

## 論文審査の結果の要旨

申請者氏名 木村 匡臣

近年の環境意識の向上に伴い、多自然型の河川・水路づくりが進められており、河道断面の形状を多様に変化させるなどの工夫を凝らした施工が各地で行われている。このような水路における 1 次元的な流れの数値計算（シミュレーション）を行うためには、水利システムに存在するゲート等の様々な水利施設を含む境界部の計算処理ができ、数値的安定性が保証された、高精度の数値計算手法が必要である。本論文は、Molls and Molls (1998) によって開水路流れに導入された、Chang (1995) による時空間的保存法（Chang 法）の有する優れた特徴・可能性に着目し、その理論を拡張することにより非一様開水路 1 次元非定常流の数値計算モデルを開発し、拡張した手法の有効性について検証・評価をおこなったものである。

第 1 章では、まず研究の背景について述べ、非一様開水路における 1 次元非定常流の基礎方程式となる、連続式と運動量保存式の導出について説明した。つづいて、既存の数値計算手法の中で非一様開水路流れ計算への拡張がおこなわれている流束差分法（FDS 法）について詳細を述べ、それが実用化されていない原因、課題、特に境界部計算の方法が明確化されていない問題点について説明した。さらに、Chang 法の有する特徴について説明し、研究の目的を述べた。

第 2 章では、Chang 法のアルゴリズムの非一様開水路流れ計算への拡張をおこなった。まず Chang 法による離散化原理について説明し、断面形状の非一様性を表現するために考慮が必要となる物理量の空間偏微分項について整理して定義を述べ、これらの項の構成式中への組み込みをおこない、具体的な計算手順を明確にした。つづいて、拡張した構成式中の高次の微分項に対して、内点計算において省略が可能な部分の抽出をおこなった。その結果、非一様開水路における流れの静止状態を表現するために必要な部分が明らかになり、内点計算アルゴリズムが簡略化された。さらに、Chang 法独自の特性を活用した境界部計算方法を提案し詳細を示した。この方法は構成式の一部と境界条件を単純に連立することにより境界部における数値解を得るものであり、連続式と運動量方程式の両方を同時に満足しながら境界部計算をおこなうことが可能である。これにより、他の離散化手法において課題となっている、境界部計算法の明確化が成し遂げられた。

第 3 章では、拡張した Chang 法の有効性の検証・評価をおこなった。まず、断面幅・水路床高が様々に変化する非一様水路を対象として、流れのない状況の計算を行った。その結果、本手法は精密な計算法の必要条件である静止状態の厳密な表現が可能であることが確認された。つづいて、上流から流量を与え、非一様開水路における静止状態から定常流形成までのプロセスを計算し、数値振動の発生しやすい流れの急変部に対する本手法の安定性を示した。さらに、定常流水面を逐次水面追跡法による水面形と比較し、両者が良好

に一致することを確認した。また、スルースゲート部を含む流れや、壁面で反射する段波の計算結果を示し、本論文で明確にした境界部計算法が有効に機能することを明らかにした。流れの非定常過程における手法の検証には、非一様開水路において理論解が既知の流況がないため、本論文ではまず断面幅の変化を有する実験水路を作成し、そこで観測された流れの非定常過程における水深の時間変化を計算結果と比較した。その結果、本手法は実験結果を良好に再現可能であることが明らかになった。つづいて、非一様台形断面開水路におけるダム破壊波を計算格子幅を変えて計算し、格子幅を狭めた際の数値解の収束過程をみることにより、計算手法の精度の評価を行った。その結果、本手法と、既往の計算手法で最良と考えられる FDS 法の計算結果が、同一の解に収束し、2 つの計算手法の精度が同程度であることを示した。

以上のように本論文は、高精度で安定した数値解析を行うことが容易でない、非一様開水路における非定常流の新たな数値計算モデルを構築し、その有効性と精度について検証・評価をおこなったものである。その成果・結果は新規性が高く、技術的・学術的に貢献するところが大きい。よって、審査委員一同は本論文が博士（農学）の学位論文に値するものと認めた。