

礫床河川における河床材料特性と流れの抵抗評価

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. 序論

緩流河川では河床形態が流れの抵抗の主要な要素となるが、急流礫床河川では、大きな礫が存在することにより、その周囲には種々の大きさの粒径が存在でき、河床材料は広い粒度分布を形成する。このため、礫床河川の流れでは、大粒径の河床材料の存在により、粒径と水深の比が小さくなり、流れに摩擦抵抗や他の形状抵抗をもたらすと考えられる。本研究では、常願寺川の現地実験結果から、急流礫床河川における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2006年にかけて、わが国有数の急流河川である常願寺川において、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てきた^{1),2)}。本研究では2004年、2005年に行われた現地実験のデータをもとに流体抵抗の検討を行っている。2004年実験は常願寺川13.1km地点、2005年実験は11.3km地点の河道内砂州を直線状に掘削することにより、常願寺川の一つの澇筋規模に相当する水路で実験が行われている。表-1に実験ケースを示す。2004年実験は、流量規模が $3.8\text{m}^3/\text{s} \sim 7.0\text{m}^3/\text{s}$ であり、2005年現地実験は $9.1\text{m}^3/\text{s} \sim 16.4\text{m}^3/\text{s}$ と2004年実験の約2倍に相当する流量である。図-1に水位縦断分布と河床勾配を示す。2004年実験は水路の中央部に急勾配部が存在し河床勾配は $1/47$ 、急勾配部より上流側では $1/118$ 、下流側では $1/77$ であり、2005年実験では水路全体で一様に $1/76$ ある。図-2に河床材料粒度分布を示す。2004年実験は2005年実験より上流で行われているため河床材料が大きい。また、2004年実験では、急勾配部で掃流力が大きくなるため、最終河床形状に対応する河床材料も大きくなっている。図-3に流量と水面幅の関係を示す。測量断面数は約20断面で、流量が $7.0\text{m}^3/\text{s}$ のとき水面幅は約 $6.0\text{m} \sim 7.5\text{m}$ 、 $10.0\text{m}^3/\text{s}$ のときは約 $6.5\text{m} \sim 7.5\text{m}$ 、 $15.0\text{m}^3/\text{s}$ のときは約 $7.0\text{m} \sim 8.0\text{m}$ であり、流量規模に応じた水面幅になっている。これは、礫床河川では流量が大きくなるに従い、側岸が侵食され、流路を拡幅することで河道が安定するためである。

3. 粗度係数・相当粗度の算出

図-4に実験結果から算出した粗度係数 n と相当粗度 K_s を示す。相当粗度 K_s は粗面に対する対数分布式(1)より算出している。

$$\frac{v}{u_*} = 6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{R}{K_s} \quad (1)$$

表-1 実験ケース

	2004年実験		2005年実験				
水路長	170m		120m				
水路幅	4m		4m				
	case1	case2	S4	S5	S6	S7	
流量(m^3/s)	7.0	3.8	9.1	10.0	15.6	16.4	

