

II-31

砂州上の粒径と植生分布に関する研究

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 板倉 忠興

北海道大学工学部 正 員 黒木 幹男

1: はじめに

一言で「河川」と言っても色々な種類のものに分類出来る。本研究では低水路内に砂州が存在し、さらにその砂州上に植生を有する河川を対象とする。砂州の形状については、形の明確なものもあれば、輪郭の不明瞭なものもある。また波長の長いものもあれば、短いものもある。そのそれぞれの砂州を構成している砂やれきの粒径分布はどの様になっているか、さらに植生についても、砂州全体が植生に覆われているものや、砂州にある一部が植生に覆われているものや、全く植生を伴わないものに分類出来るが、特に「木、草、無植生」の3タイプに分類し、砂州上のどの部分に3タイプの植生がどのような組み合わせで分布しているかを考察する。

今回は具体的に、豊平川の砂州(単列砂州とする)について考えるものとし、豊平川の河床形・流量・平均勾配・平均水深・平均粒径・川幅・フルード数・砂州のX, Y方向の波長を近似して与えて理論計算し、平均的な長さの砂州の粒度分布がどの様になっているかを、河床形と合わせてコンター図を描いて比較する。

また、豊平川の砂州形状・配置や植生分布の状態を「苗穂鉄道橋～五輪大橋」の間で平成5年9月と平成6年10月の二度に渡ってスケッチし、一年で砂州や植生がどの様に变化したのか、砂州の移動・生成・消失状態や植生の变化を調べ、そして理論計算結果と観察結果を比較し、砂州の粒径分布と植生分布の間に何らかの相関性があるかどうかを考察する。

さらに、砂州上の各点における、色々な粒径のれきや砂の平均的な分布関数 \bar{p} を四種類与え、それぞれについて粒径加積曲線を描き、さらに \hat{p} (式-2参照)の実数振幅と位相(河床形とのずれ)がどの様に变化するか考察する。

同様に、砂州のx方向の波長kを変化させた時の平均粒径 \hat{d}_m (式-3参照)の実数振幅と位相がどの様に变化するか考察する。

2: 砂州の形状と粒径分布

砂州形状を次の様に近似して与える。

$$\tilde{\eta} = \hat{\eta} \cos(ly) \cdot \exp(ikx) + c. c. \quad (1)$$

ここで、 $\hat{\eta}$: 擾乱振幅で実数、c: 無次元複素移動速度、k, l: \tilde{x} , \tilde{y} 方向の波数、c. c.: $\tilde{\eta}$ の共役複素数

河床の擾乱によって誘発される粒径の分布関数と平均粒径の変動量は次式で表現される。

粒径の分布関数(p) = 平均量(\bar{p}) + 微小擾乱(\tilde{p})とすると、

$$\tilde{p} = \hat{p} \cos(ly) \cdot \cos(ikx) + c. c. \quad (2)$$

同様に、平均粒径(d_m) = 平均量(\bar{d}_m) + 微小擾乱(\tilde{d}_m)とすると、

$$\tilde{d}_m = \hat{d}_m \cos(ly) \cdot \exp(ikx) + c. c. \quad (3)$$

(1), (2), (3)式を流れの基礎方程式に代入して粒度分布の積分方程式を解くと、(詳しくは去年の論文参照)

Study about distribution of vegetation and size of sediment on bars.

