

浮遊土砂の密度流を平面モデルで扱うための 簡便手法について

日本大学工学部土木工学科 学生会員 ○熊田慎吾
日本大学工学部土木工学科 正会員 金山 進

1.はじめに

土砂の堆積によって港湾や航路の水深が減少すると、船舶の航行が困難となる。港湾・航路の機能低下は国・地域の生産活動に打撃を与える。港湾・航路の水深を維持するために浚渫が必要となり、多大の費用の発生は、国・地域の経済にとって望ましくない。そのため、維持浚渫費用の少ない港湾・航路の設計や、効率的な浚渫計画の策定や、港湾・航路の埋没を予測することが需要である。埋没の機構は、砂による埋没と、シルト・粘土など(微細土粒子)による埋没に分類され、砂による埋没は一般には、港口付近など波高の大きい場所を中心に生じ、シルト・粘土による埋没はシルテーションと呼ばれ、港の奥や航路、運河などを中心に生じる。有明海や周防灘など、泥浜海岸では深刻な問題となっている。

砂による埋没は海岸侵食等の問題に対する半世紀にわたる研究成果から機構説明は比較的進んでいる。シールズ数等の指標により地域特性などによらない汎用的な解析が可能となっているとともに、図-1 に示すように、波浪場、流速場より算定される漂砂量フラックス場の物質収支から地形変化を求めることを基本とする比較的簡潔な解析手法が広く用いられ、基本的には平面2次元の問題として扱うことができる。

これに対して、シルテーションの場合は、シルト・粘土の再浮遊条件、着底条件、浮遊濃度による沈降速度の変化特性などは対象地点の底質に固有なものが多く、砂の場合のような汎用的な解析は難しい。図-2 に示すように、浮遊状態で移動する土微細粒子の挙動を移流拡散方程式によって検討する手法が一般的であるが、浮遊濃度が大きくなると密度流の効果が表れるため、3次元での解析が不可欠となるケースが多いことも砂の場合に比べて解析の難度を上げるとともに効率を低下させている原因の一つとなっていると考えられる。3次元のモデルは平面モデルに比べ必要となる計算時間・計算容量が大きい。

本研究は、シルテーション解析の効率を上げるための簡便ながらも実用的な手法の提案に向けた予備段階の検討として、本来は3次元でなければ表現できない高濃度浮遊シルトによる密度流を鉛直平均濃度の平面的な拡散現象として便宜的・近似的に扱うことの可能性を検討するものであり、その概念図を図-3 に示す

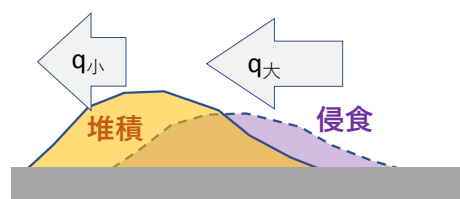


図-1 砂の移動機構とモデル

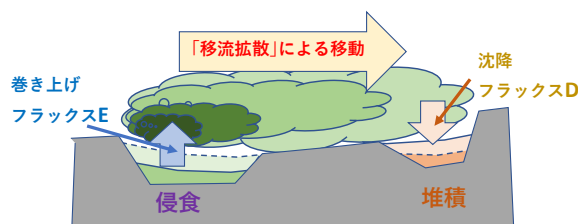


図-2 シルトの移動機構とモデル

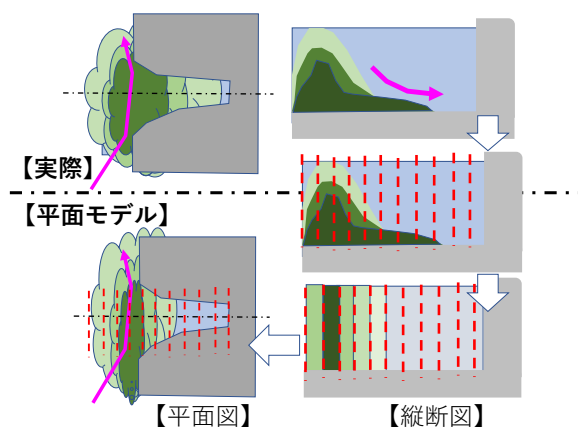


図-3 3次元現象と平面モデル

キーワード:シルテーション, 密度流, 拡散係数

連絡先: 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1, kanayama@civil.ce.nihon-u.ac.jp

2. 解析方法

密度流による浮遊濃度の拡がりを拡散現象で表現するために、鉛直 2 次元の数値計算で密度流を発生させ、その空間および時間的な状況から式(1)によって拡散係数 K を算定する。

$$K = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2}{dt} \quad (1)$$

式(1)において σ^2 は浮遊濃度の水平方向の分散であり式(2)によって計算することができる。

$$\sigma^2 = \frac{\int x^2 C(x, z) dx dz}{\int C(x, z) dx dz} \quad (2)$$

式(2)において x は浸漬地点から水平距離、 z は鉛直方向の距離、すなわち深度である。 $C(x, z)$ は x および z の関数として表した浮遊土砂の濃度分布である。

