

58 スリット砂防ダムの土砂調節機能

— インドネシア・SEMUT川を例として —

(財)砂防・地すべり技術センター 阿部 宗平

はじめに

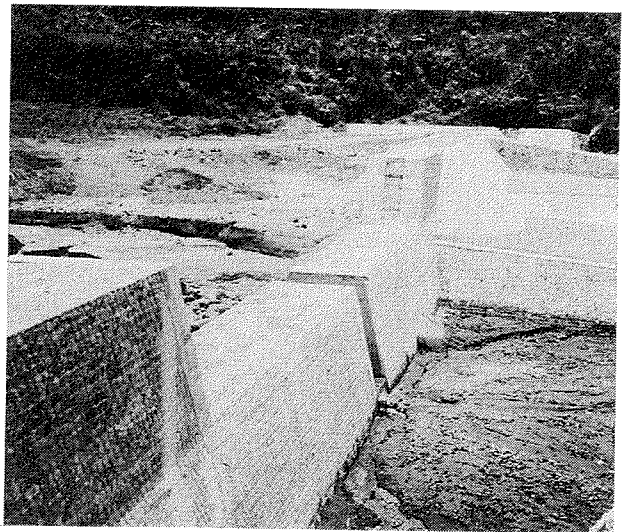
スリット砂防ダムや大暗渠を有する砂防ダムは、通常の砂防ダムに比べ、土砂調節の効果が大きいといわれている。大暗渠を有する砂防ダムについては水山¹⁾により、現地における追跡調査が行われ、その機能と効果が検討されている。しかしスリット砂防ダムの機能や設計手法を建設後の追跡調査によって検討した事例はない。筆者は、クルー火山の噴火(1990年2月)後、SEMUT川に建設されたスリット砂防ダム(1990年12月完成)における河床の変動や堆砂形状を調査する機会を得、スリット砂防ダムの土砂調節機能について、いくつかの知見を得たので報告する。

1. 流域の概要

SEMUT川は、クルー火山(標高1731m)のほぼ南の面に源を発し、LEKESO川に合流してBRANTAS川に注ぐ荒廃河川である。SEMUT川の最上流の砂防ダムより上流の流域面積は12km²、流路延長6Kmで、平均勾配は1/7.5(標高差800m)である。スリット砂防ダムの上流に2基の砂防ダム(上流から1号、2号ダムと呼ぶ)が建設されている。スリット砂防ダム(水通し幅30m、高さ7m、スリット幅2m、深さ4m)は、最上流の砂防ダムから約0.5km下流の位置に計画され、1990年12月に完成した。これより下流2kmの位置に床固工と砂溜工が建設されている。

2. クルー火山の噴火とその後の土砂移動

1990年12月にクルー火山が噴火した。この時、SEMUT川流域に堆積した火山噴出物は11×10⁶m³と報告²⁾されている。1990年3月7日に146mm/day(BANTARAN観測所)の降雨が記録されている。この降雨によって多量の土砂が最上流の砂防ダムに到達して堆積した。この時の最大流量は、第2砂防ダムの袖部の水位痕跡によると、スリット砂防ダムの設計対象流量に相当する120m³/secであると推測される。スリット砂防ダムが施工されたが、その完成直後の12月の出水で、ほぼ満砂した(写真-1)。



3. 土砂調節機能の調査と考察

写真-1 12月の出水で満砂したスリット砂防ダム

インドネシア・ジャワ島では、10月～4月が雨季で、SEMUT川流域においても降雨は、11月～4月に集中している。現地調査は、乾季(1991年9月)と雨季(1992年1月)の2時期に行った。現地調査では、河床変動測量と工事関係者や地元住民との面接調査を行った。雨季では、ほぼ連日して降雨があるので、面接調査や工事の記録写真の収集が大局的な土砂の移動を推測する手段として役立った。前述の2時

