

II-245 常射流を含む分岐・合流流れの数値計算法

北海道大学大学院 学生員 石川 伸
 北海道大学 正 員 長谷川和義
 北海道開発庁 正 員 北條 紘次

1. はじめに

山地河川の形態および流れの構造に関する研究が近年盛んに行われるようになった。著者らも札幌市近郊豊平川支流の小川、冷水川、白水川において、山地河川の流路形態の調査を行い、同時に流れの構造についても考察を加えてきた。¹⁾ 山地河川の流路形態は大規模な地形的制約をうける形態から階段状河床のような小規模な形態まで、様々な要因がからみ合い非常に複雑なものになっている。分岐・合流流路も山地河川の特徴であり、これまで調査した山地河川でも数多く見うけられた。分岐・合流流路は変動が激しく、しばしば新河道・廃棄河道を生み出すが、その変動の際に大量の土砂移動が起きている。したがって、分岐・合流部の流れの性質を知ることは重要であり、いかなる機構によって分岐・合流が生じ、またそれらが変化するかを知る必要がある。一方、常射流混在域での分岐・合流という課題は水理学的に興味深いものであり、これまでに研究例は少ない。

本報は、分岐・合流流路の流れを特徴づける分岐流量比、分岐・合流角、流路幅変化および勾配が流れに及ぼす影響について検討を加えたものであり、あわせて常流・射流混在流れを考慮した、分岐・合流流れの数値計算法を提示している。

2. 分岐・合流流れの性質

式(1)(2)は分岐・合流に伴う横流出を考慮したときの連続式と運動方程式である。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial (Au)}{\partial x} + q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\beta Au)}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Au^2)}{\partial x} + q w \cos \theta = -g A \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_0}{\rho} s \quad (2)$$

ここで、 q =単位幅当りの横流出流量（流出を正）、 w =横流出流速、 θ =流出および流入角度、 β =運動量補正係数。分岐・合流流れは上の2式を基礎式とする。

図1は分岐・合流流路の平面形状をモデル化したものである。本流から分岐角 θ で分かれた流路は下流で再び合流する。上流からの流量を Q とし、分岐部での流量配分比 r を用いて $Q_a = rQ$ 、 $Q_b = (1-r)Q$ と表しうる。分岐・合流を議論する上で、この分岐流量は非常に重要なファクターである。いま、分岐部の上下流断面に運動量方程式を適用し、下流水深の上流水深に対する比に関する解の存在条件を調べると図2の斜線部になる。これは、上流側で与えたフルード数に対し、解の存在しうる流量配分比は1つではなく、ある範囲内で任意にとりうることを示している。とり得る流量配分比の範囲は分岐角度、流路幅等の幾何形状によって決定されるようである。

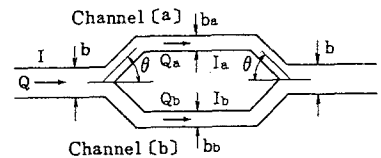
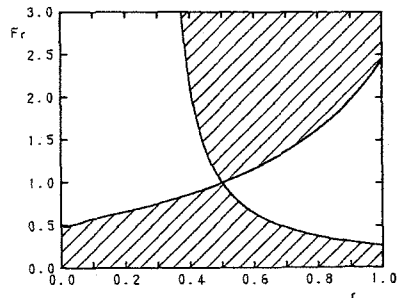


図1 分岐・合流モデルの平面形状

図2 (下流水深)/(上流水深)に関する解の存在条件
($\theta=0^\circ$ 、 $b=b_a+b_b$ の場合)

3. 計算方法及び結果

計算は(1)、(2)式を差分化して行う。山地河川のような開水路に於ける常流・射流混在流れを保存則差分法を用いて計算する方法は、かなり最近になって始まったものであり、清水ら³⁾、渡邊ら⁴⁾によって積極的に利用されている。渡邊ら⁴⁾は保存則差分法の1つである、two-step Lax-Wendroff 法をもとに、定常を仮

