

土砂粒径ごとの「平均的な移動速度」の計算手法開発と長良川への適用

岐阜大学 学生会員 ○手島 翼
岐阜大学 正会員 原田 守啓

1. 背景と目的

河川管理の目的として、河川の洪水流下能力を高めるために河道掘削や樹木伐採があり、特に近年、気候変動の影響による気象災害が増えていることからこれらの対策が全国の河川で進められている。扇状地区間など河床材料の粒径が比較的大きな区間内の河道掘削による問題として、河川地形の単純化や河床環境の劣化が危惧されている¹⁾。このことから、河道掘削後の出水において、粒径の違いによって土砂がある区間を流下するのに要する期間を予測することは重要である。しかし、一般的な河床変動解析では、これらの情報を含んだ予測は困難である。

そこで本研究では、Pick-up late (P_s) と Step length (λ) の概念を取り入れたある水理条件下における土砂粒径ごとの「平均的な移動速度」を計算する手法を開発し、実際の河川に適用する方法を検討するとともに、実際の長良川においてこの計算手法のシミュレーションを行った。

2. 手法

2.1. 計算手法

2.1.1. 土砂の平均的な移動速度の算出手法

河床面上の砂粒子は移動・停止を繰り返しており、このような間欠的な運動を確率的に記述しようとする考え方が Einstein によって始められ、中川・辻本²⁾らによって、発展・確立されてきた。本研究では、河床にある粒子が単位時間あたりに移動を開始する確率である P_s (中川・辻本²⁾ による推定式(1)式) と λ (Sekine&Kikkawa³⁾ による推定式(2)式) を用いた。

$$P_s^* = P_s \sqrt{D/(Rg)} = 0.03 \times \tau^* \left(1 - \frac{0.035}{\tau^*}\right)^3 \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{\Lambda}{D} = 3.0 \times 10^3 \times \left(\frac{u_*}{\omega_0}\right)^{3/2} \left(1 - \frac{u_{*c}}{u_*}\right) \quad (2)$$

ここに、 P_s^* : 無次元 Pick-up-late, D : 粒径, R : 水中比重, g : 重力加速度, τ^* : 無次元掃流力, λ : 無次元 Step length, u^* : 摩擦速度, ω_0 : 沈降速度 (Rubey の式), u_{*c} : 限界摩擦速度 (岩垣の式) である。本研究では、時間の逆数の次元をもつ P_s と距離の次元をもつ λ との積が速度と同じ次元をもつことから、「平均的な移動速度」の表現を試みた。

2.1.2. 実河川への適用

本研究では、計算区間は大々的な河道掘削が行われている長良川扇状地区間 (56.2~45.2kp) を含んだ板取川合流部 (78.0kp) ~河渡橋 (45.2kp) の約 32.8km とした。また、区間を山間地と平野部の 2 つに分類し、各区間の河道の諸量を求めて計算を行った。計算手法は等流計算により、各区間における「平均的な移動速度」の算出を行った。区分状況と山間地・平野部の詳細を図-1⁴⁾、表-1 にそれぞれ示す。

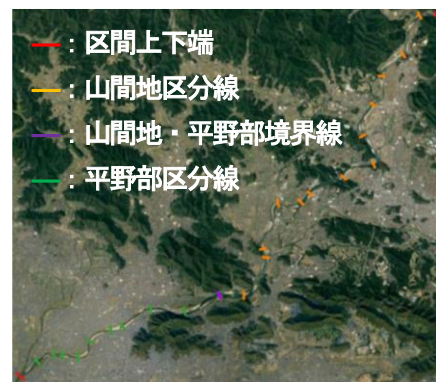
図-1 長良川区分状況⁴⁾

表-1 山間地・平野部の詳細

分類	始点	終点	区分箇所	区分数
山間地	板取川合流部 (78.0kp)	千鳥橋下流 (56.4kp)	河川の狭窄部合流・分派部	14
平野部	千鳥橋下流 (56.4kp)	河渡橋 (45.2kp)	砂州一歩長を基準に滞	10

2.3. 河道の諸量, 流況, 河床材料の設定

2.3.1. 河道の諸量

等流計算を行うために必要な河道の諸量である各解析条件とその取得・整理方法を表-2 に示す。

表-2 各解析条件とその取得・整理方法

名称	取得・整理方法
区間長, 平均川幅, 河床勾配	矩形断面とし、区間長と川幅はOGIS上での計測、河床勾配はJFDM ⁵⁾ より、取得
低水路粗度係数	報告書 ⁶⁾ 、過去の測量データより取得
重力加速度 g , 土粒子の密度 σ 水の密度 ρ , 動粘性係数 μ	$g = 9.81\text{m/s}^2$, $\sigma = 2.65\text{g/cm}^3$ $\rho = 1000\text{kg/m}^3$, $\mu = 1.004 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$

2.3.2. 流況

流況は、国土交通省水管理・国土保全局が管理している水文水質データベースに存在する忠節水位・流量観測所における 1976 年から 2020 年までの 1 時間ごとの観測値がまとめられた流量データを使用した。本研究では、1 時間毎の忠節観測地点の流量と忠節観測地点での集水面積 (1607km²) から算出される比流量 (m³/s/km²) を算出し、

