

漸拡水路における底面せん断力の直接測定と抵抗特性

広島大学大学院 学生会員 ○山本健介
 広島大学大学院 正会員 渡邊明英

中央大学研究開発機構 フェロー会員 福岡捷二
 広島大学大学院 正会員 内田龍彦
 東京建設コンサルタント 正会員 見上哲章

1. 序論

河川の維持・管理計画を考える場合、河床変動、河岸侵食に伴う流路変動などは重要な検討課題となる。このような問題を扱う場合、その外力となる河床および河岸に作用するせん断応力を評価する必要がある。見上ら¹⁾は壁面に作用している力そのものを、分力計を用いて直接に測定し、矩形断面水路の等流および漸変流の河床および河岸に作用しているせん断応力と、抵抗則を再評価した。しかしながら、断面形が変化するような不等流性の強い流れ場における抵抗則については未だ十分に検討されるに至っていない。そこで本研究では、漸拡度の高い流れのせん断応力を直接測定し、不等流性の強い流れ場における抵抗特性を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

図-1 は実験水路を示す。実験区間は 15m で漸拡区間長を 3.0m としている。拡幅角 $2\theta=5.4^\circ$ ，上流側の水路幅 0.30m，下流側の水路幅 0.59m であり、河床および側壁は人工粗度により粗面状態になっている。水路中央部には、河床および側壁に作用するせん断力を直接測定するためのピットが設けられている。図-2, 3 に河床、側壁に作用する流体力の測定方法を示す。ここに、 F_{xB} , F_{xS} は河床、側壁に作用するせん断力である。本実験は表 1 に示すように $\bar{B}/\bar{h}$ を変化させ、図 1 に示すように case1 では漸拡区間の下流側、case2 では上流側を計測している。

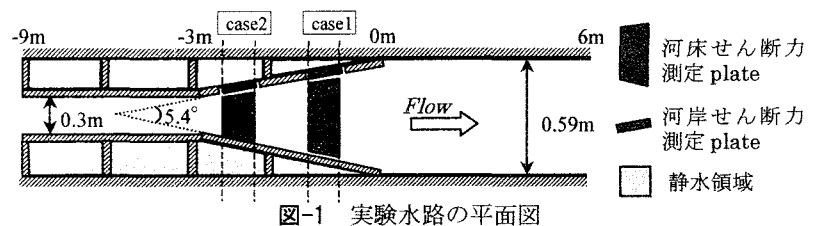


図-1 実験水路の平面図

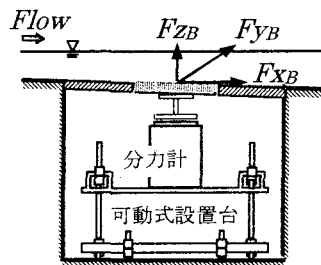


図-2 河床面に作用する力の測定方法

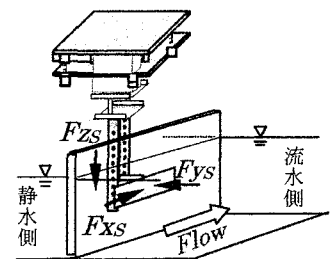


図-3 側壁面に作用する力の測定方法

表-1 漸拡流の実験条件

	Q(l/s)	せん断力 測定位置(m)	$\bar{h}$ (cm)	$\bar{B}/\bar{h}$	$\bar{V}$ (cm/s)	$Re \times 10^4$	I_0
case1	9.7	-1.3	5.78	9.6	31.0	1.5	1/1050
	10.8		8.26	6.8	18.6	1.5	
	11.8		11.56	4.8	23.9	1.5	
case2	10.7	-2.7	4.28	9.8	59.5	2.4	1/1270
	13.9		7.06	5.9	46.9	2.8	
	21.6		12.75	3.3	40.4	3.2	

