

巨石・粗石を有する礫床河川の抵抗

中央大学大学院 学生会員 ○塚本 洋祐
中央大学研究開発機構 フェロー会員 福岡 捷二
国土交通省富山河川国道事務所 山崎 憲人

1. はじめに

急流礫床河川では、流れの掃流力に耐えうる巨石等の大粒径の河床材料が、地中から河床表面に出現し、その周りに中小の様々な粒径の河床材料が留まることで、広い粒度分布を形成し、安定な河床形状を形成している。一般的に流れの抵抗を考える際、緩流河川においては、河床形態が流れの主要な抵抗要素となる。しかし、急流礫床河川では、この河床形態による抵抗に加え、洗掘や堆積により出現した巨石・粗石等の大粒径の河床材料自体が、流れの抵抗になると考えられる。本研究では、2004年から2005年にかけて常願寺川で行われた大規模現地実験の結果を基に、巨石・粗石を有する礫床河川の水面幅と流れの抵抗評価を行うことを目的としている。

2. 常願寺川現地実験

2004年から2005年にかけて、わが国有数の急流河川である常願寺川の河川敷に水路を掘削し、礫床河川の洪水と河床変動の解明を目的に大規模現地実験を行った^{1),2)}。本研究では、この現地実験のデータを基に、礫床河川の流体抵抗の検討を行っている。表-1に実験水路概要と観測流量を示す。2004年実験は常願寺川13.1km地点、2005年実験は11.3km地点の河道砂州を直線状に掘削することにより実験水路を作成した。常願寺川11.3km地点における平均年最大流量時の単位幅流量は $2.71\text{m}^2/\text{s}$ 、2005年実験のS7時における単位幅流量は $2.40\text{m}^2/\text{s}$ であり、かつ現地の河床材料を用いていることから、これらの実験は、流量が平均年最大流量規模で、常願寺川の一つの滞筋規模の実験に相当する。2004年実験は水路中央部に急勾配部が存在し、その河床勾配は1/47、2005年実験は水路全体で一様に1/76である。2004年実験は $3.8\text{m}^3/\text{s} \sim 7.0\text{m}^3/\text{s}$ 、2005年実験は $9.1\text{m}^3/\text{s} \sim 16.4\text{m}^3/\text{s}$ で、2005年実験は2004年実験の2倍に相当する流量で行われている。いずれの実験も、河床が安定するまで一定流量を通水している。図-1に河床材料粒度分布と粒径区分を示す。粒径区分は日本土質工学会の土質分類基準³⁾に準じており、300mmを超える粒径の河床材料を巨石、75mm～300mmの粒径の河床材料を粗石と定義している。2004年実験は2005年実験より上流で行われているため全体的に河床材料が大きいことが分かる。また、2004年実験では、急勾配部で掃流力が大きくなるため、それに対応する河床材料も大きくなっている。

3. 礫床河川の水面幅

図-2に流量規模と水面幅の関係を示す。図中の理論値は池田ら⁴⁾により導出された式(1)を近似したものを、プロット値は現地実験で得られた流量観測断面の水面幅の値を示している。ここで、 I ：水面勾配

表-1 実験水路概要と観測流量

	2004年実験			2005年実験			
実験場所	13.1km			11.3km			
水路延長	170m			120m			
河床勾配	上流部	中流部	下流部	1/76			
	1/118	1/47	1/77				
実験ケース	case1		case2	S4	S5	S6	S7
流量(m^3/s)	7.0		3.8	9.1	10.0	15.6	16.4

