

II - 63

砂州上の粒径分布に関する研究

北海道大学工学部 学生員 楠原和典

北海道大学工学部 正員 黒木幹男

北海道大学工学部 正員 板倉忠興

1 : はじめに

沖積河川における河床波は流れの特性を知る上で重要な役割を果たしている。河床波の形態が違えば、流れの特性も変わってくる。実際のところ、中規模河床形態の河床波は河川の蛇行や堤防の侵食を引き起こす要因となっている。しかし、中規模河床波に関してはよく研究されているが、それによって引き起こされる河床構成材料の粒径分布についてはまだ研究されていない。ゆえに本研究では中規模河床形態における河床の粒径分布について調べるものとする。まず実際に、河川の河道中の砂州について、砂州表面における局所粒径を半波長分 ($\lambda/2$) 測定して、各 point での実測の平均粒径を算出した後、砂州全体での局所平均粒径分布を求める。次に実際の河川において、一般によく見受けられる粒度分布をモデルとし、流れの形を規定して解析を行った結果、砂州表面の局所平均粒径の分布がどのように変化するのか考察する。この際、簡単のため浮遊砂の影響は無視し、後述する支配方程式を導いて解析を進める。最後に、実測結果と理論計算結果と比較する。

2 : 砂州実測

対象河川として単列砂州河川の豊平川を選んだ。苗穂鉄道橋 (KP=12.1) から五輪大橋 (KP=23) の間で比較的形が崩れておらずかつ、X 方向波長 ($\lambda/2=420(\text{m})$ [昭和 58 年: 豊平川横断面を用いて河床高のコンター図より算出]) に近く、植生も有するものとして、幌平橋 (KP=16.6) 下流~5号床止め (KP=15.7) 間左岸の砂州 ($\lambda/2$) を選んだ。その平均粒径測定方法として、この区間はれき・砂がメインでありこの砂州全体全体を見回してみても $d_{\max} \approx 400(\text{mm}) \cdot d_m \approx 100(\text{mm})$ 程度であるため、通常のふるい分け試験では不適なので線格子法を採用し、砂州全体を縦断方向 40(m)・横断方向 5(m) ずつのメッシュに分けて、縦 450(m)・横 25(m) の砂州全体で total 73 箇所を調査した。その際、調査 point より下流側へ 20(m) の長さでメジャーを岸壁と平行に張り、40(cm) おきに真下にある砂粒子を取り、一般に河床材料は長円球から球の範囲にあると考えられるので、その粒子の三軸長 (長軸 a・中軸 b・短軸 c) を測って長円体粒子と同体積の球の直径を代表粒径とした。代表粒径は河村・小沢らによって次のように示されている。

$$d = \left[\frac{\pi}{6} c^2 (ab)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

よって、1 point で 50 個前後の砂粒子の代表粒径が得られ、その平均粒径を砂州上のその point での局所平均粒径とした。

しかし、total 73 箇所のうち 16 箇所はメジャー下の粒子の粒径が小さすぎ、線格子法では不適なのでふるい分け試験によって代表粒径を決定する方法を採用した。その際、調査 point より下流側へ 10(m) にわたって岸壁と平行に、砂州表面の粒子を深さ約 5(cm) 以内で幅広スコップで約 10(kg) 採取した。そしてその試料を 50.8(mm)・38.1(mm)・26.5(mm)・19.0(mm)・9.5(mm)・4.75(mm)・2.0(mm)・1.0(mm)・0.5(mm)

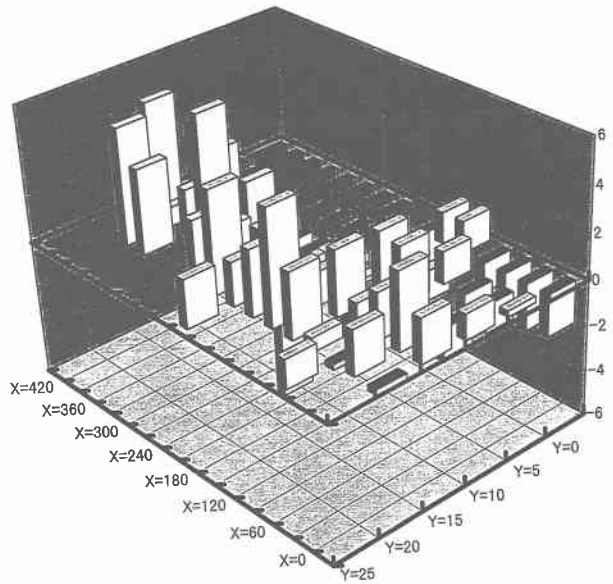
Distribution of sediment size on Bars in River Channels