3. 漸拡流の抵抗特性

河床、側壁せん断応力を用いた測定 plate 前後での運動量保存則は(1)式で表される。ここで、 I_β は潤辺全体に作用するせん断力に対する体積力の比を示す。河床、側壁の区間平均径深を $\bar{R}_b$, $\bar{R}_s$ とし、河床および側壁のせん断応力を(2)式で表すものとする。このとき、 $\frac{\bar{R}_b}{\bar{h}}$, $\frac{\bar{R}_s}{\bar{B}/2}$ はそれぞれ(3)式のように、全抵抗に対する河床、側壁の抵抗の比を表す。図-4 に上述の定義より求めた河床、側壁の無次元径深と $\bar{B}/\bar{h}$ の関係を見上ら¹⁾による等流の結果と併せて示す。等流における河床及び側壁に対する径深 $\frac{\bar{R}_b}{\bar{h}}$, $\frac{\bar{R}_s}{\bar{B}/2}$ は $\bar{B}/\bar{h}$ により相互に影響しながら大きく変化しており、全潤辺に対する径深 $\bar{R}(\equiv \bar{B}/\bar{h}(\bar{B}+2\bar{h}))$ で概ね表現されることが報告されている¹⁾。漸拡流では、等流と比較すると、河床の抵抗は小さくなり、側面の抵抗は大きい値をとる。河床、側面の抵

$$\rho Q \Delta(\beta u) + \frac{\rho g}{2} \Delta(h^2 B) + \rho g A \Delta z + \int p \cdot ds \sin \theta = \int \tau_b \bar{B} \cdot dx + \int \tau_s 2\bar{h} \cdot dx = \rho g V I_\beta \quad (1)$$

ここに、 $B(x) = B_0 + \alpha x$, $h(x) = h_0 + h'(x)$ Δ : プレート前後の差

$$\left. \begin{aligned} \bar{\tau}_b &= \rho g \bar{R}_b I_\beta \\ \bar{\tau}_s &= \rho g \bar{R}_s I_\beta \end{aligned} \right\} (2) \quad \frac{\bar{R}_b}{\bar{h}} + \frac{\bar{R}_s}{\bar{B}/2} = 1 \quad (3) \quad \text{ここに、} \begin{aligned} \bar{R}_b &\text{ は河床径深} \\ \bar{R}_s &\text{ は側壁径深} \end{aligned}$$

抗は流速の断面分布に大きく関係すると考えられることから、漸拡流の流速分布を等流のものと比較し、検討する。

図-5 に case2 の $\bar{B}/\bar{h}=5.9$ における漸拡流と等流の流速分布を、図-6 に $\bar{B}/\bar{h}=3.8$ における等流の流速分布を示す。漸拡流の流速分布の形状は、case2 と同じ $\bar{B}/\bar{h}=5.9$ の等流のものよりも壁面付近の流速の欠損が大きくなっており、むしろ上流側の一様断面 $\bar{B}/\bar{h}=3.8$ の等流の流速分布形に似ている。また、図-4 における $\bar{B}/\bar{h}=5.9$ の漸拡流の径深が $\bar{B}/\bar{h}=4$ 程度のものとほぼ同様となっている。上流の一様区間での $\bar{B}/\bar{h}$ は 4.2 であることから、漸拡区間で上流側に位置する実験 case2 においては、移流の影響によって一様区間の流れ場の影響を強く受けていると考えられる。漸拡流では流下するに伴い二次流が卓越し、底面付近では上昇流が、側壁の半水深付近では側壁に向かう流れが発達することが知られている²⁾。したがって、漸拡流の河床、側面の抵抗は、上流断面の流速分布が大きく作用しており、二次流等の影響で変形した流速分布に依存する。

図-7 に、case2 の $\bar{B}/\bar{h}=5.9$ における底面、側壁の径深と運動量厚さの関係を等流のものと比較して示す。漸拡流では、等流と同一の $\bar{B}/\bar{h}$ において、河床に関する量 θ_B 、 $\bar{R}_B$ は等流と近い値をとるが、側面に関する量 θ_S 、 $\bar{R}_S$ は共に大きく、 $\bar{B}/\bar{h}=3.8$ の等流に近い。これは、 $\bar{B}/\bar{h}$ が大きく、流れ場が重力に支配されることと、断面変化が幅方向のみであることから、底面よりも側面に関する抵抗特性が断面変化の影響を強く受けると考えられる。また、等流のものと比して θ_B と $\bar{R}_B$ の関係にずれがあることは、発達した二次流などによる断面内流速分布の内部構造の違いから生じていると考えられる。

