

舞鶴工業高等専門学校 ○三輪 浩
 ” 川合 茂
 建設省 立山砂防工事事務所 清野雅雄
 (財)砂防・地すべり技術センター 安養寺信夫
 ” 宮本邦明

1. はじめに 山地部の河川における流砂は、中・下流部に比べ粒度範囲が広く、河道において分級・分散される。その流砂現象の特徴は、アーマーコート形成・破壊とそれに伴う河床形態の変化・変形、流路変動などに見られる。このような特徴をもつ急流河川の流砂量を的確に把握することは、砂防計画や河道計画の策定上重要である。

周知の通り流砂量は河床波の挙動と密接に関係している。また、急流部の河床においても、中・下流部のように交互砂州の形成が見られる。このことから急流河川における流砂現象を明らかにするには交互砂州の挙動と流砂量の関係を知る必要がある。

従来より、交互砂州に関する研究は数多く行われ、かなり明らかにされている。しかし、それは一様な河床材料を用いた緩勾配水路によるものが主であり、急勾配を対象としたものは少ないようである。そこで本研究では、広い粒度分布を有する山地河川交互砂州の挙動と流砂量との関係を明らかにする第一歩として、急勾配水路において一様砂を用いた実験を行い、若干の検討を行ったものである。

2. 実験概要 実験に用いた水路は、全長14.4m、幅50cm、深さ50cmの長方形断面を有する鋼製直線水路である。水路下流端には、両側壁から5cmの位置および中央の3ヶ所に幅3cmのトラップが設置され、流量、流砂量の横断分布が測定できるようになっている。ま

表-1 実験条件

流量 Q(1/sec)	水深 h(cm)	エネルギー勾配 Ie	Fr数 Fr	摩擦速度 u _{*c} (cm/sec)
7.4	1.67	0.033	2.05	7.1

た、河床材料には比重 $\sigma = 2.58$ 、平均粒径 $d_m = 1.7\text{mm}$ のほぼ均一な砂を使用した。

実験条件は表-1のようで、交互砂州が形成されるように、勾配 $i = 1/30$ 、流量 $Q = 7.4\text{ l/sec}$ とされた。実験は、砂州の形状、移動速度および流砂量に着目して行われ、砂州が十分に発達したと思われる時点より、水位、河床形状、流砂量を測定した。なお、河床形状の測定は、停水して行われた。流砂量測定は一砂州長分の流砂量を捕捉するとともに、任意の位相における断面流砂量が測定された。また、流量、流砂量と砂州の横断形状との関連性を知るため、上述のトラップにより、任意の位相における流量と流砂量を採取した。

なお、実験中の平均流砂量の時間的な変動はほとんどなく、種々の流砂量式と比較すると、図-1のように芦田・道上式との適合性が良い。

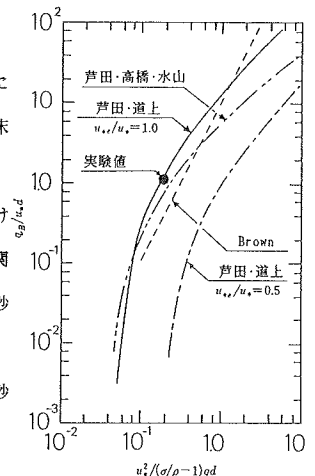


図-1 流砂量式と実験値との比較

3. 実験結果

3. 1 砂州の形状特性 図-2は砂州の平面形状(a)および水路中心線と深掘れ部の2測線に沿った縦

断形状 (b) を示したものである。いづれの図も比較のために、本実験とほぼ同じ粒径の砂を用いた福岡・内島ら¹⁾の緩勾配水路における実験結果が示されている。まず、平面形状を見ると両者の結果はほぼ同じで、相似形を示しており、実験条件による差はみられない。また、縦断形状も最深部および最高部は、いづれも砂州先端