by Kazunori KUSUHARA, Mikio KUROKI, Tadaoki ITAKURA

の9種類のふるいで分類して、砂州上のその point での粒径加積曲線を描き、 D_{50} に相当する粒径を局所平均粒径とした。

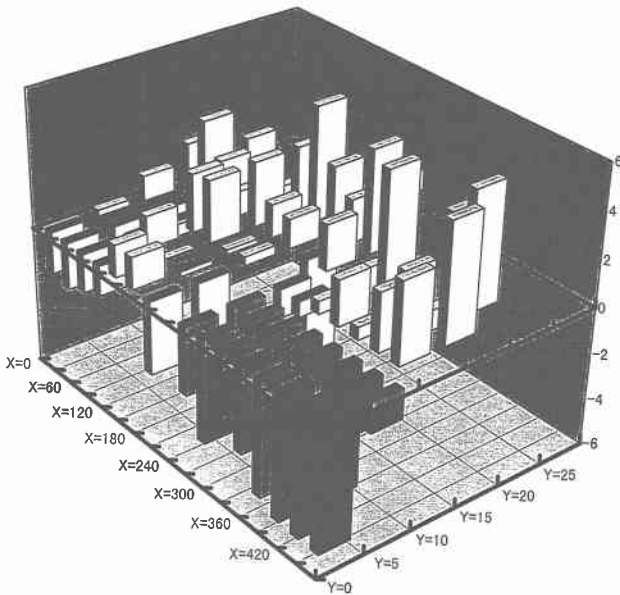
3：実測結果

砂州全体の平均粒径は $d_{m0}=53(\text{mm})$ となった。この値を基準として砂州の局所平均粒径の分布は Fig-1 のように表される。Xの値が小さくなる方向が流下方向であり、Y=0が岸壁であり、値が大きくなるにつれて流心に近づくように描いてあるため、Fig-(1a)は下流・流心側から、Fig-(1b)は上流・岸壁側から眺めた図である。白棒は無植生部分、灰色棒は草が生えている部分、黒棒は木が生えている部分を示す。



砂州表面の局所平均粒径 from 下流・流心

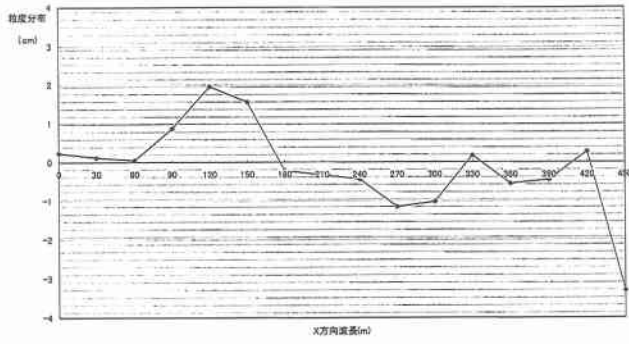
Fig-(1a)



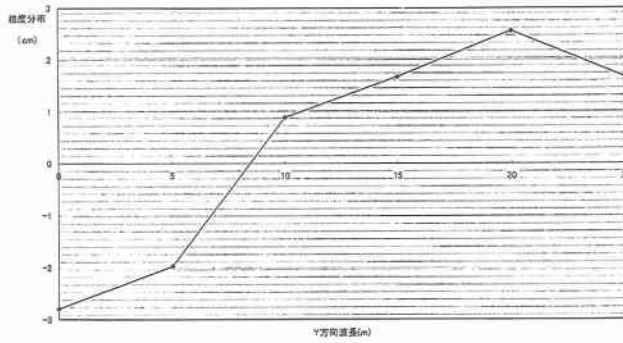
砂州表面の局所平均粒径 from 上流・岸壁

Fig-(1b)

