

河床変動や粗度変化を考慮した任意地点の水位予測技術の開発

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 29～令 3

担当チーム：河道監視・水文チーム

研究担当者：山本晶、萬矢敦啓

【要旨】

河川計画や危機管理において河道の流量と水位を変換するには、一般的にはあらかじめ設定した水位流量曲線を活用する。一方、洪水中に河床材料が移動する場合は、河床変動や粗度変化により水位と流量の関係は変化する。本研究では、河床変動や粗度変化を考慮した水位予測技術を開発するために、降雨流出モデルに対して洪水中の粗度変化や土砂輸送を考慮できるように拡張した。そして、粗度変化を考慮しない従来法との比較や、土砂輸送に関する諸量に関する再現計算を示した。

キーワード：河床変動、粗度変化、土砂流出、RRIS モデル

1. はじめに

河川整備基本方針や水資源開発計画は流量ベースで立案されるのに対し、河道の構造物の設計や洪水予測等の防災・減災対策は水位ベースで立案されるのが一般的である。従来、流量と水位の変換にはあらかじめ設定された水位流量曲線を活用するが、両者の関係を決定付ける河床高や粗度は洪水中に変化することが知られている。

本研究では、降雨流出モデルに対して洪水中の粗度変化を考慮できるように拡張した上で、我が国の典型的な山間地河川であり 2016 年 8 月に発生した台風 10 号で甚大な被害を受けた小本川を対象とし、洪水中の流水抵抗変化が計算結果にどれほど影響するか調べた。さらに、降雨流出氾濫モデルに土砂輸送モデルを実装することで降雨・流出・氾濫・土砂輸送モデル (RRIS model) を構築した上で、同モデルを検証するために鬼怒川上流の川俣ダムにおいて土砂流出現象を再現した。そして、RRIS モデルは流砂量、河床変動、粒度分布の縦断変化、土砂流出量に関してある程度の再現性を得ていることを確認した。

2. 粗度変化を考慮した降雨流出計算

2.1 小本川、赤鹿地点の流水抵抗分析

図-1 は本章で対象とした小本川、赤鹿地点の洪水前の断面及び現地写真を示す。断面形状については、国土地理院の基盤地図情報¹⁾から空間解像度 5 m の数値標高モデルを入手し、水中部分の河床高については横断測量結果を用いて補間した。写真は Google ストリートビューによるもので、2015 年 9 月の状況である。赤

鹿地点は水位観測地点であり、横断面に対象洪水のピーク水位を示す。当該洪水では、赤鹿地点の周囲でも道路が冠水し、現地調査では堤内地の建物壁面に痕跡水位が確認された²⁾。

2.1.1 分析手法

小本川流域では当該洪水中に流量観測が実施されておらず、流速の計測データが存在しない。そのため、今回は既往研究の成果を活用して流水抵抗を推算することとした。ここで、本研究では赤鹿地点の抵抗分析にあたり、抵抗の要素として(1)小規模河床波の発達、

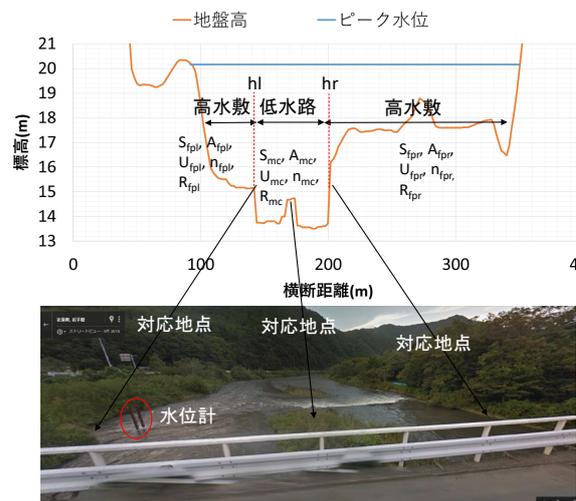


図-1 赤鹿地点の断面及び現地写真

(断面図において、S は潤辺、A は流積、U は断面内平均流速、n は粗度係数、R は径深を表し、添え字の fpl は左岸高水敷、mc は低水路、fpr は右岸高水敷を意味する。

現地写真は Google ストリートビューによるもの。)

消失による形状抵抗変化、(2)植生による抵抗増加、(3)低水路流れと高水敷流れの流体混合による抵抗増加を考える。(1)は次に詳述する。(2)、(3)については既往文献³⁾を参照されたい。

