

九州大学工学部 正員 椿東一郎
鹿児島工専 正員 田原 誠

まえがき

図-1のような直線水路に連続越流水制を設置した場合の流れは、水制の始末から単位幅流量は流れ方向に減少し平衡状態に達した後、水制終末より減少し始め緩慢に等流流れに漸近してゆく。また横方向にも水制域と主流域との間に速度勾配の急激に変化する遷移領域を形成している。吾々は固定床における流れについて実験及び解析を行ってきたが、今回は移動床において主流部における河床変動及び水制の先端及び水制区画内における先掘、堆積等について実験を行ない、上述の flow pattern に関連して若干の考察を行なった。

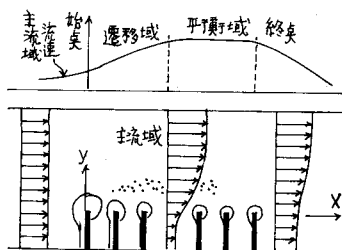


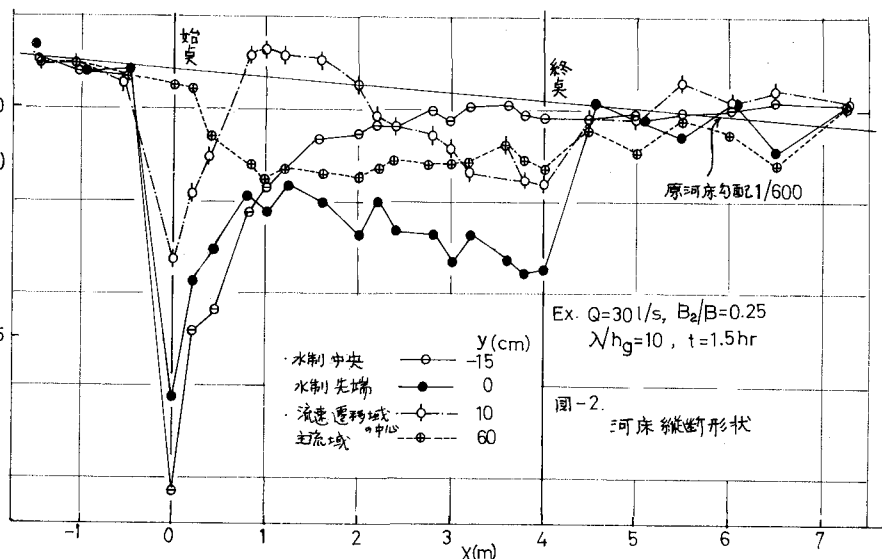
図-1. 流れのモデル

1. 水制における河床変動 pattern の概略

実験は有効長15m、幅 $B=1.2$ m、河床勾配 $1/600$ の水路に、平均粒径 0.85 mm（限界摩擦速度 $U_{*c}=2.16$ cm/s）の砂を10cm厚さに敷き、水路中央の4m区間に長さ30cmの水制を設置した。水制高は $h_g=2$ cmとし間隔は $\lambda/h_g=10$ 及び20で流量を10, 30及び50 l/s の3通りにかえた組合せで実験を行なった。水制による河床変動の例として $Q=30$ l/s , $\lambda/h_g=10$ の場合を、図-2に示した。

。この図から、

(1). 主流部に於ては流れ方向の流速の増加する遷移域、平衡域、水制末端よりの減少域に依りて水制始末付近より低下を始め、ほゞ一定値をとった後、水制末端より河床高は増加し主流部流速に依ずる平衡河床を形成する。



(2). 横方向の流速急変域には水制先端で先掘された砂が集中した堆積域が存在する。この堆積域

はまず水制始端部に作られ、非常にゆるい速度で下流に移動する。

(3). 水制先端の最大洗掘深は当然始端で著しく、先端部流速の変化に対応して遷移域を径た後は一定となる(平衡域)が、水制末端部付近では水制前面部の河床低下に伴って洗掘深が若干増加する。

(4). 水制の安定、保護に関連して水制域における洗掘範囲も重要な問題であるが、この例から明らかに水制始端部付近に於ては、最大洗掘深が水制前面にそって岸側に移動する。

