

建設省土木研究所 ○ 阿部宗平 鈴木浩之

1. まえがき

流路工を計画するうえで法線形状の違いがどのように水位や河床変動に影響するかを知る必要がある。本実験的研究は移動床で流れが射流である条件下において、弯曲水路がS字型に連続する場合と弯曲水路間に長さを変えた直線水路を設置した場合の弯曲水路における水位と河床変動を検討しているが、ここに弯曲部における水位上昇量と、第1弯曲部の流れが第2弯曲部の水位や河床変動に影響を与えないために必要となる直線水路の長さを実験的に検討し考察した結果について発表するものである。第1報では、 $R/B (=5)$ が一定の場合に交角 ($\theta = 60^\circ$) の大きい弯曲水路間に直線水路を設置すると、第2弯曲部における水位と土砂堆積は弯曲部が連続する場合に比べて低減するが、交角 ($\theta = 30^\circ$) の小さい弯曲水路に長さの短い ($l/B \leq 3$) 直線水路を設置すると、かえって水位を上昇させ土砂堆積を大きくする問題のあることを指摘している。

2. 実験の概要

実験に用いた水路は B (水路幅) = 0.2 m 、 $\theta = 60^\circ$ と 30° の2種類、 R (曲率半径) = 1 m で同じ形状の弯曲水路をS字型に連続させた場合と弯曲水路間に l/B (l : 水路長) = $1 \sim 6$ の直線水路を設置したものである。河床は移動床で河床勾配は $1/30$ である。給砂は平衡給砂とし、給砂材料と河床材料は同じ $d_m = 1.3\text{ mm}$ の一様砂を使用した。第1弯曲水路に流入する水理条件は、 $Fr = 1.4 \sim 2.3$ 、 $T_* = 0.2 \sim 0.4$ 、 $B/H_m = 5 \sim 12$ の範囲である。

3. 実験結果と考察

3.1 水位の変化

1) $\theta = 60^\circ$ と $\theta = 30^\circ$ の各々の弯曲水路について、上流の直線水路の平均水位と第1弯曲と第2弯曲部の外弯側の最高水位の差の実測値を水路の形状をパラメータに用いて(1)式による計算値と比較して整理したのが図-1である。

$$\Delta H = \frac{B V^2}{g R} \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 ΔH : 水位差、 B : 水路幅、 V : 弯曲部の平均流速、 g : 重力の加速度、 R : 水路中心の曲率半径である。第1弯曲部の平均流速 (V_1) と直線水路の平均流速 (V_0) は、図-2に示すように比例関係がある。

図-1の(1)と図-1の(2)より第1弯曲部の実測値の水位差は計算値にほぼ一致することがわかる。これに対して第2弯曲部の水位差は計算値より大きくなっていて、この様子は水路の形状によって異なっている。すなわち、図-1(1)で $\theta = 60^\circ$ の場合の第2弯曲部の水位差は、計算値に比べて

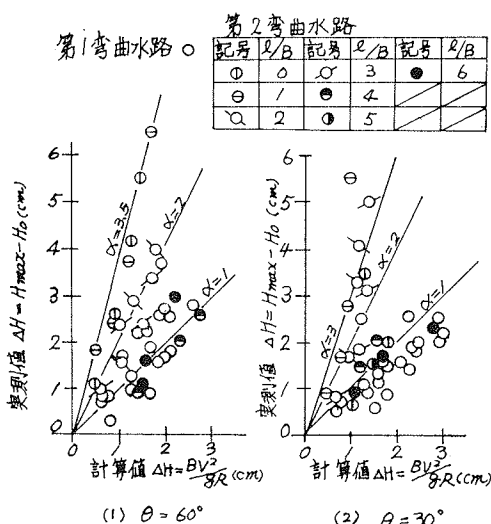


図-1 弯曲水路の外弯側水位と平均水位の差

$\ell/B = 0 \sim 1$ のときに 3.5 倍、 $\ell/B = 2 \sim 3$ のときに 2 倍程度大きく
なっているが、 $\ell/B = 4 \sim 6$ のときに水位差は計算値に一致する
ようになる。 $\theta = 30^\circ$ の場合の第 2 弯曲部の水位差の実測値は、図
-1 (2) にみるように $\ell/B = 3$ までは弯曲水路間に直線水路を設
置すると、かえって水位が上昇するが ℓ/B が 4 より大きくなると水
位差の実測値は計算値に近似する傾向のあることがわかる。

