

II-33 沖積地移行帯の流路変動速度に関する研究

北海道大学・工学部 正 員 長谷川和義

北海道大学・工学部 学生員 佐藤 克英

1. はじめに

沖積地移行帯(中間地域)における流路の特徴は、浸食と堆積のほどよいバランスによる横断面形の一定化である。さらに、それらが原因となって交互砂州が発達し、流路の盛んな蛇行をみるにいたる。移行帯流路の平面的特徴は、蛇行とその激しい変動にあるということが出来る。しかし、その現象は複雑であり定量化への試みはかえりみられることが少なかった。

近年、田畑の流亡阻止、構造物の安定維持などの要求が強まり、また、土砂水理学の発展に支えられて、蛇行研究に新しい進展が生じてきた。著者¹⁾らは、蛇行流路内の流れを二次元浅水流として扱い、河岸における偏倚流速に比例して河岸浸食が生じるとした蛇行変動モデルをすでに提案しているが、これと同趣旨の研究が、記述性を高めて報じられるようになった。(池田・Parker・沢井²⁾, Parker³⁾, Back・Melfi・Yalamanchili⁴⁾など)。さらに、変動速度の実測例も多く報じられるようになり(Nanson・Hickin⁵⁾など)、研究はより精度を高める段階にいたったものと言える。

本研究は、このような趣旨から改めて流路変動の実態に立ちかえり、変動速度(河岸浸食速度)を規定する要因について新たなる分析を加えようとするものである。その際、流れがもたらす影響、あるいは流路彎曲がもたらす影響については、従来のモデルをそのまま適用し、受食側の条件一特に河岸構成土の土質一の違いが、変動速度にいかなる影響を及ぼすかを明らかにすることにする。

2. 使用図と変動速度の計算方法

2-1 使用図

調査対象を石狩川と雨竜川にとり、石狩川河道変遷調査附図⁶⁾中の石狩川流心線及び砂礫堆位置変遷図(深川〜札幌内、雨竜川)を用いて流路変動速度を求めることにする。すなわち、河道の変遷を流心線によって代表させ、その変動距離をもって河岸の浸食量に近似させることにする。実際に使用した区間と年度は、図-1に一括して示すとおりである。

2-2 計算方法

使用図の流心線を川幅程度(石狩本流は約100m 雨竜川は約50m)に等分割して、各分割点を座標読みとり装置で読みとり、それをもとに、流心線の変動量と曲率を計算する。変動量は次の定義によって求めことにする。すなわち、任意のサンプリング点より初年度の流心線に立てた法線が次年度の流心線に交わるまでの距離Aと、次年度の流心線から考えている点を通るように立てた法線の長さBの平均として定義する。

河岸の浸食は河岸に垂直に進むものと考えられるので、特殊な場合を除き浸食方向はAとBにはさまれた間を通るものと思われる。曲率は、偏角の変化量 $d\theta$ を s 軸上の距離 ds で割った、 $C=d\theta/ds$ によって求められる。

2-3 浸食の型の分類

流路変動形式は大きく3つに分けられる。第一は下流に移動する型で蛇曲河道において普遍的に見られるタイプ。第二は、上流に移動する型であるが、

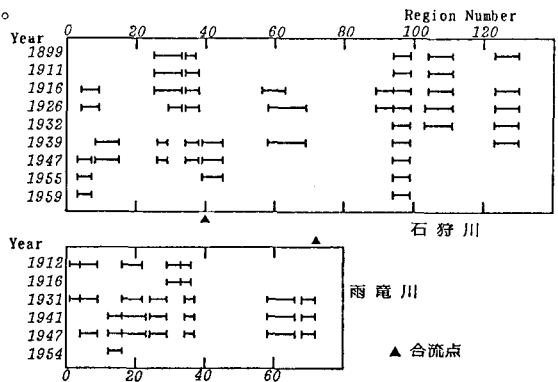


図-1

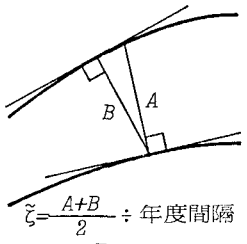


図-2

通常、河道自体の上流移動は要易には起こりにくい。しかし、一部局所的にこうなる場合があり、特に流心線によって河道を代表させた場合に

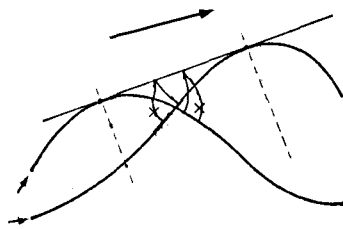


図-3

この型に分類されるものが増えるようである。第三は不動点形成型で大部分が迂曲を呈する蛇行において見られる。このタイプでは、下流への前進が止まり、大きな変形が生ずるようになる。

