

氏名	かど た あき ひろ 門 田 章 宏
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 1651 号
学位授与の日付	平 成 9 年 7 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	工 学 研 究 科 環 境 地 球 工 学 専 攻
学位論文題目	開水路流れの乱流特性に及ぼす圧力勾配の影響と組織渦構造に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 瀬 津 家 久 教授 村 本 嘉 雄 教授 今 本 博 健

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、空間的な非一様性、すなわち「圧力勾配」の変化による「空間的な加速・減速効果」及び「非定常効果」に着目し、この観点から開水路流れにおける乱流特性及び組織渦構造の解明を行ったものであり、7章からなっている。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的および以下の各章の概要を述べている。

第2章では、流れの境界形状が乱流特性に与える効果に着目して、加速・減速流の基本的解析手法について考察している。まず、水路床に上りあるいは下り勾配部分を設けることによって、内部境界層を伴い、かつ空間的に乱流特性量が収束しない非平衡で局所的な加速・減速流を発生させ、系統的な乱流計測を行っている。これによって得られた平均流データから、wake 強度パラメータや対数則における積分定数の変化といった外層における流速分布、その他の乱れ高次相関の分布特性について等流状態の乱流特性との比較を行っている。さらに、境界層理論に基づいた解析を行うことで、圧力勾配下での境界層流に関する実験データとの比較、修正形状係数を用いた加速・減速流の分類、剝離の発生条件について議論している。さらに、圧力勾配パラメータを用いて開水路の乱流構造に与える加速・減速効果の定量化を行っている。

第3章では、河床形状を単純な正弦波にモデル化し、内部境界層の存在しない緩やかな圧力勾配を伴った開水路流れについて、乱流統計量に及ぼす圧力勾配の影響を検討している。すなわち、粘性底層からバッファー層にかけての、より詳細な乱流計測を行うことによって、壁面領域における乱流統計量の挙動について考察している。また、いくつかの境界層乱流で得られた圧力勾配の影響を考慮した流速分布公式をレビューし、開水路流れに適用可能なモデルの改良・提案を行うとともに、低レイノルズ乱流モデルを用いた数値計算との比較・検討を行っている。

第4章では、河川で見られる組織構造に関して浮遊砂濃度が増水期・減水期間で必ずしも相似ではないことから、洪水波が形成する非定常性も少なからず影響を与えるものと考え、滑面水路上の非定常流れに関する基礎的研究を行っている。まず、乱流構造に及ぼす影響が大きいと考えられる外層の変化に注目し、粘性底層をも含めた壁面領域に加えて、水深変化領域をも含めた外層の乱流構造を詳細に計測することによって、非定常効果を実験的に検討している。また、閉管路流れにおける乱流構造との比較を行い、非定常開水路流れ特有の乱流構造を明確にしている。非定常流れにおける平均流速成分の定義、乱流構造に与える非定常性の影響を表す非定常パラメータに関する議論を行うことで、平均流構造の時間変化特性を定量的に考察している。

第5章では、開水路乱流の組織構造を解明するための一つの手段として、河床波背後に発生する剝離渦および再付着点からの大規模な組織渦に着目し、それらの時間的かつ三次元的渦挙動について実験的研究を行っている。まず、一台のみのレーザ流速計を用いた多点計測を行い、平均流速および乱れ特性量、再付着点距離を評価し、後述の二台のレーザ流速計を用いた同時計測の基礎的データを取得している。次に、染料による可視化実験を行い、渦の周期、波長、移流速度等を調べ、組織渦の全体構造、動的特性を把握している。これらを基に、二台のレーザ流速計を用いた同時計測を剝離点および再付着点について行い、河床波背後の組織渦に関する時空間相関解析を行っている。条件付きサンプリング手法を適用する際には、剝

離渦とコルク・ボイル渦に関する判別関数の定義を行う必要があるため、まず染料による可視化とレーザ流速計による同時計測を行っている。これにより求められた発生周期と瞬間流速のスペクトルから組織渦を検出するしきい値を決定し、条件付き時空間相関構造を解析している。以上のような実験および解析により得られた結果から、単一波と連続波それぞれの河床波背後に発生する組織渦の挙動の違いについて考察し、また従来から提案されている^{はくり}剝離渦とコルク・ボイル渦のより実現象に近い渦モデルの提案を行っている。

第6章は、第2章から第5章の知見に基づく総括であり、開水路流れに発生する組織構造の一つであるコルク・ボイル渦と加速・減速効果として見た平均流特性との関連を明らかにしている。すなわち、連続河床波上の非定常開水路流れに発生する組織構造を計測するために、染料注入法と水素気泡法を組み合わせた可視化実験を行い、組織渦の発生周期や移流速度などの基本的特性、および非定常性が河床波上の組織乱流構造に及ぼす影響について考察している。また、二台の流速計による同時計測の時系列データを用いることにより時空間相関解析を行っている。この際、第5章で得られた可視化観測結果をも含めた判別関数の定義を行い、非定常流れの増水期、減水期それぞれの時間帯に発生する組織渦の移流特性について考察している。さらに、可視化実験結果をより定量的に把握するために、濃度計による計測を行い、濃度の移流・拡散特性について考察している。第7章では以上の結果を要約し結論としている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、河床形状や流れの非定常性による圧力勾配の変化に着目して、それらが開水路流の時空間構造および組織渦の構造に及ぼす影響を解明したものであり、得られた結果を要約すると次の通りである。

1. 三角形や正弦波状の路床上における空間的な加速・減速流を対象として、乱流計測を行い、それらの乱流構造を明らかにしている。すなわち、境界層の修正形状係数、圧力勾配パラメータを用いて流れ場の分類を行うとともに、流れの剝離条件、ならびに平均流の空間的構造について考察している。また、これらのパラメータを用いることで、外層における平均流特性と圧力勾配の関係が定量化できることを示している。
2. 流れの非定常性が空間的な加速・減速流を形成することに着目して、乱れの分布特性に及ぼす非定常効果を考察している。非定常開水路流れにおける特徴的な現象として、水深に対して平均流速や乱れ特性値が反時計回りのループ状の変化を示すことを確認し、同一水深に対して増水期における乱流特性量が減水期と比較して大きくなることを明らかにしている。
3. 河床形状との関係が大きい大規模組織渦に着目し、単一あるいは連続河床波背後に発生する剝離渦およびコルク・ボイル渦を対象として、可視化実験および多点計測実験を行い、組織渦の発生機構を明らかにしている。また、水路横断方向をも含めた三次元空間内における組織渦の時空間相関構造を検討することにより、低速・高速流体の並ぶ縞構造の時間的変化、また、増水期・減水期間における組織渦の相違、再付着点距離の変化特性などを明らかにし、剝離渦、コルク・ボイル渦両者の発生形態をモデル化している。

以上要するに本論文は、流れの空間的な非一様性および非定常性による圧力勾配の変化が開水路の乱流構造と組織渦構造に及ぼす影響について詳細な実験的考察を行ったもので、学術上・実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9年5月23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。