

数値計算による不透水水制周りの流れ場について

大同工業大学大学院 学生員 ○ 山下 敦
 大同工業大学大学院 学生員 堀 信貴
 福井工業高等専門学校 正会員 前島正彦
 大同工業大学 正会員 久保田稔

1. はじめに 不透水水制周辺の流れ場構造に関する数値解析は、清水等¹⁾をはじめ多くの研究者によって行われているが、これらの手法では任意の水制設置本数と流れ場構造との関係を検討するにはあまり適切な手法ではないと考えられる。著者ら²⁾は以前、不透水水制周りの流れ場を再現する手法として、境界要素法で不透水水制の幾何形状を表現し、任意の本数の不透水水制先端部から離散渦を発生させて数値解析を行った。今回は前回の手法を改良して実験結果との比較・検討を行ったので報告する。

2. 使用した複素ポテンシャル 図-1は計算に用いた境界要素法概念図である。水制表面を微小なパネルに分割し、パネル間において一様流による誘起速度が境界面に沿うように渦 $K(=\Gamma/2\pi)$ を分布させる。また、点A、BからM個の離散渦 Γ_{Ak} 、 Γ_{Bk} を発生させている。このときの流れ場を再現する複素ポテンシャル $\Psi(z)$ は、次式で与えられる。

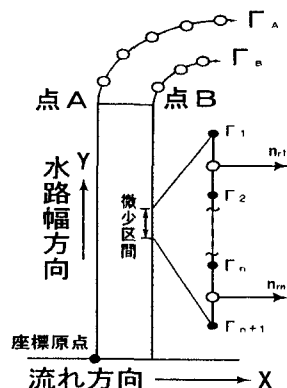


図-1 境界要素法概念図

$$\Psi(z) = U_0 z + i \oint_B K \cdot \ln z ds + i \sum_{k=1}^M \left\{ \frac{\Gamma_{Ak}}{2\pi} \ln(z - z_{Ak}) - \frac{\Gamma_{Ak}}{2\pi} \ln(\bar{z} - \bar{z}_{Ak}) + \frac{\Gamma_{Bk}}{2\pi} \ln(z - z_{Bk}) - \frac{\Gamma_{Bk}}{2\pi} \ln(\bar{z} - \bar{z}_{Bk}) \right\}$$

ところで現時点では、A、Bの2点から発生させる離散渦の強さの割合や時間間隔の違いが不明であるので、今回は水制先端部A点からだけ離散渦を発生させた。

2. 1 離散渦の発生 離散渦の強さ Γ は、境界層外縁の流速を U_0 、離散渦の導入時間間隔を Δt_v とすると、与えられる。 $\Gamma = U_0^2 \cdot \Delta t_v / 2$ ここで渦導入時間間隔 Δt_v は、境界層外縁流体の移動量が Δt_v 時間で a を円柱の直径とすると、一般に $(0.01 \sim 0.1)\pi a$ となるように決定されている。今回の渦導入時間間隔 Δt_v は、一様流中の円柱周りの流れ場での計算結果を参考に³⁾、 $\Delta t_v = 0.1B/U_0$ とした。

2. 2 粘性効果の導入 ポテンシャル流の渦は、渦中心で無限大の流速を発生するので、粘性による効果を導入して渦の接線方向の速度 v_θ を、 $v_\theta = \Gamma i \{1 - \exp(-r^2/4\nu t)\} / 2\pi r$ で与えている。ここに、 r は渦中心からの距離、 ν は動粘性係数、 t は渦が生成されてからの経過時間である。

2. 3 主流と逆方向に進む渦の減衰に関するパラメータ β の導入と渦発生位置の変更 前回の数値計算では、実験と計算による流れ関数との間に若干の相違が現れていた。そこで、著者らはこの相違を渦の減衰が円柱の場合と比べて早いためと考え、離散渦を $\Gamma i \cdot e^{-\alpha t}$ と表した。この表現により、水制間の逆流領域の形状が主流部に対して凸型から実験とほぼ同様な凹型形状に若干改善された。さらに、逆流領域の流れが主流方向と逆の場合には、渦の減衰が一層早まると考え、流れが主流方向と逆の場合には、パラメータ β を導入して $\Gamma i \cdot e^{-\alpha - \beta t}$ と表現した。ここに、 α は0.01であり、 β は実験結果と合うように変えている。一方、渦の発生位置については、水制先端を通過する速度 w と微小時間 dt との積、つまり $w \cdot dt$ だけ水制から離れた位置で離散渦を発生させていたが、さらに主流部の流れを水制領域内に入り込ませるために、水制壁面から距離 $w \cdot dt/2$ の位置より離散渦を発生させた。

3. 計算結果および考察 図-2は、河村⁴⁾が行った固定床実験から得た流れ関数図である。今回の計算では、 β を任意に変化させて実験による流れ関数図にできるだけ近づける試みを行っている。図-3は、河村

