

漸拡・漸縮水路における流れの構造について

金沢大学工学部 正員 辻本 哲郎
 京都大学工学部 正員 村上 正吾
 金沢大学大学院 学生員 細川 透男
 金沢大学工学部 学生員 ○齊藤 彰

1. まえがき

移動床水路においては一般に境界面特性・形状、流れ構造及び流砂が強い相互作用系を形成している。従来は、比較的境界面特性が取扱い易い場における流れ構造とその流砂への影響に焦点が当てられてきたが、砂粒子レベルの流砂モデルが完備されるにつれて、実河川における河川の境界面特性・形状を念頭に置いた様々の移動床面特性を境界条件とする流れの構造の把握が必須となっている。

本研究では、こうした観点から流路の境界形状が流れに及ぼす影響を明らかにするために図-1に示すような漸拡・漸縮を繰り返す流路に波状河床(固定床)を加え、これらの相互作用による流れ構造の変化に着目し、その機構を解明することを目的とするものである。前述したように流れの構造を明らかにすることは流砂運動の研究をより発展させる意味においても重要なことである。

2. 実験装置及び方法

実験装置の諸元は図-1に示す通りであり、路床勾配は0.5/1000とし、河床波の位相はケースごとにずらしていく。波状河床波上での剥離をできるだけ抑えるように、正弦波河床の幾何学的特性及び水理条件をきめる。その水理条件を示したのが表-1である。また、河床の作成には、粒径が0.9mm程度のほぼ均一な砂を用いて、砂を正弦波状に水路に敷き、ニスで固定した。したがって、平坦河床では滑面であるが、波状河床においては本実験の水理条件では、遷移領域に入っていたものと思われる。流速の測定には、プロペラ流速計を用いて流路1波長内を流下方向に5cm間隔で測定し、各断面で水深の半分の高さまでは2mm間隔で、それ以上は1cm間隔で測定した。

3. 実験結果と考察

図-2は各断面ごとの流速分布型の変化を示したものである。河床よりの鉛直方向高さy及び流速u(y)は、最大流速U_{max}とそれが出現する高さη₀を用いて、それぞれ基準化し、示してある。また図中の実線は最小二乗法的な意味で、実測値を放物線で近似したもので

$$\frac{u(y)}{U_{\max}} = 1 - \Delta \left(1 - \frac{y}{h} \right)^2 \quad (1)$$

と表され、各断面でΔの値を定めた。図より、平坦河床の場合は平面形状だけの影響を受けるために、多少の位相差は認められるものの、流れの加速域で流速が一様化されている。次ぎに波状河床が加わった場合についても、同じように流速が一様化されている箇所に注目してみると、RUN-2($\phi_z = 0$)の場合には平面形状と河床形状による加速・減速の効果が互いに打ち消されてしまい、1波長内での流速分布の大きな変化を産まないものの、分布型自体は、速度勾配が大きく、RUN-1(FLAT)で得られた流速分布形や矩形断面水路で得られるものとも相当異なっていることが示されている。一方、この逆の場合であるRUN-3($\phi_z = \pi$)では、河床及び流路幅の変化による両者の流れの加速の効果が、RUN-1(FLAT)に比べて必ずしも十分と言えないに對して、減速に及ぼす効果は、両者相乘効果として強まっていることは興味深い。また、実線で示した放物型近似による実験結果と放物線との対応を見てみると、RUN-1(FLAT)とRUN-2($\phi_z = 0$)については実験値を概ね説明できる放物線が得られるものの、RUN-3($\phi_z = \pi$)について見てみると、流れの急激な減速域である $y/h = 0$ 付近で、得られた流速分布形の曲率は放物型のそれとは異なり、より一般的に流速分布を表示し得る関数形を見出す必要があるものと思われる。また、平坦河床と波状河床について水深方向の流速の分布を比べてみると波状河床の場合は相対的に変化が大きく、かつ複雑な挙動を示して

おり、2次流発生を含めて、より詳細な流速のデータの収集が必要である。次に、式(1)中の Δ の1波長内での変化を見たものが図-3である。1波長内の Δ の平均値 Δ_0 を用いて基準化しており、図より

$$\frac{\Delta}{\Delta_0} = 1 + \alpha \sin(\kappa x + \frac{\pi}{2} - \phi_U) \quad (2)$$

