

# 水みちの変形と交互砂州の形成過程

## DEFORMATION OF MEANDERING STREAMS AND FORMATION OF ALTERNATE BARS

三輪 浩<sup>1</sup>・大同淳之<sup>2</sup>・横川 純<sup>3</sup>

Hiroshi MIWA, Atsuyuki DAIDO and Jun YOKOGAWA

<sup>1</sup>正会員 工博 舞鶴工業高等専門学校助教授 建設システム工学科 (〒625-8511 京都府舞鶴市白屋234)

<sup>2</sup>正会員 工博 東アジア技術事務所 (〒613-0905 京都市伏見区淀下津町129)

<sup>3</sup>正会員 伊根町役場 農林水産課 (〒626-0493 京都府与謝郡伊根町字平田493)

Re-formation process of alternate bars caused by the deformation of meandering streams which developed from alternate bars and effects of water discharge on it are investigated by means of flume tests using the uniform and the non-uniform sediment. Experimental results show that widening of meandering streams is caused by the erosion of emerged bars when the sediment supply rate is same as the sediment transport rate, whereas it is caused by both the erosion and the riverbed aggradation when the former is larger than the latter. Alternate bars are formed easily in the non-uniform sediment bed because the emerged bars in the bed are eroded easily than those in the uniform sediment bed. The bed with meandering streams is transformed into large-scale alternate bar bed by riverbed aggradation and low water discharge.

**Key Words :** *meandering streams, alternate bars, emerged bar, riverbed aggradation, wavelength and height, non-uniform sediment*

### 1. 緒 言

河道全体の土砂動態を把握し、適切な土砂管理を行うことは極めて重要であるが、これを行う際の着眼点の一つとして、河川上流からの流量や供給土砂の変化が下流の河道に及ぼす影響を明らかにすることが挙げられる。例えば、ダム等において適時行われる放流や排砂、また、ダム下流の河床低下対策としての土砂供給等によって下流河道がどのように変化するかを検討することは治水だけでなく、環境の面からも重要である。これは、近年の河道計画では植生や魚類等の生態系を確保・維持することが求められており、これに呼応して、多様な生物生息空間としての砂州の瀬や淵の効果に着目した研究<sup>1), 2)</sup>が進められていることとも関連している。したがって、上流からの水や土砂の供給条件に対する河道の応答特性を明らかにすることは、このような問題を検討するときの重要な知見となり得る。とくに、砂州河床は洪水時には治水が重要視され、平水時には浮州や蛇行流路（以下、本文では水みちと呼ぶ）の形成が河川環境面において重要視されるという特性を有しており、このような場を対象とした検討は重要であるといえる。

内島、早川<sup>3)</sup>は交互砂州が小流量時に変形し、水みちが形成される過程と局所洗掘の発達特性について検討している。湯城ら<sup>4)</sup>も同様の検討を行うとともに、水みち形成後の変動特性についても考察している。これらの研

究は主として流量条件の変化による河床の変動過程を見ようとしたものである。一方、道上ら<sup>5)</sup>は平坦河床からの水みちの発生・発達過程に関して、給砂の有無の影響を検討するとともに、数値シミュレーションによって現象の再現を試みている。また、著者ら<sup>6)</sup>は流量減少による交互砂州の変形と水みちの形成過程に及ぼす給砂の影響を検討し、淵の移動特性や蛇行波長の変化特性を考察している。

このように、比較的小流量時の水みちの形成やその変動に及ぼす流量や供給土砂量の変化に着目した研究はなされているものの、水みちが大流量時にどのように変動するかについてはあまり検討されていない。流路が固定化しているような水みちは河床低下をきたしていることが多いが、洪水規模が大きい場合には水みち自体が破壊される可能性がある。また、河床低下対策の一つに土砂の供給があるが、流量とのバランスによって河床上昇/低下が決まるため、水みちの変動も複雑になる。したがって、現時点ではある程度対象とする現象を限定し、流量や供給土砂量が及ぼす影響を検討する必要がある。

そこで、本研究では、ダム等からの放流や排砂、河床低下域への土砂供給等が行われたときの河道の応答特性を明らかにすることの一環として、交互砂州と水みちの關係に焦点を絞り、交互砂州から形成された水みちが、流量増加によって変形し、再び交互砂州が発達する過程に及ぼす流量の影響について検討する。まず、河床変動

