

40 スリット砂防ダムに関する考察

建設省土木研究所 ○ 阿部宗平 水山高久 矢島重美

1. はじめに

砂防ダムの流水の堰上げ作用によって調節効果を増加させる透過型砂防ダムの機能についてはすでに報告しているが¹⁾、下流河道への影響も考慮した効果評価は十分でない。そこで、現在実際に大きな暗渠またはスリットを設けて調節効果を増加させる計画のある砂防ダムを例として水理模型実験を行い、スリット式砂防ダムの効果を考察した。また、スリットを有する砂防ダムの設計に必要となるスリットの形状と流出係数の関係、砂堆の性状について実験的に考察している。さらに、河床変動計算を行い水理模型実験の結果を説明する。

2. 水理模型実験

2.1 実験の概要

模型の取り入れ範囲は、延長約 1.3km、標高差約138mで、平均勾配約 1/10である。模型縮尺は1/50で、各諸元はフルード相似則によって求めた。実験に使用した砂は平均粒径 1.37mm (実物値6.85cm)、最大粒径は 25mm (実物値125cm) である。流量は 100年超過確率のハイドログラフを与えた後、1/2 年確率の $87\text{m}^3/\text{sec}$ (模型値4.9 l/sec) を1時間通水した。この時給砂は行わなかった。給砂は第2号砂防ダム下流の河床勾配 (1/10) を用いて、芦田、高橋、水山の式²⁾により各流量毎の流砂量を求めその量を給砂量として第2号砂防ダムの水通し部から与えた。供給地点での土砂濃度は平均的に7.7% (容積濃度) 程度である。実験で検討したスリットの形状を図-1に示す。

2.2 スリット砂防ダムの形状の検討

スリット等の透過型砂防ダムは、通常の砂防ダムより土砂の調節量を大きくすることを目的の一つとして計画される。出水後半に堰上げ水深が低下して多量の土砂がスリットから流出することが知られているが、流出する土砂量は、少なくて平滑化されることが望ましい。なぜなら、急勾配の堆砂面からの急激な土砂の流出は、下流河道の河床勾配変化点で土砂堆積による流水の氾濫等の危険度を高めるからである。スリットからの流出する土砂量の時間的な変化を図-2に示す。図-2より、通常の砂防ダムに比べてスリット砂防ダムの場合は、土砂の流出を遅くする効果が認められる。また、スリット幅が狭い程、堰上げ作用が小さくなって流出土砂量は少なく、かつ、時間的な変動幅は小さくなることからわかる。流出土砂量の累積量の時間的な変化を図-3に示す。図-3よりスリット幅が狭い程一つの出水

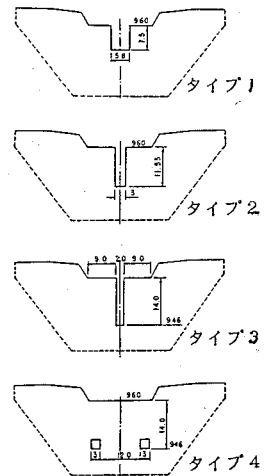


図-1 実験で検討する暗渠スリットの形状

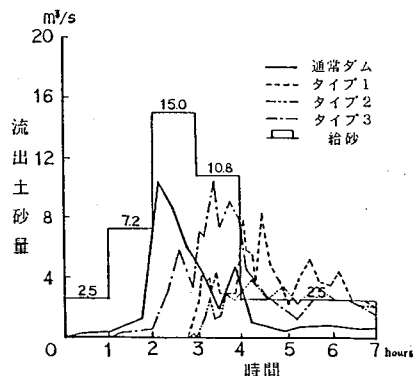


図-2 流出土砂量の時間的な変化

中の総流出土砂量は少ないことがわかる。また、スリットの幅を広くしすぎると通常の砂防ダムに比べて、総流出土砂量は多くなり、換言すれば、堆砂量が少なくなつてスリット砂防ダムの機能が満されないことになる。

2.3 スリットの形状と流出係数

暗渠、スリットから放出する流量を大オリフィスの式を用いて求める場合、暗渠、スリットの下端まで上砂が堆積している状態の流出係数は $\mu = 0.65 \sim 0.7$ とする