これらのpatternは、流量及び λ/hg によって当然その現われ方の強さを異にする。

2. 実験の結果と考察

(1). 水制先端部の最大洗掘深

水制の洗掘過程がきわめて複雑であるため、最大洗掘深についてきわめて粗いmodelを考える。

標準的な洗掘形状として深さ D 、角度 θ (砂の安息角)のはつ半円形の形を考へ、洗掘が進行定常状態に達しているものとする。洗掘のために流れの集中が起るから、図-3のように X の範囲を流送された砂粒が洗掘穴に落ち、幅 $D \cot \theta$ の砂面を流送されるとすると、平衡状態では、流量 q_0, q 流砂量を q_{00}, q_0 として、

$$q_{00}X = q_0 D \cot \theta \quad q_0 X = q D \cot \theta \quad (1)$$

が成立つ。単位幅あたりの流砂量として、

$$q = K \sqrt{sgd^3} \left(\frac{u_*^m}{sgd} \right) \left(1 - \frac{u_{*c}^2}{u_*^2} \right) \quad (2)$$

を用い、 $u_{*c}^2 \ll u_*^2$ とし $u_* = \frac{1}{g} v = \frac{1}{g} \frac{q}{h}$ とすると、 $m=1.5$ として

$$\frac{h}{h_0} = \left(\frac{q_0}{q} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

となり、洗掘深を含んだ水深が

$$h = K \cdot q^{\frac{2}{3}} \quad (4)$$

で表示され、洗掘問題の実用的な表示として、Ahmad, 河村等によってよく用いられる $2/3$ 乗則が導かれる。 q として、固定床に於ける水制先端部単位幅流量 q_i をとると、主流部流速とは反対に、 q_i は流れ方向に減少して平衡状態に達する。水制の始矣、遷移域、平衡域、水制終矣について K を求めた結果を u_i/u_{*c} の函数(u_i は水制先端部の流速)として図-4に示した。なお(4)式を $hg^{\frac{2}{3}}/q_i^{\frac{2}{3}}$ とすると無次元化されるが、遷移域、平衡域の係数 K の値は u_i/u_{*c} によって減少する傾向があり、また $\lambda/hg = 20$ の K は $\lambda/hg = 10$ に較べて若干大きい。後者については $\lambda/hg = 20$ の方が粗度効果がおとること、及び後に述べるように水制背後のwakeの流速回復が著しいことなどに起因する。また K の値は始端、終矣、遷移、定常の順に減少するが、平均的な K 値は m, sec 単位で1.76である。この値は河村が橋脚の最大洗掘深について与えている値2.1にかなり近い。

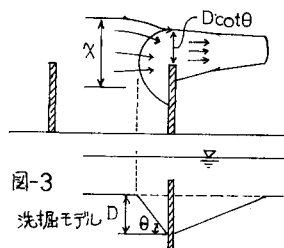


図-3

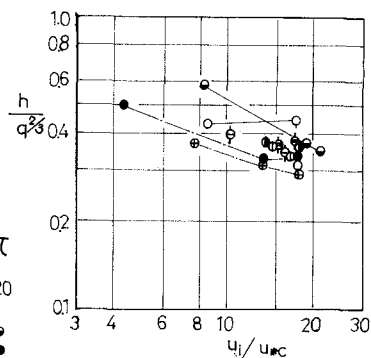


図-4 水制先端部最大洗掘深

(2). 主流部の河床低下

主流部流量 q の変化による主流部の河床低下状態を図-5に示す。主流部河床が平衡状態にあるとすると、(2)式を用いて

$$\frac{h}{h_0} = \frac{q_0}{q} \left[\frac{1 - \frac{q_0^2 h_0^3}{q^2} u_{bc}^2 \left(\frac{q_0^2 q^2 h^3}{q^2} \right)^{\frac{1}{2m}}}{1 - \frac{q_0^2 h_0^3}{q^2} u_{bc}^2} \right]^{\frac{1}{2m}} \quad (5)$$

