

九州大学 正員 橋 東一郎

" 学生員 長江 元義

" " 北島 清仁

まえがき

直線部に設置した越流連続水制についての実験及び解析を行つてきたが、水制の流速減速効果は水制高 h と、水制間隔 λ との比 h/λ が10程度までのとき著しい。水制長 B としては、 $(h/\lambda)^{0.275} > 2.5$ を満す範囲内で短いことが望ましいという結果が得られた。従つて河川工学の基準とされている h/λ は直線部水制では有効なパラメーターとなり得るようと思われる。しかしながらもともとは水制は、河川弯曲部に設けられることが多く、その場合の流れの集中流向の性状より直線部の要素のほかに h/λ が弯曲性状に関連して重要な要素として入ってくる事が予想される。弯曲部における水制の機能を調べるため、連続越流水制を置いて河床変動とその流況について実験を行い若干の考察を加えてみた。

1. 実験装置と実験方法

実験に用いた水路は、巾 $b = 100\text{ cm}$ の長方形断面コンクリート製で、上流 4 m 、下流 4.5 m の直線水路の間に偏角 70° 中心曲率半径 180 cm の曲線部が挿入されている。路床勾配は $1/300$ 、流量 15 l/sec で、下流直線部の水深を等流水深 $h_c = 3.7\text{ cm}$ に保った。

水制の配置は、粒径 0.6 mm の砂表面から高さ $h_g = 2\text{ cm}$ 長さ $B = 15\text{ cm}$ の水制を、水制間隔 $\lambda = 20$ に全域にわたつて 10° おきに設置した。従つて $h/\lambda = 0.1$ である。

さて水制を設置しない固定床実験によると、主流流速の横断分布を $u = R^m$ で表わす時、入口附近で自由渦 $m = -1$ 、 $\theta = 75^\circ$ 附近で $m = 0$ とそれより下流で m は正となり弯曲部下流 1.5 m 附近で m は最大値 0.65 を取る。

流路に対し重要な外壁流速 V_{out}/V_c は、図-1に附記したように $\theta = 0$ より減少して $\theta = 10^\circ$ に於て最小値 0.87 に達した後増大し、弯曲末漸後 $1.5\text{ m} \sim 2.0\text{ m}$ ($x/B = 1.5 \sim 2.0$)に於て最大値 1.32 を取った後等流状態に漸近する。従つてこの実験では村本⁽¹⁾の分類による渦度の発生域、発達域のみが現われている。また須賀⁽²⁾の流路開始角 α は $\alpha = 38.5^\circ$ である。

実験はまず水制を設置しない場合EXP(A)、水制を設置した場合EXP(B)及び実際の水制では、適当な保護が実施されているから、水制先端を中心とする 10 cm 四方の範囲を移動し、約 1 cm 粒径の石をおきかえ、土を金網で覆つて先端の局所的

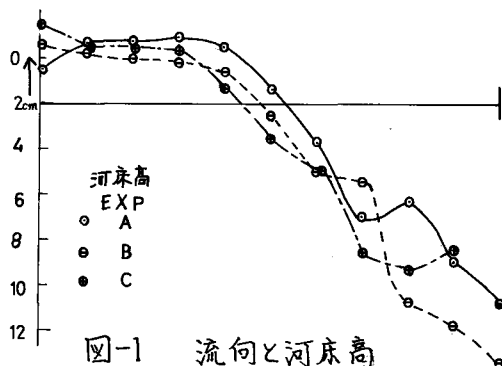
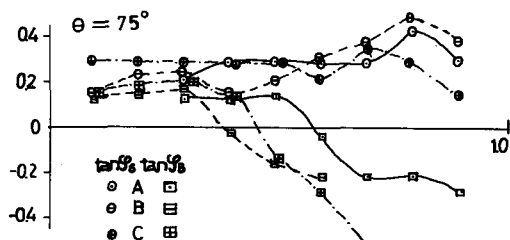
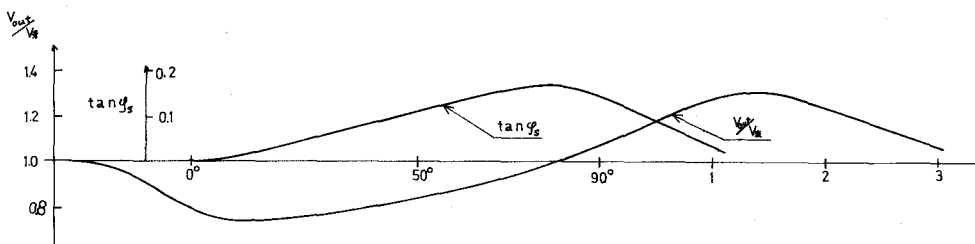


図-1 流向と河床高



洗掘力が、場合EXP(C)について
洗掘特性のパターン。水表面
流向($\tan \theta_s$)、底面流向($\tan \theta_b$)
表面流速はこの時間的变化
を15°おきに、横断方向には
10mmおきに測定した。流向は

