

氏名	むら かみ かず お 村 上 和 男
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成10年 6月10日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最終学歴	昭和 47 年 3 月 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻前期課程修了
学位論文題目	閉鎖性内湾域の海水の浄化に係わる水理・水質環境 に関する研究
論文審査委員 主査	東北大学教授 澤本 正樹 東北大学教授 須藤 隆一 東北大学教授 田中 仁

論 文 内 容 要 旨

1. 目的・背景

1992年にブラジルのリオデジャネイロにおいて、「開発と環境に関する国連会議」、いわゆる地球サミットが開かれた。これは、世界の人間活動による汚染の規模が地球規模に大きくなり、それらの解決も地球規模に考慮する必要性からの地球環境問題化していることに対する、世界の首脳会議であった。このサミットにおいて、「持続可能な開発と環境保全」の理念が高々と打ち上げられた。

このような世界的な地球環境問題の高まりに即して、我が国では環境基本法が制定され、また運輸省港湾局においても新たな港湾環境政策「エコポート」が発表され、海域環境を考慮した開発が模索され始めている。

東京湾、大阪湾のような内湾域は経済的にも社会的にも非常に重要な地域である。特に我が国のように、海運が重要な輸送手段であった場合には、都市・集落が海の近辺に発達してきた。特に内湾域は、その静穏さから海運、漁業等に多角的に利用されてきた。このような歴史的な背景もあって、東京、大阪、名古屋等の大都市は東京湾、大阪湾、伊勢湾等の内湾域の背後圏として発達してきた。また我が国の産業構造が、原材料を海外から輸入して製品化し、それを海外に輸出するという加工貿易を基本に行ってきたことから、工場地帯も臨海部に建設され、またその輸送機能としての港湾の建設も内湾域に多く開発されてきた。

このように多面的に利用されてきた内湾域であるために、その背後圏からの産業排水、

都市下水等からの多量の汚染物質が内湾域に流入するようになった。以前は、海は広いもの、大きいものという暗黙の概念があり、すべてのものを洗い流してくれるという考えから、汚いものは海に流すという廃水処理を行ってきた。しかし、閉鎖性内湾域はその海域の地形特性から、開口部が狭く、湾内水と外海水との水の交換があまり大きくない。そのために、背後圏から湾内に流入する汚染物質の負荷量の大きさが、海水交換や海水自身の持つ自浄作用による処理能力を超えるようになってきた。そのために内湾域での汚染物質のバランスが崩れて、海水中に余った汚染物質は海底に堆積、あるいは湾奥部の澱み域に滞留するようになり、湾内での汚染が深刻な社会問題となってきた。

我が国の水質汚染問題は、栄養過多から生じる富栄養化である。植物、動物の生育にとって窒素、リン等の栄養塩はなくてはならない物質である。海域においても海藻の生育、魚の餌にとって栄養塩の存在は必要である。問題は、この栄養塩が多すぎることである。そのために、植物プランクトンが大増殖し、赤潮を起こし、その死骸が水中の酸素を消費して貧酸素水塊を形成し、青潮の原因となる。閉鎖性内湾域は海水交換量が小さいために周辺から流入した栄養塩が滞留する傾向にあり、そのために富栄養化の状態になり易い。

同様の問題は、大都市に隣接した内湾域のみならず、地方でも湾口部の狭い内湾域では起こっている。これは、その海域の周辺からの汚染物質の負荷量による場合もあるが、海域が静穏なためにいろんな形での養殖漁業が行われており、過剰な餌の与えによる汚染等の問題がある。

また、我が国は津波や高潮等の自然災害の多い国である。そのために、湾口部に津波防波堤が建設され、あるいは計画されている海域がある。このような津波防波堤は、湾口部を構造物によって狭くし、津波の波高を下げて被害を小さくしようとするものである。しかし、湾口部を狭くすることによってその海域は閉鎖性になり、海水交換が小さくなるとともに、静穏度海域の利用による汚染物質の負荷量の増加から、水質が悪化している例もある。

以上みてきたように、閉鎖性内湾域は富栄養化汚染等によって汚染されていることが多い。しかしながら、我が国の産業構造、経済構造等の関係もあって依然として、多くの開発計画が提案されている。例えば、関西新空港は大阪湾内に建設され、中部新空港が伊勢湾に計画されている等、多くの埋立計画、開発計画が東京湾、大阪湾、伊勢湾のような内湾域に提案されている。また、津波の被害等を軽減するために、各地に津波防波堤の建設案が検討されている。

