

B-3 水理・水質モデルを用いた湖内湖施設 負荷削減効果と湖沼水質浄化効果の評価

増田 貴則^{1*}・〇加藤 伸悟¹・細井 由彦¹・小川 愛子²・片山 亮¹

¹鳥取大学大学院工学研究科 (〒680-8550 鳥取市湖山町南4丁目101番地)

²株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒532-0003 大阪市淀川区宮原4-1-14 住友生命新大阪北ビル)

* E-mail:masuda@sse.tottori-u.ac.jp

1. はじめに

閉鎖性水域の水質改善が進まない一因として考えられるのが農地や市街地などの面源からの負荷流出影響であるが、面源負荷に対してはそのコントロールが難しく、有効な事業メニューが少ないことが問題点として挙げられる¹⁾。これに対し、(独)土木研究所と霞ヶ浦河川事務所(国土交通省関東地方整備局)によって、面源負荷対策の一つとして「湖内湖浄化法」という新しい流入河川負荷対策が提案された²⁾。

湖内湖施設は流入河川の河口部から湖内にかけて一時貯留施設を整備し、河川から施設に流入してきた粒状態汚濁負荷を沈降・除去するものであり(図-1)、その負荷削減効果については霞ヶ浦において実証実験が行われ、汚濁負荷削減効果の定量的把握および湖内湖設計条件の検討が行われてきた。

実証実験による検討¹⁾においては、施設内に沈降堆積した負荷を施設による除去負荷として考え、除去率は施設平均滞留時間または水面積負荷との関係でよく表現できるとしている。また、湖内湖施設と同様の浄化機構を有する琵琶湖内湖における検討³⁾では、除去率は流入汚濁物濃度のほかに水温と植物プランクトンに関係があるとしている。湖内湖施設設置の検討を行う場合には、施設内水質変化を加味した上での負荷削減効果の把握を行うことが必要と考えられる。また湖内湖施設に関する既存研究^{1) 2)}では、湖内湖施設の設置による湖内水質浄化効果までは言及されていない。

そこで本研究では、湖内湖施設による負荷削減効果および水質浄化効果の詳細な検討を行うことを目的として、鳥取県東部に位置する湖山池を対象水域に施設内外の水理・水質変化を詳細に表現しうるシミュレーションモデルを構築、施設による負荷削減効果および湖内水質浄化効果の把握・検討を行った。

なお、湖山池は鳥取県鳥取市の市街地西部に位置し、

流域面積38.91km²、湖面積6.81km²、平均水深2.8m(一部水深6.5m)の、水質汚濁が進行した浅い汽水湖である。面源負荷影響が大きいこと、また湖内全域が一様に浅いために湖底に堆積している有機質に富んだ汚泥が風波により容易に巻き上げられることが水質改善が進まない一因となっている。

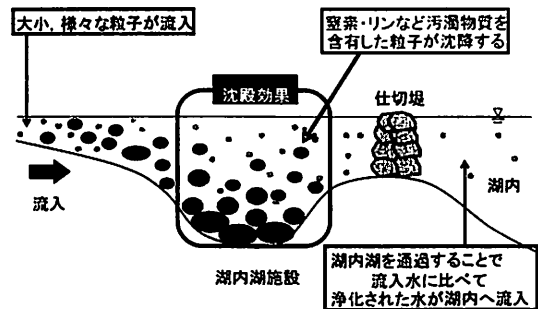


図-1 湖内湖施設の浄化メカニズム

2. 研究の流れ

まず、シミュレーション事前検討として、湖山池に流入する河川の水質濃度や負荷量等の情報を整理し、水質特性、負荷量、後背流域の土地利用、湖山池への流入位置の観点から、湖内湖施設の浄化対象とした場合に効果的と考えられる河川を選定する。なお、流入河川負荷については、河川により負荷特性が異なることが想定される。湖内湖施設は濁質を沈降させることで汚濁負荷を除去する施設であることから、その除去性能は粒子の性質に大きく影響を受けると考えられるため、観測により粒度分布および濁質の栄養塩含有量を把握し、負荷特性として選定基準の一つとした。

次に、対象水域および湖内湖施設周辺の水理・水質変化を表現するシミュレーションモデルを構築、検証計算を行うことで対象水域の水理・水質特性を再現しうることを確認する。事前検討で選定された浄化河川を対象に、

数ケースの施設諸元を想定した予測計算を行い、負荷削減効果および湖内水質浄化効果を把握する。

なお本稿では、事前検討以降の詳細な水理・水質シミュレーションを用いた施設効果検討について示す。

3. 湖内湖施設による水質浄化検討

3.1 シミュレーションモデルの概要

湖内湖施設による水質浄化効果の評価に用いるモデルは水理モデルおよび低次生態系モデルにより構成される。

水理モデルは、非圧縮性粘性流体に関するNavier-Stokesの運動方程式と流体の連続式を基礎式とした非定常2次元多層レベルモデルを用いることとした。

水質モデルについては、植物プランクトンを中心とする低次生態系モデルに底泥内物質変化及び底質の巻き上げを計算する底泥モデルを結合させた。計算対象項目は、窒素、リン、COD、クロロフィルa、DO、SSであり、窒素およびリン、CODについては、粒状態（非生物体、生物体）および容存態に区別した。

