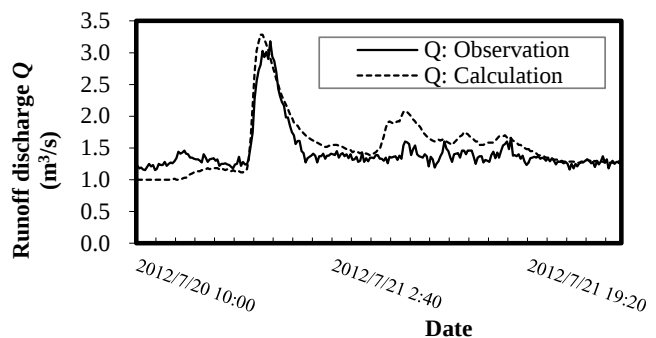


図-7 流量に関する解析結果と観測結果との比較 (No.1)

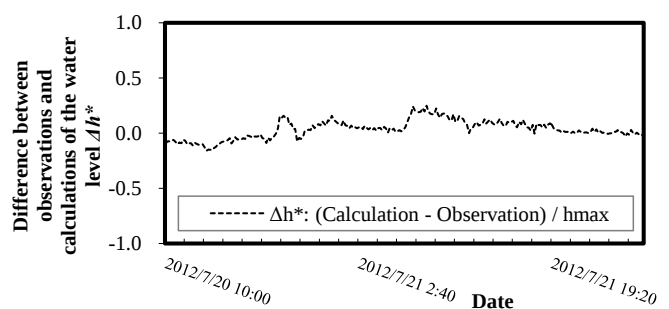


図-8 水深に関する解析結果と観測結果との比較 (No.1)

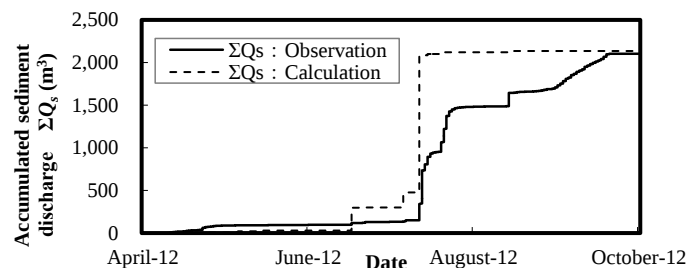


図-9 流砂量に関する解析結果と観測結果との比較 (No.1)

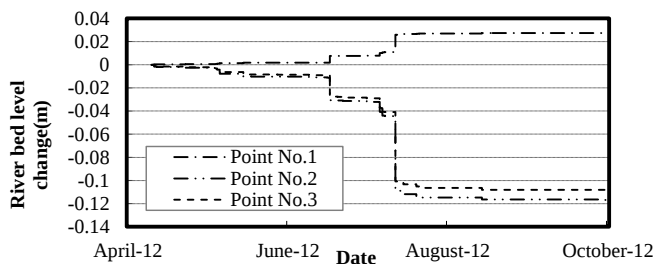


図-10 各地点における河床の時間的变化 (No.1)

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-9に示されるとおり概ね再現できていることが分かった。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も望まれる。

最後に、図-5に示す各地点における河床の変化に関して、図-10に示す。各地点において、河床の変動が確認されている。ただし、本研究では河床変動に関して観測していないため、河床変動予測に関する妥当性が検証できていない。今後、降雨時における詳細な河床変動量について連続観測し、モデルの妥当性を検証する必要がある。

6. おわりに

活発な土砂生産および土砂流出を考慮した洪水予測に関して既往モデルを改良等し、計算値と観測値との比較によりモデルの妥当性について検証した。

本研究により得られた成果を、以下に要約する。

- 1) 既往の土石流危険渓流調査結果を用いて、地質や植生状況に着眼した河道幅と流域面積との関係性について示した。また、実地形における適用性に関しても確認した。今後、他の地域における検証が望まれる。
- 2) 既往の解析モデルを基に、上記の流域面積と河道幅との関係を用いて河道幅等について見直すとともに、斜面からの土砂供給モデルに関して改良を加えた。
- 3) 改良したモデルによる流出量の解析結果と観測結果と

の比較により、モデルの妥当性について確認できた。

- 4) 降雨時の下流域での河床変動に関して、ある程度合理的な結果が得られていることが確認された。

謝辞：本研究に際し、観測結果の提供を頂いた京都大学防災研究所穂高砂防観測所および資料提供頂いた滋賀県の関係各位に対して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 荒木千博，米勢嘉智：レーダ雨量を用いた分布型流出モデルによる洪水予測システムの現状，河川技術論文集，Vol.14，pp.31-34，2008.
- 2) 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.
- 3) 小澤和也，永谷言，水野直弥，高田康史，石田裕哉，寶馨：分布型降雨土砂流出モデルを用いた流域規模の土砂生産・移動特性に関する研究，河川技術論文集，Vol.17，pp.59-64，2011.
- 4) 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.
- 5) 守利悟朗，椎葉充晴，堀智晴，市川温：流域規模での水・土砂動態のモデル化及び実流域への適用，水工学論文集，Vol.47，pp.733-738，2003.
- 6) 橋本晴行，朴埼瑛，高岡広樹，荒渡光貴：山地流域における豪雨時の水と土砂の流出解析，水工学論文集，Vol.47，pp.745-750，2003.
- 7) 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.
- 8) 土砂災害警戒区域等電子データ整備業務委託，滋賀県，2011.
- 9) 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.
- 10) 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.

(2013.4.4 受付)