これらの3つの型は、それぞれ、振幅増大型、振幅減少及び中立型の3つに細分することができる。不動点形成型の中立型は河道変動が生じていないことを意味するので、パターン.0とし、以下、下流移動増大型をパターン.1、下流移動減衰型をパターン.2、下流移動中立型をパターン.3、上流移動増大型をパターン.4、上流移動減衰型をパターン.5、上流移動中立型をパターン.6、不動点形成増大型をパターン.7、不動点形成減衰型をパターン.8、と分類、整理した。

図-4に、パターン.1とパターン.7の典型例を雨竜川を例にとり示す。

2-4 本方式の問題点

先述の定義に従って変動量を算定すると、図-3に示すように、平行移動型の交点付近の変動量が実際よりも過小評価されるという欠点が出てくる。すなわち、平行移動型における2年度の流心線の頂点間では、流心移動は図-3に示すように1度頂点を形成して後、反転するのに対し、本方式ではこれが再現できない。以下、この部分のデータは省略することにし、誤差の拡大を防ぐことにする。

3. 曲率と変動速度の関係

Nansonら⁵⁾は、西カナダBeaton Riverにおける変動速度 $\dot{C}$ と曲率 C の値を実測し、両者の間に緊密な

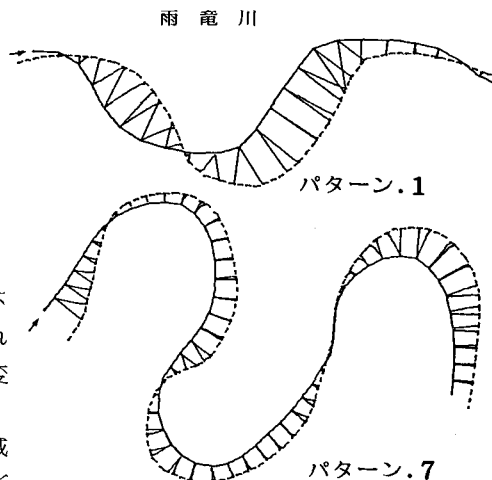


図-4

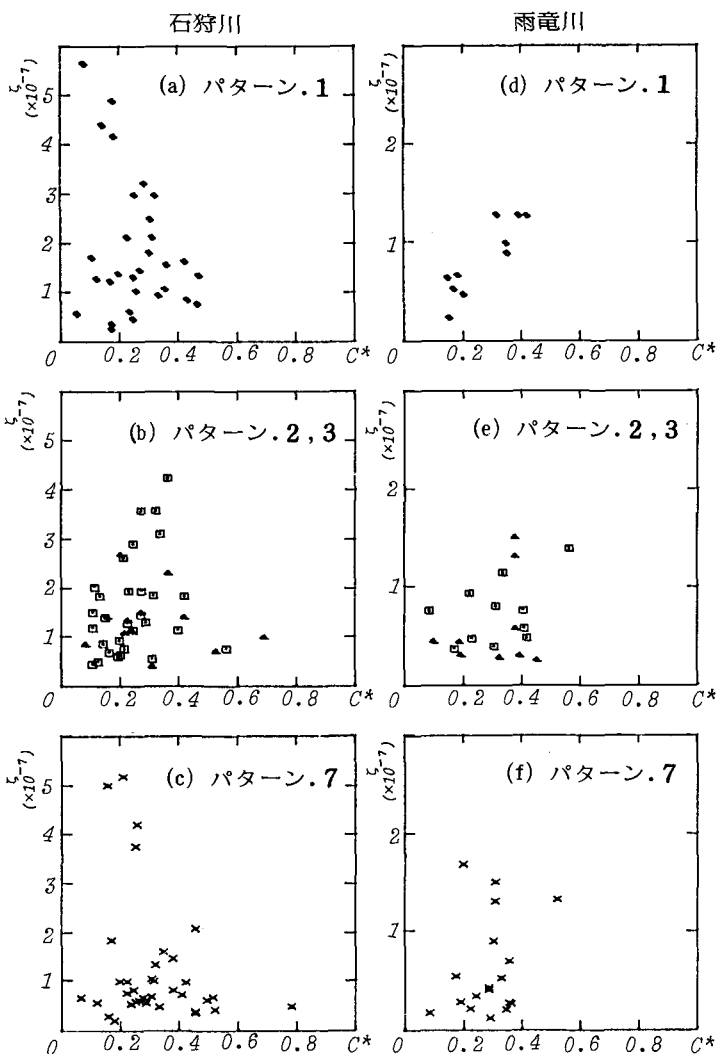


図-5

関係があることを示した。Parker²⁾は、これを無次元表示に改め、図-6の形にまとめた。同図の縦軸は、変動速度を谷軸方向の平均流速 U_0 によって無次元化したものであり、横軸は曲率に流路幅 B を乗じたものである。 $(C^* = \zeta \times B)$ 図-6に見られるように C^* が0に近く、流路が直線に近い場合は ζ と C^* が比例関係にあり、 C^* が0.15を越えると、逆に ζ が急減することがわかる。Parkerは、このプロット法をHickinプロットと名づけている。

石狩、雨竜のデータをパターン別にHickinプロットすると図-5(a)~(f)のようになる。ただし、 U_0 の値には、低水路満杯となった1974年の融雪洪水時の、平均流速を用いており、各点の ζ を最寄りの流観点の U_0 にて除している。図-6との比較からわかるように、雨竜と石狩本流の変動速度は、Beaton Riverと比べて2オーダーも大きい。