

氏 名	李 淳 和
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成元年3月24日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 土木工学専攻
学 位 論 文 題 目	強制循環に伴う湖水質の変化とその要因に 関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 佐藤 敦久
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 佐藤 敦久 東北大学教授 首藤 伸夫 東北大学教授 野池 達也

論 文 内 容 要 旨

産業の高度成長に伴う人為的富栄養化はその遷移速度が非常に速く、上水源としては勿論のこと、農業・工業用水源、水産・環境資源へも影響を及ぼし大きな社会問題となっている。湖沼では夏期になると水温躍層が形成され、水が停滞するため深水層の下部では表層から落下してくる植物プランクトンの遺骸等による溶存酸素の消費が多くなり、外部から溶存酸素の供給がそれに追い付かない場合無酸素状態となる。このような溶存酸素の枯渇が起こった湖では底泥から栄養塩が溶出し内部負荷が大きくなる。これが外部負荷に加わることによって、湖沼の植物プランクトン濃度はますます増加し、富栄養化が進行していく。このような湖では曝気循環などによって強制的に湖を好氣的に保つことが富栄養化対策の有効な手段と考えられる。

湖水を循環させて水質改善を行う強制循環方法はアメリカを中心に1960年代後半頃から行われてきた。日本においても近年この方法によって湖水質を改善する試みが行われており、既設の湖で水質改善の効果が認められた例も報告されている。このような日本における報告例に比べて、アメリカを中心とした湖水質改善の例では必ずしもうまくいっていない場合もあり、AWWAでは全体的には4割近くが失敗または効果ははっきりしなかったと報告している。

これまで湖沼水質の特性、富栄養化機構などに関して多くの研究が行われてきており、自然条件下での水質挙動に対しては様々な視点から有益な情報が表されてきた。しかし、強制循環とい

う自然条件と異なる特殊な環境条件下での水質挙動や、その特徴を十分に記述した報告はほとんどなされておらず、これまで強制循環前後の水質変化のいくつかが表れてきたり、また湖全体ではなく隔離水界の中での強制循環の効果等が論じられてきたにすぎない。しかし強制循環による水質浄化対策はまだ十分に確立された手法とはなっていないこと、それにもかかわらず本法が湖水質改善対策として有望なことを考え合わせれば、本法に伴う水質変化の詳細な観測例や、その機構について十分な検討を加えることは有意義と思える。

本研究の目的は、強制循環を行った湖の水質改善効果を物質収支面から評価し、質的な変化はもとより量的な変化についても考察し、本法による合理的な水質改善対策について検討を加え、湖水質を管理、制御していく方向の一つを提案するために行われたもので全編6章よりなる。

第1章は「総論」では、本研究の目的及び研究背景について述べている。

第2章「従来の研究及び対象湖の概要」では、湖の富栄養化に関する基礎的な研究と強制循環の効果に関する既往の研究をまとめ、本研究の位置づけを明確にすると共に研究対象である作名ダム及び増間ダムの概要、調査期間中の気象など現場観測値を考察していくうえで必要な調査のバックグラウンドについて述べている。

第3章「水質変化に及ぼす強制循環の影響」では、強制循環前後の湖水質の変化を検討し、湖水水質に大きく影響を及ぼしている溶存酸素変化に対する消費速度式について検討した。その結果現場実験から、水温鉛直分布から判断した強制循環の効果の判定をそのまま溶存酸素による水質改善効果にあてはめることはできないこと、また強制循環を行うことで溶存酸素消費要因のうち水中の溶存酸素消費は大きくなるが、底泥による寄与は相対的に小さくなっていくことなどを示している。一方湖水全体の溶存酸素フラックスの評価からは強制循環導入後の夏期成層期の再ばっ気による溶存酸素供給速度は増間ダムで $2.612 \text{ g/m}^3/\text{day}$ 、作名ダムで $2.984 \text{ g/m}^3/\text{day}$ の結果を得ている。また、強制循環を行うことにより $\text{PO}_4\text{-P}$ は減少するが微細な濁質を多く含む湖では底泥から巻き上げが生じる可能性があること、このとき $\text{PO}_4\text{-P}$ の減少に比べて T-P が減少しない場合があることなどを示した。これとは別に強制循環に伴う植物プランクトン増殖特性の変化を室内実験から考察した結果、藻類の明・暗サイクルの室内実験の結果、強制循環にもとなう湖水流動に伴いクロロフィルaの濃度は大きくなること、しかし植物プランクトン濃度そのものは減少することを確認している。これは現場実験の結果と一致しており、従来から報告されてきた藻類濃度変化に関して新しい知見を与えたものである。

第4章「底泥からの栄養塩溶出に及ぼす強制循環の影響」では、底泥の栄養塩溶出に及ぼす影響因子として水温、溶存酸素等を取り上げその影響を検討している。また強制循環を行った湖の新生沈澱堆積物が底泥の栄養塩溶出に及ぼす影響を考察した。その結果、強制循環の条件下では底泥への新生沈澱の堆積は長期的に内部負荷を抑制する方向へ働くことを示した。水温が底泥からの栄養塩溶出に与える影響を検討した結果、生物反応に影響を与える TIN の溶出速度はコア採取時の現場底泥直上の水温と同じ実験系で最も溶出速度が高くなり、温度依存性の従来の研究結果とは異なった結論を得ている。これは従来からの反応速度の温度依存性に関する議論とは異なった新しい知見である。一方チャンバー実験の溶存酸素消費速度は、増間ダムでは強制循環を導入する前、