(1) 小規模河床波の発達、消失による形状抵抗変化

無次元掃流力(τ_*)と無次元有効掃流力(τ_*')の関係⁴⁾を用いて低水路における流水抵抗変化を推算する。ここで、 τ_* と τ_*' は以下の通りである。

$$\tau_* = \tau_*' + \tau_*'' \quad (1)$$

ここで、 τ_*'' は無次元掃流力のうち形状抵抗分である。

また、 τ_* と τ_*' は以下のようである。

$$\tau_* = \frac{RI}{sd} \quad (2)$$

$$\tau_*' = \frac{R'I}{sd} \quad (3)$$

ここで、 R は径深である。 I は勾配であり、今回は等流仮定で河床勾配を用い、基盤地図情報からの河道縦断地形から 1/285 を用いる。 d は粒径で、現地調査²⁾から得た赤鹿地点の d_{50} (=41 mm)を用いる。 s は河床材料の水中比重で 1.65 を用いる。 R' は平坦河床見合いの径深で、以下に示す通り流速に関する水理量である。

$$\frac{U}{\sqrt{gR'I}} = 8.5 - \frac{1}{\kappa} + \frac{1}{\kappa} \ln \frac{R'}{k_s} \quad (4)$$

ここで、 U は平均流速、 κ はカルマン係数で本研究では 0.4 を用いる。 k_s は相当粗度高さであり本研究では $2d_{84}$ (=160 mm)を用いる。

図-2は赤鹿地点の $\tau_*-\tau_*'$ 関係を表すものであり、実線はピーク水位における、断面内最深部の相対水深($R/d=161$)を用いた岸・黒木による $\tau_*-\tau_*'$ 関係⁴⁾である。岸・黒木による $\tau_*-\tau_*'$ 関係は主に水路実験の資料を用いて構築されたものである。工藤ら⁵⁾は複数の実河川において、acoustic Doppler current profilerによる洪水中の計測結果を用いて $\tau_*-\tau_*'$ 関係を検証した結果、 R/d が 10^3 オーダー以下であれば洪水中の流水抵抗変化は $\tau_*-\tau_*'$ 関係で良好に説明できることを示した。図中には各実線に対応する河床形態を示し、破線は $\tau_*=\tau_*'$ を表す。破線は $\tau_*''=0$ 、すなわち形状抵抗が無く平坦河床であることを意味する。よって、破線から左へ離れるほど形状抵抗が大きいことを表現するものである。ここで、ピーク水位における τ_* は0.34であり、 $\tau_*-\tau_*'$ 関係が二価性を有する領域にある。そこで、今回はDune IIを経由する場合とTransition Iを経由する場合の2通りを仮定して流水抵抗を推算する。なお、具体的な流水抵抗の算出手順としては、断面に任意の水位を与えた時の τ_* から、 $\tau_*-\tau_*'$ 関係を介して τ_*' を求め、式(3)と式(4)から U を得

た上で、マンニング式を用いて逆算粗度として粗度係数を算出する。

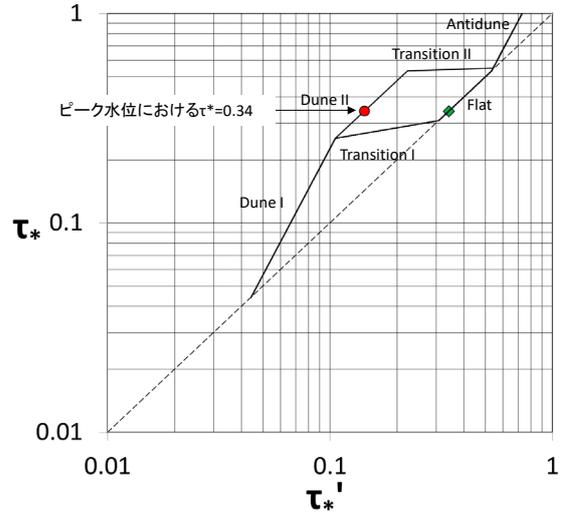


図-2 赤鹿地点の $\tau_*-\tau_*'$ 関係

2.1.2 流水抵抗の推算結果

図-3に赤鹿地点の水位と合成粗度係数の関係を示す。図-3(a)は $\tau_*-\tau_*'$ 関係がDune IIを経由すると仮定する場合、図-3(b)はTransition Iを経由すると仮定する場合である。それぞれ以下の4種類の計算方法で算出したものである。

1) 低水路、高水敷共に以下で示すマンニングストリクラーの式で計算する。

$$n = 0.0417k_s^{1/6} \quad (5)$$

ここで、 n は粗度係数、 k_s は上述の通り 160 mm を用いる。

2) 低水路はマンニングストリクラー、高水敷は植生による抵抗を計算した上で合成粗度係数を算出する。

3) 低水路は河床波に起因する流水抵抗として $\tau_*-\tau_*'$ 関係を用いて計算し、高水敷は植生による抵抗を計算し、合成粗度係数を算出する。

4) 低水路は $\tau_*-\tau_*'$ 関係、高水敷は植生による抵抗を計算した上で、さらに、低水路流れと高水敷流れの流体混合による抵抗増加を加味して合成粗度係数を算出する。

1)~4)で計算した合成粗度係数の差を調べることで、それぞれの抵抗要素が全体に対してどれほど寄与しているか分かる。すなわち、1)と2)の差は植生による抵抗増加分、2)と3)の差は河床波による抵抗増加分、3)と4)の差は流体混合による抵抗増加分を意味する。