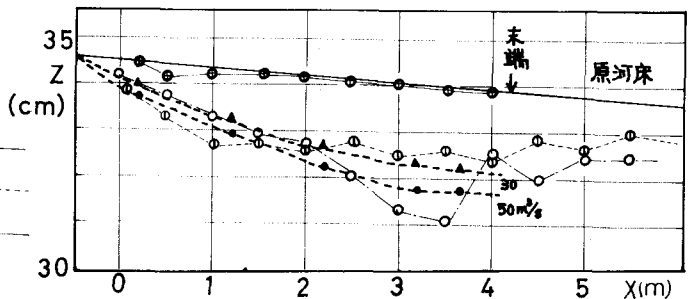
となる。多くの場合、 $q \approx q_0$ で、とくに $u_{bc}^2 \ll u_*^2$ とみられる流砂河川の洪水時に於ては、 $m=1.5$ とすると、

$$\frac{h}{h_0} = \frac{q_0}{q} \left(\approx \frac{h_0 + D}{h_0} \right) \quad (6) \quad h_0 = \left(\frac{q_0}{q_0 \sqrt{g I_e}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (7)$$

が成り立つ。ここに D は先掘深である。図-5で $Q=10 \text{ l/s}$ のときは u_*^2/sgd の値は0.038であって主流部の流砂は殆んど無く河床変動は無視できる。かなり治癒が砂移動がみられる $Q=30 \text{ l/s}$, 50 l/s の場合には、河床に Sand Wave が形成されるため平均河床の算定が実験的にきわめて困難であり、測定の散らばりはかなり著しい。然しながら、近似的に前報で求めた遷移域、平衡域の q/q_0 を用いて簡単な(6)式が図の太い実線のように河床低下量とある程度説明しているようである。

図-5
主流部河床縦断形状
Ex. $B_2/B=0.25$ Q

$\lambda/hg=10$ 50 ○
 $t=1.5\text{hr}$ 30 ●
 $y=60\text{cm}$ 10 ●



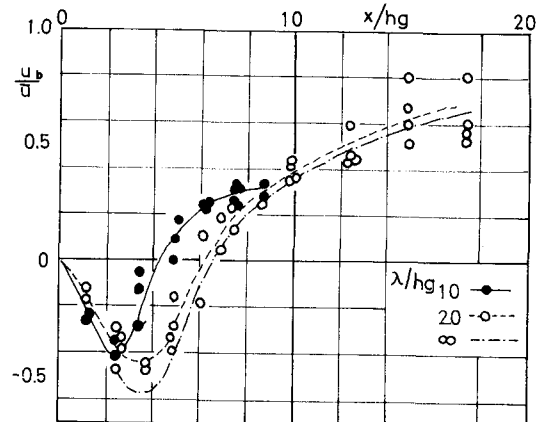
(3). 水制区画内における先掘、堆積

流量 $Q=10 \text{ l/s}$ の場合は掃流力が小さく、水制先端部に小規模の先掘穴を生ずるだけであるが、

$Q=30 \text{ l/s}$, 50 l/s になると、(a). 流量、水深に応じて形成された先掘穴に流量が集中し、水制前面の渦作用と相まって先掘深が岸側に移動する。

(b). 固定床に於て水制を水路全幅に並べ、水制間の底面速度 u_b を測定した結果は、図-6に示すように、顕著な逆流域が存在し、 $\lambda/hg=\infty$, 20, 及び10 のときの逆流範囲は $L_v/hg=6.6$, 6.2, 及び4.4 の程度、逆流の最大流速と平均流速との比 $|u_{\max}|/\bar{u}$ は 0.56, 0.44 及び 0.40 の程度である。なお、速度回復領域では、 $\lambda/hg=10$ の場合水制との相互干渉を生じているが、 $\lambda/hg=20$ と ∞ とは殆んど一致する。

