

蛇行流と河道形状に関する研究

正員 ○山 口
正員 西 村

甲 *
豊 **

1 緒 論

蛇行河川における蛇行長、蛇行振巾、湾曲部の洗掘深および湾曲部の河道抵抗はいつでも安定した低水路を計画する上で重要な要素である。これまでの低水路計画では直線上の距形断面における河床の動的平衡の究明によって平均的な河道巾、縦断形状を求めているが、湾曲河道における河道形状は不整形、かつ不安定であるため、湾曲部での護岸、堰橋台などの災害、砂洲の発達による分合流機能の低下、更には不安定河道での河岸欠壊、蛇行振巾の増大による洪水疎通能力の低下など、河道維持上重要な問題が発生している。

河道形状は、平面、横断、縦断形状の3次元で表わされるが、それぞれの形状は、水理量、河道を構成する砂礫、地形、地質などと互干関係を持ち、河川特有のパターンを示している。これまでの河川における河道形状に関する研究は、蛇行論に基づく成果であるが、筆者らは石狩川について更に、蛇行河道の横断形状について、現状の河道形態を分析したものである。

2 蛇行長及び蛇行振巾

河川の平面形状は、河道内の流れと、河道を構成する河岸土に支配されるところが大きい。その物理現象としての解明は未だ研究の段階にある。そこで現段階は、多くの河川についての現状分析を行ない論理の方向をさぐる段階であろう。蛇行長については、木下氏¹⁾、山岡氏ら²⁾ *p. Ackers*³⁾ など多くの研究がある。木下氏は、石狩川について、1蛇行は、1、2、3及び4以上の砂堆で構成されるものに分類されることを指摘し、我国における蛇行研究の草分け的なデータを示した。山岡氏らは、北海道の2、3の河川の蛇行長について、スペク

トル解析を行ない、河川ごとの卓越蛇行長が、年平均流量と関係があることを指摘した。*P. Ackers* らの研究でも、河川、実験水路のデータから、年平均流量、又は流域面積との関係を導びいている。

これらの研究は、蛇行の蛇行長についての論及が明確でない。

筆者らは、石狩川など北海道の5河川について個々の蛇行について、水面勾配と、河床砂との関係について考察を試みた。低水路断面内について、横断面から1mコンター図を作成し、その最深部を連ねる線 (*Thalweg*) を求めてその線を単位辺長 ΔL で分割し、それぞれの線分 ΔL だけの推移による偏角 θ を計測する。上流部から逐次 θ が極値を示す間の距離を一蛇行長 L とする。 ΔL は、石狩川で250m、豊平川、忠別川、札内川、渚滑川の4河川では100mとした。図-1に、河床砂礫の平均粒径 dm 、水面勾配 I と L の関係を示す。

砂利質河岸では、次式で示される。

$$\frac{L}{dm} = 64 \cdot I^{-1} \quad L(m), dm(mm) \quad (1)$$

調査対象河川の水面勾配 I は、 $1/5000 \sim 1/100$ の広い範囲にあるが、式(1)によって、蛇行長 L 、をよく表わすことができる。粘土質河川である、石狩川の0～60km区間については、図-1に、○印で示したが、この区間については式(2)では表わすことはできない。また、 L は、 dm 、 I のみとの関係で示すことができなく、更に他の因子が関与していると思われる。

図-2には、石狩川の *Thalweg* の位置を、左岸水際線からの横断方向の距離 ℓ を示したが河道区間毎の、蛇行長 L 、及び河道内における最深線 (*Thalweg*) の振巾 w の特徴がよく示されている。河道内の振巾 w は、河口附近で500mにも及んでいるが、40km附近までは、 w は小さくなり、200mとなる。50kmより上流では、砂質河岸となるが、 w は更に大きくなり、90kmより上流ではまた w は小さくなっている。 L と w の関係は図-3に示すと

* 北海道開発局土木試験所河川研究室長

** 同 上 研究員

$$w = 0.125 \cdot L$$

(2)