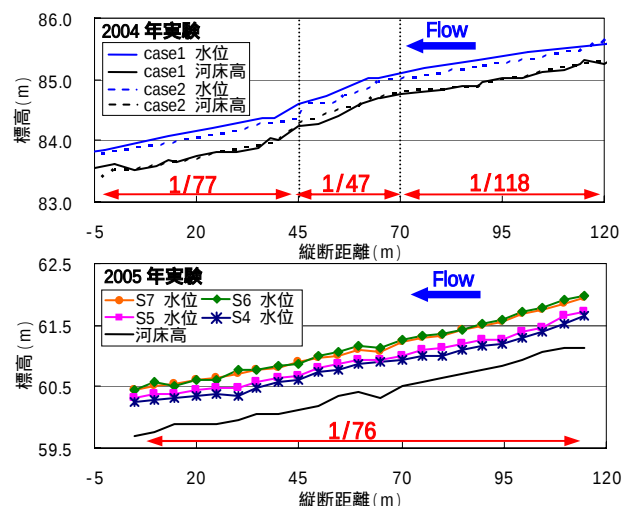


図-1 水位縦断分布と河床勾配

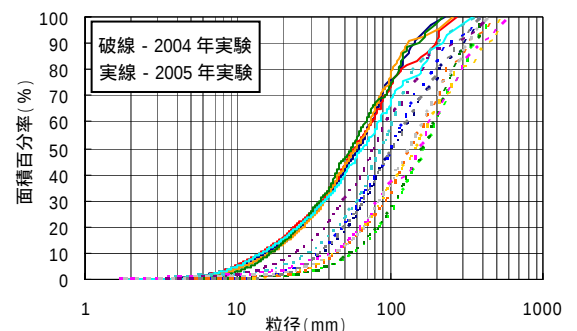


図-2 河床材料粒度分布

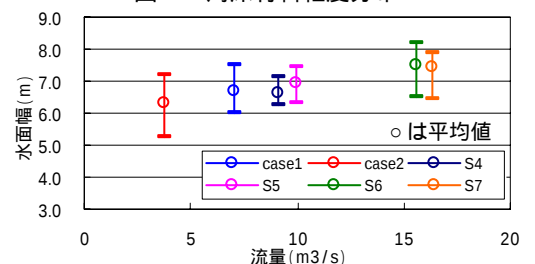


図-3 流量と水面幅の関係

キーワード 礫床河川、大礫、粒度分布、現地実験

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27-31207 中央大学研究開発機構 TEL 03-3817-1615

ここで、 v ：流速、 u_* ：摩擦速度、 R ：径深である。2004年実験では、急勾配部において粗度係数、相当粗度が共に大きくなる。これは、急勾配部では河床形状と河床材料に伴うエネルギー損失が大きいことが原因であるから、ここでは、急勾配部での検討を除外している。2004年実験 case1 では $n=0.030 \sim 0.040$ 、 $K_s=200\text{mm} \sim 400\text{mm}$ 程度であり、case2 では $n=0.040 \sim 0.050$ 、 $K_s=300\text{mm} \sim 600\text{mm}$ 程度、2005年実験では $n=0.025 \sim 0.035$ 、 $K_s=100\text{mm} \sim 300\text{mm}$ 程度の値をとる。流量規模の小さい流れは、水深が小さくなるため、流れに及ぼす河床の抵抗が大きくなっている。

4. 流体抵抗の評価

図-5 に代表粒径 D_{60} と相当粗度 K_s の関係を示す。 $D_{60}=50\text{mm} \sim 130\text{mm}$ にかけて $K_s = 2.5D_{60}$ 、 $D_{60}=130\text{mm} \sim 200\text{mm}$ にかけて $K_s = 4.0D_{60}$ の関係が見られる。図-6 に礫床河川の抵抗図を示す。この図は、管路流のムーディ図をもとに作成しており、開水路流に適用するため $d = 4R$ (d ：管径、 R ：径深) の関係を用いて書き換えている。レイノルズ数が大きくなることは、流量規模が大きくなることを示しており、このときの摩擦損失係数 f' 、つまり流れの抵抗は相対粗度 $K_s/4R$ が $6.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^{-1}$ の間ではほぼ一定値となる。図-5 の D_{60} と K_s の関係より、図-6 右軸の相対粗度 $K_s/4R$ は D_{60} と R の関係ともいえるため、流量規模が大きくなることは、粒径・水深(径深)比が小さくなることを示している。逆に、流量規模が小さくなるにつれて、摩擦損失係数 f' 、相対水深 $K_s/4R$ は共に大きくなる。これは、粒径・水深(径深)比が大きくなることを示しており、河床材料自体が形状抵抗となり、流れに大きな抵抗を及ぼしていることを示している。

5. 結論

常願寺川で行われた現地実験のデータから急流礫床河川の流れの抵抗評価を行い、 D_{60} と K_s の関係、礫床河川の抵抗図を作成した。

参考文献 1)黒田勇一、福岡捷二、山本輝、吉田和弘、井内拓馬：礫床河川の澇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。