by Kazunori Kusuhara, Mikio Kuroki, Tadaoki Itakura

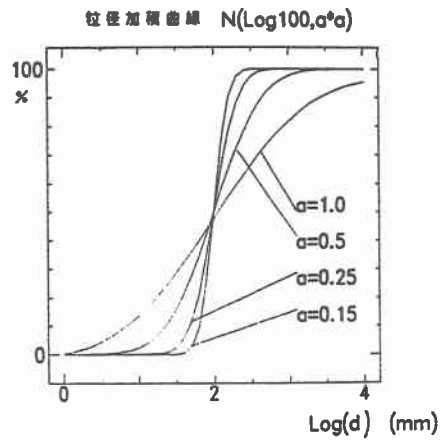
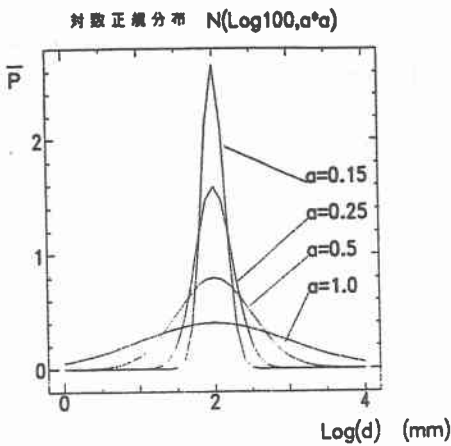
$$\hat{p}(s) = -\frac{C}{(1+B)} \bar{p}(s) \hat{\eta} \quad (4)$$

ここで、 $s = 1 \log(\check{d}_n / \check{d}_{m0})$ 次元量には $\check{}$ をつける。

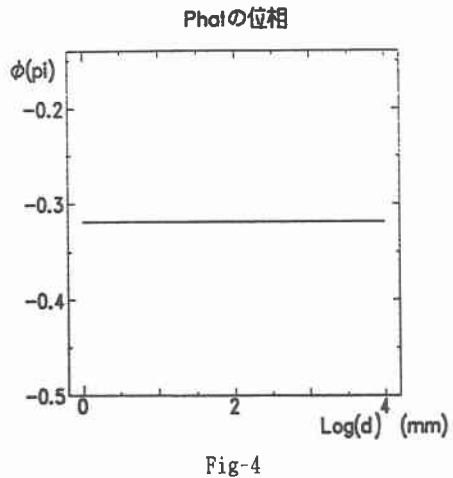
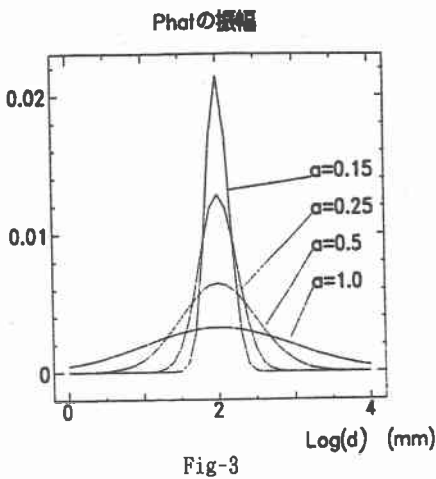
$$\hat{d}_n = -\frac{C}{(1+B)} \hat{\eta} \quad (5)$$

3 : 粒径分布関数のグラフ

3-1 : 砂州を構成している砂粒子の粒径は砂州の各位置で対数正規分布していると考える。横軸に粒径の対数表示をとり、砂州全体の平均粒径を100mmに統一し、分散を $a = 0.15, 0.25, 0.5, 1.0$ と変えたグラフは Fig-1, Fig-2 の様になる。



3-2 : Fig-1 と (4) 式より ($\hat{\eta} = 1.0$ とする) \hat{p} の実数振幅 (Fig-3) と位相 (Fig-4) のグラフは次の様になる。



3-3: 結果

Fig-3より、ある一つの分散 a に着目すると、全体平均粒径の時振幅は最大値をとり、粒径が大きく（小さく）なるにつれ、振幅は小さくなる。よって、砂州上のある一地点において含有率の高い粒径（100mm）ほど砂州上の位置（ x ）が変わると \tilde{p} の値は大きく変わる。

次に各分散のグラフを見ると、 a の値が大きくなるにつれ振幅は小さくなる。よって、全体平均粒径の含有率の高い（一樣粒径に近い）砂州ほど、砂州上の位置（ x ）が変わると \tilde{p} の値は大きく変わり、逆に粒度分布の良い砂州ほど、砂州上の位置が変わっても粒径の変化は少ない。

Fig-4より、粒径の大小・分散に関わらず一定値（約 $\pi/3$ ）をとる。よって、砂州の最大波高位置より上流側に約 $\pi/3$ ずれた位置で \tilde{p} の値が一番大きい。

