

II-155

二次流の干渉を考慮したベン工の
配置法について

建設省土木研究所 正員 渡辺明英

建設省土木研究所 正員 山本晃一

1. はじめに

ベン工法は、河道湾曲部において内岸の土砂を外岸に輸送して外岸の洗掘を埋戻し、主流を河道の中央部に移動させ、河岸付近の流速を低減させる新しい局所洗掘対策工である。従来の研究¹⁾²⁾³⁾⁴⁾により、ベン工の諸元とその効果の定量的な関係は明らかになりつつある。Odgaard⁵⁾らはベン工の設置に際して、遠心力による二次流により迎え角 α が増大するので、湾曲部に生じる二次流に応じてベン工の迎え角を小さくするとしている。しかし、実験によればベン工を河道の湾曲部に設置すると流れ場は全体的に変わり、流れはベン工すなわち河道の形状に沿うようになり、またベン工の周りではむしろ遠心力によるものとは逆向きの二次流が生成される。そのため、ベン工の縦断間隔が狭すぎる場合には、上流のベン工によって発生した二次流と次のベン工が干渉し、ベン工の設置基数当りの洗掘軽減効果が減少する。⁴⁾

そこで、ベン工と二次流の干渉の影響を考慮して、ベン工の縦断間隔の違いによる洗掘軽減効果の変化を評価して、ベン工の適切な配置について検討を行った。

2. 二次流の縦断変化に関係する補正係数について

二次流の影響は、平均流に対する迎え角 α が大きいときには相対的に比べて小さいとし、補正係数の中に含ませる。すなわち、揚力補正係数 β を二次流の影響を考慮して、式(1)のように近似的に表す。

ここでは、ベン工周りの二次流の縦断変化をベン工との干渉も含めて評価して、ベン工の縦断間隔の違いがベン工の効果に及ぼす影響について検討する。ベン工により発生する二次流は、 $\chi_1 h$ で表される幅で平均的に拡散されるとし、二次流に関する渦度方程式¹⁾を横断方向に積分し、無次元化を行うと式(2)が得られる。ここで χ_2 は二次流が揚力へ及ぼす影響の割合を表し、 χ_3 はベン工の形状から定まる平均揚力係数 β_a と底面揚力係数 β_b の違いやその他の影響を表す補正係数で、 $\chi_2, \chi_3 \cong 1$ 程度の値を持つ。式(2)より v_b の縦断変化が得られる。ベン工の縦断間隔 Δs について周期境界条件を適用すると式(2)の解は式(3)で与えられる。ここで、二次流の干渉の影響を、式(3)から求まるベン工による二次流の平均値と干渉を考慮しない場合のベン工による二次流の平均値の比でベン工の効果 $\gamma^{1)2)}$ について補正するとすれば、横断河床形状の解析には既報の方法¹⁾²⁾が使え、その場合の補正係数は式(5)となる。ここで、 $\chi_2=1$ とする。 χ_1 については実験結果からベン工による二次流が卓越する幅をとって、 $\chi_1=2\sim3$ とする。 χ_3 は通

$$\beta' \sin \alpha = \beta (1 - \chi_2 v_b) \sin \alpha, \quad v_b = \left(\frac{v_b}{u_b} \right) / \tan \alpha \quad (1)$$

v_b : 底面での二次流速, u_b : 底面での主流速

β : 底面での揚力補正係数, α : ベン工の迎え角

$$p_3 \frac{\partial v_b}{\partial s} = -p_2 + \chi_3 \frac{p_1}{\chi_1} (1 - \chi_2 v_b) \delta(s - s_1) - v_b \quad (2)$$

$$p_1 = \frac{3\beta_a}{\kappa\pi} \frac{1}{h} \cos \alpha \left(\frac{\phi - 2/\kappa}{\kappa} \right), \quad p_2 = \frac{18}{\kappa^2 \pi^2} \left(\frac{\phi - 0.5/\kappa}{\kappa} \right) \frac{h}{r} / \tan \alpha,$$

$$p_3 = \frac{6\phi}{\kappa\pi^2}, \quad s = s/h$$

l : 底面でのベン工の長さ, h : ベン工近傍の水深

ϕ : 流速係数, r : ベン工近傍の局率半径

s : 流下距離, s_1 : ベン工の設置位置

p_1 : ベン工により発生する二次流の強さを定める係数

p_2 : 遠心力により発生する二次流の強さ

p_3 : 二次流の減衰の割合を表す係数

$$v_b = -p_2 + K \exp(-(s - s_1)/p_3), \quad (s > s_1) \quad (3)$$

$$K = \frac{\chi_3 \frac{p_1}{\chi_1 p_3} (1 + \chi_2 p_2)}{1 - (1 - \chi_2 \chi_3 \frac{p_1}{\chi_1 p_3}) \exp(-\Delta s / p_3)}$$

K : ベン工によって発生した二次流の強さを表す

$$\gamma = \gamma_1 \left(\frac{h}{B} \right) \times \text{列数}, \quad \gamma_1 = \frac{p_1}{p_2 \Delta s} \quad (4)$$

$$f = \frac{\gamma_1(\text{real})}{\gamma_1(\text{est.})} = \chi_3 \frac{(1 + \chi_2 p_2) (1 - \exp(-\Delta s / p_3))}{1 - (1 - \chi_2 \chi_3 \frac{p_1}{\chi_1 p_3}) \exp(-\Delta s / p_3)} \quad (5)$$

$$\Delta s \cong p_3 \left(\ln \left(1 - \frac{1 - \chi_3}{\chi_2 \chi_3 p_2} + \frac{p_1}{\chi_1 p_2 p_3} \right) - \ln \left(1 - \frac{1 - \chi_3}{\chi_2 \chi_3 p_2} \right) \right) \quad (6)$$

$$\text{列数} \cong (0.15 \sim 0.20) \left(\frac{B}{h} \right) \quad \text{または、} \quad \gamma_1 \leq (3 \sim 4) \quad (7)$$

