

諏訪湖における天然ゼオライト人工なぎさの実証実験(その3)

梅崎健夫¹, 河村 隆¹, 境 大学², 松永 斉²

¹信州大学工学部, ²三井金属資源開発(株)

Demonstration of Artificial Beach with Natural Zeolite in Lake Suwa (Part 3)

T. Umezaki¹, T. Kawamura¹, D. Sakai² & H. Matsunaga²

¹Faculty of Engineering, Shinshu University,

²Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd.

キーワード：諏訪湖，水質，底質，浄化，ゼオライト，囲繞堤，なぎさ

Keywords: Lake Suwa, Water quality, Bottom sediment, Purification, Zeolite, Dike, Beach

1. はじめに

諏訪湖(図-1, 湖面積 13.3km², 湖岸線 16km, 最大水深 6.3m, 平均水深約 4m, 貯水量 6500 万 m³, 湖水の滞留時間約 40 日)¹⁾は, 31 の流入河川に対して, 流出河川は天竜川のみ典型的な閉鎖性水域である。

著者らは^{2)~4)}, 諏訪湖湖岸において実施している天然ゼオライトを用いた水質浄化実証実験(写真-1)において, 平成 20 年 3 月から平成 22 年 3 月まで定期的に現地調査および水質・底質調査を実施している。本文では, 主に平成 21 年度の現地調査および水質・底質調査の結果に基づいて, 2 年間の浄化効果とその持続性について検討した。

2. 天然ゼオライト人工なぎさの概要

天然ゼオライト人工なぎさ(図-2)は, 天然ゼオライト(写真-1)の浄化作用により, 水質浄化および悪臭防止の効果, さらに親水の機能も期待するものである。生活により密着した湖岸付近に対象範囲を区切るとは, 本質的な湖の浄化を考えれば対処療法的ではあるが, 施工コストや浄化剤の使用量を大幅に削減できる。図-2(b)に示すように, ジオテキスタイル製土嚢(補強袋)などに浄化剤として天然ゼオライトを充填し, 水面上まで土嚢を積み上げ, 湖岸に囲繞堤を築造する。透水性の囲繞堤により堤内外の水循環を保ちつつ, 堤外からの懸濁物の遮断, 湖水中の窒素・リン等の吸着除去が実現される。さらに, 堤内に天然ゼオライトを均一に敷設することにより底泥の巻上げや栄養塩類などの溶出量の抑制なども実現される。

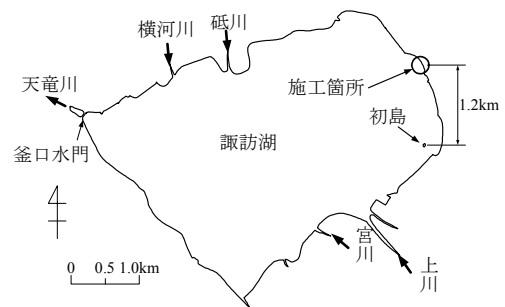


図-1 諏訪湖と主要河川



写真-1 実証実験施設

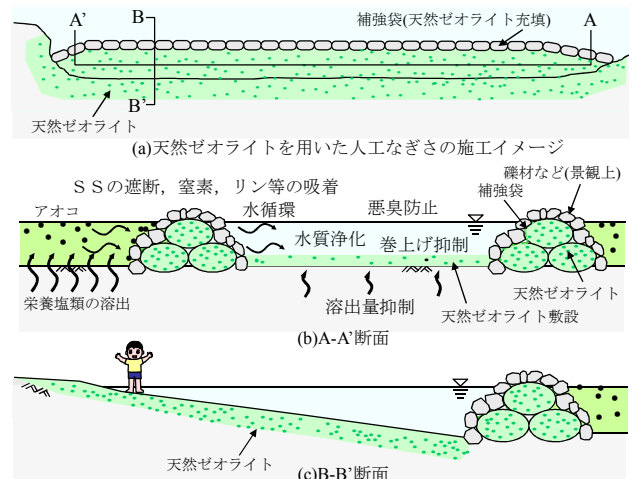


図-2 天然ゼオライトを用いた人工なぎさ

写真-2に示すように, 天然ゼオライト(MGイワミライト)^{5)~8)}は, 岩石のような天然鉱物であり, 粉碎して砂粒のように粒径を揃えることが可

能である。水浸させると翠色を呈し、人工なぎさとしての美観も期待される。主な用途は、土壌改良、水質浄化、畜産飼料等であり⁵⁾、安全・安心な添加剤である。ゼオライトは、結晶構造中に微細な蜂の巣のような無数の孔を持ち（MG イワミライトの細孔径： $6.7 \times 7.0 \text{ \AA}$ 、写真-2(c)）、そこに水分やガスを吸着する性質がある⁶⁾。特に、カリウムや富栄養化の原因物質である窒素を強力に吸着し⁵⁾、吸着機能・陽イオン交換機能によって、カドミウムや砒素等の重金属の固定化⁷⁾および悪臭のもととなる水中のアンモニア、硫化水素、亜硝酸の吸着除去等⁸⁾の効果がある。また、微細な孔を有することから、水中の窒素を除去するバクテリアなどの生物膜の担体としても有効であることが知られている⁹⁾。