考えられる第1の理由は、石狩、雨竜と Beaton Riverとの規模の違いである。Beaton River は、流路幅が48mで雨竜川の半分ほどであり、浸食の絶対的営力は小さい。しかし、雨竜川が石狩川のさらに半分の規模であるにもかかわらず、変動速度のオーダーに違いが表われていないことを勘案すれば、規模のみの問題とはいえない。

第2の理由は、流域の地質、土質の違いである。浸食される側の条件が異なれば、当然 ζ も異なるであろう。次章以下にこの点の分析を試みる。

第3の理由は、データサンプリングの時期の問題がある。Nansonらが指摘しているように、変動は時間的に一様ではない。対応する時期をどう採るかは今後の問題である。

4. 偏倚流速と変動速度

4-1 偏倚流速

河岸浸食速度を偏倚流速に結びつける考え方は、既述のように著者らや池田らによって進められてきた。今、谷軸方向平均流速を不変とみなした池田ら²⁾の表現法により、河岸近傍の偏倚流の線形化方程式を書き下せば、次式のようなになる。ただし、軸系を図-7のように定め、流下方向に対して時計まわりの曲率を正、逆を負とする。

$$\frac{\partial u}{\partial s} + 2\chi C_f u = b^* \left[-\chi \frac{\partial C}{\partial s} + C_f (F^2 \chi^5 + A \chi^2) C \right]$$

ただし、 $u : U_0$ にて無次元化された河岸偏倚流速、 χ ：蛇行流の平均流速の U_0 に対する比、 $C_f = g H_0 I_0 / U_0^2$ 、 $F = U_0 / \sqrt{g H_0}$ 、 A ：彎曲によって生じる河床面の傾きに関する係数、 $b^* = B / (2 H_0)$ 、 $C = H_0 \zeta$ 、 H_0 ：谷軸方向の流れを想定したときの水深、 I_0 = 谷勾配、 $s = \tilde{s} / H_0$ である。

同式を、 $s = -\infty$ において $u = 0$ なる条件のもとに解くと

$$u = -\chi C(s) + \int_{-\infty}^s C_f [(A+2)\chi^2 + F^2 \chi^5] \exp[-2\chi C_f (s-s') C^*(s')] ds'$$