3. 解析結果

数値計算は、鉛直 2 次元の計算領域の上流端境界 ($x \equiv 0$) に一定の濃度を境界条件として与え続け濃度分布 $C(x, z)$ の時間変化を求める形で実施した。境界の濃度 $C(\text{mg/L})$ としては、500,000 100,000 50,000 10,000 5,000 の 5 通りを設定した。 $C=100,000(\text{mg/L})$ の計算結果を例として図-4 に示す。

式(1)によって拡散係数 K を算定する際には、図-5 の例のような浮遊濃度の水平方向の分散 σ^2 の経時変化のグラフを作成し、これに時間に対する原点を通る 1 次の回帰式をあてはめて傾きに 1/2 を乗じた。今回は、いずれの条件においても図-5 の例のように分散 σ^2 の時系列は 1 次式ではなく次第に傾きが大きくなる形状を示した。これは拡散係数が時間とともに大きくなっていることを示すと解釈できるが、今回は 1 次式をあてはめることにより計算時間全体での平均的な拡散係数 K を算定した。

このようにして算定された拡散係数 K の値は、 $C=500,000(\text{mg/L})$ のとき $K=141.17(\text{m}^2/\text{s})$ 、 $C=100,000(\text{mg/L})$ のとき $K=76.67(\text{m}^2/\text{s})$ 、 $C=50,000(\text{mg/L})$ のとき $K=39.73(\text{m}^2/\text{s})$ 、 $C=10,000(\text{mg/L})$ のとき $K=9.399$ 、 $C=5,000(\text{mg/L})$ のとき $K=5.398$ となった。これらは、通常の移流拡散解析で用いられる拡散係数に比べて 1～3 オーダー大きな値とである。密度流による濃度の拡がりが実際の現象において重要な役割を果たしており、これに対して拡散現象による便宜的に表示を試みた場合には非常に大きな拡散係数を与える必要があるという結果となった。図-6 は各ケースの拡散係数 K を境界濃度 C の関数として整理したものである。対数軸でプロットしており、傾きが 1:1 であることから、境界濃度 C と拡散係数 K は比例関係にあるという結果となった。

4. まとめ

高濃度浮遊シルトによる密度流を鉛直平均濃度の平面的な拡散現象として便宜的・近似的に扱うことの可能性を検討した結果、通常の場合よりも 1～3 オーダー大きな拡散係数を用いる必要があるという結果となった。

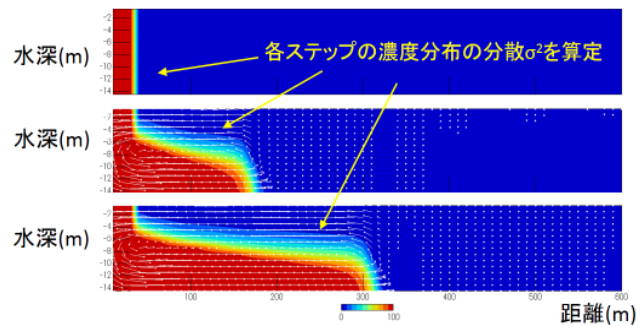


図-4 計算例 ($C=100,000\text{mg/L}$)

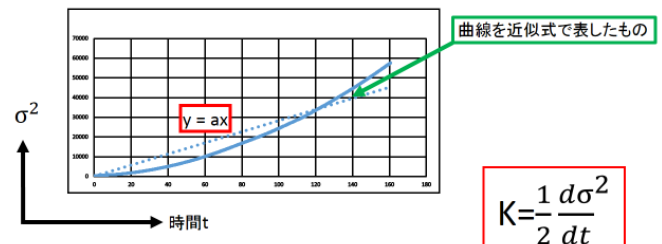


図-5 濃度の分散からの拡散係数算定

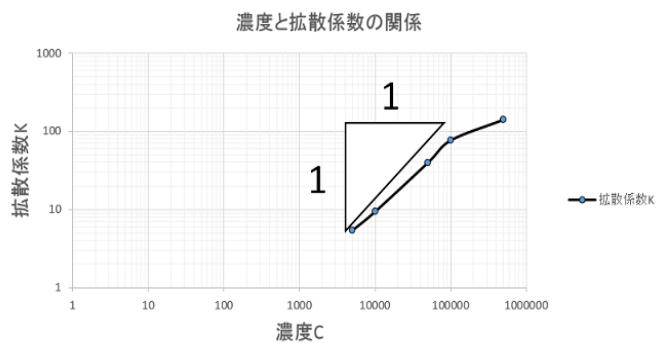


図-6 境界濃度と拡散係数