水域地形のモデル化については、湖内湖施設周辺の詳細地形と湖内全域のスケールの異なる流動および水質変化を表現するため細分化可変メッシュ（90m-30m-10m）により空間分割し、水深方向は3層分割（水面～水深0.5m、水深0.5m～水深1.0m、水深1.0m～湖底）とした。

湖内湖施設の主な水質浄化効果は、施設内における粒状態物質の沈降除去であり、その効果程度をより詳細に見積もるためには、モデルに対しては粒状態負荷の粒径ごとの負荷流出及び沈降特性を表現することが求められる。本研究では、粒状態窒素（PN）および粒状態リン（PP）の河川負荷算定に対して、平・出水時の流量、水質、粒度分布、粒径別の栄養塩含有量調査結果を用いて算定した計6区分（5μm以下、5～20μm、20～45μm、45～75μm、75～212μm、212μm以上）の粒径別L-Q式を設定した。

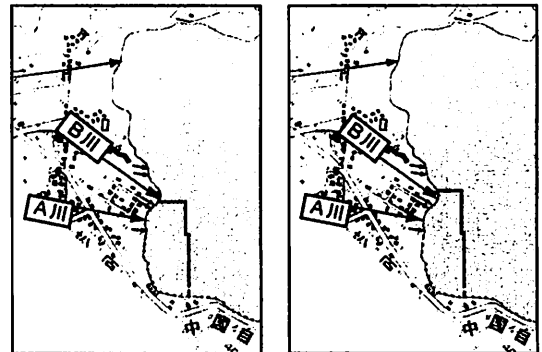
3.2 湖内湖施設条件の設定

湖内湖施設の検討においては、施設対象河川と施設面積に関するシナリオを設定した。施設対象河川は、事前検討において選定された2河川（A川、B川）とし、両河川を対象とする場合とA川のみを対象とするケースを想定した。両河川とも湖山池流出河川から遠方に位置し、流域面源の影響を受けて湖山池総流入負荷に占める割合が高い河川である。A川は水質濃度は高い（T-N₀ 98mg/L、T-P₀ 0.99mg/L）が流量は小さく（0.07m³/s）、B川は水質濃度は低い（T-N₀ 52mg/L、T-P₀ 0.04mg/L）が流量は大きい（0.27m³/s）。なお、観測値はいずれもH9～H19年度鳥取県定期観測平均値。粒状態比率は両河川とも窒素が約3割、リンが約6割である。施設形状は、既往事例^{11) 2)}を参考に旗状施設とし、施設流末部に幅20m開口部を1ヶ所設置

することとした。施設底面は湖岸部水深0.5mから仕切堤付近水深1.5mまでの現況湖底形状とした。なお、上記の想定施設を基本とし、今後、具体的な施設形状や開口部諸元等を検討する予定である。

表-1 検討ケース一覧

ケースNo.	対象河川		施設面積 (m ²)	施設滞留時間 (h)			
	A川	B川		H16年度	H17年度	H18年度	3ヵ年平均
ケース1-1	○		10,000	0.46	0.50	0.59	0.52
ケース1-2	○	○	10,000	0.16	0.18	0.22	0.19
ケース2-1	○		30,000	1.52	1.63	1.95	1.70
ケース2-2	○	○	30,000	0.55	0.62	0.76	0.64
ケース3-1	○		60,000	2.80	3.00	3.58	3.13
ケース3-2	○	○	60,000	0.99	1.11	1.36	1.15



※赤線が湖内湖仕切堤

図-2 湖内湖施設形状イメージ
(面積6万m²、左：A川を対象、右：2河川を対象)

4. 結果

以上のようにして構築されたモデルを用いて、3ヵ年予測計算を実施し、施設による「①流入負荷削減効果」および「②湖山池水質浄化効果」について評価を行った。なお、予測3ヵ年のうちH16年度は豊水年、H17年度は平水年、H18年度は渇水年に相当する。

(1) 流入負荷削減効果

湖内湖施設開口部からの流出負荷について、施設流入負荷に対する比率（負荷削減効率）および湖山池総流入負荷に対する比率（負荷削減率）を算出した。各ケースの窒素およびリン負荷削減効果を図-3に示す。

窒素およびリンについて、特にリンは粒状態比率が高いため、より大きな削減効果が得られた。CODについて、施設内の内部生産の活発化により施設流出負荷が増加した（削減効率-66%～-16%）。対象河川の違いによる効果について、施設滞留時間が大きいケースは削減効率も大きい。一方で削減率はより多くの流入負荷を削減対象とするケースが大きい。同一河川ケースの施設面積の違いについて、削減効果は特に窒素について「面積3万m²>面積6万m²」の関係が顕著に表れている。粒状態物質の沈降効果のみであれば削減効果と施設面積は比例関係にあると考えられるが、滞留性増加によって、底泥負荷溶出の累加、窒素については夏季に増殖する藍藻類による