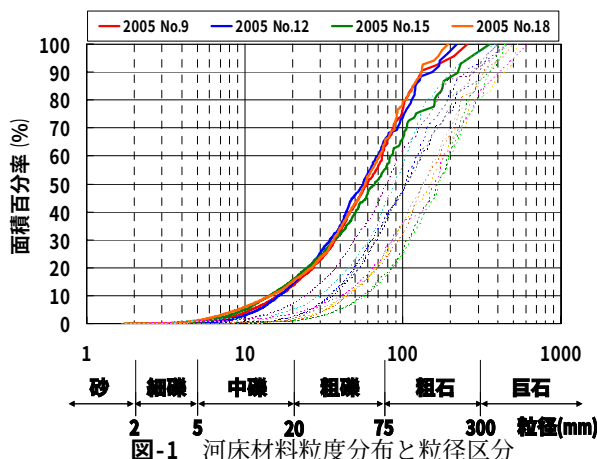


図-1 河床材料粒度分布と粒径区分

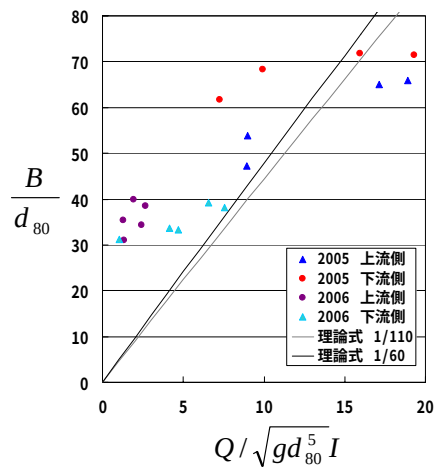


図-2 流量規模と水面幅の関係

キーワード 礫床河川, 河床材料, 巨石, 現地実験

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-3-27-31207 中央大学研究開発機構 TEL 03-3817-1615

$$\frac{B}{d_{50}} = 12.4 \left(\frac{Q}{\sqrt{gd_{50}^5}} \right)^{0.986} I^{1.11} \sigma^{-0.5} \quad (1)$$

$\sigma = d_{90}/d_{50}$ である。また、常願寺川では、巨石・粗石に分類される d_{80} 程度の粒径の河床材料が存在することで、安定な河床形状を形成していると考えられるため、代表粒径として d_{80} を用いている。実験値は流量規模が大きくなるに従い水面幅が大きくなるものの、その傾きは緩くなる。巨石・粗石を有する礫床河川では、ある流量条件下で河床変動及び河岸侵食が生じ、流れの掃流力に耐えうる大粒径の河床材料がある量表面に現れると、それらが掃流力を受け持ち、側岸部、河床部ともに小粒径の粒子も静止する静的安定状態となる。このとき、側岸では、流量規模が大きくなるに従い、巨石・粗石による抵抗も大きくなるため、側岸の拡幅量が小さくなると考えられる。

4. 流体抵抗の評価

図-3 に実験結果から流量、水面幅、水深、水面勾配を用いて求めた相当粗度 k_s を示す。相当粗度 k_s は粗面に対する対数分布式(2)より算出している。

$$\frac{u}{u_*} = 6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{R}{k_s} \quad (2)$$

u : 平均流速, u_* : 摩擦速度, R : 径深である。

2004 年実験では、急勾配部において相当粗度が大きくなる。これは、急勾配部での河床形状、巨石・粗石により生じるエネルギー損失が大きいことが原因である。図-4 に相当粗度 k_s と代表粒径 d_{80} の関係を示す。 $d_{80} = 100 \sim 300\text{mm}$ にかけて $k_s = 4.0d_{80}$ の関係が見られる。図-5 に礫床河川の抵抗図を示す。摩擦損失係数 f' は $2(u_*/u)^2$ で定義されている。 f' に関係する流量の d_{80} を用いた無次元表示を横軸に、相対水深を右軸に示している。図-4 に示す $k_s = 4.0d_{80}$ の関係から、相対水深は粒径と水深（径深）の比でもある。この図より、 f' は $Q/\sqrt{gd_{80}^5}$ が 300 より大きければ、 $k_s/4R \sim k_s/d_{80}$ によって決まり、 f' は 0.02～0.03 の幅を持つ値をとることがわかる。表-2 に

2005 年実験の S6, S7 時の I と σ を示す。図-5 中の赤丸の地点は 2005 年実験の No.12 地点を、青丸の地点は No.15 地点を示している。この地点では、他の地点と比べ I と σ の値が大きいことが分かる。粒径と勾配が大きいため、摩擦損失係数 f' 、つまり河床が流れ場に及ぼす抵抗も大きくなっていると考えられる。また、 $Q/\sqrt{gd_{80}^5}$ が小さくなるに従い f' と粒径・水深（径深）比が大きくなる。これは、河床材料自体が形状抵抗となり、流れ場に大きな抵抗を及ぼしているためである。

