

|         |                              |
|---------|------------------------------|
| 氏名      | 細井由彦<br>ほそいよしひこ              |
| 学位の種類   | 工学博士                         |
| 学位記番号   | 工博第675号                      |
| 学位授与の日付 | 昭和55年7月23日                   |
| 学位授与の要件 | 学位規則第5条第1項該当                 |
| 研究科・専攻  | 工学研究科衛生工学専攻                  |
| 学位論文題目  | 水域の境界面における水質指標物質の移動に関する基礎的研究 |

論文調査委員 (主査) 教授 井上頼輝 教授 住友恒 教授 中川博次

### 論文内容の要旨

本論文は、自然水域に存在する気・液、液・液および固・液境界面における水質指標物質の移動現象を極力統一的に記述することによって、実際の水質汚濁の工学的解析手法を実用化してゆくことを目的に、水表面からの酸素の移動、塩水くさびにおける塩分の移動および水路床での堆積汚泥の主流へのまき上げ現象を例として、理論的ならびに実験的に検討を加えたものである。その検討結果を5章にまとめ、第1章では緒論として、本研究の目的および本論文の概要を述べている。

第2章では、従来個別に検討されてきた気・液、液・液および固・液界面におけるそれぞれの研究成果について、国の内外の文献を調査し、解析技術上の特徴を対比している。

第3章では、本研究の目的から既存の理論的成果を取捨選択するとともに、上記三種類の境界面における水質物質の移動を、界面における viscous sublayer の存在が支配要因となるものとみなした場合、界面に発生する波動特性が支配要因となるものとみなした場合、さらに界面における二層間の力のバランスがマクロに支配要因となるものとみなした場合に区分して理論的な考察を加えている。viscous sublayer については、Einstein-Li の考えを基本にしながらも、sublayer の外部流速が一定ではなく、周期性を持った乱れが強い影響を及ぼす場合について理論的に考察し、このときの sublayer の生成と破壊が界面における水質物質の移動を支配するとの立場から、現象のモデル表示を試みている。波動運動については、既存の理論のように、規則的な内部波のみに注目することでは不十分で、さらに不規則な波形を持つ内部波を考慮する必要があることを指摘するとともに、この場合の理論的表示法を簡単なモデルで表している。さらに、二層間の力のバランスをマクロな次元解析の手法で取り扱う方法については、上記の三種類の境界面に共通する三種の無次元量の積からなるパラメータをまず考察し、それぞれの界面での取り扱い方に若干の工夫を加えることによって、水質物質の移動に支配的となる無次元因子が抽出できるものと推論している。

第4章では、以上の理論的考察を実験によって検証するために、まず淡塩水二層流については、長さ6m、幅30cm、深さ50cmの水路内に、深さ25cm、長さ約2.5mの塩水だめを設け、そこから主流への

塩水の流出実験を行っている。また、水面からの酸素の混入については、上記水路に造波器を設置し、水面が波動状態での水中への酸素の移動について実験を行い、さらに底泥のまき上げ実験としては、下水汚泥を上記水路床にあらかじめ堆積させた後、造波器で波が発生している場での泥のまき上げ実験を行っている。以上の実験はいずれも波運動が卓越する場での実験である点が特徴的であるが、さらに結果の普遍性を検証する目的で、波を伴わない円型水路（外径 1.2m, 幅 20cm, 深さ 25cm）での底泥のまき上げ実験をも試みている。

以上の実験結果を理論的考察事項と対比することによって、つぎのような結論を導いている。1) 液・液界面では発生する内部波の高周波成分が水質物質の移動を支配し、連行速度は波形の変形成分の root mean square (r. m. s.) と波の平均周期で定量化できる。2) 水面に砕波が発生している場合の酸素の移動については、上記と同様に、波形の変形成分の r. m. s と波の平均周期が総括移動係数の値を決定づける。3) 底泥のまき上げ量は泥面を覆う粘性底層の周期的な破壊頻度に密接に関係し、両者の関係を間接的にはあるが定量化できる。すなわち、Dankwerts の考え方を応用し、泥表面の破壊頻度が表面波の周期で表示しうるものとした上で、泥のまき上げ量を波長、周期、水深で定量化しうることを示している。また、波動を伴わない流れの場合、上記破壊頻度したがってまき上げ量を、主流の平均流速、摩擦速度で表示しうることを示している。

第 5 章は本論文全体に対する結論および今後検討を要する課題について述べている。

### 論文審査の結果の要旨

自然水系の汚濁問題を工学的に解析する場合、水質指標物質が水系をいかに流動・拡散されるかに加えて、物質が気相および固相としての底泥といかなる相関関係を保ちながら移動してゆくかを定量的に明らかにすることはきわめて重要である。また、自然水系における諸現象を総括的に平均化してモデル表示する場合、水質指標物質の移動が水系の流動特性いかえれば水理特性の影響を強く受けるので、これらの水理特性を上記モデルのパラメータにいかに包含させておくかは実用上きわめて重要な問題である。本論文では、水理特性として一つの特異な場ともいえる波動を伴う境界面での物質の移動に注目し、理論的考察と室内実験から、個々の界面を水理パラメータを用いてモデル表示した上で、気・液、液・液および固・液界面での水質指標物質の移動量をそれぞれ移動係数として定量化し、さらにそれらを統一的に表示するための方法を示したもので、その成果を要約すると次の通りである。

1. 淡塩水二層境界面における塩分の移動については、界面での混入速度に関する Keulegan の表示法の優位性を検討した上で、さらに内部波の高周波成分が移動に支配的であることを明らかにし、連行速度が波形の変形成分の root mean square (r. m. s.) と波の平均周期で定量化できることを示している。

2. 波運動をする水面から水中への酸素の移動については、波の周期が表面更新率に関係し、物質移動係数が波形勾配に比例することを明らかにしている。さらに水面の変動エネルギーが表面更新率に関与することを明らかにした上で、砕波を伴う場合は淡塩水界面におけると同様に、水面変動の高周波成分が酸素移動に支配的となることを示している。すなわち、総括物質移動係数が、上記と同様に波の変形成分の r. m. s と波の平均周期で定量化できることを示している。

3. 底泥物質のまき上げについては、泥面上に発生する粘性底層の生成・消滅を水理的に表示すれば、その表示パラメータが底泥のまき上げ量の決定因子となりうることを明らかにしている。特に、主流が波運動をしている場合については、泥のまき上げ量が表面波の波長、周期、水深で定量化しうることを示し、波動のない一般的な流れの場合についても検討を加え、いずれの場合も基本的には、泥面上の粘性底層に関する水理パラメータで物質の移動量を表示しうることを明らかにし、実験によって確認している。

4. 水質指標物質の種々の界面における移動量を統一的に表示する方法として無次元指標を提案し、この指標を各界面で使いわけることによって、その統一表示がある程度可能であることを示している。

以上要するに、本論文は自然水系の汚濁解析法の確立のために急務とされている種々の境界面での物質移動について、三種類の界面を取り上げて、それぞれにおける物質の移動量を各界面の水理パラメータでモデル表示し、その定量化を行うとともに実験的にも検討を加え、これらの移動量を統一的に表示することの可能性を示したもので、学術上・実用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。