

明神池の海水交換について

○徳山工業高等専門学校 正員 大茂博文
 柳井市役所 正員 河崎博之
 山口大学工学部 正員 奇藤 隆

I はじめに

明神池は、萩市笠山の東麓にあり、「淡水魚と海水魚が混泳する池」や「涼風の風穴のある地」として広く有名である。その成因は、笠山と本土の間が沿岸流による土砂の運搬によって埋まり、いわゆる、陸繋砂州(トロング)が出現することにより、海の一部が堤止められ残ったことによるものである。(図-1)

近年、池水の混濁が進行し、同時に、魚類の異常死亡が多数みられるようになり、救済にわたる原因究明の調査と必要な対策が施されてきた。最近では、昭和51年に学術調査が行なわれているが、それらから次のような因果関係が明らかとなった。すなわち、池水の汚濁は、いわゆる赤潮現象が出現したことによるものであり、魚類の異常死亡は、新生堆積物の蓄積、潮盆の形態、赤潮現象等の複合作用による低酸素水塊の発達に起因していることが明らかにされている。

明神池の浄化機構は、大部分が外海との清浄な海水交換によるものであり、当初は、外海との間の岩塊の空隙や、夕和港との間の砂層を通いこの浸透流が主となっていた。その後、岩塊空隙の目づまりや池底の堆積物の増大等により、極端な浸透機能の低下をきたらし、その対策として、現海水交換用水路が設置された。しかし、今日に至っては、それも名和港内の混濁により、当初の目的を達することができなくなり、新しい対策が緊急に必要となっている。



図-1 明神池位置図

以上の事情から、本論文は、池水の海水交換機能の現状を踏まえ、可能な様々な海水交換率向上のための対策のうち、最適と見られる「現水路に管水路を延長する」手法の効果について理論的検討を試みたものである。

II 現水路を管路で延長した場合の理論計算

管路延長は、将来の海域汚濁を考慮し、図-2 に示すように防波堤の潮通しまで行なうものとする。

1) 海水交換量

図-3 の記号に従い、池内の水位変動を規定する基礎式が次のように求まる。

$$\left. \begin{aligned} A \frac{dh_1}{dt} &= B_1 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} & \text{for } h_1 > h_2 \\ A \frac{dh_2}{dt} &= -B_2 \sqrt{2g(h_2 - h_1)} & \text{for } h_2 > h_1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$B_1 = bd \left\{ \left(1 + \frac{129.95 H_1^3}{D^3} \cdot \frac{R_p}{D} \right) \frac{4bd}{\pi D^2} + \left(1 + \frac{19.6 H_2^2}{R^2} \cdot \frac{R_c}{R} \right) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

また、外海、池内の水位変動 h_1 , h_2 , 単位時間当りの入退潮量 Q , および海水交換率 E は次式で与えられる。

$$h_1 = H_1 \cos \left(\frac{2\pi t}{T} \right) \quad (2), \quad h_2 = \lambda_2 H_1 \cos \left(\frac{2\pi t}{T} - \mu \right) \quad (3)$$

$$Q = -A \lambda_2 H_1 \frac{2\pi}{T} \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - \mu \right), \quad E = \frac{2\lambda_2 H_1}{\pi} \quad (4), \quad (5)$$

$$\lambda_2 = \left\{ \frac{1 + \sqrt{1 + B_2^2}}{2} \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad \mu = \cos^{-1} \lambda_2, \quad R_c = \frac{\pi^2 (\alpha \beta_2)^2}{16 (\beta_2)^4}, \quad \alpha = \frac{2\sqrt{H_1}}{T \sqrt{g}}, \quad \beta_2 = \sqrt{2} \frac{B_2}{A} \quad (6)$$



図-2 海水交換管設置図

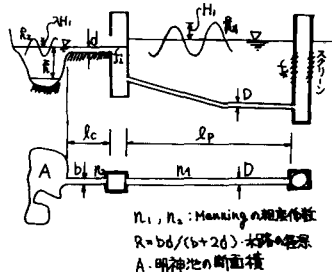


図-3 海水交換モデル

2) 池内における混濁物濃度の変化

池内における生物的・化学的および水流による堆積物の巻きあげ等による混濁物濃度変化を無視すると、池内混濁物濃度を規定する基礎方程式は、混濁物の連続の式に運動方程式を代入して次式のように求まる。

$$\begin{aligned} A \frac{d}{dt} \{ C(R_1 + R_2) \} &= C_* B_n \sqrt{2g(R_1 - R_2)} \quad \text{for } R_1 \geq R_2 \\ C &= \text{const.} \quad \text{for } R_1 \leq R_2 \end{aligned} \quad \dots (1)$$

