

京都大学 学生員 ○呉 許劍
 京都大学 正会員 山上路生
 京都大学 正会員 岡本隆明
 京都大学 学生員 松本知将
 京都大学 正会員 小柴孝太
 京都大学 正会員 角 哲也

1. はじめに

セルフライニングは、ダムの排水路で大礫が水路底面を磨耗する問題に対処するために考案されている工法である(高須ら(1990)¹⁾。この対策工法では、底面に栈粗度を並べることで栈粗度間に砂を堆積させ、砂礫自身によって掃流礫の衝突による路床の損傷を防ぐ。本工法の有効性は栈粗度の間隔に依存するため、流れ場の特性と砂の堆積量の関係を明らかにしておく必要がある。

国内外で四角柱粗度に関する研究が多く見られるが(渡辺ら(2006)²⁾、鬼東ら(2010)³⁾、三角柱粗度に関する研究は少なく、特に砂の堆積に関する研究はほとんど行われていない。

本研究では、三角柱を用いた栈粗度流れに注目して、異なる粗度間隔がセルフライニング過程にどのように影響するかを実験的に調べた。

2. 実験方法

図-1に示すように実験には幅20cm、長さ4mの可変勾配水路を使用した。x, yおよびzはそれぞれ流下方向、鉛直方向および横断方向であり、座標系の原点Oは水路底面(y=0)および右岸側水路壁(z=0)とした。瞬間流速の各方向成分を \tilde{u} , \tilde{v} および \tilde{w} とし、それぞれ時間平均成分(U, VおよびW)と乱れ変動成分(u, vおよびw)に分解される。水路底面には直角二等辺三角形の三角粗度を等間隔で配置した。三角粗度の配置間隔 λ は粗度高さd(d=1cm)の3倍、5倍、10倍である。

砂の投入実験では約700gの砂礫モデルを30s毎に水路の最上流に均一に投入した。使用した砂礫モデルは直径1mm、比重2.5のガラスビーズである。側方から砂の堆積状況をビデオカメラで撮影し、ポイントゲージを用いて砂の堆積高さと水面の高さの流下方向分布を計測した。

セルフライニングによる砂の被覆率について調べるために水路上面にカメラを設置した。Pythonプログラム

表-1 水理条件

| Q (l/s) | d (cm) | λ/d | h_a (cm) | U_m (cm/s) | Fr | $\tan \theta$ | 被覆率 (%) |
|---------|--------|-------------|------------|--------------|------|---------------|---------|
| 0.69 | 1 | 3 | 0.54 | 64.30 | 2.80 | 0.040 | 99.50 |
| 0.69 | 1 | 5 | 0.54 | 64.30 | 2.80 | 0.040 | 100.00 |
| 0.69 | 1 | 10 | 0.54 | 64.30 | 2.80 | 0.040 | 99.73 |
| 1.11 | 1 | 3 | 0.70 | 79.37 | 3.03 | 0.040 | 99.94 |
| 1.11 | 1 | 5 | 0.70 | 79.37 | 3.03 | 0.040 | 99.99 |
| 1.11 | 1 | 10 | 0.70 | 79.37 | 3.03 | 0.040 | 69.12 |
| 1.11 | 1 | 3 | 0.59 | 94.16 | 3.92 | 0.063 | 99.23 |
| 1.11 | 1 | 5 | 0.59 | 94.16 | 3.92 | 0.063 | 76.86 |
| 1.11 | 1 | 10 | 0.59 | 94.16 | 3.92 | 0.063 | 54.75 |

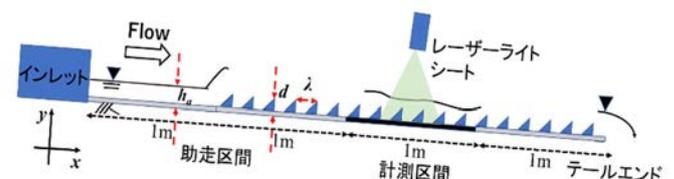


図-1 実験装置と座標系

を用いて、砂の堆積が動的平衡となる時刻に撮影した写真をグレースケールに変換した。被覆された領域を抽出して砂の被覆率からセルフライニングの成功と失敗を判断した。

粗度間での流速計測にはPIV画像計測⁴⁾を用いた。図-1のように連続発光のレーザーライトシート(LLS)を水路上方から照射した。比重1.02、径100 μ mのトレーサー粒子を水流中に注入し、LLSによって可視化された画像を水路側方に高速度カメラで連続撮影した。フレームレートは800Hzで、サンプルレートはパルスジェネレータを用いて50Hzとした。

表-1は水理条件である。 h_a は粗度領域の上流側の助走区間の水深、 U_m は助走区間の断面平均流速、Frはフルード数である。Frが1よりも大きい射流の条件下で、粗度の下流側では跳水が発生している。 θ は水路の勾配である。水路勾配と粗度間隔 λ を系統変化させて全ケースの実験を行った。実験で設定された水流の流量、粗度間隔、水路の勾配を変更することにより、対応するフル

