

山地河川における掃流砂礫の平均移動速度について

京都府立大学大学院農学研究科 ○今森 直紀
 京都府立大学大学院農学研究科 松村 和樹
 国土交通省木津川上流河川事務所 宇野 正人

1. はじめに

山地河川などに見られる急勾配可動における掃流砂礫の流砂量の把握という研究課題は多くの研究者が取り組み、現在ではATM式¹⁾を代表に概ね満足はいく研究成果が挙げられている。しかし、山地河川における掃流砂礫の移動実態の把握あるいは移動の予測に関する研究はそれほど行われていないのが現状である。

ところで、近年の砂防事業の特色として、流域を山地から沿岸漂砂まで一貫する「流砂系」として取り扱う方向へと向かっていることが挙げられる。そのため、流砂の管理を行うにあたって掃流砂礫の移動予測手法の確立は急務であるといえるが、山地河川において流砂系モニタリングのような流砂の移動実態の把握を積極的に行い始めたのも極近年の話であり、合理的な予測手法はいまだ確立されていないのが現状である。そこで、本研究においては一降雨イベントによって生じる洪水時間内における掃流砂礫の移動距離の予測手法の確立を試みた。なお、本研究では各個運搬としての掃流砂を対象としており、土砂流および浮遊砂は対象としない。

2. 掃流砂礫の平均移動速度推定式の誘導

掃流砂礫の移動モデルの一つとして、Einstein が提唱した zigzag model がある。Fig.1 は zigzag model の概念を図に示したものであるが、単一粒子の運動過程をよく表したモデルであるとされる。Fig.1 より、

$$\begin{aligned} \bar{V}_s &= S_n / y_n \\ &= n\Lambda / n(t_m + t_r) \\ &= \Lambda / t_r \end{aligned} \dots \dots \dots (1)$$

と表されることが出来る。ここに、 \bar{V}_s : 粒子の平均移動速度、 Λ : 平均 step length、 t_r : rest period である。これは大同²⁾が定義した粒子の見かけの移動速度の定義と一致する。一般に、 $t_r = 1/p_s$ であると仮定されるので、式 (1) は、

$$\bar{V}_s = \Lambda p_s \dots \dots \dots (2)$$

と表現される。ここに、 p_s : pick-up rate である。中川ら³⁾は式 (3) のように pick-up rate 推定式を提案している。

$$p_s \sqrt{d/(\sigma/\rho - 1)g} = F_0 \tau_* (1 - 0.7\tau_{*c}/\tau_*)^3 \dots (3)$$

ここに、 F_0 : 係数 (=3.0×10²)、 σ/ρ : 相対比重、 k_2 : 係数 (=0.7)、 τ_{*c} : 無次元限界掃流力、 τ_* : 無次元掃流力である。いま、式 (3) を式 (2) に代入し、 \bar{V}_s を無次元化すると、

$$\frac{\bar{V}_s}{\sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd}} = \frac{\Lambda}{d} \cdot F_0 \cdot \tau_* \left(1 - \frac{k_2 \tau_{*c}}{\tau_*}\right)^3 \dots (4)$$

となる。ここで、 Λ は、Einstein の過程どおり $\Lambda = 100d$ とし、式 (4) を整理すると、

$$\frac{\bar{V}_s}{\sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd}} = 3 \cdot \tau_* \left(1 - \frac{0.7\tau_{*c}}{\tau_*}\right)^3 \dots \dots \dots (5)$$

のように導かれる。なお、 Λ の仮定について、その妥当性は多くの研究者によって確認されている⁴⁾。

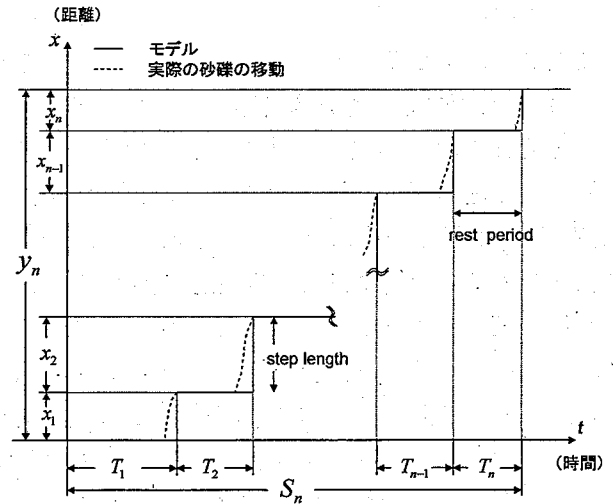


Fig.1 Concept of Einstein's zigzag mode

3. 実験方法ならびに観測地および観測方法

実験は幅 12 cm、高さ 15 cm の矩形断面を持つ長さ 4m の総アクリル製水路で行った。途中の区間 3m を移動床とし、河床上に放たれた単一粒子の運動過程の追跡により粒子の平均移動速度を観測した。水路床の勾配は 1/100、1/50、1/20 の 3 条件、また、河床材料として 2 種類の粒径のガラスビーズ (d=0.5 cm ; $\sigma/\rho=2.52$, d=1.0 cm ; $\sigma/\rho=2.91$) を用いて、一様粒径および混合粒径の条件で実験を行った。なお、本実験では給砂は結行わなかったが、本実験中では極端な河床低下および堆積は確認されず、また、明確な河床