(ただし、 $\gamma = 0.5 \sim 0.6$)

常のベーン工では概ね $\alpha_3=0.9\sim 1.2$ 程度である。図-1に f と Δs の関係を示す。図-1及び式(5)より、 f は遠心力による二次流の強さを表す p_2 が大きい場合には増大し、ベーン工による二次流の強さを表す p_1 が大きい場合には減少することがわかる。また、 f の値はベーン工の間隔が狭くなるほど急速に小さくなる。図-2に、浅野ら³⁾の実験結果と f を用いて補正した γ による河床形状の解析結果を外岸の平均洗掘深について示す。これより、ベーン工の設置位置、長さや流量の違う場合においても、理論は実験結果をよく表していることがわかる。また、図-3は、縦断方向に平均化した横断河床形状⁴⁾と解析結果を比較したものであり、こからわかるように横断形状についても理論は実験値をよく表している。

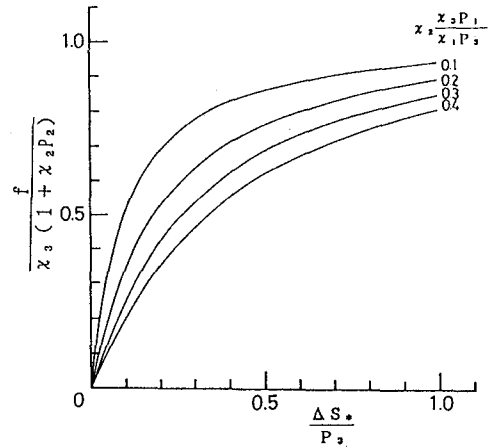


図-1 補正係数 f と縦断間隔 Δs の関係

3. 適切なベーン工の配置法について

f の計算においては α_1 の取り方など仮定が多く、これで全てを表現できるわけではない。しかし、この f は適切な縦断間隔を見積るためのものであり、この理論では縦断間隔の違いによる f の変化の特性がわかれば良い。したがって、式(5)は f を計算するために用いるのではなく、縦断間隔または列数を定めるために用いる。適切な配置条件として、 $f \approx 1$ を考える。また、1列当りのベーン工による γ_j は式(4)で表され、ベーン工の設置条件は $\gamma \approx 0.5 \sim 0.6$ ¹⁾²⁾とする。このとき、 Δs はベーン工の構造諸元 p_1 と河道の条件 p_2, p_3 で与えられるので、実際にはベーン工の列数が B/h に応じて変わることになる。パラメータの取る範囲を考慮して、有為な範囲内で計算すると通常の場合であれば列数は概略式(7)で与えられる。式(7)を満たすように列数を決めると十分な縦断間隔が確保される。この場合には、ベーン工の前で遠心力による二次流が卓越することが多いので、表面の高速流体が外岸に侵入しないように、ベーン工を千鳥状に配置してベーン工による遠心力によるものとは逆向きの二次流が縦断的に持続するように工夫することが肝要である。

4. おわりに

解析結果より、適切な縦断間隔が得られ、この場合には f を1としても支障はない。また、 f を用いた解析結果と実験値との比較から、従来の解析方法の有効性が確かめられた。

(参考文献) 1) 福岡、渡辺、黒川：土研資料第2644号, 1988 2) 福岡、渡辺：第32回水理講演会論文集, 1988
3) 坂野、福岡、浅野：第41回年講, 1986 4) 黒川、福岡、渡辺、小田：第43回年講, 1988
5) Odgaard and Mosconi : ASCE Hyd. vol.113, 1987

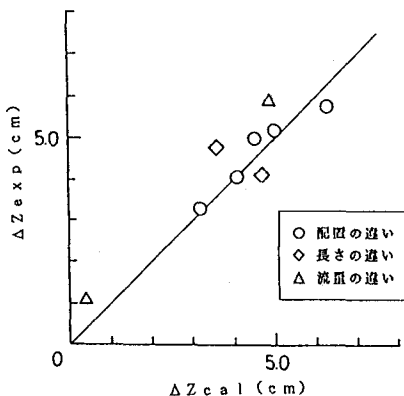


図-2 外岸の平均洗掘深

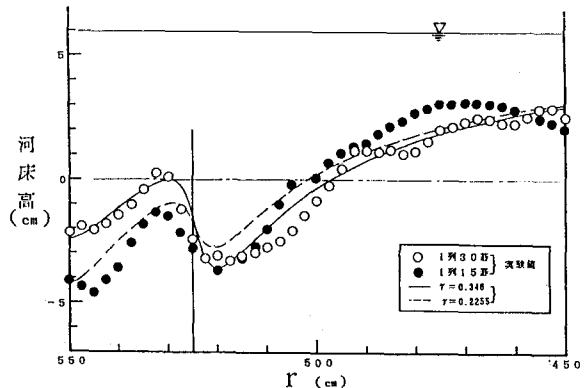


図-3 平均横断河床形状