

水制周りの数値解析

大同工業大学大学院	学生員	○ 河村 能孝
大同工業大学大学院		大嶺 大生
福井工業高等専門学校	正 員	前島 正彦
大同工業大学	正 員	久保田 稔

1 はじめに 水制周りの流れ場を数値解析で検討する手法として、これまで多くの研究者は二次元浅水方程式あるいはK-εモデルを用いてきた。ところで、これらの手法では杭出し水制周りの流れ場の再現に際しては、杭周辺から発生するカルマン渦を忠実に再現していない。そこで著者らは、境界要素法で水制の幾何形状を表現し、離散渦法を用いて不透水水制先端部および杭出し水制の両側面から離散渦を発生させ、複数の水制群での水制間の流れ場を時々刻々に解析している。対象とした水制は、不透水水制および不透水水制先端に杭出し水制を2列合計10本付けた場合であり、水制設置角度と水制間隔を変数として水制周辺の非定常流れ場を再現して検討を加えている。

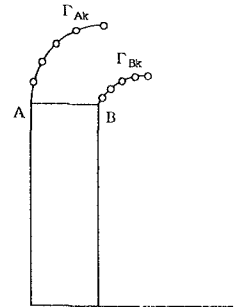


図-1 境界要素法と離散渦法の概念図

2 解析手法 図-1は、計算に用いた境界要素法と離散渦法の概念図であり、水制表面を微少なパネルに分割し、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(=Γ/2π)を分布させる。また、点A, BからM個の剥離渦Γ_Ak, Γ_Bkを発生させる。このときの流れ場を再現させる複素ポテンシャルΨ(z)は、次式で与えられる。

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

渦系の強さは、剥離点近傍の流れの運動学的考察から求めている。すなわち渦系の強さΓは、境界層外縁の流速をUs、渦系の導入時間間隔をΔtvとすると、 $\Gamma = U_s^2 \cdot \Delta t_v / 2$ で与えられる。渦の回転方向は、反時計回りを正、時計回りを負とした。ここで、渦導入時間間隔Δtvは、境界層外縁流体の移動量がΔtv間で、一般に(0.01~0.1)πaとなるように決定される。著者らは、適切な渦導入時間間隔Δtvを決定するために、路床の無い一様流中にある円柱周りの流れ場での試行計算を行い、 $\Delta t_v = 0.1a/U_0$ とした。

渦は、渦中心で無限大の流速を生じるが、実際の渦では渦系のように中心で速度が無限大になることはない。そこで、渦の接線方向の速度vθを $v_\theta = \Delta \Gamma / 2\pi r \{1 - \exp(-r^2/4vt)\}$ の粘性渦で与えた。ここに、rは渦中心からの距離、νは動粘性係数、及びtは渦が生成されてからの経過時間である。

今回、著者らの行った計算手法では複数の水制群が設置可能であり、計算を行うにあたり水制の本数を決定する必要がある。そこで、水制長さ、水制間隔などすべて同様の条件とし、水制本数を5, 10, 20, 30本のそれぞれについて計算した。図-2は計算結果であり、同図より計算時間などを考慮して以後の計算においては水制本数は10本で行うことにした。

