

氏 名	たんのけんじ 丹野賢二
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第2745号
学位授与の日付	平成19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	工学研究科機械工学専攻
学位論文題目	風波乱流場における物質移動と乱流構造に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 小森 悟 教授 中部 主敬 教授 稲室 隆二

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、風波気液界面を通しての物質移動、ならびに界面近傍の乱流構造に及ぼすうねりと吹送距離の影響を解明するとともに、室内実験より得られた物質移動係数から海洋における物質移動係数を推定する際に、如何なるパラメータを用いるのが適切であるかを明らかにすることを目的として行った研究の成果をまとめたものであり、5章からなっている。

第1章は序論であり、本研究の目的およびその重要性について述べ、既往研究との関連性についても説明している。

第2章では、風波気液界面を通しての物質移動に及ぼすうねりの影響を解明することを目的とし、海洋のシミュレーション装置である風波水槽に造波装置を設置することにより水槽内にうねりを形成させ、純風波の場合、および風波とうねりが共存する場合の両方に対して液側物質移動係数を測定した。その結果、気液界面が崩壊しない低・中風速域においては、風波とうねりが共存する場合、純風波の場合に比べて液側物質移動係数が最大で約3割も減少することを明らかにした。また、風波が崩壊する高風速域においては、風波とうねりが共存する場合も純風波のみの場合も液側物質移動係数はほぼ同じ分布形を示し、うねりの影響はないことを明らかにした。これらの結果は、うねりが風波気液界面を通しての物質移動を促進するという従来の予測を完全に覆すものであり、海洋観測での液側物質移動係数のばらつきはうねりの影響を考慮に入れていないためであることや、全球規模で大気・海洋間の物質移動量を見積もる際、風速だけでなくうねりの有無についても考慮しなければならないことを示した。さらに、粒子画像流速計およびレーザ・ドップラ流速計を用いて風波気液界面近傍の流速測定を行うことにより、風波気液界面近傍の乱流構造に及ぼすうねりの影響について検討した。その結果、風波とうねりが共存する場合、純風波のみの場合と比べて界面に作用するせん断応力が減少すること、および気液界面を通しての物質移動を促進する表面更新渦の発生周波数が抑制されることを明らかにした。これらの結果から、風波気液界面を通しての物質移動が抑制される原因は、うねりにより表面更新渦の発生周波数が減少するためであるという結論を得るに至った。

第3章では、風波気液界面を通しての物質移動に及ぼす吹送距離の影響を解明することを目的とし、大型の風波水槽を用いて物質移動実験を行い、吹送距離が異なる位置において局所的な液側物質移動係数を測定した。その結果、液側物質移動係数を気側一様流速を用いて整理した場合、液側物質移動係数は吹送距離によらずほぼ同じ分布形をとることを明らかにした。この結果は、吹送距離の変化とともに風波気液界面を通しての物質移動量も変化するという、これまでの通説を否定するものであり、また、室内実験において測定された液側物質移動係数から、吹送距離の大きく異なる海洋での物質移動係数を推定できる可能性を示唆している。さらに、粒子画像流速計、およびレーザ・ドップラ流速計を用いて風波気液界面近傍の流速測定を行うことにより、風波気液界面近傍の乱流構造に及ぼす吹送距離の影響について検討した。その結果、液側物質移動係数と同様に、界面近傍の乱流強度、および表面更新渦の発生周波数も気側一様流速で整理した場合には吹送距離に依存しないことを明らかにした。

第4章では、小型および大型の二つの風波水槽において測定された液側物質移動係数を比較することにより、大きさの異なる装置において測定された液側物質移動係数を比較する際に、如何なるパラメータを用いるべきかについて検討を行った。

その結果、一般的に用いられる気側の摩擦速度、および対数速度式を外挿することにより得られる海面から10 mの高さにおける風速を用いるのは適切ではないこと、ならびに、気側一様流速を用いる場合には、大小二つの風波水槽で得られた液側物質移動係数がよく一致することから、大きさの異なる装置において測定された液側物質移動係数を比較する際には、気側一様流速のような外層変数を用いるのが適切であることを明らかにした。さらに、室内実験により得られた液側物質移動係数から海洋での液側物質移動係数を推定する際に、如何なるパラメータを用いるべきかについての検討を行った。その結果、大小二つの風波水槽での結果を比較した場合と同様に、気側の摩擦速度や海面から10 mの高さにおける風速よりも、気側一様流速を用いれば、室内実験により得られた液側物質移動係数から海洋での液側物質移動係数を推定できることを明らかにした。

第5章は総括的な結論であり、本研究で得られた結果を要約するとともに、今後の研究課題についても言及している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、風波気液界面を通しての物質移動機構、および風波気液界面近傍の乱流構造に関する研究の結果をまとめたものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

1. 風波水槽を用いた室内実験により、風波気液界面を通しての物質移動に及ぼすうねりの影響について検討した結果、純風波のみの場合に比べてうねりと風波が共存する場合には、液側物質移動係数が3割近くも減少することを明らかにした。また、この原因が、純風波の場合に比べて風波気液界面に作用するせん断応力が減少すること、および界面を通しての物質移動を促進する表面更新渦の発生周波数が減少することにあることを明らかにした。
2. 大型の風波水槽を用いた室内実験により、風波気液界面を通しての物質移動に及ぼす吹送距離の影響について検討した結果、種々の吹送距離における液側物質移動係数を気側一様流速に対して整理した場合、液側物質移動係数は吹送距離によらずほぼ同じ分布形を示すことを明らかにした。さらに、表面更新渦の発生周波数も気側一様流速で整理した場合、吹送距離に依存しないことを明らかにした。
3. 風波水槽を用いた室内実験ならびに海洋観測により得られた液側物質移動係数を比較することにより、スケールが異なる乱流場において測定された液側物質移動係数を整理するパラメータとして、既往研究において一般的に用いられてきた気側の摩擦速度や海面上から10 mの高さにおける風速よりも、外層変数の一つである気側一様流速がより適切であることを明らかにした。

以上、本論文は、うねりと吹送距離が風波気液界面を通しての物質移動に及ぼす影響を解明するとともに、室内実験により大気・海洋間の物質移動量を推定できる可能性を示したものであり、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19年1月22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。