

II-157

曲がり水路の数値シミュレーション

東電設計 正員 藤井直樹
東京電力 窪 泰浩
大成建設 正員 大谷英夫
東電設計 小原実香
東電設計 正員 福井史朗

1. はじめに

遠心力が作用する管路や開水路の曲がり部の流れは、自然河川や水路構造物あるいは実用機器に多く見られる。断面内に作用する流路内の流れは2次流を有し、複雑な3次元流動となる。このような流動機構を調べることは基礎的、実用的に重要な課題であり、古くから実験や数値シミュレーションが行なわれ、多くの知見が得られている。しかしながら、流速が1m/sを越えるような大きな水路構造物についての検討は十分でなく、わずかな例として大谷ら(1994)によって発電所放水路の現地計測が報告されている。本研究では曲がり水路の流動特性を把握することを目的として、数値シミュレーションと現地計測の比較検討を行なった。

2. 現地計測と計算の概要

大谷ら(1994)は図1に示すように幅5.5m、高さ4.8mの矩形断面を有する放水路曲がり部の終点部で計測を行なっている。図2は計測断面内の主流速の等速度線図と2次流のベクトル図である。計算は図1に示す範囲を対象とし、有限体積法、スタグガード格子、ハイブリッドスキーム、SIMPLE法、 $k-\epsilon$ モデルを用いた。断面内の計算格子は20×20格子とし、主流方向には200格子を不等間隔に配置した。流入条件としては流量29.54m³/sが一様に流入するとし、流出条件は自由流出とした。

3. 計算結果と考察

図3は計測位置における主流速と2次流の計算結果である。曲がり内側断面の主流速分布は中央部が低速であり、上下壁は高速となっている。曲がり外側の流速は断面内で最も速く、高速領域が上下に分布している。また、主流速分布はほぼ対称である。これらの計算結果の特徴は計測結果においても認められる。2次流の計算結果は、上下壁では外から内に、断面中央では内から外に流れ、上下に2個の渦が対称に形成されている。計測された上下の2次流は非対称であり、計算結果と異なっている。大谷ら(1994)は、上下非対称な渦の原因として天井部に付着している生物の影響により生じたものと推測している。本研究では壁面の境界条件として壁関数を用いている。次式は用いた対数分布則である。

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(E \frac{U_* y}{\nu} \right) \quad (1)$$

ここで、 U_* は摩擦速度、 κ はカルマン定数、 E は壁面の粗滑の状態を表し、 ν は動粘性係数である。計算では全ての壁面を滑面として扱い、 $E = 9.0$ としたが、2次流の非対称性を調べるため上壁面のみ $E = 0.9$ として計算を行なった。Jayatilake(1969)は0.3以下を粗面として扱っており、 $E = 0.9$ は若干水理学的に粗面状態であると考えられる。図4は主流速と2次流の計算結果であり、図3と比較するとわずかに上側の主流

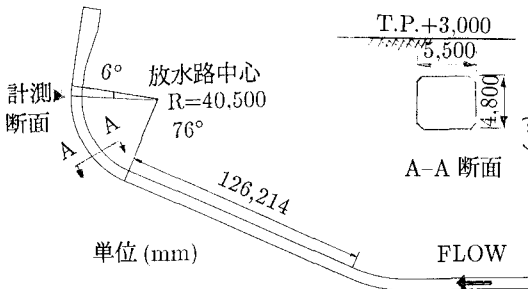


図1 計測位置と水路形状

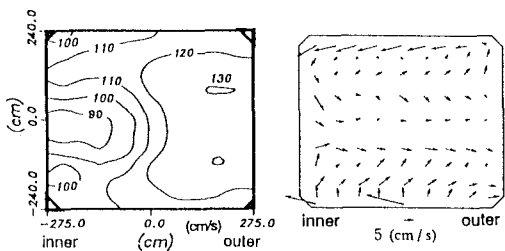


図2 主流速と2次流の計測結果

速の分布領域が大きい。2次流の場合も上側の渦の流域の方が大きく、計測結果と同様の非対称な渦が形成されている。計算結果は上壁面の粗度の影響が主要な要因の1つであることを示している。