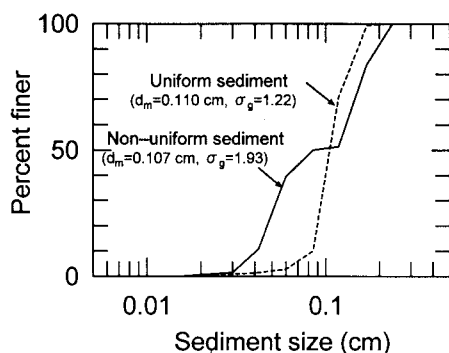


図-1 使用砂の粒度分布

過程を詳細に追跡し、浮州の減衰・消滅に伴う水みち幅の拡大と交互砂州の発達過程を明確にする。ついで、水みちと砂州の形状特性および淵の移動特性に及ぼす流量の影響について検討する。なお、実験は一樣砂河床と混合砂河床を対象として行い、両河床における現象を比較することによって混合砂の効果についても言及する。

## 2. 実験の概要

実験は長さ12m、幅0.2mの直線可変勾配水路を用いて行った。また、実験にはほぼ同一の平均粒径を有する一樣砂と混合砂を用いた。実験に使用した砂の粒度分布を図-1に示す。一樣砂は平均粒径 $d_m=0.110\text{cm}$ 、幾何標準偏差 $\sigma_g=1.22$ を有し、混合砂は $d_m=0.107\text{cm}$ 、 $\sigma_g=1.93$ を有する。なお、砂の比重はいずれも2.65である。

実験は、まず河床を平坦に敷き均し、河床勾配を1/60に設定、上流域の河床位を初期河床位に保つように給砂を行いながら通水し、交互砂州をほぼ平衡状態まで発達させた(以下、この過程をstage 1と呼ぶ)。ついで、流量を減少させ、給砂を行わずに約10時間通水して河床低下に伴う水みちを発達させた(stage 2)。これはダム の存在による流下土砂量の減少を想定したものである。両stageとも停水直前に水面計を用いて水路縦断方向20cm間隔で水面を測定し、停水後にレーザー変位計を用いて水路横断方向1cm間隔で河床面の縦断形状を測定した。なお、水路下流端から8.35mの位置を測定の原点( $x=0$ )とし、そこから下流側7.95mの範囲を測定対象とした。以上の手順で形成された水みちを初期河床として、4種類の流量を通水し、水みちが変形して交互砂州が発達する過程を追跡した(stage 3)。なお、給砂量はいずれの流量に対

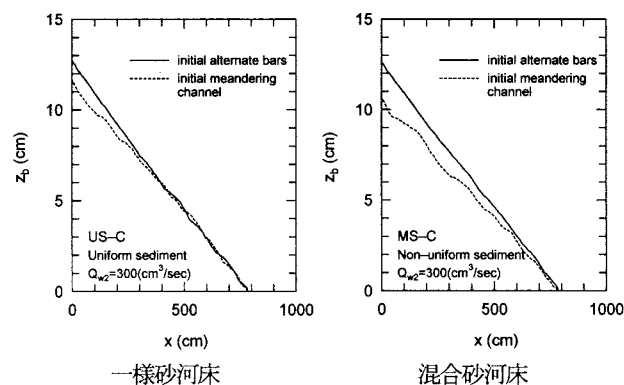


図-2 初期水みち河床の河床縦断形状

してもstage 1における平衡流砂量を与えたが、これは上流からの異常な土砂供給による河床の上昇と、stage 1の交互砂州への回復程度を見るためである。通水中は浮州の位置と概形および流砂方向のスケッチを随時行うとともに、水路下流端から流出する砂を5分間隔で約1分間採取して流砂量を測定した。所定の時刻に水面と河床面の測定を先と同様の方法で行った後、通水を再開した。実験は河床縦断形状がstage 1の最終状態に回復するまでは継続することとしたが、河床位の変化がない場合はこれを確認した後、実験を終了した。なお、本実験は、洪水時に形成された交互砂州から、平水時の流量低下と流下土砂量の減少によって形成された安定した水みちにおいて、再度洪水が発生した場合やダムからの放流や排砂、また河床低下域への土砂供給等が行われた場合を想定したものであり、上記の各stageはこれらに対応している。

実験条件を表-1に示す。なお、stage 1の給砂量は平衡状態のものである。

## 3. 交互砂州から発達した水みちの概要

stage 2で形成された水みちは本研究での着目過程であるstage 3の初期河床となるため、その概要について述べる。図-2はstage 1で形成された交互砂州河床とstage 2の水みちを有する河床の横断面平均河床位の縦断形状の例(US-C、MS-Cの実験より抽出)を示したものである。なお、河床位の基準は $x=795\text{cm}$ 地点の横断平均河床としている。同図より、一樣砂河床では水みちの形成に伴って $x=400\text{cm}$ 程度まで河床低下が及んでいることがわかる。一方、混合砂河床の場合は河床低下が水路下流まで及ん

