

氏 名	トラン ゴク アン Tran Ngoc Anh
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2701 号
学位授与の日付	平 成 18 年 9 月 25 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	工 学 研 究 科 都 市 社 会 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	HYDRAULIC MODELING OF OPEN CHANNEL FLOWS OVER AN ARBITRARY 3-D SURFACE AND ITS APPLICATION IN AMENITY HYDRAULIC ENGINEERING (任意 3 次元曲面上の開水路流れの水理解析法とアメニティ水工学における 応用)
論文調査委員	(主 査) 教 授 細 田 尚 教 授 戸 田 圭 一 助 教 授 後 藤 仁 志

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、任意曲面上を流れる薄層の開水路流を解析するための数値モデリング手法を提案するとともに、解析法を二、三の具体的な流れに適用することで、その検証を行ったものであり、8章からなっている。

第1章は序論であり、研究の動機と目的を記述している。

第2章では、曲面上の開水路流れの解析法に関する従来の研究について分類整理した後、当該分野のさらなる発展のために本論文で取り扱うべき研究内容について記述している。

第3章では、一般3次元曲面上の薄層の開水路流を解析するための基礎式を導出している。すなわち、任意3次元曲面上に座標曲面を置いた一般座標系において、3次元の連続式、運動方程式を曲面に直交する水深方向に積分することで、一般的な開水路流れの水深積分モデルの基礎式を導出する過程を詳細に記述している。

第4章では、前章で導かれた任意3次元曲面上の開水路流れの基礎式を、エアー・コアーが存在する吸い込み渦流れの水面形解析に適用した。まず軸対称流れを仮定し、流れの吸い込み部底面形状を表現できる座標系を選定して曲面上の計量メトリックスなどを計算後、具体的に基礎式を記述することにより、曲面上の1次元水面形方程式を導出した。水面形方程式は非線形常微分方程式であり、擬似等流水深と限界水深の交点として定義される特異点が存在すること、この場合の特異点は鞍形点に分類されること、エアー・コアーが発生する場合には特異点で流れの常流から射流への遷移が生じることを示した。

次に、特異点から上流と下流方向に水面形を追跡することでエアー・コアーを伴う吸い込み渦流れの特徴的な水面形を再現できることを示した。さらに、流量、外周境界での循環、吸い込み部の直径など水理条件を変化させて多数の水面形計算を行うことで、吸い込み渦が生じる場合と生じない場合の限界条件を同定し、数値実験結果が従来の実験結果とほぼ適合することを示した。

第5章では、第4章で取り扱ったエアー・コアーを伴う吸い込み渦流れについて、軸対称流れを仮定せずに3次元曲面上の平面2次元流れとして水理解析を行う方法について検討している。すなわち、中央で鉛直に落ち込む底面境界に曲面座標を貼り付け、流れの外側円周境界で水位、流量、および循環を与えて平面2次元流れとしての解析を行う方法を示した。数値解析法として有限体積法を適用し、洪水氾濫解析法を援用して数値解析を実施した。計算結果を用いて、1次元水面形解析に対応する、周囲から中央に向かって旋回しながら滝上に落ち込む流れの水面形状をCG表示することで解析結果の妥当性を示した。ただし、実験で観察されるようなエアー・コアー近傍での波状の水面形は再現されておらず、今後の課題として指摘された。

第6章では、提案した解析法を水平床と鉛直壁面が円弧曲面によって接続される曲面上の流れに適用した。円弧直径を二通りに変化した基礎水理実験を実施し、超音波距離計を用いて円弧に沿った時間平均された水面形と水面の時間変動を計

測した。実験結果では、流れの流量に応じて、ほぼ定常な流れが生じる場合と、円弧部で非定常の水面変動が生じる場合の二通りが観察された。非定常水面変動の発生メカニズムの一つとして、遠心力と重力のアンバランスに起因する不安定性を指摘している。