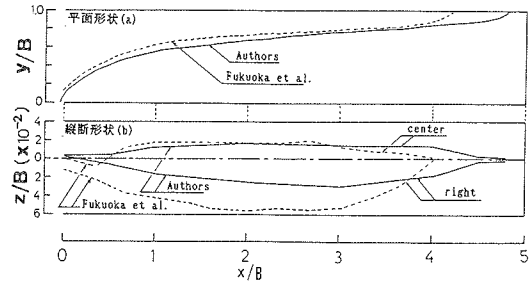


図-2 交互砂州の平面形状(a)と縦断形状(b)

より砂州長の0.25~0.3倍程度の位置にあり、その形状の变化は同じ傾向を示している。ところが、同図より得られる波高は福岡・内島らの実験結果よりも小さくなっている。

これは、本実験がより急勾配であることから、この影響とも考えられる。しかし、これらの結果は、村本・藤田²⁾が幅水深比(B/h)に着目して整理した従来のデータのばらつきの範囲に入っており、勾配の影響は明かではない。

さて、本実験での波長(2砂州長) L_s および波高 Z_s は、 $L_s \approx 9$ 、 $Z_s \approx 0.06$ となり、村本・藤田²⁾や池田³⁾が整理した従来の結果の範囲に入る。表-2は従来より提案されている波長、波高の推定式^{3),4)}による計算値と本実験結果とを比較したものである。いづれの計算値も実験値と比較的良好一致している。以上のことより、急勾配水路において形成される交互砂州においてもその形状特性は緩勾配の場合と同じ傾向を示すと思われる。

3. 2 砂州の進行にともなう流砂量の変化 図-3は砂州の位相 x/L_s による断面流砂量 q_{sT} 'の変化を砂州1波長にわたって調べたものである。 q_{sT} 'は平均流砂量 q_s を基準にしている。流砂量は砂州の位相によって周期的に変化し、その周期は砂州の半周期に等しく、変動幅は平均流砂量の0.6~1.5倍である。また、流砂量のピークは $x/L_s = 0.25$ および0.75付近に現れる。この位置は、最大波高が現れる位相に一致している。このように、断面流砂量の変化は砂州の形状特性を良く反映しているといえる。

図-4は水路下流端の3ヶ所(水路中央および両側壁近傍)に設置したトラップで採取した流砂量 q_{sT} の砂州の位相による変化を示したものである。 q_{sT} も平均流砂量 q_s を基準として表されている。いづれの横断位置においても流砂量は周期的な変動を示し、その変動周期は両側壁近傍では砂

表-2 波長・波高の推定式による実験値と計算値の比較

	実験値	計算値	
波長(L_s/B)	9	12	池田 ³⁾
波高(Z_s/B)	0.06	0.023	藤田 ⁴⁾
		0.072	池田 ³⁾

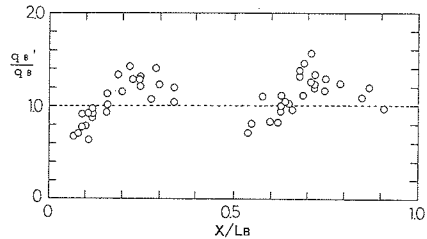
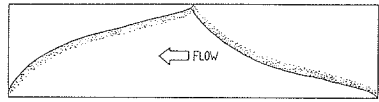


