

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

1. はじめに 混合砂を用いて直線矩形水路で交互砂州の形成を試みると、定常的に給水と給砂を行っているにも関わらず、砂州が平衡状態で安定せず、時間とともに形が崩れたり、波高の低下とともに消滅する現象がよく観察される。このような現象は、実験方法に問題があるために発生する現象と一般に捉えるものである。しかし、一様砂を用いた水路実験では平衡状態の交互砂州が容易に得られることを考慮すると、上記のような交互砂州平衡形状の不安定性は、混合砂河床特有の現象の可能性がある。そこで、本研究では、混合砂河床による交互砂州平衡形状の不安定性の機構を、数値解析と線形場を対象とした河床面不安定解析により明らかにすることにより、混合砂河床による河床形態の特性の一つを示す。

2. 解析方法と解析条件 数値解析では、直線河道を想定した計算区間に交互砂州を発生させる。初期河床形状は平坦床であり、上流端から数メッシュ下流の右岸側に直方体型の河床擾乱を有する。線形解析は、直線河道を想定した物理空間における河床面の不安定解析であり、小山ら¹⁾とほぼ同様の解析方法である。

流れの支配方程式は、平面 2 次元流れの支配方程式を用いる。ただし、数値解析では河床近傍の流速を Engelund²⁾と同様に流線の曲率より予測し、流砂ベクトルの算定に用いる。さらに、両方の解析において、河床勾配が流砂ベクトルに与える影響を考慮する³⁾。粒度分布の計算は交換層の概念による平野⁴⁾の方法とほぼ同様の方法を用いる。数値解析に用いた水理条件を表1に示す。給水と給砂は上流端から定常的に行う。河床勾配は全て 1/90 である。河床材料は平均粒径 $d_m=1.09\text{mm}$ の混合砂であり、 $\sqrt{d_{84}/d_{16}}=1.93$ の粒度分布幅を持つ。線形解析の結果によると、これらの条件は全て交互砂州の発生領域である。Case 1～Case 3 は流れの条件が同一であり、交換層厚が異なる。これは、砂礫の分級の影響を明確に示すために行ったものであり、交換層厚を変化させることにより、砂礫の分級の進行速度を変化させている。Case 4～Case 7 は、無次元掃流力を一定に保ち、川幅/水深を大きく変化させている。

3. 結果と考察 Case 1 における交互砂州の消滅過程を図 1 に示す。4000 秒まで波高が発達していた交互砂州が、時間とともに波高が低下し、5200 秒ではほとんど消滅しているのが分かる。これは、交互砂州の形成に要する時間スケールと砂礫の分級が進行する時間スケールが近いために発生していると考えられる。平衡給砂の条件では、砂礫の分級は流れ場の空間的な変化によりもたらされるが、流れ場に対応した砂礫の分級が形成されるためには、ある有限の時間が必要である。つまり、河床形状がある平衡値に到達しても、その流れ場に対応した砂礫の分級が形成されるためには、さらに時間を必要とする。これまでの研究により、混合砂河床による交互砂州は、一様砂河床のそれより波高は低く、波長は短く、伝播速度は速くなることが明らかにされている⁵⁾。そのため、分級が進行するにつれ、交互砂州の形状特性値と伝播特性値が変化する。波高の低下は、砂礫の分級が進行し、混合砂河床の交互砂

表 1 数値解析に用いた水理条件			
	無次元掃流力	川幅/水深	交換層厚
Case 1	0.097	19.5	最大粒径
Case 2	0.097	19.5	最大粒径×4
Case 3	0.097	19.5	最大粒径×1/4
Case 4	0.097	13.0	最大粒径
Case 5	0.097	14.9	最大粒径
Case 6	0.097	39.0	最大粒径
Case 7	0.097	51.9	最大粒径

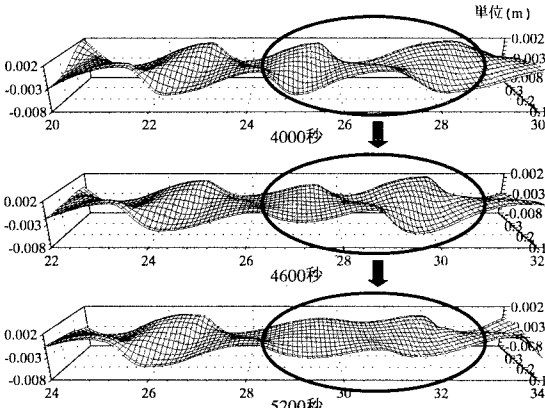


図 1 砂州の消滅 (Case 1)

州の特性が強くなったためと考えられる。また、砂州の合体及び崩壊は、伝播速度が時間的に変化するために発生している。本解析のように、初期河床の上流域右岸側にのみ擾乱を有する場合、一様砂では上流の砂州の伝播速度は下流のそれより必ず遅くなるが、混合砂では砂礫の分級が発達している上流側の砂州の方が、伝播速度が速くなる場合が発生する。そのため、上流の砂州が下流の砂州に追いつき、砂州の合体及び崩壊が発生している。