表-1 実験条件

| Stage |     | 1                                  |                                  |                       |         |        | 2                                  |                                  | 3                                  |                                  |                       |         |        |
|-------|-----|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---------|--------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---------|--------|
| Case  | 河床砂 | 流量<br>( $\text{cm}^3/\text{sec}$ ) | 給砂量<br>( $\text{g}/\text{min}$ ) | 水深<br>( $\text{cm}$ ) | Froude数 | 無次元掃流力 | 流量<br>( $\text{cm}^3/\text{sec}$ ) | 給砂量<br>( $\text{g}/\text{min}$ ) | 流量<br>( $\text{cm}^3/\text{sec}$ ) | 給砂量<br>( $\text{g}/\text{min}$ ) | 水深<br>( $\text{cm}$ ) | Froude数 | 無次元掃流力 |
| US-A  | 一樣砂 | 800                                | 200                              | 1.14                  | 1.05    | 0.099  | 300                                | 0                                | 400                                | 200                              | 0.86                  | 0.80    | 0.081  |
| US-B  | 一樣砂 | 800                                | 200                              | 1.20                  | 0.97    | 0.105  | 300                                | 0                                | 500                                | 200                              | 0.95                  | 0.86    | 0.085  |
| US-C  | 一樣砂 | 800                                | 200                              | 1.18                  | 1.00    | 0.102  | 300                                | 0                                | 600                                | 200                              | 1.10                  | 0.83    | 0.094  |
| US-D  | 一樣砂 | 800                                | 200                              | 1.11                  | 1.09    | 0.097  | 300                                | 0                                | 800                                | 200                              | 1.15                  | 1.04    | 0.093  |
| MS-A  | 混合砂 | 800                                | 250                              | 1.15                  | 1.04    | 0.103  | 300                                | 0                                | 400                                | 250                              | 0.88                  | 0.77    | 0.078  |
| MS-B  | 混合砂 | 800                                | 250                              | 1.14                  | 1.05    | 0.101  | 300                                | 0                                | 500                                | 250                              | 0.99                  | 0.81    | 0.086  |
| MS-C  | 混合砂 | 800                                | 250                              | 1.10                  | 1.11    | 0.097  | 300                                | 0                                | 600                                | 250                              | 1.07                  | 0.87    | 0.091  |
| MS-D  | 混合砂 | 800                                | 250                              | 1.06                  | 1.17    | 0.093  | 300                                | 0                                | 800                                | 250                              | 1.18                  | 1.00    | 0.096  |

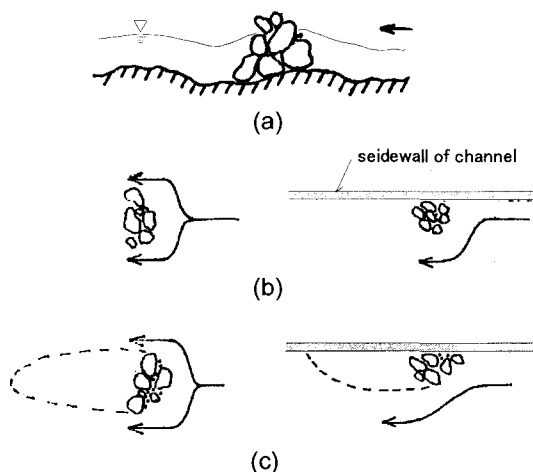


図-3 混合砂河床における浮州の形成過程

でいる。Stage 2での通水時間は一様砂、混合砂ともほぼ同じであることから、混合砂河床の方が河床変動は活発で、河床の侵食は速いといえる。

後述する図-5において、 $t=0\text{min}$ の河床形状はstage 2で形成された水みちである。一様砂河床では上流からの河床低下によって上流側では深く安定した水みちが形成され、また、河床低下が及んでいない下流側では水みちは浅く、変動し、これに伴って浮州は発生と消滅を繰り返すことが確認されている。一方、混合砂河床では一様砂河床よりも河床低下が顕著であるため、より下流まで安定した一本の水みちが形成されている。また、混合砂河床における浮州は砂粒子の分級の影響を受けて形成されている。図-3はこれを模式的に表したものである。すなわち、流れが射流となる箇所では反砂堆が形成され、これによる掃流力の不均一によって峰付近に粗砂が堆積する(a)。流水は粗砂の堆積帯を避けるように流れ、堆積帯は浮州化する(b)。粗砂による堆積帯の下流側周辺は掃流力が低下するため砂は堆積しやすくなるが、粗砂はこの堆積帯付近に堆積し、細砂はこれより下流側まで流送されて堆積する。これによって浮州は規模を増大するとともに、より安定したものに発達する(c)。実験では個々の浮州の上流側は粗砂が多く堆積し、これより下流側には細砂が多く堆積している状況が観察された。このようにして形成された浮州は比較的安定しており、また、発生と消滅を繰り返した場合でもその周期は一様砂河床の場合より長い傾向にあることが確認されている。