図-3 交互砂州の位相による断面流砂量の変化

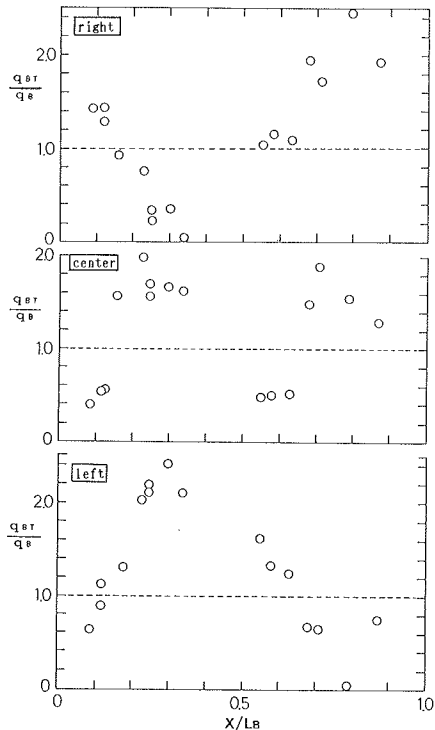


図-4 横断位置による流砂量の変化

川の1周期に、水路中央部では半周期に等しい。

また、同図よりわかるように、左右の側壁近傍では逆の位相になっている。一方、中央部は両側壁の流砂量変化を包絡する形で変化する。図-5は流砂採取位置における縦断方向の河床形状を示したものである。流砂量の変化と比較すると、両者はその増減の傾向が良く一致しており、流砂量の周期的な変動が河床形状に対応していることがわかる。

図-6は上記の流砂量と同様に、流量 q_{wr} の変化を示している。ただし、 q_{wr} は単位幅流量が基準になっている。図-4との比較から流量と流砂量との対応関係をみると、流量変動の周期は流砂量と同じであるが、両者は逆位相になっている。つまり、流砂量の多いクレスト部では流量は少なく、流砂量の少ないトラフ部では多くなる傾向がある。

以上のように、砂州の移動にともなう流砂量および流量の変化は、砂州の形状特性と良く対応しており、砂州の位相によって周期的に変化することがわかる。

3.3 砂州の移動速度と流砂量 前述したように、砂州河床における流砂量の変化は砂州の形状に左右され、また、従来から指摘されているように移動速度とも密接に関係している。したがって、これらの間の関係を明らかにすることは流砂現象を把握するうえで重要なことである。

福岡・内島ら¹⁾は流砂量 q_s と波高 z_s 、移動速度 v_s の間の関係を次式のように表している。

$$q_s = 1/\pi \cdot (1-\lambda) \cdot z_s \cdot v_s \quad \dots 1)$$

ここに、 λ は空隙率である。また、砂州の移動速度は(1)式に流砂量式を用いて求めている。そこで、この方法に従い、実験結果を検討してみる。

図-7は(1)式で求めた計算値と実験値とを比較したものであり、両者はおおむね一致している。一方、流砂量式として芦田・道上式を用いると、砂州の移動速度は

$$v_s = 17/(1-\lambda) \cdot (d/z_s) \cdot \tau_* \cdot u_* (1-\tau_{*c}/\tau_*) \cdot (1-u_{*c}/u_*) \quad \dots 2)$$

となる。上式に本実験条件を代入すると、移動速度は $v_s = 2.4 \text{ cm/sec}$ となり、実測値 $v_s = 2.5 \text{ cm/sec}$ とほぼ一致する。以上のことより、砂州の移動速度と波高は深く関わっていると思われる。

ところで、図-8は移動速度と河床勾配との関係を調べたものである。勾配の増加につれて移動速度も増加する傾向がみられる。このことは黒木・岸⁵⁾が安定解析によって得た結果と一致している。すると、上述の関係から波高も勾配の影響を受けることが期待される。しかし、3.1で述べたように、この関係は明かではない。さらに検討してゆく必要がある。

4. むすび 広範囲な粒度分布特性をもつ山地部の河川における流砂現象を把握する第一歩として、急勾配水路における交互砂州の諸特性と流砂量について、一様砂を用いて実験を行い、従来の

