

明石高専 学生員 ○片岡秀太
 明石高専 学生員 蛭澤智也
 明石高専 正会員 神田佳一

1. はじめに

近年、山間部からの流出土砂量の増加に伴って、隣接する都市域の急勾配中小河川において洪水時に流出した土砂が河道内に堆積し、河道閉塞が生じるなどの問題が顕在化している。特に、本川の背水の影響を受ける支川区間や河道の弯曲部、河床勾配が急変する箇所などでは、土砂の堆積が顕著であって、浚渫等の継続的な河道の維持管理が必要になっている。

本研究では、このような都市域中小河川の土砂堆積に関して、合理的な土砂の管理方法を提案することを目的として弯曲部を有する急勾配河道をモデルとして模型実験を行い、洪水時の流れと土砂の堆積特性について考察する。

2. 実験の概要

実験には、図-1に示す上・下流部に長さ1.86m及び1.88mの直線水路を接続した中心半径0.6m、中心角90°の亚克力製弯曲水路を用いた。水路幅は $B=0.15\text{m}$ である。水路の縦断勾配は、全区間で $i=1/160$ とした。水路下流端には可動堰を設置し（河床面からの堰高を D とする）、水位調節を行っている。用水は低水槽よりポンプで揚水し、水路を流下した後再び低水槽に帰還させる。水路に供給する土砂のモデルとして、平均粒径 $d=0.88\text{mm}$ の4号珪砂（限界摩擦速度 $u_*^*=0.022\text{m/s}$ ）を使用し、水路上流端に設置した給砂装置から所定量を給砂した。結果の整理上、弯曲の中心（図-1の○印）を原点として、上流側直線水路幅方向をX軸、流下方向をY軸、円弧の中心角を θ とし、さらに水路中心の河床面（図-1の●印）を原点として右岸方向にW軸、水路中心に沿ってS軸、鉛直方向にZ軸をとっている。

実験は、表-1に示すように、通水流量 Q 、総給砂量 Q_s 及び堰高 D を変化させた11ケースである。水路上流端からの給砂は、給砂時間を中小河川の洪水継続時間を想定した5分間（予備実験の結果から河床形状がほぼ平衡状態となった）とし、給砂量は芦田・道上式による上流直線河道の水理条件に対応する平衡流砂量から算定した。ただし、Run10及びRun11については、河道への土砂の生産量の影響を見るために、総給砂量を

変化させている。実験では、所定の流量条件で通水して水面形状を計測した後に給砂を行い、河道内の砂の堆積状況を評価した。水位の計測には超音波距離計を、河床位の測定にはレーザー変位計を用いている。

