

礫床河川の粒度組成に着目した砂礫州の伏流水動態に関する研究

東京大学 大学院工学系研究科 正会員 ○尾花 まき子
住友商事 正会員 片野坂 瑛一
東京大学 大学院工学系研究科 正会員 知花 武佳

1. はじめに

砂州内部を流れる伏流水は、河川表流水が砂州内部に浸透し伏流する過程で、水質形成や河床間隙に生息する生物に影響を与えることが知られており、生態系の形成・維持機構に大きな役割を果たしている。伏流水動態に関しては、砂床河川での粒度を均一とみなした砂州での検討が進められてきたが、礫と砂が混合する場合である礫床河川の砂礫州（以下、砂州）での検討は未だなされていない。礫床河川の特徴である砂と礫が混在する場の粒度組成は、砂州内部を浸透する伏流水流れの規定要因である透水性・間隙率に直接的に影響すると考えられ、礫床河川内部での物理的特徴の理解が伏流水動態の解明には重要である。以上のような背景から、本研究では、（１）礫床河川での粒度組成の違いによる透水性・間隙率の検討、（２）それを基にした伏流水動態把握、という２点を目的として、現地調査・数値解析手法により検討した。

2. 粒度組成の違いによる透水性・間隙率

礫床河川での粒度組成は、伏流水の流れを規定する透水係数と間隙率に直接的に影響する。現況で提案されている透水係数の評価方法は主に粒径が2mm以下の均一砂に対して適用性があるが、礫と砂の混在場での適用性は考慮されていない。ここでは、その混在場の特徴を礫率（土砂中における礫の重量割合）という指標で表す。現地調査により礫床河川の砂州内部の粒度組成を調べ、礫率を算定した。その礫率を用いて室内試験により透水係数・間隙率を推定し、それらの関係性を調べた。

砂礫州を有する関東地方の7つの河川を選定し、現地調査を行った。砂州の進行・形成過程において

は、洪水による変動を受けやすい上流側と受けにくい下流側で違いがあり、それが砂州内部の粒度組成にも影響を与えることが考えられたので、上下流それぞれの場で、伏流水が流れる層（いずれも表層から50cm程度、以下下層とする）の土砂を一定量採取する体積採取法を行い、粒度分布を調べた。礫率および2mmを境に区分した礫と砂の d_{60} 粒径を求めた。結果を示すと、対象河川での礫率 P はいずれも、 $0.5 \leq P \leq 0.8$ の領域に入り、砂州上流側で $P > 0.7$ 、下流側で $P < 0.7$ となった。また、砂の代表粒径は0.3-0.6mm、礫に関しては、5-6mm、8-12mm、15-20mmの3タイプに大別できた。

混合材料での基本的な透水係数・間隙率を推定するため、実験礫および形状の効果を無視できるガラス玉を用いた室内試験により、礫率を変えることによる透水係数と間隙率の関係を調べた。簡単のため礫と砂という2粒径に代表させた。上述の結果に基づき、小礫(5-6mm)、中礫(8-12mm)、大礫(15-20mm)を選定し、礫率に応じて砂と混合させた。図1より、大礫、中礫のいずれにおいても、 $0.5 \leq P \leq 0.7$ までは透水係数の値が緩やかに増加するがほぼ一定であるのに対し、 $P > 0.7$ では指数関数的に増加しており、 $P = 0.7$ が境界値となることが分かる。また、大礫と中礫では、透水係数の値は大差ないと考えられる。

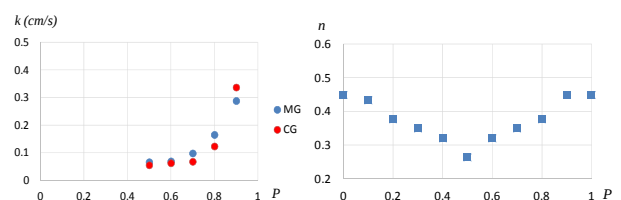


図1 礫率と透水係数・間隙率の関係性の一例
(MG:中礫, CG:大礫を表す)

キーワード 伏流水動態, 砂礫州, 礫率, 透水係数, 間隙率

連絡先 〒113-8654 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL: 03-5841-6108

次に、間隙率との関係をそれぞれの礫で調べたところ、間隙率の値はいずれも $0.25 < n < 0.5$ にあり、 $0 \leq P \leq 0.5$ では間隙率が単調減少、 $0.5 < P \leq 1.0$ では単調増加し、 $P=0$ (砂のみ) と $P=1.0$ (礫のみ) で間隙率が同じ値となった。また現地でも浅川上流砂州 ($P=0.8$) にて逆ボーリング法により間隙率を直接計測したところ、 $n=0.34$ となり 2 粒径で代表させた実験値の妥当性が確認された。以上から、砂州上流側と下流側では透水係数の境界となる $P=0.7$ を境に礫率が異なることから伏流水の流れの性質も異なると考えられる。

