

筑波大学農林工学系 ○天田 高白

筑波大学研究生 松村 恭一

建設省土木研究所 水山 高久

1. はじめに

洪水時の土砂移動に対して溪流の拡幅部が土砂の貯留ないし調節効果を有することは一般的に知られている。

土砂の流出機構を解明するにあたり水路の湾曲、拡幅部の有する土砂貯留・調節効果の検討は極めて重要であるがこの種の報告例は少ない。筆者らは湾曲、拡幅部の有する土砂の貯留・調節効果を明らかにするための基礎的実験を行ったので、その結果の一部を報告する。

2. 実験概要

実験水路平面形を図1に示す。実験水路は約1/200を想定している。実験は空の水路に給水・給砂を行い水路内に土砂堆積を生じさせ、1RUNあたり給・排砂量がほぼ等しい平衡状態を現出させ(第1段階)、続けて給砂を停止し堆積している土砂を洗掘・テラスを形成させる(第2段階)、という手順で行った。実験条件については図2に示すように流量(Q)、勾配(I)、水路出口幅(B)の3つを変化させた。直線型水路・湾曲型水路共に基本実験をそれぞれ定め、その実験の条件からQ、I、Bを単独に変化させて他の実験条件を定めた。水路最大幅33.5cmに対する出口幅の比を水路出口幅比とした。

給砂は水路上流端で流砂能力を越えない範囲で最大量を給砂した。実験は、1時間にあたる4分14秒毎に区切られ、これを1RUNとした。

3. 実験結果

1. 実験結果の概要

(第1段階) 空の水路に給水し、給砂を行うと、直線型水路では水路幅の拡大に伴い入口部から堆砂が進行し跳水位置まで短時間のうちに到達する。その後ゲム堆砂の進行と同じかたちで跳水によるプールを埋めてゆく。跳水位置はそれに伴い下流方向へ移動する(図3(a))。

流水・流砂は、流路中央部(C.L.9)より上流側では拡散して流下するが、下流側では流路床の傾斜方向に流下

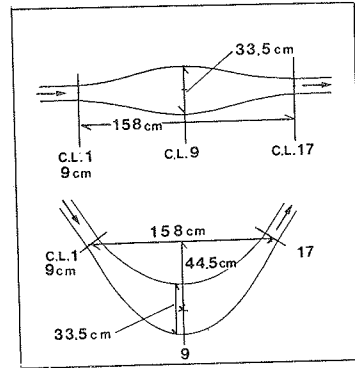


図1 実験水路平面形

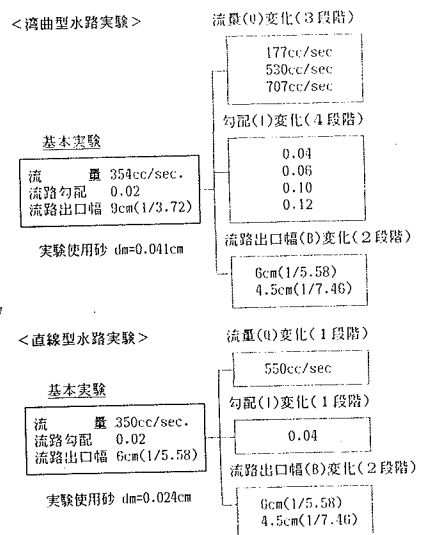


図2 実験条件一覧図

する。そのため下流側では水路壁沿いで螺旋流的流れとなり、その部分では堆砂がほとんど生じない。またプール内でもその流れに沿うところで堆砂がよりはやく進行し、水路壁沿いに下流側にバーが伸びる。それに遅れて2つのバーの間のプールが埋まり、堆砂は徐々に水路全体に及ぶ。

水路内の堆砂が進行するに従い給砂速度は低下する。また、プール内の堆砂がほぼ完了した時点から1RUNあたり排砂量が伸びはじめる。バーが下流端(C.L.17)にまで達しても、排砂量はほとんど無い。

湾曲型水路では給砂を開始すると、砂は跳水位置まで流下しそこに堆積する。これは平坦なベニヤ板の上に湾曲水路を作っていることによる。跳水位置から背砂現象によって上流側へ、またダム堆砂のかたちで下流側へ、それぞれ堆砂が進行してゆく。

