

大阪市立大学工学部 正会員 小田一紀 重松孝昌
大阪市立大学工学部 学生員 ○堀井聖子

1. 目的 沿岸域の埋立事業に対する環境アセスメントなどで一般に行われている土砂直投工事による濁りの拡散予測は、これまで土砂投入点で発生する濁りの鉛直分布を初期条件として与え、拡散方程式を数値的に解くことによってなされている。しかし、その際、初期条件としての濁りの鉛直分布は、現場における観測結果を簡略的に表現して与えているにすぎず、投入直後の濁り挙動の実態に即したものである。さらに、土砂投入に伴う誘起流による濁りの初期拡散過程に及ぼす影響はまったく考慮されていない。

したがって、本研究では水中に投入される土砂粒子群によって誘起される流体運動を解析し、その計算結果をもとに濁りの発生およびその初期拡散現象を予測することを目的とする。

2. 計算手法 本研究では、投入する土砂は、投入点直下近傍に堆積する粗粒子成分と、濁りを形成する微細粒子成分からなるものとする。粗粒子は誘起流動の形成に寄与し、水底における堆積は無視する。微細粒子は濁りを形成するが、流体運動には影響を及ぼさないものと仮定する。粗粒子の運動は個別要素法を用いて計算する。このとき、全粒子の運動を個別要素法によって解析することは不可能であるので、以下の手順に従って計算を行った。

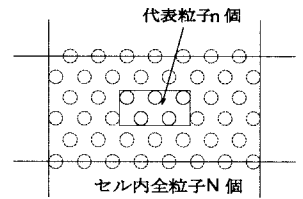


図-1 代表粒子群

(1) 着目するセル内に存在する N 個の粒子の中から、これらの重心位置を中心とする n 個の粒子をセル形状と相似形になるように均一に配置する (図-1)。

(2) これら n 個の代表小粒子群の運動を、粒子間接触力および流体力を考慮した個別要素法を用いて求める。代表粒子 i が Δt 移動するとき、 N/n 個の粒子をセル矩形を保ったまま移動させる。これを代表粒子 n 個について行い、セル内の全粒子を移動させる (図-2)。

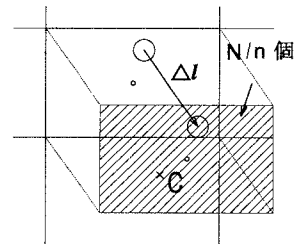


図-2 粒子群の移動

(3) すべてのセルについて、上記の計算を行う。複数のセルから粒子が移動してくる場合は、それぞれのセルから移動してきた粒子数の和をとってセル内に存在する粒子数を求め、さらに空隙率およびそれらの重心位置を求める。

以上の操作を繰り返し行う。

粒子群の沈降に伴う流体運動の解析は、粒子の運動の影響を空隙率および流体力として考慮した運動方程式を用いて解析した。このようにして求められた流体場の情報を基に、微細粒子の運動は移流拡散方程式を解くことによって求めた。このとき、拡散係数は流体場の計算で求められた渦動粘性係数と等値とした。

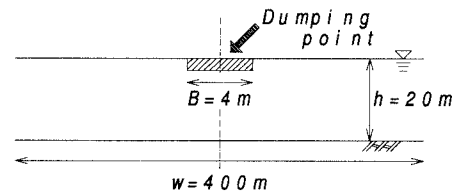


図-3 計算領域

3. 計算条件および計算結果 計算領域は、水平方向に 400m、水深は 20m とし、 $\Delta x = 2m$ 、 $\Delta z = 1m$ として計算を行った。土砂は計算領域中央部の水面を有する 2 メッシュで投入した。表-1 に土砂投入条件を示す。計算では、水面変動および水底と粒子の衝突は考慮していない。図-4 および図-5 は Case2 および Case3 の場合の濁り濃度分布を表したものである。ここでは、計算領域のうち投入の中心軸より右半分だけを示している。濁りは、土砂が水底に到達するまではほとんど水平方向拡散することではなく、水底に到達した後に水底に沿って水平方向に拡散しはじめる。さらに、土砂の沈降に伴って発生する循環流の影響を受けて濁りは徐々に舞い上がり、濁りの分布範囲は

水面近傍にまで拡がっていくことがわかる。また、 $t_q = 20$ の場合の方が $t_q = 10$ の場合よりも、100ppm 以上の領域は小さくなるが、水平方向への拡がりは大きくなっている。

図-6は濁りの先端部の濃度 10ppm ラインの水平および鉛直方向到達距離の経時変化を示したものである。水平到達距離は、土砂投入直後の 15 秒後までは投入条件が異なってもあまり差はみられないが、20 秒以降は徐々に差がみられるようになり、投入土砂量が $V = 3000\text{m}^3$ の場合には土砂投入時間が最も長い Case3 の場合の到達距離が最も大きくなっている。鉛直到達高さは、いずれの条件の場合も土砂投入から 40 秒後で最も高くなり、その後、 $z/h = -0.2 \sim -0.3$ で一定になる。