のが通例である。しかし、この流出係数は、暗渠やスリットの形状によって異なることが考えられ、スリットの形状と流出係数の関係と実験的に検討した。大オリフィスの式で $\mu = 0.65$ とする計算値と実験値の関係を図-4～図-7に示す。計算値と実験値の μ が良く一致するのは、図-7のように砂防ダムの水通し天端から暗渠下端までの水深 (h_1) が大きい場合である。水深 (h_1) が同じであっても図-6のようにスリット幅の狭い場合の流出係数 (μ) は $0.4 \sim 0.45$ 程度と小さくなる。実験結果による流出係数 (μ) は、暗渠では $\mu = 0.5 \sim 0.65$ 、スリットの場合には $\mu = 0.4 \sim 0.5$ で、暗渠の方がスリットより大きい。

2.4 砂堆の性状

砂防ダムによって流水が堰上げられると図-8に示すような砂堆が形成される。図-8において原点を暗渠、スリットの底部においた場合の砂堆の肩の位置 P 点を (l_s 、 h_s) で示す。砂堆前面の傾斜角 (h_s/l_s) を (h_1/dm) I_0 に対して示すと図-9のようになる。

図-9より堆砂が平衡状態になると砂堆前面の傾斜角は水中安息角に近づくと考えられる。堰上げ水深 (h_d) で無次元化した砂堆の高さ (h_s) を (h_1/dm) I_0 に対して示すと図-10のようになる。まだ堆砂が平衡状態に至っていないが、図-10より堆砂が平衡状態に近づく程 (h_s) は高くなる傾向がある。

