

氏名(本籍)	あ 阿	べ 部	て 至	お 雄	(宮城県)
学位の種類	工	学	博	士	
学位記番号	工	第	218	号	
学位授与年月日	昭和49年	3月	6日		
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当				
最終学歴	昭和42年3月 東北大学大学院工学研究科 土木工学専攻修士課程修了				
学位論文題目	淡塩水界面における乱れ拡散に関する 基礎的研究				
	(主査)				
論文審査委員	教授	岩崎	敏夫	教授	多谷 虎男
	教授	松本	順一郎	教授	坂本 龍雄
	教授	佐藤	敦久		

論文内容要旨

海水と淡水が接触する感潮河川では、塩水楔の推算のために淡塩水界面における摩擦抵抗の大きさを知る必要があるが、また一方、淡水中への塩水の拡散混合機構を知ることは、河口砂洲形成の原因を解明するひとつのいとぐちであるといえる。この現象に関連して、淡塩水両層の相対速度差がある程度をこすとき、界面に生ずる乱れと拡散現象は基本的であり、これを明らかにすることが重要であるにもかかわらず、従来、水流の乱れ速度の計測に関して、高い周波数まで分解能を有する計測技術がなかったために研究がなされていない。

本論文は、近時開発された熱膜流速計によって乱れ計測を行なうとともに、さらに塩分濃度の変動を計測し、これによって淡塩水界面およびその付近における塩分および速度の変動値を求め

これを乱流統計理論を用いて解析することによって、淡塩水界面付近の乱れ拡散現象の機構を明らかにしたものであって、全編7章より成る。

第1章は緒論であり、本研究の目的を述べた。

第2章では、本研究の対象とした流れ場として、静止塩水層の上に、水平に淡水が流出する2次元ブリュームを採用したことを述べ、ついで遷移モードから乱流モードにかけて、界面に種々の周波数成分を有する界面波スペクトル群が形成され、その界面波の碎波と碎波のために塩水の流塊が投げだされることによって、乱れ拡散が生ずることを説明し、さらに本研究の対象とした流れ場を乱流理論によって概略的に規定した。

第3章では、形成領域と発達領域において塩分濃度の測定を行ない、その自己相関係数、濃度スペクトルおよびヒストグラムについて検討した結果を述べた。

すなわち、界面にあっては界面波に支配される調和成分をもった減衰型の相関曲線を示すが、形成領域における濃度変動のスペクトルは、淡塩両水の接触当初、非碎波の界面波と同じく低周波側で $-11/5$ 乗則および高周波側で -5 乗則を示す。しかし、下流に進むと、碎波に連なる周期成分がスペクトル上で減衰し、この周期波によって塩分が上層へ移行することを示した。また濃度スペクトルの比較的長周期成分は -1 乗則に、高周波成分は -5 乗則に従う減衰が求められた。

また、界面より上方にあっては、濃度スペクトルの減少が著しく生ずる高さは意外に界面に近い。

このような界面の性質は下流においても変わらないが、塩分の上方への供給は形成領域から発達領域にかけて活発となるため、発達領域での濃度スペクトルは、混合型の界面波でいう -3 乗則を高周波側で示す。

碎波する界面波が上層に乱れエネルギーを供給するわけであるが、その発生機構は、下層内において長周期変動から短周期変動へエネルギーが伝達される過程で障害が生じるためであることも明らかにされた。

第4章では、熱膜流速計による流速測定によって乱れの特性を検討した。まず、局所的平均流速分布に対し、従来の理論解が用いている相似性仮設の適用は無理であることを示し、ついで、相対乱れの強さは境界層より上層において、ほぼ一様であることを述べた。また、界面付近にあっては相対乱れの強さははなはだ大きく、反対に、相対レイノルズ応力は単一流体に比して著しく小さいことが示された。また、界面近傍に存在する密度勾配のために、界面を離れると乱れの強さは淡水のそれに比し、著しく小さくなる結果をえた。

次に、速度変動の自己相関係数は濃度変動のそれに比してランダム成分が著しいが、指数減衰

曲線で近似された。また、速度変動のスペクトルは濃度変動のスペクトルと大差がない。

第5章では、前章の計測結果に乱流統計理論に基づく解析をほどこした。まず、流れ方向の平均渦径および最小渦径の鉛直分布を求めた結果、最大の渦径が生じるのは界面より相対高さ0.2～0.3付近であり、また、最小渦径は界面からの距離に対し、単調に増加するが、いずれも単一流体のものに比し著しく小さく、密度勾配の存在によって、乱れの発達が抑止されることを証明した。ついで、渦径と乱れのエネルギー逸散率が大きいことを定量的に示すとともに、その値が淡水の場合に比して非常に大きいことを述べた。

次に、相互相関係数より渦動粘性係数を求めたが、この値は相対高さ0.25まで線型的に増大している。さらに、ヒストグラム、歪度、尖度および構造関数によって、界面付近の乱れの構造を明らかにした。

