

林道の暗渠の閉塞に関わる土砂停止過程の解析

九州大学大学院生物資源環境科学府 ○原教介・江藤稚佳子

九州大学大学院農学研究院 久保田哲也・水野秀明

1. はじめに

林道は、林業や住民の生活、物流等において重要であるのに加え、災害時の避難経路としての役割も担っている。しかし、林道は山間部に作られるため、溪流を横断したり雨水を排水したりする際に暗渠を用いる必要のあるケースが多い。このような背景もあり、日本では豪雨に伴う土砂や流木の流出によって林道の暗渠が閉塞してしまう事例が起きている(写真 1)。暗渠の閉塞は適切な排水を妨げるため、溢れてしまった水や土砂により林道が破壊され、その役割を果たすことができなくなる。このような被害を軽減するためにも暗渠が閉塞するメカニズムを明らかにすることは重要である。

これまでに行われた林道の暗渠の閉塞の研究として、江藤ら(2019)の水路実験がある。これによると、林道でみられるような屈曲した暗渠模型(実験では直角)に水を流し、そこに土砂に見立てたガラスビーズを加えると、流れが急激に変化する屈曲部でガラスビーズが減速し後続のガラスビーズと衝突することで閉塞が発生した。しかしこの研究では水の流れの速度ベクトルの分布といった流れの構造を明らかにできておらず、暗渠の閉塞メカニズムが定量的に評価できていない。そこで、本研究では特に流れの変化が大きく閉塞が起きやすいと考えられる暗渠の屈曲部について、暗渠内で土砂が停止する過程を明らかにすることを目標として、そこを流れる水の挙動を 3 次元数値計算によって明らかにすることを目的とした。

2. 解析手法

3次元数値計算には数値流体力学(CFD)ソフトウェアである OpenFOAM を利用した。これは有限体積法を中心とした流体解析ソルバ及びツール群である。今回はその中でも多相流体解析用ソルバの interFoam



写真 1 閉塞した暗渠の事例(岩手県)を使用した。また、OpenFOAM で得られた計算結果の可視化と解析ソフトウェアには ParaView を用いた。

3. 解析条件

解析に際して、流路の大きさ(図 1)と流量は江藤ら(2019)の実験を参考にした。流路形状は屈曲部が 90° のものを用意し、流路の大きさは上流、下流共に屈曲部まで流心の長さが 0.235m、流路断面は 0.03m × 0.03m、流量は $201.74 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$ 、流入時の水深は跳水が前述の江藤の実験とほとんど同じ位置(流入口から 10cm 程度)で起こるように調整し、0.75cm とした。また、屈曲部が 75°、60°、45° の場合も同じ条件で計算した。

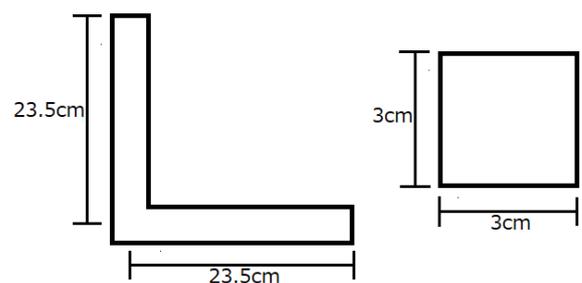


図 1 流路形状(左:平面図、右:断面図)

4. 結果と考察

速度の水平分布を図 2 に示した。流速は跳水部で急激に減少し、屈曲部の壁面付近では速度が 0 に近くなった。流入時点では 0.9m/s であった流速が跳水部を通過すると 0.4m/s 程度まで変化しており、土砂が

流入速度と同程度の速度で流れ込んだとすると、この速度差によって抗力がかかり、土砂の減速に影響すると思われる。

図2中に示した一点破線上の等圧面を図3に示した。圧力は跳水による水深増加に伴い増加し、流水が屈曲部の壁面に衝突する部分でさらに大きくなった。水面を江藤ら(2019)の実験の写真と比較し、それとよく合うような水の体積率(α_{water})=0.5の等値面とした。跳水部では等圧面が水深の増加に伴ってカーブを描いており、これによって等圧面の法線方向に発生する浮力が土砂の進行方向に対して後方に働くことで水中の土砂が減速すると考えられる。