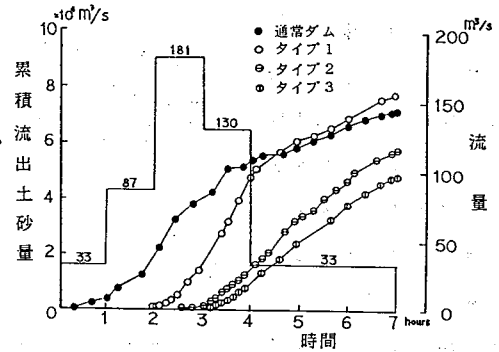


図-3 累積流出土砂量

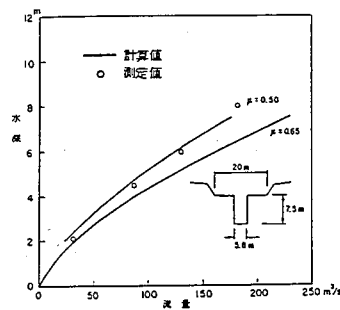


図-4 タイプ1のH-Q関係図

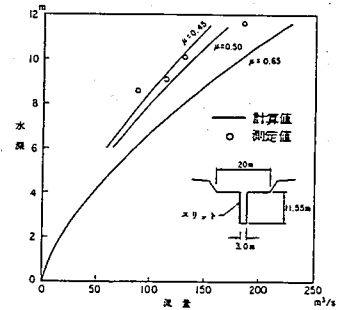


図-5 タイプ2のH-Q関係図

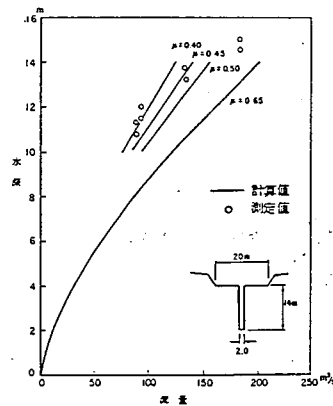


図-6 タイプ3のH-Q関係図

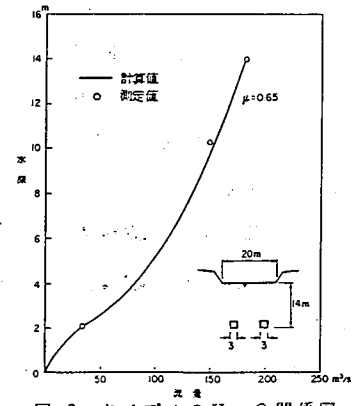


図-7 タイプ4のH-Q関係図

3. 河床変動計算

2次元の河床変動計算モデルにより、水理模型実験で検討した図-1に示すタイプ2とタイプ4の資料をもとに数値シミュレーションを行い、流速ベクト

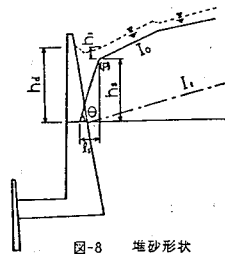


図-8 堆砂形状

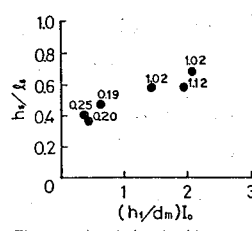


図-9 h_s/L_s と $(h_1/d_m)I_o$ の関係 (図中の数字は I_o/I_1)

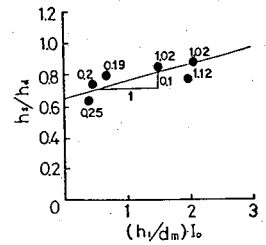


図-10 h_s/h_d と $(h_1/d_m)I_o$ の関係 (図中の数字は I_o/I_1)

ル表示による流れの平面的な変動を求め、河床変動の計算値と実験値を比較し検討した。また、1次元河床変動計算を行い実験値と比較するほか、2次元計算の結果との比較検討を行った。

3.1 2次元の河床変動計算

3.1.1 河床変動計算の手法

2次元の河床変動計算は、2次元平面流れの運動方程式、流水の連続式によって水流の解析を行い、さらに流砂量式、流砂の連続式を連立して解くことによって行う。2次元平面流れの運動方程式を直接解くことは困難なため、ここでは差分法し、逐次数値計算によった。差分式は高橋ら³⁾の方法に従った。流砂量計算は、メッシュ間の勾配が 14° 以上の場合に高橋の土石流の濃度式⁴⁾を用い、 14° 以下の場合の掃流砂量の計算は、水山の式²⁾を用いて行った。メッシュ間の勾配が逆勾配になる場合の流砂量は0にした。なお、計算メッシュ幅は10mにした。

3.1.2 計算結果と考察

初期河床高に対するピーク流量 $181\text{m}^3/\text{sec}$ 時のタイプ2の河床の変化を図-11に示す。計算の対象にした全区間で、図-11に示すように実験値に比べて計算値の方がより多くの土砂が堆積する。ダム直上流の初期河床高に対する出水後の河床の変化を図-12に示す。図-12より実験値の河床に対して右岸側の河床が高く、左岸側で低いことがわかる。これは、計算値の主流路の位置が実験値に比べて左岸に集中しすぎるからである。出水後半の流量が小さい程主流路の位置は実験値と大きく異なる傾向が認められる。流水及び河床の平面的な変動が合いにくいのは、計算時間刻みが粗く河床変動が若干振動ぎみであること、実際には卓越していると思われる側岸侵食等が考慮されていないためだと考えられる。

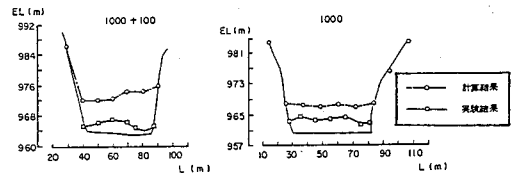


図-11 計算結果と実験結果の比較 (タイプ2, 流量 $181\text{m}^3/\text{s}$)

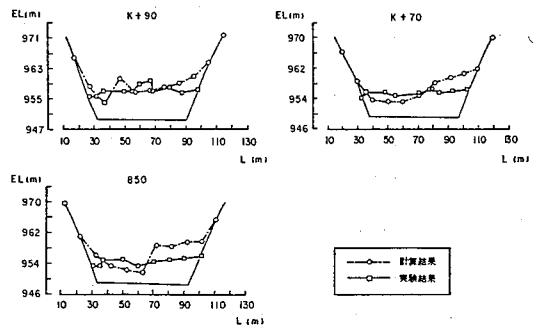


図-12 出水後の河床変化の比較

流出土砂量の時間的変化を図-13に示す。図-13よりタイプ2のスリット砂防ダムの場合の流出土砂量は、計算値と実験値でその過程が多少異なるものの、止水後における総流出土砂量はよく一致している。しかし、タイプ4の暗渠の場合の流出土砂量は実験値に比べて計算値の方が少ない。このこ