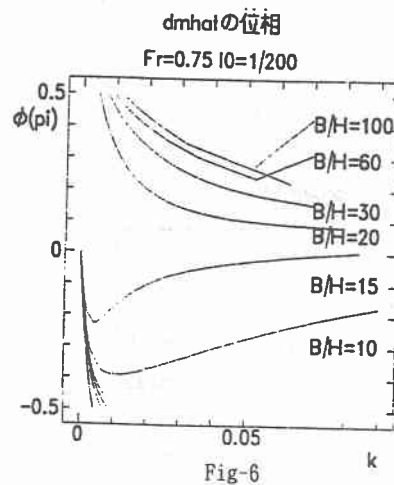
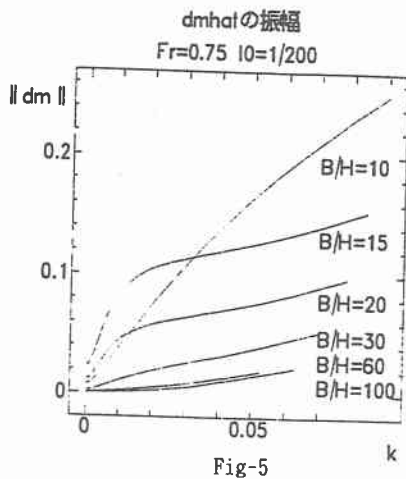
4: 平均粒径変動のグラフ

(5) 式（ $\hat{\eta} = 1.0$ とする）より、川幅水深比を変えたもの（Fig-5,6）、フルード数を変えたもの（Fig-7,8）、平均勾配を変えたもの（Fig-9,10）の3タイプの \hat{d}_m のグラフを描く。
P.S. 今回は単列砂州について考えている。

4-1: 川幅水深比変化のグラフ (Fig-5,6)

ある一つの B/H について着目すると、 k が小さくなるにつれ（砂州の波長が大きくなる）振幅は小さくなる。またある一つの k については、一部例外もあるが大体、 B/H が大きくなるにつれ振幅は小さくなる。ゆえに、川幅や砂州の波長が大きくなるにつれて、砂州を構成している砂粒子は均一粒径に近づくと考えられる。

位相については、 k が小さくなるにつれて ϕ の絶対値は大きくなるが、それぞれの B/H において、ある k の時を境に ϕ の絶対値は小さくなったり、 $\pi/2$ から $-\pi/2$ に逆転することがわかる。さらに、位相がほとんどずれなくなる川幅が $(15 < B/H < 20)$ の時に存在することがわかる。

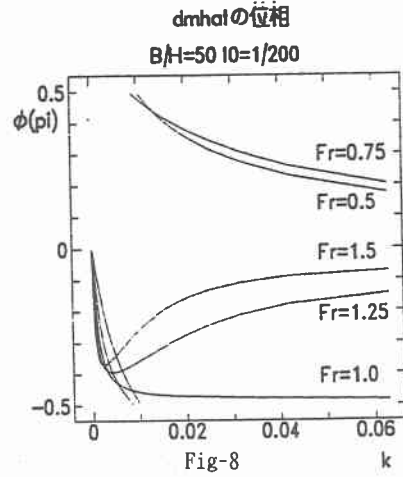
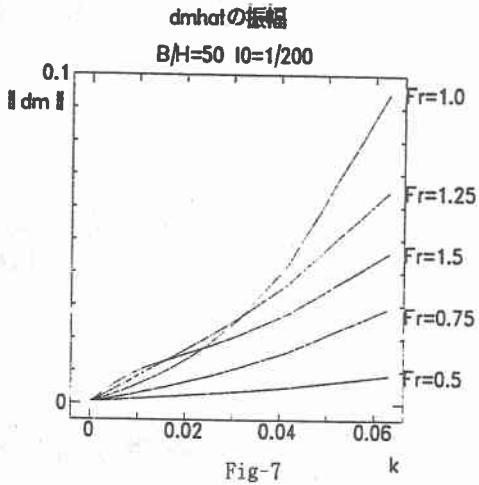