1986年6月には酸素消費速度係数が $0.17\text{g}/\text{m}^3/\text{day}$ であったが、導入後の1986年7月には、 $0.41\text{g}/\text{m}^3/\text{day}$ と約2倍程酸素消費速度係数が大きくなった。しかし、それ以降の酸素消費速度係数は導入直後（1986年7月）と殆ど変わっておらず、酸素消費速度係数は $K=0.40\sim 0.35\text{g}/\text{m}^3/\text{day}$ の範囲を示し、強制循環導入後からSODが大きくなる現象についてこれを確認すると共にそれが底泥中の有機物や被酸化物の活発な酸化に依存していることを示した。しかし強制循環によって底泥の長期間好気性条件に置かれるとSODの値が小さくなっていくことを作名ダムの例から示し、強制循環の効果は対策実施後長い期間を経て底泥に表れることを示した。また、底泥からの $\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出速度は溶存酸素に殆ど影響されず、底泥間隙水中に含まれている栄養塩の影響が大きいことを示している。増間ダムでは夏期成層期、底泥直上水を好気性条件にし、底泥からの $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出を抑止すると、湖水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が大きく減少し、湖水質に及ぼしている底泥からの栄養塩溶出の役割が大きいことを現場実験と室内実験から検証している。また、窒素挙動に関しては、強制循環が長期間行われ、湖水中の浮遊物質が十分分解され底泥上に堆積していけば、それに伴い底泥からの $\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出が減少していくことを示している。

第5章「強制循環による湖の物質収支」では、強制循環を行った場合湖水中の沈澱物の栄養塩変化と底泥からの栄養塩溶出と湖水中の懸濁物質が湖水質に及ぼす役割を考察し、湖全体の物質収支をまとめ強制循環の効果とその予測に関して検討している。強制循環を行った湖水中の懸濁粒子の変化についての考察から、本法導入後ではSSの粒径が導入前に比べ大きくなり、沈降しやすくなること、強制循環を導入した直後1986年7月に比べ1987年7月の湖水T-P濃度は減少し、沈澱物中のT-P濃度も $1/3\sim 1/4$ に減少することを述べている。また、この時沈澱物中のT-P/SS比が減少することからSSに含まれているリンが長時間の好気条件下によって不活化されているという推論を得た。これは、沈澱物中の $\text{PO}_4\text{-P}$ は、強制循環を導入後湖水の $\text{PO}_4\text{-P}$ の減少に伴って殆ど消失したことからも説明できた。一方、強制循環を導入する前1985年7月の沈澱物中のTIN/SS比は $19.01\sim 8.18\text{mg}/\text{g}$ で非常に高い値を示した導入後には $3.13\sim 1.16\text{mg}/\text{g}$ を示し、SSに対するTINの比はかなり減少することが認められた。また、湖水中にも強制循環導入1年後1987年7月には導入直後よりTIN濃度が減少したこと、これを裏付けた実験から強制循環を長期間を行った時、SS中のTINの減少とともに湖水中の総窒素の減少の可能性を示している。

第6章「結論」では、本研究で得られた結果を要約している。

審査結果の要旨

近年、富栄養化に伴って湖沼の水質が悪化し、大きな社会問題となってきた。富栄養化対策として幾つかの方法が考えられているが、そのなかで強制循環法が各地で採用されるようになった。しかし、本法についてはいまだ理論的な解明がまったくなされていない。

本論文は、強制循環法が導入されている貯水池を対象として、その水質改善効果を物質収支面から評価するとともに、水質変化を質的、量的に検討したもので、全編6章よりなる。

第1章は総論であり、本研究の背景と目的について述べている。

第2章は、富栄養化ならびにその対策に関する従来の研究を概説するとともに、強制循環法の特長および問題点を整理している。

第3章は水質変化に及ぼす強制循環の影響について考察したものである。その結果、強制循環法を導入することによって底泥による溶存酸素消費が小さくなること、 PO_4-P が減少すること、強制循環による光条件の変化が植物プランクトンの増殖を抑制することなど、有用な知見を得ている。

第4章は底泥からの栄養塩溶出に及ぼす強制循環の影響について検討したものである。すなわち、生物反応に影響する総無機窒素の溶出速度は底泥採取時の水温と同じ実験系で最も大きくなり、必ずしも温度依存性をもたないこと、アンモニアの溶出速度は溶存酸素にほとんど影響されず、むしろ底泥間隙水中に含まれる栄養塩濃度の影響が大きいこと、強制循環が長期間行われると底泥からのアンモニアの溶出は減少することなどを明らかにしている。これらも重要な知見である。

第5章は懸濁物質の挙動を考察することによって湖全体の物質収支を検討するとともに将来の水質の予測を行っている。強制循環導入によって懸濁粒子の粒径は大きくなって沈降しやすくなり、懸濁粒子に含まれているリンは不活化し、湖水中の総窒素は減少すると述べている。また増間貯水池では強制循環導入によってリンは 1.03kg/day 、総無機窒素は75%減少すると予測している。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、貯水池の水と底泥の性状を考察することによって強制循環法の水質改善効果を明らかにしたもので、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。