



Title	調整池における淡水化過程と栄養塩に基づく水質変化
Author(s)	西田, 涉; 野口, 正人; 仁木, 将人
Citation	長崎大学工学部研究報告 Vol.29(52) p.139-144, 1999
Issue Date	1999-01
URL	http://hdl.handle.net/10069/5065
Right	

This document is downloaded at: 2020-10-30T08:41:20Z

調整池における淡水化過程と栄養塩に基づく水質変化

西田 渉*・野口 正人*
仁木 将人**

Desalination and Water Quality Change in the Regulation Pond

by

Wataru NISHIDA*, Masato NOGUCHI*

and Masato NIKI**

The importance of water management cannot be neglected because a big project affects the water environment for a long period. In order to attain the sound environment, it is significant to clear processes of qualitative change in the water body. By the way, the reclamation project is proceeding at the Isahaya Bay, and this bay was enclosed by the construction of sea dyke on April 14, 1997. Thus, the water environment around Isahaya bay will be changed near future. In the study, numerical simulations were carried out to examine and evaluate the temporal change of chlorides in the pond which is newly appeared at the Isahaya Bay. Calculated results show that rainfall influences on the chlorides concentration in this area, and these results imply the release of salinity from the sediment.

1. はじめに

長崎県の東部に位置する諫早湾では、干拓事業が進捗しており、1997年4月14日に実施された潮止め工事によって、湾奥部には新たに水表面積2,216ha、平均水深1.02mの調整池が造成された (Fig. 1)。この水域は当初の計画のとおり、農業用水源、洪水対策の施設として利用される予定であり、現在、調整池の水は、潮受堤に建設された排水門の操作によって管理されている。ところで、閉鎖性の強い水域では、流域からの汚濁物質の流入や、化学的、生物学的な生産過程をとおして水質は変化する。調整池においては、河川水によって貯留水の淡水化が進められており、塩分濃度の時空間変化は、水域内の生態系を変化させ、生物活動をはじめとした物質の内部生産量に影響をもたらすものと推察される。

そこで本研究では、潮止め工事後の水質変化を明らかにするために、調整池内の水質について環境モニタ

リングをもとに現状把握を行うとともに、その結果を考慮して、調整池の淡水化の過程に及ぼす塩分の生成を定量的に評価しようと試みた。

2. 調整池内の水質の現状

諫早湾では、干拓事業に係る環境影響調査が農林水産省をはじめとする関連行政機関によって1989年以降行われている¹⁾。調整池においては、Fig. 1に併記された5地点で生活環境項目や栄養塩類等の水質調査が実施されている。

Fig. 2に、環境調査から求められた潮止め工事から1年間の水質の変化を示す。各物質の濃度には、空間的に幾らかの違いが現れるが、調整池では、ほぼ一様に変化するようである。

まず、塩化物イオン (Cl⁻) の濃度は、降雨の時間分布に影響を受けて変化しており、降雨後に低下する。とくに、日降雨量が100mmを越える際にその変化が

平成10年10月27日受理

*社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

**大学院修士課程社会開発工学専攻 (Graduate Student, Department of Civil Engineering)

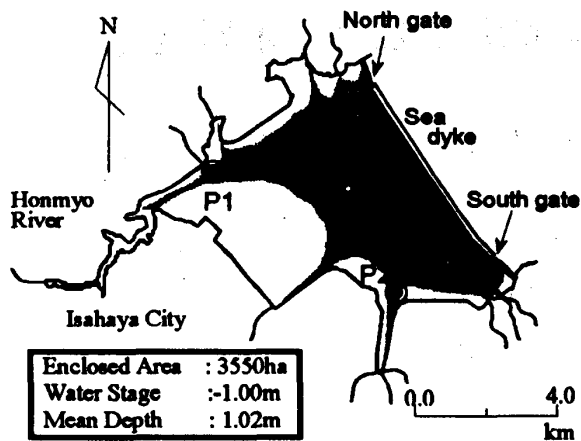


Fig. 1 Schematic view of Isahaya Bay.