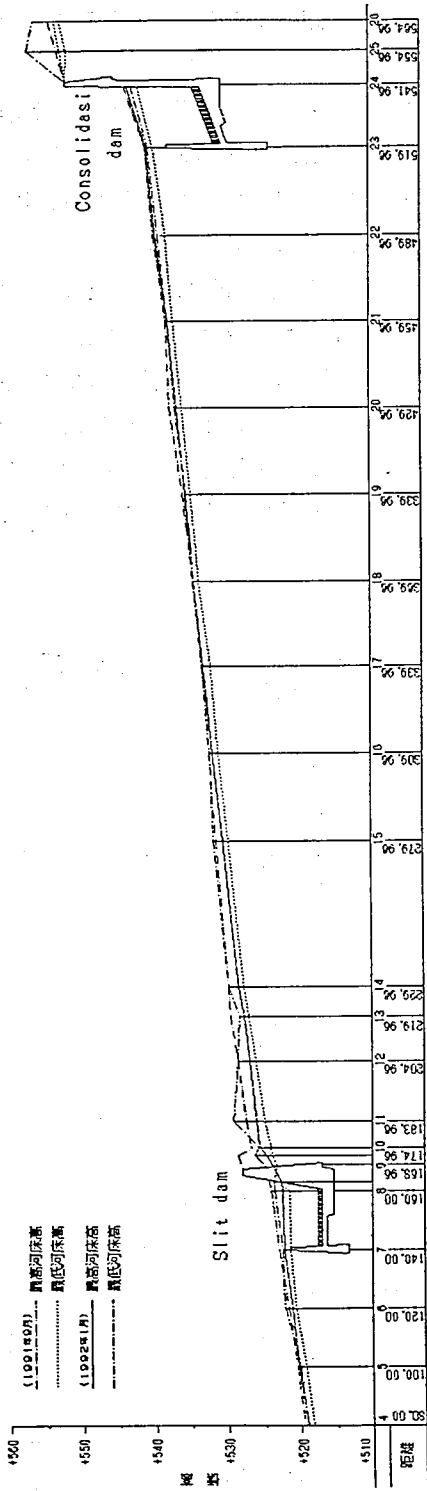


図-1 河床変化の縦断形状

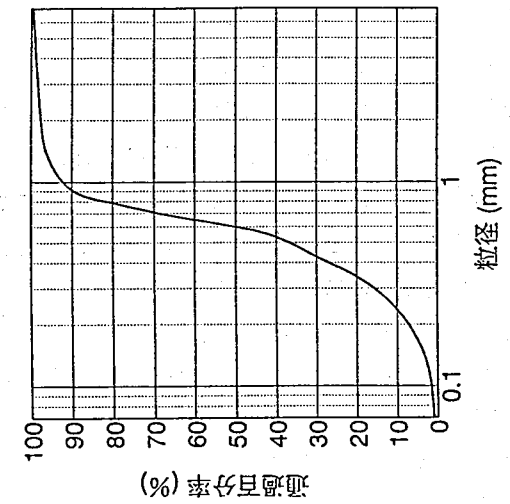


図-2 堆砂肩付近の横断形状

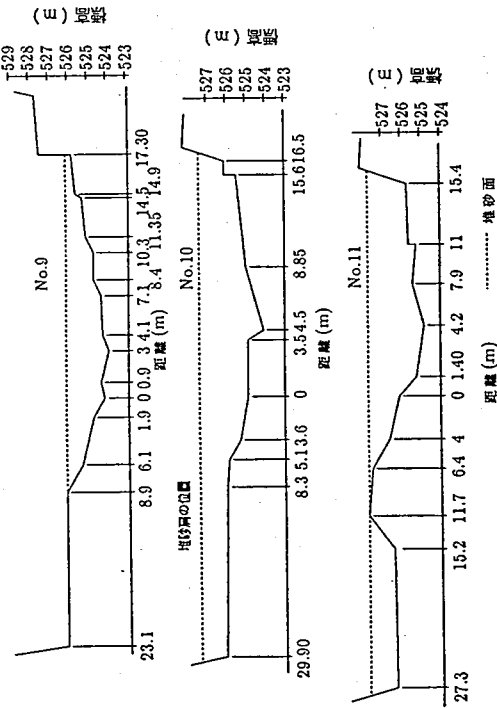


図-3 堆積土砂の粒度分布

期におけるスリット砂防ダム上流の堆砂縦断測量の結果を図-1に示す。図-1の堆積の河床の変化をみると、スリット砂防ダムに一時的に堆積した土砂がその後の出水で流出し、砂防ダムの堆砂容量の回復が行われていることが分かる。

