

氏 名 ム ハ マ ド ム ニール バ バル Muhammad Munir Babar
 学位(専攻分野) 博 士 (農 学)
 学 位 記 番 号 農 博 第 1039 号
 学位授与の日付 平成 11 年 3 月 23 日
 学位授与の要件 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
 研究科・専攻 農 学 研 究 科 地 域 環 境 科 学 専 攻
 学 位 論 文 題 目 NEAR-FIELD IDENTIFICATION AND SIMULATION MODELS OF SPILL-WAY FLOWS

(余水吐流れの同定とシミュレーションのための場接近型数値モデル)

(主査)

論文調査委員 教授 河 地 利 彦 教授 青 山 咸 康 教授 三 野 徹

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、フィルダム余水吐の流れに対する場接近的な同定手法並びにシミュレーション手法について提案したものである。対象としたダム余水吐においては、常流から射流へ、およびその逆の遷移流が発生し、また急流部や減勢工部では水面が激しく乱れて空気が混入するなど、複雑な流れを呈することから、これまでの水理解析では、余水吐全体の流れはもとより局所的な流れに対してすら、二次元あるいは三次元の場接近的な取り扱いがなされた例はほとんどなかった。このため一般に、余水吐の水理設計では、水理模型（物理モデル）実験によって流れを再現し、余水放流の安全性を確認することが義務づけられてきた。このようなことを背景として、本研究では、水理模型に代替しうるまたはそれを補完しうる数値モデルの開発を意図して、余水吐の流況と空気連行流の解明に必要な場接近的な問題の定式化とそのための数値手法について基礎的、応用的に考究し、余水吐の水理設計分野に新しい機軸を開く試みをしている。

第1章は緒論であり、余水吐に対する流れ解析の重要性を述べた上で、従来行われてきた研究を概観し、本論文の目的と意義を示している。

第2章では、一般的な開水路における空気混入現象について詳細な検討を行うとともに、自由水面を通じた空気連行現象の発生機構と空気連行流の構造、さらには空気混入水が余水吐構造物に与える影響について、従来の知見を総括している。

第3章では、第4章から第6章において用いられる数値手法、すなわち、有限要素法と有限体積法について述べている。それらの手法について、背景と利点を特性曲線法、境界要素法、有限階差法との比較の上で論じ、また応用方法の基礎的事項について要約している。

第4章では、余水吐急流部における空気連行流に対し、同定問題を状態値と目標値の残差自乗積分最小化の意味における最適制御問題に定式化して数値的に解いている。流下方向における空気連行開始点から空気密度の平衡点に至る遷移部分において、鉛直二次元方向における空気混入水の密度を支配する移流拡散方程式を有限要素法によって離散化し、水面形および平衡点での空気密度分布が既知である場合の拡散係数と気泡上昇速度を同定している。変分法における最小原理に基づき、また空気混入水の密度によるパラメータ化を行うことにより、同定の過程を効率的かつ安定なものにしている。いくつかの計算例により、気泡上昇速度の絶対値の大きさは空気混入水の密度の場にほとんど影響しないことを明らかにしている。

第5章では、減勢工部における跳水内部の拡散係数と移流係数を推定する方法を提案している。跳水においては流れの場が複雑なものとなり、第4章の手法をそのまま適用することはできないため、第4章の手法に修正を加えた上で、跳水領域全体での空気密度分布データから拡散係数と移流係数を推定している。移流係数の初期解としては、移流拡散方程式の弱解が一意的に存在するための条件を検討し、かつ推定問題が非適切であることを考慮した上で、発散なし条件と流速境界条件を満たすものを選んでいく。結果より、主流部と回転流部からなる跳水の内部において、拡散係数の場が非常に非均質なものであることを明らかにしている。

第6章では、越流クレストから導流部、急流部を経て減勢工部に至るダム余水吐全体の流れを再現する非定常シミュレーションモデルを開発している。モデルは、水平二次元自由水面流れの支配偏微分方程式と空気密度を決定する経験式を連成させたもので、偏微分方程式の離散化にあたっては、連続方程式に対しては標準的ガレルキン (Galerkin) 有限要素法を、保存型の運動量方程式に対しては新たに開発した風上スキームを備えた有限体積法を用いている。また、クーラン・フリードリッヒ・レウィ (Courant-Friedrichs-Lewy) 条件に基づいて積分幅を変更しつつルンゲ・クッタ (Runge-Kutta) 法によって時間積分を実行し、人工粘性項によって計算の安定化を図っている。計算結果を模型実験結果と比較し、流れの三次元的構造が卓越するような場所において若干の不一致は見られるものの、このシミュレーションモデルが実用上十分な性能を有することを明らかにしている。さらに、計算結果より、鉛直方向流速分布が不均質であることに起因する残差項の大きさを評価している。

終章である第7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、問題点と今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

従来、ダム余水吐における複雑な流れを解明するには、多くの経費と労力を必要とする水理模型実験以外に有力な方法がなかった。ダム余水吐のより適切な設計と設計の省力化のために、二次元あるいは三次元の場合接近的な精細な数値モデルの開発が強く望まれてきた。本論文は、フィルダム余水吐の急流部における空気連行流および下流減勢工部における空気連行を伴う跳水のそれぞれに対して鉛直二次元の同定モデルを、また余水吐全体の包括的な流れに対して平面二次元のシミュレーションモデルを構築して、ダム余水吐流れの解析に新機軸を開いたものであり、評価できる主要な点は以下のとおりである。

(1) 余水吐急流部における空気連行流に対して、流れを支配する拡散係数と気泡上昇速度を同定する手法を提案した。すなわち、流下方向における空気連行開始点から空気密度の平衡点に至る遷移部分について、水面形と平衡点での空気密度分布が既知である場合の拡散係数と気泡上昇速度を同定する手順を示し、同定の効率化と安定化を図るために、変分法における最小化原理を導入し、また空気混入水に対して密度によるパラメータ化を図った。そして、実際の同定により、気泡上昇速度の絶対値の大きさは空気混入水の場合にほとんど影響しないことを明らかにした。

(2) 減勢工部で発生する跳水に対して、急流部の同定モデルを修正するかたちで、跳水領域全体での空気密度分布データから拡散係数と移流係数を推定する方法を導いた。このとき、移流係数の初期解は発散なし条件と流速境界条件を満たすものに選ぶべきことを明らかにした。また同定結果より、拡散係数の場合は跳水内部において非常に非均質なものであることを明らかにした。

(3) 余水吐全体の流れを再現する水平二次元自由水面流れのシミュレーションモデルを構築した。偏微分方程式の離散化では、標準的有限要素法と有限体積法を巧みに使い分け、また新たに開発した風上スキームと人工粘性項の導入によって、求解の安定化と精度の向上を図った。そして、水理模型実験結果との比較によって、モデルが実用的にも十分な再現性を有することを明らかにした。

以上のように、本論文は、これまで数値的な取り扱いが困難とされてきたダム余水吐流れに対して二次元の数値モデル化に成功し、併せて空気連行流の内部構造に関していくつかの新知見を得たものであり、水理学、ダム工学の発展、並びに余水吐設計の実践面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11年2月16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。