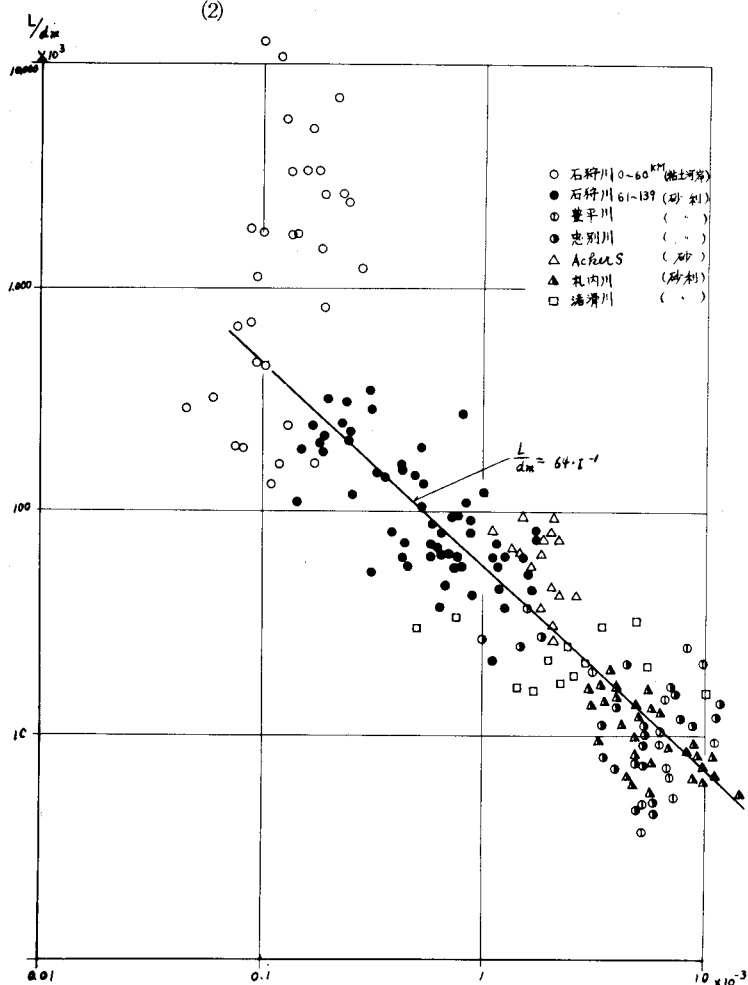
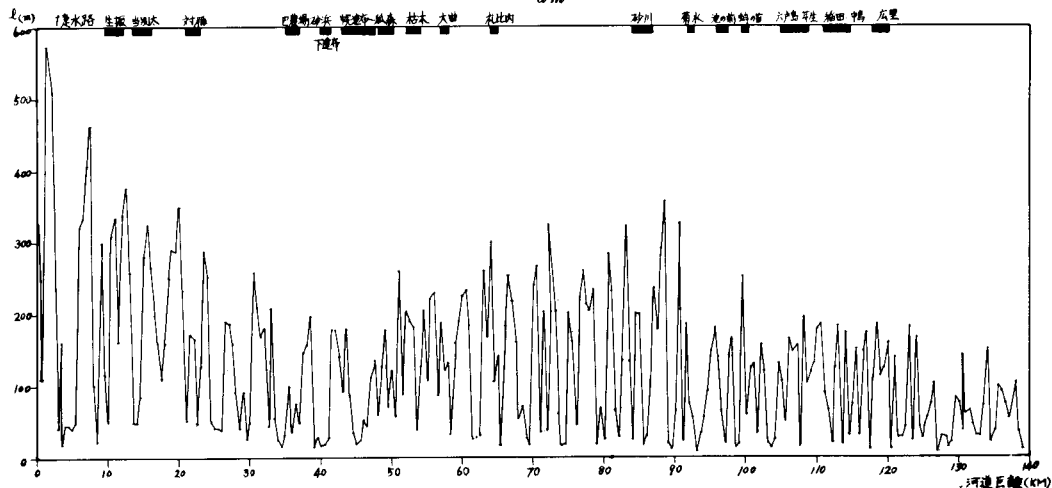

$$\boxed{\times} - 1 \quad \frac{L}{d_m} \sim I$$


図-2 左岸水際線から最深部までの距離 (石狩川)

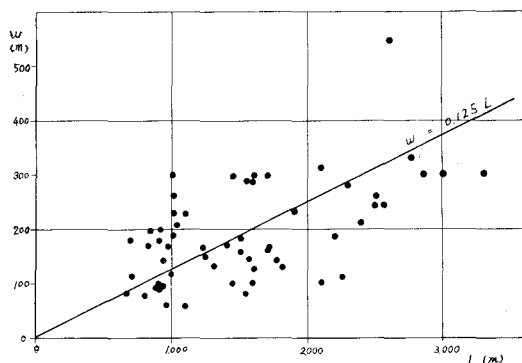


図-3 蛇行長、蛇行振巾（石狩川）

湾曲部の洗掘深

蛇行河川の流れ、河床変動を支配するパラメーターとして次のことが考えられる。

- a 水路特性 (a)横断形状因子—水深 h 、水路巾 B 、横断形状係数
- (b)蛇行形状因子—蛇行長 L 、振巾 ℓ 、谷軸となす角度 θ 、曲率（半径） R
- (c)縦断形状因子—水路床勾配 S_b
- b 流れ特性 (a)流れの因子—流速分布、流向、圧力分布、水面形、乱流構造、流入条件、重力の加速度
- (b)流れの性状因子—粘性、比重、水温
- c 流砂特性 (a)河床砂性状因子—比重、粒度、粒度分布
- (b)流砂量因子—掃流砂、浮流砂、河床波

