

昭和56年石狩川洪水で観測された弯曲部河床変動の特性
The Characteristics of River Bend Topography of
Ishikari-River Observed on the Flood in 1981

北海道大学工学部 森 明 巨
北海道大学工学部 岸 力

著者らは、高水敷流を含む三次元蛇行流の数値解析法を開発し、これを石狩川下流部の矢白場弯曲に適用した結果から、高水敷流が、通常単断面では外岸側に発生する最深部を流路中央部に寄せる作用があることを見出した(1)。一方、木下は、実河川の洪水流の観測から高水敷の蛇行と低水路の蛇行の間の位相の関係により流路の安全度が大きい異なることを見出して(2)。木下は、これらの観測事実を分析してその結論と単断面の流路形に関する実験成果を基に複断面流路の最適形状を提案し(3)、複断面蛇行流に関する一連の移動床実験を行った(4)。その実験結果によれば、上述の石狩川の例は安全側の形状に対応しているものと判断され、著者らの計算結果に一致した。また、被害の大きい流路形状に対応した流れでは実験流路でも洗掘が大きくなることが確かめられた。これらの事実は河川工学上極めて重要である。著者らは、木下氏から貴重な実験資料を提供して戴いたので、本研究では、これらの実験結果の再現計算を行って、複断面蛇行流の流れの構造と河床変動の関係について考える。

1. 石狩川での計算結果の概要

図-1は矢白場弯曲付近の平面図である。この区間の計算を行い ($Q = \text{const.} = 10000 \text{ m}^3/\text{sec}$ を通水、S 56.8い洪水のピーク流量は $12300 \text{ m}^3/\text{sec}$)、図中に示す河床最深線を得た。図には単断面の場合の計算値も示したが、これに比べて流路中央に寄っているのがわかる。この現象を次の様に考えた。弯曲部上流の左岸高水敷から低速流体が低水路に流れ込むことにより、水面付近の流速が河床付近の流速より小さくなる。このため遠心力は河床付近の方が大きくなり通常とは逆向きのラセン流が形成され、外岸側の洗掘が押さえられる。この現象を高水敷流によるラセン流の反転効果と呼ぶことにする。