屈曲部が75°、60°、45°で計算を行った場合でも屈曲部における水深の増加、圧力の上昇、流速の減少は見られたが、60°、45°では90°や75°程に顕著な跳水が見られないため、屈曲角度を90°に設定した江藤ら(2019)の実験とは異なる流砂の挙動になる可能性もある。

5. まとめ

本研究では、OpenFOAMを用いて暗渠内を流れる水についてシミュレーションを行い、土砂の停止に関わる要因を解析した。屈曲部が90°の場合は跳水が起こった地点から屈曲部の間において流速が減少し、水深の増加に伴い圧力が増加した。流速の減少は水中を流れる土砂に抗力を与えて土砂を減速させると考えられる。また等圧面が弧を描くように分布していたことから土砂の進行方向に対して後方に浮力がかかると考えられ、土砂が減速し停止すると考えられる。このように抗力と浮力によって土砂の速度が

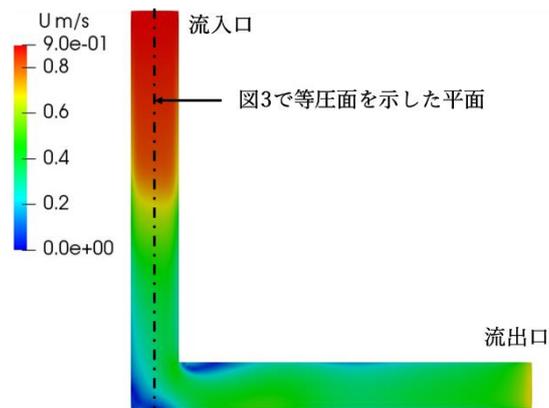


図2 底面から2mm高さの流速分布

減衰し停止に至ると考えられるが、抗力と浮力が実際に土砂の停止に十分であるのかは検討を行っていないため、別の方法で数値計算を行う必要がある。また、屈曲部が90°以外の角度の場合における土砂停止過程の詳細な検討を行う必要もある。今後は3次元数値計算により砂に作用する力の解析を進めるとともに、実際に土砂によって閉塞した暗渠の事例の再現計算を行いたいと考えている。

引用文献

- 江藤稚佳子ら(2019) 「暗渠内における流れと流砂の停止過程の再現」, 2019年度砂防学会研究発表会概要集, 155
- 福岡捷二(1979) 「層流中を運動する球に働く揚力と抗力」, nagare11 巻2号, p.1-9
- 栗原崇ら(1998) 「砂礫堆積層を伴う水平管路流れの抵抗と流砂量に関する研究」, 土木学会論文集 1998 巻607号, p.45-54

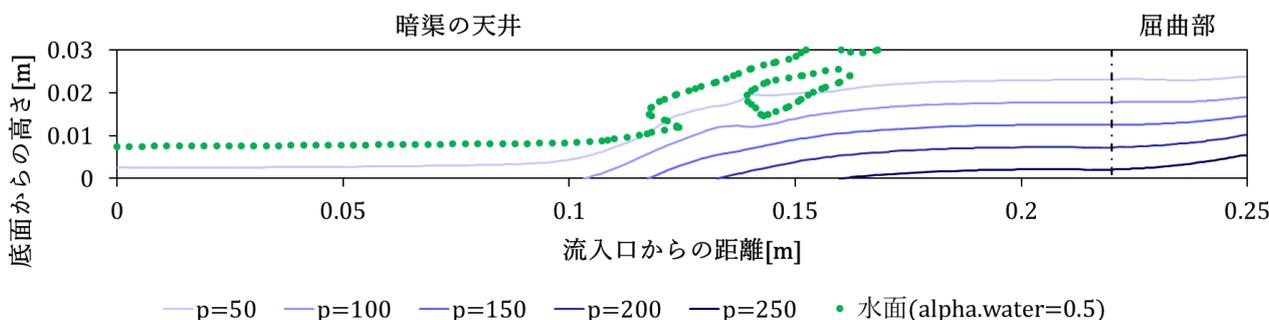


図3 図2中の一点破線上の等圧面(p[Pa])