波の発達も見られなかったため、条件としては平坦河床の状態が維持されていたものとした。

実際河川での観測は奈良県御杖村に所在する土屋原川の支川を形成する通称タコラ谷の一流域で行った。観測区間の流路長は約 150m、平均河床勾配は 1/25 である。この溪流は常時流水があり、流域下流端には量水堰が設置されており、流量の観測を行っている。この観測区間上流部に現地採取した平均粒径程度の礫にペンキで着色したトレーサを設置し、降雨イベントに伴う洪水後に移動距離を計測、また、洪水時間などについては流量観測の結果より解析し、求めた。

4. 結果および考察

本研究では Einstein の zigzag model を用いて掃流砂礫の平均移動速度の推定を試みるため、推定式を誘導し、実験的検討および実際の河川での適用性を評価した (Fig.2 および Fig.3)。ここで、注目すべきは大同 2 の実験値において粒径が大きい条件では同等の無次元掃流力が得られていても粒径が小さいものよりも移動速度が大きいことである。このことは現地で行った観測でも確認され (Fig.3)、興味深い結果であると言えるが、大同 2 の文献には詳細な実験条件が記載されていないため、踏み込んだ考察を加えることはできない。ただ、このことは恐らく流体に接触している面積の違いによるものであり、結果的により大きな流体力を得ることができるためではないかと推測される。この点については今後実験的、理論的に解明していく必要があるだろう。また、現地の観測も昨年度は大規模な降雨が起らなかったために、小洪水での移動の検討となっている。今後観測を継続してより多くのデータを取得し、検討を加える必要があるだろう。

5. まとめ

Fig.2 および Fig.3 を見る限り、全般的には式 (5) による曲線付近に実験値および観測値の集中が見られ、式 (5) による掃流砂礫の平均移動速度の推定が可能であることが示唆された。今後上記に挙げたような課題を踏まえ、実験および観測を継続していく予定である。

6. 参考文献

- 1) 芦田和男・高橋保・水山高久 (1977) : 「山地河川の掃流砂量に関する研究」新砂防
 - 2) 大同淳之 (1984) : 「急こう配河道の掃流砂量」第 28 回水理講演会論文集
 - 3) 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
 - 4) 例えば、澤井健二 (1986) : 「掃流砂礫の分散過程に関する研究」京大防災研年報
- 全般に、松村和樹・森山裕二「掃流砂礫の移動速度」昭和 60 年度砂防学会研究発表会概要集

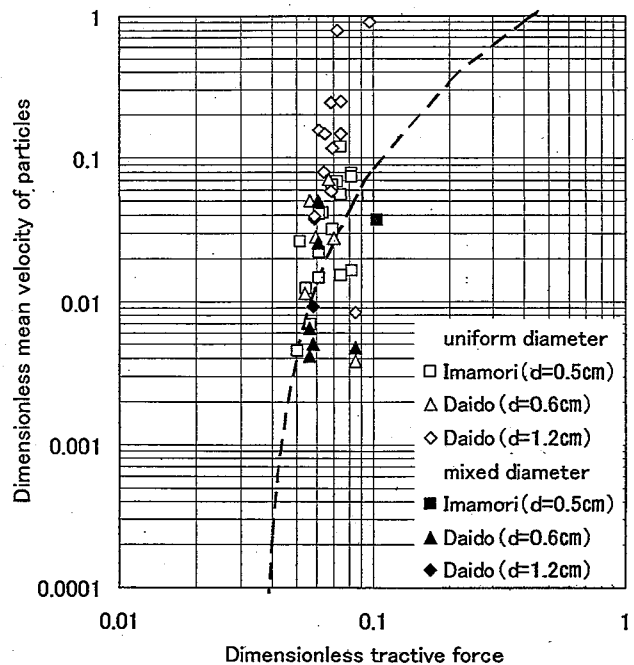


Fig.2 Dimensionless mean velocity of the particles and dimensionless shear stress (by the experiments)

※ 大同の実験値に関しては $\tau_* = 0.05$ として算出

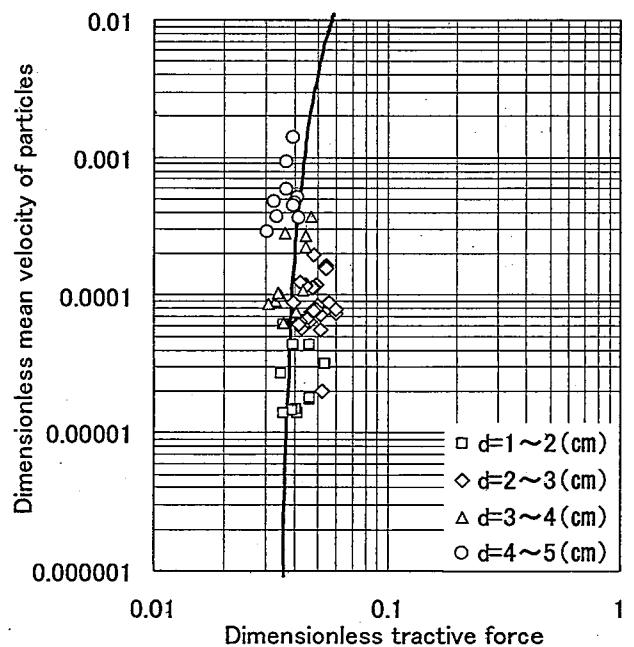


Fig.3 Dimensionless mean velocity of the particles and dimensionless shear stress (by the observation)