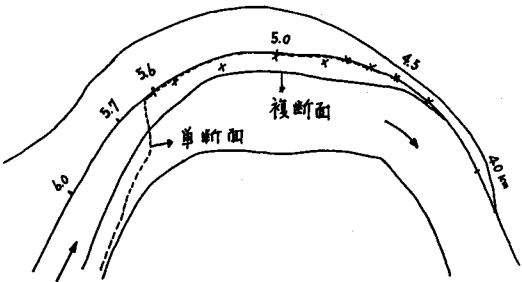


図-1. 石狩川矢白場弯曲の平面図

図-3. 木下実験の河床横断面形

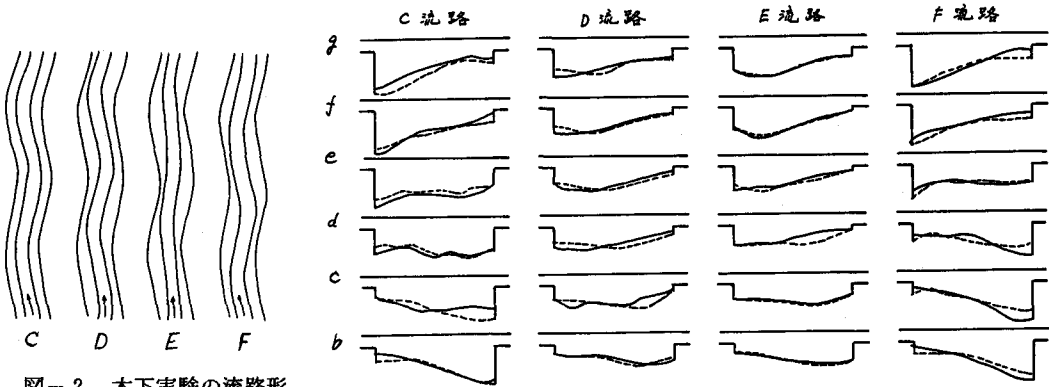


図-2. 木下実験の流路形

図-4 Vbの分布

図-4 D
D 流路

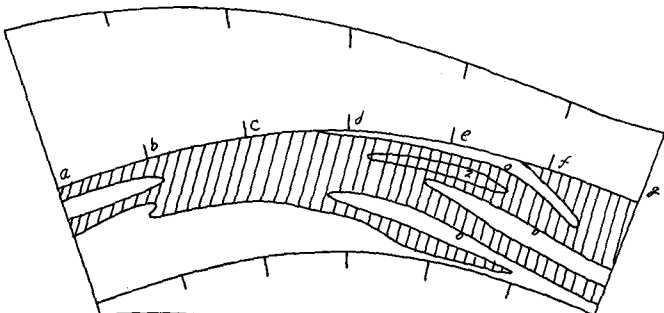


図-4 E
E 流路

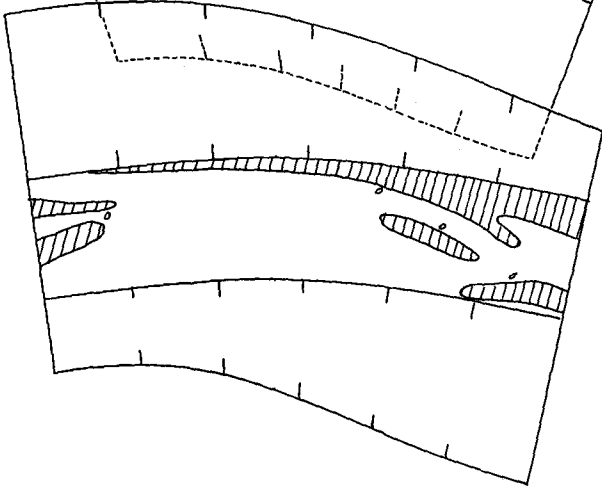


図-4 C
C 流路

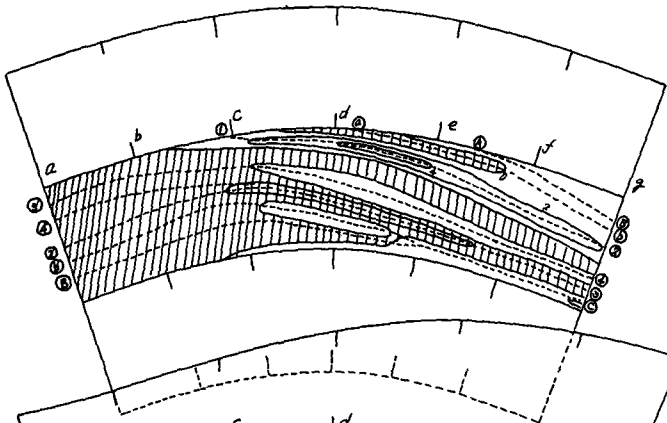
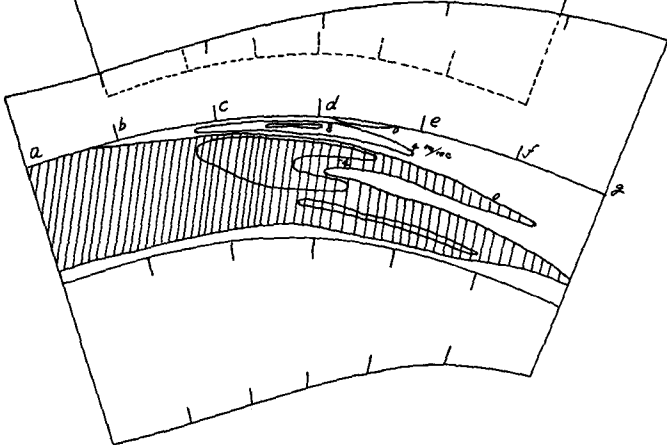