よって、岸壁付近は一般に平均粒径が小さく、流心に近づくにつれて大きくなる。さらに無植生部分に比べて植生部分は平均粒径は小さく、植生(草)→植生(木)になるにつれてさらに小さくなる。そして縦断方向平均粒度分布(Fig-2a)と横断方向平均粒度分布(Fig-2b)は次のようになる。



(Fig-2a)縦断方向平均粒度分布



(Fig-2b)横断方向平均粒度分布

次に無植生部分(Fig-3a)、植生部分[草](Fig-3b)、植生部分[木](Fig-3c)のそれぞれについて、岸壁に沿った代表的な粒度分布を示す。

Fig-3a:無植生 : (X150,Y0)

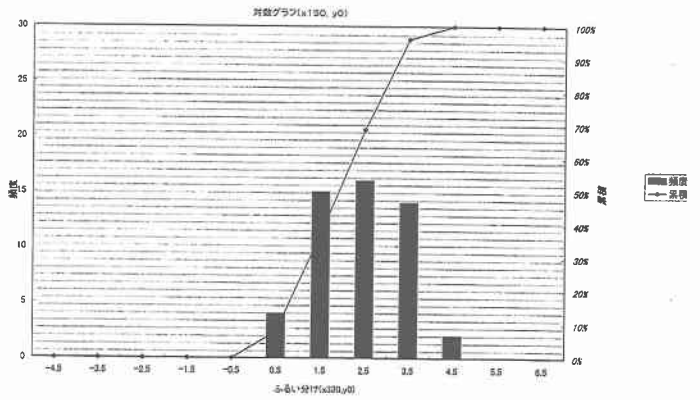


Fig-3b 草 : (X330,Y0)

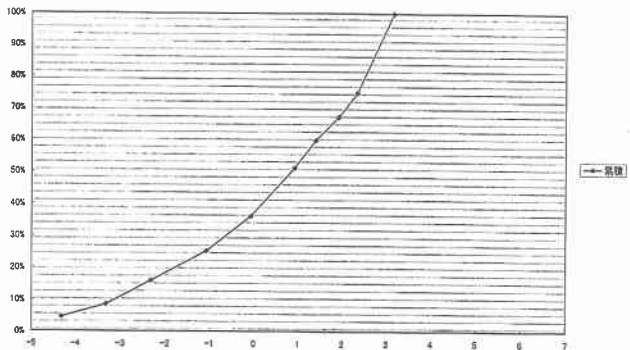
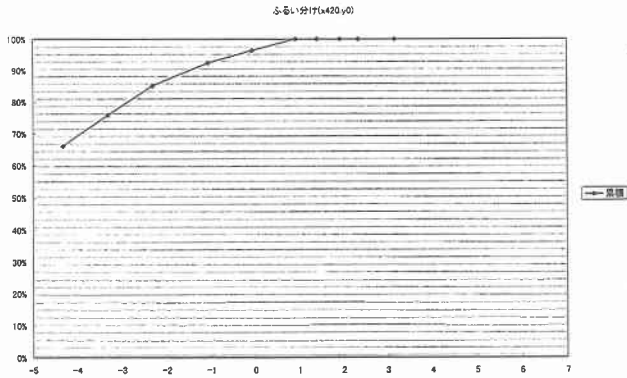


Fig-3c 木 : (X420,Y0)



よって、植生部分[木]では d_{max} も2(cm)程度であり、細粒土がほとんどで今回使用したふるいでは十分にすべて分類することは出来なかった。植生部分[草]では細粒土から粗粒土まで一様によく混ざって分布しており、 d_{max} も8(cm)程度である。無植生部分では全体的に粗粒土がほとんどであった。

4：理論解析方法

砂州表面の粒度分布を求めるための基礎方程式を導くために、X、Y方向の流れの運動方程式、流れの連続式、粒径別、全粒径の流砂の連続式、河床材料の粒度分布の方程式に、河床せん断力と流砂量に関する式を代入し、無次元化・擾動化を行って河床の粒径を ϕ -scaleで表す。すると最終的に7つの基礎方程式が得られる。

