

40 砂防ダムの粒径調節効果に関する研究

建設省土木研究所 ○井良沢道也、水山 高久、福本 晃久

1. はじめに

砂防ダムは流出土砂を量的に調節だけでなく、質的に変化させる粒径調節効果（ふるい分け効果）も持っている。しかし、粒径調節効果に関しては不明な点が多く、砂防計画に反映されるには至っていない。今後は砂防ダムの質的效果についても議論する必要がある。そこで砂防ダムの種類を変え、水理模型実験及び河床変動計算モデルによるシミュレーションを実施し、砂防ダムの粒径調節効果について検討を行った。

2. 水理模型実験の概要

実験は幅0.3m、高さ0.4m、水路長8.0mの水路（勾配1/30）を用いて実施し、水路下流端に図-1に示す砂防ダムの模型を設けた。実験のケースは表-1に示す8ケースである。通水時間は60分で、堆砂形状、堆積土砂の粒度分布およびダムからの流出土砂の粒度分布を測定した。

表-1に示すようにCASE-1～4では流量4ℓ/secを給砂しながら40分間流し、その後2ℓ/secを無給砂で20分間流した。CASE5～8では流量を2倍とした。なお初期堆砂形状は全て砂防ダム水通し天端と同じ高さで水平に敷きならした。河床材料は最大粒径25mm、平均粒径5.6mmのものを用いた。給砂位置は水路下流端に設置した砂防ダムより3m上流である。

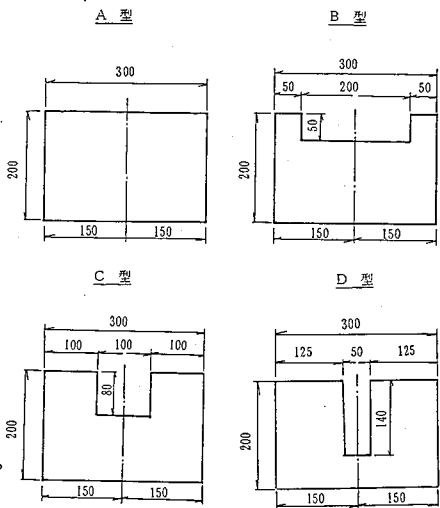


図-1 砂防ダム模型の形状

表-1 実験ケース

	ダムタイプ	1) 流量	給砂時間	給砂量	2) 流量	給砂時間	給砂量
CASE-1	A 型	4 ℓ/s	40分	21.3cc/s	2 ℓ/s	20分	無給砂
CASE-2	B 型	"	"	"	"	"	"
CASE-3	C 型	"	"	"	"	"	"
CASE-4	D 型	"	"	"	"	"	"
CASE-5	A 型	8 ℓ/s	30分	42.6cc/s	4 ℓ/s	30分	無給砂
CASE-6	B 型	"	"	"	"	"	"
CASE-7	C 型	"	"	"	"	"	"
CASE-8	D 型	"	"	"	"	"	"

3. 実験結果

3.1 堆砂縦断形

図-2(1)、(2)にCASE1とCASE4における堆砂縦断形の時間変化を示す。堆砂形状は、CASE1ではダム天端からほぼ直線的に堆砂するのにたいし、スリットを有したCASE4は水通しより30cm上流付近に堆砂肩が形成される。通水の後半では、流量の変化によりそれまで上昇していた堆砂面の低下がみられる。特にスリットタイプのCASE4では堆砂肩が流量変化時に急に崩れ、その後徐々に低下し、堆砂肩から上流の勾配は通水後30分の勾配1/26.5から通水終了時1/13.5に変化する。

3.2 流出土砂量の変化

砂防ダムからの流出土砂量の経時変化を図-3(1)、(2)に示す。給砂している状態では、時間の経過

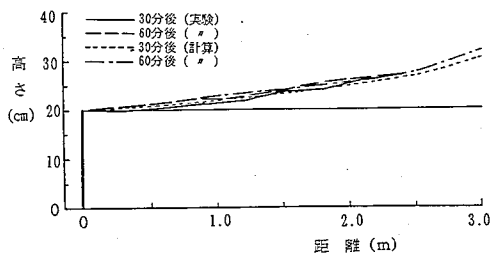


図-2(1) 縦断変化図 (CASE1)