3. 水質浄化の実証実験

実証実験を諏訪湖湖岸（図-1参照）において平成20年3月から実施している^{2)~4)}（図-3、4）。表-1に示すように、天然ゼオライトの使用量と圍繞堤内外への湖水の流入出量を変えた2ケースを実施した。

図-3および4に平面図および圍繞堤断面の模式図を示す。詳細は文献2)~4)を参照されたい。ケース1では、天然ゼオライトを充填した土嚢を1段目の内側に9袋、2段目には6袋をそれぞれ配置し、図-4(a)に示すようにすべての断面に天然ゼオライトの土嚢を配置した。ケース2では、圍繞堤の透水性を高めるために、天然ゼオライトを充填した土嚢を1段目に6袋、2段目には玉砂利を充填した土嚢を10袋配置し、図-4(b) C-C'断面に示すように玉砂利を充填した土嚢だけで構成され

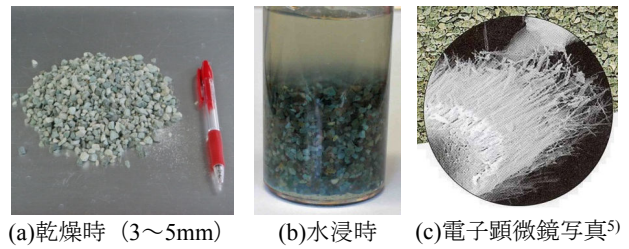


写真-2 天然ゼオライト

る断面を3カ所設定した（図-3中の①~③）。

浄化効果を検証するために、水質・底質分析を実施した。水質分析では、定期的にプラスチック容器2Lに満水となるように水面付近で採水を実施し、表-2に示す項目について室内水質分析を実施した。採水地点は、図-3に示す圍繞堤内の4点（No.1~4）、堤外として、その近傍の5点（No.5~7, 11, 12）、圍繞堤から離れた4点（No.8~10, 13）の合計13点である。さらに、現地において、表-2に示すような水質分析等を実施した。ここで、COD：化学的酸素要求量、BOD：生物化学的酸素消費量、SS：懸濁物質、ORP：酸化還元電位である。底質分析では、天然ゼオライトを300g程度採取し、表面についた泥等を湖水で洗い落とした後に表-3に示す項目について室内分析を行った。採取地点は図-3に示す圍繞堤内の2点（No.14, 15）および堤外の2点（No.6, 16）である。分析方法の詳細は文献2)~4)を参照されたい。

写真-3(a)~(f)に圍繞堤周辺の状況を示す。施工から約1年が経過した398日後（2009/4/16）においても、湖岸は天然ゼオライトの敷設により翠色を呈している（写真-3(a)）。施工462日後（2009/6/19）、496日後（7/23）および545日後（9/10）には、前年²⁾と同様に圍繞堤周辺に植物が繁茂し