著しく、5月5日から13日には、266mmの累加降雨があったために約10,000mg/lの低下が見られる。これは、調整池の水が排水門操作によって管理され、降雨の流入でCl⁻が希釈されたことによると考えられる。その一方で、無降雨日が10~20日間続く時には、Cl⁻の濃度が再び増加する傾向が見られる。9月から11月初旬には、1,000mg/lであったCl⁻は、再び5,000mg/l以上まで増加している。こうしたことから、調整池のCl⁻は、降雨の流入に伴う希釈と、塩分の堤体からの浸透や水底からの溶出といった生成要因に影響を受けて変化しているものと推察される。ただし、塩分の生成量は、1998年2月の無降雨期間の変化を考慮すると、潮止め直後に比べて少なくなっているようにも見える。

つぎに、化学的酸素要求量(COD)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)の濃度は4月以降増加しており、潮止め以前の状態に比べて、3、4倍になっている。10月の無降雨期間には、いずれの値も潮止め直後と同程度まで減少しているが、その後、再び増加している。窒素とリンについては、有機態物質の方が無機態物質よりも多く、90%以上になることもある。しかし、1998年4月になると、T-Pは依然として高濃度のままであるが、有機態リンの濃度が大きく減少しており、無機態リンがT-Pのほとんどを占めるようになる。このような変化にはクロロフィル量との強い相関関係が現れており、植物プランクトンの活動をとおして調整池の栄養塩類は変化しているものと考えられる。また、12月から2月には、浮遊懸濁物質(SS)の濃度がしばしば100mg/lを越えており、SSの発生に関連した水質の変化機構があることも考えられる。

3. 淡水化の予測モデル

ここでは、潮止め工事で降の淡水化過程を明らかに

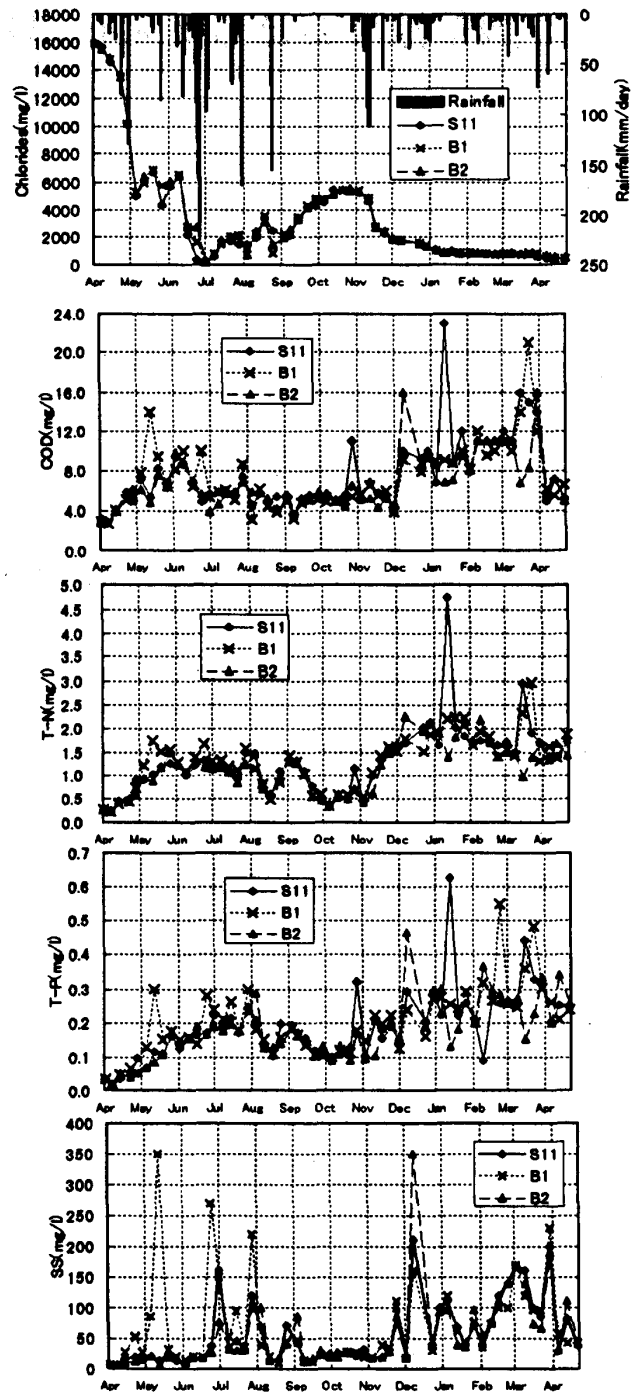


Fig. 2 The temporal change of water quality in the regulation pond.