湾曲型水路では主流路が外湾側に形成されており、下流側への堆砂の進行は、その主流路に沿うバーの形成・下流側への伸張と、その内湾側のプールでのゆっくりとした堆砂とで行われる。この場合もプールがほぼ埋め尽くされると、1RUNあたり排砂量が伸びはじめる。このことから、湾曲型水路では外湾側に主流路が形成されているにもかかわらず流砂の多くは内湾側を流下している、と推察される(図4(a))。

堆砂進行に伴い1RUNあたり給・排砂量がほぼ等くなり、水路内の堆砂形もほとんど変化しなくなる(平衡状態)。平衡時の堆砂形を2つの水路の場合で比較すると、直線型水路では堆砂高が水路横断方向にほぼ均一であり、水路下流側で水路壁沿いに溝が出来ている。湾曲型水路ではその溝が外湾側に偏ることが特徴的である。平均堆砂高の縦断方向変化は共にC.L.1とC.L.9の間でピークを持っている。

(第2段階) 平衡時に達した後給砂を止めると、直線型水路では網状的流れないしは交互砂堆を形成する流れとなり、水路入口部から水路床が露出するように侵食されるが、水路内域でも活発に侵食が行われる。その侵食によって堆砂高がある程度低下すると、水路中央線沿

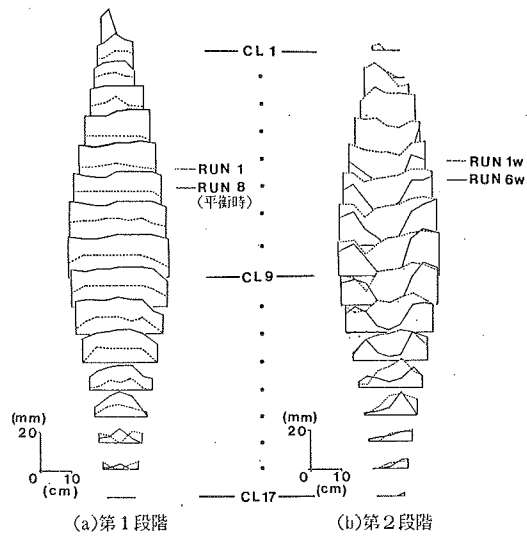


図3 堆砂ならびに侵食進行過程(直線型水路)

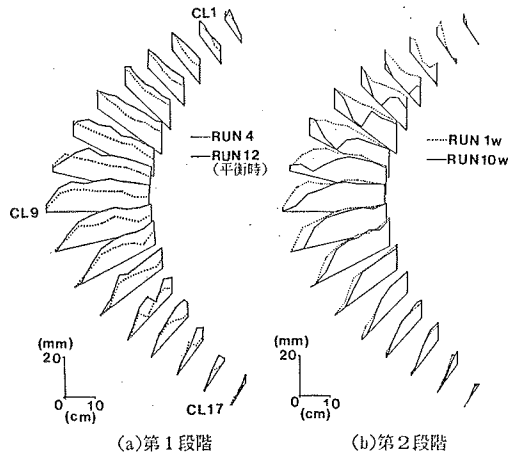


図4 堆砂ならびに侵食進行過程(湾曲型水路)

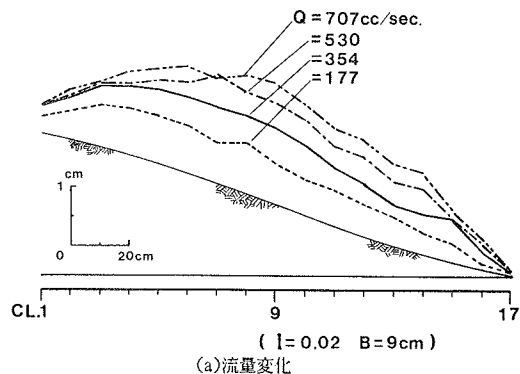


図5 平衡時平均堆砂高縦断変化図

いに流路が定まりテラスが形成される(図3(b)). 湾曲型水路では主流路が外湾側に定まっているため, 給砂停止後短時間の内にテラスが形成される(図4(b)). どちらの水路の場合も, テラスが形成されると1RUNあたりの排砂量が急激に低下しはじめるのが一般であった.

2. 平衡時堆砂形の縦断変化

平衡時堆砂量は Q および I の増加, B の縮小に対応して増加する. 湾曲型水路実験の結果を例として平衡時の平均堆砂高縦断変化を図5に示す. 各条件変化に対応した堆砂高の変化にはそれぞれ特徴があることがわかる.