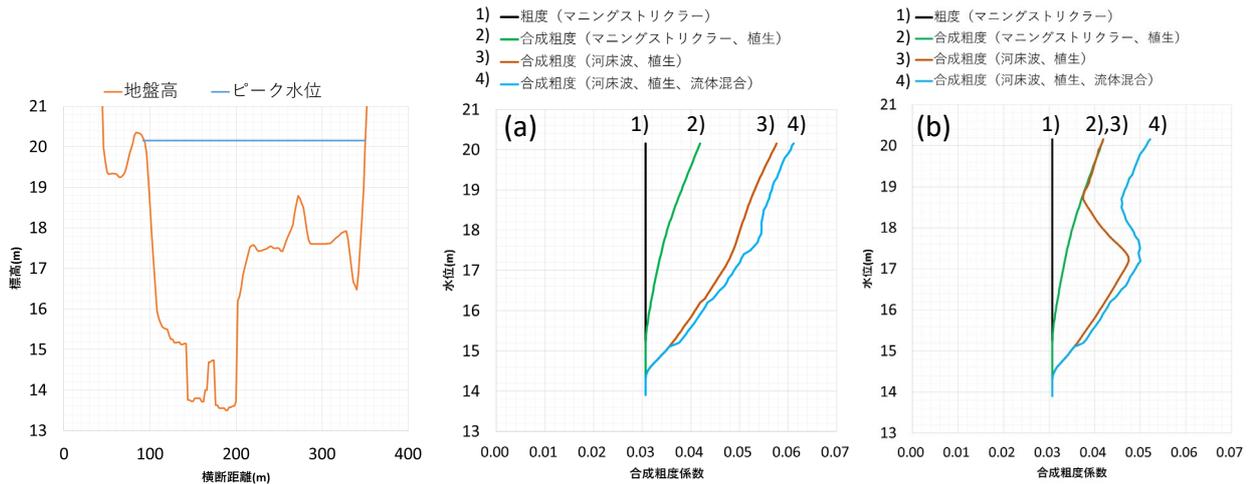


図-3 水位と合成粗度係数の関係 (左：横断面図とピーク水位、中央：(a) $\tau^*-\tau^*$ 関係が Dune II を経由すると仮定する場合、右：(b) $\tau^*-\tau^*$ 関係が Transition I を経由すると仮定する場合)

図-3(a)に着目する。マンニングストリクラーの式は説明変数に水深が入らないため一定値であり、今回は $0.031 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ である。植生による抵抗増加分を考慮する場合は、左岸高水敷に水位が到達した時点で合成粗度係数が増加し始め、ピーク水位では $0.042 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ まで上昇する。低水路の流水抵抗として河床波を考慮し、 $\tau^*-\tau^*$ 関係による粗度係数から合成粗度係数を求める場合、水位約 14.6 m から合成粗度係数が増加し始める。これは、無次元掃流力が限界無次元掃流力を超えて河床波による形状抵抗が出現し始めることを意味する。水位の増加とともに合成粗度係数が増加していき、ピーク水位では合成粗度係数が $0.058 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ に達する。さらに流体混合による抵抗増加を考慮する場合、水位が左右岸高水敷にそれぞれ到達した時 (水位約 15.0 m と約 17.5 m) に合成粗度係数が急変し、ピーク水位では $0.061 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ まで増加する。

図-3(b)に着目する。3)で $\tau^*-\tau^*$ 関係が Transition I を経由すると仮定した場合、水位約 17.2 m から合成粗度係数が減少していく。これは、河床波が遷移し始め、図-2において $\tau^*-\tau^*$ 関係が Transition I に従っていることを意味する。水位約 18.7 m では平坦河床に達して低水路の抵抗はマンニングストリクラーの式で計算する場合と同様となり、2)と 3)の合成粗度係数は同一の値を示す。3)ではピーク水位における合成粗度係数は $0.042 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ となる。一方、流体混合による抵抗増加を考慮する 4)では、ピーク水位で $0.052 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ まで上昇する。その差は $0.010 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ であり、図-3(a)のピーク水位における 3)と 4)の差 ($0.061-0.058=0.003 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$) よりも明確に大きい。流体混合による抵抗増加は高水敷と低水路の流

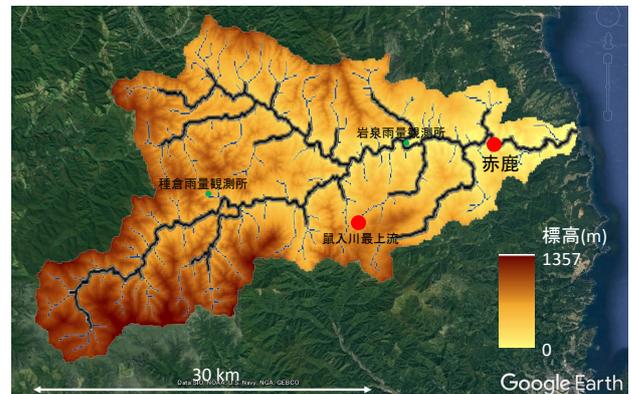


図-4 計算対象範囲 (小本川流域、流域面積：約 730km²) (青線で示す河道は上流域の単断面、黒太線で示す河道は複断面)

