

氏名	余 越 正 一 郎 よ こし しょういち ろう
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 431 号
学位授与の日付	昭 和 46 年 5 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	河川乱流に関する基礎的研究

(主 査)
論文調査委員 教授 石原安雄 教授 岩佐義朗 教授 芦田和男

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は河川における乱流現象の実態ならびにその統一的把握に関する基礎的研究の結果を述べたものであって、緒言、6章および結語よりなっている。

緒言においては、著者が本研究を行なってきた動機と研究の必要性を述べるとともに、本研究の立場と内容について説明している。

第1章は概論であって、従来の研究を紹介しつつ、河川における乱流の一般的特徴について述べている。まず、せん断流の乱流構造解明に関する従来の結果成果を述べたのち、乱流として河川流をみるとき、乱れのスケールの大きさ、乱れのエネルギースペクトルの巾、流れの境界の変化などを考慮すると、大気乱流や海洋乱流と同様に、河川乱流として独自の研究が必要なことを強調している。

第2章では河川乱流の測定器について述べている。測定器としては、乱れ測定に関する一般的必要事項のほか、溶存物質や温度変化に対する安定性、浮遊物質に対する構造上の強度、さらには現場での取扱い易さなどが要求されるが、取扱い易さの点からは回転式流速計、任意の乱れ成分の測定という点からは超音波流速計が最適であると結論している。さらに超音波流速計の検出方法を検討し、sing-around方式と時間差方式が適切であるとして、河川乱流測定用の示様を決定するとともに、これに基づいて製作された2種類の超音波流速計の特性を調べ、河川乱流の測定用として極めて有用なことを確かめている。

第3章では河川乱流の巨視的構造について述べている。大気乱流や海洋乱流に関する研究成果から類推して、寸法がかなり違う河巾と水深とによって乱れの巨視的構造が決定されることを予測し、実測の乱れ速度の1次元スペクトルを求めることによって、河川乱流の特徴的スケールとして、河巾以上のもの、水深の10倍程度のもの、および乱れエネルギーが粘性逸散すると考えられる最小のものがあり、それらの間にはスペクトルの $-5/3$ 乗則がほぼ成立する領域が存在することを確かめている。しかも、前者の領域では2次元的、後者では3次元的性格が強く、著者はこれらを水平乱流場および鉛直乱流場と呼び、河川乱流は二つの乱流場からなる二重構造をしていることを示している。

第3章では鉛直乱流場の乱れの構造とその特性について述べている。まず、大スケールの乱れの物理モデルとして逆U字形渦管を適用し、その発生、移動および水面付近での挙動を検討して、定性的ではあるが、従来からえられている諸特性を非常にうまく説明できることを示すとともに、この物理モデルを骨子とした鉛直乱流場像を提示している。ついで多くの観測結果を解析し、i) 乱れの強さの鉛直分布は普通の乱流境界層におけるものとはほぼ等しい、ii) 河巾が広い河川でのレイノルズ応力の分布は水面の0から河床へほぼ直線的であるが、河巾が狭い場合には最大流速点が水面下にあつて、その点を境にしてレイノルズ応力は符号を変えて直線分布をしている、iii) 主流方向の乱れ成分の integral scale は河床からの高さの約1.4倍の大きさであり、横断方向のそれは主流方向の約 $\frac{1}{4}$ である、iv) 大スケールの乱れの長さは水深の約10倍、巾は約2倍である。v) 主流方向の integral time scale は鉛直方向のその2~4倍程度である、などを見出している。さらに、水面と側壁とからなる隅角部には偏平な2次流が存在し、複雑な乱流構造をしていることを示している。

また、オイラー的1次元スペクトルのスペクトル定数が0.48、ラグランジュ的およびオイラー的 integral time scale の比は乱れの強さに逆比例し、その比例定数が0.41、ラグランジュ的スペクトルのスペクトル定数が1.75であることを実験的に求め、さらにレイノルズ応力のスペクトル分布がほぼ $-7/3$ 乗数に従うことを示すとともに、エネルギー逸散率は河床からの高さに逆比例して減少するが、宇治川の水面近傍では約 $0.5 \text{ cm}^2/\text{sec}^3$ であり、これより最小スケールの乱れの大きさは約0.5 mmであると述べている。