するための数値モデルを作成するが、モデルの作成にあたっては、取り上げている現象の時間スケールが長く、予測計算は長期間にわたって精度良く行う必要があること、また計算対象である調整池は、最大水深が2.3mの比較的浅い水域であることから、2次元解析法を適用することとした。

計算に用いられた基礎方程式は、連続方程式、運動方程式、Cl⁻の収支式、流体密度の状態方程式、さら

に、底泥中の Cl⁻ の収支式である。ここでは、紙面の都合上 Cl⁻ の収支式を示すに留める。

$$\frac{\partial(C_h)}{\partial t} + \frac{\partial(CM)}{\partial x} + \frac{\partial(CN)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x h \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y h \frac{\partial C}{\partial y} \right) + (source) \quad \dots(1)$$

ここに、 C : Cl⁻ 濃度 (g/m³)、 K_x 、 K_y : それぞれ x 、 y 軸方向の分散係数 (m²/sec) であり、 M 、 N : それぞれ x 、 y 軸方向の流量フラックス (m²/sec)、 h : 水深 (m)、 $(source)$: 単位面積、単位時間あたりの Cl⁻ の生成量 (g/m²/sec) である。

本モデルで取り上げた Cl⁻ の生成要因としては、調整池は海域を締め切ってもないことを考慮して、水底からの塩分の溶出を取り入れることとした。こうした水底から溶出する塩分を考える場合には、底泥内部の塩分濃度及び流水中の塩分濃度によって溶出量が変化すると推察される。したがって、式(1)に含まれる $(source)$ 項は、貯留水と底質に含まれる Cl⁻ の濃度勾配に応じて変化するものと考えた。

$$(source) = q_B (C_{Bed} - C) \quad \dots(2)$$

ここに、 q_B : 溶出速度 (m/sec)、 C_{Bed} : 底泥中の Cl⁻ 濃度 (g/m³) である。ここで溶出速度については、水底付近での流速分布や底泥内の間隙構造等に影響を受けて変化するものと考えられるが、今回は、室内実験結果²⁾を参考に、底泥内の初期塩分濃度が海水に近いような状態の溶出速度を一定値 ($q_B = 2.5 \times 10^{-7}$ m/sec) で与えることとした。

各基礎方程式は、陽形式のドナーセル法を適用して離散化された。空間差分間隔は、水平方向に 200 × 200m の格子で覆うこととし、時間差分間隔は、数値計算の安定条件である C.F.L. 条件を満足するように 5.0sec とされた。境界条件については、調整池へ流入する 12本の河川を考慮しているが、調整池の Cl⁻ は、降雨の流入によって著しく変化することを考慮して、単位図法を用いて降雨に伴う河川流量の変化を評価することとした。また、流入河川の Cl⁻ の濃度については、河口部で行った現地観測の結果をもとに一定値として与えている。なお、流入河川の河口の位置は、Fig. 3 に示すとおりである。

調整池の水位については、現在のところ、T.P. - 1.00m で管理されているが、潮止め工事後に行われた水位管理の状況を記せば、以下のとおりである。潮止め直後の水位は、T.P. - 0.25m であり、計画管理水位よりも 75cm 高い状態であった。そのため、潮止めか

