

流砂量比による施設計画の検討例

ナカイミ

国土防災技術北海道株式会社

○中葉 保

松山洋平

森 美佳

九石公道

朝日敏治

北海道函館土木現業所事業課

樽林基弘

1 はじめに

砂防基本計画の検討における土砂処理計画は、計画基準点間の流域を対象に、計画生産土砂量及び基準点直上流における計画流出土砂量に対し、計画生産抑制量、計画流出抑制量及び計画流出調節量を決定して樹立するものである。この生産抑制、流出抑制及び調節機能は、砂防ダム等の砂防施設として期待される機能であり、一般にこの機能は、経験則的な堆砂勾配を設定して求められることが多い。

本報告は、2点間の河床変動を表す流砂量比を用いてこの堆砂勾配を検討する簡易な手法について示す。

2 河床変動と流砂量比

図-1に示すようなある区間において、河床変動は次式で表される。

$$\Delta Q_B = Q_{B0} - Q_{B1}, \quad \Delta z = \Delta Q_B / (BL) \quad (1)$$

断面0-1における流砂量の比を取れば、

$$\left. \begin{array}{l} Q_{B1}/Q_{B0} > 1 : \text{洗掘} \\ = 1 : \text{変動なし} \\ < 1 : \text{堆積} \end{array} \right\} \quad (2)$$

と表すことができる。この Q_{B1}/Q_{B0} を流砂量比とする。2点間は隣接し、流量、礫径、粗度係数等を等しいと仮定し、これにBrown式及びManning式を適用すると、次式が導かれる。

$$Q_{B1}/Q_{B0} = p^m q^n = \alpha \quad \text{ただし、} p = B_1/B_0, \quad q = i_1/i_0 \quad (3)$$

流砂量比は河道形状である河道幅 B 及び河床勾配 i のみの関数として、簡単な式で表されることとなる。

ここで、ある一定勾配上で河床幅が変化した場合、流砂量比 α は式(3)のように幅のみの関数となり、堆砂勾配はその量を流しうる勾配となる。この仮定に基づく、式(3)より、次式(4)及び(5)が導かれる。

$$\alpha = \left(\frac{B_1}{B_0} \right)^m \quad (4) \quad , \quad i_1 = \alpha^{\frac{1}{n}} i_0 \quad (5)$$

上式に対して、横軸に河道幅比 B_1/B_0 を、縦軸に河床勾配比 i_1/i_0 をとって図示したものが図-2である。砂防施設効果を算定する際、経験値である元河床勾配の1/2や2/3の勾配が用いられている。これは図-2においてそれぞれ縦軸の勾配比が0.5及び0.667に相当する。しかし、当理論からいえば、河床勾配は下流地点の河道幅で決定されることとなる。即ち、 B_1/B_0 が一定であれば、堆砂勾配は上流勾配により決定され、必ずしも元河床勾配の1/2や2/3の勾配とはならない。

このことは、砂防ダム設計において水通し幅の設定が堆砂勾配に大きく関わり、水通し幅の検討が重要であることを意味する。これまで、砂防ダムの配置は狭窄部の位置を重視して決定されてきたが、安定性や経済性の面からは有効であるが、機能の面からは必ずしも有意性が高くない場合もあり得ることが示唆される。

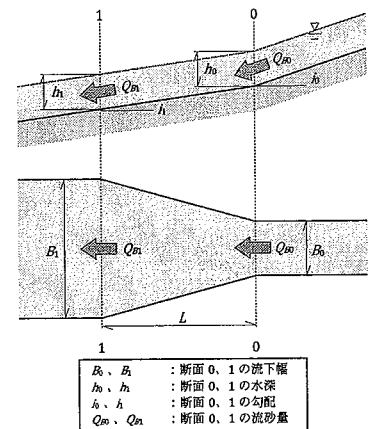


図-1 流れの模式図と記号

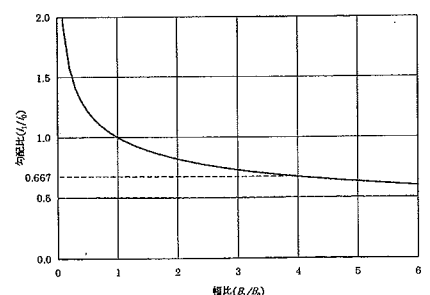


図-2 幅の変化による勾配比の変化

3 施設効果の検討

砂防ダムの機能として、生産抑制機能、貯砂機能及び調節機能がある。このうち調節機能は、一般的に動的平衡勾配と静的平衡勾配の差として表されており、経験的には元河床勾配の2/3や1/2の勾配の差、又は貯砂量の10%～20%程度と言われている。

