

Chang-Moll 法による非一様断面開水路 1 次元非定常流解析に関する研究

Study of Computing One-Dimensional Unsteady Open Channel Flow Applying Explicit Chang-Moll Scheme

○木村 匡臣* 島田 正志** 田中 忠次*
○KIMURA Masaomi*, SHIMADA Masashi**, TANAKA Tadatsugu*

1. はじめに

近年、良好な景観空間の創出をめざし、親水性を意識した多自然型の河川・水路に対する新しい事業が進んでおり、断面積が一様でない用排水路や自然河川において、さまざまな水理現象を正確に把握し、送排水の効率を検討する必要性が高まってきている。本研究では非一様断面開水路 1 次元非定常流解析のモデルを構築することを目的とし、跳水などの不連続も扱うことが可能な数値解析手法である Chang-Moll 法¹⁾²⁾に断面積の非一様性を組み込み、水路の断面幅変化率や勾配が変化する部分における境界計算法を考案し、静止状態と流れのある状態の両方において手法の検証をおこなった。

2. 基礎方程式

本研究で用いる基礎方程式は次のようなものである。 $\partial \mathbf{U} / \partial t + \partial \mathbf{G} / \partial x = \mathbf{S}$...Eq.(1)
ここで、 $\mathbf{U} = (A, Q)^T$: 保存変数、 $\mathbf{G} = (Q, Q^2/A + P_1)^T$: 物理流束、 $\mathbf{S} = (0, P_2 + gA(S_0 - S_f))^T$: 湧き出し項、 A : 断面積、 Q : 流量、 P_1 : 断面に働く静水圧、 P_2 : 側面に働く静水圧の流下方向分力、 g : 重力加速度、 S_0 : 水路勾配、 S_f : 摩擦勾配である。

3. Chang-Moll 法の原理と幾何学的な非一様性の組み込み

上述の方程式を Chang-Moll 法を用いて差分化する。このスキームは、半ステップずつの時空間格子内の領域において、物理量の分布を 1 次のテイラー展開により近似し、保存形の方程式の積分をおこない、これを 2 段階おこなうことにより、未知の格子点の \mathbf{U} を求めるものである (Fig. 1)。図において、点線矢印は、解の求まる方向を示している。

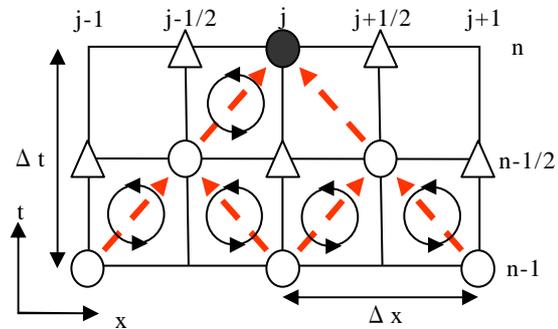


Fig. 1 System of Chang-Moll scheme

また、非一様断面開水路の基礎方程式では、空間的な非一様性を持つために \mathbf{G} や \mathbf{S} が、 \mathbf{U} と x (流下方向距離) の関数となるため、それらの性質を表す項を考慮して差分式に組み込んだ。

4. 断面幅変化率や勾配が変化する部分の境界計算法

水路の形状が変化する部分は、遷移流や跳水等が発生しやすく、そのような場合にも解が振動することなく安定して計算可能な境界計算法の開発は非常に重要である。本研究では、この部分の 2 段階目の計算において、上下の水路の断面幅変化率・勾配を平均した仮想的な水路を用いる手法を適用した。

*東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The Univ. of Tokyo
**筑波大学大学院生命環境科学研究科 Graduate School of Life and Environmental Sciences, Univ. of Tsukuba
キーワード: 数値流体力学, Chang-Moll 法, 非一様断面開水路, 1 次元非定常流解析

5. 検証①(静止状態)

静止状態の解析の対象とした水路は矩形断面開水路(マンニングの粗度係数: 0.01)で、**Fig. 2**、**Fig. 3**のような断面幅・勾配変化を有している。初期水位は 12m、境界条件は上流端・下流端において流量がゼロで一定、時間格子幅は 0.2s、空間格子幅は 5m として解析をおこなった。結果はすべての格子点において、水位は 12m、流量はゼロとなり、流れの静止状態を正確に表現できた。

6. 検証②(流れのある状態)

