

せん断力直接測定による等流・不等流の抵抗特性に関する研究

東京建設コンサルタント

正会員 ○見上哲章

広島大学大学院

正会員 内田龍彦

広島大学大学院

フェロー会員 福岡捷二

1. 序論

河床変動、河岸侵食などの問題を扱う場合、その外力となる水路河床および河岸のせん断力を正確に評価することは重要である。このため、せん断力の評価法は数多く提案されているが、不等流の抵抗については等流の抵抗則を準用しているようにその適用性の検討は十分でない。本研究では、せん断力を評価する基礎データを得るために、まず河床、側壁のせん断力直接測定法を確立する。次に、不等流(漸変流)の抵抗特性、特に抵抗に關係する代表長さである径深に注目し、等流の抵抗則の漸変流解析への適用性を検討する。

2. 実験方法

図-1に実験水路を示す。実験区間は15m、水路幅を40cmとし、河床、側壁に粗度を張り粗面状態にしている。水路中央部には、河床、側壁のせん断力直接測定ピットを設けている。図-2,3に直接測定による河床、側壁に作用する流体力を示す。ここに、 F_{XB} 、 F_{XS} はそれぞれ河床、側壁に作用するせん断力である。等流実験は B/h を大きく変化させている。不等流実験は表-1に示すように低下背水と堰上げ背水を対象としている。

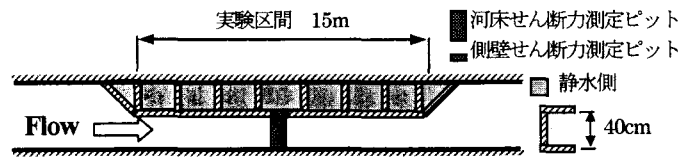


図-1 実験水路の平面図、横断面図

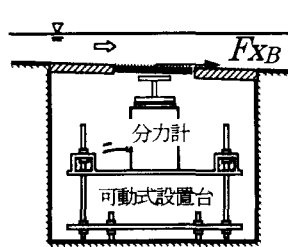


図-2 河床せん断力の略図と plate に作用する流体力

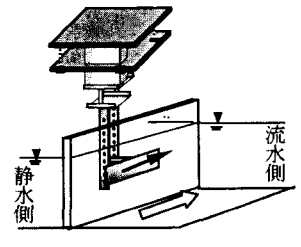


図-3 側壁せん断力の略図と plate に作用する流体力

3. 結果と考察

(1) せん断力直接測定法の確立

図-4に等流の河床、側壁の直接測定値の和と運動量解析から算出した合力の比を示す。直接測定値は若干のばらつきを示すものの±5%内の誤差に収まっている。これより、本研究で用いる河床、側壁のせん断力直接測定法の測定精度、利用性は高いことがわかる。また、等流・不等流の河床、側壁の抵抗特性を十分評価できる測定法と言える。

(2) 等流・不等流(漸変流)の抵抗特性

河床径深、側壁径深を式(2)で定義する。これより、河床と側壁の径深は、それぞれ l_e に対する側壁の抵抗、河床の抵抗により求まるせん断応力に対応する長さの次元量と解釈できる。しかし、定義した径深が示す物理的意味は明らかでない。そこで、壁面には境界層が発達していることに注目し、境界層流れの運動量厚さと径深の関係を考察する。

図-5に河床、側壁の径深と運動量厚さの比に対する B/h の関係を示す。 B/h により2つの比の値は変化している。 B/h の変化は流速分布形の変化となって表れることから、径深と運動量厚さの比は流速分布形によって変化

表-1 不等流の実験条件

	Q(l/s)	せん断力 測定位置(m)	h(cm)	B/h	v(cm/s)	Re × 10 ⁴	l_0
低下背水	15.42	0.3	6.85	5.8	56	2.9	1/1160
		0.9	7.24	5.5	53	2.8	
		1.7	7.57	5.3	51	2.8	
堰上げ背水	14.93	1.4	11.11	3.6	34	2.4	1/320
		4.4	10.14	3.9	37	2.5	
		6.4	9.72	4.1	38	2.5	
		9.7	8.83	4.5	42	2.6	