図-4 F
F 流路



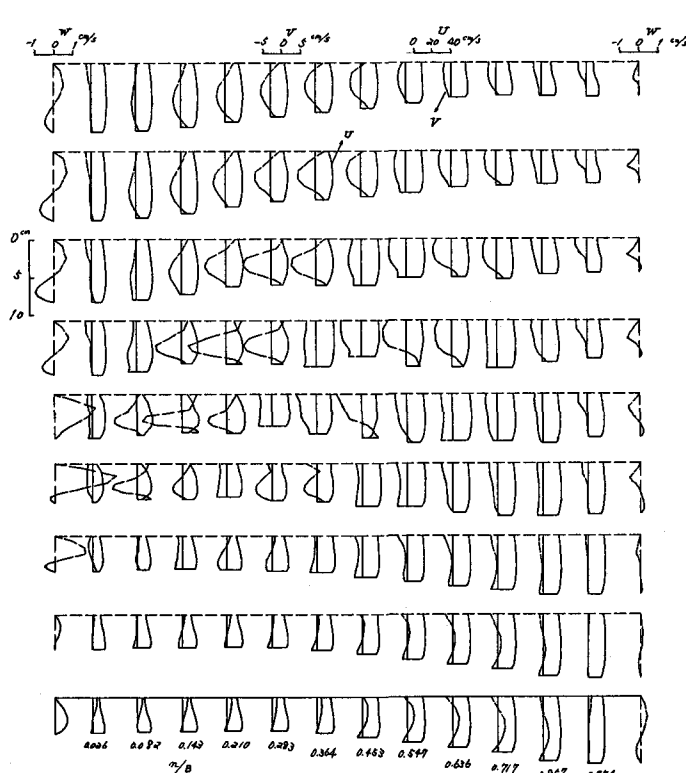


図-5 C.
C流路の
U、V、W
の分布

2. 再現計算に用いた木下実験の流路形

図-2は流路平面形の概略である。蛇行長1.8 mのsine generated curveで、全水路幅60 cm、低水路幅20 cmであり、弯曲角は堤防が 20° 、低水路は、E流路が 10° でその他は 20° である。低水路の高水敷に対する下流側へのずれの距離は、C→0 cm、D、E→25 cm、F→-25 cmである（実験の詳細は文献(4)）。図-3に河床形の実測値（実線）と計算値（点線）の比較を示した（断面の番号は図-4参照）。両者は良く一致している。各流路の河床形は、C、F流路は低水路岸に最深部が発生し、D、E流路では水路中央に寄っている。

3. 複断面流の構造

計算結果を基に複断面流の構造について考察する。図-4は河床形に大きな影響を与える横断方向流速Vの河床流速 V_b のコンター図（斜線部は $V_b < 0$ ）で、図-5は、U、V、W（U：主流速、W：鉛直方向流速）の分布図である。本研究では低水路の凹岸側のみに着目して、図-4、5を中心に各流路の特性を述べる。便宜上、低水路岸横断流について低水路から高水敷に向かうとき“乗り上げ”、逆の場合を“戻り流れ”と呼ぶことにする。また、乗上げの場合、流れに剝離が起こる場合“剝離乗上げ”、起こらない場合を“非剝離乗上げ”と呼ぶことにする。

C水路 低水路岸横断流は大部分は乗上げであるが、上流の一部で反転ラセン流が形成されている。乗上げの形態は頂部付近で非剝離、他は剝離である。下流側の剝離域で河床の洗掘が大きい。この流路の特徴的な流れは、 $V_b < 0$ の領域が凹岸側から凸岸下流に向かって帯状に伸びている点にあり、3～4本認められる（図-4 C）。この流れでは $V_b = 0$ の線に沿って河床波が形成される。図-6は、河床横断形の計算値で河床波のcrestを点線で結んである。図-7 CはU（水面）のコンター図であるが、図中の点線はUの峰を表し、これが図-4 Cの $V_b < 0$ の帯にほぼ一致する。これらの図を総合すると、一種の河床波が形成さ