以上のような背景を踏まえて、閉鎖性内湾域の水質改善、あるいは内湾域での開発行爲に伴う環境影響評価、環境創造を行う際に、実海域の水質環境の理解、および有効な水質改善工法を把握する必要がある。

2. 研究の内容

閉鎖性内湾域は富栄養化汚染は以下のように説明される。まず、周辺から内湾域に汚染物質が負荷される。これが、潮流等の流れによって運ばれながら乱れによって拡散し、海底に沈降・堆積するか湾口部における海水交換によって海洋に流出する過程を経る。この際に、この栄養塩を利用して植物プランクトンの増殖や種々の自浄作用等のプロセスが、海域の水質環境に関与する。内湾域の水質は、この陸域からの負荷と海水交換や酸化や沈降のような自浄作用とのバランスから決定される。すなわち、湾内に流入する汚染負荷量が、海水交換によって外海に流出する量と自然の浄化能力を越えると汚染物質は湾内に蓄積し、それが海底に堆積するという過程をたどる。内湾域や海底に蓄積された有機物は、光の届かない底層部においては分解作用を受け、海水中の酸素を消費する。このために海水の上下混合の少ない夏期の底層部において貧酸素水塊が形成される。

以上のような閉鎖性内湾域の水質の現状および問題点から、まず実海域における水質環境の把握とその予測法について述べ、その結果を踏まえて、水質の浄化法としての海水交換の促進や底質浄化、および底層での溶存酸素濃度の回復等の検討を行った。

本論文の構成は、まず2章で閉鎖性内湾域の水質環境の把握とその予測法について述べている。閉鎖性内湾域の水質環境を考慮する際に、その海域の流れによる輸送、拡散、希釈が重要である。そこで、内湾域の流れの特性、水質の特性を東京湾、大阪湾での現地観測結果を紹介しながら述べている。また、閉鎖性内湾域における環境影響評価、あるいは水質改善施策の検討のための、水理模型や数値模型による水質予測手法について、その概説および考え方を述べる。

3章では閉鎖性内湾域の海水交換について述べている。閉鎖性内湾域で水質が汚染されているのは、その海域に多量の汚染物質が負荷されていることにもよるが、海水交換が小さいこともその大きな原因の一つである。ここでは主として水理模型実験により、海水交換の考え方、海水交換のメカニズムを述べながら、海水交換促進の方法について述べている。

4章では、底質浄化による水質浄化の現地実験について述べている。閉鎖性内湾域では海底にヘドロが堆積しており、そこから栄養塩が溶出することが知られている。この栄養塩の溶出が内湾域の汚染負荷の一つになっている。このために、周辺からの汚染負荷量がかなり減少しているのに、湾内の水質改善があまり進んでいないという現状がある。ここでは、覆砂・浚渫による底泥からの栄養塩の溶出を削減するための現場実験を行い、溶出量の削減、底質の改善効果、および覆砂・浚渫による水質改善効果に関する検討を行っている。

5章では、閉鎖性内湾域の大船渡湾の水質と貧酸素水塊の形成について述べている。同湾では、津波の被害を防止するために、人為的に海域を閉鎖性に行っている。そのために海

水交換の小さくなり、貧酸素水塊の形成や富栄養化現象が発生している。ここでは、海域に生息する生物にとって最も重要な溶存酸素に焦点を絞り、貧酸素水塊の形成のメカニズムについて簡単なモデルで考察している。また、水質改善施策の検討を実施している。

3. 主要な結論

本研究によって得られた主要な結論を以下に示す。

第2章の閉鎖性内湾域における水質環境の把握とその予測方法では以下の結論を得た。

- 1) 実海域における流れと水質の調査法および解析法を整理し、内湾域の水質環境の特性を把握した。
- 2) 水理模型実験と水質の数値モデルによる数値予測手法の考え方を整理した。