定し常射流混在場での不等流計算法を示した。ここではその方法を分岐・合流流れに適用することにする。せん断力項の表現は、礫床河川の平均流速式として実測値ともよく適合する Hey 式の射流に対する式を、Manning・Strickler 式のように指数形に近似して与えた。境界条件は上流端で流速を下流端で水深を与える。まず上流から下流に向かって流速を計算し、次に下流から上流へ水深を計算する。以後これを繰り返し、全ての格子点の流量が与えた流量に一致したら計算を打ち切る。図1のような流路では計算の経路が2つあるので、上流端から下流端までそれぞれの経路で計算をすすめる。格子点が重複するところでは、諸量が一致しなければならないので、他の経路で計算された量と置き換え、両者が一致するまで計算を続ける。また、分岐流路での流量は流量配分比を最初に仮定することによって与えた。

計算結果を図3に示す。分岐・合流に伴い、流量、流路幅、勾配等が変化すると、それに伴い跳水等の水面形の変化が発生する。水面形の変化は分岐点の上流部および合流点の上流部に集中して現れており、これは、砂礫の移動を考慮したとき、重要な意味を持つものと思われる。すなわち、この部分での水深、流速の変化は、砂礫の運搬、堆積に大いにかかわってくる。分岐流路が出水時に突発的に変化することを、このことから説明できるかも知れない。このことは、今後の課題である。

さらに、この方法は、本来なら非定常で扱う方程式に定常を仮定しているので、厳密に保存形をなしているとはいえない。そこで MacCormack 法⁵⁾を用い、前述の方法の適合性を検討する。MacCormack 法は tow-step Lax-Wendroff 法の一つで時間、空間方向ともに2次精度の差分スキームであり、格子点上の値のみでスキームを記述でき、扱いが便利である。計算結果を図4に破線で示す(実線は前述の方法)。両計算方法を比較してそれほど大きな違いは認められず、定常を仮定した前述の方法でも十分現象を再現できるようである。

4. おわりに

常射流混在場における分岐・合流流れの数値計算法を提示し、ここに示した定常を仮定した tow-step Lax-Wendroff 法は、扱いが簡単で、河床変動計算に積極的に応用されている。^{3) 4)} 今後は河床変動を取入れ、分岐・合流流路の突発的な変動、さらには分岐・合流流路の形成過程を解明したいと考えている。

【謝辞】 本研究は平成元年度文部省科学研究費一般(c)の補助を受けた。また、北海道大学森明巨氏、北海道開発局渡邊康玄氏から保存形差分法について多くの教示を頂いた。末尾ながら深謝の意を表す次第である。

【参考文献】

- 1) 長谷川：山地河川の形態と流れ、水工学シリーズ88-A-8、1988
- 2) 長谷川・石川：山地河川における分岐・合流流れの数値計算法、土木学会道支部論報告集第46号、1990
- 3) 清水・板倉：河川における二次元流れと河床変動の計算、道開発局土木試験所報告、No. 85、1986
- 4) 渡邊・許士・村上・崇田：常流・射流混在場での不等流計算と河床変動計算、道開発局土木研究所月報、No436、1989
- 5) 流れの数値シミュレーション、日本機械学会編、コロナ社、1986

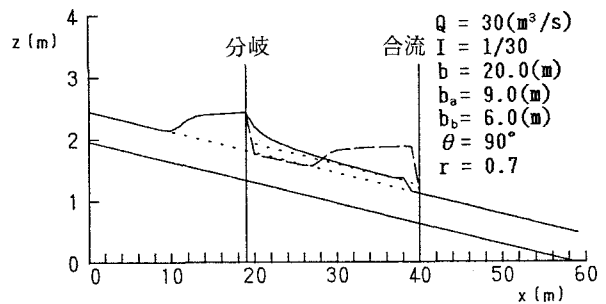


図3 定常を仮定したL.W.法の計算結果の一例

—— 主流路、分岐流路[a]の水面形
 - - - 分岐流路[b]の水面形
 等流水深

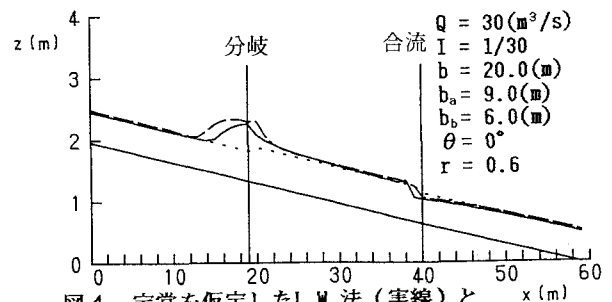


図4 定常を仮定したL.W.法(実線)と MacCormack法($\Delta t=0.01\text{sec}$, $\Delta x=1.0\text{m}$:破線)の比較