#### 4. 水みちの変形と交互砂州の発達過程

本研究ではstage 3において4種類の流量条件で実験を行っているが、本文ではこの内、最小流量と最大流量を通水した結果について述べることにする。

図-4は横断面平均河床位の縦断形状を示したものである。図中、一点鎖線は浮州がほぼ消滅した時点での縦断形状を示し、二点差線は実験終了時点での縦断形状を示している。まず、一様砂河床の場合を見ると、小流量のCase US-Aでは、上流側から順次河床が上昇し、110分ではほぼstage 1で形成された初期交互砂州河床の河床位

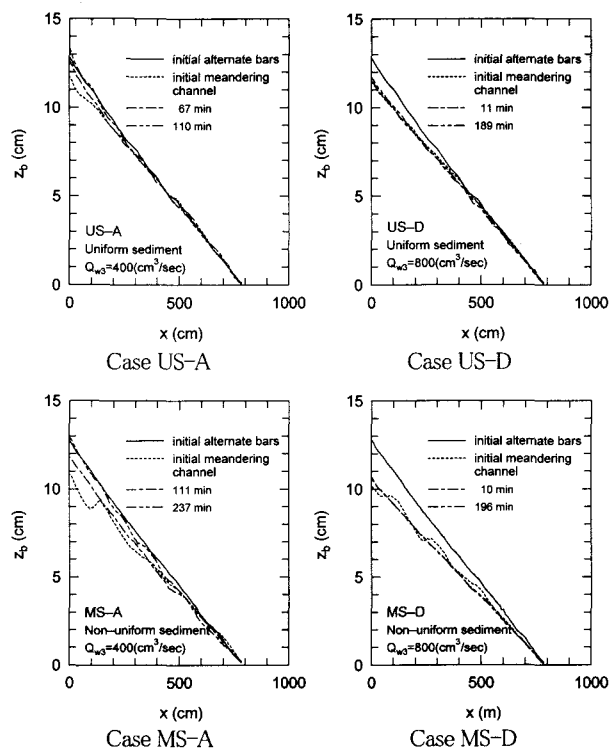


図-4 河床縦断形状の時間変化

まで回復していることがわかる。ただし、河床上昇が及んでいるのは $x=400\text{cm}$ 程度までで、これよりも下流では河床位の変化はほとんど認められない。このケースでは全通水期間にわたって水路下流端からの流出砂量は給砂量を下回っており、両者の差はこの河床上昇に使われている。したがって、流路における土砂の輸送能力を超える給砂によって河床が上昇し、水みちから交互砂州への変化がこの影響を受けているといえる。一方、大流量のCase US-Dを見ると、河床の変化はほとんど認められない。流出砂量は全通水期間を通じて変動するものの平均的には給砂量とほぼ釣り合っており、初期水みちを有する河床の縦断勾配が保たれている。つぎに、混合砂河床の場合を見ると、小流量のCase MS-Aでは、浮州が消滅する111分を経て、237分時点ではおおむね初期交互砂州河床の河床位まで回復している。一様砂河床の場合と同様、このケースでも流路における土砂の輸送能力を超える給砂量によって河床が上昇し、水みちから交互砂州への変化がこの影響を受けているといえる。一方、大流量のCase MS-Dでは給砂量よりも流出砂量の方が若干大きい時もあったが、全体的にはおおむね初期水みちを有する河床の縦断勾配が維持されている。

図-5は河床形状と流砂方向の時間変化を示したものである。河床形状はstage 1で形成された交互砂州の平均河床位を基準としてそこからの偏差で表しており、色が濃い位ほど低位である。また、実線で囲まれた部分は浮州であり、矢線は通水中のスケッチから得られた流砂の向きを示している。まず、一様砂河床について見ると、小流量のCase US-Aの場合は、上流側の深く安定した水みちを形成している浮州はその上流側から徐々に規模が小さくなり、これに伴って水みち幅が拡大することがわかる。このケースでは図-4に示したように、水路上流側で