3章の閉鎖性内湾域の海水交換では以下の結論を得た。

- 3) 水路にゲートを設置し、その操作により一方向流が発生するように整流すれば、海水交換は促進される。こうして生じた一方向流の海水交換率は100%と考えるとよい。
- 4) 水路開削やゲート操作による海水交換促進効果は、水路両端での潮位を把握することにより、精度良く算定できる。
- 5) 防波堤背後の水平循環流は、港口部での渦度が潮汐によって港内へ輸送されるために生じる。この水平循環流（潮汐残差流）の大きさと海水交換の大きさは良い相関を示す。
- 6) 以上のように、水平循環流を促進するように設計することはできるが、その設置位置によっては逆効果となることもあるので注意が必要である。

4章の底質浄化による水質浄化では以下の結論を得た。

- 7) 底泥からのCODおよび栄養塩の溶出速度は、底泥直上の水温、DO濃度と関連する。この水温が高く、DO濃度が小さいほど栄養塩の溶出速度は大きい。
- 8) きれいな砂を材料に使った覆砂工法は、浚渫工法に比べて溶出量削減効果が大きい。
- 9) 底質のCOD、TP、TNの濃度は、浚渫・覆砂を施工後、4年間は無施工域（原地盤域）に比べて低く保たれていた。
- 10) 底生生物の種類数、多様性指数は、浚渫・覆砂の施工域で増加し、無施工域に比べて改善された。この底質改善効果は6年間は持続していることが確かめられた。
- 11) 底泥からの溶出量を覆砂により完全にゼロとする効果と、周辺からの流入負荷を完全にゼロとする効果とは、三河湾の場合ほぼ同等の効果をもつことが判明した。

5章の閉鎖性内湾域における貧酸素水塊の形成では以下の結論を得た。

12) 大船渡湾における春季から夏期にかけての成層化の形成，10月後半から冬期の上下混合という特徴を持つ水温変化を精度良く再現できた。

13) 夏期における底層水の低温化，貧酸素化は，成層化による結果である。また，10月の後半からの底層水におけるDO濃度の回復は，水温逆転による上下層水の混合の結果であり，鉛直一次元の数値モデルによりこれを良く再現できた。

14) 大船渡湾で問題視されている底層での貧酸素水塊の形成は，水温の鉛直分布に起因する弱い鉛直混合に主な原因がある。

15) 大船渡湾の貧酸素水塊の感度解析より，外海水の導入，海水交換の促進，鉛直混合の促進，外部負荷・内部負荷の削減等による底層水の溶存酸素濃度回復の改善効果が確かめられた。

論文審査の結果の要旨

閉鎖性内湾の水質汚染は、汚染負荷が多いことと浄化のための海水交換が小さいため汚染物質が湾内に蓄積した結果生じるものであり、その技術的解決が急がれている。そのような観点から、本論文では内湾域での流れと水質について述べるとともに、海水浄化のための内湾での海水交換の促進法、負荷量削減のための底質浄化法を調べ、さらに貧酸素水塊の解消のための方策についても検討を行ったもので、全文6章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景および目的を述べている。

第2章は閉鎖性内湾域の水質把握とその予測法について概説している。

第3章では閉鎖性内湾の海水交換に関して述べている。まず、海水交換機構が5つに分類できることを明確にし、次に水理模型実験を通じて海水交換を促進する方法について考察している。その結果、タイダルプリズムの総量に変化を与えることはできないものの、湾口防波堤の配置によっては水平循環流を強化することが可能で、それにより海水交換を促進しうることを明らかにしている。これは、重要な成果である。

第4章は大船渡湾を例として、内湾での貧酸素水塊の形成について述べている。同湾では湾口に津波対策の防波堤が設けられ人為的に海水交換が制限されている。このような湾での環境を生態学的観点から液存酸素に焦点を絞り議論している。そして貧酸素水塊の形成のメカニズムについて簡単なモデルで説明している。これは重要な知見である。

第5章では、底質浄化の現地実験について述べている。海底に堆積した汚泥を覆砂・浚渫することによる、海底からの汚染負荷溶出量の削減、底質の改善の効果、水質改善の効果について検討している。さらに数値モデルを提案し、水質改善効果の定量化を行っている。これは重要な成果である。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は閉鎖性内湾域の水質浄化に係わる水理学的事項を明確にするとともに、その内湾域の環境修復法の検討を行ったものであり、海岸環境工学の分野の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。