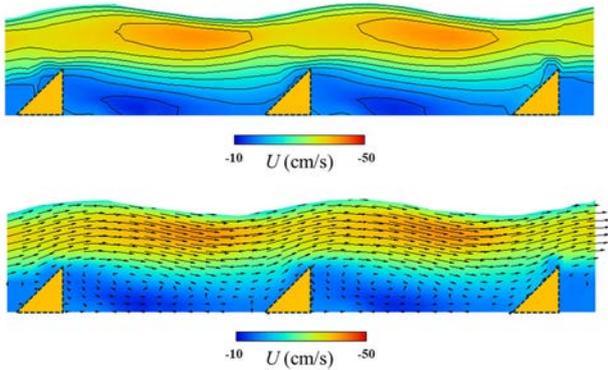


図-2 主流速 U のコンターと流速ベクトル
($\lambda/d = 5$, $Fr = 3.03$, 砂が堆積していない状態)

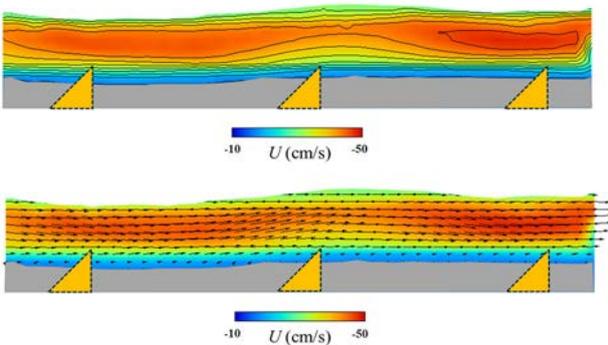


図-3 主流速 U のコンターと流速ベクトル
($\lambda/d = 5$, $Fr = 3.03$, 砂が堆積している状態)

ード数を変化させ、フルード数とセルフライニングの成否との関係調べた。

3. 結果と考察

(1) 粗度間のセルフライニング現象について

図-2 に $Fr = 3.03$ で砂が堆積していない状態の粗度間隔が $\lambda/d = 5$ のケースの主流速 U のコンターと流速ベクトルを示す。粗度の下流側では流速が負の逆流域がみられる。粗度の下流側の $x/d = 3$ 位置で主流速は正になっている。下流側の粗度の上流側で三角柱粗度の形状に沿って上昇流が発生している。

本研究の流れ場は跳水が発生している条件で粗度部では水深が大きくなり、粗度間で水深が小さくなる。それに伴い、水面付近でも上昇流と下降流がみられる。

図-3 に図-2 と同じ水力条件で、セルフライニングが進んで粗度間に砂が堆積している状態の主流速のコンターと流速ベクトルを示す。粗度間に砂が堆積すると河床の変化が緩やかになるため、水面の変化も小さくなっている。セルフライニングが成功して粗度間が完全に被覆されると、河床付近での下降流が発生せず土砂が流出

Coverage Rate vs λ/d

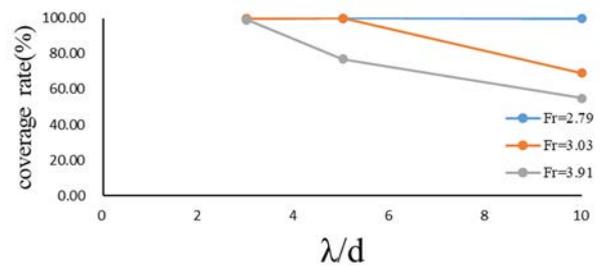


図-4 砂による粗度間領域の被覆率の変化

しないと考えられる。

(2) 粗度間での砂の被覆率の算出

図-4 に砂の被覆率と粗度間隔の関係をまとめた。 $Fr = 2.79$ のケースではどの粗度間隔でもセルフライニングが成功した。射流の条件下でも粗度間隔に砂を堆積させ表面を被覆できることがわかった。 $\lambda/d = 3$ のケースでは流量・水路勾配を変化させても被覆率が 100% でありセルフライニングが成功した。粗度間隔を大きくするとセルフライニングが失敗するケースもみられた。 $\lambda/d = 5$ のケースでは、 $Fr = 2.79$ と 3.03 ではセルフライニングが成功したが、より大きなフルード数の $Fr = 3.92$ では被覆率が 76.86% となりセルフライニングが失敗した。 $\lambda/d = 10$ のケースでは $Fr = 3.03$ でも被覆率が 69.12% となりセルフライニングが失敗した。

セルフライニングが失敗するのは射流の条件下で水面変化によって発生する下降流が粗度間領域にぶつかるためである。粗度間領域に落下した砂は主流速が正と負の領域でそれぞれ下流側と上流側に輸送される。そのため粗度間領域の上流側と下流側は砂が堆積する。

4. おわりに

実験を通じて三角粗度の流れ構造、粗度背後の砂堆積量について考察した。今後はより多くの実験条件を設定し、セルフライニングの成功条件を定式化する。

参考文献

- 1) 高須修二, 須田孝行, 古城一郎: セルフライニング排砂路の抵抗と流砂量, 土木技術資料, Vol.32-1, 35-40, 1990.
- 2) 渡辺勝利, 佐賀孝徳, 國弘栄司: 底壁面に縦棧粗度を設置した開水路乱流に形成された並列らせん流の内部構造, 土木学会論文集 B(水工学), Vol. 62, No. 2, 186-200, 2006.
- 3) 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 造士快竹, 松本健太郎: 開水路棧粗度に加わる流体力と流れ構造との関係, 水工学論文集, Vol. 54, 967-972, 2010.
- 4) 可視化情報学会(編): PIVハンドブック, 森北出版, 2002.