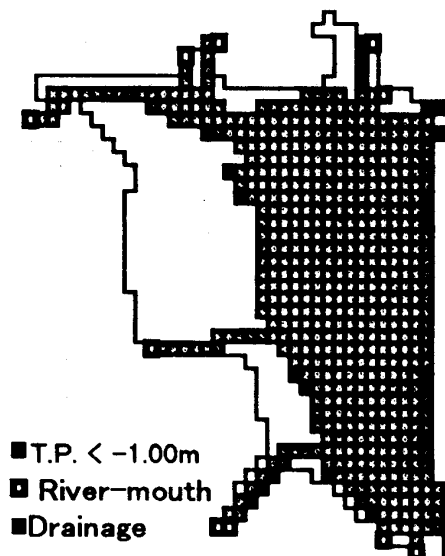


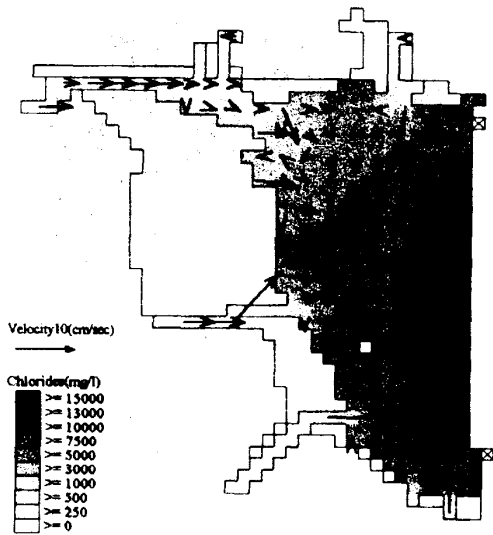
Fig. 3 The calculated area.

ら 11 日後の 4 月 25 日に、第 1 回目の水位調整が実施されており、北部・南部の排水門から、約 600 万 t の水が排水されたことで、T.P. - 0.50m まで下げられた。続いて 2 回目の水位調整が 5 月 5 日から 6 日にかけて行われ、調整池から 1,300 万 t の水が放流された。これら、2 度にわたる排水門操作によって、水位は計画管理水位である T.P. - 1.00m まで下げられている。これ以降、調整池の水位は、降雨時を除き、T.P. - 1.00m で管理されるようになっている。そのため、調整池の淡水化の予測計算についても、こうした段階的な水位調整を考慮することとし、5 月 6 日以降については、水位が T.P. - 1.00m で維持されるようにした。また、排水門の操作条件に係る諫早湾での潮位変化については、諫早湾での主要四分潮に相当する、振幅 2.0m、周期 12.5 時間の正弦波が潮位として与えられた。

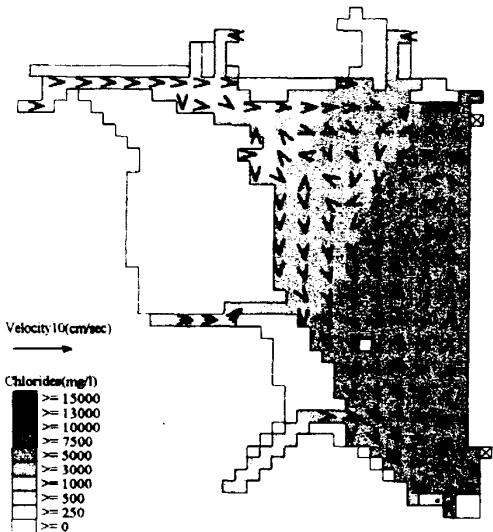
4. 数値モデルの現地への適用

計算は、締切工事が行われた 1997 年 4 月 14 日から翌年の 5 月 14 日までの 13 ヶ月にわたって行うこととし、計算結果と環境モニタリングの結果とを比較することで、数値モデルの計算精度ならびに当該水域の塩分の変化過程について検討を行う。

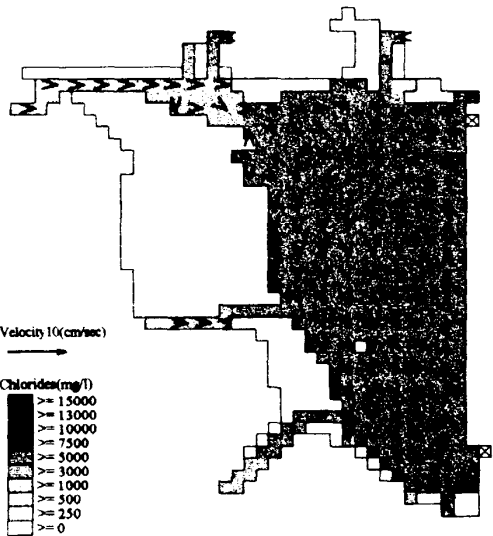
まず、調整池における Cl⁻ の空間分布を示せば、Fig. 4 のとおりである。これらの図は、潮止め工事から 25 日、32 日、47 日後の分布であり、それぞれ降雨中、降雨直後、降雨から数日後の結果を示している。25 日後の空間分布図をみると、この日には、雨量 43mm/day の降雨があったこともあり、河川から低濃



(a) after 25 days



(b) after 32 days



(c) after 47 days

Fig. 4 Spatial distribution of Chlorides and velocity.

