

II—16 蛇行流の構造と河床形に関する研究

北海道大学工学部 正 員 森 明 巨

北海道大学工学部 正 員 岸 力

北海道大学工学部 学生員 中 塩 俊 哉

1. 序論

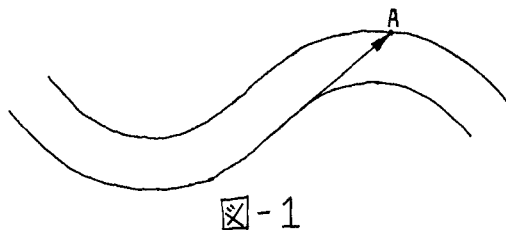
河道の弯曲部では遠心力に起因するラセン流の作用で外岸側が洗掘されて深掘が生ずる。一方、内岸側には砂州状の浅水部が形成される。従って、弯曲部では外岸側に流れが集中する。また、水位は外岸側で高く、内岸側で低くなるから、流路が蛇行する場合には水面勾配は、弯曲部頂部の外岸から同岸下流の内岸に沿った岸側（外内岸側と呼ぶ）が対岸より大きくなる。

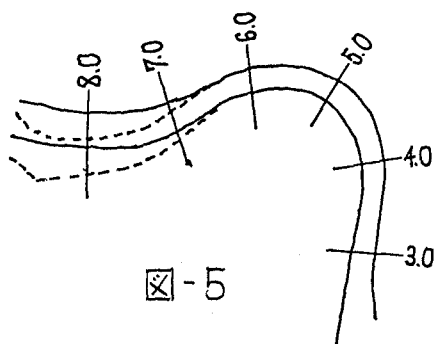
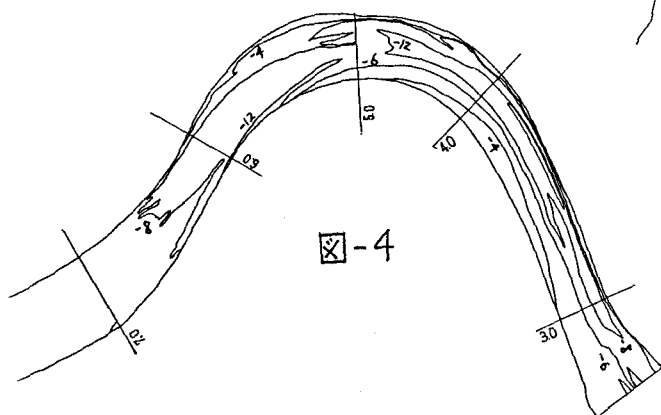
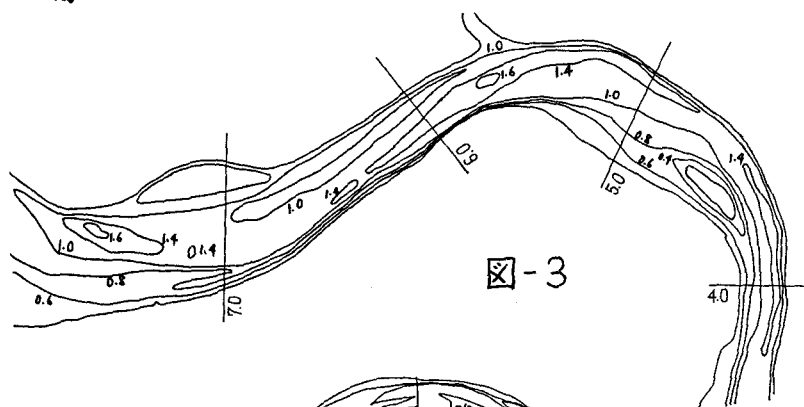
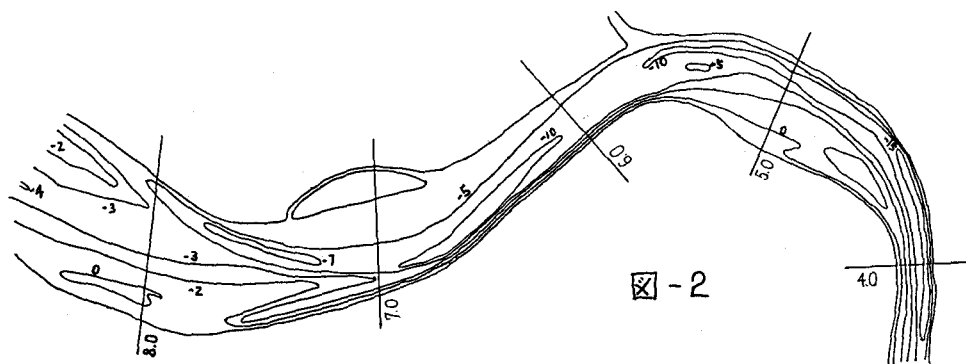
これらのことから外内岸側には内外岸側に比べて大きな運動量が通過する。これらの高運動量の流れは図—1に模式的に示す様に対岸のA点に向かう。A点は外内岸の曲率=0の点の接線と対岸の交点である。そうするとA点近傍では、1) 流れが集中する、2) 流れが流路の曲率より強く曲げられて大きな遠心力が働き、水面と河床付近の流速差のため強い二次流が発生する、などによりA点付近の河床が洗掘されることが予想される。