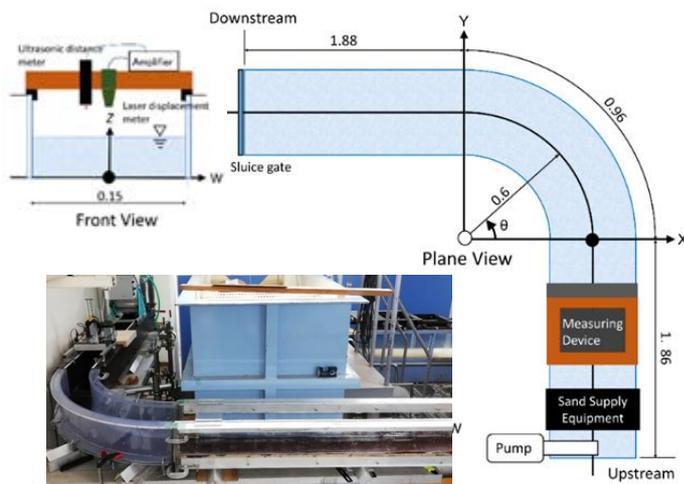


図-1 実験水路

表-1 実験条件

| 実験番号 | 流量 $Q(\text{l/s})$ | 総給砂量 $Q_s(\text{l})$ | 堰高 $D(\text{cm})$ | 限界水深 $h_c(\text{cm})$ |
|-------|-----------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|
| Run1 | 2.0 | 0.864 | 0 | 2.6 |
| Run2 | 2.0 | 0.864 | 1.0 | 2.6 |
| Run3 | 2.0 | 0.864 | 2.0 | 2.6 |
| Run4 | 1.0 | 0.576 | 0 | 1.7 |
| Run5 | 1.0 | 0.576 | 1.0 | 1.7 |
| Run6 | 1.0 | 0.576 | 2.0 | 1.7 |
| Run7 | 3.0 | 1.440 | 0 | 3.4 |
| Run8 | 3.0 | 1.440 | 1.0 | 3.4 |
| Run9 | 3.0 | 1.440 | 2.0 | 3.4 |
| Run10 | 2.0 | 0.864 | 0 | 2.6 |
| Run11 | 2.0 | 0.864 | 0 | 2.6 |

3. 実験結果及び考察

図-2に、Run1における給砂開始後の弯曲部での砂の堆積状況の時間変化を示す（上側が上流）。給砂直後（ $T=1\text{min}$ ）では、弯曲の入口付近で砂が堆積し始め、弯曲部内岸に沿って舌状の堆積域が発達する。給砂時

間の経過とともに、砂の堆積域は上・下流方向に拡大するが、発達速度は上流部の方が大きい。弯曲の出口では、右岸（外岸）方向にも堆積域は広がっている。給砂時間が $T=5\text{min}$ を過ぎると、直線部の堆積域は水路の上流端まで達するが、弯曲部では堆積域、堆積高がともに変化しない平衡状態に達したものと考えられる。これらの特性は他のケースでも同様であった。

図-3は、流量が $Q=2.0\text{l/s}$ で下流端堰高 D の異なるRun1及びRun3における給砂後 $T=5\text{min}$ における河床位（砂の堆積高）のコンターを示したものである。また、水路中央（▲印）、左右岸近傍（×, ■印）及び水路幅平均（●印）の河床位の縦断分布を給砂前の水路中心線上の水面形（◆印）とともに図-4に示す。これらの図より以下のことが伺える。

Run1 ($D=0\text{m}$) の給砂前の水面形についてみると、弯曲部の入口で水位が上昇した後は、弯曲部、下流直線部ともにほぼ等流状態となっている。下流端堰高を $D=2.0\text{cm}$ としたRun3においても同様な水面形が得られており、図に表示した範囲内 ($S < 1.5\text{m}$) では堰上げ背水の影響は小さい。一方、砂の堆積特性については、堰高の違いによる河床位の変化が特に下流直線区間 ($0.942\text{m} < S < 1.5\text{m}$) で顕著に表れている。上述したように、砂の堆積域は弯曲入口の内岸から上・下流部に拡大していくが、Run1では、下流の直線水路区間では砂は殆んど堆積せずに水路上を流下する一方、Run3では、水路下流端で堰により砂が捕捉され、その堆積域が上流側へ発達するため、弯曲部出口より下流の直線水路上で平均 2.0cm 程度の砂の堆積域が形成されている。河床形状の横断分布をみると、上流の直線水路上ではほぼ一様であるが、弯曲部の内岸では流れの急激な減勢によって砂が堆積している。兩岸の河床位の差は、弯曲部の中央やや上流側 ($\theta=40^\circ$) で最大 ($3.0 \sim 3.5\text{cm}$) となっている。

図-5は、Run1と流量条件の異なる場合 (Run4) 及び給砂条件の異なる場合 (Run11) の通水後の河床砂の堆積コンターを比較したものである。流量条件による堆積形状の変化について見ると、流量の小さいRun4では砂の堆積域はほぼRun1とほぼ同じであるが、弯曲部内岸の堆積高さが1/3程度減少している。また、水路への土砂供給量が平衡流砂量より大きい過剰供給の場合 (Run11) は、土砂供給点近傍での堆積高は増加するが、弯曲部及びその下流直線区間での河床形状はRun1の結果とほぼ同じであって、その影響は小さい。