4-2: フルード数変化のグラフ (Fig-7,8)

k が小さくなるにつれて振幅は小さくなり、 $k > 0.03$ の時は「常流 < 射流 < 限界流」の順番で、 $k < 0.03$ の時は「常流 < 限界流 < 射流」の順番で振幅は大きくなる。

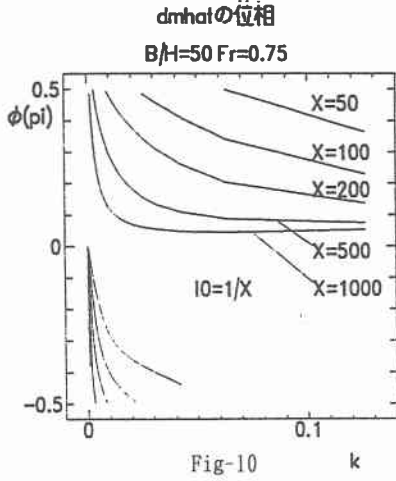
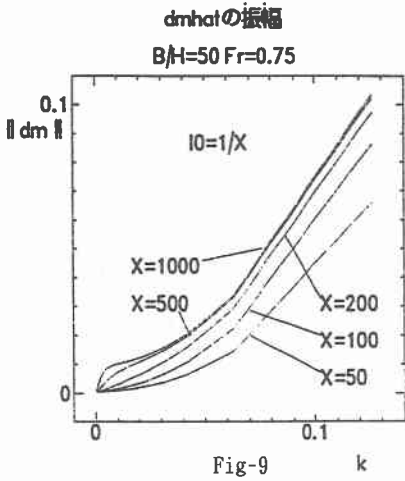
位相は k が小さくなるにつれて、
常流の場合… ϕ の絶対値は大きくなるが、 $k \approx 0.01$ の時に $\pi/2$ から $-\pi/2$ に逆転する。

射流の場合… ϕ の絶対値は大きくなるが、 $k \approx 0.005$ を境に絶対値は小さくなる。
 限界流の場合…約 $-\pi/2$ で一定であるが、 $k \approx 0.01$ を境に絶対値は小さくなる。