図—2は、石狩川の河口付近の蛇行部の河床コンター図である。図の上流側では右岸が外岸側で深掘が生じている。この深掘は外内岸に沿っており、これを延長した対岸に左岸の深掘部が見られる。図—3は、同じ蛇行部における昭和54年5月の融雪出水時の表面等流速線図である。図からわかる様に右岸の深掘部に沿って流心部があり、それが下流弯曲部で左岸の深掘部に向って移行しているのがわかる。

図—4は、石狩川の同じ地点の移動床模型実験（北海道開発局土木試験所）によって得られたコンター図である。ただし、模型の平面形は図—5の現地—模型の比較図に示す様に現地と異なっている。すなわち、現地の上流弯曲部が模型ではほぼ直線となっている。現地と模型の河床コンター図を比較すると、前述の現地5.5km左岸付近の深掘部が模型には見られない。一方、模型の右岸6km付近に深掘部があるが、現地では浅水部になっている。これは、模型では6km右岸がA点になったためと考えられる。このため、この地点より下流の右岸に深掘部が続き、これに沿った流心の対岸への移行が現地より下流となり、これに応じて左岸の深掘もかなり下流に移行している。この例からA点では河床の洗掘が大きくなるものと考えられる。A点は水衝点（あるいは水衝部）と呼ばれる。

長谷川(1)は、sine generated curveの形状をもつ水路で移動床実験を行い、外岸の洗掘がA点付近に起こるが、水理条件により流れの構造が大きく異なることを示した。長谷川の測定によれば砂州河床では外内岸側からA点に向って“水みち”が形成されてA点に強い二次流が発生してA点が洗掘される。これに対して、砂漣が発生する条件では、A点は洗掘されるが、二次流の発生は明確ではない。本研究では、数値解析を利用して後者の型の水衝点の流れの構造について考察する。

