

着色砂を用いた土砂追跡調査における適切な空間分布推定方法に関する研究

豊橋技術科学大学建設工学課程 学生会員 ○高岡 翔
豊橋技術科学大学建築・都市システム学系 正会員 加藤 茂

1. はじめに

近年、わが国の沿岸地形は各種砂防施設による河川からの土砂流入量減少に伴い急速に後退してきている。これまで沿岸部における砂粒子の動きを把握する方法のひとつとして、着色砂を用いた直接的な調査が行われてきた。この調査は、着色砂が直接サンプルとして得られることにメリットがあるが、同時に、土砂を採取するポイント数や採取方法にコスト面での制限がかかる。そのため、より適切な地点で土砂を採取することや、限られた地点での分析結果から移動土砂の空間的分布状況を把握することは必要不可欠といえる。本研究では砂粒子の拡散現象にランダムウォーク法を採用して、一方向流れ場における砂粒子の移動形態を模擬し、シミュレーション上の任意の点から得られるサンプリングデータについて、採取位置、数を適宜変更することにより、より効率的に移動粒子の空間分布を表現可能な採取方法を検討した。

2. 移流・拡散シミュレーション

2. 1. 粒子移動速度の算定

底質粒子の平均移動速度は海浜平均流速の 1～2%程度となることが知られており¹⁾、粒子移動速度についても理論的に導出する必要がある。田島ら¹⁾は、Madsen の掃流砂量算定モデルに基づいて粒子移動速度を求めており、粒子移動速度は式(1)で与えられることが分かっている。

$$u_s = u_f - \alpha \beta_s u_{*cr} \cdots \cdots (1)$$

ここで、 u_s は粒子移動速度、 u_f は粒子に作用する平均流速、 α は定数で、仮に相当粗度 $k_N = d$ 、粒子高さ $z_d = 0.8d$ とすれば $\alpha \approx 8$ となる。 β_s は水底勾配を表す係数(ここでは $\beta_s = 1$ とする)、 u_{*cr} は限界摩擦速度である。また、 u_s に一様乱数(-1.0～1.0)を掛けることで、粒子移動速度の不規則性を考慮した。

2. 2. 移動概形の模擬

移流・拡散実験から、一方向流れ場において一箇所に設置した粒子は設置点から放射状に広がるということがわかっている。この移動形態を模擬するため

に、岩垣の実験式によって粒径別に限界底面摩擦速度を設定した。また、徐々に拡散する様子を再現するために粒径ごとに拡散係数を設定した。

2. 3. ランダムウォーク法

移動粒子運動の移流成分は式(2)、拡散成分は式(3)によって算定した(ここでの拡散とは、移動した先でランダムウォーク法²⁾によって不規則に移動することを意味しており、一般的な拡散とは語意が異なる)。

$$\frac{dx}{dt} = u(x) \quad (x = x_0 \quad \text{at} \quad t = 0) \cdots \cdots (2)$$

$$dL = R\sqrt{24Ddt} \cdots \cdots (3)$$

ここで、 dL は時間 dt の間の拡散による移動距離、 D は拡散係数、 R は一様乱数(-0.5～0.5)である。拡散は X、Y 方向について考え、移流によって移動した粒子は、移動先で拡散成分によって不規則に動くように設定した。

3. 砂粒子の適切なサンプリング方法の検討

3. 1. 少数サンプルによる重心位置の算定

図-1 に 0.24m/s の平均流速を右方向に与えた場合の 10 秒後および 30 秒後の移動粒子の様子(検出割合の分布)と、全粒子から算出した重心位置を示す。粒子群の重心位置は移動粒子の移動経路や移動時間といった動態を把握する上で重要な指標であると考えられる。そこで、図-1 に示す粒子群について、 $X = 0.00 \sim 0.40\text{m}$ 、 $Y = -0.03 \sim 0.03\text{m}$ の抽出範囲で得られた少数サンプルデータから重心位置を算出し、全体の重心位置と比較した。採取パターンを図-2 に示す。図中の数字は採取点の数、アルファベットは採取パターンであり、A は Y 方向に 3 点、B は Y 方向に 4 点、C は粒子設置点($X=0$ 、 $Y=0$)の採取を行わず、その分、流下方向下流位置に 1 点追加した配置である。各採取点の粒子検出量から求めた重心位置と全体の重心位置との差を ERROR 値とし、採取パターンごとの ERROR 値を図-3 に示す。尚、移流は流下方向に卓越していると考えられるため、Y 座