速差に依存される。 $\tau^*-\tau^*$ 関係が Transition I を経由する場合、低水路の流水抵抗が減少して流速が増加するため、高水敷の流れとの流速差が大きくなり、流体混合による抵抗増加量が格段に大きくなる。

2.2 降雨流出計算

2.1 節の分析結果を踏まえ、洪水時の流水抵抗変化が降雨流出計算の結果にどれほどの影響を及ぼすか調べる。図-4 に計算領域を示す。小本川流域全体を対象とする。

2.2.1 計算条件

降雨流出計算には佐山らが開発した降雨流出氾濫 (RRI) モデル⁹⁾を用いる。RRI モデルは斜面と河道の間の水のやり取りを計算し、河道追跡と氾濫計算を一体的に実施することに特徴があるが、今回は氾濫を考慮せず、疑似的に堤防高を高くし、河道から斜面への越

水が生じない条件で計算を実施する。RRI モデルの詳細な基礎式などについては既往文献⁶⁾を参照されたい。降水量は、気象庁によるCバンドレーダーのデータをバイアス補正して用いた。詳細な計算条件は既往文献³⁾に記載している。

2.2.2 河道と流水抵抗のモデル化

河道位置は図-4に示すように与えた。複断面河道の粗度係数は赤鹿における検討と同様に、低水路の小規模河床波による形状抵抗変化、高水敷の植生による抵抗増加、低水路流れと高水敷流れの流体混合による抵抗増加を考慮して合成粗度係数を計算する。これを河道の計算タイムステップ毎、セル毎に行い、粗度係数を時空間的に逐次更新させながら降雨流出計算を実施する。なお、粒径や植生の密生度などの諸量は、実際には流域内で空間的に分布すると考えられるものの、今回は簡易的に赤鹿地点の調査で得られた値を流域内の全ての複断面河道に与えた。流域上流における単断面河道については、以下のHeyの式⁷⁾によって得られた流速から、マンシング式による逆算粗度を計算して与える。

$$\frac{U}{\sqrt{gRI}} = 5.75 \log \left(\frac{aR}{3.5d_{84}} \right) \quad (6)$$

ここで、 U は平均流速、 R は径深、 I は勾配、 a は矩形断面に一般的に用いられる11.16を与えた。 d_{84} は鼠入川上流部における現地調査²⁾を踏まえて、499 mmを与えた。

2.2.3 計算結果

表-1は今回の計算ケースを示す。Case0は最も単純な条件で、流域全体の河道の粗度係数にマンシングストリクラーの式で得られる $0.031 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ を与えた。今回検討した全ての抵抗要素を加味したものはCase5とCase7で、Case5は低水路の流水抵抗としてDune IIを経由する $\tau^*-\tau^*$ 関係、Case7はTransition Iを経由する $\tau^*-\tau^*$ 関係を用いた。

図-5は赤鹿地点の水位及び流量の計算結果を示す。赤鹿地点で最も合成粗度係数が小さくなるCase0の計算結果を赤色、最も合成粗度係数が大きくなるCase5の計算結果を緑色で示す。なお、他のケースの計算結果は全て灰色で示した。また、水位については観測水位を示し、流量については、前章における抵抗分析のうち、図-3(a)の4)で示される合成粗度係数を用いて、等流計算を実施して流量を推算した結果を示す。特に水位については流水抵抗の条件による感度が大きく、

ピーク水位を比較するとCase0で19.17 m、Case5で20.37 mであり、1.2 mの差がある。また、Case0では計算水位が観測水位と比較して過少傾向であるが、洪水時の抵抗増加を考慮することで計算水位が観測水位に近づくことが分かる。流量については水位ほどハイドログラフに大きな変化はないものの、ピーク流量を比較するとCase0では $2,860 \text{ m}^3/\text{s}$ であるのに対し、Case5では $2,590 \text{ m}^3/\text{s}$ で、 $270 \text{ m}^3/\text{s}$ の差が生じる。

表-1 計算ケース

	低水路	高水敷	流体混合による抵抗増加	上流域
Case0	マンシングストリクラー	マンシングストリクラー	×	マンシングストリクラー
Case1	マンシングストリクラー	植生	×	マンシングストリクラー
Case2	河床波(Dune II)	植生	×	マンシングストリクラー
Case3	河床波(Dune II)	植生	○	マンシングストリクラー
Case4	河床波(Dune II)	植生	×	Heyの式
Case5	河床波(Dune II)	植生	○	Heyの式
Case6	河床波(Transition I)	植生	×	Heyの式
Case7	河床波(Transition I)	植生	○	Heyの式

