

瀬の流れの時空間変動および抵抗則に関する実験的研究

東京工業大学大学院 学生会員 佐野貴之

東京工業大学工学部 フェロー会員 池田駿介

東京工業大学工学部 正会員 戸田祐嗣

1. はじめに

河川上中流域に見られる瀬は、生態系、自浄作用¹⁾といった河川環境的に重要な流れ場であり、その水理特性の解明が必要である。しかし、河床の複雑さに加え、自由水面の複雑な変動の計測が困難であったために依然不明な点が多い^{2),3)}。そこで本研究では CCD デジタルビデオカメラにより水面の瞬間像をとらえ、その時空間変動と抵抗則に関して検討した。

2. 実験概要

実験装置の模式図と座標系を図-1に示す。水路床から水面までの高さ η を次式で表す。 $\eta = z_0 + \bar{h} + \bar{\eta} + \eta'$ (ここに z_0 : 水路床から仮想河床面までの高さ、 $\bar{h}$: 平均水深、 $\bar{\eta}$: 時間平均水面の空間変動、 η' : 時間変動) 水路床に実河川とほぼ相似な粒度分布を持つ砂利を敷き詰めることにより瀬を再現した。次元解析の結果、独立変数は Fr 数、 $\bar{h}/d$ 、We 数であった。しかし実験で We 数を変化させるのは困難である。本実験では水路勾配と流量をコントロールすることで Fr 数と $\bar{h}/d$ を変化させた。上方からレーザーシート(水面での幅 0.5cm × 流下方向 60cm)を当て、水路脇から CCD デジタルビデオカメラで縦断水面を撮影する。空気中と水中の輝度の違いから水面の位置を検出することで、水面座標 η の時空間データを得た。

3. 結果

まず流れの局所性について考える。図-2 は η' の R.M.S. の空間平均値が最大になったときのものである。大粒径の石の下流側で局所的に跳水が起こっている(図-2(a))。また時間変動は跳水位置で大きく、石の上方で小さい(図-2(b))。局所水深 ($\eta - b$ (b : 水路床から礫上面までの高さ)) から算定した局所 Fr 数からは常流と射流が混在した流れであることがわかる(図-2(c))。