窒素固定の影響など、負荷除去に対して流入河川以外の内部負荷が作用していると考えられる。また窒素は流況差による施設削減効率のバラツキがリンと比較して大きい。粒状態負荷比率の低い窒素においてこのような傾向がより顕著に表れていることから、窒素負荷削減効果に対しては、先に挙げた内部負荷の影響が関与していることが推察される。

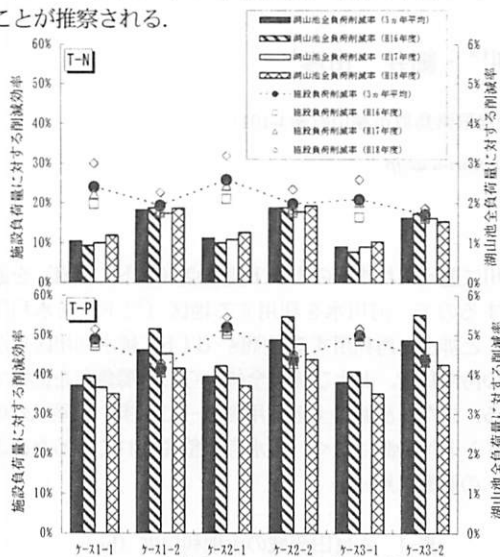


図-3 各検討ケースの負荷削減効果

(2) 湖内水質浄化効果

湖内湖施設を設置していない場合との年平均水質濃度を算出し、施設による水質浄化効果を評価した。各ケースの水質現況比を図-4に示す。

窒素およびCODの浄化効果は低く、現況水質と同程度であると予測された。施設による負荷削減と施設内での内部生産の影響が相殺し合った結果と考えられる。リンに関する浄化効果は高く、最も浄化率が高いケースで現況比1.2% (3年平均) の水質改善が予測され、同一面積の場合、2河川を対象とする場合に比べ、A川のみを対象とした場合は浄化効果が大きく、その傾向は面積が大きな施設ほどより顕著に表れている。流入負荷削減効果は面積3万㎡を最大に施設規模と効果は比例関係ではなかったが、湖内水質浄化効果は面積と比例関係にある。このことは、施設内静穏化による底泥巻上げ抑制効果など、湖内湖施設が流入負荷以外の内部負荷に対しても水質汚濁への影響を低減させられているためと考えられる。

5. 湖内湖施設による浄化特性

水理・水質モデルを用いたシミュレーション検討により明らかにされた湖内湖施設浄化特性を以下に示す。

- ・ 流入負荷削減効果について、特にリンの削減効果は高く、窒素は小さい。CODについては、内部生産に

より施設流出負荷が増加する。

湖内湖施設に関する既存調査¹⁾や琵琶湖内湖における研究³⁾においても、同様の結果が報告されている。

- ・ 一定施設規模までは滞留時間と流入負荷削減効果は比例関係にあるものの、それ以上になると削減効率は低下する。

既存検討¹⁾では、滞留時間と除去効果は比例関係とされているが、施設内の水理・水質変化過程を考慮した検討を行うことで、流入以外の内部負荷の影響を受ける効率性の低下傾向が示された。

- ・ 湖内水質浄化効果について、窒素およびCODは大きな浄化効果はなく、リンについてはある程度の効果が見られた。

植生浄化などにより施設内の内部生産を抑制させることが、窒素およびCODの浄化に繋がるものと考えられる。

- ・ 流入負荷削減効果が高い施設と湖内水質浄化効果が高い施設は一致しないことから、湖内湖施設が流入負荷以外の負荷要因に対しても水質汚濁への影響を低減させられているものと考えられる。

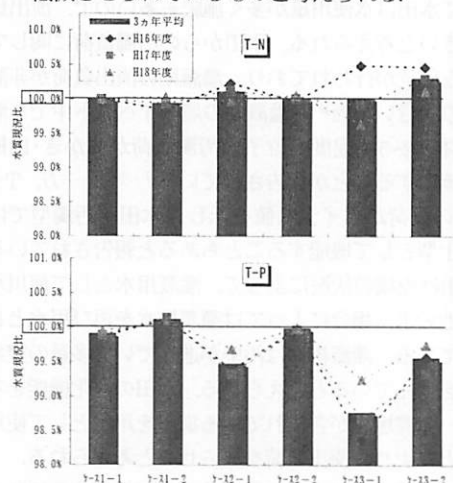


図-4 水質現況比 (湖内4地点平均)

謝辞

本研究の一部は鳥取県環境学術研究振興事業研究助成により行った。また、鳥取県東部総合事務所のご担当者より流量および水質観測データをご提供頂いた。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 中村圭吾, 天野邦彦: 湖沼の面源負荷対策としての湖内湖の効果, 土木技術資料 49-6, 2007
- 2) 中村圭吾, 森川敏成, 島谷幸宏: 河口に配置した湖内湖による汚濁負荷制御, 環境システム研究論文集, Vol. 28, pp115-123, 2000
- 3) 大久保卓也: 内湖・ため池における水質浄化機能, 琵琶湖研究所記念誌 (所報22号), pp87-91, 2005