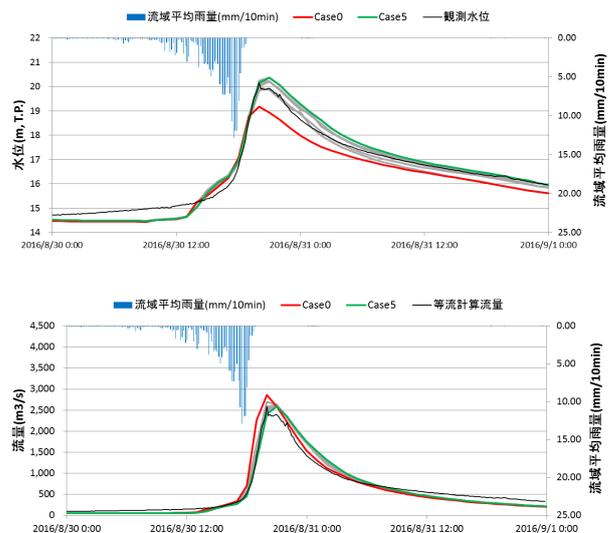


図-5 赤鹿地点の水位（上図）と流量（下図）の計算結果（灰色の線はCase0とCase5以外の全ケースの計算結果）

3. 土砂輸送モデルを実装した降雨流出氾濫計算

3.1 降雨・流出・氾濫・土砂輸送モデル(RRIS モデル)の構築

本研究で構築した RRIS モデルは、降雨を計算領域に与えることで降雨流出、河道内の流れ、氾濫流を取り扱うのと同時に、河道内において算出された河床せん断力から流砂を評価する。また流砂による河床変動計算を実施し、それによる氾濫現象の違いを考慮することができる。水の流れは適応時間ステップルンゲクッタ法を、河床変動は陽解法で計算する。本モデルのパラメータ調整に際しては指定された観測地点における河川水流量を採用するが、まず始めに固定床で実施する。その後土砂流出を検討するための計算で流砂を考慮することになる。モデル化の詳細は既往文献⁸⁾を参照されたい。

3.2 計算条件

3.2.1 降雨条件

図-6 は検討対象である川俣ダム流域の概要図である。本研究では 1982 年から 1991 年にかけて川俣ダムへの流入ピーク流量が $150 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の流量をもたらす降雨を抽出し、合計 14 降雨を対象とした。川俣、加仁湯、臼窪の異なる三つの雨量計を用い、これらをティーセン分割して全計算領域に配分した。

3.2.2 粒度分布

図-7 は川俣湖の背水端より約 2 km 上流において撮影した河床材料の写真である。いくつか他の地点においても同様の調査を実施しているが、どの付近も d_{90} は 1 m 程度であることを確認している。そのために図-8 に示す二つの粒度分布を河床材料として与えた。赤●で示す粒度分布はアーミングがかなり発達していることを想定している。一方で黒■は washload の存在率が高い粒度分布で、土石流が発生した直後の粒度分布を想定している。これらの粒度分布を用いて二つの計算を実施した。Case1 では、図-6 で示す全ての溪流において表層 1.2 m に黒■を分布させた。それよりも深い位置における河床材料は赤●を採用した。ここで意図しているものは、十分アーミングが発達した溪流に土石流が発生し、それが 1.2 m 程度の厚さで表面を覆っている状況を模擬している。一方で、Case2 は O3 を含む溪流だけに Case1 と同様の条件を与え、それ以外の溪流には赤●だけを採用した。これが意図するものは土石流が O3 だけで発生したことを想定している。災害史に記述されているものとして川俣温泉が土石流の発生により孤立されていることを示したものであるが、他の溪流に対しては記述がないためにこのような

