

1, はじめに

玉石などの大きな粗度要素で河床が構成されている山地河川では、相対粗度 $\frac{H}{D_{50}}$ が2以下の時大スケール粗度と呼ばれ、流水抵抗は個々の玉石の抵抗力の合計として表現される。大スケール粗度の抵抗を記述するパラメータの一つに粗度密度 λ (λ_1 : Frontal Concentration, 前面密度, λ_2 : Basal Concentration, 平面密度とする) が提案されている。しかしながら、これを実河川で実際に測定するのは困難で、測定上の技術的問題も残されている。本報告では、日向川(山形県)と大又川(秋田県)の河床粒度の資料から粗度密度を推算し、粒度分布の特性との関連を検討する。

2, 粗度密度 λ

粗度密度 λ は次式で定義される。

$$\lambda_1 = \frac{\sum A_F}{A_{bed}}, \quad \lambda_2 = \frac{\sum A_B}{A_{bed}} \quad (1)$$

ここで A_F は図-1に示すように、前面でみた水面下の断面積, A_B は水面で切った場合の断面積, A_{bed} は粗度要素が置かれている河床の面積である。実河川で粗度密度を測定するのは非常に困難であり、他のパラメータでこれを

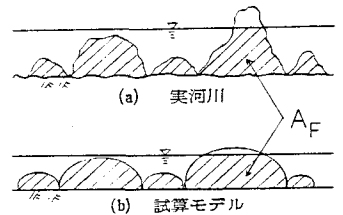


図-1 粗度要素の形状

表わすことができれば有効である。実河川では粗度密度 (λ) は相対粗度に比例して変化すべきであり、変化の割合は σ (粒度分布の標準偏差) に依存する。ここで σ は次式で与えられる。

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \log \left(\frac{D_{90}}{D_{10}} \right) \quad \text{と} \quad \sigma_2 = \log \left(\frac{D_{75}}{D_{50}} \right) \quad (2)$$

加えて、粗度密度の絶対的な大きさは粗度形状と要素の個数(河幅 W の D_{50} に対する比の関数である)の関数となる。よって λ_1 を次の関数形で表わすことが可能である。

$$\lambda_1 = \left[\left(\frac{H}{D_{50}} \right) \times f_n \left(\frac{D_{50}}{W}, \alpha \right) \right]^{f_n(\sigma)} \quad (3)$$

ここで α は粗度形状のパラメータ, $f_n(\cdot)$ は関数である。

3, 粒度調査資料に基づく粗度密度の試算と結果

式(3)を定量化するために必要なデータを実河川の粒度調査(写真法)より得た。結果を表-1に示す。

また、粗度密度計算の際 α を仮定した。i) 粗度の形状は図-1(b)に示すように前面からみた場合半円, 平面でみて楕円である。ii) 河床形状は考

慮しない。iii) ある粒度分布をもった粗度要素が、河床に一樣に分布している。実河川では様々な形状の粗度が存在するが、この影響の定量化は困難なのでi)を仮定した。また粗度密度は水深で変化するので河川形状の影響を受けるが、粒度分布の影響を明確にするためii)を仮定する。そしてiii)を仮定したことにより、水深 H の近

表-1 河床材料の粒径分布

Site No.	粒 径 (mm)			標準偏差	
	D_{84}	D_{50}	D_{16}	σ_1	σ_2
1	975	591	330	0.231	0.209
2	889	556	347	0.204	0.204
3	1445	931	619	0.184	0.168
4	1183	620	356	0.261	0.281
5	880	533	250	0.237	0.220
6	285	130	385	0.435	0.341
7	205	101	695	0.235	0.307
8	256	101	400	0.403	0.405
9	500	345	109	0.332	0.161

No.1~5: 山形県, 日向川 No.6~9: 秋田県, 大又川

表-2 水深と粗度密度

Site No.	Case 1			Case 2			Case 3		
	H(m)	λ_1	λ_2	H(m)	λ_1	λ_2	H(m)	λ_1	λ_2
1	0.120	0.102	0.678	0.160	0.124	0.500	0.275	0.142	0.114
2	0.115	0.105	0.663	0.150	0.126	0.498	0.250	0.145	0.136
3	0.210	0.129	0.607	0.270	0.150	0.430	0.435	0.169	0.126
4	0.125	0.084	0.782	0.170	0.102	0.652	0.380	0.143	0.224
5	0.110	0.095	0.756	0.150	0.115	0.612	0.380	0.165	0.135
6	0.035	0.084	0.783	0.070	0.137	0.293	0.105	0.155	0.076
7	0.040	0.104	0.693	0.060	0.138	0.449	0.080	0.155	0.254
8	0.060	0.141	0.603	0.085	0.174	0.330	0.115	0.190	0.134
9	0.058	0.104	0.802	0.115	0.178	0.378	0.173	0.211	0.109