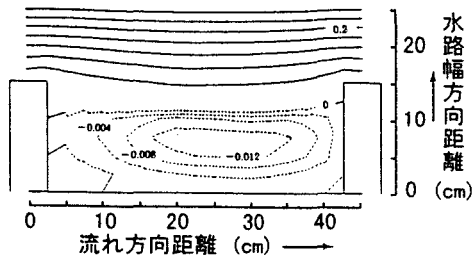


図-2 実験結果による流れ関数図

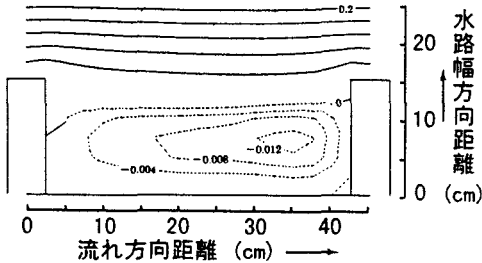


図-3 計算結果による流れ関数図

の水制幅 $B=5\text{cm}$ 、水制間隔 $D=45\text{cm}$ 、水制長 $\ell=15\text{cm}$ の水制配置を水制幅 B で無次元に、つまり水制幅 $B_*=1$ 、水制間隔 $D_*=9$ 、水制長 $\ell_*=3$ で、 $\beta=2$ の場合の流れ関数図である。なお、破線は流れ関数値が零と逆流域である。同図から、逆流域が水制領域内の中心よりやや下流側で形成されているものの、主流部の流れが水制領域内に入り込んでおり、図-2 とほぼ同様な流れ関数図となっている。

図-4 は、図-2 の実験結果と図-3 の計算による、流れ方向 (図 a) と水路幅方向 (図 b) との流速の比較である。

なお、両図中の数値は水制中心を原点とした流れ方向への距離である。図 a より、水制中心から 20cm 離れた ●印が 1 点散らばっているものの、ほぼ計算値は実験値を再現している様である。図 b からは、水制中心からの距離が 40cm (水制間隔 45cm) のデータが大きなループを描いているが、他のデータは多少の散らばりはあるものの、ほぼ 1 本の直線で表される様である。ところで、同図では、計算値が零の場合に実験値はほぼ -1cm/s (-50mV) とずれており、このずれの原因が、電磁流速計の精度によるのか、計算手法にまだ改良すべき点があるのか、今後検討する必要がある。図-5 は、水制幅 B を 2.5cm とした大嶺や堀らの実験データと、無次元の B_* 、 D_* 、および ℓ_* を用いて計算した流れ関数がほぼ一致した際のパラメータ β とレイノルズ数との関係である。なお、同図中には、各実験者の水理条件も加えてある。同図より、レイノルズ数が小さくなるにつれて β の値が大きくなっており、流量が小さくなるにつれて流れ方向と逆向きの渦の減衰が早くなることを示唆している。

4. あとがき 講演時には、堀らの実験結果を用いた検討結果と、不透水水制を上流・下流側に傾けた場合および水制先端の 2 点より離散渦を発生させた計算結果について述べる予定である。

参考文献 1)清水康行、西本直史；水制による河床変化の数値計算、開発土木研究所報告、1992

2)河村能孝、大嶺大生、前島正彦、久保田稔；水制周りの数値計算、土木学会中部支部研究発表概要集、1997

3)前島正彦、久保田稔、伊藤政博、桧和田宗彦；路床近くに設置された円柱周りの流れ場構造

—離散渦法を用いて—、土木学会論文集、1998

4)河村能孝；水制周りの流れ場構造に関する実験と数値計算、大同工業大学大学院修士論文、1997

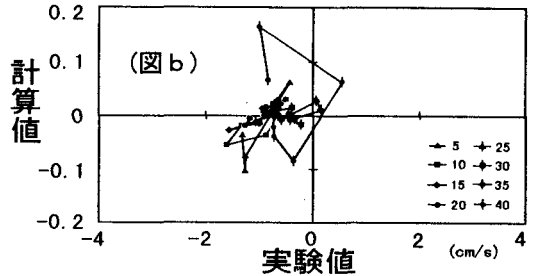
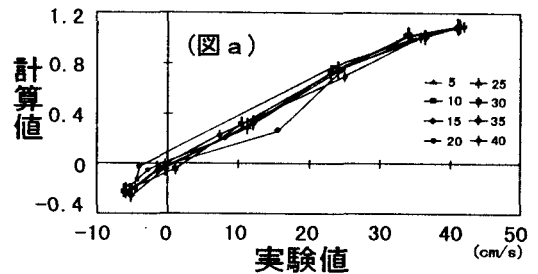
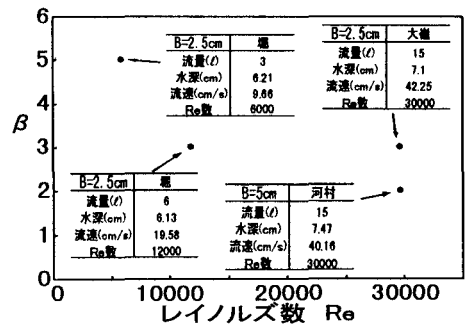


図-4 流速の比較

図-5 β とレイノルズ数との対応関係