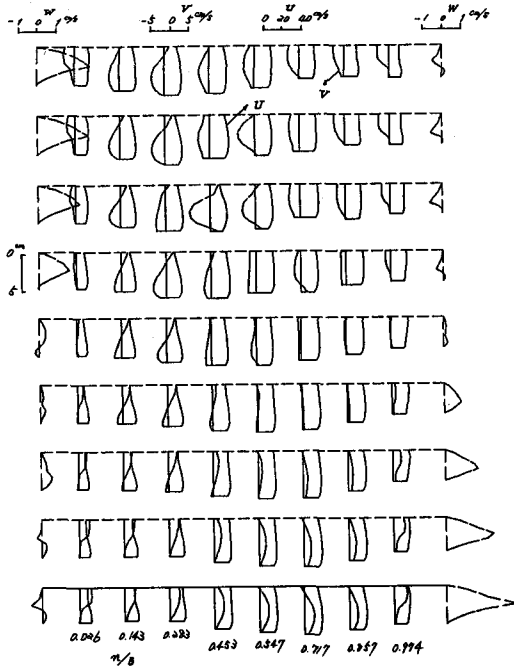


図-5 D. D 流路

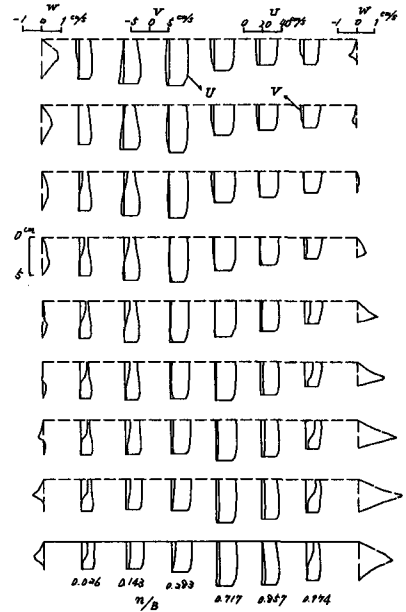


図-5 E. E 流路

れ、その crest 上で U は大きくなり、通過後に流れが剝離したと考える。これらの流れの起点は低水路岸横断流が反転ラセン流から剝離乗上げへ移行する地点である。すなわち、 V_b の峰および谷を結ぶと図-4 c 中の点線となり、 $1 \rightarrow 2 (=2) \rightarrow 3 (=3) \rightarrow 4 (-4) \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow \dots$ と連なる。剝離域の下流には加速域が続き、これが低水路岸では非剝離乗上げとなる。この下流には剝離乗上げが続き、それぞれから、 $a \rightarrow b (=b) \rightarrow C$ 、 $A \rightarrow B (=B) \rightarrow C$ なる連なりが形成されている。河床波の特徴は頂部付近の浅水部の発生で、図-8 の河床コンター図に凹岸頂部の河岸から少し離れた所に浅瀬がみられる。

F 流路 凹岸側高水敷は流下とともに幅が広がっているため全体が乗上げである。形態は剝離で下流側に強い洗掘が生じている。C 流路と同様な河床波が形成されている。

D 流路 上流部の大部分が反転ラセン流である。低水路岸横断流は頂部付近で戻り流れから乗上げに転じている。この変更点の上流側で非剝離の戻り流れ、下流側では剝離乗上げで両者ともに $V_b > 0$ である。しかし、 V_b の値は非常に小さく、上流からの反転ラセン流の流下と下流の非剝離乗上げのため低水路河岸の洗掘は生じない。河床波は凸岸側下流部に見られる。

E 流路 大部分が反転ラセン流である。上流に非剝離の戻り流れ、下流側の一部に非剝離乗上げがある。この流路の特徴は、著しく二次流の強度が小さいことである。この現象は木下(5)によれば、高水敷流の作用により水面付近の低水路二次流の向きが河床付近の二次流の向きに変えられたためと考えられる。この作用を高水敷流による二次流の減殺効果と呼ぶことにする。この効果により E 流路では、反転ラセン流がそれほど強くないにもかかわらず河岸の洗掘は起こっていない。また、 U (水面) の最大値は図-7 E に見られる様に水路中央となっている。

以上の高水敷流の効果をまとめると、凹岸の洗掘を抑制する効果として、ラセン流の反転効果、非剝離乗上げ、二次流の減殺効果がある。一方、洗掘作用として、剝離乗上げ、非剝離戻り流れがある。また、一種の河床波が発生する。これは、取水施設などを考えるとき重要である。特に、C 流路の場合、凹岸頂部に浅瀬が生ずるが、河床波は出水毎に位置を変えるから、その挙動を予め明らかにしておく必要がある。

