HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Linear and nonlinear stability analyses of shallow open-channel flow with lateral velocity gradients [an abstract of dissertation and summary of dissertation review]
Author(s)	de Lima, Adriano Coutinho
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11054号
Issue Date	2013-06-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/53227
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Adriano_Lima_review.pdf, 「審査の要旨」

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　Adriano Coutinho de Lima

審査担当者　主　査　教　授　泉 典洋
副　査　教　授　山下 俊彦　（公共政策学連携研究部）
副　査　准教授　山田 朋人

学位論文題名

Linear and nonlinear stability analyses of shallow open-channel flow with lateral velocity gradients
(流速勾配を有する浅い開水路流れの線形・非線形安定解析)

自然河川でも人工水路でも河道内に植生が繁茂している様子は一般的によく見られる光景である. 河道内の植生は側岸侵食を防止し, 様々な種の生物に対し生息場や食料を提供するという点では望ましいものであるものの, 一方で流水に対する抵抗を増加させ洪水流下能力を著しく減少させてしまう点では深刻な問題を生じせしめる. 河道の一部に存在する植生は流れを不安定にし大規模な水平渦を発生させる. 発生する水平渦は, 河道内の流速分布, ひいては流下能力に大きな影響を与える. また植生内部 (植生域) と外部 (非植生域) の間における様々な物質の横断混合を促進する. したがって不安定となる条件を同定し, 発生する水平渦の特性を明らかにすることは, 工学的な見地からも環境の見地からも極めて重要である. そこで本研究では, 一部に植生を有する開水路流れに発生する不安定性について線形安定解析および弱非線形安定解析を行った.

第一章では研究の背景と既往の研究について述べている.

第二章では問題の定式化を行っている. 植生を円柱群でモデル化し, その抗力を抗力係数を用いて運動方程式に導入することで, 片側に植生を有する開水路内の流れを記述する浅水流方程式を導いた. また基本状態における流れは, 底面摩擦によって発生する水深より小さいスケールの渦に規定された乱流 (sub-depth scale turbulence) であると仮定し, 対数流速分布に対応し水深方向に放物線分布した渦動粘性係数の水深平均を用いてレイノルズ応力を評価している. さらに, 支配方程式の無次元化を行い,5 つの重要な無次元パラメータを抽出した.

第三章では, 基本状態での横断方向流速分布を導いた. 第二章で定式化した無次元の支配方程式の植生域および非植生域における解を, 流速とレイノルズ応力が連続するという条件を用いて接続し, 横断方向流速分布を得ている.

第四章では, 線形安定解析を行った. 第三章で導いた基本状態に, 流下方向および横断方向流速だけでなく水深にも微小擾乱を与えて擾乱方程式を導き, その固有値問題を Chebyshev 多項式を用いたスペクトル法を用いて解くことで擾乱の成長率を導いた.

第五章では, 線形安定解析の結果について論じている. 擾乱が発達する条件を,(1) フルード数,(2) 無次元植生域幅,(3) 底面摩擦係数,(4) 植生の抗力,(5) 渦動粘性係数の広い範囲において調べた. その結果, 渦のスケールは水深の 5〜10 倍程度となること, 無次元の渦動粘性係数が十分大きい場合や, 境界から十分離れた非植生域および植生域における流速の比 (以降, 流速比と呼ぶ) が 1 に近かったり小さかったりする場合に流れは安定となることが明らかとなった. 発達率を最大にする擾乱の周期 (卓越周期) を渦の理論周期とみなし観測周期と比較した. その結果, 観測周期は理論周期の約 2 倍となる系統的な差異が見られた. これは線形安定解析が擾乱発生初期しか表現できないためであると推測される.

第六章では, 流速比を分岐パラメータとする弱非線形安定解析を行った. 流速比が 1 に近く流れが安定となる値を臨界値とし, 臨界値からのずれを微小パラメータとして, 全ての変数と時間微分を 3 次まで展開した. 展開した方程式を線形安定解析と同様に Chebyshev 多項式を用いたスペクトル法を用いて解くことで, 擾乱の振幅の非線形発展を記述する Landau 方程式を導いた. その結果, 多くの場合, 臨界流速比近傍では超臨界分岐が現れることが明らかとなった.

第七章では, 弱非線形安定解析の結果について論じている.Landau 方程式から導かれる平衡振幅から平衡状態における流速分布およびレイノルズ応力が解析的に導かれる. それらを実験値と比較したところ両者は良好に一致した. また, 植生域境界におけるせん断層厚さと渦動粘性係数について, 解析で得られた流速分布から逆算して得られた理論値は実測値と合理的な一致を見ている.

第八章では, これまでの結果をまとめている.

これを要するに, 著者は横断方向に流速分布を有する開水路流れの安定性を, 線形安定解析, 弱非線形安定解析を用いて明らかにすると同時に, 平衡状態における流速分布を理論的に導き, 実験結果との合理的な一致を見ている. このような流れでは大規模水平渦の発生によって水平方向の渦動粘性係数が水深方向より大きくなることが知られていたが, それを見積もるには経験式を用いるか数値シミュレーションを行う他になく, パラメータに対する依存性も体系的に明らかにされてはいなかった. 本研究は水平方向の渦動粘性係数を理論的に導いた始めての研究であり, 河川水理学, 環境流体力学の進展に寄与するところ大である. よって, 著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める.