第4章では水平乱流場の乱れの構造とその特性について述べている。まず、大スケールの乱れはかなり周期的で、その大きさが河巾の10倍程度であることを見出すとともに、i) これより水深の10倍程度の波長に至るまでの間にスペクトルの $-5/3$ 乗則が成立する領域がある、ii) スペクトル定数の値は鉛直乱流場のものとはほぼ同じかやや小さい、iii) エネルギー逸散率は鉛直乱流場のものより1桁程度小さいことを示している。ついで、水平乱流場は、潮汐、セイシュ、河道のわん曲などによって著しく変形されることを具体例によって示し、水平乱流場の取扱いや測定に関する注意事項を説明している。

第6章では第5章までにえられた成果に基づいて河川工学上の2, 3の問題を解析した結果について述べている。まず、浮遊土砂の問題に対して、水中のある点で存在しうる土砂の最大粒径の推定式を導くとともに、濃度測定時の採取時間と濃度の平均値からの誤差との間の関係式を提示し、通常の採取器では採取時間が短いため誤差がかなり大きいことを指摘している。ついで、鉛直乱流場における拡散係数を算定し、摩擦速度と水深で無次元化した値で、主流方向は約0.5、横断方向は約0.1であることを示している。横断方向は0.23という値が広く認められているが、この差異は水平乱流場の影響を考慮することによって説明されるとしている。また、鉛直方向に平均した濃度の拡散には流速分布に基づく分散の効果が強く現われるが、それを考慮すると主流方向の無次元拡散係数は約6.4となることを示している。さらに、流速計や浮子によって平均流速を測定する際の測定時間と測定精度との関係を検討し、流速計では誤差は測定時間の平方根に逆比例し、浮子では流速計と同一精度の測定を行なうためには約8倍の測定時間が必要であることを明らかにするとともに、それに対する実用上の解決策を示している。

結語では、以上各章でえられた成果をまとめるとともに、河川乱流の研究に対する著者の将来の展望を

示している。

論文審査の結果の要旨

河川の流れは本質的に乱流であり、浮遊砂、掃流砂、河床変動、物質拡散など多くの河川工学上の現象が乱流と密接に関係している。しかし、河川における乱れ測定の困難さ、せん断流であるうえに河道形態が複雑であることなどのために、乱流として河川の流れをとらえようとした研究は極めて少ない。本論文はこのような河川の乱流について、実証的ならびに理論的に研究したものであって、えられた成果の主なものは次のとおりである。

(1) 河川の乱流測定用の測器について検討し、回転式流速計と超音波流速計が有用であることを明らかにするとともに、2種類の超音波流速計を開発し、河川における乱れの多成分同時測定をはじめて可能にした。

(2) 河川の乱流は河巾と水深とに規制されて二重構造をしており、河巾で規制される大きな乱れは2次元、水深で規制される乱れは3次元であり、しかもそれぞれの乱流場においてスペクトルの $-5/3$ 乗数の成立する領域が存在することを確認した。

(3) 3次元乱流場の構造を支配する大スケールの乱れの物理モデルとして逆U字形渦管を導入し、定性的ではあるが、この乱流場においてえられた諸特性を明確にしかも矛盾なく説明するとともに、渦管の配列間隔できまる大スケールの乱れの長さが水深の約10倍、巾が約2倍であることを明らかにした。

(4) 3次元乱流場のオイラー的1次元スペクトルのスペクトル定数として0.48を、ラグランジュ的スペクトルのスペクトル定数として1.75を実験的に与えた。また、レイノルズ応力のスペクトル分布がほぼ $-7/3$ 乗則に従うこと、およびエネルギーの逸散率が河床からの高さに逆比例して減少することを見出した。

(5) 2次元乱流場については、大スケールの乱れの長さが河巾の10倍程度であり、3次元乱流場に比しエネルギー逸散率は約1/10、スペクトル定数はほぼ同じであることを見出した。

(6) 河川の乱流についてえられた成果を用いて、土砂の浮遊高さや粒径との関係、浮遊濃度測定時間と測定精度との関係、物質の拡散係数、平均流速測定時の測定時間と測定精度との関係を解析し、それぞれ実用上有用な関係式を立たした。

以上要するに、本論文は従来系統的な研究がほとんど行なわれていなかった河川における乱流現象を、その実態把握からはじめて、構造や特性について基礎的に研究したものであって、えられた成果は河川乱流の研究にとどまらず、河川工学上にも多くの有益な知見を加えたものということができ、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。