

氏名	なか やま ただ のぶ 中山 忠 暢
学位(専攻分野)	博士 (工学)
学位記番号	工博 第1931号
学位授与の日付	平成12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	工学研究科環境地球工学専攻
学位論文題目	TURBULENCE AND COHERENT STRUCTURES ACROSS AIR-WATER INTERFACE AND RELATIONSHIP WITH GAS TRANSFER (水・空気界面を通しての乱流構造及び組織構造と気体輸送特性の関連性に関する研究)

論文調査委員 (主査) 教授 瀬津家久 教授 今本博健 教授 小森 悟

### 論文内容の要旨

本論文は、水・空気界面現象の解明を行うにあたって、これまでにあまり研究例のない、水面変動と界面を通しての気体輸送特性の関連性という観点からアプローチを試みたものである。その際に、水面変動の発生形態として、(A) 底面シアアの卓越する開水路流れ、(B) 風によるシアアの卓越する流れ、(C) 両者の混在する流れ、のそれぞれについて乱流構造及び組織構造と気体輸送特性の関連性づけを行ったものであって、10章からなっている。

第1章は序論であり、本研究の動機及び、目的及び各章ごとの概要について述べている。

第2章は底面シアアの卓越する開水路流れの自由水面近傍での乱流及び組織構造について、レーザ流速計(LDA)を用いて閉管路流れと比較しつつ、実験的に評価を行った。その結果、水面近傍での乱流構造はフルード数及び水面変動と密接に関連していることが明らかになった。

第3章は画像解析手法の1つであるPIV法を用いることによって、壁面近傍で発生するバーストと水面近傍での表面更新渦の関連性について検討を行い、水面近傍での乱流構造には組織渦の群体化も関連していることが示された。

第4章では水面近傍での乱れの再配分率がフルード数と密接に関連していることを考慮して応力乱流モデル(RSM)を用いた数値計算を行い、実験結果を良好に再現するモデルを提案した。また、レイノルズ方程式の各輸送項間でのエネルギー収支について考察を行った。

第5章では実際の河川に見られるような、底面に巨大な粗度を有する流れについて滑面流れと比較しつつ検討を行った。その結果、粗度背後に発生する剝離渦もまた水面近傍での乱流構造に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。

第6章では水面上に風を吹かせることによって発生する風波の特性について、LFTによるスペクトル分離手法を用いることによって検討を行い、風速の度合いによって波の形状が分類されるとともに空気流及び水流の乱流構造と密接に関連していることが明らかになった。

第7章ではより現実的な水・空気の2層流を対象として単層流での空気層及び水層での混合距離モデル及びせん断力分布の改良を行い、2層流での流速及び風速分布が良好に再現可能となることが示された。また、両層での乱れ特性は両層の相対流速に大きく依存することが示された。

第8章では前章までに明らかになった3通りの流れ場に関して界面近傍での乱流構造と気体輸送特性の関連性について総合的な検討を行った。特に、逸散率と気体輸送係数の関連性から底面シアア及び水面シアアのどちらが卓越しているかの判定条件を提案した。

第9章では水・空気の両層での組織渦の挙動と界面を通しての気体輸送特性の関連性が明らかにされた。特に、両層で発生する組織渦は密接に関連しているとともに、従来より気体輸送に関して提案されている表面積の増加率はほとんど無視で

きることが明らかになった。このような気体輸送に関しては水面変動における高周波エネルギーが密接に関連しており、GIS や GPS 等を用いたグローバルな領域への適用の可能性が示された。

第 10 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、現実的な適用性、及び環境工学的な観点からの将来性についての考察を行っている。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、水・空気界面現象の解明を行うにあたって、これまでにほとんど研究例のない、水面変動と界面を通しての気体輸送特性の関連性という観点から実験室レベルでの研究を行ったものである。その際に、水面変動の発生形態として、(A) 底面シアアの卓越する開水路流れ、(B) 風によるシアアの卓越する流れ、(C) 両者の混在する流れ、のそれぞれについて乱流構造及び組織構造と気体輸送特性の関連性づけを行った。得られた主な成果は以下のとおりである。

(1) 底面シアアの卓越する開水路流れの自由水面近傍での乱流及び組織構造についてレーザ流速計 (LDA) 及び画像解析手法の 1 つである PIV 法を用いて実験的に評価を行った。その結果、水面近傍での乱れの再配分率はフルード数及び水面変動と密接に関連しているとともに、壁面近傍で発生するバーストと水面近傍での表面更新渦には密接な関連性があることが明らかになった。さらに、RSM を用いた数値計算を行い、実験結果を良好に再現するモデルを提案した。

(2) 水面上に風を吹かせることによって発生する風波の特性について、風速の度合いによって波の形状が分類され、空気流及び水流の乱流構造と密接に関連していることが明らかになった。また、両層でのエネルギー収支関係を検討した結果、互いに密接に関連していることが明らかになった。さらに、水・空気の 2 層流について単層流での空気層及び水層での混合距離モデル及びせん断力分布の改良を行い、2 層流での流速及び風速分布が良好に再現可能となった。また、両層での乱れ特性は両層の相対流速に大きく依存することが示された。

(3) (1) 及び (2) で明らかになった界面近傍での乱流構造と気体輸送特性の関連性について検討を行った。特に、逸散率と気体輸送係数の関連性から底面シアア及び水面シアアのどちらが卓越しているかの判定条件を行い、陸水・海洋を一つの流域システムとして把握可能であることを指摘した。さらに、水・空気両層での組織渦の挙動と界面を通しての気体輸送特性の関連性が明らかになった。特に、両層で発生する組織渦は互いに密接に関連しているとともに、従来より気体輸送に関して提案されている表面積の増加率はほとんど無視できることが明らかになった。このような気体輸送に関しては水面変動における高周波エネルギーが密接に関連しており、従来より提案されている小規模渦モデル・大規模渦モデルの相違に無関係に水面変動を用いることによって GIS や GPS 等を用いたグローバルな領域への適用の可能性が示唆された。

以上、本論文は水・空気界面近傍での乱流構造及び組織構造と気体輸送特性の関連性について、界面で発生する水面変動と関連づけて明らかにしたものであり、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 12 年 2 月 2 日、論文内容とそれに関する事項について試問を行った結果、合格と認めた