

東京工業大学工学部 正員 渡辺明英
 東京工業大学工学部 正員 福岡捷二
 建設省土木研究所 正員 萱場祐一
 水資源開発公団 正員 曽田英揮

1. はじめに

これまでには、河道湾曲部の外岸の局所洗掘を防止するために連続的にペーン工を設置することを前提としてきたが、河道長や湾曲度が大きい場合には、ペーン工の設置数が多くなるという問題があった。そのため、萱場ら¹⁾は、ペーン工を断続的に配置して実験を行い、ペーン工の設置数を少なくしても、十分な洗掘軽減効果が得られることを明らかにした。しかしながら、これまでの理論解析はペーン工を連続的に配置した場合を中心に行われており²⁾、断続的に配置した場合の河床変動を定量的に予測できなかった。本研究では、これまでの解析法を断続配置の場合に拡張し、実験結果と比較し、解析の妥当性について検討した。

2. 解析方法

著者らの研究³⁾より、ペーン工が設置された場合の流れ場は式(1)(2)(3)で表される。これらに、流速分布形式(4)(5)(6)を代入し、各成分を分離することにより、ペーン工を設置した場合の流れの状況を記述する方程式が得られる。これを差分化⁴⁾することにより、流れ場の解析を行う。式(1)より u_m 、 u_d 、式(2)より v_m 、式(3)より v_b を求める。底面流速より河床抵抗及び流砂の運動方向を定める。

$$\int (u \frac{\partial u}{\partial s} + v \frac{\partial u}{\partial n} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{u^2}{r}) dV = \int (-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + \varepsilon \nabla^2 u) dV + \int \frac{F_s}{\rho} \delta(s-s_i) (n-n_j) dV, \quad \frac{F_s}{\rho} = \frac{c_d}{2} A_v \frac{1}{H} \int_0^H u |u| dz \quad (1)$$

$$\int (u \frac{\partial v}{\partial s} + v \frac{\partial v}{\partial n} + w \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{u^2}{r}) dV = \int (-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} + \varepsilon \nabla^2 v) dV + \int \frac{F_n}{\rho} \delta(s-s_i) (n-n_j) dV, \quad F_n / \rho \approx F_n' H \pi / 4 \quad (2)$$

$$\int (u \frac{\partial w}{\partial s} + v \frac{\partial w}{\partial n} - \frac{1}{r} \frac{\partial u^2}{\partial z}) dV = \int \varepsilon \nabla^2 \omega dV + \int \frac{1}{\rho} \frac{\partial F_n'}{\partial z} \delta(s-s_i) (n-n_j) dV, \quad F_n' / \rho = \beta \pi l \sin \alpha u_b^2 \quad (3)$$

$$u = u_m + \frac{2}{\kappa} (\frac{3}{2} \sin(\frac{\pi z}{2h}) - \frac{3}{\pi}) u_d \quad (4), \quad v = v_m - v_b \cos(\pi z') \quad (5), \quad \omega = (-\frac{\pi}{h} v_b + \frac{h}{\pi} \frac{\partial^2 v_b}{\partial n^2}) \sin(\pi z') \quad (6)$$

ただし、 u 、 v 、 w : s 、 n 、 z 方向の流速、 ω : s 方向の渦度、 ε : 扩散係数、 p : 壓力、 r : 曲率半径

s : 流下方向座標、 n : 横断方向座標、 z : 鉛直方向座標、 z' : $(z-z_b)/h$ 、 z_b : 河床高、 h : 水深

c_d : 抗力係数、 A_v : ペーン工翼面積、 H : ペーン工の高さ、 l : ペーン工の長さ、 α : ペーン工の向き

β : 揚力補正係数、 u_b : 主流の底面流速、 (s_i, n_j) : ペーン工の位置座標

河床変動は流砂の連続式から求めた。ただし、縦、横断方向の流砂量は、長谷川の式に縦断方向の河床勾配を考慮して改良した式⁵⁾を用いて表し、流砂量式には芦田、道上式を使用した。

3. 解析条件

検討に用いるデータには、萱場らの実験結果¹⁾を用いた。ペーン工の配置は、図-1に示す通りであり、これを基に縦断間隔約11.25cm*横断間隔5cmの格子に分割して差分法により計算を行った。なお、水理条件は、平均縦断勾配1/500、流量18 l/s、平均水深4.85cm、河床材料粒径0.82mmとし、上下流端で水位を与え、流量が一致するように河床面の抵抗係数を調節して定めた。

4. 解析結果

図-2は、8~17m間の主流の平均流速横断分布を実験値と解析値を同時に示す。これを見るとペーン工の設置区間下流付近で、河道中央部の流速が速くなるペーン工設置時の特徴的な流れ場が見られるが、全体的にはほぼ一様な流速場となっており、解析結果は実験結果とそれほど大きな違いはないことが分かる。