づけば平面密度 λ_2 は1に近づく。

仮定に基づき粗度密度の計算を次のように行なった。1) 水深0のとき $\lambda_2 = 1$ であるから、粒度資料の長軸径とヤ軸径から楕円の面積を算出し、この合計を A_{bed} とする。2) ある水深を仮定し、この時の λ_2 を短軸径とヤ軸径から算出し、これより λ_1 を求める。 λ_2 は水面で切った断面積より求めるので、水面から突出しない粗度要素は計算されない。数回2)を行ない、各水深での粗度密度を算出する。結果を表-2に示す。

次に、前述の方法で得た粗度密度 (λ_1) の値と相対粗度 (H/D_{50}) を対しプロットしたのが図-2である。どのSiteでも両者の間に顕著な関係がみられ、これを次式の一般形式で表わすことができる。

$$\lambda_1 = a \left(H/D_{50} \right)^b \quad (4)$$

ここで a と b は河床材料の特性で変化する。 b の値を標準偏差 σ に対しプロットしたのが図-3である。両者の間に関連がみられ、これは次式で表わされる。

$$b = 0.449 \sigma_1^{-0.122} \quad \text{又は} \quad b = 0.469 \sigma_2^{-0.083} \quad (5)$$

また係数 a は、粗度形状のパラメータを考慮していないので、河幅 w と D_{50} の関数となるべきであり、これを検討するために a^b を D_{50}/w に対しプロットしたのが図-4である。日向川のデータについては関連がみられるものの、大又川では明確な関連があるとはいえない。日向川の関係式は次式で表わされる。

$$a^b = 0.0026 \left(D_{50}/w \right)^{-0.687} \quad (6)$$

以上より、粗度密度を次式の関数で定量化する。

$$\lambda_1 = \left[0.0026 \left(\frac{D_{50}}{w} \right)^{-0.687} \left(\frac{H}{D_{50}} \right)^b \right]^{0.449 \sigma_1^{-0.122}}$$

$$\text{又は} \quad \lambda_2 = \left[0.0026 \left(\frac{D_{50}}{w} \right)^{-0.687} \left(\frac{H}{D_{50}} \right)^b \right]^{0.469 \sigma_2^{-0.083}} \quad (7)$$

4. おわりに

日向川と大又川のアーマールコートの粒度分布に関するデータを用い、粗度密度と粒度分布の特性との関係を求めた。だが大又川については粗度密度を、他のパラメータである河幅で記述できなかった。これは大又川の河川形状が日向川と異なり、砂礫堆の形成など場所的に玉石の分布が一様でないことによるものと思われる。

参考文献：1, Bathurst, J.C., "Resistance Equation for Large-Scale Roughness". ASCE. 1981

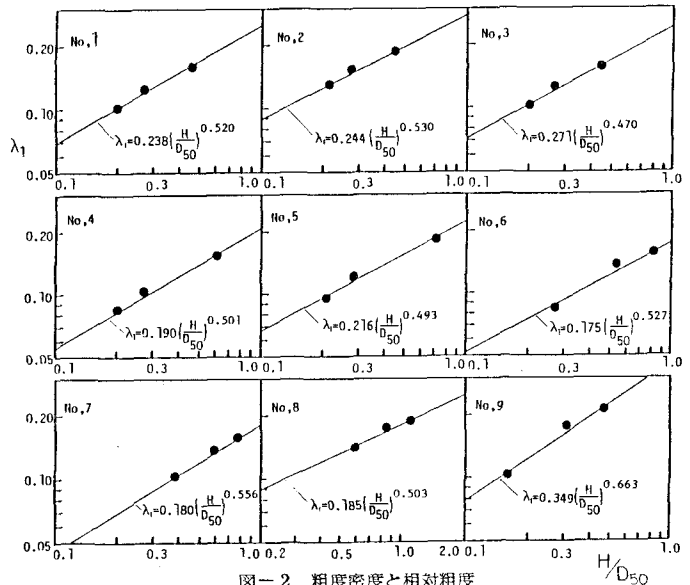


図-2 粗度密度と相対粗度

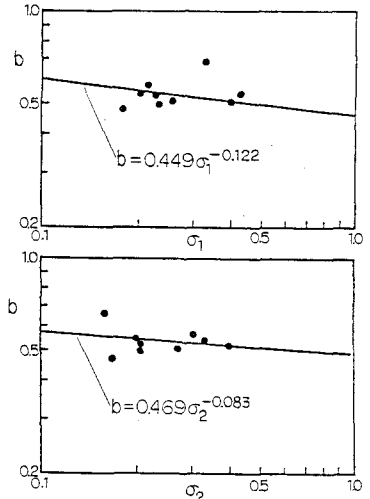


図-3 変数 b と標準偏差

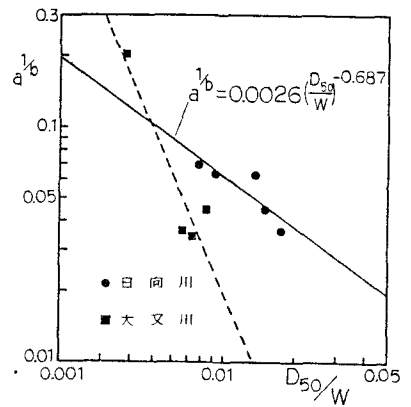


図-4 変数 a^b と (D_{50}/w)