仮定を置いた。

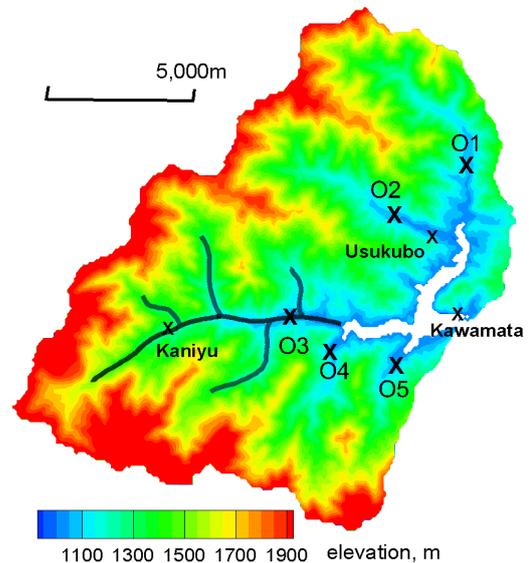


図-6 川俣ダムと観測地点



図-7 川俣ダム流域内 (O3 近傍) における河床材料調査

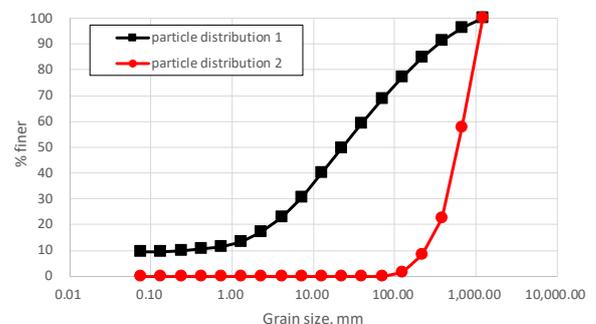


図-8 計算に用いた粒度分布

3.3 計算結果

3.3.1 縦断分布

図-9 は計算開始から 26 時間後の河床高 ; Zb、河床変動量の時間積分 ; dzb、摩擦速度 ; shear vel.、平均河床材料 ; mean dia.、掃流砂 ; Qsb、浮遊砂 ; Qss、washload ; Qsw、河川水流量 ; Q の縦断分布を示す。ここでいう 26 時間は 1982 年 7 月の降雨イベントのピーク頃である。この図は図-6 で示す O3 がある溪流の最上流地点を 0 とし、そこから標高 944 m 地点までの水理量の縦断変化を示したものである。O3 はこの図の横軸でいうところの 9,326 m に位置している。なお、黒線で示す河床変動量は右の軸で表示しているが、2.0 m よりも大きな数字では河床上昇、それよりも小さい値は河床低下を意味する。また平均河床材料の初期値は 0.15 m である。

図の河床高の縦断分布が示すように、この溪流は最上流部の標高が 1,564 m、最下流部が 944 m、その間は

11.5 km である。最大傾斜は上流端から 3 km 近傍でここでは 1/10 程度の勾配となる。4.5 km 近傍に若干勾配が緩くなる地形が存在する。この地点前後で摩擦速度が大きく変化することがわかる。その結果、この直上流では土砂の堆積、それによる平均粒径の減少、河床上昇がみられる。また 4.5 km の直下流では逆の現象が起きている。最上流部では上流端からの土砂供給がないこと、ある程度の摩擦速度が働いていることから粗粒化が進んでいる。紙面の都合上ここでは示さないが、粒度分布が時間経過とともに粗くなることに応じて流砂量の時間変化が見られる。また同時に上流の粗粒化している領域が下流へ移動し、それに伴い流砂量が下がる領域も同様に下流へ移動する。また図-6 から判断できるように、この溪流では複数の支川が合流している。それらは縦断距離としてはそれに対応するように、特に摩擦速度、流砂量、河床変動量等に局所的な上昇が見られる。また流砂量を考えると、掃流砂量が

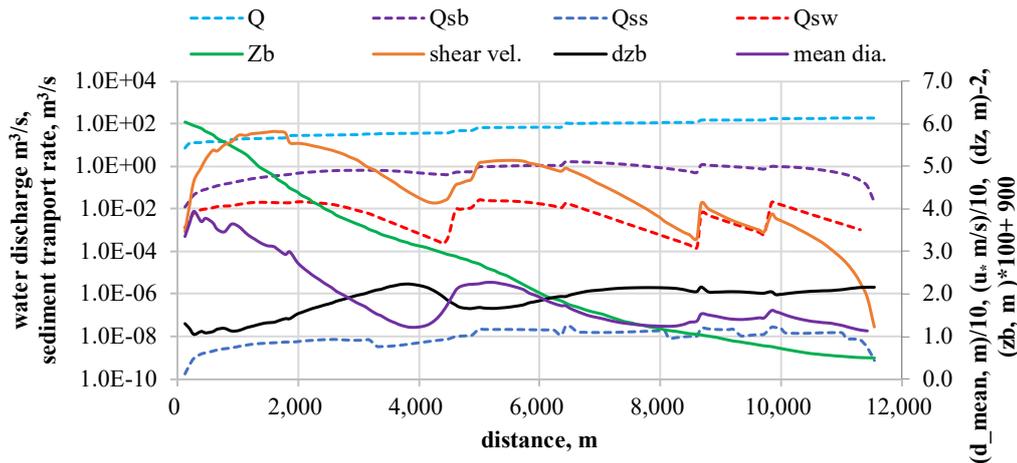


図-9 流量，流砂量，河床高，摩擦速度，河床変動量の積算値，平均河床材料の縦断分布 (Case1, 26 時間後の結果)