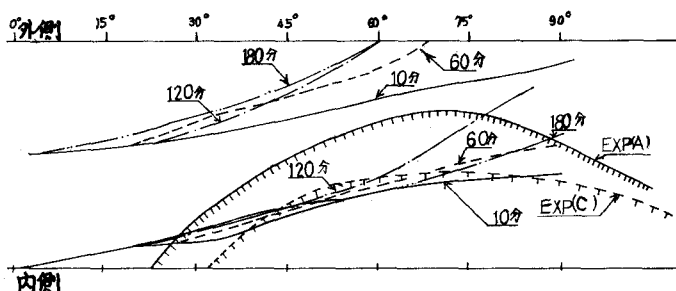


図-2

針金の先につけた糸の方向により、表面流速は多数の紙片を流し、16mmで撮影してフィルム解析装置
により読みと、た、測定には約5分要している。

2. 洗掘 堆積パターン

弯曲水路の河床変動は、θ方向の流砂量を Q_{θ} とする時次式

$$Q_{\theta} = \frac{1}{2} \{ \frac{1}{2} Q_{\theta} (Q_{\theta}) + \frac{1}{2} Q_{\theta} (\tan \theta_s) \}$$

で規定されることから明らかのように、 $\tan \theta_s$ 及び Q_{θ} (U_{*0})の値及びこれらの時間的变化が問題にな
る。また表面の流砂線や水制前面における $\tan \theta_s$ は、流れの集中をあらわし外壁部の深掘れや、水制
部深掘れ、水制間の河床変動に対して重要な役割をもつことが予想される。

水制を設置しない場合の河床変動については、村本氏の詳しく記述があるので省略するが、1例とし
て、図-1に示したように、外壁の洗掘内壁の堆積が違ひ、外向きの表面流向は、2倍へ3倍程度
大きくなる。また底面流向は、固定床の場合の $\tan \theta_s = -11 \frac{1}{2}$ (≒ 0.14) とは大きく変化し、堆積部では
外向きの流れに変化し、深掘れ部では大きく内向き流れとなり、洗掘部の向を顕著なうねり流を形成
している。つぎに図-2に弯曲入口の内壁及び中央部からの表面流砂線、 $\tan \theta_s = e^{\int \tan \theta_s d\theta}$ を示したか
流れの集中部が、時間的に弯曲末端部から上流側に逆上し、 $\theta = 60^\circ$ 付近で安定する様子が見られる。

図-3には、実験Bにおいて河床がほぼ平衡に近い状態で測定された流速 V_{x0}/V_s (V_s : 等流速)
表面流向 $\tan \theta_s$ とともに、(実験A) 外壁に沿う洗掘深、(実験B) 水制前面の洗掘深、(実験C) 水制
間の河床変動を示したが、いずれの場合も中央流砂線が外壁にあたる $\theta = 60^\circ$ より若干下流の $\theta = 75^\circ$
付近で洗掘が最も著しい。

なお全般的な流向に及ぼす水制の影響は、顕著ではなかつた。水制を設置すると主流部における流速
増大のため、実験Aの外壁に集中した洗掘の力が増加し堆積部の力が図-2に記すように減少する。

なお堆積部は比較的早く安定し、その高さは水制の有無に殆んど関係がなかつたようである。

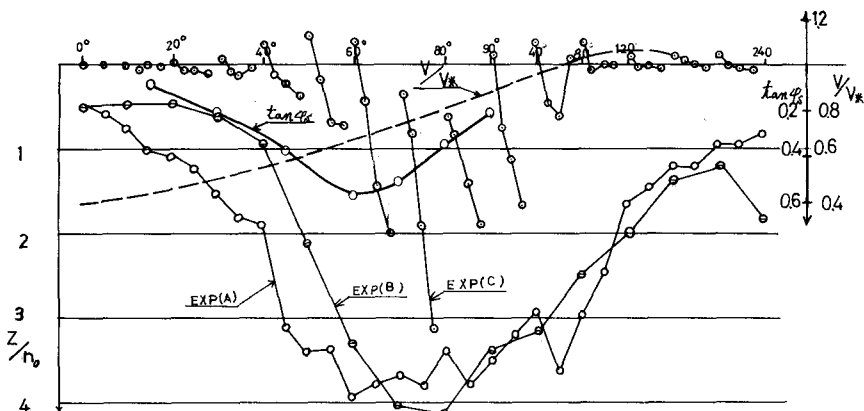


図-3

3. 氷制上による流速減殺作用

直線水路の氷制の場合、氷制域における流速係数は、 θ の他に $\tan \phi_s$ によっても大きく変化する。弯曲部の氷制では、流速は θ 方向に変化し氷制前面からの氷制域への流れにのみがあるため、更に複雑となる。実験結果は一例にすぎないが、実験Bの $\theta=0$ における氷制位置における V/V_s を求める。 $\theta=30^\circ$ から 40° にかけてその値は0.38~0.56の間を変化する。一方直線水路の氷制については、 $R_h \div 22$, $Y_h = 20$ のとき氷制域における流速減少比は0.25の程度である(3)両者の比は主として氷制域への流れにのみを表わす $\tan \phi_s$ に関係すると思われるので、氷制域流速 $V_{氷}$ と $V_{氷上}$ との比を、固定床で求めた $\tan \phi_s$ に対してプロットすると図-4のようになる。

