

氏 名	茂 庭 竹 生
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 61 年 1 月 8 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 40 年 3 月 早稲田大学第一理工学部土木工学科卒業
学 位 論 文 題 目	底泥が水質に及ぼす影響に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 松本順一郎 東北大学教授 佐藤 敦久 東北大学教授 首藤 伸夫

論 文 内 容 要 旨

有機物質による汚濁負荷をうけ、水質汚濁の進行している水域では、水中の溶存酸素の収支は大変に重要な問題である。過去に多くの研究者が、種々観点から、この問題に幾多の研究を積重ねてきた。その結果、溶存酸素の収支に影響する諸因子の影響程度はかなり明白になってきた。しかし、底泥による溶存酸素消費については、まだ十分に明らかになっているとはいえないのが現状である。この問題は、水の交換性の悪い閉鎖性水域では特に重要で、底泥が全体の溶存酸素消費の相当な部分を占めている場合のあることを指摘されている。

さて、本研究はこのような現状を鑑み、底泥の溶存酸素消費について明らかにすることを目的とした。

底泥が水中の溶存酸素消費に関わる形態は非常に複雑で、明確に区分するのは困難であるが、本研究では次の 3 形態に分けて考えた。

すなわち、

- 1) 底泥の直接的な酸素消費。
- 2) 底泥からの有機物質の溶出による間接的な酸素消費。
- 3) 底泥粒子の巻上げによる酸素消費。

である。

本研究では、この 3 形態のうち、2) の間接的な酸素消費の解明に主眼を置き、モデルの提示と室

内実験を行い検討を加えてきた。

第2章では水中での溶存酸素消費について既往の文献を調査し、特に底泥が水質にどのように関与しているのか、また、底泥の酸素消費量が、具体的にはどのような値であるのかを明らかにし、本研究の意義と位置づけを明白にした。

第3章は実際の水域にある底泥の酸素消費量が、どの程度の値となるかを明らかにするため、日本橋川で採取した底泥を用い、室内実験で酸素消費量の検討を行った。

その結果、前述の1)、2)の酸素消費形態を同時に測定した場合にはあるが、底泥がまったく乱されない場合は $0.2\sim 0.4\text{ g-O}_2/\text{m}^2\cdot\text{日}$ 程度の酸素消費速度であったが、底泥上にほんのわずかでも乱れがあると、酸素消費速度は急激に大きくなり、静置の場合の2～3倍に達することが明らかとなった。また、15～20日間程度の実験では底泥の酸素消費速度はほぼ一定の値を示すことが明らかとなった。底泥の直接的な酸素消費量と、底泥からの有機物質の溶出の結果生じる間接的な酸素消費量との割合は、底泥上の有機物質濃度から逆算して、全体の酸素消費量の $1/3\sim 1/2$ が間接的な消費量であることが確かめられた。

次に、底泥粒子の巻上げによる酸素消費量の概略値を求める実験を行い、底泥粒子が常に浮遊した状態では、 $7\sim 11\text{ mg-O}_2/\text{g-乾泥}\cdot\text{日}$ の酸素消費速度に達し、しかも、この値は底泥表面の酸化の進行程度には無関係なことが認められた。

一方、底泥を汙過する形で水と底泥を接触させた場合は、 $0.3\sim 0.6\text{ g-O}_2/\text{m}^2\cdot\text{日}/\text{cm}$ の酸素消費速度を得た。また、この値も、接触日数が経過してもあまり変化がなかった。さらに、同時に測定したBODの溶出量は、 $0.5\sim 1.6\text{ g-BOD}/\text{m}^2\cdot\text{日}/\text{cm}$ で、溶存酸素消費量の倍以上の値を得た。

第3章では、これらの実験データをもととして、底泥からの有機物質の溶出を簡単なモデルを用いて表現できないかと考え、底泥からの有機物質の飽和溶出量を仮定した指数関数モデルの提示を行った。そして、一連の実験結果を用いてモデルの検証を試みたが、本章で提示したモデルの妥当性の証明はできなかった。このことから、底泥の水質への影響を考慮して、底泥からの有機物質の溶出を考える場合、ここで提示したような簡単なモデルでなく、もっと厳密なモデルを考える必要があることが判明した。

第4章では底泥からの有機物質の溶出モデルとして、拡散方程式を基礎とするモデルの提示を行った。底泥からの有機物質の溶出に拡散方程式を適用する場合、問題となるのは境界条件である。すなわち、水と底泥は実際の水域では明確に区分できるとは限らず、中間にへ泥層が存在する場合がある。さらに拡散方程式も深さ方向に一定にならない場合も考えられる。そこで第4章では水層と底泥層が明確に区分できる2層モデルの他に、水層と底泥層の中間にへ泥層を考慮した3層モデルを提示し、さらに拡散係数が一定とならない場合の数値解析法を提示した。

次に、モデルの検証を行うため、底泥の代わりに、関東ローム土や金剛砂、あるいはガラスビーズを用い、溶出物質として塩化ナトリウムを用いた室内実験を行い検討したが、拡散モデルが底泥

からの溶出に十分に適用しうることの妥当性が実証できた。一方、本章では底泥の代わりに、関東ローム土を用いた実験に対し数値解の適用を試みたが、必ずしもよい一致性は得られなかった。

