

東京工業大学 正員 福岡 捷二
 建設省中部地建 正員 五十嵐 崇博
 日本下水道事業団 正員 久米 正浩

1. はじめに 河床材料が混合粒径からなる場合には、流量変化に対応して河床砂の選択的輸送が起こる。このため、混合粒径河床上の交互砂州は均一粒径砂の場合と異なる変形特性を示すことが予想される。本研究は、非定常流で混合粒径河床材料を用い交互砂州の変形機構を調べ、砂州上の粒度分布との関係で考察する。

2. 実験の概要 実験には水路幅(B)0.2m, 長さ12m, 勾配1/100の水路を用いた。使用砂は、図-1に示す3種類で、一樣粒径のA砂と混合粒径のB砂、C砂である。B砂とC砂はそれぞれ0.59mmと1.2mm および0.71mmと1.2mmを境にして、ほぼ3つの粒径集団に分けることができる。水路上流端で流出土砂量に等しい量を給砂する。混合粒径砂を用いた実験では、流出土砂の粒度分布に等しい粒度分布をもつ砂を給砂する。

3. 定常流れにおける交互砂州 最初に、定常流での交互砂州について調べる。図-2では、一樣粒径と混合粒径河床材料について一定流量での交互砂州の波長 L と波高 H を B/h_0 に対してプロットしている。ここに、 h_0 は平均水深である。この図より、混合粒径砂では $B/h_0 \approx 12$ を境として波長、波高とも急変することがわかる。すなわち、 $B/h_0 > 12$ では、混合粒径砂、一樣粒径砂とも交互砂州は $L/B \approx 10$, $H/d \approx 22$ のほぼ同じ形状特性をもつ。 $B/h_0 < 12$ では、本実験範囲では、一樣粒径砂の場合には交互砂州は発生せず、河床液が形成される。一方、混合粒径砂では、交互砂州の平面形状を保ち、 $L/B \approx 5$ と波長が短く、 $H/d \approx 7$ と波高も小さい河床形態が生じる。

波長および波形勾配が小さいため、この上の流れの蛇行性は弱い。このような交互砂州を村本¹⁾は短対角州と名付け、通常の交互砂州と区別している。図-3(a)は、 $B/h_0 = 14.3$ の条件で形成される一樣粒径砂と混合粒径砂の交互砂州の波長、波高の時間変化を示す。混合粒径河床においては、河床表面の粗い砂は細かい砂よりも動きやすく、かつ流砂の非平衡性が大きいため、交互砂州の発達速度および波高は一樣粒径砂の場合より大きい。図-3(b), (c)は、砂州の発達にともなうサンプリング地点(①, ②)の粒度分布の変化を3つの粒径集団について調べ、河床砂に占めるそれぞれの割合を示したものである。砂州が形成され始めると、流れの集中する瀬の部分(図-3(b)の①)で、粗い砂が多く流れ、その部分の粒度組成は徐々に細くなる(同(b))。一方、瀬の部分から運び出された粗い砂は、流れの作用で砂州前縁に堆積する傾向にあるため、前縁付近の粒度組成は徐々に粗くなる(同(c))。十分発達してしまうと、その後の粒度組成はそれぞれの場所ではほぼ一定となる。このように混合粒径砂の場合、砂州上の水流の集中と発散により粒度のふり分けと選択的輸送が著しくなる。

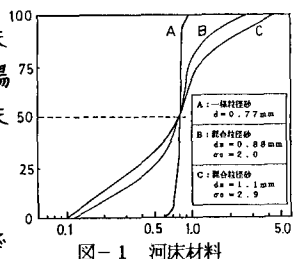


図-1 河床材料

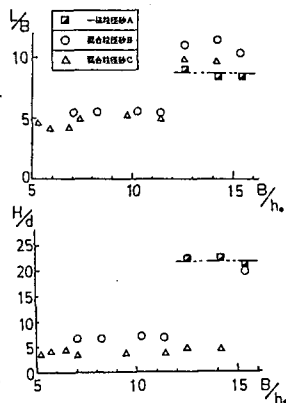
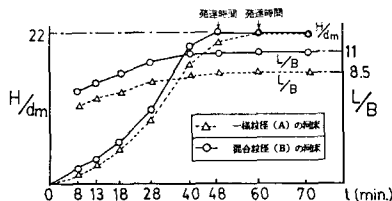
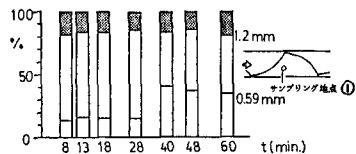


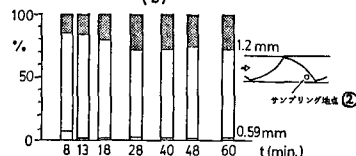
図-2 河床材料が異なる場合の交互砂州の波長と波高



(a)



(b)



(c)

図-3 定常流での交互砂州の波長、波高と粒度分布の時間変化

図-4(a),(b)は、 $B/h_0=11.8$ の波長と波高および代表的地点の粒度分布の時間変化を示す。前述のように、一様粒径砂の場合、この水理条件では交互砂州は形成されないが、混合粒径砂の場合には波長の短い交互砂州が形成される。このような波長の短い砂州が形成されるとき、砂州の発達過程においては流砂運動が活発であり、砂州上の粒度分布は図-4(b)に示すように時間的にほとんど変化しない。