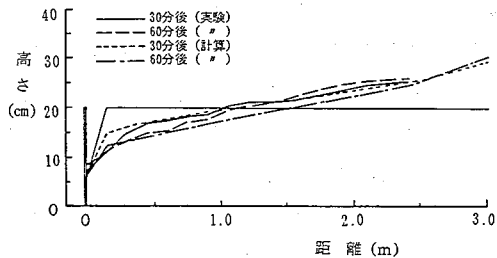


図-2(2) 縦断変化図 (CASE4)

とともに流砂量は増大する。ダムタイプA型のものが最も流砂量は少ないが、これは流出部（水通し天端）の高さが高いため勾配が緩く、堆砂が上流へ遡上するためである。ダムタイプDのケースは図-3(2)の30分でみられるように流量が減少する際に水位低下の程度が大きいため、それまでに形成された堆砂肩が急激に崩れ瞬間的に流砂量が大きくなる。

供給流砂量（CASE1～CASE4で21.3cc/s、CASE5～8で42.6cc/s）に比べ流出流砂量は小さく、土砂の量的調節効果が現れている。

3.3 堆積土砂の粒径の変化

堆積土砂の採取は砂防ダムの上流4ヶ所（0.35、1.15、2.15、2.80m付近）の水路中央で表面を実験砂のほぼ最大粒径に相当する深さで採取した。図-4(1)、(2)に堆積層の表層土砂の平均粒径を縦断的に示す。堆積土砂の平均粒径は初期河床に比べ粗粒化しており、縦断的にわずかではあるが、上流になるほどやや粗くなる傾向がみられる。このように流送土砂はふるい分けされているといえるが、ダムタイプによる違いは明瞭でない。

3.4 流出土砂の粒径の変化

流出土砂の平均粒径の経時変化を図-5(1)、(2)に示す。給砂がある状態は給砂材料の平均粒径に近い粒径の土砂が流出しており、時間の経過により粗い土砂が流出するようになる。また、図-4の水通し付近の堆積土砂の平均粒径と流出土砂の平均粒径は同程度となって

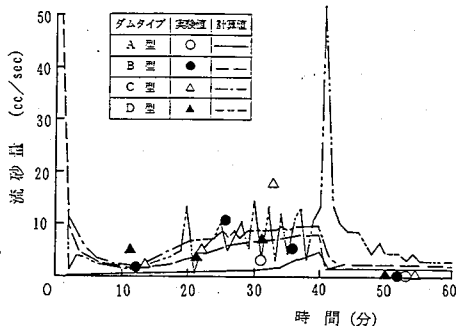


図-3(1) 流砂量の時間変化 (CASE1～CASE4)

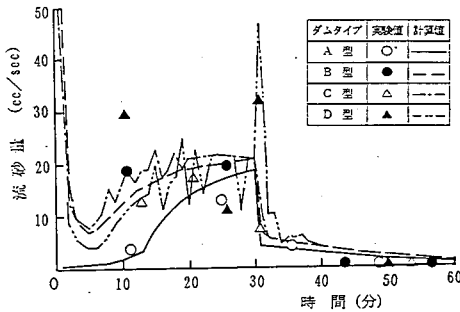


図-3(2) 流砂量の時間変化 (CASE5～CASE8)

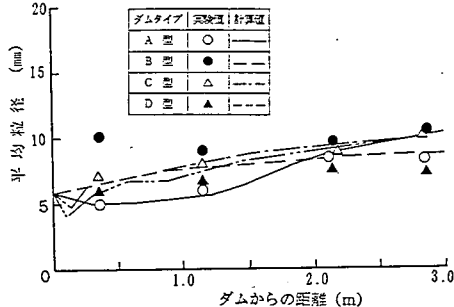


図-4(1) CASE5～CASE8の堆積土砂の平均粒径 (30分後)