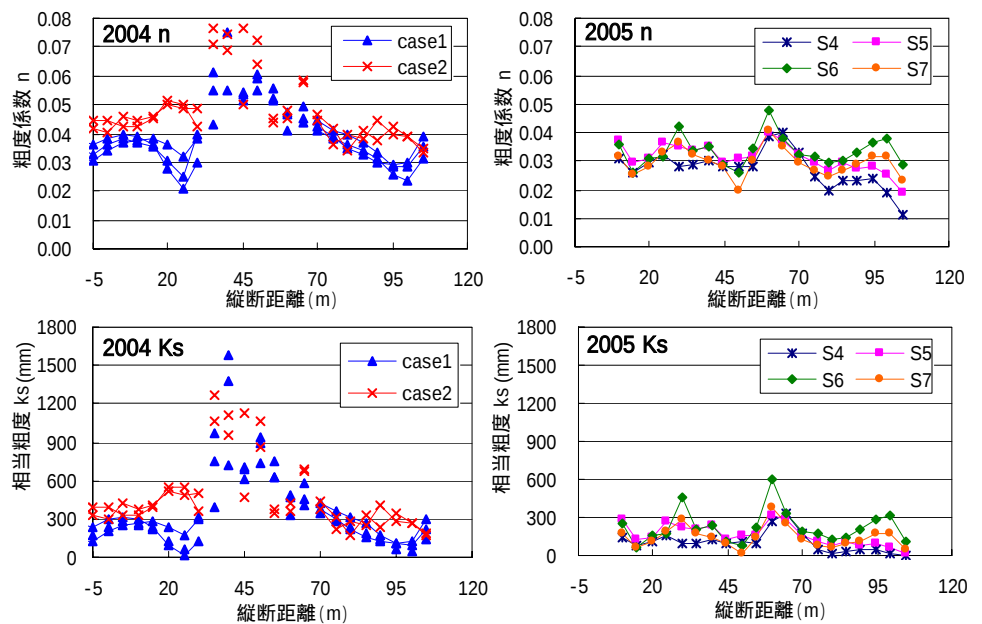


図-4 粗度係数 n と相当粗度 K_s の縦断分布

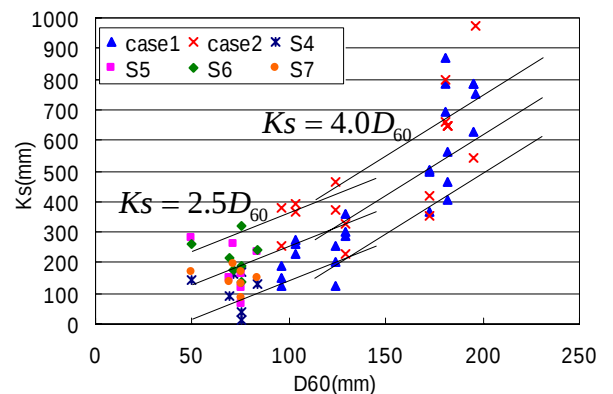


図-5 D_{60} と相当粗度 K_s の関係

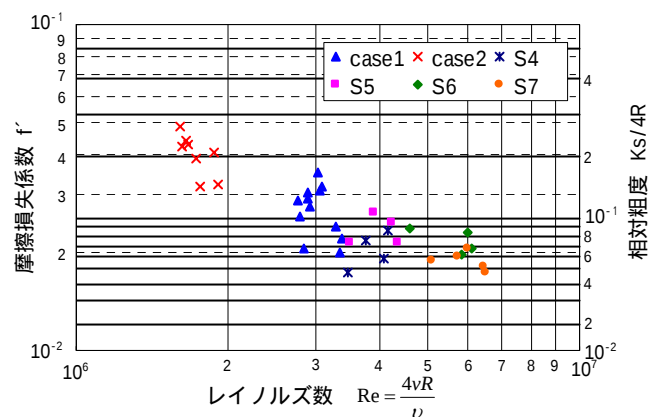


図-6 礫床河川の抵抗図