4. 結論

漸拡流における底面および側面に作用するせん断応力は、上流側の流れ場や二次流などによる移流の影響を受け、断面内の流速分布の形状が変化するため、等流の場合と比べると同一の $\bar{B}/\bar{h}$ よりも上流側の $\bar{B}/\bar{h}$ のものに近い。また、本研究では水路漸拡の影響は河床よりも側面の抵抗に強く現れることを明らかにした。底面および側面に作用する抵抗は、断面内の流れ場の内部構造の影響を受けていることが示唆されたため、今後は数値計算なども介して漸拡面に作用するせん断応力を評価するために詳細な検討をしていきたい。

参考文献

- 1) 見上哲章, 内田龍彦, 福岡捷二: 漸変流の摩擦抵抗の測定とその抵抗特性, 土木学会年次学術講演会, pp295-296, 2004.
- 2) 鬼束幸樹, 浦勝, 秋山壽一郎, 坂本真, 政徳克志: 開水路漸拡流の水理特性量の流下方向変化に関する実験的研究, 土木学会論文集 545/II-36 号 pp43-54, 1996.

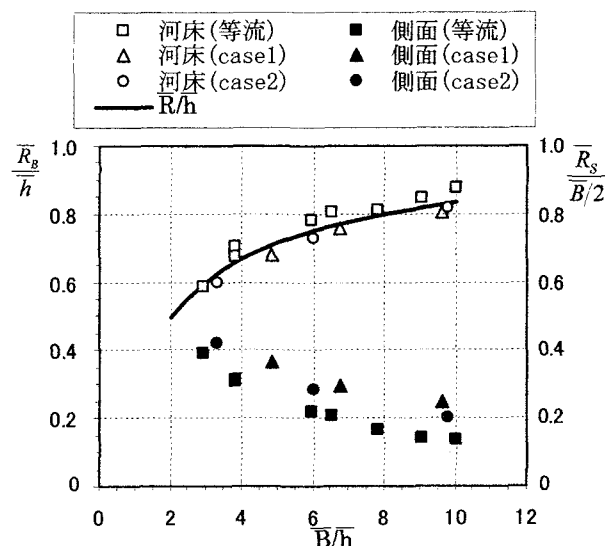


図-4 漸拡流径深と等流の径深の比較

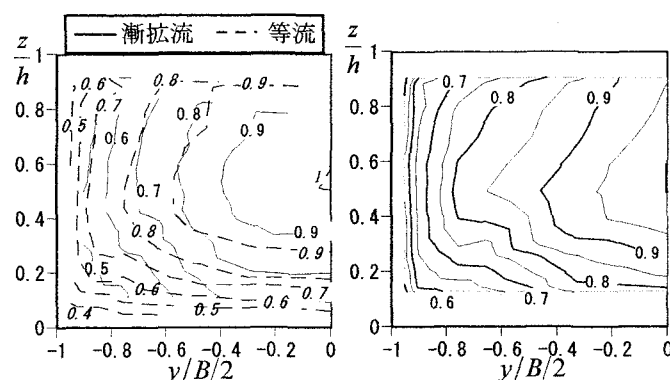


図-5 $\bar{B}/\bar{h}=5.9$ の漸拡流と等流

図-6 $\bar{B}/\bar{h}=3.8$ の等流

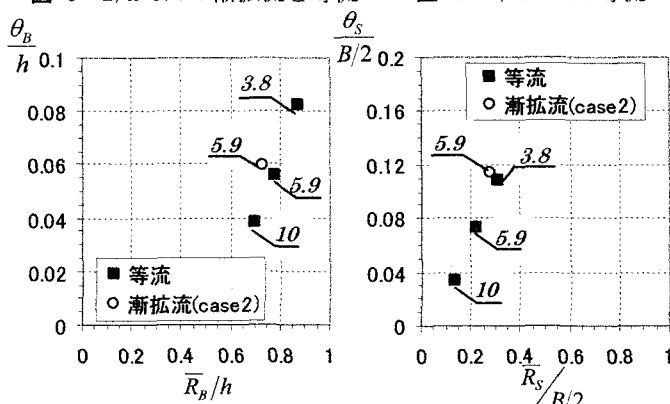


図-7 漸拡流と等流の径深と運動量厚さの比較 (枠内の数字は $\bar{B}/\bar{h}$ を示す)