

建設省土木研究所 岡部宗平・鈴木若文

1. はじめに

筆者は、弯曲部の局所洗掘防止対策工についての実験的研究を行っているが、これまでに曲率半径(R)が小さく、交角(θ)の大きい弯曲部では床固工や帯工を設置しても局所洗掘を防止できないがベン工は局所洗掘を低減する効果の大きいことを明らかにした¹⁾²⁾。ベン工を対策工としてより実際的なものとするためには、ベン工の① 設置位置と間隔、② 個数、③ 高さ、④ 設置角度の諸元を明らかにする必要がある。これらについて実験的検討を行い、いくつかの知見が得られたのでここに発表する。

2. 実験の概要

実験は、水路幅 $B = 0.3\text{ m}$ 、交角 $\theta = 60^\circ$ 、曲率半径 $R = 0.9\text{ m}$ の弯曲水路の上流に 4 m 、下流に 3 m の直線水路を接続させた水路を使用して行った。河床は移動床で、河床勾配は $1/100$ である。給砂は、平衡給砂を行い、河床材料と給砂材料は同一で、 $d_m = 1.3\text{ mm}$ の一樣砂を使用した。

ベン工は、図-1、図-2に示すように、弯曲部の同心円上に設置しており、図中に示す、ベンの設置間隔 l 、ベンの長さ l_0 、ベンの高さ z 、ベンの方向 ϕ (角度 $^\circ$)をそれぞれ変化させて実験を行っている。ベンの設置は、E、C点を基準として配置した。なお、弯曲流入部におけるフルード数 $Fr = 0.75 \sim 1.3$ 、 $B/H_m = 6 \sim 12$ である。

3. 実験結果と考察

3.1 $\Sigma l_0/CL$ と ΔH_{smax} の関係

$\Sigma l_0/CL$ と ΔH_{smax} の関係を示したのが図-3である。

ここに l_0 はベンの長さ、 CL は曲線長、 ΔH_{smax} は初期河床高を基準とする洗掘深の実験ケースの最大値である。図-3でみるように、 $\Sigma l_0/CL$ が大きくなると ΔH_{smax} は小さくなるが、 $\Sigma l_0/CL$ 0.35の領域では水路を2分割する格好となって、外弯側の最大洗掘深は低減するが、中心部のベンの内弯側での局所洗掘深が大きくなるので ΔH_{smax} の値は大きくなる。また、 ΔH_{smax} は、 $\Sigma l_0/CL = 0.15$ を境に $\Sigma l_0/CL$ が小さくなると ΔH_{smax} は大きくなって、 $0.15 \leq \Sigma l_0/CL \leq 0.35$ の領域での ΔH_{smax} の変化は僅かである。このことから、 ΔH_{smax} は、 $\Sigma l_0/CL$ に間係して、 $0.15 \leq \Sigma l_0/CL \leq 0.35$ の範囲でベンを配置すると ΔH_{smax} の低下に対して効果的だといえる。また、図-3は l_0 をパラメータに用いて整理しているが、 l_0 の違いが ΔH_{smax} に与える