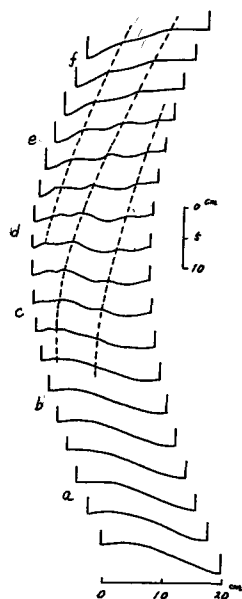


図-6. C流路の河床横断形

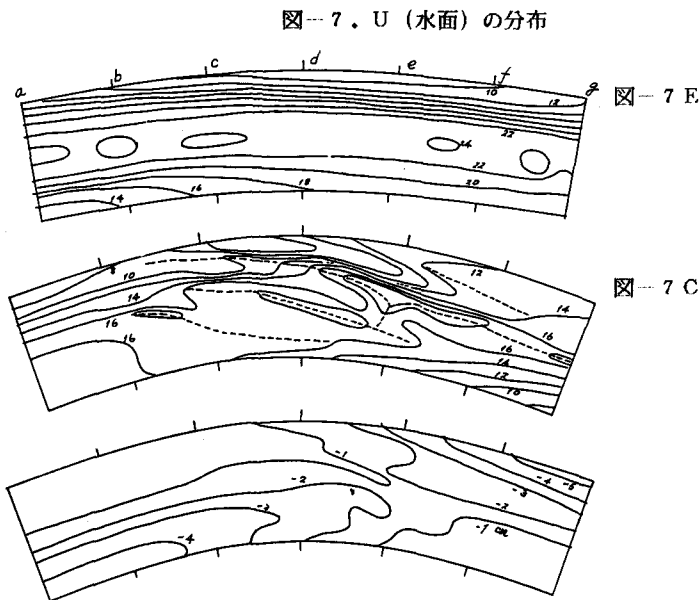


図-8. C流路の河床高分布

上述の実験例では低水路岸横断流は、戻り流れは剝離する場合がほとんどであるが、乗上げでは剝離、非剝離いずれも見られる。非剝離は、低水路の直線部ないし凸岸に乗上げ、かつ、高水敷幅が下流に向かって増加する場合に見られる（DおよびE流路）。剝離は、低水路の凸岸に乗上げても、高水敷幅が下流に向かって減少する場合や凹岸に乗上げ場合に見られる（CおよびF流路）。

4. S 56. 8石狩川洪水における矢臼場弯曲の流れの構造と河床形

矢臼場弯曲の流れ（計算値）では、 $KP=5.0\sim 5.7\text{km}$ に反転ラセン流が見られる（図-9）。また、5.8kmより上流の戻り流れは非剝離となっている。これらの低水路岸横断流の変化はE流路に類似している。図-1中に、S 56. 5に測定された河床の最深点を低水路左岸としたときの、S 56. 8洪水直後の河床最深点を×印で示した。また、図-10は5.6kmと5.8kmの洪水前後の河床形の比較である。

これらの図から以下の様な高水敷流の効果が推察できる。

1. 5.8kmの最深部は、従来の測定では右岸であった。このことは、低水路線形を見ると、この地点より上流がほぼ直線で、更に上流は左岸が凸岸になっていることから当然予想されることである。しかし、S 56. 8洪水では高水敷流量の増加により、強い非剝離の戻り流れが起こり左岸が洗掘され最深部となった。右岸は非剝離乗上げで堆積が生じた。
2. 通常、単断面では凹岸に向って河床は急斜面とるが5.6kmでは反転ラセン流が発生し、左岸の最深部付近は平坦化した。
3. 5.6kmより下流は高水敷高が高いため単断面の流れとなっているが、上流で形成された反転ラセン流が流下するため、4.5km付近まで最深部がいくらか左岸から離れている。