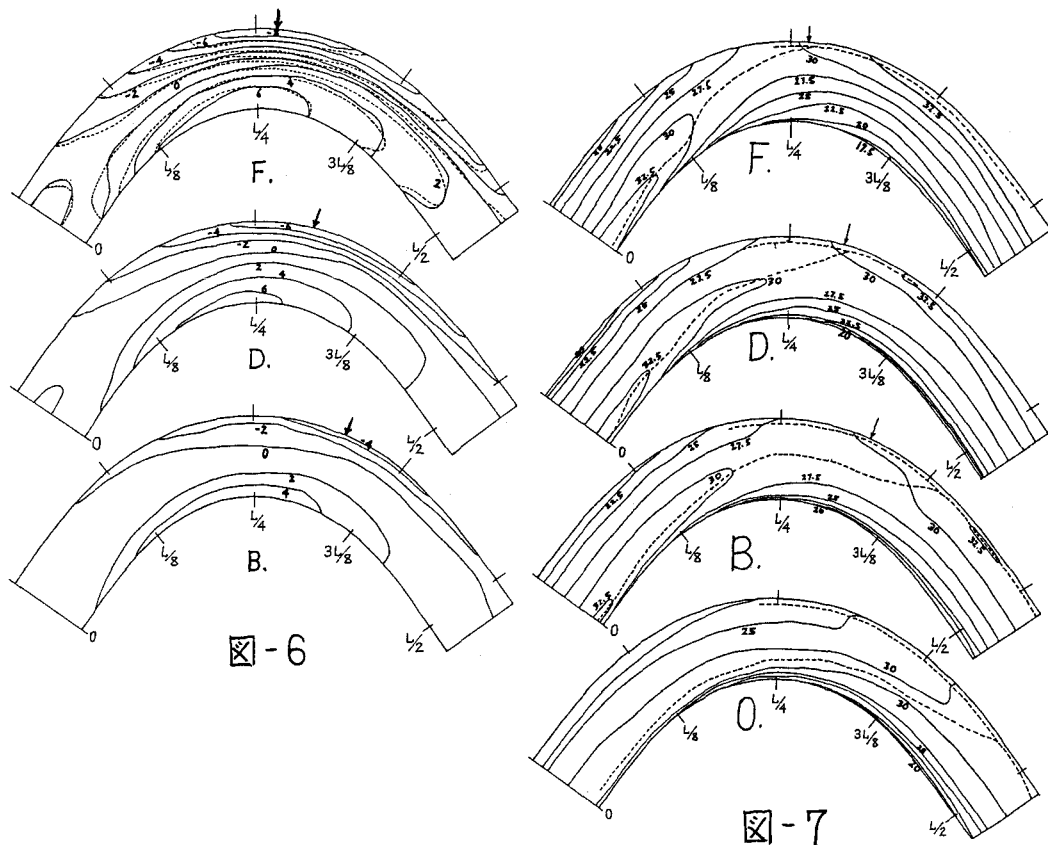




2. Hook のRUN-20 シミュレーション

蛇行角の大きい Hook (2) の実験を再現することにし、周期性の良好な RUN-20 を選んだ。河床形態は砂堆で水衝点での二次流はよわいと予想される。以下に示す図は総て計算値である。図-6 は初期河床を矩形としたときの通水時間 $t=45$ 、82、116 分のときの河床形である（以下では $t=0$ を 0、45 分を B、82 分を D、116 分を F とする）。図中に最深点の位置を矢印で示したが、 t とともに上流に移行するのがわかる。また、内岸の point bar が成長しているのがわかる。図-7 は、主流の平均流速 U_m のコンター図である。図中に U_m の峰線を点線で結んであるが、図-8 に改めて、総ての t を纏めて 1 波長の変化を示した。 U_m の峰は外岸頂部付近で発生し、外内岸側に沿って流下するが、曲率の変曲点を通過後、 t の大きいものほどより上流側で対岸に移行する。この移行点は河床最深部の位置（矢印で示してある）にほぼ一致している。

図-9 は、横断流の平均流速 V_m のコンター図である。 $t=0$ では V_m は極めて小さい（最大でも 0.3cm/sec ）が、河床変動の進行に伴って急激に増加する。流れが外内岸から外岸に向かう範囲（図では $V < 0$ ）は、 t とともに上流に移行し、その外岸での境界は、最深部からわずかに下流である。この図から外岸側の深掘が進行するとともに上下流の深掘間の横断流が強まり、この流れが深掘の位置を上流に遷移させるものと理解される。図-10 に 50% 流量線を示したが外岸側への流れの集中が大きく、流れの蛇行性が河床の変化とともに強められているのがわかる。