参考文献 1)黒田勇一, 福岡捷二, 山本輝, 吉田和弘, 井内拓馬: 礫床河川の滞筋変動機構と河床粒度分布特性, 河川技術論文集, 第11巻, pp.363-368, 2005. 2)福岡捷二, 山崎憲人, 黒田勇一, 井内拓馬, 渡邊明英: 急流河川の河床変動機構と破堤による氾濫流量算定法の調査研究, 河川技術論文集, 第12巻, pp.55-60, 2006. 3)土質工学会編: 土の見分け方入門, 土質工学会, pp.63-72, 1981. 4)池田駿介, Gray PARKER, 千代田将明, 木村善孝: 直線礫床河川の動的安定横断形状とそのスケール, 土木学会論文集, 第375号, pp.117-126, 1986.

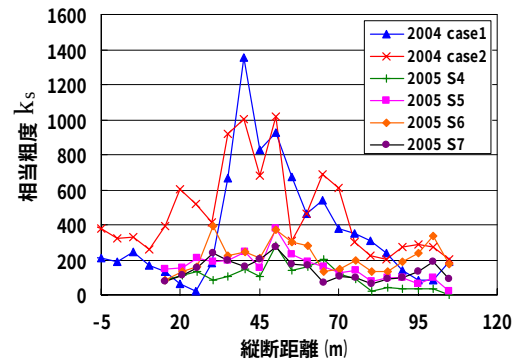


図-3 相当粗度 k_s

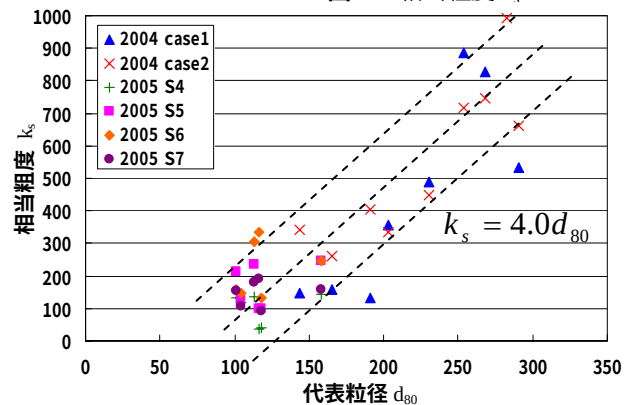


図-4 相当粗度 k_s と代表粒径 d_{80} の関係

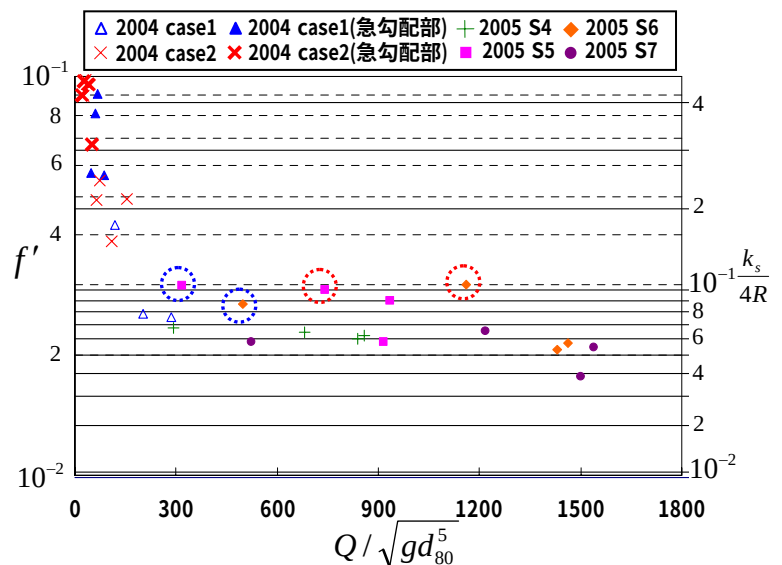


図-5 礫床河川の抵抗

表-2 2005 年実験水面勾配 S と $\sigma(d_{90}/d_{50})$

	No.9	No.12	No.15	No.18
σ	2.21	2.74	3.36	2.26
S6 I	1/92	1/66	1/77	1/80
S7 I	1/76	1/74	1/77	1/98