第6章では、輸送過程について研究を行なった。まず、HayとPasquillおよびWandelとKofoid-Hansenの方法を用いて、ラグランジュ的時間尺度を算出し、これより渦動拡散係数を求めた。その結果、渦動拡散係数は平均渦径や相対乱れの強さと関係づけられることを示し、かつ、相対高さ0.15においては流下距離に比例して大きくなることを述べた。また、連行係数はリチャードソン数と相反する傾向を与えるが、EllisonとTurnerの与えたものより大きくなった。

以上、本論文でえられた結果を用い、つぎに、見かけの重力とBrunt-Väisälä振動数および周波数のべき乗積として表現される界面波の変位スペクトル表示式を、形成領域と発達領域の2者において、低周波域と高周波域にわけて求めた。その結果より、界面の安定度について検討を加えた結果、形成領域では界面の不安定性が増大するが、発達領域では密度中間層の形成が界面の安定性の増加に寄与し、界面が明瞭に分離する性質を有することを示した。

さらに、乱れ速度のスペクトルを乱れのエネルギー逸散率とBrunt-Väisälä振動数および周波数のべき乗積として表現される式を界面と界面のわずか上層について求め、測定結果と対照した結果、淡塩両水の接触開始当初では界面での乱れは安定化する方向へ向うが、界面を離れたところでは、逆に不安定性を増す。しかし、下流へ進むと、界面では不安定性が増すとともに乱れのエネルギー逸散率は増加し、また、界面より上の位置では安定性を増す。さらに下流へ進むと界面でも上層でも安定性が増していくといえることを示した。

最後に、密度混合に関与するエネルギーは、形成領域と発達領域でともにリチャードソン数に逆比例し、拡散幅に比例する。比例定数は、Kolmogoroffのスペクトル定数と乱流プランツル数の逆数との積を、形成領域では $1/2$ 、また発達領域では $1/4$ にしたものに等しいことが導

かれる。すなわち，形成領域では上層より移行してくる混合に関与したエネルギーは，すべて密度混合のためのエネルギーとして消費されるのに反し，発達領域では，乱れが浮力に抗して仕事をするために減少し，その消費量は半減することが示される。また，スペクトルの形が形成領域ではリチャードソン数に比例して変化するが，発達領域では一定であることも帰結できる。

以上要するに，淡塩二層流界面付近の乱流モードにおいては，界面に存在する界面波が不安定もしくは不安定状態に近づき，界面波から発生する渦の周期は界面波の砕波のヒン度と等しく，かくして生ずる密度勾配のために乱れは減衰し，界面の安定度が増加する機構であることが明らかにされた。

最後に付録として，河口密度流を単純モデル化し，河口における塩水侵入規模の推算をおこなひ，また，浮遊土砂の沈降は河水の乱流規模の減少が，主要因となることを本論文の結果を用いて説明した。

審査結果の要旨

感潮河川において塩水の侵入長や、塩分拡散量を求めることは工学的に重要であるが、界面に生ずる界面波とそれに伴う乱れ拡散は、界面抵抗や渦動拡散の概念を形成する物理機構として基礎的に重要であるにもかかわらず、従来水流の乱れ変動速度の測定が困難であったために見るべき研究はなされていない。

本論文は塩分濃度変動および乱れの計測を行うことにより、乱れ拡散機構を明らかにしようとしたもので全編7章より成る。

第1章は緒論である。

第2章では静止塩水層上に水平に淡水が流出する2次元噴流について流況の定性的説明を行っている。

第3章では塩分濃度の測定と、相関およびスペクトル計算の結果、濃度変動スペクトルは二層の接触当初は非碎波スペクトルであるが、エネルギー移行過程における阻害のために碎波を生じ碎波の周期成分が上方へエネルギー移動を起すために、上層での乱れエネルギーが増大することを示し、さらに界面より離れると直ちに外部より低周波側へのエネルギーの供給が低下することを示している。

第4章の乱れ計測によって従来の理論解が用いている相似性仮設が正しくないこと、界面では相対乱れの強さははなはだ大きい、レイノルズ応力は淡水のみの場合に比し極めて小さいことを述べている。

第5章では界面より淡水水深の0.2～0.3の高さで平均渦径が最大となり、最小渦径は界面より単調増加することや、密度勾配の存在によって乱れの発達が抑制されることを渦径の大きさやエネルギー逸散率によって明らかにしている。

第6章では二層流界面の不安定性、密度中間層の形成による安定性、また界面より離れた部分での乱れの安定性の程度、密度混合に關与するエネルギーについて明らかにしている。その結果淡塩二層流界面付近の乱流モードにおいては、界面に存在する界面波が不安定になるか、もしくは不安定状態に近づき、界面波の波頂より周期的に渦を発生して乱れ拡散が生じ、それによる密度勾配のために次第に乱れは減衰し、界面の安定度が増加することを推論している。

第7章は総括及び結論である。

以上要するに、本論文は淡塩二層流接触によって生ずる乱れ拡散の機構を解明したもので、これによって界面抵抗や拡散係数についての仮説設定の根拠を与え、またその結果、塩水楔や河口砂洲の形成機構を明らかにするいとぐちを与えるものであり、その成果は応用水理学に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。