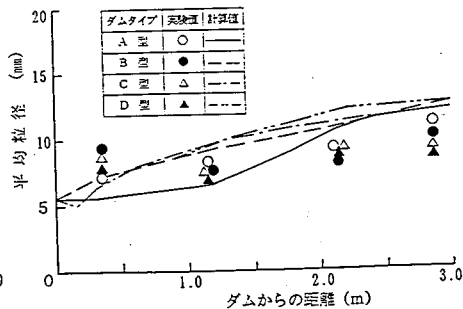


図-4(2) CASE5～CASE8の堆積土砂の平均粒径 (60分後)

いる。3.3で述べたように、堆砂面の縦断方向にふるい分け効果は少しみられるものの、かなり大きい粒径が下流まで流下していることになる。給砂がない状態では、流量が半減するため、粗い粒径の流下が少なくなり、流出土砂の平均粒径も小さくなり、粒径調節効果が現れていることになる。実験終了の直前では $d_m = 1.84 \sim 2.84$ mm 程度となり、各タイプとも差は少ない。

給砂のあるときに実験でみられるような比較的大きい粒径が移動する場合は、粒径調節効果は期待できず、流出土砂の少ない場合には、粒径調節効果が期待できることになる。なお、ダムタイプによる顕著な差はみられないが、堆砂肩の急なタイプDについてはスリットの底から堆砂肩までの勾配が1/4程度と急であること、スリットを流下する際の縮流が大きいため、比較的大きな粒径も流出しやすいと考えられる。

4. 河床変動計算による実験結果との比較

粒径別の一次元河床変動計算モデルにより実験結果との比較を行った。

4.1 河床変動計算モデルの概要

ここで用いる河床変動計算モデルは、砂防ダムによる砂礫の粒径調節効果を検討するため、粒径別の流砂量、土砂収支を追跡するモデルとした。土砂収支は各断面ごとに図-6のように堆積土砂をいくつかの層区分に分割することで粒径毎に記憶しておき、上昇、下降に伴って層区分が変化するように計算モデルを設定した。表層の部分は平野¹⁾が考案した交換層に該当し、この交換層は、各断面に流入する流砂と流出する流砂の粒度構成の変化により時々刻々と変化する。

計算の流れは図-7のとおりで、水面形の計算、流砂量の計算、河床変動量、粒径別の土砂収支計算を時間の経過にしたがって逐次計算するものである。

流砂量計算には試算の結果、今回の実験値と適合度の良かった掃流砂の芦田、道上式を用いた。

4.2 表層堆積土砂の粒度分布の比較

図-4の表層の平均粒径の縦断変化をみると、いずれの場合においてもダムタイプAの砂防ダムが最も粒径が小さく、残りのケースはそれほど大差なく同様の変化を示している。また、実験結果と同じ

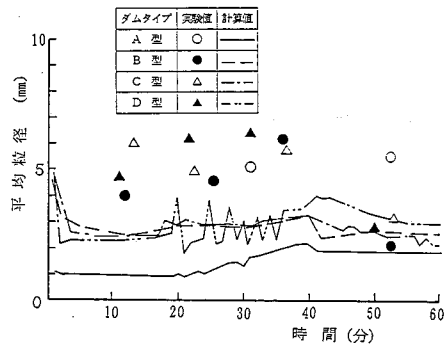


図-5(1) 流出土砂の平均粒径の時間変化 (CASE1~CASE4)

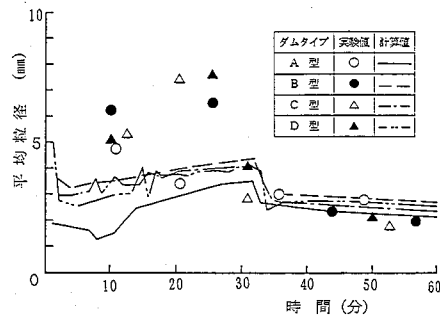


図-5(2) 流出土砂の平均粒径の時間変化 (CASE5~CASE8)