勾配を増加させると水路が空の場合の跳水の位置は下流側に移るが, 跳水が発生している限りはその位置を堆砂開始位置として, 結果的には水路全体に堆砂が及ぶ. さらに勾配を急にして跳水が起こらなくなると(勾配 $1/10$ 以上), 供給された砂は停止することなくほとんどが排出される.

3. 土砂の調節効果

図6は湾曲型水路実験における土砂の調節効果を表している. ここに土砂貯留率は第1段階の各RUNでの, 水路内堆砂量の給砂量に対する百分率, また土砂残留率は第2段階の各RUNでの水路内堆砂量の平衡時堆砂量に対する百分率である.

この図をみるとわかるように, 今回行った実験条件範囲内で土砂調節作用にもっとも大きく影響を与えている因子は勾配である. 特に $1/10$ 以上の勾配になると調節はほとんど行われていない, といってよい. 加えて流量を増加させた場合にも, 平衡時堆砂量に伸びはあったが調節効果は落ちている. 前項の平衡時堆砂量とあわせて考えると, 堆砂量を伸ばしかつ同時に調節効果を上げているのは水路出口幅を縮小した場合である. この傾向は直線型水路実験の場合においても同じであった.

ここで, 勾配・流量を増加させると水路入口及び出口共に掃流力が伸びることを考えて, 入口部分での掃流力を上げる目的でCL.1より上流側の水路床勾配に対する勾配(給水路勾配, I_0)を増加させて実験を行った. この場合も平衡時堆砂量は伸びたが, 調節効果は低下してい

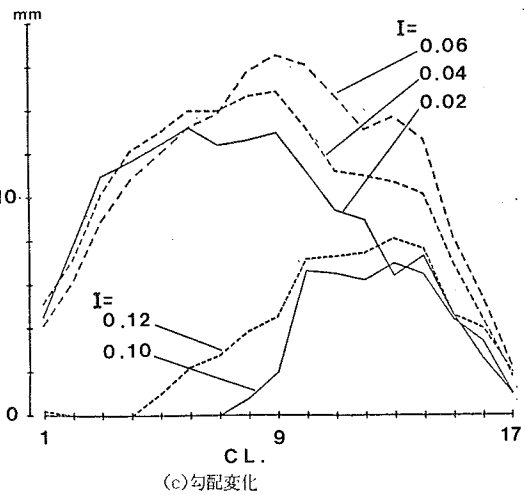
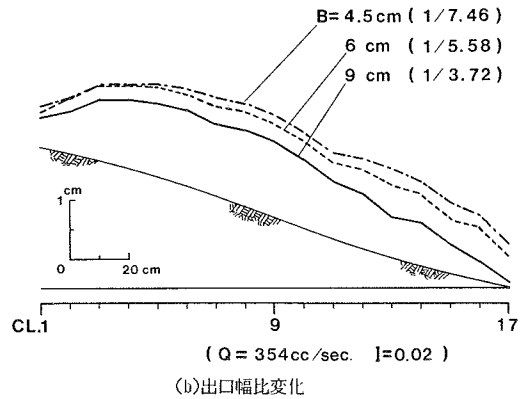


図5 平衡時平均堆砂高縦断変化図

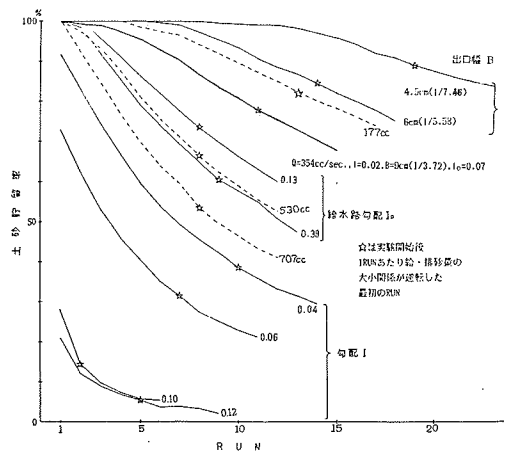


図6(a) 時間-土砂貯留率関係図

る。また水路拡幅部の持つ土砂調節機能を見るために平衡状態に達した水路に1RUNでそれまでのほぼ5倍の給砂を行った結果が図7である。その後のRUNでは給砂条件を元にもどし、11RUNまで実験を続けたが排砂量にはほとんど変化が見られなかった。一時入口部分で水路床の上昇を見たが、8RUN後にはまた平衡時の状態にもどった。

