

新しい境界適合座標系を用いた蛇行流路の数値計算

Calculation of meandering channel with cut cell technique

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 新田友子 (Tomoko NITTA)
寒地土木研究所 正員 安田浩保 (Hiroyasu YASUDA)
北海道大学大学院工学研究科教授 正員 清水康行 (Yasuyuki SHIMIZU)

1. はじめに

一般に、河川は複雑な形状をしている。流路形状は水の流れに大きな影響を及ぼし、洪水氾濫の原因となる場合もある。そのため、複雑な流路の流れを把握することは、河川工学上重要な課題である。しかしながら、数値計算の基本となる直交座標系では、流路の形状を的確に組み込んだ計算はかなり細分化された格子を用いない限り良好な精度での流れの計算ができない。極端に計算負荷が増大するという欠点がある。

清水¹⁾は、このような流れの計算法に対して先駆的に取り組みを行い、一般座標系による流れの計算法の開発に成功している。一般座標系による流れの計算では、地形形状に沿って座標系を設定する事ができる。そのため、直交座標系における流れの計算と異なり、流路形状に沿った流れの計算を行うことができる。ただし、計算格子を設定する際に座標軸が交差するように格子形状を設定する条件を満足しなければならないため、河川工学の中で最も重要な問題のひとつである蛇行の進展に伴う河道のショートカットを表現することができない。

一方、安田²⁾は複雑な地形での流れを計算する方法として、地形適合セルを提案している。地形適合セルとは、三角形や多角形を組み合わせることで地形を表す手法である。地形が複雑な領域は地形適合セルで、それ以外の領域では直交座標系を用いて計算している。

この地形適合セルを用いたさらに拡張された計算法として、直交座標系では細分化された格子を用いない限り表現が困難な複雑な形状を呈する境界部分の格子のみに地形適合セルを適用して、計算対象領域の形状を簡便かつ柔軟に表現する新しい境界適合型の計算法が考

えられる。この計算法では、境界部分での地形適合セルとそれ以外の大部分では矩形格子を用いるため、格子の生成が非常に容易である。この方法を用いることにより、蛇行河川がショートカットする様子や、近年課題となっている蛇行復元を表現する計算、さらには、橋脚などの河川構造物を考慮した計算も可能になると考えられる。著者らの類似の研究事例として、Causon³⁾はCut-cell approach を提唱している。以後、本研究で提案する新しい適合座標系の計算法をCausonらにならい、カットセル法と呼ぶ。

本研究は、新しい境界適合型の計算法を確立するための第一段階として、カットセル法を用いた計算結果と一般座標系による計算結果、実験値の比較を行い、カットセル法の有用性を検証することを目的とする。河床形態は流れの影響を受けて変化するので、本研究では流れのみに注目している。