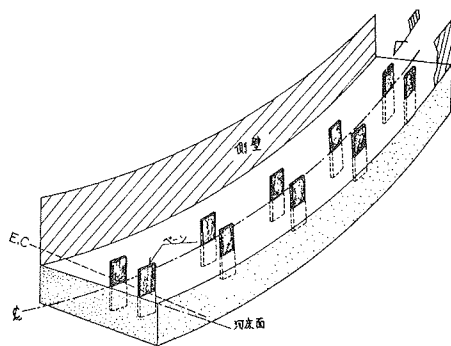


図-1 ベン工の概念図

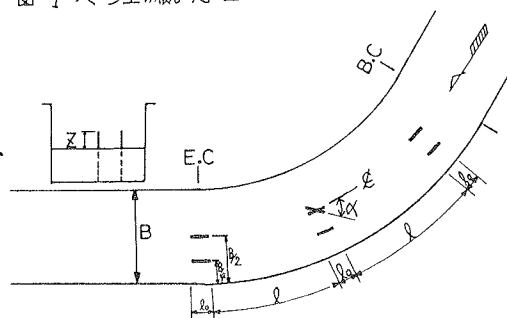


図-2 ベン工の配置

影響は見られない。

3.2 ベーンの設置位置

ベーンを設置する位置によって洗掘深の程度は変化することが考えられる。そこで先ず1個のベーンを弯曲始点を基準として $\theta^* = 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ の位置に設置して、ベーンの位置の違いが洗掘深に与える影響をみたのが図-4である。図-4でみるようにベーンを $\theta^* = 20^\circ \sim 40^\circ$ に設置した場合は、設置位置の変化が洗掘深の大きさに影響を与えていないが、 $\theta^* = 50^\circ$ ではあきらかに他の位置に比べて洗掘深が大きくなっているのがわかる。次に2個のベーンを設置した場合のベーンの設置位置と洗掘深との関係を整理したのが図-5である。図-5より $\theta^* = 35^\circ$ の位置にベーンのない type III ($10^\circ, 60^\circ$ に設置) の場合にもっとも洗掘深が大きくなっている。type I ($35^\circ, 60^\circ$ 設置) と type II ($10^\circ, 35^\circ$ 設置) は洗掘深に差がなく、 $\theta^* = 10^\circ$ と $\theta^* = 60^\circ$ の位置に設置するベーンの効果は $\theta^* = 35^\circ$ の場合に比べて小さいことがわかる。図-6に type II, type III の初期河床高に対する河床変化高を示している。 $R/B = 3$ で無施設の場合には水衝部の位置は $\theta^* = 35^\circ$ 、最大洗掘深は $\theta^* = 40^\circ$ 付近に生じていることを考え合せると、2次流が十分に発達しない $\theta^* = 20^\circ \sim 40^\circ$ の範囲にベーンを設置するのが効果的であると考察できる。

3.3 ベーンの高さ

本工法は、横断方向の2次流を減勢することによって、局所洗掘を低減しようとするものであるから、ベーンの高さは横断面の水深方向の2次流の強度に関係させて考察することが望ましいが、本実験では2次流の流速分布の直接的な測定を行っていないので、直線水路における平均水深を用いて無次元化したベーンの高さ Σ と ΔH_{smax} の関係を調べた。図-7に整理した。図-7にみるように Σ/H_m の値が0.6を境に小さくなる程洗掘深は大きくなっていることがわかる。換言すればベーンによって局所洗掘を低減させる十分な効果を期待するためには弯曲部に流入する平均水深の60%以上の高さを必要とすることになる。

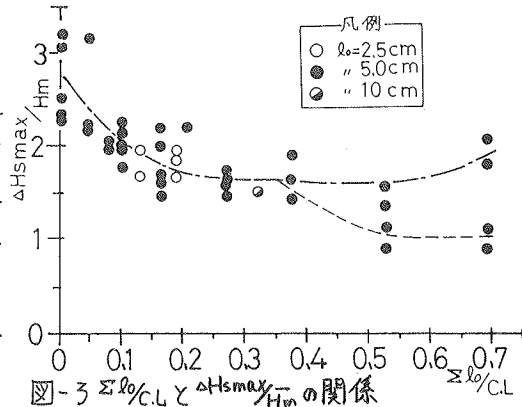


図-3 $\Sigma l_0/C.L.$ と $\Delta H_{smax}/H_m$ の関係

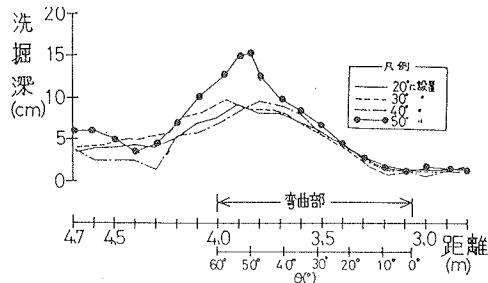


図-4 洗掘深の縦断変化

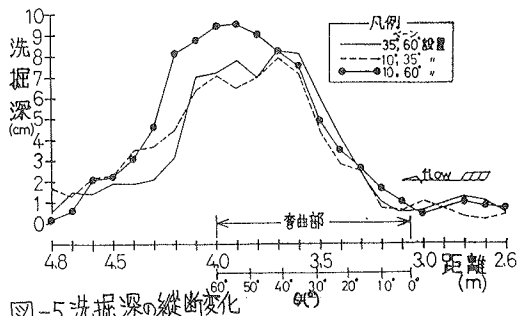


図-5 洗掘深の縦断変化

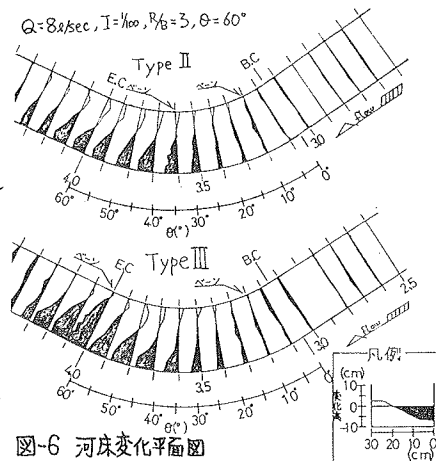


図-6 河床変化平面図

3.4 ベーンの設定角度

Odgaard, A¹²⁾ らは、遠心力にもとづく回転力により二次流が 발달し、これが局所洗掘の原因になるのでこの回転力をベーンによる抗力にもとづく回転力で相殺することにより局所洗掘を防止することを検討している。これによると、ベーンによる回転力は、揚力と、ベーンの高さ、長さに関係し、揚力は仰角 α に関係しているのので、ベーンの設定角度(仰角 α)は、二次流の発生に重要な意味をもつ。このようなことから、ベーンの設定角度が局所洗掘深に与える影響を実験的に考察する。本実験は、ベーンを弯曲水路の同心円に沿って設置しているが、ベーンを同心円に沿うもの($\alpha=0^\circ$)と図-8に示すように同心円に対して $\pm\alpha$ の角度を有する場合では、どのように洗掘深に影響あるかを検討して図-9に整理した。図-9より $\alpha=0^\circ$ に対して図-8に示す(+)方向に角度を有する場合の ΔH_{smax} は $\alpha=5^\circ$ を最高に大きくなり、(-)方向の場合に ΔH_{smax} は低減して $(-\alpha)=15^\circ$ のときに最も小さな値をとることがわかる。角度の違いによる河床の横断変化を図-10の横断図に示しているが、(-)方向に角度を有する方が外弯側だけでなくベーン周辺での洗掘深も小さくなるので有利である。

