

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	石田 桂
論文題目	Modeling Open Channel Flows in Locally One-Dimensional Domain Based on Shallow Water Equations (浅水方程式に基づく局所一次元領域における開水路流れのモデル化)		
(論文内容の要旨)			
河川や用排水路などにおける開水路内流れの解析は、水利システムの設計や運用において、また地域の水環境に関する諸問題を解決する上で重要であり、これまでから現象再現性のある解析手法が追究されてきた。近年では情報技術の進展により、数値解析を前提としたモデルの開発が盛んに行われている。洪水解析などの広域的な問題における開水路流れに対しては、開水路流れを記述する数理モデルとして知られる一次元あるいは二次元の浅水方程式に基づく数値解析モデルが広く用いられているが、分合流や屈折を含む一次元水路系に対する数値解析モデルについての手法の研究は不十分である。本論文は、このような観点から、分合流や屈折を含む開水路を局所一次元領域として扱い、一次元浅水方程式に基づきこのような領域における開水路流れの数値解析モデルを開発したものであり、以下の6章から構成されている。 第1章は緒論であり、本論文の基礎となる局所一次元領域内の開水路流れ及び一次元浅水方程式について解説するとともに、水環境に関する諸問題と開水路流れとの関係について述べ、本論文の目的と意義を示している。 第2章では、分合流または屈折を含む開水路内における水の流れの数値解析、農地からの洪水流出解析、浅水方程式の近似手法(キネマテック・ウェーブ (Kinematic Wave) 近似、拡散波近似)に関する先行研究を整理している。 第3章では、有限要素法と有限体積法を組み合わせた手法(有限要素体積法)によって、浅水方程式に基づき分合流を含む開水路流れに対する数値解析モデルを構築している。モデルの再現性をまず、一次元開水路流れの標準問題であるダム崩壊問題及び河床に隆起がある水路での定常流問題で検証している。次いで、丘陵地斜面上に展開する農地と水路からなる実際の開水路網における洪水流出を対象としてモデルの検証を行い、このような流出解析問題に対する浅水方程式の適用性を考察している。この時、集水域からの流出流量については、これをブラックボックス型モデルで表し、開発した数値解析モデルとともに用いて、それらのモデルパラメータの同定・検証を含めた解析を行っている。 第4章では、浅水方程式の拡散波近似に基づき、有限要素法を用いて多重連結型開水路網における非定常流計算に適した数値解析モデルを開発している。時間方向の離散化には、拡散波近似は非線型性が強く陽解法が適さないことを理由に、陰解法を用いニュートン法により反復的に解を導出している。さまざまな条件下で、この拡散波近似モデルの解と第3章で提示した完全な形の浅水モデルから得られる解の比較を行って、拡散波近似による数理モデルの適用性を検討している。比較は、仮想の直線水路と多重連結型開水路網、並びに第3章で考慮した丘陵地斜面上の水路・農地系を対象として、それらにおける開水路流れを各モデルによって解析し、定常時の水路内水深、非定常時の下流端における流出流量のピーク値、ピークに至るまでにかかる時間の相対誤差を指標として行っている。			

第5章では、開水路の屈折部分における水の流れを、屈折角を考慮して一次元の数理モデルで表現している。この数理モデルを有限要素体積法により定式化した開水路流れの数値解析モデルに組み込むことにより、屈折の影響を加味することが可能な新たなモデルを開発している。この数値解析モデルの妥当性を検証するため、屈折を含む開水路での定常流に関する水理実験を行い、解析結果との比較を行っている。さらに既存の研究でなされている屈折を含む開水路でのダム崩壊流れに関する実験の成果を非定常での実験結果として引用し、これと数値解との比較を行って、開発したモデルの再現性を検証している。また、この非定常流問題において、屈折の影響を加味していない第3章の数値解析モデルによる解との比較を行って、開発したモデルの有意性を明らかにしている。

終章である第6章では、以上によって得られた知見を要約・整理するとともに、今後の課題について述べている。

(論文審査の結果の要旨)

水利システムの設計や運用において、さらには近年注目されている水環境に関する諸問題を解決する上で、河川や用排水路などの開水路における流況の把握は重要であり、一次元開水路流れを記述する数理モデルである浅水方程式に基づく数値解析モデルが流れ解析手法の一つとして広く用いられている。しかし、河川や用排水路は水理学的特異点となる分合流や屈折を含むのが一般であるが、一次元の数値解析モデルによりそれらを合理的かつ効率的に取り扱う手法は未だ確立されていない。本論文は、分合流や屈折を含む局所一次元の開水路領域に対する浅水方程式に基づく数値解析モデルの開発と数理モデルの適用性を検討したものであり、評価できる主要な点は以下の通りである。

1. 浅水方程式に基づく分合流を含む開水路流れの数値解析モデルを有限要素体積法により定式化している。これによって、既存の手法が求める分合流部に対する内部境界条件などの導入とそのために必要な付加的な処理が回避でき、多くの分合流を含む複雑な開水路網であっても煩雑な処理を必要としない。このモデルによれば、一次元開水路流れの標準問題に対しても、また水路と農地によって形成される実際の多重連結型開水路網においても、安定で高精度な解が得られることを明らかにしている。
2. 浅水方程式の拡散波近似に基づく分合流を含む開水路流れの数値解析モデルを有限要素法により定式化している。このモデルでも、分合流部を内部境界条件として扱うことなく、分合流部を含めて水路網全体を統一的に扱うことを可能にしている。その一方で、拡散波近似によるモデルには、完全な形の浅水方程式に基づくモデルに比べて、適用性において一定の限界があることを明らかにしている。
3. 浅水方程式に基づく屈折を含む開水路内流れに対するモデルでは、屈折における三次元的な水の流れの変化を、屈折前後での一次元的な流束の差異で表し、これを浅水方程式に基づく数値解析モデルに組み込むことにより、既存の一次元数値解析モデルでは再現不可能であった屈折による水の流れへの影響の再現に成功している。

以上のように、本論文は、局所一次元領域としてモデル化される分合流や屈折を含む開水路流れに対して、浅水方程式とその拡散波近似に基づく新たな数値解析モデルを提案するとともに、それらの有効性を検証したものであり、数値水理学、環境水理学、水資源工学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成24年2月13日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降