次に砂州形状を次の式で表す

$$\tilde{\eta} = \hat{\eta} \exp\{-ik(x - Ct)\} \cos(l y) \quad (2)$$

ここで k, l :X,Y方向の擾乱の波長、 C :擾乱の無次元移動速度、記号 $\hat{\cdot}$:擾乱の複素振幅を示す。するとその擾乱に呼応して、流速や流砂量や河床せん断力や粒径分布などの他の値も変動する。そのことも考慮にいれて式(2)と同様に、各種擾乱を表す式を7つの基礎方程式に代入して整理すると、平均粒径・確率密度・河床形に関する複素振幅の線形方程式(3)が得られる。

$$\begin{bmatrix} R_{11} - C\Delta & 0 & 0 & 0 & 0 & R_{21} & R_{31} - C \\ 0 & R_{12} - C\Delta & 0 & 0 & 0 & R_{22} & R_{32} - C \\ 0 & 0 & R_{13} - C\Delta & 0 & 0 & R_{23} & R_{33} - C \\ 0 & 0 & 0 & R_{14} - C\Delta & 0 & R_{24} & R_{34} - C \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_{15} - C\Delta & R_{25} & R_{35} - C \\ P_{10} & P_{20} & P_{30} & P_{40} & P_{50} & 0 & 0 \\ \alpha P_{10} \Phi_1 & \alpha P_{20} \Phi_2 & \alpha P_{30} \Phi_3 & \alpha P_{40} \Phi_4 & \alpha P_{50} \Phi_5 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{p}_1 \\ \hat{p}_2 \\ \hat{p}_3 \\ \hat{p}_4 \\ \hat{p}_5 \\ \hat{d}_m \\ \hat{\eta} \end{bmatrix} = 0 \quad (3)$$

ここで、 $R_{1j} = G_j$ 、 $\alpha = -\log(2)$ 、 $R_{2j} = G_j \left[Q_{1j}(1 - ik\delta) \left(2A_n - \frac{1}{3}A_h + \frac{1}{3} \right) + Q_{2j}(1 - ik\delta)\beta + \frac{l}{ik}A_v \right]$

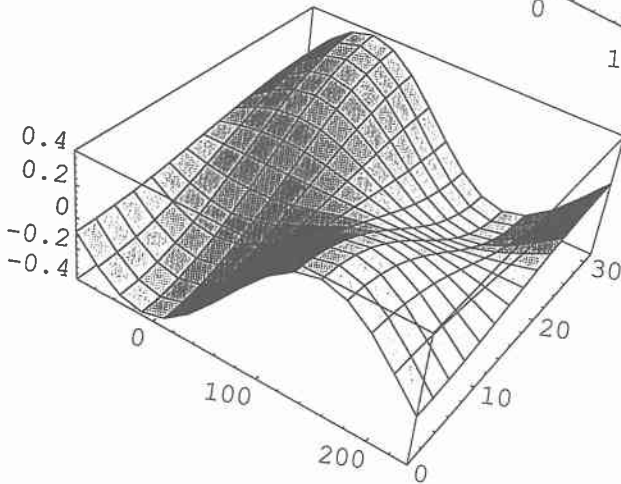
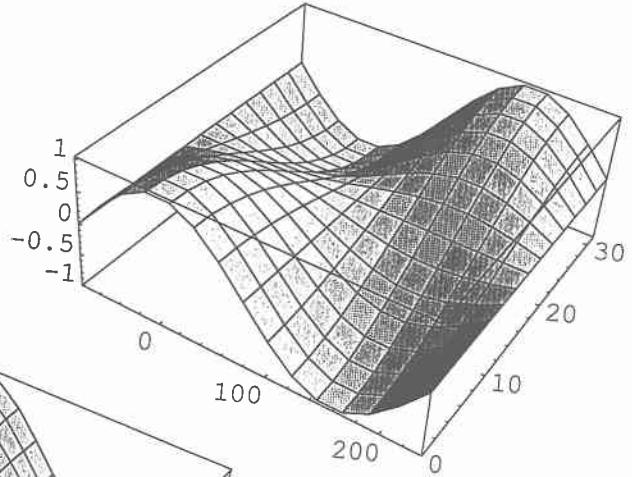
$$\xi = \frac{\hat{d}_m}{d_{m0}}、R_{3j} = G_j \left[Q_{1j}(1 - ik\delta) \left(2B_n - \frac{1}{3}B_h \right) + \frac{l}{ik}(B_v + \alpha_4 l) \right]、\beta = \frac{42\xi}{(2 + 21\xi)\log(2 + 21\xi)}$$