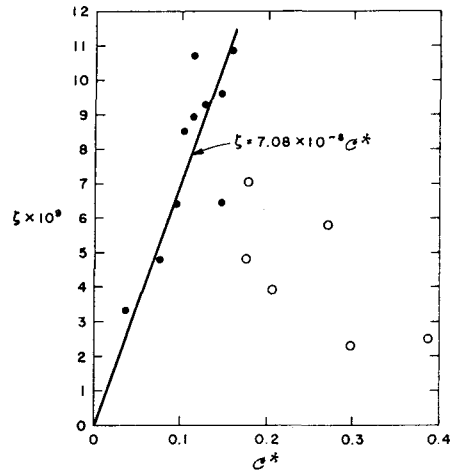


図-6

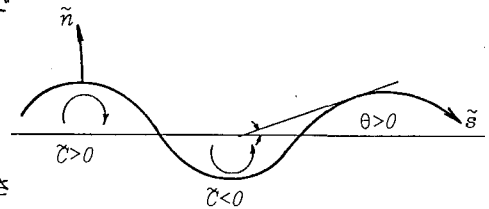
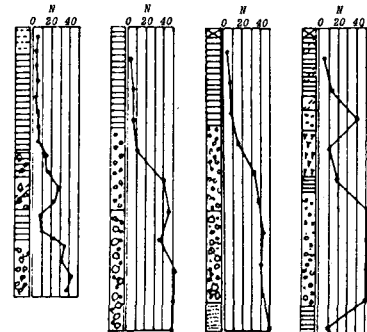


図-7

KP 0/60 8/76R 8/76L 4/116



- 盛土, 表土
- 泥炭, 有機質
- 粘土, 粘土質
- シルト, シルト質
- 砂, 砂質
- 礫, 礫混じりの

石狩川
図-8

を得る。文献¹⁾で示したように、積分の範囲は $-\infty$ まで考える必要はなく、 $(\times 10^{-6})$ 通常考えている点から、半～/蛇行上流までとれば十分である。

式中の諸係数は次のように与えることにする。現行改修河道がほぼ谷軸に近いことを考慮して、 U_0, H_0, I_0 は、昭和49年の融雪出水時の流量観測点の値を使用することにし、地域ごとに値を変える。 X はデータとして採取しうる数蛇行区間の流路長にて、その間の直線距離(谷軸長)を除し、その平方根をもって与える。これは、平均流速が流路勾配の $1/2$ 乗に比例するものとの考えに基づくものである。次に、最も重要でありながら必ずしも明確な値が得られていない A については、しばしば使用される日本の河川の平均値 2.89 をそのまま利用する。

4-2 変動速度係数

さて、変動速度 ζ が偏倚流速 $U_0 u$ に比例するものと考え、その比例定数を E_0 とすると

$$\zeta = E_0 u$$

である。本論文の目的は、この式が成立するものと仮定した上で、 ζ と $\tilde{\zeta}$ の実測値を与えて E_0 を算定し、その性質を吟味することである。 ζ の実測値の中には、浸食営力たる流れの様々な影響が入りこんでおり、また、受食抵抗たる河岸の性質が組み込まれているものといえる。ここでの扱いは、流れの影響を u に集約し(ということは、上流側の曲率の影響に重みをかけて累加し)、 ζ をこれにて除することによって、河岸の抵抗のみを取り出そうとするものである。Parker による Beaton River における算定結果は $E_0 = 1.85 \times 10^{-8}$ となっている。

図-9は、石狩川の1916年と1926年のデータを用いて得た E_0 の結果である。横軸は距離を表わし、棒線が局所的な E_0 値を示している。理論と実測が十分に一致すれば E はほぼ一定値となるはずであるが、かなりの幅で変動している。しかし、本来 $\zeta = 0$ となるような場所が理論の上ではほんのわずかなることになって、逆算された E_0 が無限に近いものとなることを勘案し、 10^{-5} 以上のもの、ならびに負値を省略して平均化すると、地域ごとに破線で示されるような値をとる。