湾曲部の流れは、河道水面巾 B 、水深 hw とするとき $\frac{B}{hw}$ の値に大きく左右される。河川では $\frac{B}{hw} \gg 10$ であるから、水路内でのエネルギー損失は、河床抵抗が占める割合が多いと考えられる。固定床における湾曲流の研究は数多しの研究があるが、移動床での研究は少ない。本文では、河道形態学的に、湾曲部の洗掘深を分析したものである。

Systematic に洗掘深を求めるには上記の parameters についての個別的研究が必要となるが、それは今後の研究テーマとするが、今回は、(a)の水路特性との関係について究明する。

河川横断形を図-4に示すように計量化を行なう。流下断面の分析として、基準水位を融雪最大出水（5ヶ年平均値）として、その流下断面を分析対象断面とする。

河道維持計画に、最大洗掘深、及びその位置が重要となっているが、平均河床高より低い部分の河巾 B' 、と水面巾 B の関係は次式で示される。

$$B' = 0.545 B \quad (3)$$

オーダー的には、 B' は B の約半分であるが、わずかに、50%より大きいようである。また、 B'/B は、河道面平面形状、砂礫径などによって変化しているようである。

最大水深 hs は平均水深 hw 、湾曲の曲率半径 R 、水面巾 B との関係が深いようである。Apmann⁴⁾ は湾曲部の水深 h は、 R の指数型と関係があることとて次式で示している。

$$\frac{hw + hs}{hw} = \frac{3.5 \left(\frac{B}{R} \right)}{1 - \{1 - \left(\frac{B}{R} \right)\}^{3.5}} \quad (4)$$

図-5に石狩川の値を示したが、 $B/R < 0.4$ では式(4)より、 $hw + hs / hw$ は大きな値を示す傾向にある。実験式は次のとおりで、 $\frac{B}{R} < 0.1$ で $hw + hs / hw$ は1.15に漸近するとした方がよい。

$$\frac{hw + hs}{hw} = 1.15 + 2.0 \left(\frac{B}{R} \right)^{0.7} \quad (5)$$

式(4)、及び(5)は、河道の湾曲によって最大洗掘深が求まることを示すが、水理量が因子として入っていないことは hs を見積る場合に片手落ちである。筆者らが、湾曲水路で室内実験を行なった結果によると、水路中、実験砂を一定とした場合、 $\tau_* (= U_*^2 / (\frac{g}{\rho} - 1) \cdot g \cdot dm)$ と hs の関係がある。それらのデータを参考にして、図-6に示す結果を得た。

実験式は式(6)に示すとおりである。

$$\frac{hw + hs}{hw} = 50 \cdot \tau_* \cdot \left(\frac{B}{R} \right)^{0.7} \quad (6)$$

ここに hw : 平均水深、 hs : 最大洗掘深、 $\tau_* = U_*^2 / (\frac{g}{\rho} - 1) \cdot g \cdot dm$ B : 河巾、 R : 河道の曲率半径

石狩川下流部の感潮区間での hs は式(6)で表わすことはできない範囲になるが、別の機会に検討するとして、今回は除外している。それらの結果によると、式(6)より

高精度で、洗掘深 h_s を予測することができる。

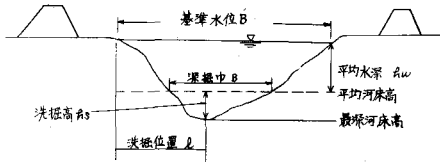


図-4 河道断面諸元

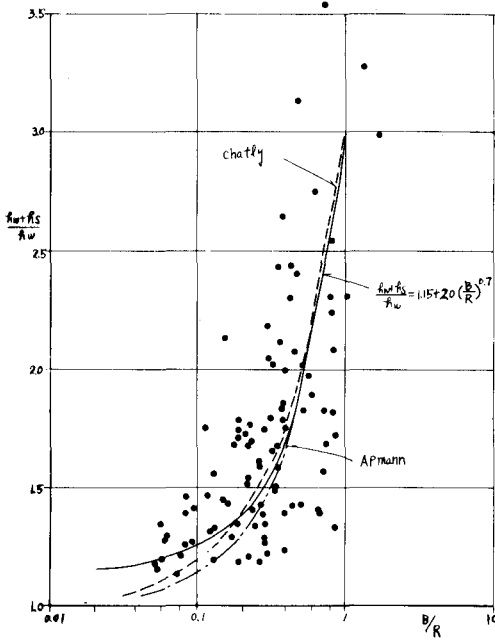


図-5 $\frac{h_w + h_s}{h_s} \sim \frac{B}{R}$ (石狩川)