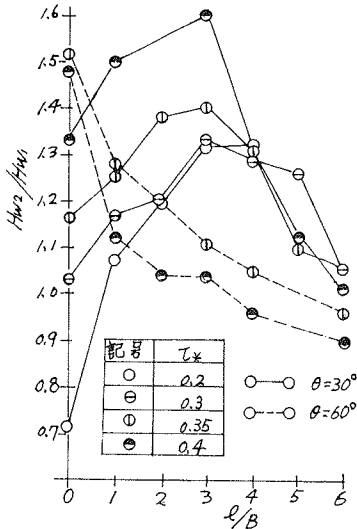


図-3 Hw_2/Hw_1 と ℓ/B の関係

弯曲水路を連続して設置する方が水位上昇量が小さいので有利であると考察できる。

3) $\theta = 60^\circ$ の連続する弯曲水
路の第 2 弯曲部での内湾側の水位
は、第 1 弯曲部の外湾側の水位と
同程度であり、直線水路を設置す
ると直線部の左右岸の水位は、第
1 弯曲部の外湾側の水位と同程度
になる。図-4 は $\theta = 30^\circ$ で ℓ/B
= 5 の形状における水位の縦断変化を示しているが、 $\theta = 60^\circ$ の場合の水位の縦断変化と同じことが
いえる。

3.2 河床変動

1) $\theta = 60^\circ$ の弯曲水路が連続する場合の河床の変化を図-5 に、弯曲水路間に $\ell/B = 3$ の長さの
直線水路を設置した場合の河床の変化を図-6 に示した。図-5 と図-6 を比較すると弯曲水路が連
続する場合と直線水路を設置した場合とでは、第 2 弯曲部の河床の変化の様子が異なって、直線水路
を設置すると第 1 弯曲部と第 2 弯曲部の河床の変化は近似することがわかる。

$\theta = 30^\circ$ の弯曲水路が連続する場合の河床の変化を図-7 に、弯曲水路間に $\ell/B = 3$ の長さの直線
水路を設置した場合の河床の変化を図-8 に示した。図-7 と図-8 を比較すると、弯曲部が連続す

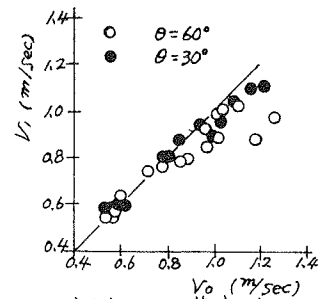


図-2 流入部 (V_0) と第 1 弯曲部 (V_1) の
平均流速の関係

2) 直線水路の長さ ℓ/B の変

化が第 2 弯曲部の最高水位に
与える影響をみたのが図-3

である。図中の Hw_1 は、第 1 弯曲部の最高水位で Hw_2 は、第 2
弯曲部の最高水位である。図-3 に示すように $\theta = 60^\circ$ の場合
に ℓ/B が大きくなるのに従って第 2 弯曲部の水位は低下して、
 $\ell/B = 4$ で第 1 弯曲と第 2 弯曲部の水位は近似している。これ
に対して $\theta = 30^\circ$ の場合は、直線水路を設置すると第 2 弯曲部
の最高水位は $\ell/B = 3$ を頂点として上昇し、 $\ell/B = 3$ より直
線水路を長くすると第 2 弯曲部の最高水位は低下して、 $\ell/B =$
6 で第 2 弯曲部の最高水位は第 1 弯曲部のそれと一致するこ
とがわかる。このことから、 $\theta = 30^\circ$ の弯曲水路で弯曲水路間に
 $\ell/B > 3$ となるような長さの直線水路を確保できない場合は、