図5は曲がり部始点から終点にかけての主流速の等速度線図である。上流の曲がりりと縦断方向の変化によって曲がり部始点の高速領域は外側に形成され、上側に広く分布している。始点から14°までは高速域が内側へ移行し、28°までは始点より高速域が内側に存在する。その後、高速域は徐々に外側に移行し、上下の流速分布は対称になる。図6は曲がり部始点から終点にかけての2次流のベクトルであり、始点の2次流は小さく、徐々に大きくなり56°で速度は最大となり、上壁で20cm/sとなる。最初の2次流の渦は外側よりであるが、その後内側に移行する。これらの結果は、曲がり部始点の内側の圧力が小さくなるために内側の流速が加速され、その後、28°付近から遠心力の効果によって断面中央部では外側へ、上下壁近くでは内側へ向かう2次流が生じ、内側にあった高速域が外側に運ばれるためと理解できる。

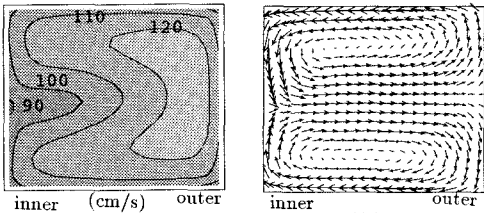


図3 全て滑壁面とした場合の計算結果

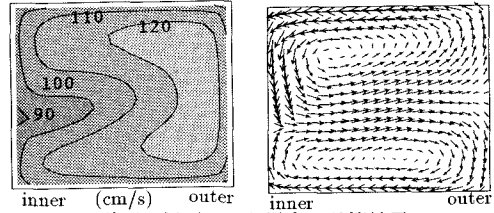


図4 上壁面を粗面とした場合の計算結果

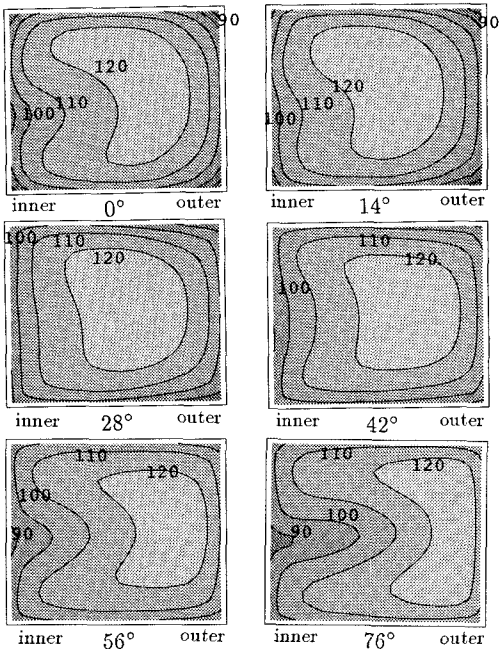


図5 曲がり部の主流速の等速度線図 (cm/s)

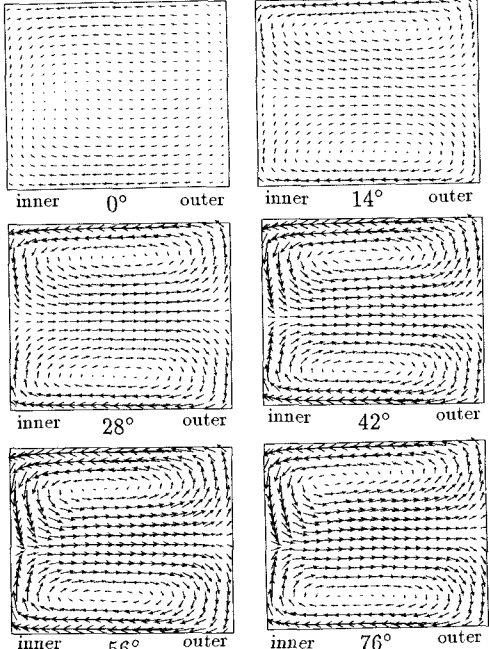


図6 曲がり部の2次流の速度ベクトル

4. おわりに

曲がり水路の数値シミュレーションを実施し、曲がり部始点から終点にかけて主流速分布や2次流が変化していく過程を示した。さらに、現地計測結果との比較検討から計測結果の非対称な渦が形成された要因として上壁面の粗度の可能性を示した。ただし、計算に用いた流域よりさらに上流側の影響や直線水路部に生じる第2種2次流の影響なども考えられるため、今後これらの要因についても検討していく予定である。

参考文献 1) 大谷, 石野, 出口, 都築: 水工学論文集 第38巻, pp.721-726, 1994. 2) Jayatilke: Prog. in Heat and Mass Transfer, Vol.1, Pergamon Press, 1969.