

立命館大学大学院 学生員 ○竹林 洋史 立命館大学理工学部 正員 江頭 進治
日本工営株式会社 正員 金 海生

1. はじめに 交互砂州の平衡波高の予測に関しては、非線形解析^{1), 2)}や数値解析³⁾などにより多くの研究が行われてきた。これらの解析法により平均的な値の予測は可能になってきてはいるもの砂州の発達過程や平衡状態における混合砂の影響など今後に究明すべき課題も多い。ところで、水路実験により、混合砂による交互砂州の波高が一樣砂によるものより減少することが明らかにされている⁴⁾。本研究では、砂礫の分級現象を考慮した数値シミュレーションにより交互砂州の形状特性値を検討する。

2. 数値シミュレーションの概要 先の

研究⁵⁾により、二次元浅水流モデルでは掃流力の算定精度が低いことが明らかとされたため、流れの支配方程式は三次元モデルによるものを使用する。渦動粘性係数 $\nu_t = (\kappa/6)hu_*$ で評価する。ここに、 κ は Karman 定数、 h は水深、 u_* は摩擦速度である。砂州上の流れは条件により常射混在流れとなるため、MacCormack schme により流れの支配方程式を差分化する。流砂量式は局所的な河床勾配の影響を考慮した芦田・道上式⁶⁾、粒度分布の算定は交換層の概念による平野⁷⁾の方法を用いる。

計算条件を表1に示す。計算結果を水路実験の結果と比較するため、河床位の水路実験結果のある清水³⁾による砂州の実験条件を Case1 として採用した。Case1 と Case2 の違いは河床材料によるものであり、砂礫の分級の影響を検討するためのものである。Case2 の河床材料は標準偏差が $\sqrt{d_{84}/d_{16}} = 2.25$ の粒度分布をもっている。そのため、最小粒径階は 0.09mm となっているが、浮遊砂の存在は考慮していない。また、計算条件は、藤田⁸⁾の研究によれば交互砂州の発生領域内にある。

3. 計算結果と考察 図1に河床形状を示す。両 Case とも、水路上流部(5-12m)では波長、波高とも発達途上にあるが、水路下流部(15-19m)では波長、波高とも安定した砂州が存在する。この水路下流部の砂州は、藤田⁸⁾らが短対角州と定義した河床形状であると思われ、一般に交互砂州と呼ばれているのは水路上流部の砂州である。このように、本解析の条件では、まず短対角州が発生し、一度安定した形状を保ち、その後上流部の砂州から徐々に波高と波長が発達し、交互砂州に変化していく過程がみられる。短対角州から交互砂州への遷移は池田⁹⁾による水路実験でも報告されている。しかし、短対角州が安定して存在するものなのか、それとも交互砂州へ発達する過程で生じるものなのかはこの計算結果のみでは判断が難しい。また、図1は最終計算結果であるが、交互砂州は形成途中にある。これは、波高の発達に伴い、薄層流れが砂州頂部に生じ、安定した計算結果が得られないためである。そこで、今後の計算結果の検討は水路下流部の短対角州(矢印で示しているもの)について行う。ちなみに、清水の水路実験結果は波長、波高とも Case1 の短対角州と

表1 計算条件

	B (m)	i_b	Q (l/s)	d_m (mm)	$\bar{h}$ (cm)	$\bar{\tau}_*$	$\bar{F}_r$
Case1	0.3	0.014	0.75	0.43, 一樣砂	0.72	0.12	1.32
Case2	0.3	0.014	0.75	0.43, 混合砂	0.72	0.12	1.32

B : 水路幅, i_b : 水路勾配, Q : 流量, d_m : 平均粒径, $\bar{h}$: 平均水深, $\bar{\tau}_*$: 平均無次元掃流力, $\bar{F}_r$: 平均 Froude 数

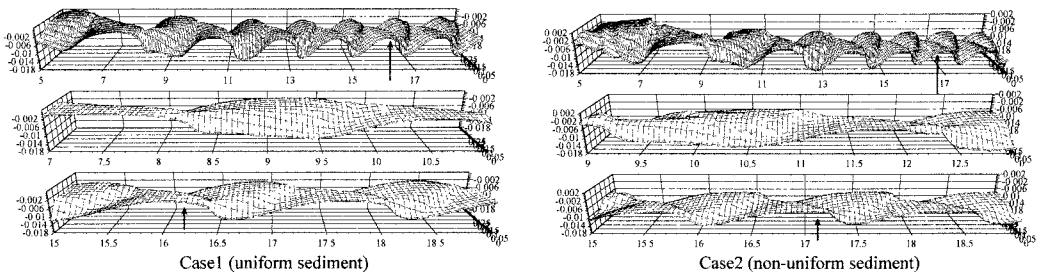


図1 河床形状 (単位: m, 計算時間: 3000s)

