

## II-285

## 山地河川における分岐・合流流路の変動機構

北海道開発局 正員 石川 伸

北海道大学 正員 長谷川和義

## 1. はじめに

著者ら<sup>1)~3)</sup>は山地河川の流路形態について、詳細な河床縦断測量及び平面測量を行い、山地河川には波長の違う大規模、中規模、小規模の3種類の河床波が同時に存在していることを明らかにした。このうち大規模河床波は波長が100m~400m程度のもので、谷の地形的制約、土石流、土砂崩れ等大規模な土砂移動が河床に反映したものであり、狭窄部、谷底平野といった谷幅の変化との対応がはっきり見られる。しかし、その起源や変動機構については不明点が多いのも事実である。また、谷底平野には分岐・合流流路あるいは網状に発達した流路が見られる。この分岐・合流流路は大規模な河床変動と密接な関係があると思われる。

分岐・合流流路は洪水時に溪岸浸食、流路閉塞等をおこして激しく変動し、その流路を突発的に変更して新河道、廃棄河道を生み出す。その際、大量の土砂を生産する。この結果、溪間の様子も大きく変化する。分岐・合流流路が著しく発達している豊平川支流白水川での調査<sup>2)</sup>では、廃棄された河道の入口には大きな礫の堆積があり、流路はその礫の堆積で閉塞された状態になっていた。廃棄された流路の河床面は現在流れがある流路より低い場合がほとんどで、入口の堆積状況のみで分岐流路の流況、土砂移動が決定されることがうかがえる。

本報では、現地調査の結果を踏まえ、その流れの特性、および突発的な変動について数値計算の結果を見解を示し、分岐・合流流路の成因と変動機構を明らかにする。

## 2. 分岐・合流流路の河床変動計算

現地調査で確認された分岐・合流流路の堆積状態を理解するため、図-1に示すような分岐・合流流路のモデルにたいして流況把握の不定流計算、および急勾配を考慮した河床変動計算を行う。これらの計算は1次元とし、粒径も一様とする。山地河川の流れは射流域が卓越する常射流混在流れである。このような流れを計算するために、不連続解を認める保存則差分法の一つである MacCormack法を用いる。基礎式は次の分岐・合流に伴う横流出（流入） $q$ を考慮した連続式および運動方程式である。

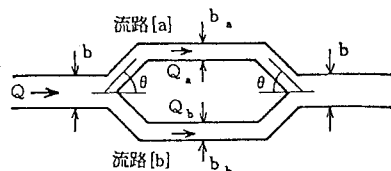


図-1 分岐・合流流路モデル

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial (Au)}{\partial x} + q = 0 \quad (1) \quad \frac{\partial (Au)}{\partial t} + \frac{\partial (Au^2)}{\partial x} + q u_b + g A \frac{\partial (h+z)}{\partial x} + \frac{\tau_o}{\rho} s = 0 \quad (2)$$

ただし、平均流速式にはHey式の射流に対する式を近似して与えた。MacCormack法では、計算の安定のため人工粘性を与える。河床変動の計算は横流入流砂量 $q_{Bs}$ を考慮した流砂連続式を差分して行う。

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left\{ \frac{\partial q_{Bs}}{\partial x} + q_{Bs} \right\} = 0 \quad (3)$$

掃流砂量式はスイス公式を用いる。この場合の限界掃流力は急勾配のために流速分布が変化している影響を芦田ら<sup>4)</sup>の実験および方法に倣い与えた。その際においてもHey式を用いる。図-2に河床変動計算の計算フローを示す。初期条件として全計算断面で等流水深を仮定する。

## 3. 計算結果および分岐・合流流路の流れと変動

図-3は計算例を時間を追って示したものである。水面形と河床形を表示している。縦にいたれた垂線は分岐および合流部を示し、破線は分岐流路の水面形と河床形を示す。このような分岐・合流流路では流れの特徴を決定する要因として流路幅、分岐角度、勾配などの平面幾何形状および分岐流量配分比

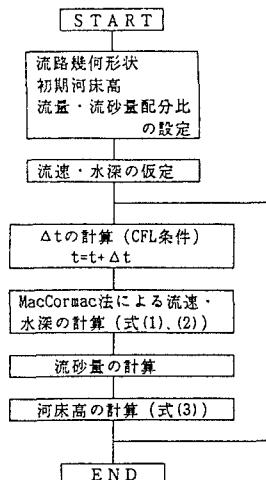


図-2 河床変動計算フロー

が挙げられる。流れが射流の場合、下流の条件が上流に伝わらないので、分岐部でのこれらの条件は分岐流路の流れにとって非常に重要になる。また本来、分岐流量比は分岐部の諸条件によって調節され、適切に決定されると考えられる。さらに、決定される分岐流量比には任意性があることも考えられる。しかしながら、どのような機構で流量配分比が調節、決定されるかは不明な点も多い。計算では最初に仮定して与えた。