図2に、Case 1とCase 2の波高の時間変化を示す。これによると、交換層厚が厚いCase 2では、波高が時間とともに発達し、約5000秒でほぼ平衡値に到達しているが、交換層厚を最大粒径としているCase 1では、3000秒を境に波高が変動し、ある平衡値に到達する様子がない。これは、Case 1に比べCase 2の方が、砂礫の分級が進行する時間スケールが非常に大きくなっており、分級の影響が河床形状にほとんど現れないためである。さらに、図3にCase 1～Case 3の河床形状を示す。ここで注目すべき点は、交換層厚を1/4にしたCase 3の交互砂州が比較的安定している点である。これは、交互砂州の形成に要する時間スケールに対して砂礫の分級が進行する時間スケールが非常に短いためであり、河床形状の変化に対して分級が十分速く進行するためである。

次に、川幅/水深に着目し、交互砂州平衡形状が不安定になる水理条件を、河床面不安定解析により検討する。図4に、河床擾乱の振幅の初期増幅率に対する平均粒径の変動振幅の初期増幅率の比($\bar{d}_m$)を示す。図中に示した黒丸は、数値解析において安定な交互砂州が形成されたものであり、白三角は不安定なものである。ここで、砂州の消滅及び崩壊が発生したときに不安定と判定している。これによると、 $\bar{d}_m$ の変化と砂州平衡形状の不安定性が良く対応しているのが分かる。本条件では、 $\bar{d}_m$ が約2.1以上で砂州平衡形状が不安定となり、それ以下では安定となっている。しかし、Case 3の結果を考えると、さらに $\bar{d}_m$ が大きい条件では、砂州平衡形状が安定すると予想されるため、交互砂州平衡形状が不安定となる $\bar{d}_m$ の値は、上限値を有していると予想される。

4. おわりに 混合砂河床による交互砂州平衡形状の不安定性の機構を、数値解析と線形場を対象とした河床面不安定解析により明らかにした。本研究で得られた結果をまとめると以下のようになる。

(1) 混合砂河床による交互砂州の中には、平衡形状が不安定となるものが存在する。(2) 平衡形状が不安定な交互砂州は、分級が進行する時間スケールと交互砂州が形成される時間スケールが近いときに発生する。

参考文献 1) 小山・黒木・板倉：第53回年次学術講演会講演概要集，pp.450-451，1998。 2) Englund, F.: Jour. of Hy. Div. ASCE, Vol. 100, No. HY11 1974。 3) 黒木・岸：土木学会論文報告集，第342号，pp. 87-96，1984。 4) 平野：土木学会論文集，207号，pp.51-60，1972。 5) 赤畠・江頭・中川・竹林・長谷川：平成12年度関西支部年次学術講演会講演概要集（投稿中）。

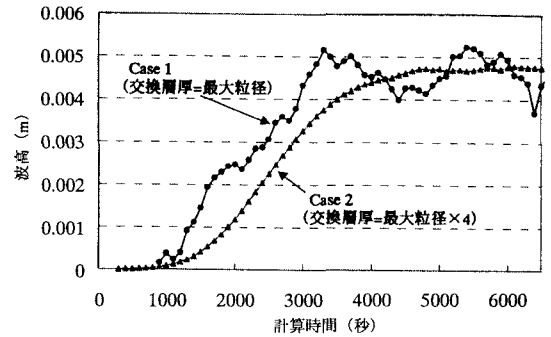


図2 波高の時間変化

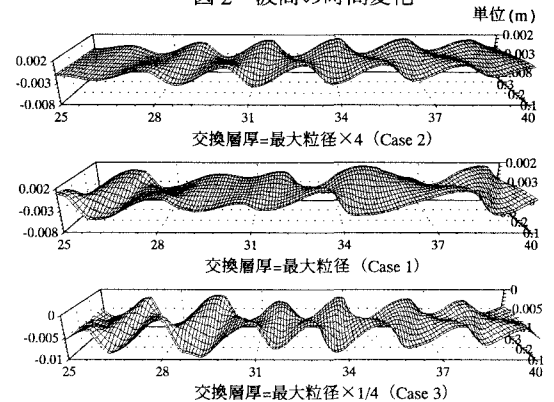


図3 砂礫の分級現象が交互砂州平衡形状に与える影響

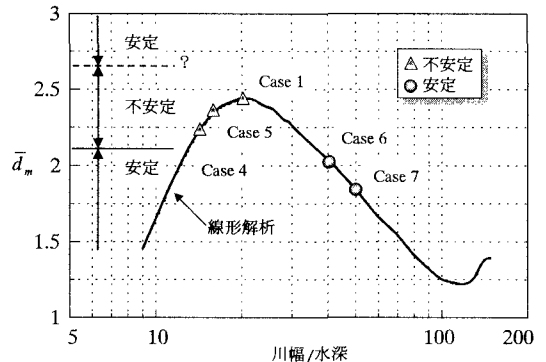


図4 河床擾乱の振幅の初期増幅率に対する平均粒径の振幅の初期増幅率の比