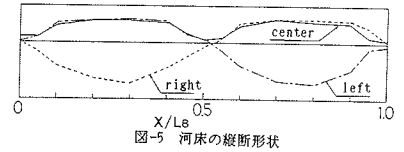


図-5 河床の縦断形状

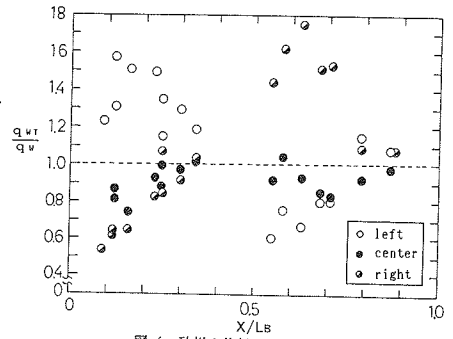


図-6 砂州の位相による流量の変化

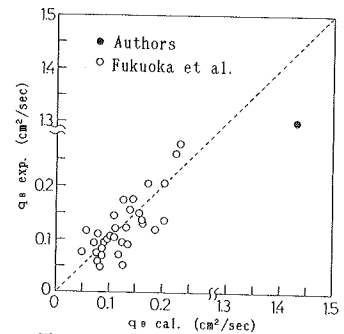


図-7 平均流砂量の計算値と実験値との比較¹⁾

研究結果と比較した。そして、つぎのような知見を得た。

- 1) 砂州の波長・波高ともその特性は緩勾配における結果と同様である。
- 2) 砂州の移動にともなう流砂量の変化は、砂州の形状を良く反映し、一定の周期をもって変動する。その変動範囲は平均流砂量の0.6～1.5倍程度である。
- 3) 砂州の移動にともなう流量の変化は、流砂量の場合と同様に砂州形状との対応が良い。しかし、流量と流砂量の対応関係は異なり、流砂量の多いクレスト部では流量は少なく、流砂量の少ないトラフ部においては多くなる傾向がみられる。
- 4) 砂州河床における平均流砂量は、従来の流砂量式で評価できるとともに、波高・移動速度と密接に関係している。また、砂州の移動速度は勾配の増加にともなって速くなる傾向がみられる。

以上のように、一様な河床材料を有する場合には、急勾配においても形状特性、移動特性、流砂量等の基本的な性質は緩勾配と同じであることがわかる。しかし、尾崎・林⁶⁾は安定解析により、波長はフルード数によって変化するという結果を得ていることや、黒木・岸の結果も踏まえ、今後は波長や波高におよぼす急勾配の影響をさらに検討するとともに、急流河川の特徴である土砂の分級・分散過程に着目して、混合粒径を用いた実験を行い、交互砂州の挙動と流砂量との関係についても検討していきたい。

参考文献

- 1) 福岡捷二・内島邦秀・山坂昌茂・早川 博：交互砂州上の流砂量分布、第27回水理講演会論文集、pp.697-702、1983。
- 2) 村本嘉雄・藤田裕一郎：中期模河床形態の分類と形成条件、第22回水理講演会論文集、pp.275-282、1978。
- 3) 池田俊介：単列交互砂州の波長と波高、第27回水理講演会論文集、pp.689-695、1983。
- 4) 藤田裕一郎・村本嘉雄・堀池周二・小池 剛：交互砂州の発達機構、第26回水理講演会論文集、pp.25-30、1982。
- 5) 黒木幹男・岸 力：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究、土木学会論文報告集、第342号、pp.87-96、1984。
- 6) 尾崎幸男・林 泰造：中規模河床波の発生と河川の卓越蛇行波長について、土木学会論文報告集、第333号、pp.109-118、1983。

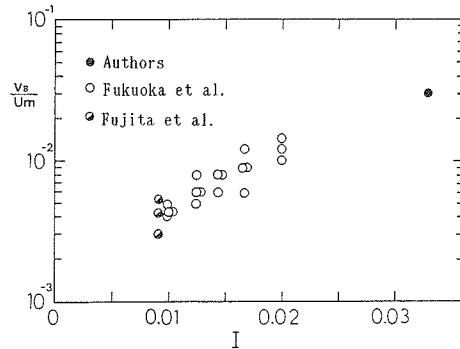


図-8 砂州の移動速度と勾配の関係