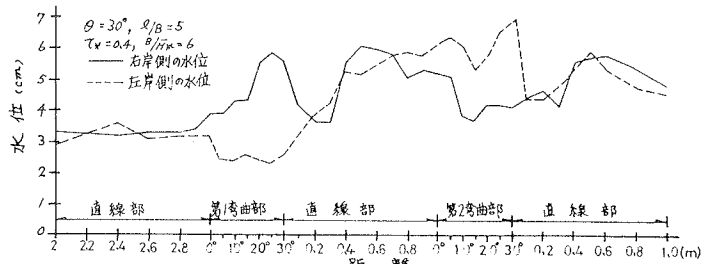


図-4 水位の縦断変化

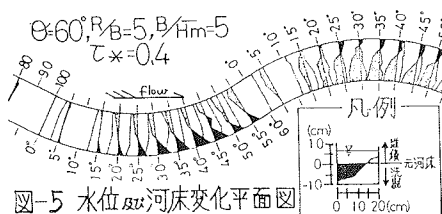


図-5 水位及河床変化平面図

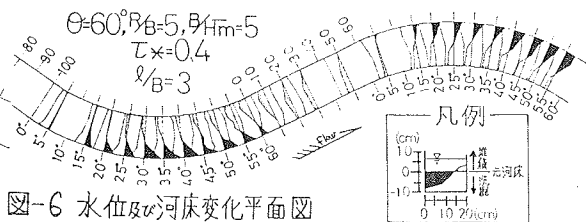


図-6 水位及河床変化平面図

る場合の第2弯曲部の洗掘深は内湾側に生じ、直線水路を設置すると第1弯曲部の外湾側の延長線の直線部の右岸で流路幅の2.5倍程度の長さの範囲が洗掘を受け、第2弯曲部の内湾側とその下流の直線部での土砂堆積が大きくなることがわかる。この場合の河床の変化の様子は、図-5に示す $\theta = 60^\circ$ の弯曲水路が連続するときの河床変化と同様な傾向を示す。

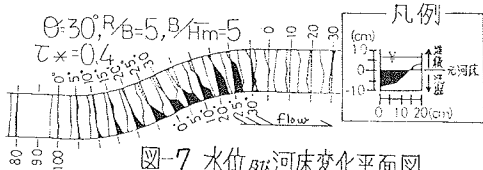


図-7 水位及河床変化平面図

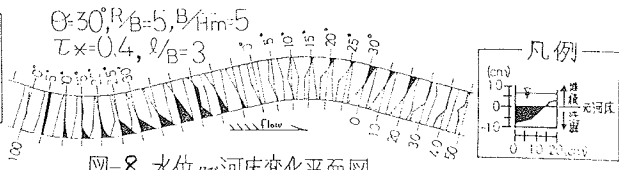


図-8 水位及河床変化平面図

2) $\theta = 60^\circ$ の弯曲水路の H_{smax}/H_m と τ_* の関係について l/B をパラメータに用いて整理したのが図-9である。ここで、ある横断面での最高河床高と最低河床高の差の実験ケースの最大値を

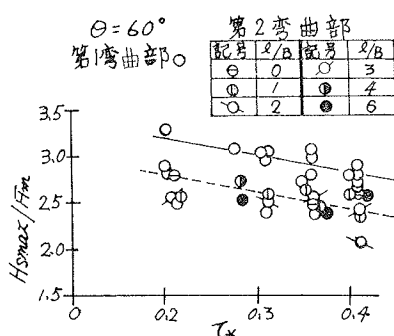


図-9 H_{smax}/H_m と τ_* の関係

H_{smax} で表示した。また第1弯曲部の上流に設置している直線部における各断面の流水断面積を流路幅で除いた値を平均水深とし、その縦断方向の平均値を実験ケースの平均水深 H_m とした。図-9より H_{smax}/H_m は τ_* に關係して、 τ_* が大きい程 H_{smax}/H_m は小さくなることと、第1弯曲部の H_{smax} に比べて第2弯曲部の H_{smax} は少し小さい値を示していることがわかる。

先述しているように $\theta = 30^\circ$ の弯曲水路で、連続する場合の第2弯曲部と弯曲水路間の直線水路の河床変化は、第1弯曲部の流れの影響を受けるので、図-10に示す第1弯曲部での H_{smax} は、弯曲水路が連続する場合の第2弯曲部と弯曲水路間の直線部の値が含まれている。

図-10で $\theta = 30^\circ$ のときの H_{smax}/H_m と τ_* の関係は、 $\theta = 60^\circ$ のときのような明瞭な傾向はみられない。一方、 $\theta = 30^\circ$ のときの第2弯曲部の H_{smax} は、図-11にみるように l/B の違いによる影響を受けていて、 $l/B = 0 \sim 4$ までは l/B の値が大きくなるに従って H_{smax} の値も大きくなって、 $l/B = 4$ を境に H_{smax} は低下していることがわかる。また、 $l/B = 0 \sim 2$ では τ_* が大きくなると H_{smax} が小さくなるのに対して $l/B = 3$ を境に l/B が大きくなると H_{smax} と τ_* の關係に異なる傾向がみられる。