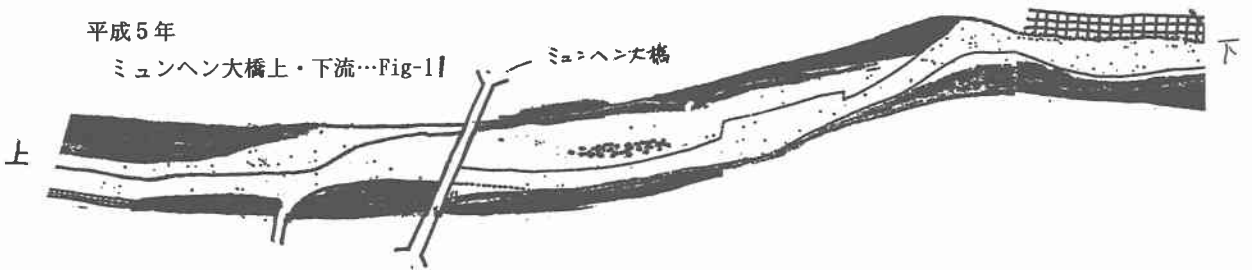


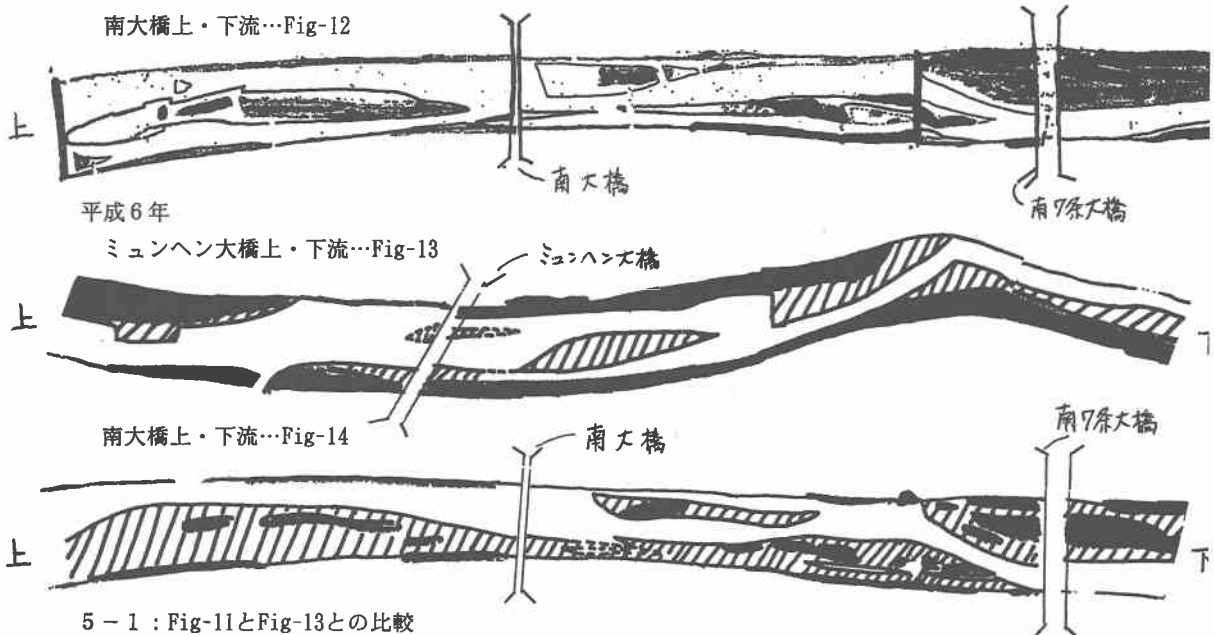
4-3: 平均勾配変化のグラフ (Fig-9, 10)

k が小さくなるにつれ振幅は小さくなり、平均勾配が緩やかになるにつれて振幅は大きくなる。
 位相については、 k が小さくなるにつれて ϕ の絶対値は大きくなり、ある k を境に位相が逆転して ϕ の絶対値は小さくなる。その際、逆転する k の値は緩勾配のものほど大きい。



5: 豊平川の砂州と植生分布のスケッチ





5-1 : Fig-11とFig-13との比較

砂州の水際周辺部分や無植生部分で砂州の部分流出が見られる。反対に、岸壁部分や植生を有する部分（特に木の部分）はほとんど動きが見られない。草の部分は、季節的に枯れてしまったものもあろうが、比較的動きにくく、植生が無くなっても砂州は残り易いことがうかがえる。そして上流部の砂州から供給されたと思われるれきや砂が、下流部の砂州の水際周辺部分や無植生部分に加わっていることがわかる。

5-2 : Fig-12とFig-14との比較

既成の砂州に大量にれきや砂が供給された顕著な例である。本来、豊平川は単列砂州で構成されているのだが、理論とは違い実際の河川であるため、X方向（流下方向）においては途中で分断されたり消失したり、Y方向においては、本来砂州であるべき部分が水没していたり水面下であるべき部分が砂州になっていたりして、まるで複列砂州の様になっている場合も少なくない。ゆえになかなか理論通りのきれいな形の単列砂州を見つける事は出来ない。Fig-12はまさに上記の様な不完全な形の単列砂州を示している。しかし一年後、Fig-14の様になり、本来あるべき単列砂州に近づいた。その際、植生は大体一年前と変わらず残されていた。

5-3 : 全体を通して

小さい砂州ほど、流失したり、大きくなったり、他の砂州に組み入れられたりし易い。一つの砂州の上・下流部の先端部分や輪郭のはっきりしない部分や半分水没している（砂州上に水流が存在する）部分は変化し易い。新たに生成された砂州上には植生は分布していない。上流から供給されたれきや砂は、既成の砂州全体部分（上流部・中央部・下流部）に堆積するのではなく、水際部分や上流部分に堆積して砂州を大きく成長させる。