とは、暗渠部における土砂の輸送能力が過小に評価されていることに一因があると考えられるので、境界条件の工夫が必要になる。

3.2 1次元の河床変動計算

3.2.1 河床変動計算の手法

河床変動計算は、掃流力をマンニングの等流式により求めた水深を用いて計算し、流砂量を求める流砂量式、河床変動量を求める流砂の連続式を解くことによって行う。ダム地点の水位は水通しあるいは暗渠、スリットの疎通能力より計算する。ダム地点の水位の影響範囲は、水平と仮定して水位を設定した。掃流砂量は、芦田、高橋、水山式³⁾を用いた。流砂量を求める場合に堆砂前面の傾斜角の最大値は水中安息角で $\theta = 20^\circ$ に設定した。

3.2.2 計算結果と考察

タイプ2のスリット砂防ダムの縦断形状を図-14に示す。上流側の砂防ダムの直下流で計算値の河床高が実験値より5m程度高いことを除くと実験値との適合性は良い。スリット及び暗渠から流出する土砂量の時間的変化を図-15に示す。図-15より計算値と実験値は良く適合することがわかる。

まとめ

通常の砂防ダムに比べて土砂の調節量が大きく、また、スリットから流出する土砂量を平滑化するスリットの幅は中小の出水時には土砂が堆積せず、土石流発生時に暗渠が閉塞した場合の排土作業に支障のない範囲で最小のものがよい。河床変動計算は1次元の河床変動計算の方が簡便であり、現状においては2次元の河床変動計算よりも実験値との適合性が良いことからみて好都合の手法といえよう。ただし、現象に対する認識度を高めるには、2次元の河床変動モデルを考察することは有意であろう。

参考文献

- 1) 水山、福本；大きな水抜き暗渠を有する砂防ダムの土砂調節効果に関する水理模型実験報告書，土研資料第2066号，昭和59年2月
- 2) 芦田，高橋，水山；山地河川の掃流砂量に関する研究，新砂防 107号，昭和53年4月
- 3) 高橋，中川，西崎；堤防決壊による洪水危険度の評価に関する研究，京都大学防災研究所年報，第29号B-2，昭和61年4月
- 4) 高橋 保；土石流の発生と流動に関する研究，京大防災研究所年報，第20号B-2，昭和52年4月

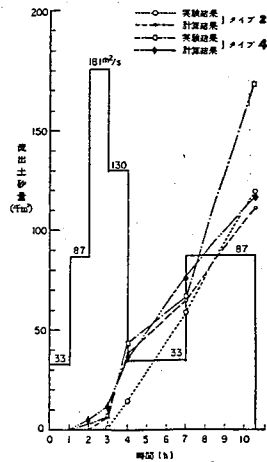


図-13 流出土砂量（累加値）の変化の計算値と実験値の比較

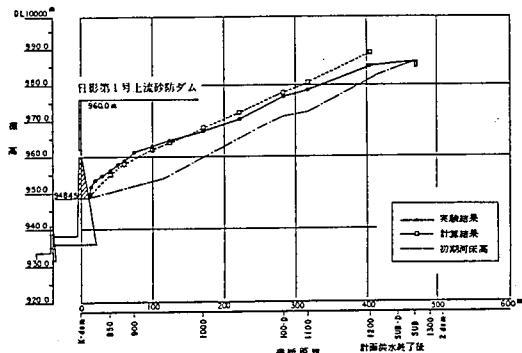


図-14 縦断形状の比較（タイプ2）

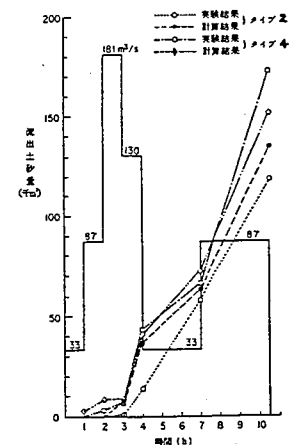


図-15 流出土砂量（累加値）の変化の計算値と実験値の比較