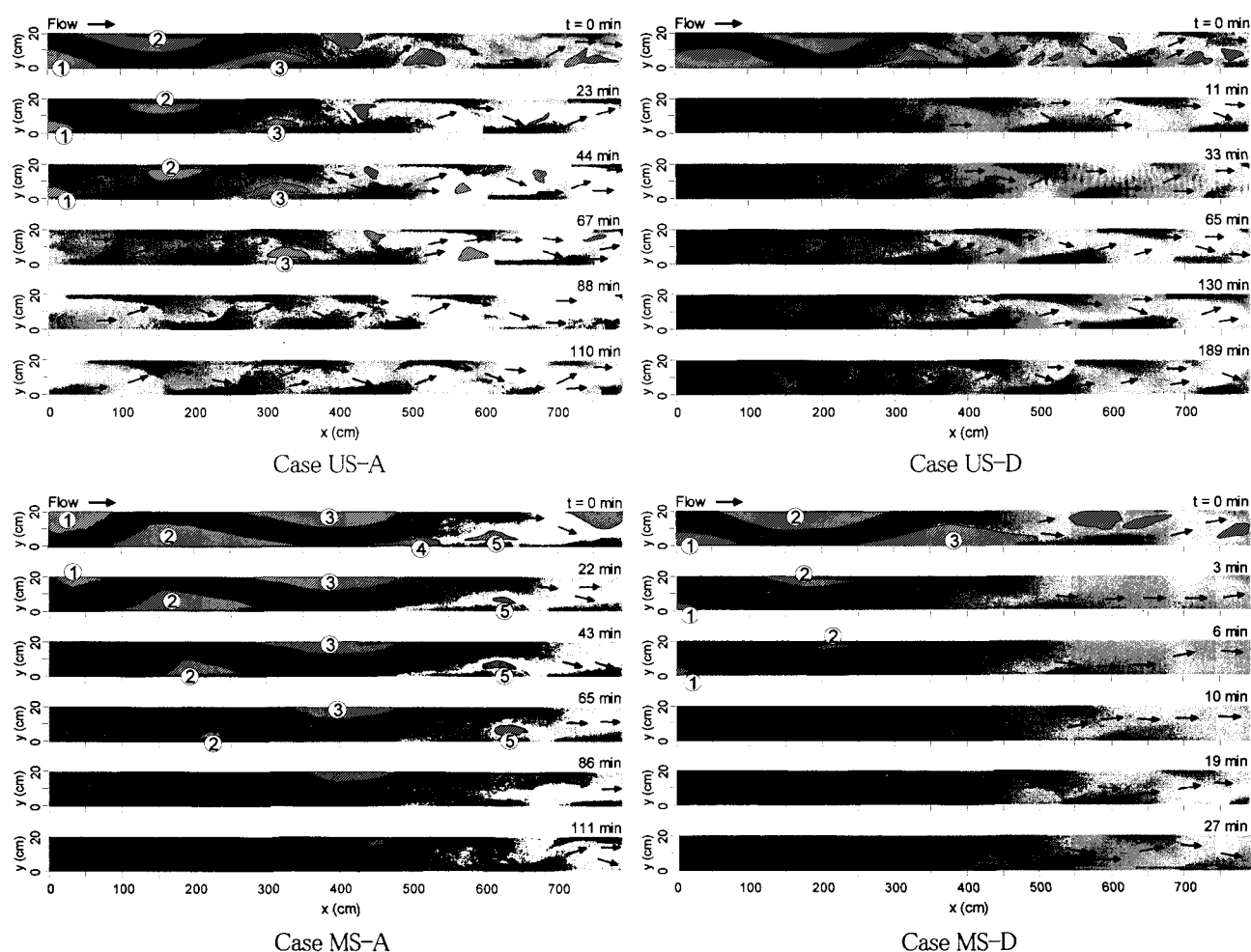


図-5 河床形状と流砂方向の時間変化

は河床が上昇していることから、浮州の減衰・消滅には水みちの埋め戻しが作用しているといえる。また、実験の観察では浮州が流水による侵食を受けている様子も確認されており、これも浮州の減衰・消滅に寄与している。したがって、水みち幅の拡大には水みちの埋め戻しと浮州の侵食の両者が関係しているといえる。通水開始後23分には $x=130\text{cm}$ 付近の右岸側に砂州前縁の形成が認められる。これは左岸に形成された浮州②の減衰に伴うものである。さて、44分では上記の砂州前縁は一旦不明瞭となるが、浮州②が消滅した67分では淵の位置が下流( $x=220\text{cm}$ 付近)へ移動し、比較的明瞭な砂州が形成されていることがわかる。より明確な状況は67分の $x=300\text{cm}$ 付近に形成された砂州の追跡によって確認できる。すなわち、この砂州は44分における浮州③の減衰に伴って形成されたものであり、この浮州が消滅した88分では砂州はほぼ同じ位置に止まっているものの、その後は発達しながら下流へ移動していることがわかる。このように、水路上流側では浮州の減衰に伴って水みちに砂州が形成され始め、また、浮州が消滅するまでは淵の位置はほとんど移動しないものの、浮州が消滅すると砂州は発達しながら下流に移動する。一方、水路下流側では上流側に先行して交互砂州が発達しており、通水開始後23分で既に交互砂州の様相を呈していることがわかる。これは、浮州は水面から数粒径程度しか露出しておらず