3. 砂州の伏流水動態

前章で検討した礫率と透水係数・間隙率の関係をj用いて、実河川での伏流水の観測結果をもとに、伏流水動態を考察する。多摩川水系浅川の 2.0km 地点砂州である。地形測量と砂州に井戸を打設し伏流水位分布計測を実施した。まず、浅川の上下流の礫率と透水係数・間隙率の結果を参考に、その違いを考慮できる平面二次元浸透流解析を行い、流向・流速を把握した(図 2)。砂州の上流端から流入した伏流水は、砂州を横断するように流下し、下流側には伏流水がほとんど流入していない。これは現地観測の伏流水水位分布の結果とも一致しており、要因は下流側で礫率が低く透水係数が低いことが考えられる。礫率を全砂州統一したケースでも解析をしたがこのような下流側を避ける流れは見られなかった。また縦断方向への水位分布は、水際で急な勾配を持ち、出口部分でほぼ水位一定になることが分かった。水際の急な勾配変化は、伏流水入口部で細粒分や有機物が目詰まりを起こすことによる透水性の低下が影響すると考えられ、実際入口部の有機物含有量を計測したところ出口付近の 8 倍程度となった。表 1 に示すように、解析上での流速は $1.8 \times 10^{-3}(\text{m/s})$ であったが、現地調査で流速のトレーサー計測を上流側

数箇所で行ったところ、流れが確認できなかった。

図 2 の縦断方向水位分布にも示されているように、礫砂州では水際で急に水位が低下した後、その後はほぼ伏流出口まで平坦勾配という結果は平水時のものであり、洪水直後は入口から出口までは一定勾配で繋がっていると考えられる。つまり、洪水直後においては、伏流水は一定勾配で流れると考えられるが、時間経過に伴い多様な粒度が入口部で細粒分を捕捉、目詰まりが生ると同時に伏流水が砂州内部の砂を流出させることから、伏流水面は入口側で急に落ち込み、出口側で平坦になり、少量の水を非常に遅い速度で浸透させながら表流水に復帰させることが示唆された。模式図を図 3 に示す。

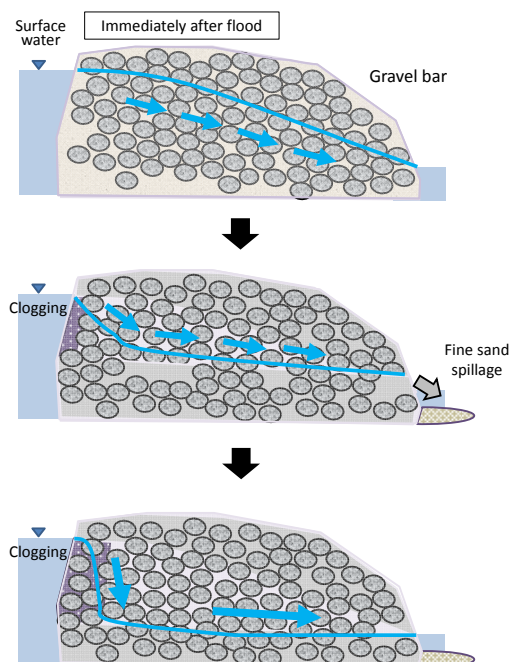
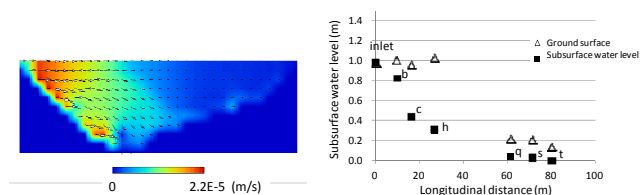


図 3 礫床河川の伏流水位分布変化過程

4. まとめ

混合砂礫が砂州内部の透水性を変化させ伏流水の流動特性を変化させることが明らかになったほか、それらを基に礫床河川での伏流水位分布が変化する過程を考えた。洪水後にある一定水位まで落ち着くまでの戻り時間や目詰まりにかかる時間的な検討は不十分であるため、それらは今後の課題である。

謝辞：本研究は、文部科学省「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス(GRENE)環境情報分野」の支援のもとに実施されました。記して御礼申し上げます。



a)平面分布(解析結果) b)縦断方向への水位分布

図 2 伏流水の水位分布 (図左が上流)