6 : 豊平川の砂州の形状と粒径分布

豊平川の砂州のスケッチ結果（Fig-15）から平均的な砂州波長を求め、参考文献-2から苗穂鉄道橋～五輪大橋間の平均的な水理量・条件を求め、(1), (3), (5)式に代入すると砂州形状（Fig-16）と粒径分布（Fig-17）のコンター図を描くと次の様になる。

平均川幅： $B = 75.1$ (m)
 平均水深： $h = 1.33$ (m)
 平均砂州波高： $\eta = 1.33$ (m)
 平均勾配： $I = 1/220$
 平均フルード数： $Fr = 0.75$
 平均粒径： $D_{m0} = 100$ (mm)
 平均砂州波長 ($L/2$) / 川幅水深比： $s = 1.2$
 平均砂州波長 (x方向)： $k = 2\pi / [s(B/h)]$
 $= 0.00927$
 平均砂州波長 (y方向)： $l = 1 * \pi / (B/h)$
 $= 0.0556$

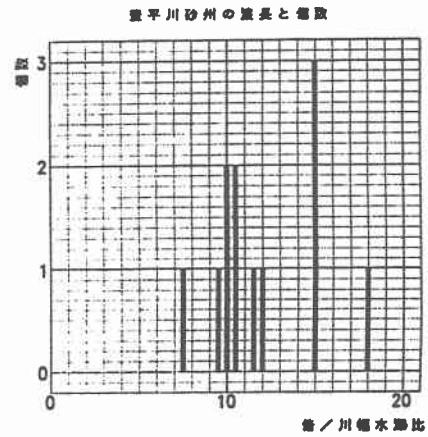


Fig-15

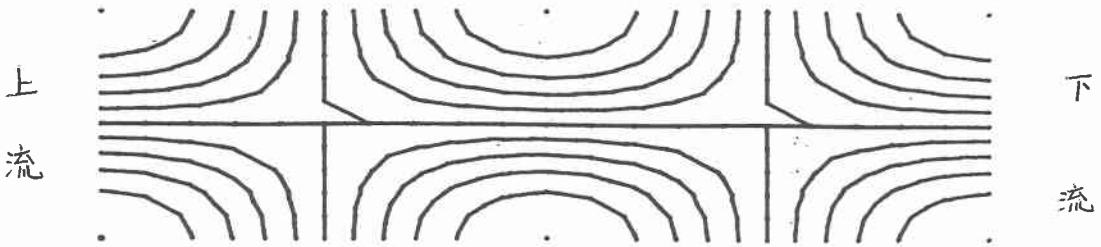


Fig-16

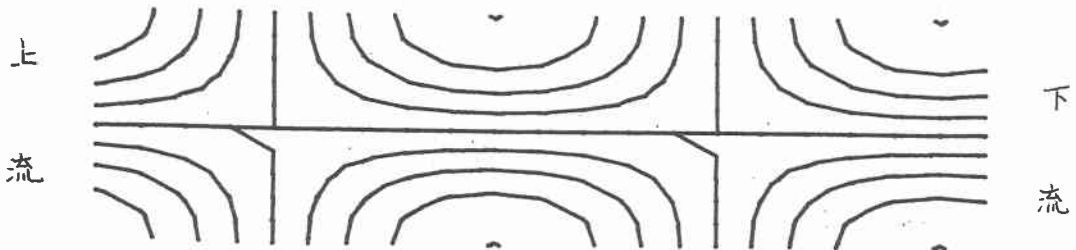


Fig-17

7：おわりに

豊平川砂州の植生のスケッチと平均的な砂州の粒度分布のコンター図を比較しても、植生分布と粒度分布との間には関連性は見られなかった。しかも粒径変化があまりに小さすぎる様な感じがしないわけでもない。しかしFig-5, 7, 9で分かる様に、 B/h や $I0$ がもう少し小さかったり、 k や Fr がもう少し大きかったならばもっと良い結果が出たであろう。

今後の課題として、豊平川砂州の粒径を実際に測定しに行こうと思う。

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
 参考文献 2：豊平川河道計画に関する問題点について : 北海道開発コンサルタント株式会社
 参考文献 3：砂州上の粒径と植生分布に関する研究 : 板倉 忠興・黒木 幹男・楠原 和典