なおこの問題については固定床実験により検討して、

図-4

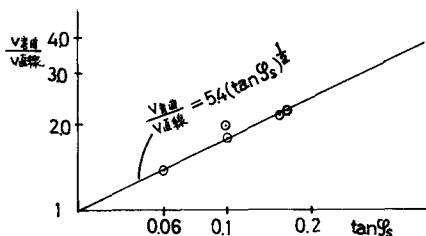
氷制域流速

ゆきたい。

4. 氷制間及び氷制による局所的洗掘

実験Bでは、流れの集中部における氷制前面が、激しく洗掘され、直線路氷制と同様の洗掘孔が形成され水平とほぼ等しい角度をなす。斜面の範囲を増してゆくと同時に氷制前面の河床は一般的に低下し、前面の $\tan \phi_s$ が、固定床時の2~3倍程度に増し前面からの氷制域への流入量が著しく増加する。この流入水は氷制に衝突して氷制の面に水平軸を持つ強い渦を形成し、負の大きな $\tan \phi_s$ の方向にそって、底部から流出する。従って氷制の前面に洗掘孔が作られると、氷制内部の砂粒はこのように流れて、一時的に運びだされ、最大洗掘深は内側に移動し氷制間の河床は図-3の実験Cに示した形を急激に低下する。氷制の前面を保護した場合にも氷制前面に同様に深掘れが生じ、大きな $\tan \phi_s$ による流入水のために氷制間の砂が流出することと前と同様である。このように弯曲集中部では、流水中による土砂の流出と、流速減速効果が直線水路ほど期待されなかったために、 θ が重要な役割をもつことが理解される。

さて流入水の影響を表わすパラメーターとして、最も簡単なものは $\tan \phi_s$ であるが、実験(B)では、



水制前面のB位置における、表面流向 α の變動が著しく高い精度を期待される。 $\varphi=0$ になる水深 h 及び $h/2$ における流速 V を、間隔 $\Delta y=10\text{ cm}$ で測定し、 $Q_m = \frac{1}{2} V \tan \alpha$ により、流入量 Q_m を求めた。測定には、プロペラ流速計及び試作した小型流向計を用い、水制1個あたりについて、 Q_m/h (Q_m : 水制のない場合の単位中流量) を示したものが図-5に示してある。

まず実験Cにおける水制間の平均低下量はビーフが1水制分ずつれている。 Q_m/h と Q_m/Q_s とついで $\tan \alpha$ との間にかなり良い相関が成立している。

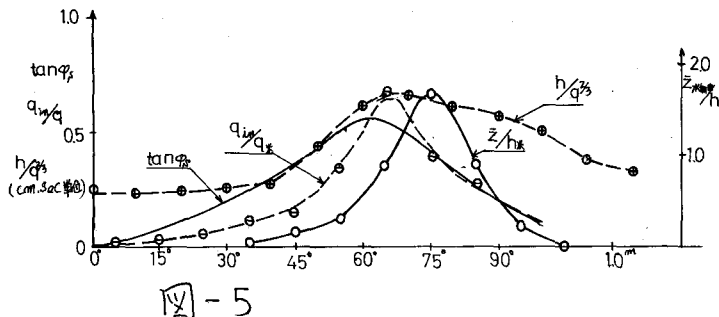


図-5

次に実験Bにおける

水制前面の洗掘深については、前報の直線水路の実験で求めた洗掘深を、含めた水深 h の表示式⁽⁴⁾

$$R = K q^{2/3} \quad \text{or} \quad R q^{1/3} / q^{2/3} = K'$$

を用いる。上式の q として(固定床における水制突端部流速) $\times (t=0$ における水制部水深)をとると q は流れ方向に増加し、弯曲末端下流80cmを最大になる。直線路水制の定常域における K の値が $K_0 = 0.29 \sim 0.33$ であるから $\theta = 60^\circ$ から末端より水路中程度下流迄の水制の K の値は、直線部にくらべてかなり大きい。 K と Q_m/h 或は、 $\tan \alpha$ との間に統一的関係を期待したけれども、 $\theta = 80^\circ$ より-80cm間の水制が流れすぎていて、このデータをよくわからない。

この式の q のほかに、河床のパターンによる流量集中を表わす係数を導入する必要があるように思われる。

参考文献

- 1) 村本嘉雄: 弯曲水路の河床變動に関する研究 (2)
- 2) 須賀寛三: 弯曲水路弯曲部河床の安定形状 (2)
- 3) 椿東一郎: 連続水制の機能に関する研究(第一報)
- 4) 椿東一郎: 水制の機能について(第三報)移動床における河床變動