

振動流の乱れによる底質の浮遊に関する研究

名城大学理工学部 正員 岩垣雄一
 京都大学工学部 正員 浅野敏之
 鹿島建設㈱ ○正員 森 泰宏

1. はじめに 従来、浮遊漂砂の解析の多くは拡散方程式に基づいて行われてきた。しかし、拡散方程式では振動流の乱れの時空間変化を十分に考慮できないため、振動流の乱れ構造を考慮できるより精密な解析方法が必要となる。そこで本研究では、一方向流で得られた確率モデルを振動流に拡張した解析を行い、従来の拡散方程式に基づく解析では得られなかった浮遊砂濃度の特性を明らかにする。また、浮遊砂を含んだ流れに対する乱流輸送モデルを用いた解析についても検討する。

2. 拡散方程式に基づいた解析 確率モデルによる解析との比較のために、従来の拡散方程式に基づく、境界層内の浮遊砂の解析を行った。掃流層から浮遊への境界の基準面での濃度を、一周間に2回の極大値を持つ周期関数で与えた。図1は、計算条件を境界層外縁速度振幅 $U = 49.9$ cm/sec、周期 $T = 9.8$ sec、境界層厚 $D = 7.0$ cm、沈降速度 $w = 0.5$ cm/secとした場合の結果である。縦軸は掃流層を除いた部分の相対高さ、横軸は基準面の位相平均濃度で無次元化した濃度である。計算は Smith(1982)の解析解に基づいて行った。

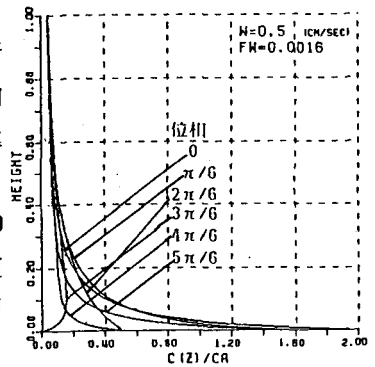


図1

3. 確率過程モデルによる解析 確率過程モデルは、浮遊粒子の挙動をラグランジュ的に追跡し、粒子の存在高さの確率分布が浮遊砂濃度分布と相似であると考えられるものである。本研究では、Yalin ら(1973)が行った一方向流での研究を振動流に拡張して、浮遊砂濃度分布の計算を行う。まず境界層内を鉛直方向に薄い層に分割し、粒子の層から層への遷移確率 G が正規分布に従うと仮定する。高さ $Z=Za$ を出発した粒子が、 $n+1$ ステップ後に Z_{n+1} に遷移する確率は次式で与えられる。

$$F_{n+1}(Z_{n+1}:Za) = \int_0^A F_n(Z_n:Za) G(Z_{n+1}:Z_n) dZ \quad (1)$$

ここで正規分布の標準偏差を、鉛直乱れ強度を用いて $\sigma = \sqrt{w'^2}$ で与える。さらに、近年の乱流輸送モデルの発展を踏まえ、振動流の乱流輸送モデルによる解析から、乱れエネルギー k を鉛直方向乱れ成分として次のように与えた。

$$\sqrt{w'^2} = 0.412 \sqrt{k} \quad (2)$$

基準面濃度の設定および計算条件は、拡散方程式に基づいた解析と同じである。以上より、浮遊砂濃度分布式は、次式で与えられる。

$$\frac{C(Z, \theta)}{\bar{C}_a} = \frac{\sum_{m=0}^M F_{n+m}(Z_n:Z_a)}{\sum_{m=0}^M F_{n+m}(Z_n:Z_a)/M} \quad (3)$$

ここに $\theta = 2m\pi/M$ ($m=0, 1, \dots, m', \dots, M, \dots, 2M, \dots, kM$)

θ は振動流の位相、 M は位相の分割数、 k, N は十分に大きい整数である。(3)で Σ^* は $\text{mod}(n+m, M) = m'$ となるものについての総和を意味する。図2は計算結果であるが、拡散方程式の場合と異なり、濃度分布のピークが基準面よりも高い位置に現れ、逆「く」の字形の分布となることがわかる。また、位相 $\pi/2$ 付近でピークが最も高い位置になり、濃度もその付近で最大となる。位相 $\pi/2$ は境界層外の水粒子速度が0になる時であり、浮遊砂の舞い上がりには、ある程度の時間遅れが必要であることがわかる。

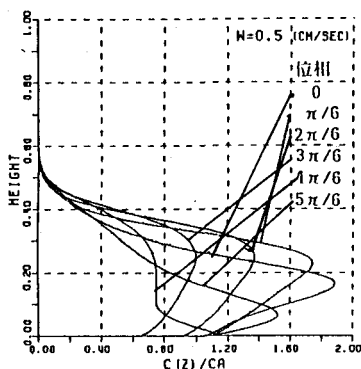


図2

図3は Staubら(1984)が振動流水槽で行った実験結果と、この実験と同じ条件で行った計算結果の比較である。図より、1番目のピーク値の大きさが若干異なるものの、2番目のピーク値はほぼ等しく、全体的には、ここで提案した確率モデルは実験結果をよく表現できることがわかる。

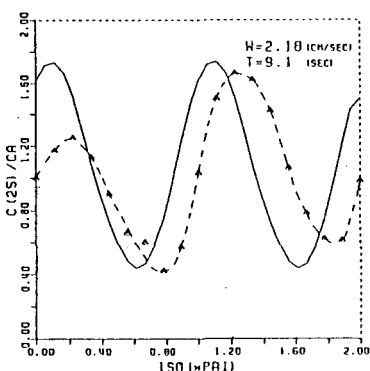


図3

4. 浮遊砂を含む流れに対する乱流モデルによる解析

一方向流では、浮遊砂を含む流れの乱流構造は、清水流のそれから変化し、流速分布・濃度分布もこれに伴って変化することが知られている。しかし波動流・振動流ではいまだこうした解析は行われていない。本研究では、振動流下で浮遊砂を含む流れの解析を行い、その変化を明らかにした。基礎式として、一方向流に対して提案されている乱流輸送モデルに拡散方程式を組み合わせた式(福嶋(1986))を振動流に拡張したものをを用いた。図4は、基準面濃度の位相平均値 $\bar{C}_a$ を3通りに変えた場合の平均流速の計算結果である。 $\bar{C}_a$ の増加とともに流速勾配が増加しており、定常流の場合と同様にカルマン定数が減少するという特性がみられた。しかし、浮遊砂の濃度分布には顕著な変化がみられなかった。また、乱れエネルギー k とその逸散率 ϵ の計算を行ったが、どちらも $\bar{C}_a$ の増加とともに底面付近でその値が減少する傾向がみられた。

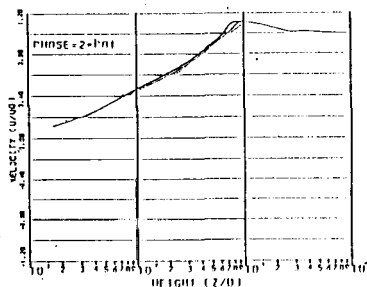


図4

5. まとめ 本研究は、従来の拡散方程式に代わる浮遊砂解析方法の確立を目ざしたものである。細部については問題点も残されているが、振動流の乱れの時空間変化を、より精密に取り込んだ浮遊漂砂の解析手法の手がかりが得られた。