それを JFDM のラスタデータ、上流集水面積を用いて求めた各区間の始端における集水面積に掛け合わせたものを各区間での流量として扱った。

2.3.3. 河床材料

長良川上流域の粒度分布把握のため、計算区間内の8地点で調査を行った。調査手法は線格子法を採用し、水際線から5mの間隔で2本の巻尺を敷設し、50mの区間を1m間隔で粒子の中径を計測し、1cm未満のものは5mmとして計測した。また、細かい土砂については現地にてふるい目13.2mmのふるいを通過した土砂を持ち帰り、ふるい分け試験を行った。土砂の粒径区分と区分毎の代表粒径は、表-3に示すように9つの区分に分けた。この表から現地調査の結果を用いて、各粒径クラスの存在割合の設定を行った。存在割合は、各区間の表面に存在している各粒径区分の個数割合として算出した。

表-3 各粒径区分と代表粒径

区分名	粒径範囲[mm]	代表粒径[mm]
細砂	0.075~0.25	0.136
中砂	0.25~0.85	0.461
粗砂	0.85~2.0	1.304
細礫	2.0~4.75	3.082
中礫	4.75~19.0	9.500
粗礫	19.0~75.0	37.75
粗石1	75~150	106.06
粗石2	150~300	212.13
巨石	300~600	424.26

3. 結果と考察

3.1. 各区間粒径区分ごとの「平均的な移動速度」の比較

各区間における粒径区分ごとの「平均的な移動速度」を図-2に示す。「平均的な移動速度」は最終的な流下距離を計算時間である44年で割ることで算出している。この手法では、土砂は常に表面に存在し、水にさらされるという条件で計算されているため、実現象に比べて大きく見積もられていることが考えられる。同じ区間で見た場合、粒径の細かい土砂は比較的速度が速く、粗い土砂は遅くなっていることから、移動特性の観点として、細かい土砂は移動しやすく、粗い土砂は移動しにくいことが読み取れ

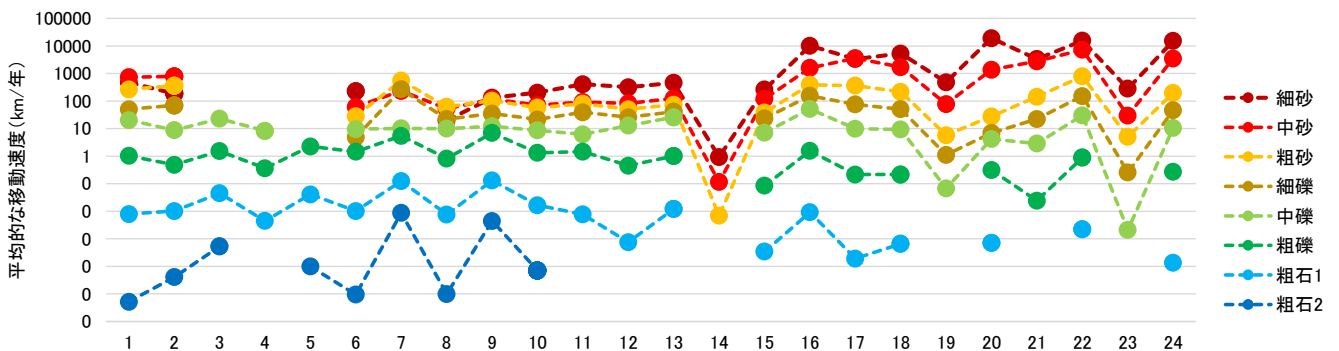


図-2 各区間における粒径区分ごとの「平均的な移動速度」

る。また、細粒分の土砂は下流に行くほど存在割合が大きくなっていったため、計算上、下流側の「平均的な移動速度」が大きくなっているように見えるが、存在割合を1(粒度分布を無視)として計算した結果、この影響が排除されるため、縦断方向の土砂の分級の影響が表現されていることが確認できた。また、平野部区間では、粗礫以降の移動速度が急激に落ちていることから、長良川において、扇状地区間で大きな粒径の土砂が河道掘削により取り除かれた場合、同じ粒径の土砂の再堆積に膨大な時間を要することが予想される。

4. まとめ

本研究では、 P_s と A との掛け合わせにより、ある水理条件下における土砂粒径ごとの「平均的な移動速度」の表現を試み、実際の河川への適用を行った。その結果、「平均的な移動速度」は相対的に、上流側区間では速く、下流側区間では遅くなるというセグメントの違いによる傾向や、粒径区分の違いによる移動特性の違いが見られた。今後の課題として、実現象によるこの計算手法の検証や、それを踏まえての精度向上が挙げられる。

【参考文献】

- 1) 原田守啓, 萱場祐一 (2022) : 河道の限界—治水と環境が調和した持続可能な河道についての一考察, 河川技術論文集, 第28巻, pp451-456.
- 2) 中川博次, 辻本哲郎 (1975) : 水流による砂れきの移動機構に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第244号, pp71-80.
- 3) Sekine, M. and Kikkawa, H. (1992) : Mechanics of saltating grains, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.118, No.4, pp536-558.
- 4) Google マップ : Google マップ, <https://www.google.co.jp/maps/@35.4923322,136.8140847,25327m/data=!3m1!1e3?hl=ja> (2023.01.06 最終閲覧).
- 5) 山崎大 : Japan Flow Direction Map / 日本地域表面流向マップ, 東京大学生産技術研究所, <http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/JapanDir/> (2023.01.06 最終閲覧).
- 6) 岐阜県美濃土木事務所, 大日コンサルタント株式会社 (2009) : 公共床上浸水対策特別緊急 県単 河川局部改良, pp1-3.