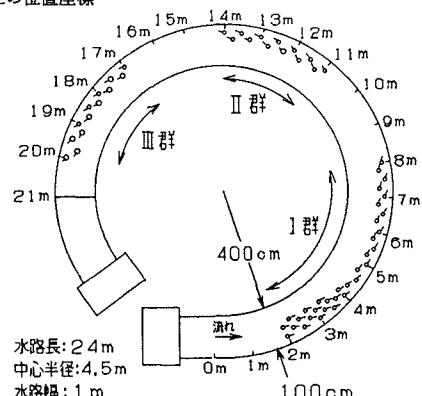


図-1 ペーン工の配置

河床変動高コンターの実験値と解析値を図-3に示す。図はペーン工のⅠ群の途中からⅢ群の初めまでの7~18mの範囲を示している。実験と解析のどちらも外岸では、ペーン工設置域の下流である8~10m, 14~17mの区間で洗掘が防止されており、それ以外の区間で若干の洗掘が生じている。

一方、内岸側では7m, 12m付近から堆積が生じている。解析結果は実験結果と堆積領域の大きさが多少異なるもののほぼ同一の結果となっている。縦断的にこのような変動が生じる理由は、1つにはペーン工域で発達している遠心力とは逆向きの二次流は、この水理条件では2~2.5mの距離でかなり減衰し、ペーン工の効果が減じるためにある¹⁾また、ペーン工域先頭部で、ペーン工による二次流が平衡状態の場合と同程度に発達するためには、千鳥配置でおよそ5~6基(約1m程度)の距離を必要とするためである。

また、ペーン工非設置域では、河床が平坦に近くなる様子が実験と解析から分かる。図-4は、ペーン工非設置区間の横断河床形状を実験結果と解析結果を比較して示したものである。これより、ペーン工域先頭部である11m, 17mを除いて解析結果は、横断河床形状の特性をよく表していることが分かる。ペーン工先頭部ではペーン工周辺の局所洗掘がみお筋を形成するが、解析ではこのような局所的な変動を十分には表現できないために、みお筋の位置にやや違いが現れていると考えられる。

5. おわりに

断続的にペーン工を配置した場合の流れと河床形状を解析的に求め、実験値と比較した。その結果、複雑な河床の変動状態を理論的にはほぼ説明できることが明らかとなった。

(参考文献)

- 1) 豊場, 福岡, 三宮: 第46回年次講演会概要集, 1991
- 2) 福岡, 渡辺, 黒川: 土木研究所資料, 1988
- 3) 福岡, 渡辺: 土木学会論文集, 1992
- 4) 福岡, 渡辺, 西村: 土木学会論文集, 1992
- 5) 山本, 渡辺, 山本: 第46回年次講演会概要集, 1991

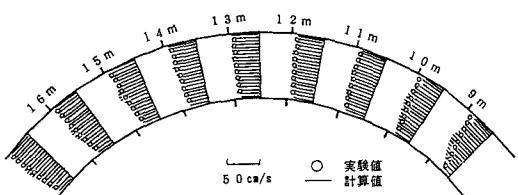
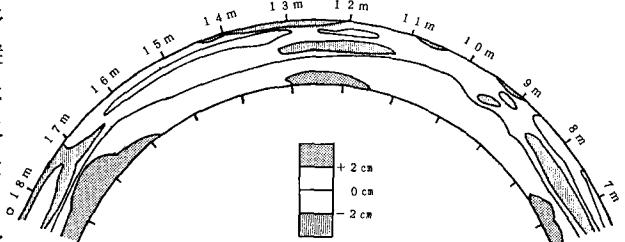
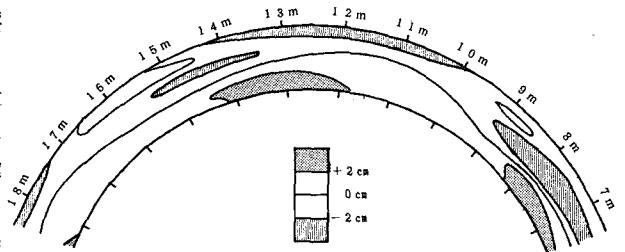


図-2 平均流速分布の比較



(a) 実験結果



(b) 解析結果

図-3 河床変動高コンター

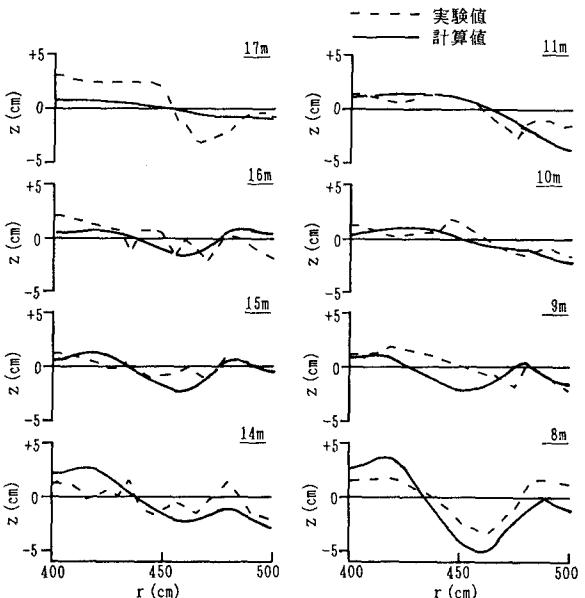


図-4 横断河床形状の実験結果と解析結果の比較

(ペーン工非設置区間)