スリット砂防ダムの土砂調節機能は、出水の増水期にせき上げによる掃流力の低下に伴い土砂が堆積し、堆砂肩が形成される。次いで減水期には、堆砂肩が崩れて、堆積土砂の一部が流出し、その後の出水時の複数の出水も含めて土砂調節容量の回復が行われるとされている。図-1に示す1990年9月の測量時における砂防ダム近傍の堆砂の縦断形状の変化は、そのことを裏付けるものといえよう。堆砂肩が形成された付近の河床の横断形状を図-2に示す。この河床の形状は、複数の出水で土砂がスリットから流出したことを示しており、それだけ、土砂の流出が平滑化されて行われていることがわかる。これに対して、1992年1月の測量時における砂防ダム近傍の堆砂形状は、通常の砂防ダムの堆砂形状に似ており、ピーク流量時に堆砂肩は形成されなかったと推察される。このような2時期におけるスリット砂防ダム近傍の堆砂形状について以下に考察する。なお、砂防ダムの近傍には最大1m程度の粒径の石礫が散在しているが、堆積砂の大部分は図-3にその粒度分布を示すように平均粒径0.5mm、最大粒径3mm程度の細粒径の砂である。

4. 堆砂の形状

1) 1991年9月の調査における堆砂形状の考察

堆砂形状の概念を図-4に示す。堆砂肩は、砂防ダムの近傍で、流れがせき上げられた状態で形成される。堆砂の肩の位置は、堆砂の肩の高さと、スリット底部から砂礫の水中安息角で引いた線の交点として求められる。水山³⁾らが提案している堆砂の高さを求める次式を用いて、1991年9月の調査資料から、SEMUT川のスリット砂防ダムの堆砂形状を考察する。

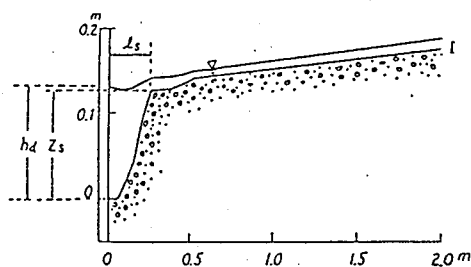


図-4 堆砂形状の概念

$$Z_s = \left\{ \frac{F_r^2}{2} \left(\frac{1}{(\sqrt[3]{\gamma})^2} - 1 \right) + \frac{\sqrt[3]{\gamma}}{\gamma} - 1 \right\} \cdot \left(\frac{n \cdot Q}{B_s \sqrt{I}} \right)^{0.6} \quad (1)$$

ここに、 Z_s :堆砂の高さ、 F_r :等流水深に対するフルード数、 γ :流水幅縮小率(B_d/B_s)、 B_d :ダム地点の流れの幅、 B_s :堆砂肩の流れの幅、 I :堆砂勾配、 n :マンニングの粗度係数、 Q :対象流量である。

図-1に示す堆砂が形成されたときの出水流量は、工事関係者や、地元住民との面接調査、水位痕跡調査から、堆砂面からの水深を0.3mと推測し、堆砂勾配(I):0.033、河幅(B):40m、マンニングの粗度係数(n):0.035として、 $28\text{m}^3/\text{sec}$ を算定した。堆砂勾配は、図-1で示した最高河床高の平均勾配で、河幅は、水位痕跡を確認した断面の幅である。スリット砂防ダムの水通し幅は30mで、スリットの深さは4m、幅は2mである。

オリフィスの式で、流量係数を $0.4^{3)}$ とすると、スリット部を流れる最大流量は、 $18.9\text{m}^3/\text{sec}$ と計算され、スリットは全流量をのみこめず若干越流したであろうことが推定される。越流流量($9.1\text{m}^3/\text{sec}$)に対する越流水深は、0.2mである。またこのことは砂防ダムの水通し天端の出水痕跡(写真-1)か