洪水のピーク前後には単断面流があるが、上述の河床変化は単断面流のみでは説明が困難であり、高水敷の効果を考えなければならない。

5. おわりに

本研究では、始めに、木下実験の再現計算を基に複断面流の構造と河床形の関係を調べて高水敷流の効果

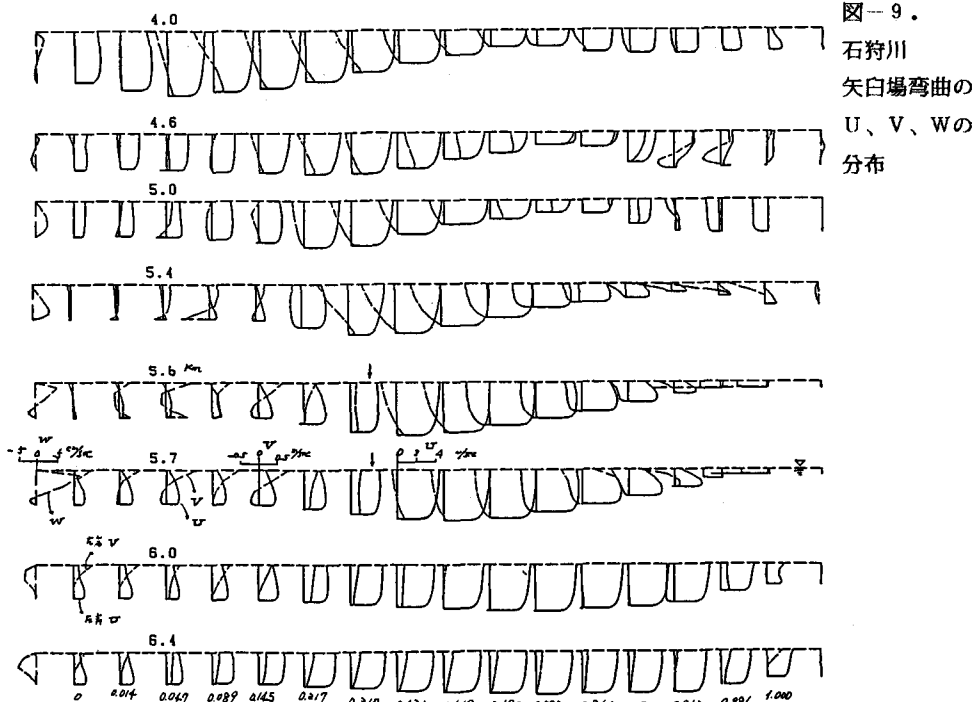


図-9.
石狩川
矢白場弯曲の
U、V、Wの
分布

を明らかにした。最適流路形状については、木下(3)はすでにE流路が最も水工学的に優れていることを指摘していたが、この点が木下の実験(4)に加え、本研究の数値計算でも確かめられた。ついで、それらを応用してS56.8洪水による石狩川矢白場弯曲の河床変化の説明を試みた。実際河川の高水敷流は複雑であるが、基本的な機構は木下実験に総て含まれているものと思われる。

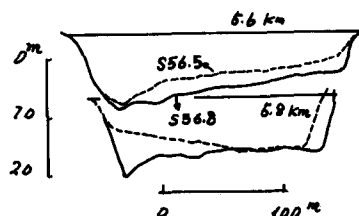


図-10. S56.5とS56.8河床形の比較

本研究は平均流を扱っているが、木下氏は表面トレーサーを連続撮影することによって得た表面流速を、宇民、上野(京大防災研)両氏と解析して規則的な乱流模様が流下するのを観測している。これらの乱流構造は抵抗則や浮遊砂など複断面流の基本構造に重要な働きをなしているものと思われる。この意味から複断面流の研究は始まったばかりと言える。一方、平均流についてはおおよそその構造が推定できる段階になったので、応用を目指した事例研究が必要と考える。

謝辞 木下氏には、幾度も実験成果の紹介と本研究についての御討議を戴き、更に、貴重な実験資料を数多く御提供戴いた。ここに、深甚の謝意を表します。また、本研究の遂行に当たって、文部省科学研究費災害科学特別研究(1)「沖積地河川の河道の治水安全度向上に関する研究」(代表岸力)の援助を受けた。

参考文献

- (1)岸、森、黒木；三次元蛇行流と河床変動の数値解析、昭和60年北海道開発局委託研究、1985。
- (2)木下；航空写真による洪水流の流況測定、土木学会水工、1968、1972。
- (3)木下；航空写真による洪水流解析の現状と今後の課題、土木学会論文集、1984。
- (4)木下；複断面水路の河道線形と低水河岸周辺流況に関する実験的研究、「沖積地河川の河道の治水安全度向上に関する研究」、1985
- (5)木下；複断面流の構造に関する討議