容易に水没するためである。一方、大流量のCase US-Dの場合は河床変動が速く、通水開始後11分時点で浮州は既に消滅してしまったため、浮州の減衰・消滅に伴う水みち幅の拡大過程やその際の砂州の形成状況を測定することはできなかった。しかし、実験の観察では基本的には小流量の場合と同様の状況であった。図-4に示したように、通水期間を通じて河床の変化は認められないことから、水みち幅の拡大は主として浮州の侵食によって促進されたものであると考えられる。

一方、混合砂河床について見ると、小流量のCase MS-Aの場合は、全般的には浮州の減衰に伴って水みち幅が拡大、そこに砂州前縁が形成され、浮州の消滅後は交互砂州として発達するという過程を示している。すなわち、通水開始後22分には浮州①と浮州②の減衰によってこの間の水みち幅が拡大し、砂州前縁の形成が認められる。43分ではかなり明瞭な砂州に発達するとともに、 $x=300\text{cm}$ 付近に新たな砂州前縁が形成されている。65分では浮州②の減衰がさらに進行し、 $x=200\sim 350\text{cm}$ の範囲では水みち幅がさらに拡大して交互砂州が形成されていることがわかる。一樣砂河床の小流量時と同様、このケースでも浮州の減衰・消滅は水みちの埋め戻しと浮州の侵食によって行われ、これに伴って水みち幅が拡大しているが、混合砂河床の場合は浮州の減衰過程に一樣砂河床と相違が見られる。すなわち、一樣砂河床では浮州

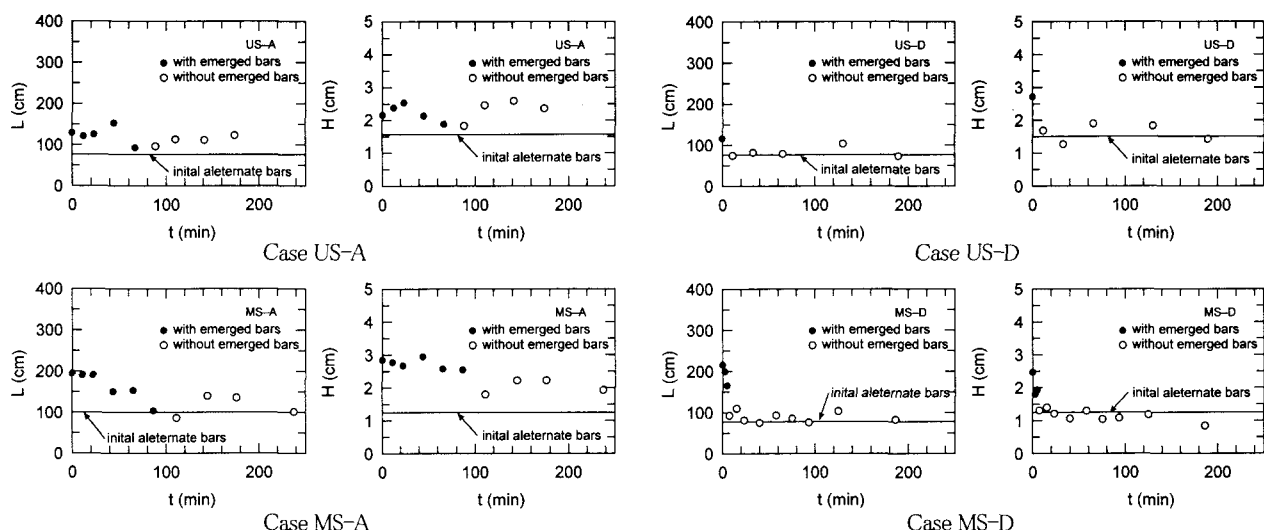


図-6 水みちと交互砂州の波長と波高の時間変化

は主としてその上流部から順次減衰しているのに対して、浮州②に見られるように、下流側に浮州（③）がある場合には混合砂河床では下流部も同時に減衰している。前節で示したように、混合砂河床における浮州の上流部は主として粗砂を多く含み、下流部は細砂を多く含んでいる。このため、下流部は侵食されやすい傾向にある。浮州の下流対岸側に別の浮州が存在する場合には、これが当該浮州下流部側に寄る流れを作り、これによって浮州の下流部が侵食される。したがって、混合砂河床の場合は砂州の形成に要する水みち幅の確保がより容易に行われることに加え、粗砂の堆積による砂州前縁が形成されやすいため、砂州は発達しやすいと考えられる。一方、 $x=500\text{cm}$ 付近より下流側では浮州⑤を含む水面下の砂州が比較的安定で、交互砂州の形成が認められるのはこの浮州が消滅した86分以降である。つぎに、大流量のCase MS-Dの場合は浮州の減衰・消滅が速く、通水開始後3分時点で既に浮州①と浮州②を残すのみとなっている。また、浮州②の減衰による水みち幅の拡大に伴って $x=150\text{cm}$ 付近に砂州の前縁が形成されている。また、この前縁は浮州②の減衰・消滅に伴って下流に移動しながら発達していることが認められる。このような水路上流側の状況に対して、下流側では10分時点で交互砂州が形成され始めており、その後これが発達することがわかる。このケースでは通水期間を通じて上流側の河床位の変化はほとんどないことから、浮州の減衰・消滅とこれに伴う水みち幅の拡大は、一様砂河床の大流量時と同様、主として浮州の侵食のみによって行われているといえる。