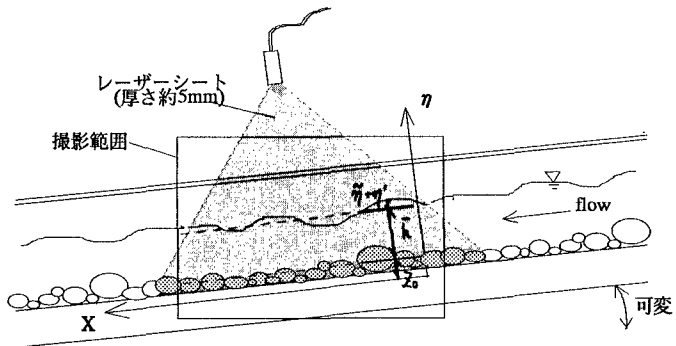


図-1 実験の模式図

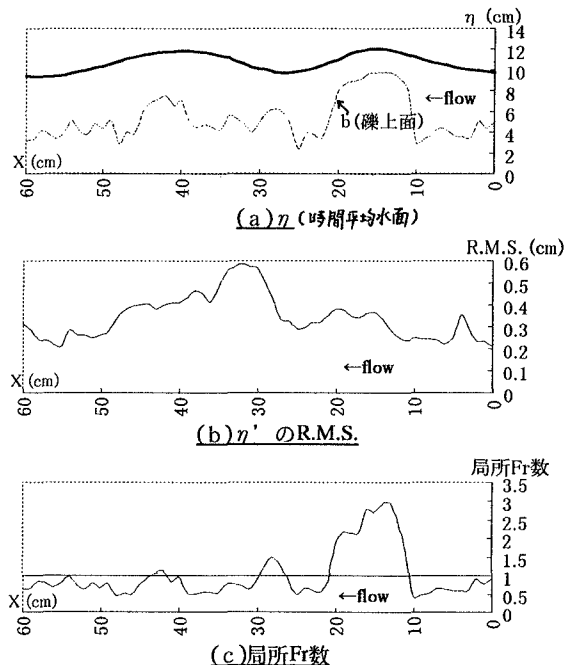


図-2 流れの局所性

keywords ; 瀬、自由水面、画像解析、時空間変動、粗度係数

連絡先 ; 〒152 東京都目黒区大岡山 2 丁目 12-1

Tel 03-5734-2597

Fax 03-3729-0728

瀬の水面の変動は、波のようなテクスチャーをつくる「空間変動」と、それらの「時間変動」で構成されている。以下、「空間変動」を $\tilde{\eta}$ のR.M.S.で、「時間変動」を η' のR.M.S.の空間平均値で表現する。空間変動を $\bar{h}/d$ に関して整理したのが図-3である。Fr数は $\bar{h}$ と単位幅流量から算定した。また d には、流れにとって支配的なのは構成材料の中でも大粒径のものであろうという考えから、 $d_{90}=6.5\text{cm}$ （個数百分率）を用いた。空間変動は $\bar{h}/d \approx 0.8$ 付近にピークがある。これは $\bar{h}/d$ がある程度を超えると、底質の影響よりも水面を平らにしようとする重力の作用の方が卓越してくるためだと思われる。一方、 $\bar{h}/d$ が小さいと石を越える流量よりもよけて回り込む流量が大きくなってくため、鉛直方向の水面変動は抑えられる。この図からははっきりとしないが、Fr数に関しても0.8付近に変動のピークが認められた。Fr数が大きくなるにつれ跳水が起こりやすくなるため、変動は大きくなる。しかし大きすぎると全体的に射流に近い流れになるために、逆に小さすぎると慣性力が小さいことから石を回り込む流れが卓越するために、どちらにしても変動が抑えられる結果となる。水面の変動はFr数と $\bar{h}/d$ により決まっている。時間変動に関しても同様の結果が得られた（図-4）。

マンニングの粗度係数 n （単位幅流量と $\bar{h}$ から算出）を $\bar{h}/d$ に関して整理すると図-5になる。瀬では水深と粗度高さが同程度であることから、そこでの代表流速は礫まわりの圧力差による形状抵抗の効果を大きく受ける。この効果は $\bar{h}/d$ が小さいほど効くために、その結果 n が大きくなり見積もられると考えられる。また同じ $\bar{h}/d$ では、Fr数が大きいほど n が大きい。これは、Fr数の増加に伴い水面変動が大きくなると、鉛直下向きの加速度が礫前面の圧力を増加させるためと考えられる。

4. 結論

1. 水面変動の大きさはFr、 $\bar{h}/d$ に関してピークを持つ。
2. 瀬においてはマンニングの粗度係数が $\bar{h}/d$ に大きく依存する。

((参考文献))

- 1) 生嶋功：水界植物群落の物質生産Ⅰ，共立出版，1972。
- 2) 池田駿介，戸田祐嗣：瀬の水理特性に関する現地観測，水工学論文集，第40巻 pp.901-906，1996。
- 3) 京藤敏達，福島雅紀：波状底面を持つ開水路流れの安定性と河川早瀬の波，土木学会論文集 No.539/Ⅱ-35，pp.69-78，1996.5。

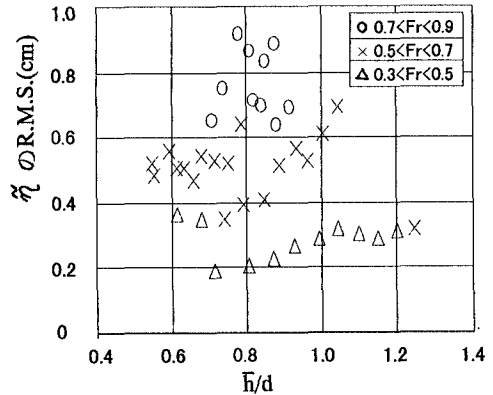


図-3 空間変動

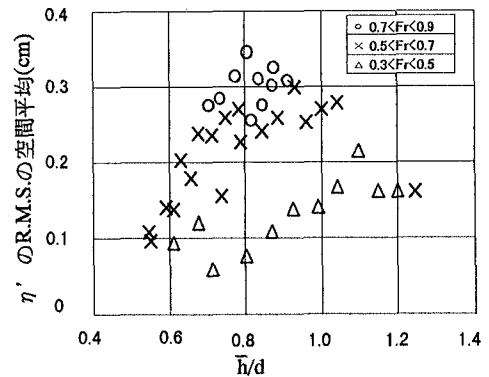


図-4 時間変動

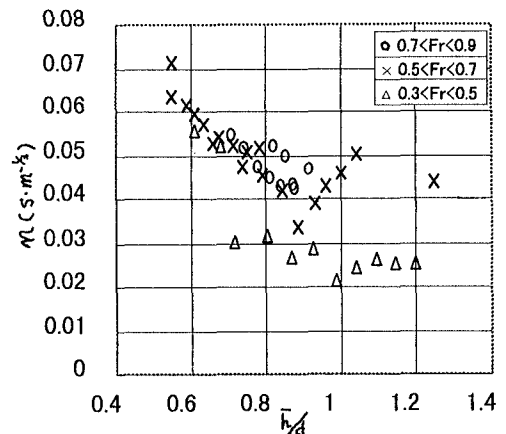


図-5 マニングの粗度係数