

II-489

数値計算による非平衡状態の浮遊砂濃度分布の再現性について

大阪大学工学部 正会員○小野正順

大阪大学工学部 正会員 榎木 亨

大阪大学工学部 正会員 出口一郎

大阪大学大学院 学会員 金 圭漢

1. まえがき

波と流れによって引き起こされる浮遊漂砂は、地形あるいは波・流れの空間的な非一様性や非定常性により時として非平衡状態の濃度分布を示すことが知られている。この非平衡状態の浮遊漂砂は、底質砂の浮上フラックスと沈降フラックスが平衡していないために生じることから、地形変化と直接関係しており、地形変化を精度良く予測するためには、非平衡状態における浮遊砂濃度分布を精度良く求める必要がある。本研究は、2次元移動床実験により波・流れ共存場において生じる非平衡状態の浮遊砂濃度分布について検討し、さらに数値計算により非平衡状態の濃度分布を再現する場合の問題点について考察したものである。

2. 実験の概要

実験は、2次元造波水槽を用い20cmの一定水深で流れを順流で発生させ波・流れ共存場を作った。非平衡状態の浮遊砂濃度分布を生じさせるため図-1に示すように水路のほぼ中央3mの部分厚さ5cmの移動床とした。用いた底質は、中央粒径0.012cmの豊浦標準砂である。作用させた波の周期と波高は1.25secと6cm程度とし、断面平均流速 U は17, 10cm/secの2種類とした。鉛直方向の浮遊砂濃度の測定は、採水により砂漚の峰上0.8cmの高さから鉛直方向に1cm間隔の5地点で同時測定した。測定精度は、30PPM程度である。非平衡状態の浮遊砂濃度の測定は、図-1に示すように浮上領域（浮上フラックス>沈降フラックス）である固定床から移動床に変化する場所から下流部分（ $x=20, 50, 70$ cmの3地点）と沈降領域（浮上フラックス<沈降フラックス）である移動床から固定床に変化する場所から下流部分（ $x=10, 30, 50$ cmの3地点）で測定した。

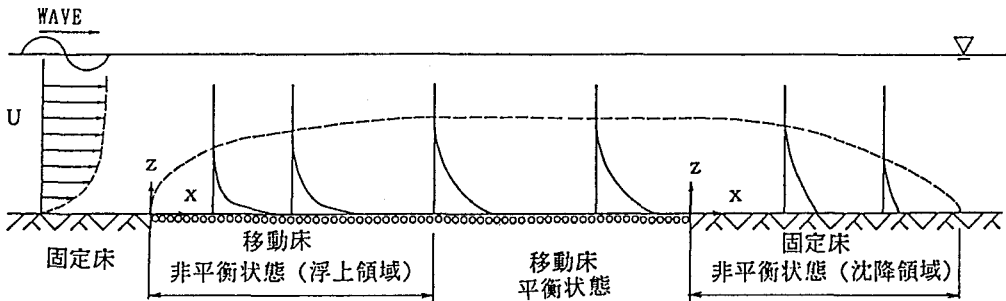


図-1 非平衡状態の浮遊砂濃度分布

3. 解析法

非平衡状態の浮遊砂濃度分布は、非定常2次元移流拡散方程式を数値的に解くことにより求められる。ここでは、Sprit operator approachにより計算を行い、移流方程式の差分は6点法を、拡散方程式の差分には5点法を用いて行った。計算する上で必要となる基準点濃度 C_0 及び水平鉛直方向拡散係数 E_x, E_z は、各々平衡状態と考えられる位置で測定された鉛直方向の浮遊砂濃度分布から求め、水平方向の拡散係数 E_x は E_z に等しいと仮定して計算した。なお、数値計算の安定性に関わるペクレ数とクーラン数については、ペクレ数（ $E_z \Delta t / \Delta z^2$ ）= 0.006、クーラン数（ $w_r \Delta t / \Delta z$ ）= 0.002程度で計算を行った。ここに、 w_r =.87:沈降速度、 Δt =.001sec、 Δx =.5cm、 Δz =.5cmである。

4. 非平衡状態の浮遊砂濃度分布

4.1 浮上領域: 図-2(a)(b)は、各々断面平均流速 U が17と10cm/secの場合の浮上領域における非平衡状態の浮遊砂濃度の鉛直分布の実験結果と算定結果の比較を示す。図中には、固定床から移動床へ変化する所から流下方向に20, 50, 70cmの地点での鉛直濃度分布と平衡状態での濃度分布を示し、縦軸は砂漚の峰からの距離 z をとってある。また、図中に示す平衡状態の濃度分布の算定結果は、定常鉛直1次元拡散方程式の解である。実測された濃度分布