2. 計算法

カットセル法は2種類の手法を併用して計算する手法である。図-1に示すように、はじめに直交座標系で格子を設定する。次に境界部分を含む格子のみ、流路

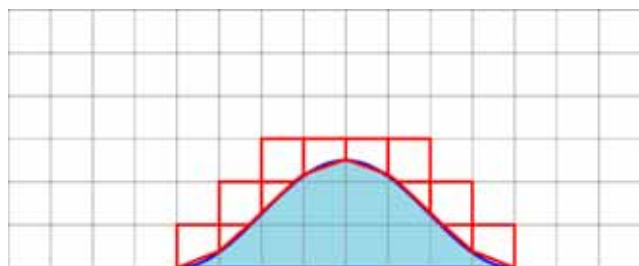


図-1 格子の生成

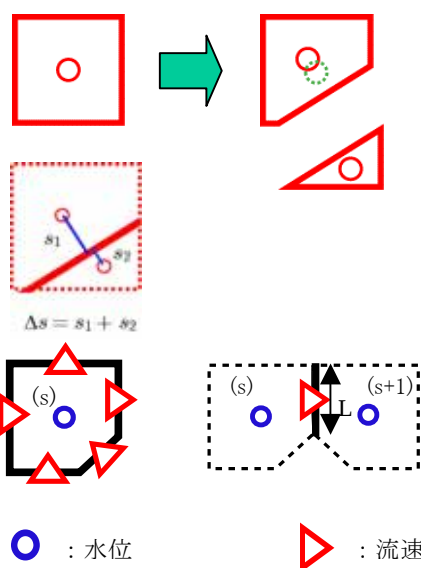


図-2 計算点

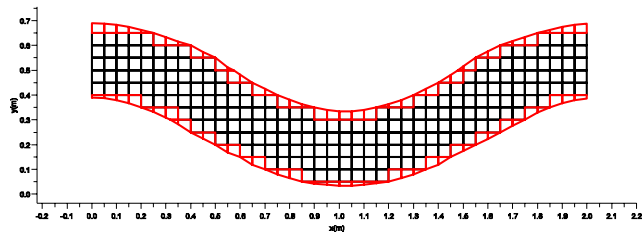


図-5 カットセル法の格子

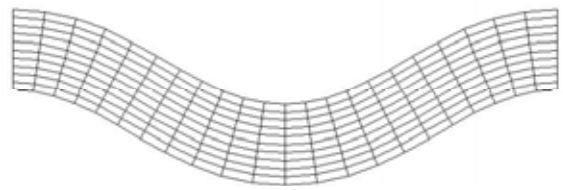


図-6 一般座標系の格子

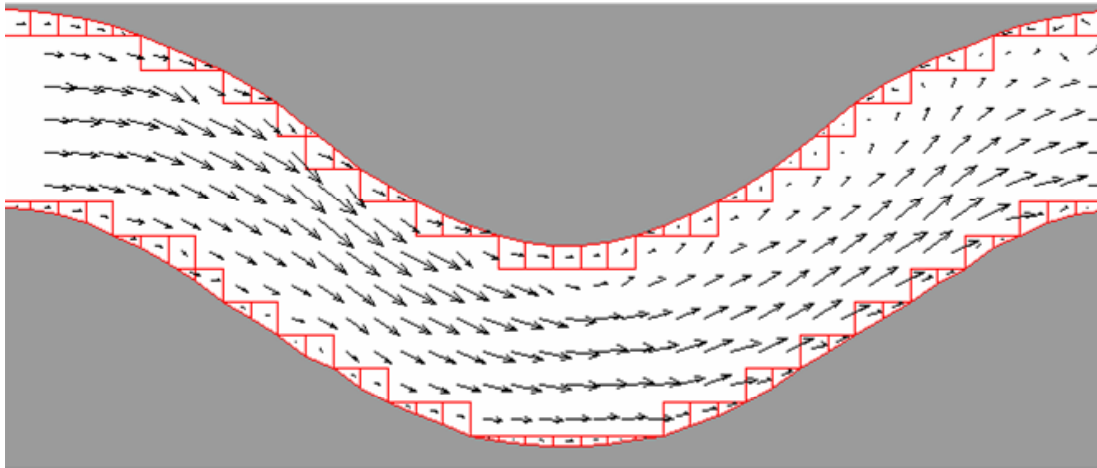


図-7 カットセル法を用いた計算結果

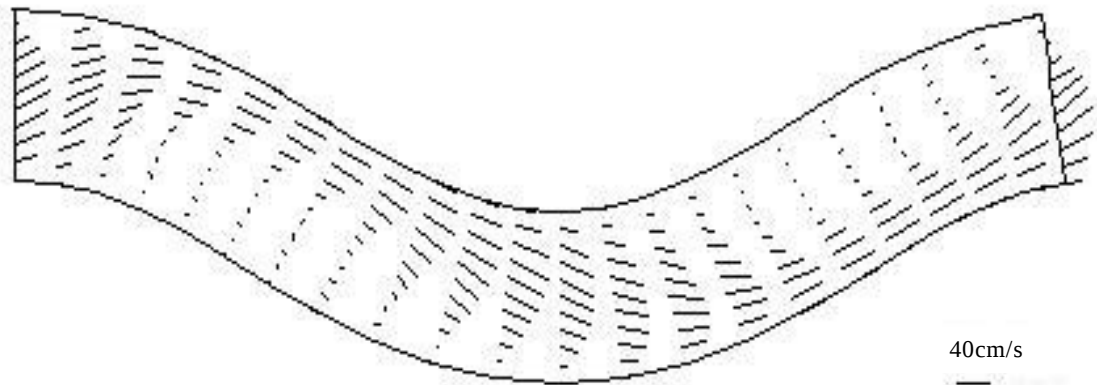


図-8 一般座標系による計算結果

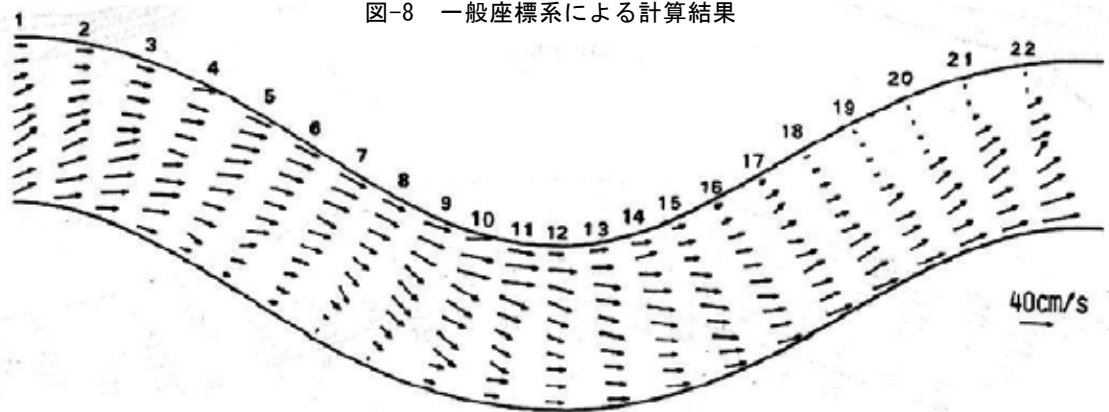


図-9 実験値⁴⁾

なる水路で、各定数は蛇行長 $\tilde{L}$ 220cm, 幅 $\tilde{B}$ 30cm, 蛇行角 θ_0 30° を用いて行われている。河床材料として粒径0.043cm の砂を用い、平均河床勾配は0.00333としている。

$$\theta = \theta_0 \sin \frac{2\pi}{L} \tilde{s} \quad (3)$$

計算ではさらに、河床材料からマンニングの粗度係数を計算し、0.00986 とした。図-4⁴⁾は実験で定常に達した時の河床高を表すコンター図である。本研究では第一段階として流れに注目するため、河床形態は定常時の値を用い、固定床とした。

初期条件は平均の河床高さにマンニング式で計算される等流水深を与えた。また、境界条件として上流端で定常流量 1.87 l/s を、下流端で一定水位 -0.9023 cmを、側壁上の計算点は流量0を与えた。

3.2 計算格子

カットセル法の計算格子は、図-5のように設定した。基本となる直交格子は5cm×5cmの正方形である。

また、比較対象の一般座標系の計算格子は図-6のように、蛇行に沿った方向に22分割、横断方向に10分割とした。

3.3 計算結果

計算結果は図-7のようになった。1分ほどで定常化したため、1分後の流速ベクトル図となっている。上流側では右岸で流速が遅く、左岸で流速が速くなっている。また、下流側では逆に、右岸で流速が速く、左岸で流速が遅くなっていることが分かる。