以上のように、水みちから交互砂州への変化は、まず、浮州の減衰に伴う水みち幅の拡大によって砂州が発生し、ついで、浮州の消滅後に砂州は移動しながら発達するという2つの過程から成っていることがわかる。また、浮州の減衰・消滅とこれに伴う水みち幅の拡大は、小流量時に給砂量が砂の輸送能力を超え、河床が上昇する場合は水みちの埋め戻しと浮州の侵食によって行われるが、大流量時に流量と給砂量の均衡がとれていて、河床が上昇/低下しない場合は主として浮州の侵食のみによって行われることが示された。

## 5. 水みちと交互砂州の形状特性

図-6は水みちから交互砂州への変化過程における波長と波高の平均値の時間変化を示したものである。ただし、stage 2の最終段階で河床低下が及んでいる区間を対象とした。なお、波長は対岸にある直近の深掘れ部の縦断間隔として求め、波高は一波長内での最深河床を含む最高河床高と最深河床の差として求めた。また、図中にはstage 1で形成された初期交互砂州の波長および波高の平均値を直線で示すとともに、浮州が存在するときの波長と波高は●記号で、浮州が消滅した後のそれらは○記号で表している。

まず、一様砂河床の場合についてみると、通水開始直後はstage 2で形成された深く安定した水みちのため波長、波高とも比較的大きな値を示している。浮州の減衰と水みち幅の拡大に伴ってこれらは徐々に減少する傾向にあるが、小流量のCase US-Aでは通水開始後数十分の間は波長、波高は顕著に変化せず、比較的安定していることがわかる。これは、波長を規定する深掘れ間隔が浮州の減衰によってもある程度維持されること、および浮州がある程度減衰するまでは深掘れ部はその対岸側に存在する傾向にあるため、波高も維持されることに起因していると考えられる。大流量のCase US-Dでは通水直後から急速に浮州が減衰・消滅したため、小流量の場合のような波長、波高の維持傾向は確認できない。また、Case US-Aでは浮州の消滅後から波長、波高は徐々に増加している。これは浮州の減衰が進行し、水みち幅の拡大が進むとそこに砂州が形成され始め、浮州が消滅した区間では砂州が発達するためであり、最終的には波長、波高とも初期交互砂州よりも大きい値を示す。Case US-Dの場合は水みち幅の拡大過程における砂州の形成を確認することができなかったが、浮州消滅後の砂州の発達は大流量の場合よりも抑制されており、おおむね初期交互砂州と同程度である。一方、混合砂河床の場合、stage 2で形成された水みちは一様砂河床よりもかなり深く、長い蛇行波長を有しているため、通水初期の波長、波高は大きな値を示す。基本的には一様砂河床と同様の傾向

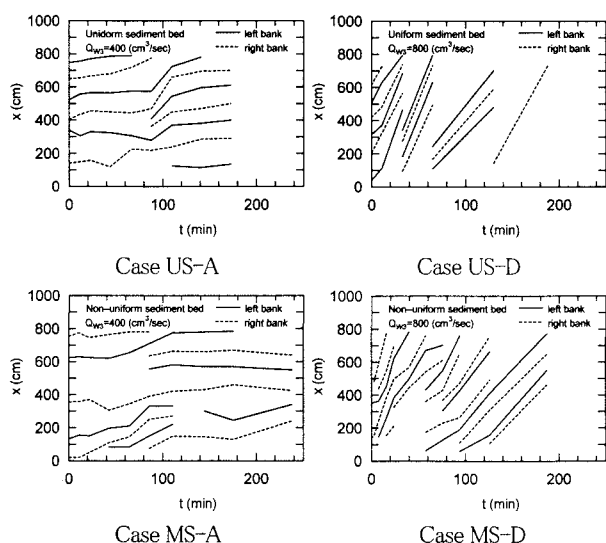


図-7 淵の移動状況

であるといえる。ただし、小流量のCase MS-Aにおける波高は浮州の消滅後も比較的大きな値で推移しており、浮州減衰の比較的早い段階から砂州が形成されたことによるものであると推察される。また、この場合も交互砂州の波長、波高は小流量では初期交互砂州よりも大きく、大流量では同程度となっている。以上の結果から、輸送能力を超える給砂を与えることによる河床上昇と小流量によって、より規模の大きい交互砂州が形成されることがわかる。著者らがほぼ同じ条件で行った実験<sup>7)</sup>によると、安定な交互砂州の波長、波高は小流量時の方が大流量時よりも大きく、水深に反比例する結果になった。このことから、本実験においても小流量時に初期交互砂州よりも大きな規模になったと考えられる。