図-7 は 200 秒後の濁りの鉛直分布を示したものである。同図は各高さの濃度を水平方向に積分した後、全負荷量で除して無次元化して表している。いずれの場合も水底近傍で負荷率は高くなっていることがわかる。 $-1 \leq z/h \leq -0.6$ の範囲に全負荷量のほぼ 55% が、また、 $-0.65 < z/h \leq -0.4$ の範囲に 40% が分布しており、残りの 10% が $-0.4 < z/h$ に分布している。

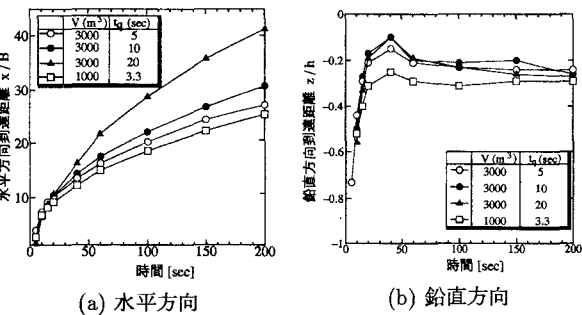


図-6 濁り濃度 10ppm の到達距離の経時変化

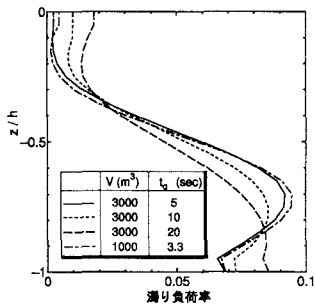


図-7 濁り負荷率の鉛直分布

4. おわりに

本研究では、超多粒子の運動解析が行えるように個別要素法を拡張して現場スケールの粒子群の沈降・分散挙動および誘起流動場の数値解析を行い、さらに濁りの拡散解析を行った。その結果、土砂投入条件によって濁りの時・空間分布が異なることが示された。今後、実際の現象と定量的な比較を行うための検証実験が必要である。

表-1 投下条件

	Case1	Case2	Case3	Case4
投下総量 $V(\text{m}^3)$	3000	3000	3000	1000
総SS量 $q(\text{t})$	9.54	9.54	9.54	3.18
空隙率	0.4	0.4	0.4	0.4
投下時間 $t_q(\text{s})$	5	10	20	3.3
投下速度 $w_0(\text{m/s})$	3.0	1.5	0.75	1.5

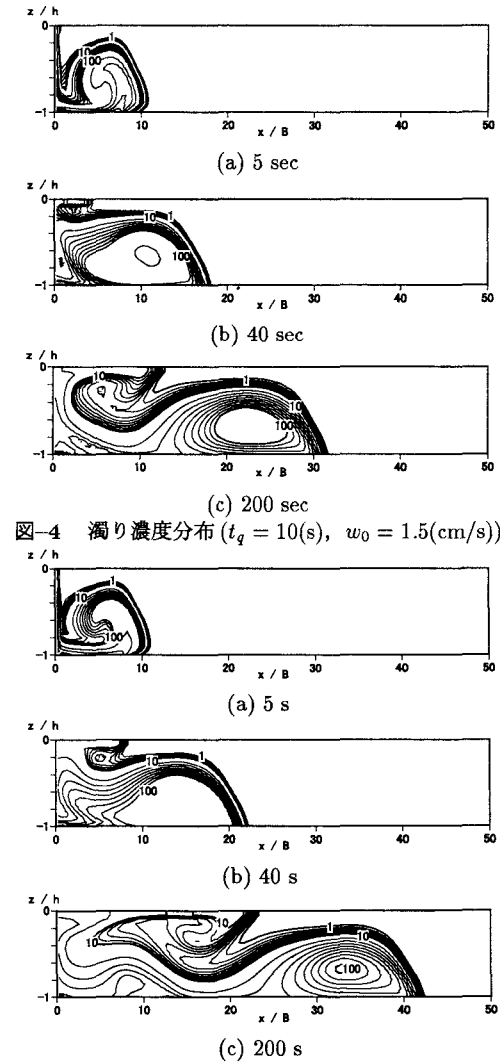


図-5 濁り濃度分布 ($t_q = 20(\text{s})$, $w_0 = 1.5(\text{cm/s})$)

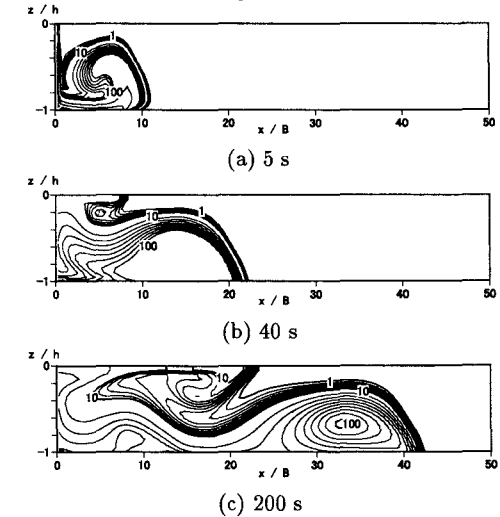


図-4 濁り濃度分布 ($t_q = 10(\text{s})$, $w_0 = 1.5(\text{cm/s})$)