4. 考察

図-8は一般座標系による計算結果を図-9⁴⁾は実験値を流速ベクトルで表した図である。一般座標系による計算結果は20秒から100秒までの時間平均としている。また、実験値は定常になった時の値である。

3者を比較すると、まっすぐに進もうとする流れによって、上流の右岸と下流の左岸で流速が遅くなっている様子がどのベクトル図でもよく表されていると言える。

次に、境界付近の流速ベクトルに注目して、カットセル法と一般座標系による計算結果を比較した。カットセル法の流速ベクトルはある程度壁の方向に沿っているものの、一般座標系の結果と比べると多少壁の方向を向いている。これは、現段階のカットセル法に移流項が入っていないので、カットセルにおける流速ベクトルの向きが水面勾配のみによって決まっているからだと考えられる。一般座標系の計算はすべての場所で移流項を考慮しているため、カットセル法でも移流項を考慮すれば、同等の結果が得られると推測できる。

5. おわりに

本研究では、カットセル法を用いた計算結果と、一般座標系による計算結果、長谷川らによる実験値との比較を行った。これにより、複雑な地形の流れを計算する新しい境界適合型の計算法として、カットセル法の有用性を示せた。今後、蛇行の進展に伴う河道のショートカットや、橋脚などの河川構造物を考慮した計算などへの適用が期待できる。

参考文献

- 1) 清水康行：一般座標系を用いた2次元流れと河床変動の計算，土木学会年次学術講演会講演概要集第2部 Vol.46th, pp634-635, 1991.
- 2) H.Yasuda：Numerical simulation of Tsunami runup onto a complex beach with a boundary-fitting cell system, Long-Wave Runup Models Proceedings of the International Workshop, Catalina Is., USA, 2004, 2006 (in press).
- 3) D.M.Causon, D.M.Ingram, C.G.Mingham, G.Yang, R.V.Pearson：Calculation of shallow water flows using a Cartesian cut cell approach, Adv. Water Resour., 23, pp545-562, 2000.
- 4) 長谷川和義：沖積蛇行の平面および河床形状と流れに関する水理学的研究，北海道大学博士論文，1984.