4. おわりに

本研究では、急勾配河道の弯曲部における洪水時の土砂の流送実験を行い、流量や下流端条件及び給砂条

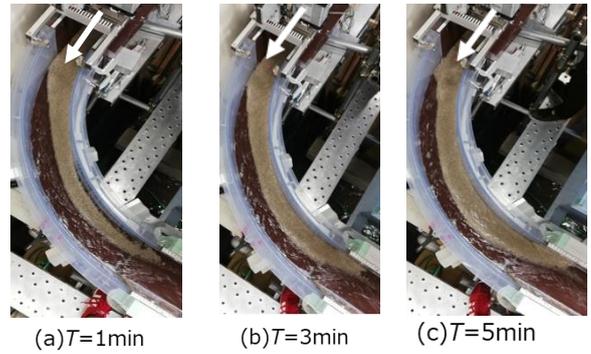


図-2 河床形状のコンター図 (Run1)

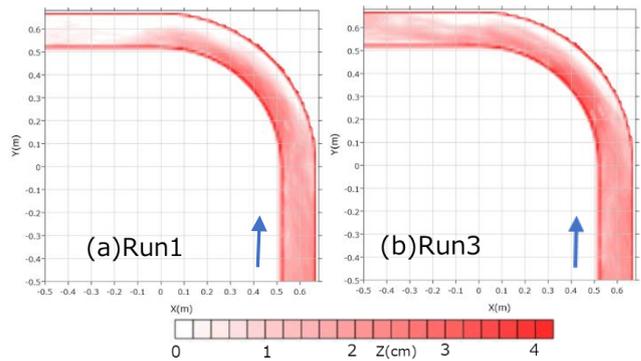


図-3 河床形状のコンター図 (Run1, Run3)

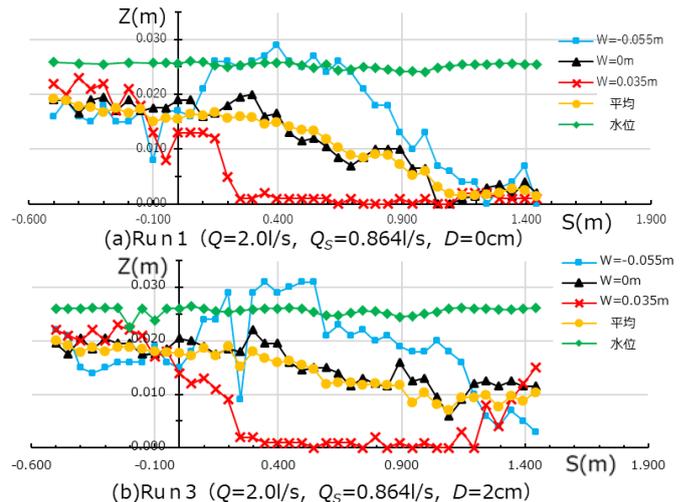


図-4 河床位の縦断分布と水面形 (Run1, Run3)

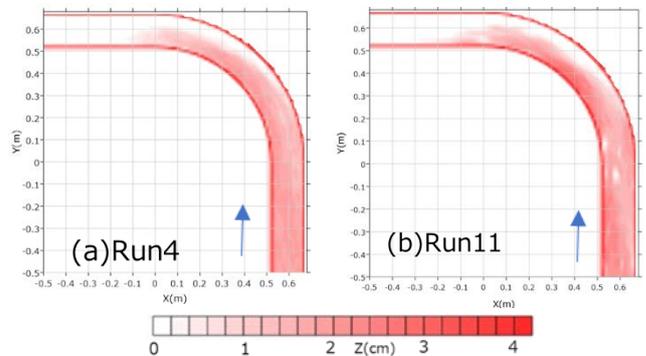


図-5 河床形状のコンター図 (Run4, Run11)

件の違いによる弯曲部周辺の土砂の堆積特性について実験的に考察した。今後さらに、勾配や河道条件を変化させた場合について検討する予定である。