図-3で注目すべきことは $t=10(\text{sec})$ で分岐前に跳水が発生していることである。これは分岐で流量が減少すること、分岐に伴う流路幅変化、中の島の反力が引き起こしたものと考えられる。また、分岐・合流流路での実験においても跳水の発生が確認されている。さらに、この跳水のために河床に堆積が生じ、合流部付近では侵食が進む。この河床変動は時間を追うにしたがって、上流に伝わり、最終的には主流路と分岐流路がそれぞれ違った勾配で落ち着く。このようにして分岐・合流に呼応した新たな河床面が形成される。2つの分岐流路のうち、流量が多い流路(実線で示した流路)の河床面が低くかつ急な勾配になっている。このことは現実的分岐流路の特性と一致する。

山地河川の分岐・合流流路は突発的にその流路が変動する。分岐部において上流から運ばれてきた礫は、そこに発生している跳水のために停止し、主流路を閉塞するかたちで堆積する。そのために流れは全く別の方向に流れ出す。このようにして分岐部の突発変動が引き起こされると考えられる。その結果、河床面が一方の分岐流路に比べて低い主流路が廃棄される。これは現地観測より明らかになった、廃棄河道の河床面が現流路に比べて低い位置にあることをうまく説明する。

#### 4. 結論

(1) 射流域が卓越する山地河川の流れの不定流計算には保存則差分法が有効であり、そのスキームの一種である MacCormack法は取扱が簡単で便利である。(2) 分岐・合流流れでは、流路幅、分岐・合流角度など流路の幾何形状や、分岐流量配分比が重要な要因となる。特に流れが射流の場合、下流の条件が上流に伝わらないので、分岐部でのこれらの条件が非常に重要になると考えられる。実験および数値計算では、条件により分岐部直前、合流部直前で跳水が発生する。射流での分岐流れの構造は、分岐流量配分比の調節、決定機構も含めさらに検討を要する課題である。(3) 河床変動計算により、跳水が発生する分岐部直前では河床堆積が、合流部では河床侵食が引き起こされる。条件によってはこの逆の場合も有り得る。結果として、主流路、分岐流路それぞれ違う勾配の新たな河床面が形成される。(6) 山地河川における分岐・合流流路の突発変動は、洪水中に分岐部で発生する跳水によって上流から運ばれてきた礫が主流路入口に堆積し、流路を閉塞することによって引き起こされると考えられる。ハイドログラフが鋭く非定常性が無視できないことが、変動が突発的であることの理由の一つと考えられる。

本研究では分岐・合流流路の流れと突発変動を現地調査、実験、数値計算から大局的に考察した。しかしながら、山地河川の形態、流れ、変動は非常に複雑で局所的にはまだ不明な点もかなり残されている。山地河川での土砂の生産、貯留、輸送の機構を明かにするためにも、これからの課題として遮蔽効果を含んだ混合粒径での取り扱いの必要性が挙げられる。

【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・高橋: 山地河川の分岐流路形態とその変動、道支部論文報告集第46号, pp269-274, 1990 3) 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、道支部論文報告集第46号, pp263-268, 1990 4) 芦田・大同・高橋・水山: 急勾配流れの抵抗と限界掃流力に関する研究、京大防災研年報16-B, pp481-494, 1973

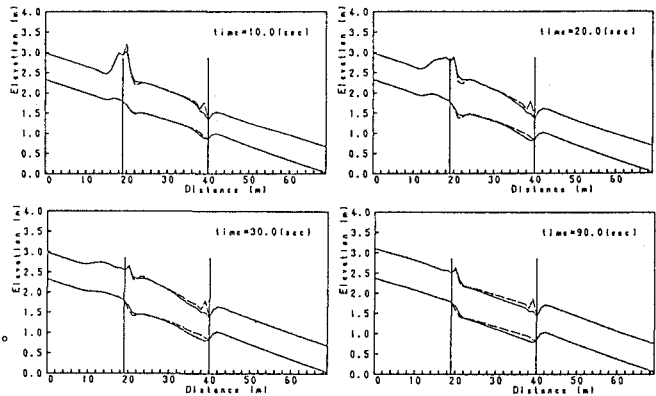


図-3 河床変動計算例

( $Q=50\text{m}^3/\text{s}$ ,  $I=1/30$ ,  $b=20\text{m}$ ,  $b_1=12\text{m}$ ,  $b_2=8\text{m}$ ,  $r=0.7$ )