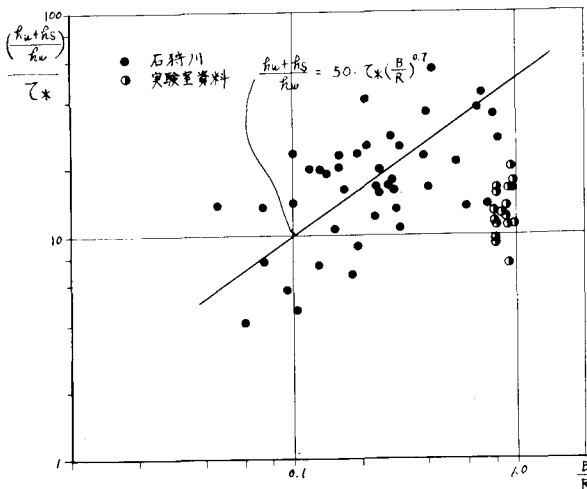


図-6 $\frac{h_w + h_s}{h_w} \sim \tau_* \cdot \frac{B}{R}$

次に河道横断形状について、1、2の分析を試みる。

図-4に示す横断面図の計量化に基づいて、 $h_w + h_s / h_w$ と $\frac{B'}{B}$ の間には図-7及び式(7)に示す関係が導かれる。

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{h_w + h_s}{h_w} \right) \left(\frac{B'}{B} \right) &= 1 \\ A &= h_w \cdot B = (h_w + h_s) \cdot B' \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ここに A : 流下断面積、 B : 水面中、 B' : 洗掘巾、式(7)は、流下断面積 A は、水面巾 B を水路巾とした場合の平均水深高 H_w における洗掘巾 B' と最大洗掘高までの水深 ($h_w + h_s$) の積で表すことを示しており、断面形状の法則性の一画が解明されたことになる。また最大洗掘深が生ずる横断方向上の位置を、曲線水路の凸岸での水面からの距離 l とすると次式で表わすことができる。

$$\frac{l}{B} = 1.11 = 0.083 \log_{10} R$$

$$\text{ただし } R > 100 \text{ (m)} \quad (8)$$

l/B については、水理量に応じて変化することが実験水路によって確かめられている。また河岸の流れに対する粗度、即ち、実際河川では護岸の粗度効果によって変化するのである。これらは護岸計画に極めて重要なことであるが、今後の問題としたい。