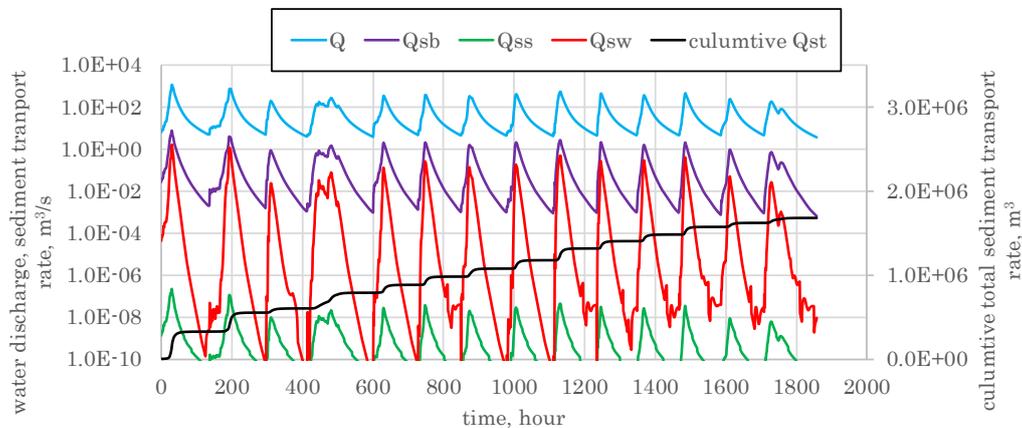


図-10 全モニタリング地点における総流砂量の時間変化 (Case 1)

一番多い。Washload はそれよりも一桁少ない値を変動し、浮遊砂はそれよりもさらに小さい。これらは図-8 で示した粒度の初期条件が決定的になるが、結果として浮遊砂が極端に少ない計算結果となった。

3.3.2 土砂流出量

図-10 は図-6 の全ての土砂モニタリング地点における全流砂量、全河川水流量の時間変化を示す。図-9 と共通し、浮遊砂は最も小さな値となっている。また washload に関しては最初の洪水では掃流砂と同程度の量を持つが、降雨イベントを経験する毎に徐々に減少していることがわかる。

3.3.3 河川水流入量と堆砂量の関係

図-11 は Case1 及び Case2 より得られた計算結果、それらの結果から対数近似した曲線を加筆したものである。例えば赤●の Case1 の場合、各年の洪水イベントに対応する流砂量の時間積分を堆砂量として、それをプロットしたものである。Case1 及び Case2 が示すように、同じ流量が供給された場合、堆積土砂は数倍程度異なる場合もある。例えば $6.0 \times 10^7 \text{ m}^3$ 程度の流入流量がある場合、Case1 では $4.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ 程度、Case2 では $1.5 \times 10^5 \text{ m}^3$ 程度の堆砂量となる。二つの計算条件の違いは河床材料の違いがあるために、その違いが堆砂量の違いに効いていることが理解できる。また Case2 は土石流の発生を O3 一つの溪流だけに限定した計算となっている。1982年7月の降雨に関してはO3の溪流にある加仁湯観測所の結果が他と比較としても極端に大きいわけではないために、この降雨によるO3以外の溪流における土石流の発生を否定することができない。このような観点から考えると、Case2 は流出した土砂のほぼ最小値として、Case1 の結果が最大値と考えることができる。一つの例外を除いて観測結果は二つの近似曲線近傍及びその中にあることが確認できることから、本モデルは川俣ダムの土砂流出を十分な精度で再現していると判断する。しかしながら1985年の観測結果は解釈が難しい。洪水流量が少ない状況において大きな堆砂が発生しているが、これに関しては本検討では説明できていない。また本来であれば一つの計算条件ですべての観測結果を再現することが理想的である。しかしながらそこまで計算精度は高くない。この二つの曲線で囲まれた最大最小の領域を変化させるパラメータは、採用する粒度分布、与える粒度分布の範囲となる。これらは災害発生直後の現地計測結果とリモートセンシング等から得られた知見をもとに条件設定を実装することができればさらに高い精度の結果が得られることが期待できる。

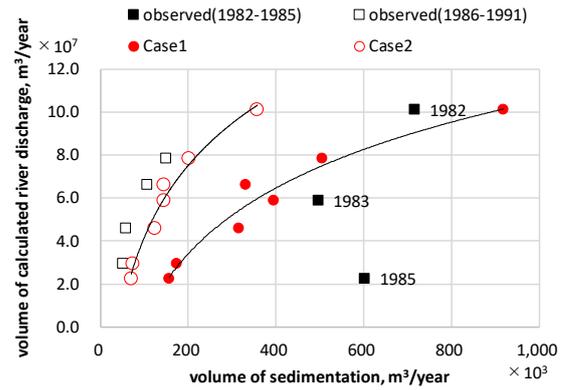


図-11 河川水流入量(計算)と堆砂量の関係 (観測及び計算結果)