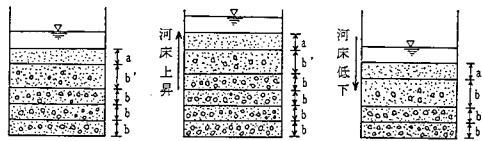


図-6 粒径別の土砂量記憶モデル

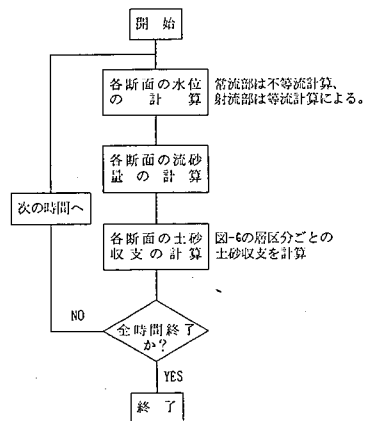


図-7 計算フロー

く初期河床に比べ粗粒化している。縦断的には実験値より明瞭に上流にむかって粗くなる傾向がみられ、給砂のない状態では、計算値の方が実験値より粒径が粗くなる傾向にある。

4.3 流出土砂の粒度分布の比較

CASE5～8の流出土砂の粒度分布について実験値と計算値を比較したのが図-8(1)、(2)である。図には給砂及び初期河床の材料を併記した。計算では常に初期河床の材料よりかなり細粒化した土砂が流出しているのに対し、実験値は30分後までは初期河床材料とほぼ同程度か粗くなっている。これに対し給砂を行ってない通水45分以降のものは初期河床材料より細粒化しており計算値とも良く一致している。すなわち河床が低下傾向になりアーミングが進む状況では計算結果は実験結果を良く表現しているが、給砂が十分ある状態ではあまり適合していない。給砂がある場合に適合しない理由としては、実験では給砂した土砂が十分にふるい分けられず平均粒径以上の土砂も下流に直接流出するのに対し、計算では比較的大きな粒径の土砂は移動限界となっており、ほとんど流送されていないためと考えられる。

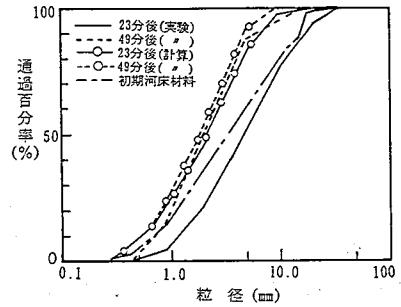


図-8(1) 流出土砂の粒度分布 (CASE5)

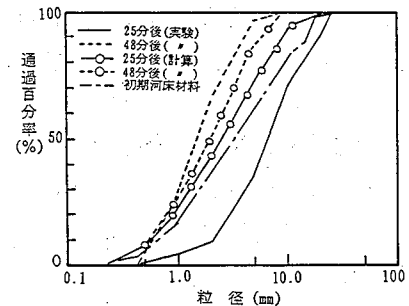


図-8(2) 流出土砂の粒度分布 (CASE8)

5. まとめと今後の課題

実験においては、給砂材料の粒径に対し大きな流量で実験を行ったため、比較的大きな粒径が砂防ダム下流に流出し、給砂を行っている状態ではふるい分け効果は少ない結果となった。砂防ダムの粒径調節効果については、流出土砂が多い時より流出土砂が少ないときに期待できるものと思われる。また、ダムタイプによる顕著な差はみられなかった。さらに、一次元河床変動計算により実験と比較した結果、給砂の無い河床低下の状況では、流出土砂の粒度分布が両者で良く一致する結果となったが、土砂供給がある状態では計算値は実験値より小さくなる傾向となった。ただし、今回の検討条件は、一次的なものであり、砂防ダムの粒径調節効果はダムの形状も含めて二次元的な検討を行う必要があると考えられる。また、洪水波形による、流量変化と土砂の移動についてさらに検討をする必要がある。

今後は、土石流状態における粒径調節効果の検討も行い、掃流と土石流状態における粒径調節効果の違いを明らかにするとともに、さらに粒径調節機能を増大させる砂防ダムの構造の検討へと研究を進め、砂防計画の中において質的效果を位置づけていきたい。

参考文献

- 1) 平野宗夫：Armoringをともなう河床低下について，土木学会論文報告集 第195号，1971