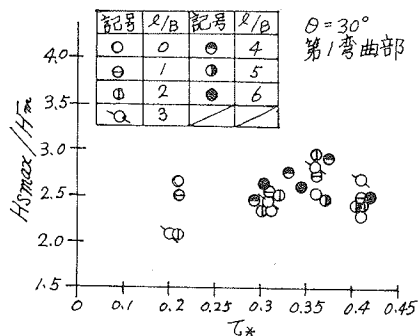


図-10 H_{smax}/H_m と τ_* の関係

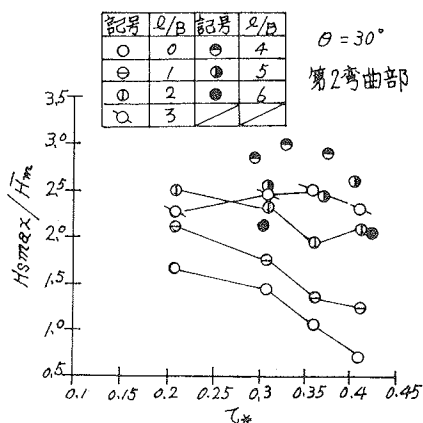


図-11 Hs_{max}/H_m と T_e^* の関係

図-12に示す関係より第2弯曲部の河床の変化は、第1弯曲部の河床の変化に近似することがわかる。このような河床の変化は、 T_e^* が大きい程顕著である。これに対して $\theta = 30^\circ$ の場合は、 $\ell/B = 3$ まで土砂の堆積が大きく $\ell/B = 4$ を境にして堆積深が小さくなり洗掘深が大きくなって $\ell/B = 6$ で第1弯曲部の河床変化に近似する。この傾向は T_e^* が大きい程顕著である。

4 まとめ

1) 第1弯曲部での水位上昇量は(1)式の計算値に一致する。

2) $\theta = 60^\circ$ の弯曲水路間に $\ell/B \geq 4$ の長さの直線水路を設置すると第1弯曲部の流れが第2弯曲部の水

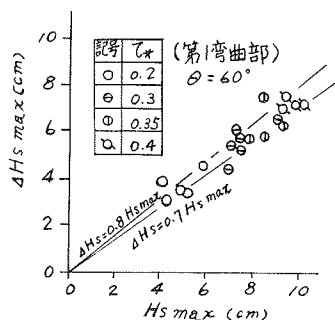


図-12 ΔHs_{max} と Hs_{max} の関係

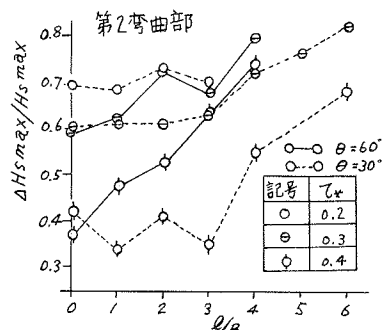


図-13 $\Delta Hs_{max}/Hs_{max}$ と ℓ/B の関係

位や河床変動に与える影響はなくなる。 $\theta = 30^\circ$ の場合は $\ell/B \leq 3$ の長さの直線水路を設置すると弯曲水路が連続する場合に比べて第2弯曲部の最高水位は高くなり、内弯側と弯曲部の下流での土砂堆積が大きくなるので、弯曲水路間に $\ell/B > 4$ の長さの直線水路を設置することができない場合は、弯曲水路を連続させる方が有利だと考察できる。 $\ell/B = 6$ の長さの直線水路を設置すると第1弯曲部の流れが第2弯曲部の水位や河床変動に与える影響をほとんど無視することができよう。

参考文献

- 1) Knapp, R. T; Design of channel curves for supercritical flow, Symposium on high-velocity flow in open channel. Trans ASCE. vol 116, pp268~295, 1951年
- 2) 阿部崇平, 鈴木浩之; S字弯曲部の水位, 河床変動に関する実験的考察, 昭和58年度防学会研究発表会概要集 pp 84~85 昭和58年5月.