らも推察できる。堆砂肩が形成されるためにはスリットの深さが対象流量の限界水深より深く、水通し天端を流水が越流しない必要がある。流量 $28\text{m}^3/\text{sec}$ に対するスリット部の限界水深は 2.7m で、スリットの深さは 4m であり、流水がわずかに水通し天端を越流した程度であるので、この条件のもとでは、砂防ダム近傍で流れが堰上げられて堆砂肩が形成されることが推定できる。

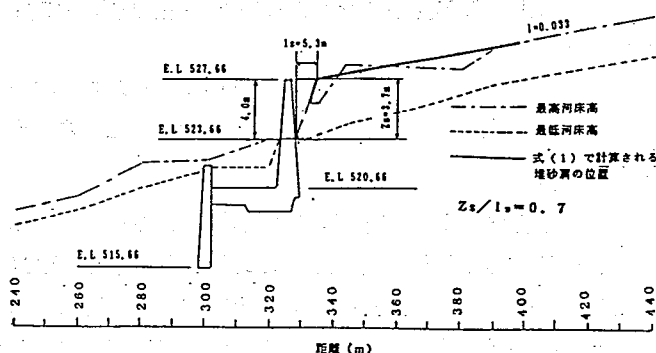


図-5 堆砂肩の位置の推測

式(1)で $B_s=46\text{m}$ 、 $B_d=2\text{m}$ 、 $Q=28\text{m}^3/\text{sec}$ 、 $I=0.033$ 、 $n=0.035$ 、とすると堆砂の高さ(Z_s)は、 3.7m に計算される。実測された砂防ダムの近傍の堆砂形状を図-5に示す。図-5より実測の堆砂肩の位置は、式(1)で計算した堆砂肩の高さとスリット底部から砂礫の水中安息角 $\tan\theta=35^\circ$ で引いた線の交点で近似できることが分かる。

2) 1992年1月の調査による堆砂形状の考察

1992年1月の現地調査からも、図-1に示されるような河床の変化から、スリット砂防ダムの土砂調節機能、容量が回復され、現在、土砂流出が継続されていることがわかる。しかし、堆砂肩の存在は観察されなかった。このことについて、次のように考察される。

調査時に水通し天端上に残されている土砂の平均堆積深は 0.6m であった。逆台形の越流公式で、越流水深を仮に 0.6m とすると、流量は $25\text{m}^3/\text{sec}$ と計算され、スリット部より多い流量が水通し天端を越流したことになる。ピーク流量($44\text{m}^3/\text{sec}$)に対するスリット部の限界水深は、スリットの深さにはほぼ等しい 3.7m に計算される。このことから、ピーク流量に対するスリットの大きさは過小で、砂防ダム近傍の流れは十分に減勢されないため、堆砂肩が形成されずに通常の砂防ダムに似た堆砂の形状を形成したと考えられる。実際に砂防ダムの下流には、水通し天端を越流したとみなすことのできる土砂の堆積が確認されている。

まとめ

大きな出水時に土砂を堆積し、減水時とその後の複数の平常時の出水で土砂を流出させるスリット砂防ダムの機能が、現地調査で確認された。しかし、スリット砂防ダムが、十分な機能を発揮するためには、対象流量に対して適切なスリットの大きさが必要であり、水山ら³⁾が提案するスリットの設計手法の妥当性が(定性的ではあるが)確認された。実測された堆砂肩の位置は式(1)で算定される堆砂の高さとスリット底部から砂礫の水中安息角($\tan\theta=35^\circ$)で引いた線の交点に近似した。今後もこうした事例を収集し、スリット砂防ダムの土砂調節機能の詳細について考察を加えていく必要がある。

参考文献

- 1) 水山、井良沢、福本、小林; 大暗渠砂防ダムの土砂調節効果について、新砂防169号、1990年7月
- 2) Agus Sumaryono, Hariyanto, Natural Disaster Caused by Eruption of Mt. Kelud on February 10, 1990. Gadjah Mada University, Yogyakarta, 1990.
- 3) 水山・阿部・矢島; スリット砂防ダムの流量係数と堆砂形状、新砂防165号、1989年11月。