

氏名(本籍)	小笠原 敏 記 (愛知県)		
学位の種類	博 士 (工学)		
学位授与番号	甲第 231 号		
学位授与日付	平成 16 年 3 月 25 日		
専攻	環境エネルギーシステム工学専攻		
学位論文題目	強風下の海洋表層流の輸送・乱流構造の解明とモデル化 (Mass flux and turbulence structure of sea-surface layer currents caused by strong winds)		
学位論文審査委員	(主査) 教授	安 田 孝 志	
	(副査) 教授	藤 田 裕一郎	教授 安里勝雄
	助教授	藤 田 成 郎	

論文内容の要旨

風応力によって生じる海洋表層の吹送流は、海水中の溶存酸素やプランクトン、漂砂などの各種物質の輸送・拡散に重要な役割を果たしている。特に、台風や寒冷前線のようなイベント的気象擾乱によって生じる強風時の吹送流は、沿岸海域や内湾の高潮および大規模海浜変形の主因となるだけでなく、成層状態の破壊や底泥の巻き上げなどによって湾内環境変動の引き金となるなど、災害・環境の両面に重大な影響を及ぼしている。

こうした強風時の海水流動の役割が社会的・工学的知見からも今後さらに注目されることは確かであるが、強風下の海面で生成される白波砕波の特性が未解明なこともあり、大気から海洋へ供給される運動量や乱流エネルギーに対して風波砕波がどのように関わっているのか未だ明らかになっておらず、海洋表層での吹送流の輸送・乱流構造に大きな疑問が残されたままとなっている。

本研究は、このような海洋表層に関わる疑問を解消し、風波砕波を介して行われる風から吹送流への運動量・乱流エネルギーの輸送および乱流構造を水理実験によって明らかにし、風波砕波の吹送流に及ぼす影響をマクロ的に評価する海水流動モデルの定式化を行い、その有用性を実証したものである。

以下に主要な検討項目とその結論について述べる。

1. 従来型の風洞水槽(一重床水槽)の底面に両端開境界の透過性管路を設置し、上段を開水路、下段を管路構造とする自然循環式二重床風洞水槽を製作して、戻り流れの影響を抑えた強風時吹送流の実験を行った。この水槽によって、これまで計測不可能であった戻り流れの分離・検出ができるようになった。さらに、この戻り流れの断面平均流速を求めることによって、今まで全く未知であった吹送流の全流量が算出され、吹送流の鉛直分布確定のための適合条件として得られるようになる。
2. 水面直下の気泡と強い攪乱を伴う速度場の流速計測が可能となる直接相互相関法

(Direct cross-correlation method)を用いたPIV手法の開発を行った。これによって、白波立った水面直下の強乱流場の速度を高精度に算出できるようになった。この解析データと上述の吹送流の全流量を基に、これまで流速データの空白域であった平均水面直下からの強風時吹送流の鉛直分布の定式化を行った。その結果に基づき、近年の観測結果から示唆されていた水面下の非対数則層の存在を明確にするとともに、その層が有義波高の2倍程度の厚さを持つべき則に従うことを明らかにし、その鉛直分布モデルを提案した。さらに、強風時の白波立った水面下では、壁法則に基づくせん断応力の連続条件が成り立たないことを明らかにした。

3. 二重床水槽によって吹送流のせん断乱流と碎波や気流のはく離による攪乱乱流の分離・計測を行い、碎波を伴う強風下における吹送流の乱流構造について検討した。これより、二重床水槽上段で生成される乱流エネルギーの過半が碎波の攪乱作用によるものであり、その攪乱が有義波高程度の境界層内における高周波乱流エネルギーの発達にとって主要な因子となることがわかった。
4. 風波碎波の影響を定量的に評価するための碎波判定指標を気泡混入層に着目して導き、その有用性について検討した。レーザー光を照射して得られる気泡混入部の励起画像より、2値化や局所平均フィルタを用いた画像解析アルゴリズムによって気泡混入部の検出を可能にした。有義波高で無次元化された相対気泡混入層厚による碎波判定指標によって、白波の有無や規模の定量的評価だけでなく、その頻度分布から各風速における白波・碎波規模等の分布情報を得ることもでき、風波碎波の発生限界、確率および規模を含めた統一かつ定量的評価が可能となった。
5. 水理実験によって得られた実測情報の実海域への適用・拡張性を図るために、二重床水槽モデルの開発を行い、吹送流の物理特性について検討した。さらに、強風下の吹送流に対する乱流モデルの構築を試み、碎波応力の付加項の導入を提案した。その結果、強風下の海洋表層では、水面を *Rigid lid* 仮定として取り扱うことができず、碎波応力を陽的に評価したモデルによって強風時の海水流動を解く必要性を明らかにした。

論文審査結果の要旨

本論文は、海水中の溶存酸素やプランクトン、漂砂などの各種物質の輸送・拡散に重要な役割を果たしていると考えられる海洋表層流の輸送・乱流構造の解明とモデル化の成果を取りまとめたものである。

- 1) 自然循環式二重床風洞水槽を構築し、従来の水槽では計測不可能な戻り流れを管路内の流れとして分離・計測することによって、今まで全く未知であった吹送流の全流量の算出を可能にしている。
- 2) 有義波高の2倍程度のべき則層が水面下に形成され、吹送流の全流量の3割強がそこで輸送される。
- 3) 強風時の乱流エネルギーの過半が碎波の攪乱作用によるものであり、その影響が有義波高程度の表層における高周波乱流エネルギーの発達の主要な因子となっている。
- 4) 気泡からの励起光を捉えた画像より気泡混入層厚を求めることによって、各風速に

おける白波の発生限界，確率および規模を含めた定量的評価を可能にしている。

- 5) バースト層内での砕波による乱流エネルギー生成・散逸項を水深の関数としてモデル化することの必要性を示している。

最終試験結果の要旨

公聴会において研究内容についての質疑を行うとともに，口頭試問を別途行い，合格と判定した。