この方程式において、各振幅に0以外の有意な解が存在するためには、(3)式の左辺のマトリックスの固有値が恒常的に0でなければいけない。さらに最初の5本+6本目+7本目はそれぞれ規則性を持っているため、任意の数 n に拡張して解くことができる。

6: 解析結果

砂州の形状は(2)式より、X方向=1波長・Y方向=1/2波長の単列砂州について図を描くと Fig-4 のように表される。流路はへこんだ部分で右下から左上に流れている。また(3)式を \hat{d}_m について解き、 d_m の擾乱式に代入することにより、砂州表面を構成している砂粒子の平均粒径分布が Fig-5 のように表される。この際、計算に用いた数値は、砂州全体平均粒径 $d_{m0} = 53mm$ (前述した砂州の実測結果と一致させた。)、 $k = 0.02$ 、 $l = 0.1$ 、平均河床勾配 $S_0 = 1/100$ 、 $\tau_{m0}^* = 0.2$ 、 $\hat{\eta} = 0.5$ 、 $F_r = 1.23$ である。

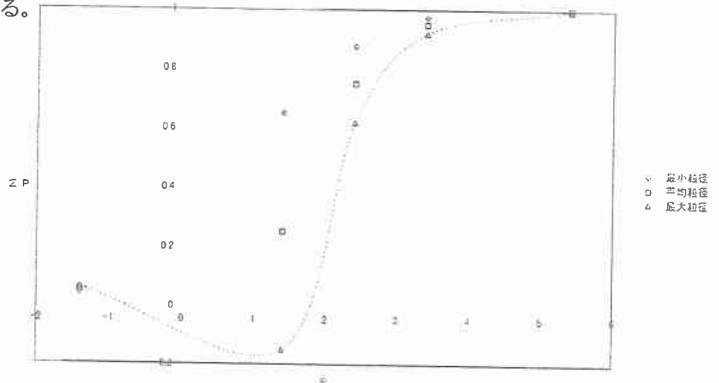
砂州の形状
Fig-4



砂州表面の局所平均粒径分布
Fig-5

Fig-5は Fig-4に比べてX方向の位相がほぼ $-\pi$ ずれており、砂州の頂上部分が最も平均粒径が小さく、水面下の砂州最深部分が最も粒径が大きくなると考えられた。また、砂州表面の最大粒径部分と最小粒径部分の粒度分布は Fig-6 のようになる。

砂州上の粒度分布
Fig-6



7: 考察

札幌の豊平川内の1つの砂州について粒径測定を行った結果、砂州上の位置や植生の有無によって粒度分布や局所平均粒径が異なることがわかった。また、豊平川の水利条件を代入して理論計算を行った結果、局所平均粒径分布は縦断方向で河床形状に対して位相にずれが生じることがわかった。粒径測定結果と理論計算結果を比較すると、平均的に横断方向では極めてよく一致し、全体的にも大体一致した。

8: 参考文献

- (1) 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究
: 黒木 幹男、岸 力
- (2) 山地河川における河床材料のサンプリング方法と粒度分布
: 河村 三郎、小沢 功一
- (3) 山地河川の河床形状と粒度変化の工学的計算の手順
: ASADA H
- (4) 沖積直線水路における砂州とモール上の Regime Criteria に関する研究
: 黒木 幹男、岸 力
- (5) 河道内砂州上の粒度分布に関する研究 (韓国済州島学術交流会 H8.8.20 にて発表済み)
: 楠原 和典、黒木 幹男、板倉 忠興