度の Cl^- を含む水塊が流入してきている。そのため、流入河川の河口部には、 $500mg/l$ 以下の領域が広がっており、調整池の北部では、流量が最も多い本明川の河口付近において、濃度が著しく低下している。流速ベクトルの空間分布をみると、降雨の流入によって河口部での流速ベクトルが大きくなっている。また、調整池の流れは、図に示された排水門が閉じている状態では、河川からの流入水によって反時計回りの水平渦が形成されるようである。ただし、南部の沿岸では、小規模ではあるが、時計回りの渦も見られるようである。32日経過後の Cl^- の空間分布図をみると、この日から1週間の間に合計186mmの先行降雨があったために、こうした降雨の流入によって Cl^- は希釈されており、締切堤付近においても $5,000\sim 7,500mg/l$ 程度になっている。また、調整池では、北部の方が南部よりも濃度が薄くなっている。また32日と47日経過後の空間分布図を比較すれば、沿岸部や濃度の低い北部側で塩化物イオンが再び増加していることがわかる。これは、この期間に合計7mmの降雨しかなく、そのため河川水による希釈の効果が弱まり、逆に、底泥からの塩分の溶出の効果が強まったためと考えられる。32日、47日両日の流速ベクトルについては、両日も降雨がないために、調整池内の流速は降雨期間中の結果に比べて非常に遅くなっている。調整池内の水塊は、干出地の沿岸を南下し、締切堤近くを北上するように流れ、降雨時と同様に、反時計回りの水平循環流が現れている。

つぎに、Fig. 5 に、S11 地点における Cl^- 濃度の計算結果が示されている。この図には、同地点における環境モニタリングの結果が併記されている。計算結果を見ると、モニタリング結果と同様に、5月初旬の降雨によって Cl^- の濃度の急激な低下が現れている。また、それ以降、 Cl^- 濃度は緩やかな増加と急激な減少を繰り返していることが分かる。環境モニタリング結果の考察から、 Cl^- 濃度を低下させる要因として降雨による希釈の効果を想定したが、本計算においても降雨に伴う河川からの流入水量が境界条件として考慮されたことにより、調整池での Cl^- 濃度の低下が再現できていると考えられる。また、 Cl^- が緩やかに増加している期間については、共通して降雨量が比較的少ないために流入河川からの流入水量が減少しており、排水門から排出される水量が小さくなっている。こうしたことから、調整池では、底泥からの Cl^- の溶出量が流入河川による希釈の効果を上まわったものと考えられる。10月の濃度の増加は、5月中旬や7月の無降雨日における増加に比べて緩やかなものとなっている。

これは、 Cl^- の溶出量が、底泥中の Cl^- 濃度の低下に伴って減少するためである。この現象をモデルでは、底泥内部の塩化物イオン濃度の収支をとることで取り扱っている。なお、無降雨日が比較的長く続いた10月には、底泥からの塩分の供給があるにも拘わらず、調整池の Cl^- 濃度は5,000~6,000mg/l程度になると予測されている。これは、底泥と流水中の Cl^- 濃度の差が次第に小さくなり、底泥からの供給量が減少したことが主な原因である。

計算結果と実測値とを比較すると、潮止め工事後の Cl^- の時間変化を概ね妥当に予測しているものと考えられる。ただ、11月中旬の降雨以降の変化については、実測結果では、無降雨期間にも Cl^- の濃度の増加があまり現れないのに対して、計算結果については、潮止め直後ほどではないが、若干増加する傾向にある。そのため、両者の値にしだいに開きが生じてきている。このような違いを生じた要因としては、底泥中に含まれる塩分の初期濃度や塩分の溶出速度に係る係数の同定が十分にされてないこと、溶出以外の塩分の生成要因について十分な考察が行えていないこと、等が考えられる。