ここに、 C_* は外海の混濁物濃度である。(1)式を上式に代入し、積分すると n 潮汐後の池内混濁物濃度 C_n は次式となる。

$$\frac{C_n}{C_0} = \frac{n}{\pi L} \left(\frac{R + \lambda_* H_1}{R - \lambda_* H_1} + \frac{C_*}{C_{n-1}} \cdot \frac{2\lambda_* H_1}{R + \lambda_* H_1} \right) \quad \dots (2)$$

上式では、退潮より入潮に変化するときの水路及び管内の海水や池内混濁物濃度に及ぼす影響が完全に無視されているので、以下の修正を必要とする。

水路および管路内の海水容積に於ける池の水位変化 ΔR は次式で与えられる。

$$\Delta R = \left(\frac{\pi}{4} D^2 l_p + b d l_c \right) / A \quad \dots (3)$$

式(3)の入潮量で、池内水位が ΔR 上昇するまで池内混濁物濃度は変化しないとして式(1)を積分すると、 n 潮汐後の池内混濁物濃度を表す式は次のようになる。

$$\frac{C_n}{C_0} = \frac{n}{\pi L} \left(\frac{R - \lambda_* H_1 + \Delta R}{R + \lambda_* H_1} + \frac{C_*}{C_{n-1}} \cdot \frac{2\lambda_* H_1 - \Delta R}{R + \lambda_* H_1} \right) \quad \dots (4)$$

3) 池内混濁物濃度変化の数値的検討

水路長 $l_c = 85 \text{ m}$ 、管路延長 $l_p = 230 \text{ m}$ とし、管径 $D \leq 750 \text{ mm}$ と 1000 mm の二通りに、外海の潮汐振幅 $H_1 \leq 10 \text{ cm}$ (潮位差 20 cm)、 30 cm 、 50 cm の三通りに変えて式(4)を計算した。結果の一部を図-4に示す。これから、潮汐振幅および池内と外海の混合物濃度がいかに池内混濁物濃度の低下がいかにわかる。

一潮汐間の濃度変化 C/C_0 を外海と池内の濃度比 C_*/C_0 をパラメ

ーターとして潮汐振幅に対して描いたものが図-5であり、上述の特徴をより一層明確に説明している。

管径 D による池内混濁物濃度の変化率は、式(4)で明らかのように、 $\Delta R = 2\lambda_* H$ で $C_*/C_0 = 1$ となり、池内と外海の海水上の交換がなくなってしまうので、ある管径で交換率の最大値を示すはずである。図-4, 5にみられるように、本計算範囲内では、管径の増大と池内混濁物濃度変化速度の増大が比例する傾向を示している。最大交換率を与える最適管径を求め、実験的に検証することを今後の課題とした。

Ⅲ おわりに

夕和港の実測値より、最小潮位差は約 20 cm であるが、図-4のケースでは外海の海水混濁濃度を現池内の 0.1 とすると、 $10 \sim 15$ 潮汐で約 $1/2$ の混濁濃度変化がみられることになり、ほぼ全体的傾向が明らかとなったといえる。

上記の方法以外には、新設水路の設置や常時排水等が考えられるが、相対的に効率の悪い結果を得た。また、本解析過程では、池内の流れ、流れによる堆積物の巻き上げ等の効果を無視しているが、これら場合によっては、大きな影響因子となりうるのかもしれない。今後の詳細な調査、研究とくに理論・実験的検証が必要である。

参考文献：大分大学工学部研究委員会、「豊後湖の水位について(201〜3)、応力研所報月号、1953。

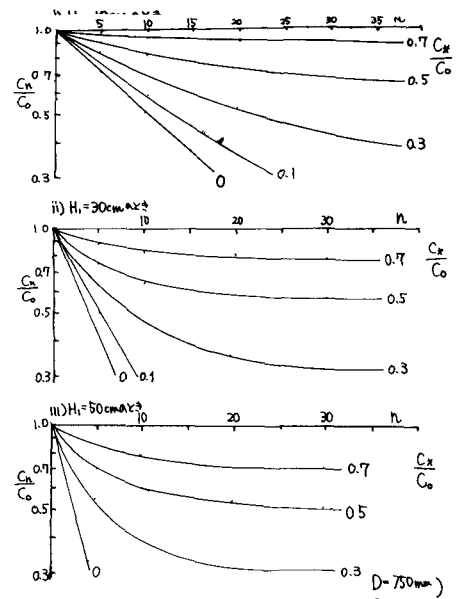


図-4 池内混濁物濃度曲線 ($l_c = 85 \text{ m}$, $l_p = 230 \text{ m}$)

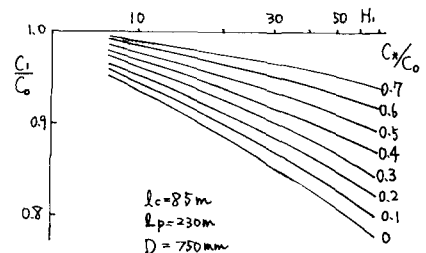


図-5 潮汐当りの混濁物濃度変化曲線