流れのある状態の解析の対象とした水路は、矩形断面開水路(マンニングの粗度係数: 0.01)で、**Fig. 4**のような断面幅・勾配変化を有している。初期水位は 4m、境界条件は上流端において流量が 10 秒後に $100 \text{ m}^3/\text{s}$ で一定、下流端において 300 秒後に水深が 2m で一定とし、時間格子幅は 0.2s、空間格子幅は 5m として解析をおこなった。常流から射流への遷移流や跳水の発生する勾配の変化部においても、解が振動することなく計算をおこなうことができ、解析の定常状態における水面形と、水面形方程式を用いた逐次水面追跡法による水面形とを比較した結果は **Fig. 5** のようになった。これにより、定常水面の比較において本手法の有効性が示された。

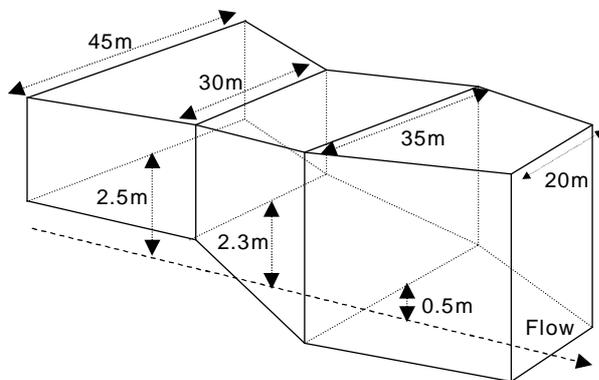


Fig. 4 Channel for analysis②

7. まとめ

本研究では Chang-Moll 法を拡張し、断面幅や勾配が様々に変化する矩形断面開水路における非定常流の 1 次元数値解析の手法と、境界部の計算法を開発した。しかし、検証により手法の有効性が確認できたのは流れの定常状態のみであるため、今後は非定常の状態における検証(理論解が既知である状況や水路実験等)が必要であると考えられる。

参考文献 1)T.Moll, F.Moll : "Space-Time Conservation Method Applied to Saint Venant Equations." Journal of Hydraulic Engineering,ASCE,124,501-508,1998.

2)Shimada.M, Togawa.K, Inagaki.H : "Explicit Chang & Moll Scheme of Computing Unsteady Flows in Open Channels." BHR Group Conference Series Publication,39,451-470,2000.

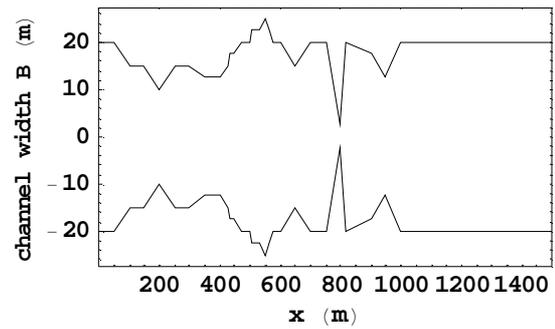


Fig. 2 Width of the Channel①

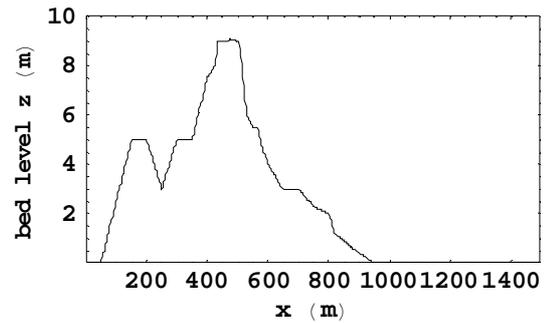
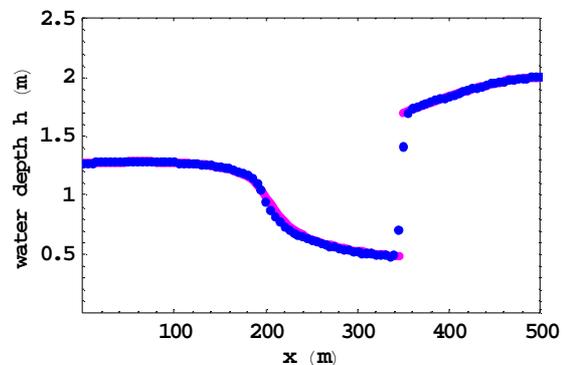


Fig. 3 Bed level of the Channel①



青点線: 本解析における定常状態の水面形
桃色実線: 逐次水面形追跡法による水面形

Fig. 5 Water level comparison