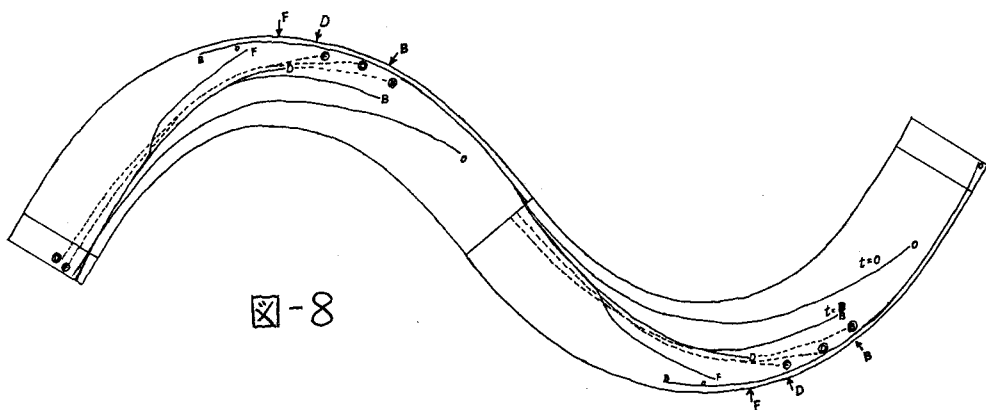


図-8

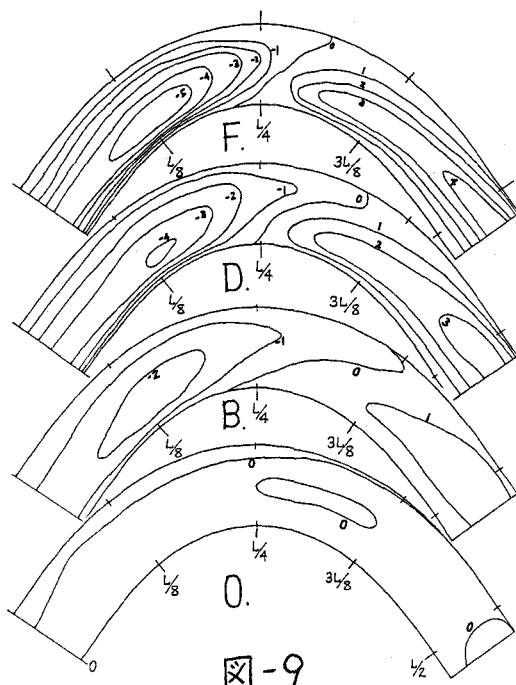


図-9

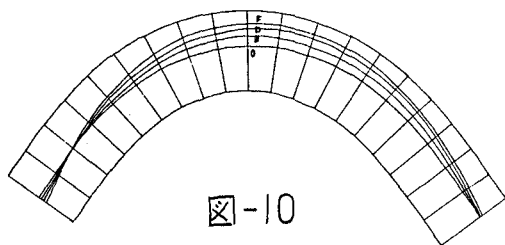


図-10

3. 水衝点での二次流の構造

図-11は、河床横断面形に大きな影響を与える河床での $V = V_b$ の0および1 cm/secの各 t のコンターを比較したものである。図からわかる様に $V_b < 0$ の範囲は t とともに広がり横断流の影響が強まっているのがわかるが、逆に $V_b > 1$ の範囲は狭まっている。この図を見ると外岸の洗掘を二次流のみで説明するのは困難な様に思われる。 t とともに最深点は上流に移動しているが、 V_b の大きい範囲は下流に移動しているからである。

この性質を調べるために(1)式で定義される β のコンターを図-12に示した。一定曲率の弯曲部では β は10

$$\beta = -(V_b - V_m) / U_b \cdot r / h \quad (1)$$

程度である。 $t = 0$ を見ると曲率の変曲点を通過後 β は単調に増加して頂部では10に近い値になっている。これより下流で β は更に増加しているが、これは上流で発生したラセン流が曲率の小さい下流側流路に流入してもその強度が直ちに減衰しないからである。これに対して、河床変動が起こると β の変化は逆の方向となっている。すなわち、上、下流の外岸深掘を結ぶ強い横断流のため弯曲部入口の β が極めて大きくなるが、流下とともに急激に減少する。この原因を次の様に考えた。

著者ら(3)、(4)は、前述の石狩川蛇行部での洪水時の流跡の測定から河床横断勾配が大きくなると主流と二次流間の相互干渉により二次流が弱められることを見出し、その強さを表すパラメーターとして $P_i = h/r \cdot dh/dr \cdot \phi_0$ (h : 水深、 r : 曲率半径、 ϕ_0 : 流速係数)を導き、 $P_i > P_{ic} = 2 \times 10^{-3}$ となると相互干渉が大きくなることを示した。本研究では、 r 、 h に水路中央の値、 dh に左右岸の水深の差、 dr に水路幅を用いて P_i を算定した。

図-13に結果を示したが、計算値は P_{ic} の10倍にもなっている。このため、本研究で用いた流れの水衝点では二次流は弱められ長谷川の砂漣発生の実験と同じ性質をもったものと考えられる。従って、二次流のはたす役割は主流より小さいことが考えられるが、図-12からわかる様に β の大きな部分が外岸頂部に達しており、この点を考慮する必要がある。二次流による側岸近傍の洗掘は二次流の強さとともにその変化率にも依存するはずであるからである。この効果を見るために $t = 116$ 分の河床から、流砂の計算において二次流の効果を無視して $t = 129$ 分まで計算を行ってみた。得られたコンターを図-6中に点線で示したが、最深部で埋め戻しが見られた。