図-6 水制間底面速度



このように底面速度はかなりの大きさを持ち、また非常に乱れた流れであるから限界掃流力を越えると、水制間には流れによる河床変動が生じている。この2つの作用は流速、洗掘の大きい水制始端から遷移領域にかけて著るしく、また λ/hg が大きい方が顕著であることが予想されるが、水制前面の顕著な洗掘範囲 y_c/B_2 (y_c は水制先端より) をプロットした結果を図-7に示した。 $Q=50\text{ l/s}$, $\lambda/hg=20$ の場合には水制全域にわたって洗掘が岸迄波及している。つぎに水制間の河床変動の傾向を示すために $y/B_2=0.5$ (水制中央), $y/B_2=1.0$ (岸) について1波長間の河床高を水制始端の遷移領域と平衡域についてプロットしたものが、図-8である。 $Q=30\text{ l/s}$, $y/B_2=0.5$ 及び 1.0 の位置に於ても遷移域では(a)の作用が顕著でまた逆流渦のために水制背面に堆積を生じている。平衡域では $\lambda/hg=20$ の場合、(a)の作用は残っているが、河床形状は(b)の影響が顕著であり、主として底面流速(図-6)に規定される。とくに $\lambda/hg=20$ のように水制間隔が増すと、岸に於ても水制間中央部にかなりの洗掘を生ずることは注意を要する。流量が増加すれば(a),(b)両作用は更に強く現われることは言う迄もない。

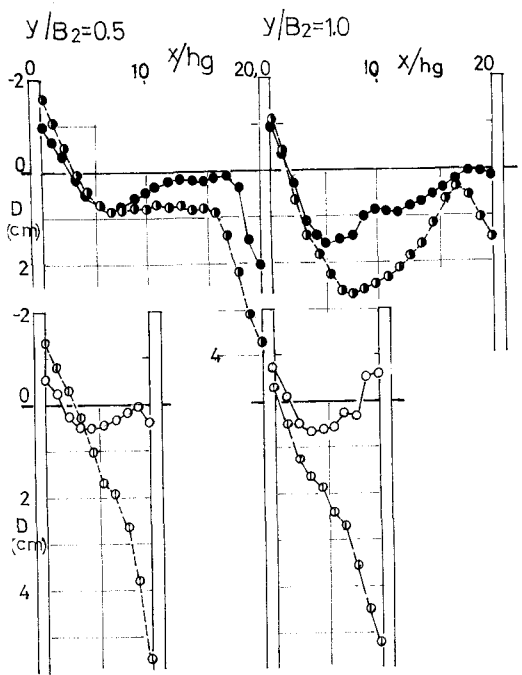
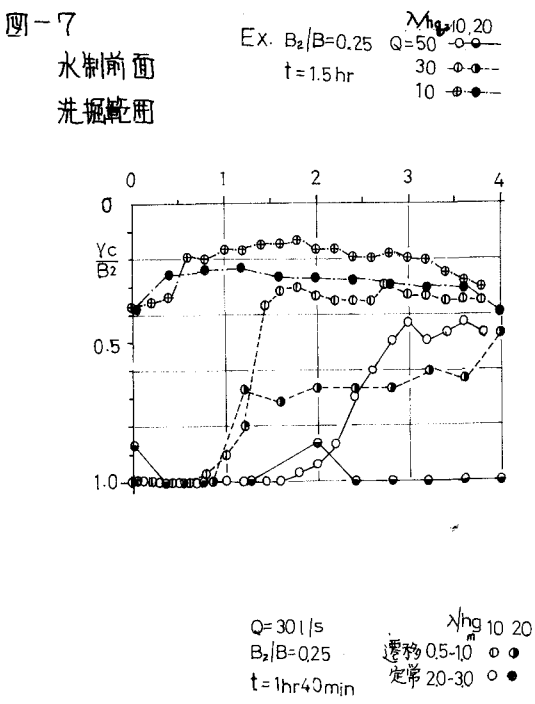


図-8 水制間河床高

参考文献

- 1). 河村三郎 ; 洪水時の河岸洗掘について. オ12回 水理講演集 (昭42-2)
- 2). 椿, 田原, 吉岡 ; 水制の機能に関する研究 (オ2報). オ23回 年次学術講演概要 (昭43-10)