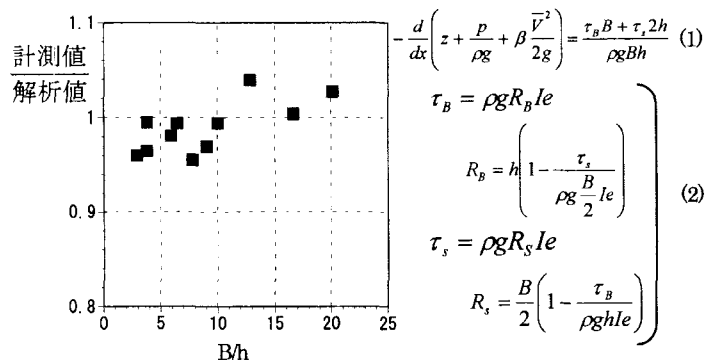


図-4 直接測定による河床・側壁の全抵抗値と運動量解析値の比較

ここに、 R_b は河床径深
 R_s は側壁径深

すると考えられる。径深がせん断応力に対応する長さの次元量をもつことと、境界層厚さと運動量厚さの比が流速分布の特性を表すことから、径深は運動量厚さ、境界層厚さと深い関係があると言える。

次に等流の抵抗則を準用し、不等流計算を行い、不等流の抵抗則について検討する。不等流の抵抗は式(3)のDarcy-Weisbachの式を用いる。これより、河床、側壁のせん断応力は式(4)で表すことができ、本研究で定義する径深を考慮した式(5)により不等流の再現計算を行う。

図-6 に低下背水、堰上げ背水の水面形の実験結果、計算結果を示す。図より、低下背水の計算値は実験値にほぼ一致している。堰上げ背水についても同様に、上流側で計算値は実験値に対して若干大きくなるものの顕著な差はない。この両者の結果は、従来から言われているように低下背水、堰上げ背水のような漸変流については等流の抵抗則を準用しても、十分評価できることを示している。

図-7 に、低下背水、堰上げ背水の各縦断位置で得られた径深と等流の径深を比較して示す。これより、低下背水、堰上げ背水の径深は等流のものとはほとんど変わらない。これは、図-8 に示す不等流と等流の流速分布を比較したものからわかるように、低下背水、堰上げ背水の流速分布形が等流のものにほぼ相似形を示すためである。つまり、径深は式(2)に示すように流速の分布形に対応する河床、側壁の抵抗関係により決定される量であるため、流速の分布形が等流のものに対して大きく変化しない漸変流では抵抗の差は顕れず、したがって径深に顕著な差は現れない。不等流性が大きい流れについての抵抗則の検討が今後の課題である。

4. 結論

1. 直接測定法による河床、側壁のせん断力値は運動量の解析から求めた値とほぼ一致する。これより直接測定法の測定精度は高いことが示された。
2. 河床、側壁の径深はそれぞれの面に発達する境界層内の抵抗に関する運動量厚さ、境界層厚さと密接な関係をもつ。
3. 低下背水、堰上げ背水といった漸変流の摩擦抵抗及び径深特性は、漸変流の流速分布形が等流のものとはほとんど変わらないため、漸変流の抵抗則に等流の抵抗則を準用することに問題はない。