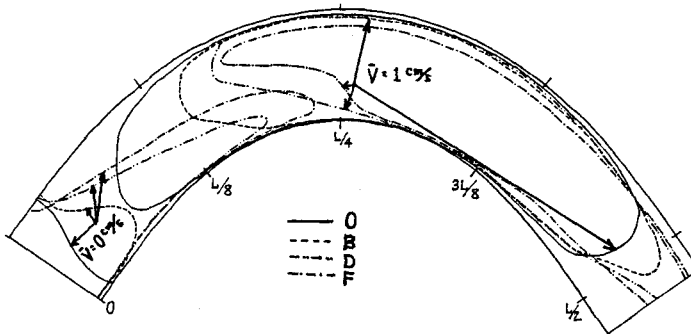


図-11

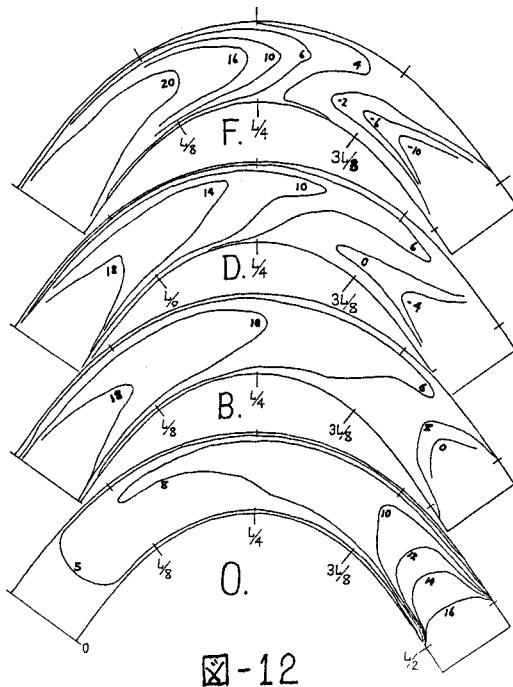


図-12

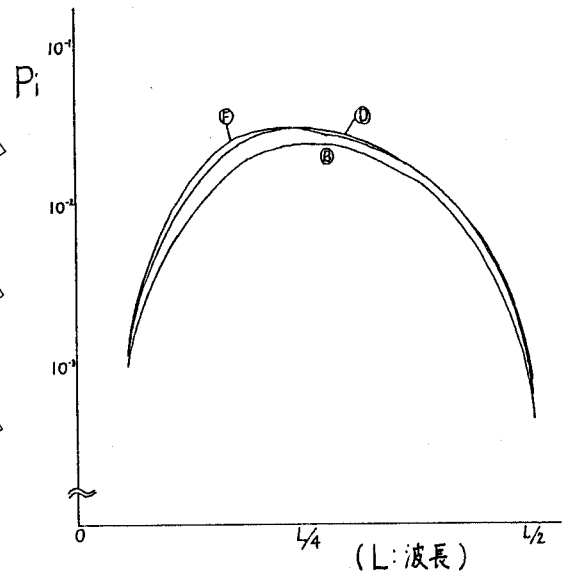


図-13

おわりに

長谷川は蛇行流路の水衝点の流れに2つの型があり、その1つでは二次流の成長が弱く、外岸側の洗掘に対して主要な働きはしないと述べている。黒木、清水は前述の石狩川で二次流を無視して洪水流による河床横断形を求めて良好な結果を得ている。著者らは石狩川の大洪水では $P_i > P_{ie}$ となることを確かめている。このことが上記計算の良好な結果をもたらしたのかもしれない。本研究の解析でもこの傾向が認められたが、二次流の効果を無視することはできない様に思われた。

参考文献

- (1) 長谷川 和義: 沖積蛇行の平面及び河床形状と流れに関する水理学的研究, 北海道大学学位論文, 1984年
- (2) R. L. Hooke: Shear-Stress and Sediment Distribution in A Meander Bend. UPPSALA 1974 UNGI RAPPORT 30
- (3) 森明巨、岸力: 河道弯曲部の河床形に関する研究, 第26回水理講演会論文集 1982年
- (4) 森明巨、岸力: 弯曲水路の交互砂州に関する実験的研究, 第28回水理講演会論文集 1984年
- (5) 黒木幹男、清水康行: 河床変動予知研究会, 口頭発表 1985年