4-3 E_0 と N 値との関係

河岸の浸食の難易は、岩盤の存否、地盤の締固めの度合、植生の差異などによっても大きく左右さ

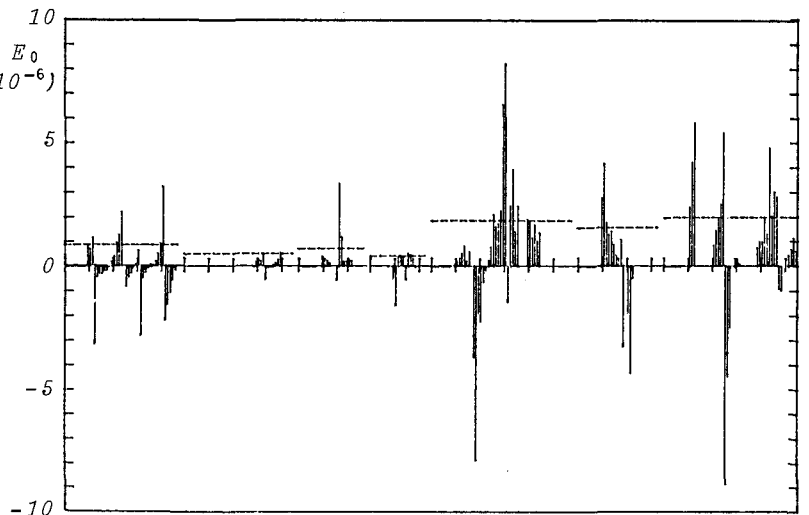


図-9

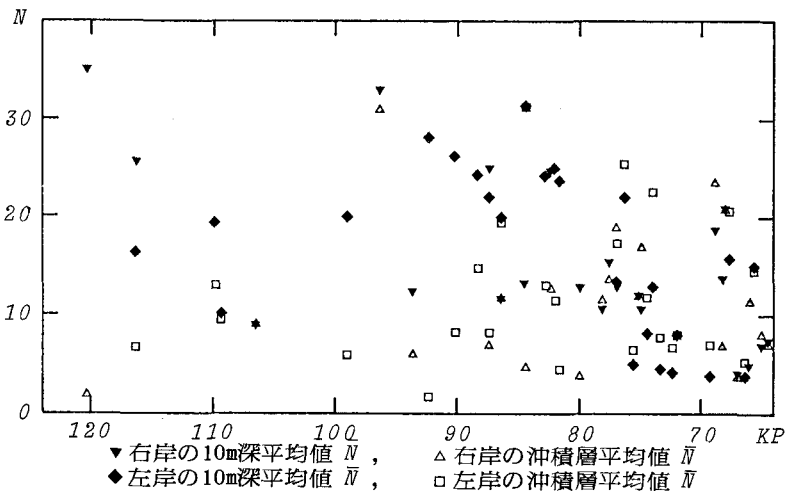


図-10

れるが、沖積域では主として粘土・シルトの混入率に支配されることが知られている。しかし、今のところ流域全体にわたり、河岸構成土の粘土・シルト混入率を調べた例はなく、石狩川においても存在しないようである。そこで築堤時に実施された標準貫入試験(N 値)の結果と E_0 を対比させてみる。

N 値と土質との対応は必ずしも一対一に対応しないであろうが、一般的性質として以下のことが指摘できる。

N 値は、砂質土であれば、その相対密度(締固め度)に関係し、 N が小なるほどゆるく、大なるほど密である。したがって、 N が大なるほど浸食が生じにくいことになる。

一方、粘性土の場合は、 N はコンシステンシーとの間に対応があり、 N が小なるほど柔らかく、大なるほど堅い。したがって、粘性土どうしの比較では、 N の大きい方が浸食は起りにくいであろう。

しかし、図-8に例示するように、粘性土層の N 値は10以下の値を示すことが多く、砂・礫層のそれは必ずこれを上まわっている。通常、中位の粘性土は $N=4\sim 8$ 、中位の砂質礫は $N=10\sim 30$ (赤井⁷⁾による)とされている。

したがって、粘土分混入が多いほど、 N 値が下がる性質が存在するわけである。

以上を総括して考えれば、 N が10~20以上の土層は砂礫質の性質を有し、 N が大なるほど締固めが強く浸食が生じにくい。また、 N が10~20以下の土層は粘土分を多く含みはじめ、 N の小なるほど粘土質となって再び浸食が生じ難くなるものといえる。

図-11は横軸に表面から10mの深さにわたって平均した N 値を用い、縦軸に、地域別に年度の異なるデータを含めて平均した E_0 をとって、両者の関係をみたものである。ただし E_0 の平均にあたっては 10^{-6} 以上をカットしている。同じく図-12は、沖積層に関して平均化した N 値を用いてプロットしたものである。両図ともに上述した傾向を示しているものといえる。

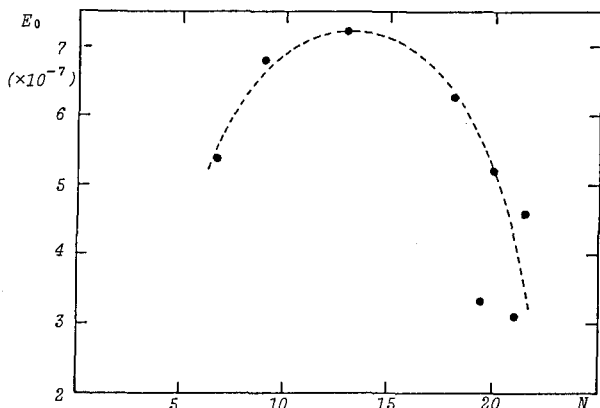
もし、この性質が多くの河川で普遍的に見い出されるならば、流路変動予測、あるいは、各種河川構造物の維持に貢献できることになる。