空気吸い込み渦の場合と同様に、定常水面形解析、および1次元、平面2次元非定常流解析を行い、水理実験結果との比較を行った。定常水面形解析の結果は、どの実験条件の場合も時間平均された水面形の実験結果とほぼ適合することが示された。水理実験において円弧部で非定常な水面変動が生じる場合、非定常の数値計算結果においても同様に水面変動の発生が確認された。しかし、水面変動の周期、および振幅は実験結果と適合しておらず、計算結果のCGも実験のビデオ画像と適合していないため、さらなる検討が必要と考えられた。

第7章では、さらなるモデルの改良について検討している。すなわち、モデルの改良すべき点として、凹曲面における積分軸の交叉の解消が考えられたため、任意曲面に対して直交しない任意の斜交軸に沿って基礎式を積分して得られる水深積分モデルを導出した。改良モデルを単純なダム破壊流れに適用し、改良型モデルを用いて数値計算が可能であることを示した。

第8章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、任意曲面上を流れる薄層の開水路流を解析するための数理モデリング手法を提案するとともに、解析法を二、三の具体的な流れに適用することで、その検証を行ったものである。得られた主な成果は次のように要約される。

1. 一般3次元曲面上の薄層の開水路流れを解析するために、まず任意3次元曲面上に座標曲面を置いた一般座標系において、3次元の連続式、運動方程式を曲面に直交する水深方向に積分することで、一般的な開水路流れの水深積分モデルの基礎式を導出した。

2. 導かれた基礎式をエアー・コアーが存在する吸い込み渦流れの水面形解析に適用した。まず軸対称流れを仮定し、流れの吸い込み部底面形状を表現できる座標系を選定して基礎式を記述することにより、曲面上の1次元水面形方程式を導出した。水面形方程式には擬似等流水深と限界水深の交点として定義される特異点が存在し、特異点は鞍形点に分類されることを示した。次に、特異点から上流と下流方向に水面形を追跡することでエアー・コアーを伴う吸い込み渦の特徴的な水面形を再現できることを示した。さらに、流量、外周境界での循環、吸い込み部の直径など水理条件を変化させて多数の水面形計算を行うことで、吸い込み渦が生じる場合と生じない場合の限界条件を同定し、数値実験結果が従来の実験結果とほぼ適合することを示した。

3. 次に、上記のエアー・コアーを伴う吸い込み渦流れについて、軸対称流れを仮定せずに曲面上の平面2次元流れとして数値計算を行う方法について検討している。すなわち、中央で鉛直に落ち込む底面境界に曲面座標を貼り付け、外側円周境界に水位と循環を与えて平面2次元解析を行う方法を示し、1次元水面形解析に対応する、周囲から中央に向かって旋回しながら滝上に落ち込む流れの数値計算結果をCG表示することでモデルの妥当性を示した。実験で観察されるようなエアー・コアー近傍での波状の水面形は再現されておらず、今後の課題として指摘された。

4. 提案した解析法を、水平床と鉛直壁面が円弧曲面によって接続される曲面上の流れの解析に適用した。基礎水理実験を実施し、円弧近傍の時間平均された水面形と水面の時間変動を計測するとともに、上記2., 3. に記述した定常、および非定常解析を用いた数値解析結果と比較した。定常計算結果は水面形に関する実験結果とほぼ適合すること、円弧部で遠心力に起因する不安定によって水面の非定常振動が発生している可能性を指摘している。

5. 最後にモデルの改良について検討している。モデルの改良として、任意曲面に対して直交しない任意の斜交軸に沿って基礎式を積分して得られる水深積分モデルを導出した。改良モデルを単純なダム破壊流れに適用し、改良型モデルを用いて数値計算が可能であることを示した。

以上、要するに本論文は、任意3次元曲面上を流れる開水路流を解析するための数理モデリング手法を提案するとともに、解析法を二、三の具体的な流れに適用することで、その検証を行ったもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年8月3日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。