4. 非定常流れにおける交互砂州 非定常流れでは、流量の変化範囲によっては、 $B/h_0=12$ よりも大きい場合も小さい場合も起こる。定常流の結果から類推して $B/h_0=12$ 付近で交互砂州の波長、波高は急激に変化すると考えられる。用いたハイドログラフは最大流量 $q_{max}=80\text{ cm}^3/\text{s}$ 、周期 $T=100$ 分の正弦波である。図-5(a),(b)は、B砂において形成された砂州の波長および前縁付近での粒度の時間変化を示す。横軸は時間も周期 T で無次元化している。実験は $q=40\text{ cm}^3/\text{s}$ の条件で、十分発達した交互砂州を形成させてから非定常流を与え、砂州の変形を追跡した。流量が次第に増加すると、当初存在していた砂州の前縁には粗い粒径集団の砂が堆積しにくくなる。すなわち、図-5(b)のサンプリング地点の河床に占める 1.2 mm 以上の砂の割合が減少し、砂州波長は徐々に縮小する。逆に、流量が減少すると、粗い粒径集団の砂がしだいに砂州前縁に堆積するようになり、砂州は波長を伸ばす。図-5(a)においては、最大流量時をはさむ増水時と減水時の時間帯 ($0.3 < \tau/T < 0.8$) では、波長の短い砂州(短対角州)が水路全体に連なり、その他の時間では、波長の長い砂州が水路を占めている。波長が不連続となる流量では、 B/h_0 は 11.8 で、この値は一定流量で混合粒径の短対角州が現われた B/h_0 とほぼ同じである。波長が不連続となる境界では、波長の長い砂州と短い砂州が影響を及ぼし合い、消滅・合体・分裂が生じる。以下に、減水期 ($\tau/T > 0.8$) の波長の不連続時を例にとり交互砂州の消滅・合体の機構を説明する。流量の減少に伴って、上流側に波長の長い砂州が形成されると、その砂州前縁上に粗い粒径の砂が堆積するため、下流側の砂州前縁(A)には砂が堆積できなくなる。そのため、図-6(e)に示すように、(A)地点の粒度分布は細くなり、(A)前縁長は縮小する(同(b))。上流側の砂州が安定な砂州に移行して始めて、粗い粒径集団の砂が(A)地点に堆積し始め、(A)地点の粒度分布は粗くなり(同(e))、砂州(A)は波長を伸ばし始める。しかし、この砂州が波長を伸ばしている段階では、(B)前縁での流砂の堆積は少ないため(B)地点の粒度分布は細くなる(同(f))。このため、(B)前縁波長は減少し、やがて消滅する(同(c))。同じ向きをもつ2つの砂州前縁が近接すると、上流側の砂州前縁に流砂が堆積し、下流側の砂州には流砂の供給が少なくなる。そのため、下流側の砂州の移動は遅くなり、上流側の砂州に追いつかれ、合体する(同(d))。

5. あとがき 混合粒径砂の場合には、流量が時間的に変化しても粒径集団ごとに移動限界や停止限界が異なるため、各流量に対応して砂の移動や停止がおこる。このため、一様粒径砂よりも広い範囲に波長や波高を変化させることができる。【参考文献】1)村本嘉雄・藤田裕一郎:第22回水理講演会論文集, 1978。

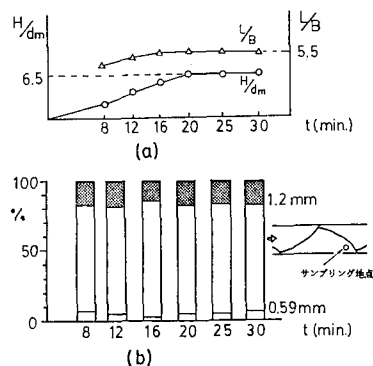


図-4 定常流での単対角州の波長、波高と粒度分布の時間変化

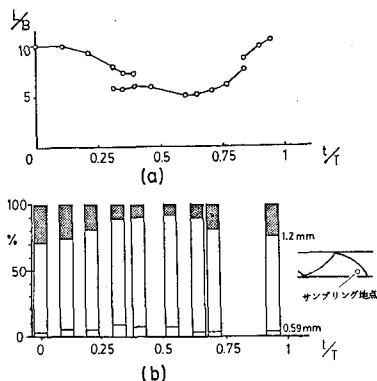


図-5 非定常流での交互砂州の波長、波高と粒度分布の時間変化

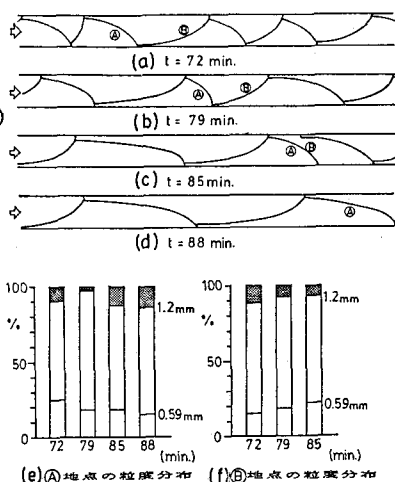


図-6 減水期における波長の長い砂州の消滅、合体