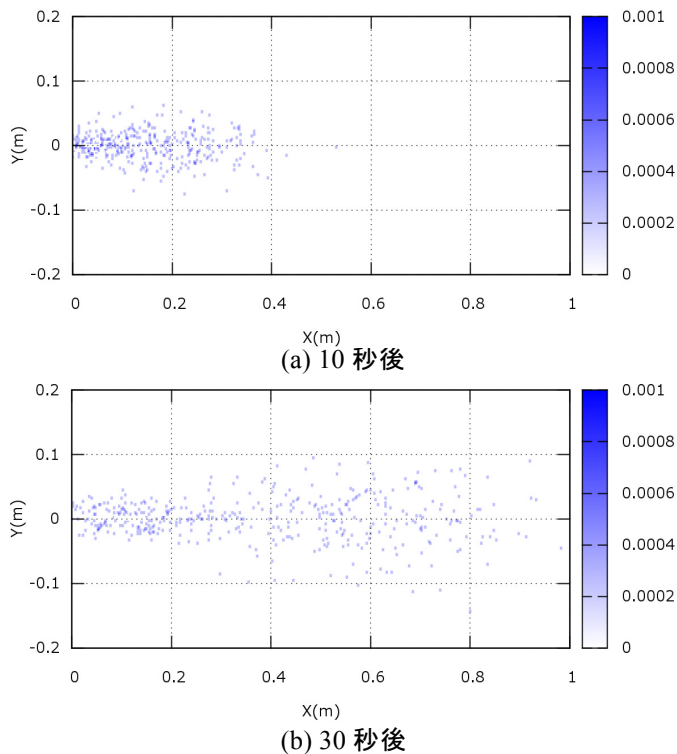


図-1 移動粒子の検出割合の分布
およびその重心位置

標の ERROR 値は割愛した. 図-3 から, 移動開始直後の 10 秒後では, 採取点数が同じ場合, 重心位置の推定精度はパターン A のほうがパターン C よりも ERROR 値が小さいが, ある程度粒子が移動した 30 秒後では流下方向の下流側に 1 点追加したパターン C のほうがパターン A よりも ERROR 値が小さくなることからわかる. したがって, 粒子の移動方向が推測できる場合, 粒子がある程度移動した後は流下方向に採取点を増やすことで移動した粒子の重心位置の推定精度は高くなると考えられる. 10 秒後および 30 秒後ともに重心位置の推定精度が高かったのは 12-B と 20-B であったことから, 進行方向に対して直行するライン上での採取点を多く設けることで, より粒子群の移動形態が把握できることがわかった.

3. 2. 採取範囲内の空間分布

図-4 にサンプル 24 点から得られた検出量を XY 面上にプロットし, 少数サンプルから算出した重心位置を白×印示す. 図から, 時間経過に伴う重心点を核とした粒子の移流・拡散の様子がわかる. しかし, 空間分布の表示は採取範囲内に留まり, 範囲外までおよぼ全体の分布の導出までには至らなかった.

4. おわりに

少数サンプルから得られる検出量の空間分布と算出重心位置から採取範囲内の移動傾向を効率よく把

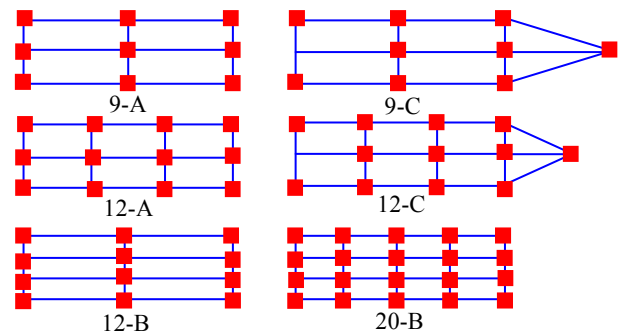


図-2 採取パターン(■ : 採取点)

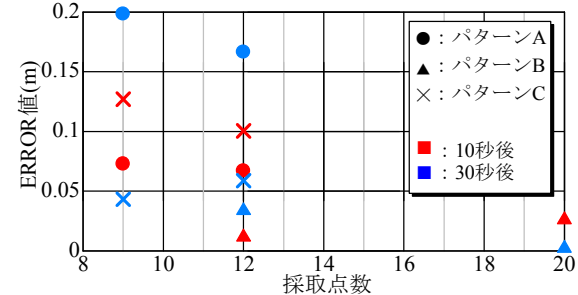
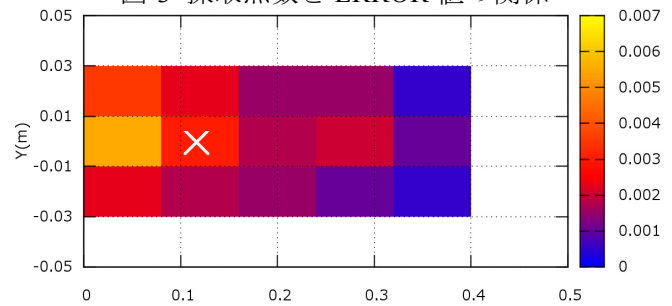
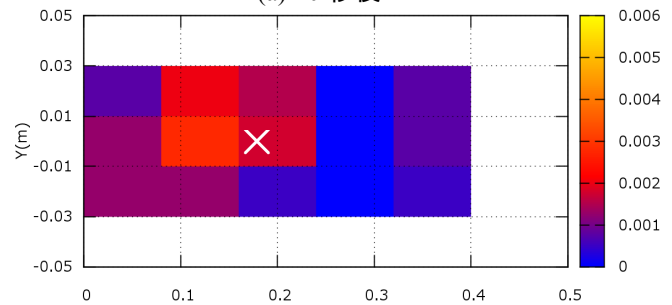


図-3 採取点数と ERROR 値の関係



(a) 10 秒後



(b) 30 秒後

図-4 サンプル 24 点による検出割合の空間分布

握するには, 粒子の移動方向が推測できる場合, 粒子がある程度移動した後は, 流下方向に採取点を増やすこと, 流下方向と直行する線上での採取することが有効であることがわかった. しかし採取範囲外の分布推定には困難な点が多く, 今後更なる検討を進める必要があるといえる.

《参考文献》

- 1) 田島芳満・小塚将之・水流正人・石井敏雅・坂上武晴・百瀬和夫・三村信男, 海域還元砂の最適な投入地点の選定方法に関する研究, 海岸工学論文集, pp.656-660, 2006
- 2) 中野政尚, 海洋環境放射能による長期的地球規模リスク評価モデル (LAMER) —広域拡散モデルの開発と検証—, サイクル機構技報 No.22, pp.67-76, 2004