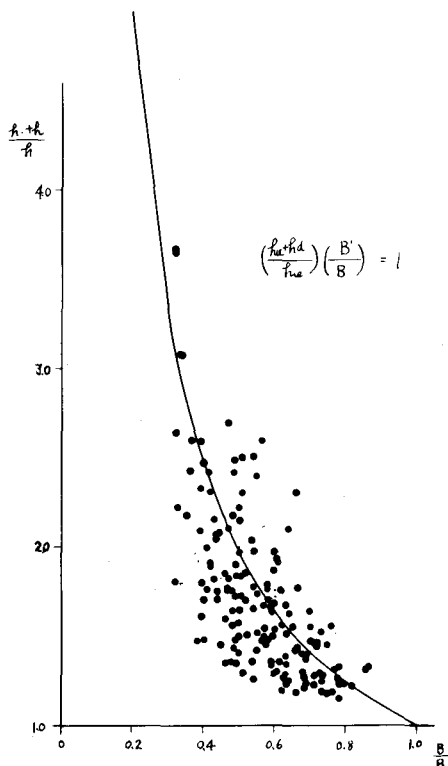


図-7 石狩川 $\frac{hw + hs}{hw} \sim \frac{B'}{B}$

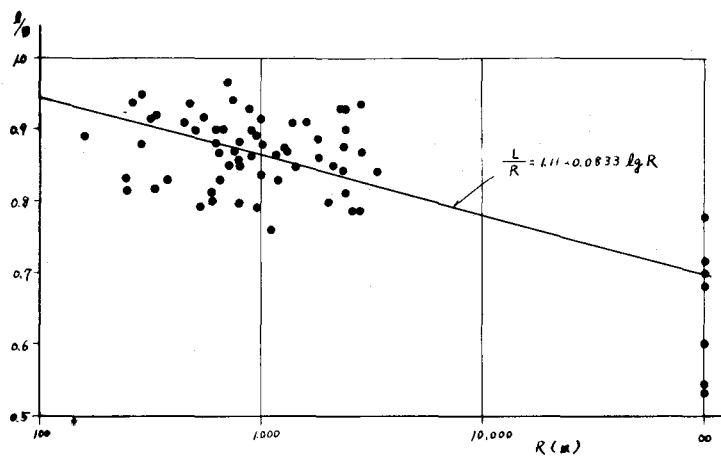


図-8 $\frac{B'}{B} \sim R$

4 蛇行河道の粗度

これまでの河道計画では、河道粗度は直線河道部での値を用いている。しかし自然河道、或いは河川改修計画がある河道は、直線河道と見なすことができないほどに蛇曲形状を有しているのが一般河川である。

このことは、湾曲部における流水抵抗は直線部より大

きいことを示しており、その大きさを見積ることは洪水疎通の安全性の上で極めて重要である。それは湾曲による粗度の増加が大きいからである。また、現行の河道改修計画費中に占める低水路護岸費は大きい。河川改修が進んでいる河川では、護岸費の占める割合は、50%にも及んでいるが、広い高水敷を有する複断面河川では低水路護岸では、低水路護岸の緊要性が論議されている。これは河岸の部分的な欠壊では、破堤などの災害につながらないなどの判断によるが、筆者は、低水路護岸の機能として新しい提言をするものである。それは、河岸欠壊を防止し、低水路の蛇曲助長を防ぐ低水路護岸は、流下能力を維持するために、有意な機能を有していることである。

小川氏⁵⁾は、固定床水路において湾曲による流水抵抗は、直線部の抵抗の約1.5倍となっていることを実験的に明らかにしたが、筆者らは、石狩川の洪水、及び平水時の同時水位観測資料(1KM間隔)から、湾曲が粗度に及ぼす影響を考慮することとした。Garde Albertsonの河床形態の領域区分によるとRipples and Dunes⁶⁾が発生していることになる。移動床河床の抵抗についての研究を参考にして、実測値の抵抗をmanningの粗度で表わすと、河道の曲率半径が1000 m以上では、湾曲河道の影響は小さいが、それ以下の、湾曲度が大きい河道になると粗度nは急に大きくなる。

即ち、蛇行流、又は河道形状の不整による湾曲部での抵抗が大きくなることを示している。(図-9参照)

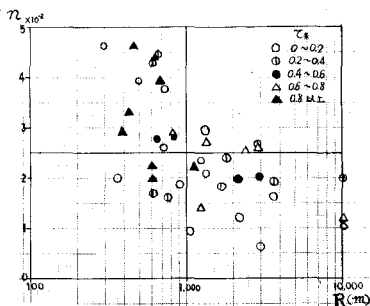


図-9 $R - n$ 図

5 結 論

河道形状と蛇行流について、石狩川を中心にして、2、3の分析を行なったが、要約すると次のとおりである。

- (1) 蛇行長 L は、平均粒径 dm 、水面勾配 I によって表わすことができ、これまでの、河川毎の平均的な蛇行論を一步進めて検討した。
- (2) 蛇行の振巾は、蛇行長と関係があることを見出した。
- (3) 湾曲部における洗掘深 hs は、掃流力 τ_* と、湾曲の曲率半径 R 、水面巾 B によって表わされることを提案した。
- (4) 河道の流下断面形状には、 $B \cdot hw = B' (hw + hs)$ の関係があることを明らかにした。
- (5) 河道湾曲部における粗度 n は直線部より大きくなるようである。

参 考 文 献

- 1 木下良作 石狩川河道変遷調査 科学技術庁資源局資料第36号 昭和36年11月
- 2 山岡勲、長谷川和義、田畑好孝 自然河川における卓越蛇行長と水理量の関係 土木学会第26回年次学術講演会講演集 昭和46年10月
- 3 *p. Ackers, F. G. Charlton The geometry of small meandering streams*
The Institution of civil Engineers. Proceedings London 1970. paper 7328S.
- 4 *P. Apmann. Flow Processes in open channel Bends.*

Journal of the Hydraulics Division proceeding of the American Society of Civil Engineers.
Hy 5 May. 1972
- 5 小川芳昭 開水路湾曲部の横断水面形について 土木学会北海道支部技術資料 第19号 昭和38年2月