拡散モデルを底泥からの有機物質の溶出問題に適用する場合、拡散係数への影響諸因子について明らかにしておく必要がある。第5章ではこれらの影響因子として、底泥上の流れの影響、および底泥内の嫌気性分解によるガス発生の影響を取上げ、室内実験で検討するとともに、有機性汚泥である下水処理場の消化汚泥での溶出モデルの検討、および、有機物質の拡散係数検討を行い、さらに3層モデルの適用性について検討した。

その結果、底泥上の流れの影響については平均流速が2 cm/s 以下では、流れは底泥からの拡散溶出に全く影響しないことが示された。また、底泥内での拡散は底泥の構成粒子沿いにできる間隙内経路を通じて行われる。そのため、底泥厚より拡散経路が長くなるため、見掛け上の拡散係数は理論上の値より小さくなることが明らかとなった。

嫌気性分解ガスによる影響は大きく、拡散係数を1～2桁高めるばかりでなく、拡散係数に深さ方向の分布を作ることが明らかとなった。しかし、溶出量に関しては実用上は2層モデルを適用しても差支えなく、その場合は拡散係数のみを見合う値のものにすればよいことが確認された。

有機物質の拡散係数はCODで測定したところ、Cl⁻イオンに比べて1桁程度低い値であることが認められた。また実際水域に存在するような有機性の汚泥には、3層モデルを用いた方がより厳密に溶出量を評価できることが確かめられた。しかし、その影響は2層モデルと比べ、時間の初期だけであり、実用上は2層モデルを用いても大きな誤差とはならないことが示された。

底泥からの有機物質の溶出は拡散モデルを適用すればよいことが判明したが、これは実際の水域に応用して考えると、底泥間隙水の水質が非常に大きな意味をもつこととなる。第6章では、汚濁経歴の対照的な水域を選び、底泥間隙水と上部水をゲルクロマトグラフィーを用いて分画し、その水質の特徴比較を行った。

その結果、住宅地内の側溝や、住宅地内の小河川のように、有機物質による汚濁負荷をうけてから間もないところでは、水中には生物易分解性の有機物質が多く含まれており、代謝物質とみられる物質はほとんど認められなかった。しかし、これらの水域でも底泥間隙水中には代謝物質とみられる多糖類の存在が確認された。

一方、汚濁負荷をうけてから比較的時間の経ている水域では、河川水、底泥間隙水との間には際立った水質的な対比あるいは特徴は認められず、両者は同じような水質構成となっていることが認められた。そしてこの水域には、無機の代謝物質が蓄積されており、底泥間隙水と上部の水質が密接に関係していることが認められた。

さらに、両水域についてPACによる凝集沈殿処理を施し、どの様に水質構成が変化をうけるかについて検討したが、汚濁経歴の浅い水域の底泥間隙水中に存在した多糖類とみられる代謝物質は容易に除去されたが、汚濁負荷をうけてから時間の経っている水域では、河川水、底泥間隙水ともに凝集処理を行っても水質構成は全く変化せず、これらの水域の有機物質は凝集処理によっても除去し得ない物質であることが明らかとなった。

審査結果の要旨

流水中の溶存酸素に関する研究は数多く行われているが、その殆んどは溶存酸素が主として流水中に既に含まれている有機物質によって消費されると考えた研究である。有機物質による汚濁が余り進行していない水域ではそれでもよいが、有機物質による汚濁がかなり進行し、水底に有機物質を多く含んだ汚泥の堆積が認められるような水域では、底泥の酸素消費を無視することができなくなる。本論文は底泥の酸素消費について理論的ならびに実験的に研究した成果をまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は総論である。

第2章では従来の研究を文献的に検討し、問題点を明確にしている。

第3章では日本橋川で採取した底泥を用いて、底泥による酸素消費を底泥中での有機物質の分解による直接的な溶存酸素の消費の形態、底泥から水中へ有機物質が溶出して流水中の溶存酸素を消費する形態、底泥が浮上して流水中の溶存酸素を消費する形態の3つに分けて、溶存酸素の消費量を実験的に検討している。

第4章では底泥からの有機物質の溶出に関し、拡散方程式を基礎とするモデルについて検討している。著者は水層と底泥層が明確に区分できる2層モデルの他に、水層と底泥層の中間にヘドロ層を考慮した3層モデルを提示し、さらに拡散係数が一定とならない場合の数値解析法を提示している。次に、室内実験によって2層モデルの妥当性を明らかにしている。これらは重要な知見である。

第5章では底泥上の流れが 2 cm/sec 以下の平均流速をもつ場合には、流れは底泥からの溶出に影響しないこと、底泥中で嫌気性分解の結果発生するガスは拡散係数を1~2桁高めるばかりでなく、拡散係수에深さ方向の分布をつくること、有機性の底泥には3層モデルを用いた方が溶出量をより正確に評価できるが、3層モデル適用と2層モデル適用の差は溶出のごく初期だけであり、実用上2層モデルが十分適用できることなどの有用な知見を得ている。

第6章では有機物質による汚濁負荷をうけてからの経過時間が、流水および底泥間隙水の水質におよぼす影響を現場調査によって明らかにしている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、底泥が流水の水質に及ぼす影響について研究し、底泥からの有機物質の溶出モデルを提案したもので、衛生工学の発展に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合格と認める。