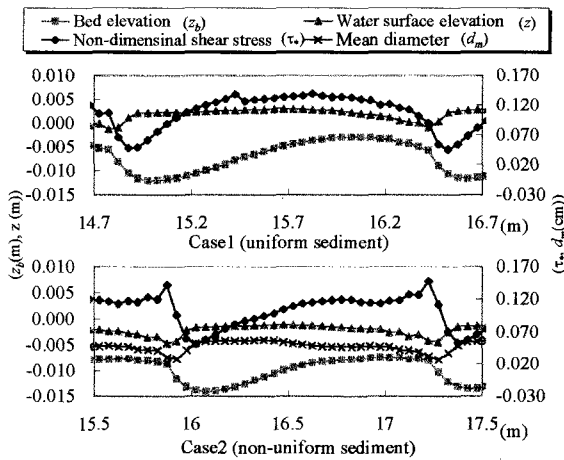


図2 水路右岸沿いの河床位・水面位・無次元掃流力・平均粒径の分布 (計算時間: 3000s)

ほぼ一致している。

図2は、水路右岸沿いの水理量の計算結果である。最も注目すべき点は無次元掃流力の分布の違いであろう。一様砂では、無次元掃流力の最大がCrestの20cmほど上流側に生じており、河床形状との間に位相差が生じている。しかし、混合砂では無次元掃流力の最大がCrest (混合砂ではCrestが砂州前縁の直上流に生じている。)に生じており、位相差が無い。これは、混合砂では砂州前縁部からCrestにかけて細粒化し、Troughで粗粒化しているためである。砂州前縁部の細粒化は、掃流力分布が一様砂での無次元掃流力分布のように砂州前縁部で減少しているためである。このような位相差は、河床不安定性 (波高発達) の要因となるため、一様砂の波高のほうが混合砂のそれより大きくなるのが期待される。

図3は、砂州の形状特性値と移動速度の時間的変化である。波高に関しては、図2の結果から推察されるように、混合砂によるものの方が一様砂のものより低くなっている。また、一様砂では波高は安定しているが、混合砂では4mm程度で一度安定し、その後少しづつ発達している。これは、短対角州として一度安定し、その後、水路上流部の交互砂州の影響で波高が発達しているものと思われる。混合砂でみられるこのような結果は、混合砂の流砂量が一様砂の1.2倍程度であり、さらに波長が短いため、上流側の影響を受けやすいことによる。故に、短対角州としての波高は混合砂によるものの方が一様砂のものより低いと判断すべきであろう。波長に関しては、一様砂の方が混合砂のものより若干長い。一方、高橋ら⁴⁾による水路実験結果 (交互砂州) では、一様砂と混合砂で波長の差は見られない。また、移動速度に関しては、波高の高い一様砂のほうが混合砂よりも遅くなっており、予想された結果が得られている。しかし、波高の発達途中で移動速度は一定値になっており、波高との関係に若干不明な点が残る。これらの問題点は今後検討していきたい。

4. おわりに 砂礫の分級現象に着目し、砂州の形状特性値について検討した。短対角州に関しては、一様砂と混合砂の波高の違いは分級現象のために生じることが明らかになった。今後、短対角州と交互砂州との関係にも着目し、交互砂州の発生・発達過程について検討していきたい。

参考文献 1) 福岡・山坂: 土木学会論文集, 357号, pp.45-54, 1985. 2) 黒木・石井・板倉: 水工学論文集第36巻, pp.1-6, 1992. 3) 清水: 北海道大学博士論文, 1991. 4) 高橋・江頭・吉栖: 関西支部年次学術講演会, II-68, 1995. 5) 竹林・江頭・金: 水工学論文集第41巻, pp.895-900, 1997. 6) 芦田・江頭・劉: 水工学論文集第35巻, pp.383-390, 1991. 7) 平野: 土木学会論文集, 207号, pp.51-60, 1972. 8) 藤田: 京都大学博士論文, 1980. 9) 池田: 第27回水理講演会論文集, pp.709-714, 1983.

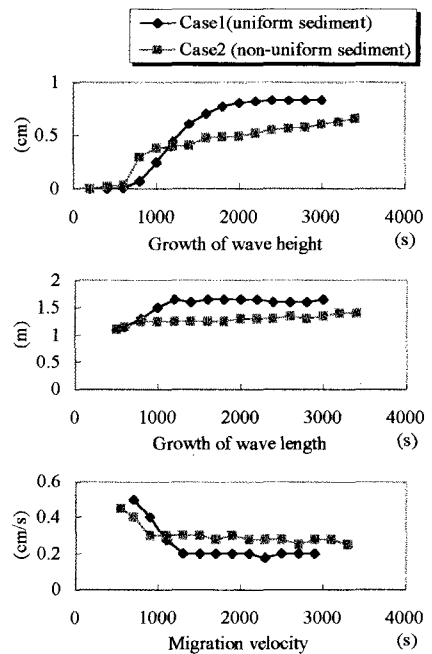


図3 形状特性値と移動速度の時間的変化