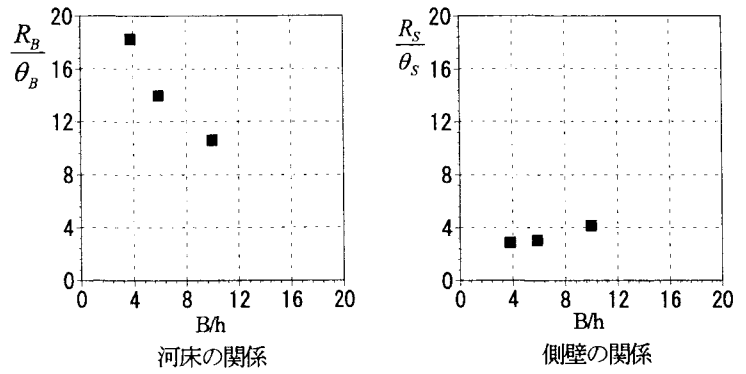


図-5 B/hの変化による河床、側壁の径深と運動量厚さの比の関係

$$I_e = \frac{dh_i}{dx} = f_b \frac{1}{R_b} \frac{\bar{V}^2}{2g} + f_s \frac{1}{R_s} \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (3)$$

$$\tau_s = f_s \frac{B/2}{R_s} \frac{\rho \bar{V}^2}{2} \quad (4)$$

$$-\frac{d}{dx} \left[z + h + \frac{Q^2}{2g(bh)^2} \right] = \frac{Q^2}{2g(bh)^3} \left[\frac{f_b}{R_b} + \frac{f_s}{R_s} \right] \quad (5)$$

$$\tau_b = f_b \frac{h}{R_b} \frac{\rho \bar{V}^2}{2}$$

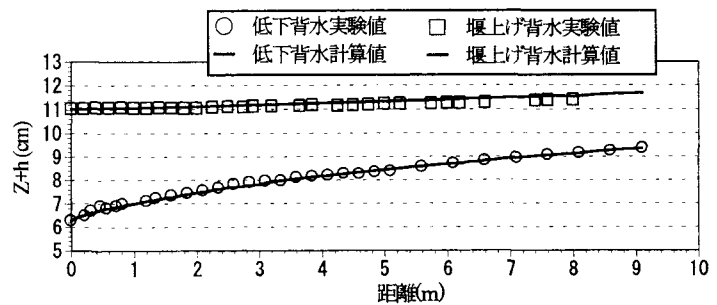


図-6 低下背水、堰上げ背水の実験値と計算値の比較

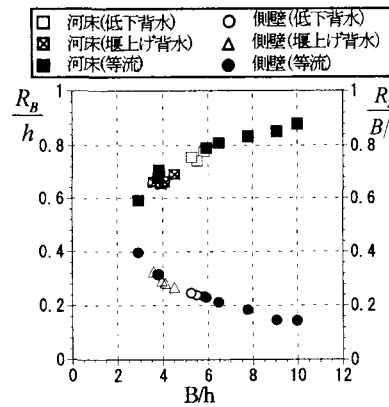


図-7 不等流径深と等流の径深の比較

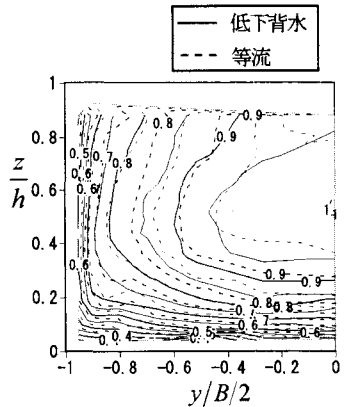


図-8-a B/h=5.8の低下背水と等流の流速分布の比較

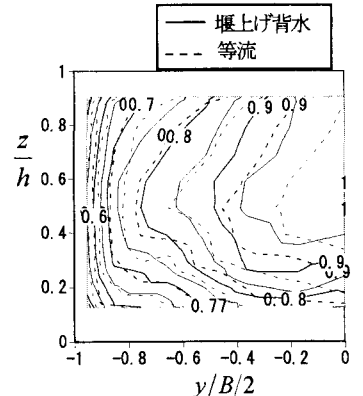


図-8-b B/h=3.8の堰上げ背水と等流の流速分布の比較