図-3に示すように、砂防ダム背後においては、想定流下幅に対する堆砂勾配が形成されるが、流れはダム水通し幅に規制されるため、その区間内で流下幅に変化が生じる。一般に、堆砂幅に対して水通し幅は小さいため、ダム天端を下流端として、新たな洗掘勾配が形成される。

ここで、堆砂勾配は式(5)を用いて、上流地点の流入幅及び河床勾配と、堆砂域の想定流下幅を代入して算定される。静的平衡勾配は上流からの流出土砂量が無いとの条件により求められ、本検討においては限界掃流力から算定する。この算出過程を以下に示す。

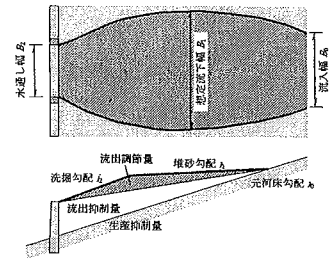


図-3 想定流下幅とダム水通し幅

いま、掃流力及び限界掃流力を次式で与える。

$$u_*^2 = ghi \quad , \quad u_{*c}^2 = 80.9d \quad (6)$$

静的平衡勾配は、土砂が移動しない限界状態であるから、両者を等しいとおき、これを上流・下流の2点間について、上流側を添字0、下流側を添字1で表して勾配の比をとれば、次式を得る。

$$\frac{i_1}{i_0} = \frac{h_0 d_1}{h_1 d_0} \quad (7)$$

また、式(3)と同様に、水深比及び礫径比を $p = B_1/B_0$ 、 $q = i_1/i_0$ として h_1/h_0 、 $d_1/d_0 = p^m q^n$ の形式で表し、式(7)に代入すれば、次式となる。

$$i_1 = \frac{\alpha_h}{\alpha_d} i_0 \quad (8)$$

結局、式(8)はダム天端から上流へ向かう静的平衡勾配となる。この静的平衡勾配と、式(5)により求めた堆砂勾配の差が調節量となる。この勾配は、流下幅の変化によって礫径・水深が変化した場合に形成される勾配を表す。

4 遊砂地の施設効果について

計画流出土砂量を許容流出土砂量以内に減ずることができない場合、溪流空間の広がりを利用し、遊砂地として土砂を減勢・堆積させたり、砂溜工により土砂を捕捉したりする。掘り込み式の場合は施設の空間容量を施設効果量とし、掘り込まない場合は下流側の床固工等から砂防ダム等と同様に計画勾配・洪水勾配から貯砂量・調節量として施設効果量とする他、流砂量計算やシミュレーション等により決定している。即ち、扇状地のような縦断規制効果が十分に得られない場合には、その効果の評価が難しい場合がある。

遊砂地の効果は、土砂を分散させて水深を低下させ、土砂の堆積を促進させることが重要であるため、本方法を用いることにより、流下幅と河床勾配の両者の影響を簡易に組み入れて施設効果を算定することが可能である。

5 おわりに

流砂量比を用いると、 $\Delta Q_B = (1 - \alpha)Q_{B0}$ と表される。これは流出土砂量に流出率を乗じたものと同義であり、現在砂防計画で用いられている土砂処理の基本式である $E = (Q + A - B)(1 - \alpha) - C - D$ と全く同様の意味を持つ。即ち、一般的な土砂処理計画手法とも整合する。

また、本方法によれば、施設効果は簡易に算定できるが、その与条件の一つである河道幅の取り方が問題となる。これは堆積地年代毎に形成される幅の他、例えばV字形地形においては河床の上昇により河道幅が拡大する。これらについて熟慮の上、想定流下幅や砂防ダムの水通し幅等について決定する必要がある。