以上の結果から、調整池内の塩分濃度の低下に対して降雨が支配的であることが示されており、今後、降雨量によって塩分濃度が変化することが予想される。また、調整池での塩化物イオン濃度の増加を底泥からの塩分溶出によるものと考え、モデル化を図った。このことから無降雨時における塩分濃度の増加が、数値モデルによってある程度再現されている。ただし、先述されたように、現段階ではある一定期間経過した後の塩化物イオンの変化を、十分に説明できておらず、

今後の課題として残されている。

5. 結論

本研究では、諫早湾に新たに造成された調整池の水質について現状把握を行うとともに、淡水化過程を明らかにしようと試みた。その結果、調整池では現在、河川から流入する汚濁負荷の蓄積等によって、栄養塩類をはじめとする水質指標の値が増加している。これら水域内での水質の変化機構は、化学的、生物学的な作用により複雑に変化するものと考えられ、より詳細な影響評価を行うためには、こうした変化機構の解明が必要であると思われる。また、淡水化過程については、塩化物イオン濃度の変化に対して降雨が支配的な役割を持つことが認められたが、その一方で底泥からの溶出といった塩化物イオン濃度を増加させる要因が存在しており、しばらくの間、塩化物イオンの供給がつづいていくものと予想される。今後は、前述された課題について検討を行い、より精度の高い水環境への影響評価が可能になるように努力したいと考えている。

謝 辞

研究を進めるにあたり諫早湾締切り干拓地域で実施されているモニタリング結果を参照させていただいた、九州農政局諫早湾干拓事務所、長崎県生活環境部、諫早湾環境監視機構の関係各位に謝意を表します。また、本研究は平成9、10年度の河川環境管理財団の河川整備基金（代表者：野口正人）と、平成10年度の科学研究費奨励研究(A)（代表者：西田渉）からの助成を受けて行われた。ここに記して関係各位に深甚なる

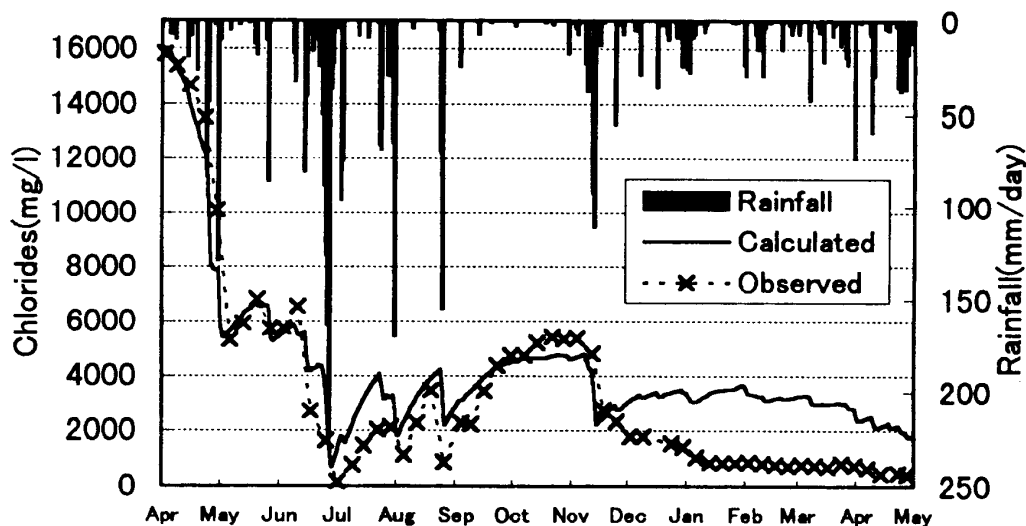


Fig. 5 Calculated result of Chlorides.

謝意を表します。

参 考 文 献

1) 九州農政局諫早湾干拓事務所：“諫早湾干拓事業

環境モニタリング資料”，p. 27, 1998.

2) 長 裕幸, 戸原義男, 加藤 治：“底質からの流
水域への塩分溶出機構に関する実験的研究”，農土
論集，第128号，pp. 39-46, 1987.