4. まとめ

本研究では、2章に示した通り種々の抵抗要因を分析し、それが降雨流出計算に与える影響を分析した結果、以下の成果が得られた。

- 1) 赤鹿地点を対象として、小規模河床波の発達及び消失による形状抵抗変化、植生による抵抗増加、低水路流れと高水敷流れの流体混合による抵抗増加、の3つの抵抗要素を考慮して流水抵抗を分析した結果、ピーク水位時において、河床波が発達し続けると仮定した場合に合成粗度係数が $0.061 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ まで上昇し、河床波が遷移すると仮定した場合は $0.052 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ まで上昇する結果となった。また、流体混合による抵抗増加量について、河床波が発達し続ける場合はさほど大きくないが、河床波が遷移する場合は低水路の流速が増大するため、抵抗増加量は特に大きくなることが特徴的である。
- 2) 赤鹿地点の分析結果を踏まえて、洪水時の流水抵抗変化をモデル化して降雨流出計算に反映させ、粗度係数を時空間的に変化させて計算した結果、マニングストリクラーの式で計算した一定値の粗度係数を与える場合と比較して、特に水位の計算結果が大きく変化し、赤鹿地点では抵抗増加を考慮することで計算水位が観測水位により近づく結果となった。

また、3章に示した通り降雨流出氾濫モデルに土砂輸送モデルを実装した上で、鬼怒川上流の川俣ダムにおいて土砂流出現象を再現した結果、以下の成果が得られた。

- 3) 水理量の縦断分布より、RRISモデルは、摩擦速度が河床勾配に応じて適切に表現されていること、それに応じた河床変化、それに応じた粒度分布の時空間変化、流砂量の時空間変化が土砂水理学の常識的な範囲

で説明できていることを確認した。

4) モデル内の土砂観測地点における流量、流砂量の時間変化を得た。ここでは与えた降雨に応じた流量の時間変動があり、またそれに応じた流砂量の時間変化が得られた。掃流砂や washload と比較すると浮遊砂量が少ない結果となった。これは与える初期条件に強く依存すると考えられる。

5) 川俣ダムで得られた堆砂の時間変化の再現性を調べ、異なる粒度分布を変えた二つの計算を実施した。一つは全流域において土石流が発生したことを想定した Case1、一方は記録として残っている川俣温泉がある溪流にのみ土石流が発生していることを模した計算 (Case2) である。

6) この結果、Case1、Case2 のそれぞれの結果が最大、最小の堆砂量を算定していることを示し、観測により得られた結果は、一つの事例を除いてはその範囲内又はその近傍に分布していることを確認した。このことから、本研究で構築した RRIS モデルは川俣ダムで発生している土砂流出現象を再現しているものと判断した。なお、本モデルの精度をさらに向上させるには土石流発生直後の粒度分布に関する現地調査、土石流の広がりを確認するためのリモートセンシング技術を活用することが有効である。

謝辞：本研究を実施するにあたり、岩手県県土整備部河川課、関東地方整備局鬼怒川ダム統合管理事務所から貴重なデータの提供を受けた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土地理院：基盤地図情報, <http://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 2) 江頭進治、小関博司、山崎祐介、南雲直子、原田大輔、萬矢敦啓、工藤俊：平成 28 年 8 月台風 10 号豪雨による岩手県小本川洪水災害調査報告、土木技術資料、第 4348 号、2016.
- 3) 工藤俊、萬矢敦啓、原田大輔、笹田俊治：小本川における洪水時の流水抵抗変化がハイドログラフに及ぼす影響、河川技術論文集、Vol.23, pp.49-54, 2017.6
- 4) 岸力、黒木幹男：移動床流れにおける河床形状と流体抵抗 (I)、北海道大学工学部研究報告、pp.1-23, 1973.
- 5) 工藤俊、萬矢敦啓、小関博司、笹田俊治、中津川誠：実河川における流水抵抗の分析、土木学会論文集 B1 (水工学)、Vol.73、No.4、I_769-I_774、2017.
- 6) 佐山敬洋、建部祐哉、藤岡奨、牛山朋來、萬矢敦啓、田中茂信：2011 年タイ洪水を対象にした緊急対応の降雨流出氾濫予測、土木学会論文集 B1 (水工学)、Vol.69、No.1、pp.14-29、2013.
- 7) Hey, R. D.: Flow resistance in gravel-bed rivers, Jour. of Hy. Div., Proc. of ASCE, Vol. 105 No. HY 4, pp.365-379, 1979.
- 8) 萬矢敦啓、江頭進治：RRIS モデルを用いたダム堆砂量の経年変化に関する検討、土木学会論文集 B1 (水工学)、Vol.74、No.5、I_859-I_864、2018.

Development of a method for water level prediction considering river bed evolution and flow resistance change

Research Period: FY2017-2021

Research Team: Flood and River Response Monitoring Team,
River Dynamics Management Group

Author: YAMAMOTO Akira

YOROZUYA Atsuhiko

Abstract: In generally, stage-discharge relationship which is constructed with past relationship of them is used for river planning, flood forecasting and others. However, it is well known that the relationship between water level and discharge changes especially during flooding. We developed a rainfall-runoff model which is able to simulate changes of river bed evolution and roughness change, and showed simulation results. The results presented that especially water level has a high sensitivity to flow resistance and the developed model reasonably estimated the volume of sedimentation in the target basin.

Keywords: River bed evolution, roughness change, sediment transportation, RRIS model