とほぼ近似できることがわかる。 Δ_0 の値は、RUN-2($\phi_z = 0$)~3($\phi_z = \pi$)がほぼ同じ値をとっていることより、平均水理量には規定されるものと考えられ、矩形水路での等流に対する渦動粘性モデルに依れば、 $\Delta_0 = 3 / (\kappa_0 \cdot A_s)$ (但し、 κ_0 =Karman定数、 $A_s = U_s / u_*$ 、 U_s =表面流速、 u_* =摩擦速度)と表され、こうした形式が本研究でも用いることが可能と考えると、 $A_s = 9 \sim 10$ 程度である。

一方、平面形状との位相の遅れを見ると、平坦河床では $0.3\pi/2$ の位相の遅れが認められるが、RUN-2($\phi_z = 0$)では位相差は π である。流速分布が流れの加速・減速に大きく影響されていることより、式(2)と dh/dx とは深く関わっていることは容易に推察されるが、式(2)中の振幅 α 、位相差 ϕ_U を定式化するには、こうした場における底面剪断応力や水面の流下方向変化についての知見は必要と思われる。

図-4は、流下方向の速度乱れ成分の標準偏差 $\sqrt{u_r^2}$ の流下方向変化を示したもので、断面内平均流速 U を用いて、無次元化してある。断面内で、かなり一様化する傾向が見出せるものの、流れの加速、減速との関係は、明確には見出せない。

表-1 水理条件表

	$U \text{ (cm/sec)}$	$h \text{ (cm)}$	F_r	R	ϕ_z
RUN-1	17.15	3.54	0.291	4421	—
RUN-2	16.45	6.49	0.206	6345	0
RUN-3	8.51	6.26	0.109	3210	π
RUN-4	10.13	6.24	0.130	3815	$3\pi/2$

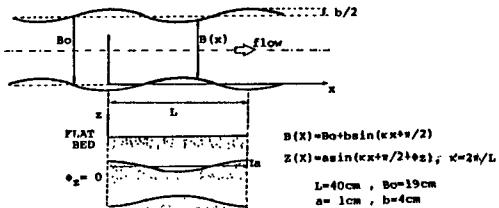


図-1 実験装置の概要

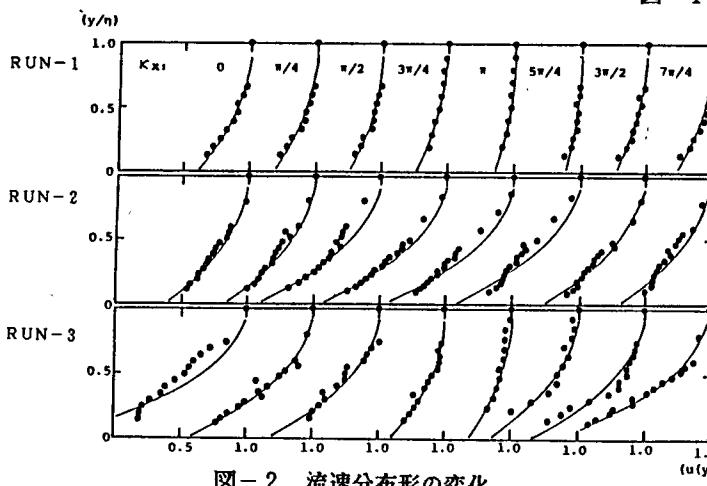


図-2 流速分布形の変化

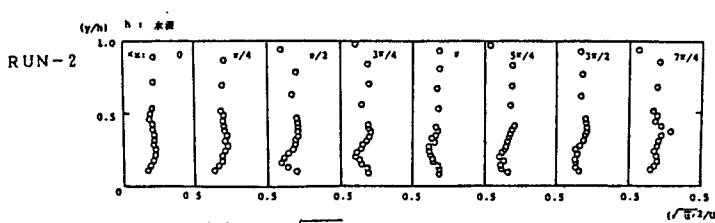
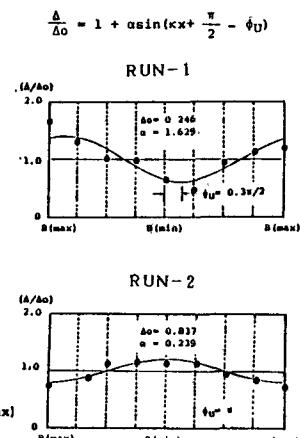


図-4 $\sqrt{u_r^2}$ の流下方向変化

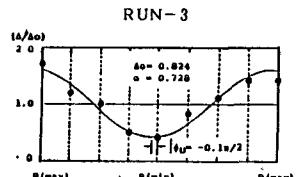


図-3 1波長内の Δ の変化