同様な解析データを多数蓄積すること、図-9に見られるような理論上の不十分さを改良すること、ふさわしい水量を見出し適用することが、今後の課題である。

5. まとめ

流路変動の予測を精度よく行うためには、変動速度に対する受食側の河岸の性質の影響を明らかにする必要がある、という観点から以下の研究を進め、知見を得た。

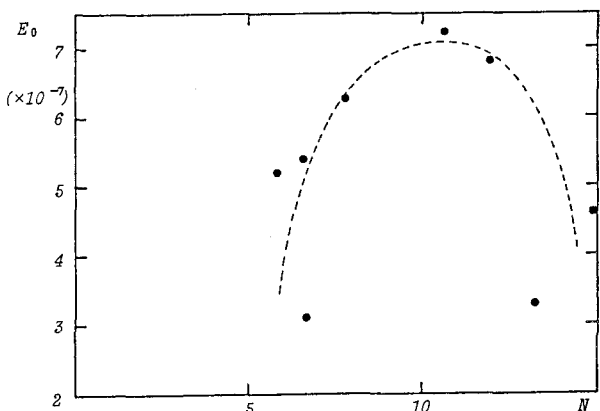
(1) 石狩川・雨竜川の河道変遷図を用いて、流心線の任意点の変動距離と曲率を求めた。これより変動速度を求め、分析の基礎資料とした。



E_0 : 10^{-6} 以上を省いた平均

N : 10m 深の平均

図-11



E_0 : 10^{-6} 以上を省いた平均

N : 沖積層の平均

図-12

(2) 流路の変動形式が、下流移動型、上流移動型、不動点形成型の三つに大きく分類されること、それらがさらに、振幅拡大型、減衰型、中立型に細分されることを示し、変動量算定上の問題点を明らかにした。

(3) 谷軸方向流速によって無次元化された変動速度を、川幅によって無次元化された曲率に対してプロットする方法を、変動形式別に試み、対応を調べた。結果は大きくばらつき、系統的性質を見い出すに至らなかったが、変動速度が河川規模によるほか、他の要因によって規定されることが考察された。

(4) 池田・Parker・沢井による偏倚流速の線形方程式を、一般蛇行形状に適用して得られた解を使用し、流れと形状の影響を見積り、これで変動速度を除すことによって変動速度係数 E_0 を求めた。

(5) 有意な E_0 の地域ごとの平均を求め、標準貫入試験 N 値の10m深平均、および沖積層平均との対応を見た。結果は両者とも、 $N = 10 \sim 15$ に頂点をもつ山形の分布を示した。すなわち、 N がこれより大なる場合も小なる場合も E_0 が減少する(浸食が生じ難くなる)ことになる。

(6) このことは、一般に砂質土が $N > 10$ の値をとり、 N が大なるほど緊密になること、また、粘性土が $N < 10$ の値をとり、 N が小なるほどその混入率が高くなることと矛盾しない。

謝辞： 本研究は、文部省科学研究費・特定研究「比較河川学の研究」(代表 岸 力)の分担・協力の一環として行われ補助を受けた。記して謝意にかえる次第である。

参考文献：

- 1) 長谷川和義・伊藤仁：蛇行流路の経年変動に関する電算機シミュレーション, 土木学会北海道支部論文報告集, 第34号, 1978-2
- 2) Ikeda, S., G. Parker and K. Sawai : Bend theory of river meanders. Part 1. Linear development, J. Fluid Mech. Vol. 112, 1981
- 3) Parker, G. : Theory of meander bend deformation, Proc. of the Conference Rivers'83, 1983
- 4) Beck, S., D. A. Melfi and K. Yalamanchili : Lateral migration of the Genesee River, New York, do above.
- 5) Nanson, G. C. and E. J. Hickin : Channel migration and incision on the Beaton River, Jour. of Hy. Engin., Vol. 109, No. 3, Mar. 1983
- 6) 木下良作：石狩川河道変遷調査附図, 科学技術庁資源局資料第36号, 1961
- 7) 赤井浩一：朝倉土木工学講座 5, 土質力学,