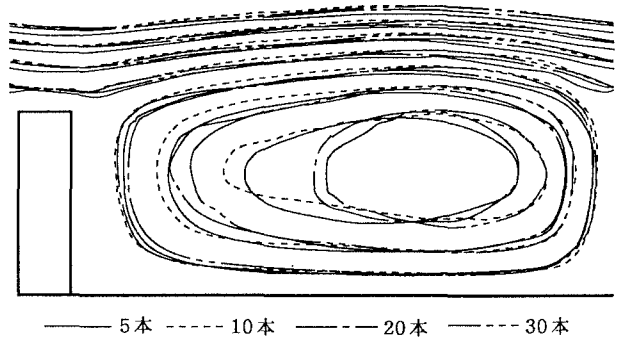


図-2 各水制本数における流れ関数

3 計算結果及び考察 図-3は、水制幅1に対して水制長3、水制間隔9の条件において (a) は水制設置角度が側岸に垂直に対して 0° 、(b) は上流方向に 10° 、(c) は下流方向に 10° 傾けて不透過水制を設置した場合における時間平均流れ関数の図である。なお、負の曲線は点線で示している。同図から (a) は、ほぼ水制間中央付近を中心に逆流域が形成されており、(b)、(c) ではそれぞれ、上流側および下流側を中心に逆流域が水制間全体に形成されている。同図のような、水制設置角度の変化による逆流域の変化は、 $\pm 20^\circ$ の場合にも観察された。水制設置角度と水制間の土砂堆積について、Tison¹⁾ は実験より、上向き水制の場合は水制背後の死水域 (逆流域) に浮遊砂が多く堆積したと報告している。図-3の設置角度と逆流域の関係は、定性的ではあるが Tison の実験結果を補強するものと考えている。

また、今回著者らの行った計算手法では、水制周りの流れ場を時々刻々に解析している。図-4は、水制設置角度 0° における流れ場の時間経過による流れ関数である。同図より、 $t=0$ において水制背後を中心にしていた逆流域が徐々に時間が進むにつれて水制間内の下流側に移動して $t=30$ を境に、再び逆流域の中心は上流側の水制背後に戻っていくように観察される。すなわち、水制間内の逆流域は時々刻々に変動しており、この変動は水制設置角度を変えても同様に観察された。

4 あとがき 講演時には、不透過水制先端に杭出し水制を設置した場合などの計算結果について述べる予定である。

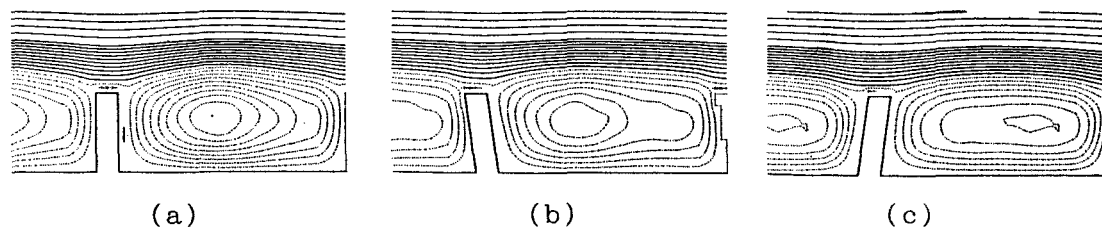


図-3 時間平均流れ関数図

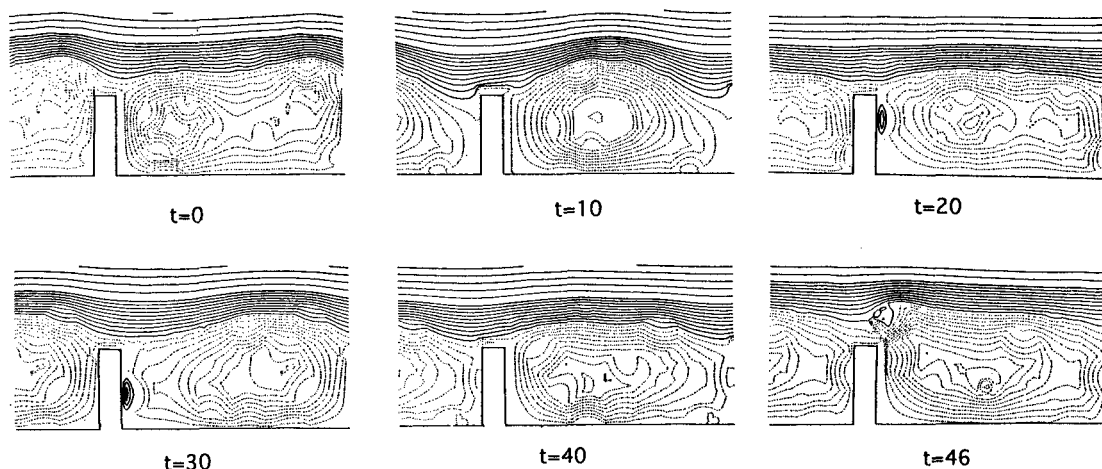


図-4 流れ場の時間経過による流れ関数図

参考文献 Tison(after Beckstead), Beckstead, G., "Design consideration for stream groynes" Alberta. Department of the Environment, Environmental Engineering, Support Services, Canada, 1975