## 6. 淵の移動特性

図-7は水みちから交互砂州河床への変化過程における淵の移動を追跡したものである。まず、一樣砂河床の場合を見ると、小流量のCase US-Aでは通水開始後、淵はあまり移動しない。これは淵の対岸には浮州が存在しているため、これが消滅するまでは淵はおおむね固定される傾向にある。しかし、大流量のCase US-Dでは浮州の減衰・消滅過程を明確に追跡することができなかったため、淵の固定化現象は図に現れていない。Case US-Aの結果から、浮州の減衰・消滅に伴って砂州が形成されると、淵は移動を開始し、砂州の形成直後は淵の移動速度は大きい、砂州が発達して交互砂州河床となると、淵はおおむね一定速度で下流へ移動するようになることがわかる。一方、混合砂河床についても一樣砂河床と同様の傾向を示しているといえる。ただし、両河床とも小流量時は交互砂州形成後の淵の移動は必ずしも小さくなく、また、固定化の傾向を示しているものもある。淵の固定化には給砂と流量が密接に関係していると考えられ、今後、固定化の条件について検討する必要がある。また、淵の固定化は生態系の保持にも影響を及ぼすため、その条件の明確化は河川環境の面からも重要である。

## 7. 結 言

本研究では、交互砂州河床から河床低下を伴って形成された水みちを有する河床を対象として、これが変形して交互砂州が再発達する過程とこれに及ぼす流量の影響について検討した。また、混合砂がこの過程に及ぼす効果についても考察を加えた。本研究で得られた結果を以下に要約する。

- (1) 浮州の減衰・消滅とこれに伴う水みち幅の拡大は、流量と給砂量の均衡がとれている場合には流水による浮州の侵食によって行われるが、給砂量が輸送能力を超える場合には河床上昇に伴う水みちの埋め戻しと浮州の侵食の両者によって行われる。
- (2) 一樣砂河床では浮州は上流部から減衰するのに対して、混合砂河床では下流部からも同時に減衰する。したがって、混合砂河床では砂州の形成に要する水みち幅の確保が容易であるとともに、粗砂による前縁線の形成によって砂州は発達しやすい。
- (3) 波長、波高が水深に反比例する条件下においては、輸送能力を超える給砂を与えることによる河床上昇と小流量によって、水みちから形成される交互砂州は初期交互砂州より規模が大きくなる。
- (4) 淵の対岸に浮州がある場合はその浮州が侵食され、消滅するまで淵の移動は緩慢であり、とくに小流量の場合には停止する傾向がある。しかし、浮州の消滅に伴って砂州が形成されると、淵の移動は活発になる。ただし、小流量の場合は交互砂州形成後の淵の移動は必ずしも小さくなく、固定化の傾向を示しているものもある。

謝辞：本研究は日本学術振興会科学研究費基盤研究(C)（課題番号：12650522，研究代表者：三輪 浩）の補助を受けて行われた。記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 田代 喬，辻本哲郎：河床擾乱頻度を指標とした生息場評価による瀬・淵構造の変質に関する考察，水工学論文集，第46巻，pp.1151-1156，2002。
- 2) 佐々木学，知花武佳，辻本哲郎：礫構造に着目した砂州水際の物理特性に関する研究，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，第II部門，pp.395-396，2003。
- 3) 内島邦秀，早川 博：流量が減少した場合の交互砂州の変形特性，第31回水理講演会論文集，pp.683-688，1987。
- 4) 湯城豊勝，芦田和男，江頭進治，岡部健士：低水路の形成と変動機構，水工学論文集，第36巻，pp.78-80，1992。
- 5) 道上正規，藤田正治，日下部重幸：水みちの発生・発達過程の実験とシミュレーション，水工学論文集，第39巻，pp.613-618，1995。
- 6) 三輪 浩，横川 純：交互砂州の変形と水みちの形成に及ぼす給砂の影響，舞鶴工業高等専門学校紀要，第38号，pp.89-100，2003。
- 7) 三輪 浩，横川 純，奥野敏也，中澤文也：交互砂州河床の変動に及ぼす流量および給砂量の影響，第58回土木学会年次学術講演会講演概要集II，pp.325-326，2003。

(2003.9.30 受付)