4. まとめ

- 1). 曲線長(CL)に対して必要なベーンの長さ Σl_0 は、0.15~0.35で、0.35を越えると、外弯側の洗掘よりも、ベーン内弯側の洗掘が大きくなる。
- 2). ベーンは最大洗掘深が生ずる位置($\theta^*=40^\circ$ 付近)より上流で二次流が十分に発達しない範囲の $20^\circ\sim40^\circ$ の範囲に設置するのが効果的である。
- 3). ベーンの高さは、水深の0.6倍以上が必要であり、水深の0.6倍以上の高さがあれば高さによる洗掘深の差はみられない。

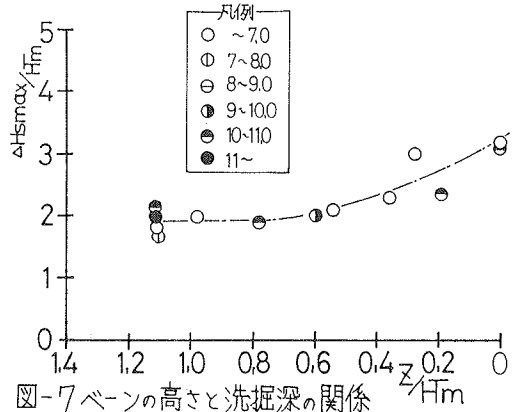


図-7 ベーンの高さと洗掘深の関係

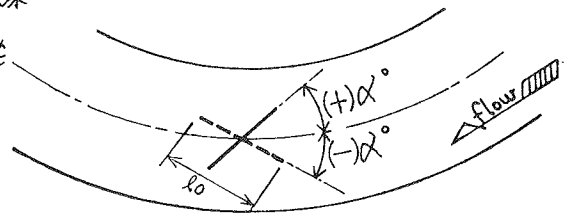


図-8 ベーンの設定角度(α)

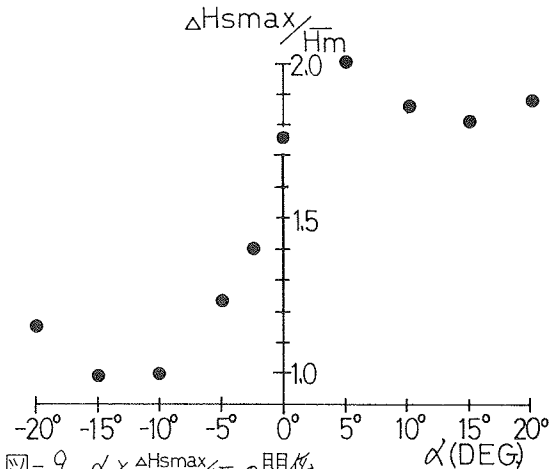


図-9 α と $\Delta H_{smax}/H_m$ の関係

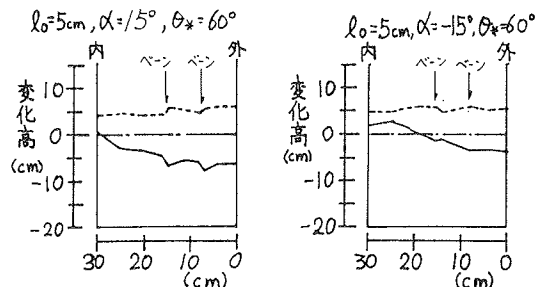


図-10 ベーン周辺の河床変化

4). ベーンの設置角度(α)は、(-)方向に 15° の角度を有するときに、洗掘深が最小となるので有利である。また、(+)方向の角度を有する場合は、ベーンの下端での洗掘が大きくなる問題がある。

5. おわりに

本実験的考察は主に現象面からの考察であって現象の変化をもたらす水理学的側面からの説明が不十分である。今後は現象の変化を生じさせる水理学的理由を解明し、ベーン工の実河川への適用化をめざしたい。

参考文献

- 1) Odgaard, A.J. and Kennedy, J.F. : Analysis of Sacramento River Bend Flows and Development of a New Method for Bank Protection, IIHR Report No.241, 1982.
- 2) Odgaard, A.J. and Kennedy, J.F. : River Bend Bank Protection by Submerged Vanes, ASCE, Vol.109, HY8, pp.1161-1173, 1983.
- 3) 阿部宗平, 鈴木浩え; 流路工における弯曲部の局所洗掘防止対策に関する実験的研究ーベーン工の効果ー, 土木技術資料, Vol.25, No.12, 1983年12月.