は、流速に関わらず $x=50\text{cm}$ 程度の流下距離ではほぼ平衡状態の濃度分布と一致している。なお、この間には5～6個の砂漣が含まれている。一方、算定結果は、流下距離の増加に伴い平衡状態の濃度分布に漸近するが、 $x=70\text{cm}$ の流下距離でもまだ平衡状態の濃度には至ってなく、平衡状態の濃度分布に漸近する状況は実験結果とほぼ一致しているが、定量的には、まだ完全に実験結果を再現しているものとはいえない。この理由として、計算において全領域で同一の鉛直方向の拡散係数と基準濃度を用いていること。すなわち、本研究で対象とした浮遊砂濃度に対しては、砂漣によって発生する渦が支配的であり、 $x<50\text{cm}$ の非平衡状態の浮遊砂となる付近で形成される砂漣と $x>70\text{cm}$ の平衡状態となる付近で形成される砂漣の形状は明らかに異なり、前者の方が波長・波高とも小さくなるが波形勾配は、よりSteepになることが実験によって確認された。このような砂漣の空間的な非一様性は、掃流砂の非平衡性とも関係する問題でさらに継続した検討を加えていく必要がある。

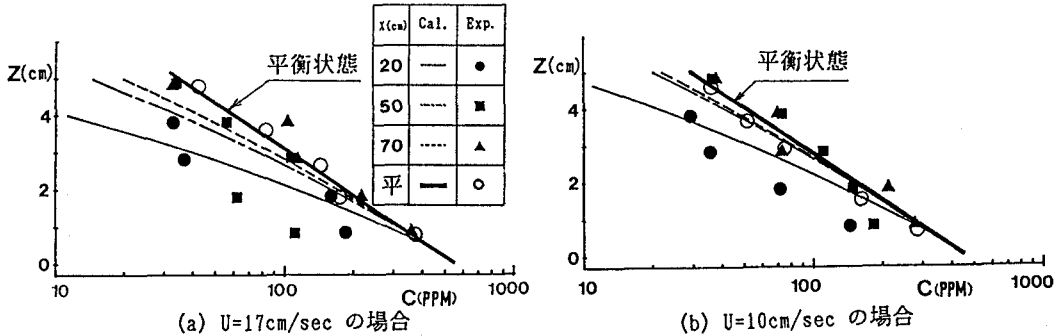


図-2 浮上領域における非平衡浮遊砂濃度の鉛直分布

4. 2沈降領域: 図-3(a)(b)は、図-2と同様のケースについて沈降領域における非平衡状態の浮遊砂濃度の鉛直分布の実験結果と算定結果の比較を示す。実験結果に着目すると浮上領域の場合と異なり、移流に伴い底部付近の浮遊砂濃度が減少し、より高くまで巻き上げられている粒径の細かい砂は、沈降速度が小さいため底から5cm程度での濃度はあまり減少せず、結果として浮遊砂濃度は移流に伴って鉛直方向に一樣の濃度分布に近づく。また、断面平均流速が大きい方がより下流域まで浮遊砂が移流されていることがわかる。一方、算定結果についても実験結果と同様底部付近での濃度が減少し、移流に伴って鉛直濃度分布は一樣な濃度分布に近づく。従ってこのような領域における鉛直濃度分布は、必ずしも指数分布とならないことがわかる。実験結果と算定結果を比較すると $U=17\text{cm/sec}$ の場合について底部における濃度が算定結果より大きく測定されているが、この原因については明かではない。

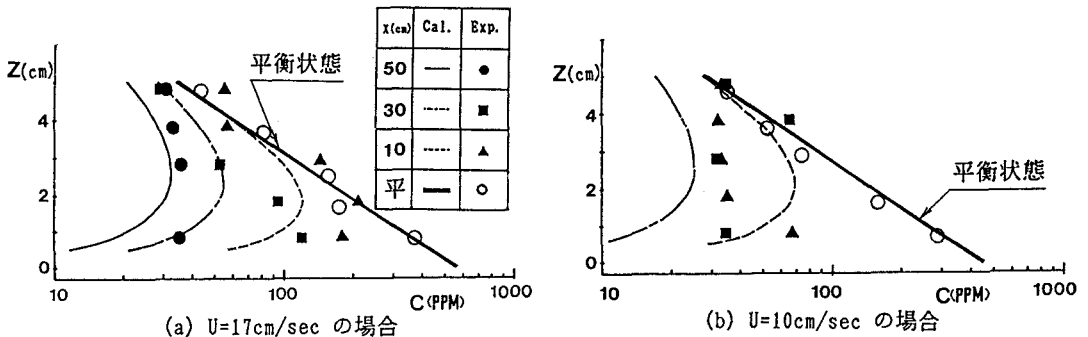


図-3 沈降領域における非平衡浮遊砂濃度の鉛直分布

5. あとがき

以上の考察より、非平衡状態における浮遊砂濃度の鉛直分布は、定性的な挙動については2次元移流拡散方程式に基づく解析法により予測できるが、定量的には砂漣の空間的な非一様性による拡散現象の空間的な変化により完全に再現するまでには至らなかった。なお、この現象は、掃流砂の非平衡性と関連して今後継続して検討する予定である。