これらの実験結果を総合すると、水路拡幅部が持つ土砂貯留・調節効果を高める因子としては水路出口幅比が最も有効であった。

4. 掃流力と流砂量の検討

一次元解析の立場からシミュレーションを行うときの基礎となる平衡時の掃流力と流砂量の関係を実測値から求めたものが図8である。図には流砂量として芦田・高橋・水山式の限界掃流力を変化させた理論線をあわせて記入している。データ数が少ないことを考慮に入れる必要はあるが、この図で見る限り湾曲型水路と直線型水路のデータは $\tau^*cm=0.2$ 付近で2分されている。

5. おわりに

拡幅部を伴う水路実験を行い、その一部を報告した。今回の実験のデータを整理するにあたり筑波大学環境科学研究科、江口・徳永・中沢・山下君らの協力を得た。ここに記して謝意を表する。

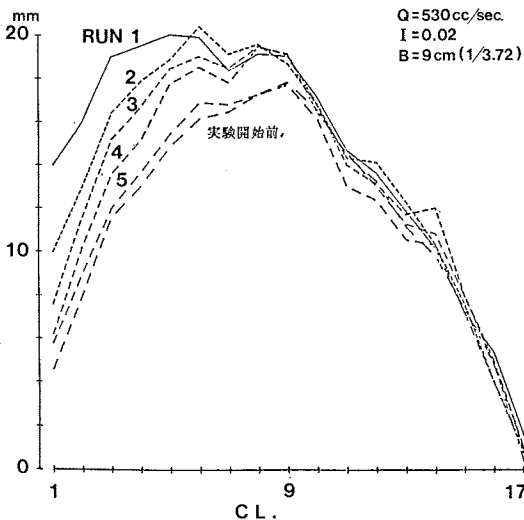


図7 過給砂実験による平均堆砂高の時間的変化

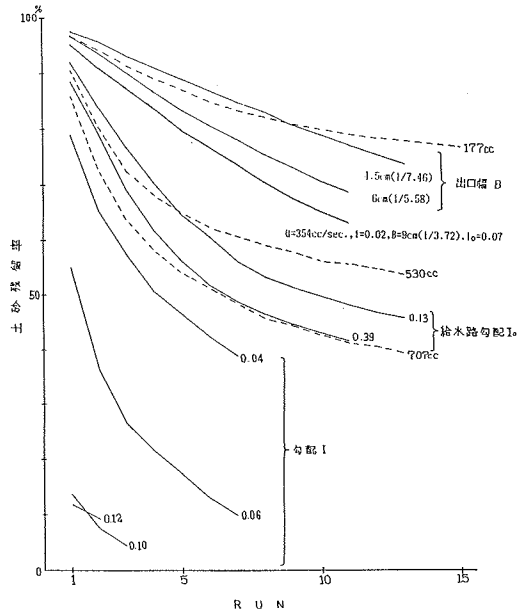


図6(b) 時間-土砂残留率関係図

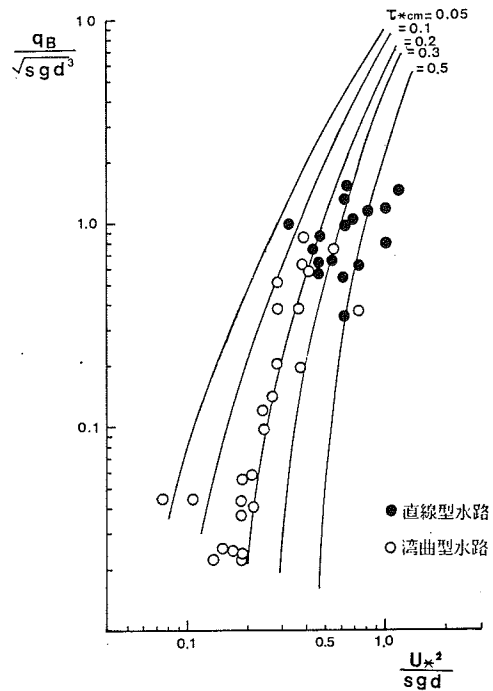


図8 $\tau_* - \phi_B$ 関係図