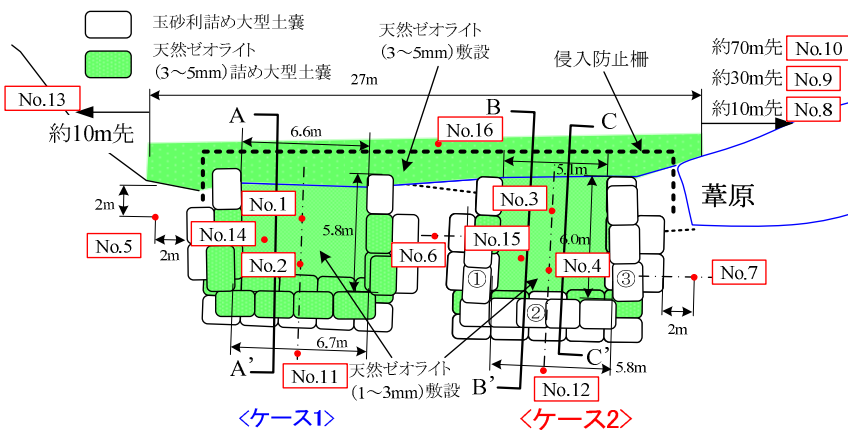


図-3 施工平面図

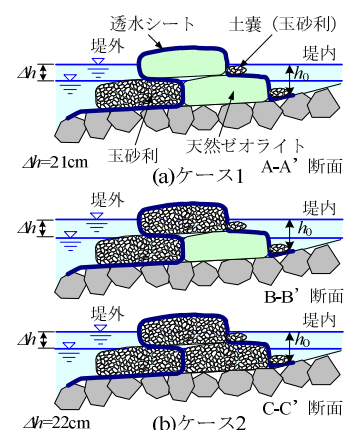


図-4 圍繞堤の断面図

表-1 実施したケース

ケース	条 件
ケース 1	天然ゼオライトの量が多い. 大型土嚢(天然ゼオライト): 15 袋, 大型土嚢(玉砂利): 11 袋
ケース 2	天然ゼオライトの量を少なくし, 圍繞堤の透水性をより高めた. 大型土嚢(天然ゼオライト): 6 袋, 大型土嚢(玉砂利): 24 袋

表-2 水質調査項目

	項 目	平成21年度調査日
室内	COD, BOD, SS, 全窒素, 全リン, 亜硝酸態窒素, アンモニア態窒素, 硫化水素, pH, 濁度	2009/4/16, 6/19, 7/23, 9/10, 12/25, 2010/3/2
現地	水温, pH, ORP, 透視度, 透明度	2009/4/16, 6/19, 7/23, 9/10, 12/27, 2010/3/2

表-3 底質調査(天然ゼオライト吸着量分析)項目

項 目	平成21年度調査日
全窒素, 全リン, アンモニア態窒素, 亜硝酸態窒素, 硝酸態窒素	2009/6/19, 7/23, 9/10, 12/25, 2010/3/2

ている(写真-3(b)~(d)). 冬期の651日後(2009/12/25)および718日後(2010/3/2)には, 植物は枯れている(写真-3(e), (f)).

4. 実験結果および考察

4. 1 水質分析

(1) 圍繞堤内外の概況と透視度, 透明度, 濁度およびSS

写真-4(a)~(m)に圍繞堤内外の状況を, 図-5, 6に釜口水門の湖面標高と圍繞堤内の水深および気温・水温の経時変化をそれぞれ示す. なお, 写真-4(a)~(f)は施工398, 462, 496, 545, 651および718日後におけるケース1および2, 圍繞堤外の水質調査地点No.8, No.13におけるそれぞれの状況である. 図-5中の圍繞堤内の水深は, 沖側の大型土嚢の内側における数カ所の平均値である(図-4中の h_0 参照). 気温, 天気および風速は諏訪特別地域気象観測所の計測データ¹⁰⁾である. また, 図-7~9に透視度と透明度, 濁度およびSSの経時変化を示す. 圍繞堤内においては水深が浅く透明度を測定できないため, 透視度だけを測定した.

施工398日後(2009/4/16)には, 施工直後である前年同時期(2008/4/14)には見られなかった枯れ



(a) 施工後398日 (2009/4/16)



(b) 施工後462日 (2009/6/19)



(c) 施工後496日 (2009/7/23)



(d) 施工後545日 (2009/9/10)



(e) 施工後651日 (2009/12/25)



(f) 施工後718日 (2010/3/2)

写真-3 圍繞堤周辺の状況

た藻類などが, いずれの堤内においても確認されるが(写真-4(g)), 堤内外の湖水に大きな差は見られない(写真-4(a)). 透視度, 濁度およびSSについても同様である(図-7~9). 堤内の水温の方が3~4℃ほど高いが, この時期は, 気温が低く(最高気温20℃程度以下, 最低気温5℃程度以下), 生物が活発に活動していないことが窺える(図-6).

施工462日後(2009/6/19)には, 前年と同様に湖面水位の低下のために(図-4, 5), 圍繞堤内の水深も浅くなり, 汀線が2~3m沖側に移動している



(a-1) No.13 (圍繞堤外)



(a-2) ケース1



(a-3) ケース2



(a-4) No.8 (圍繞堤外)

(a) 施工398日後 (2009/4/16, 13時 : 気温19.2℃, 晴れ, 風速5.6m)



(b-1) No.13 (圍繞堤外)



(b-2) ケース1



(b-3) ケース2



(b-4) No.8 (圍繞堤外)

(b) 施工462日後 (2009/6/19, 13時 : 気温26.4℃, 晴れ, 風速1.6m)



(c-1) No.13 (圍繞堤外,
アオコ発生)



(c-2) ケース1



(c-3) ケース2



(c-4) No.8 (圍繞堤外)

(c) 施工496日後 (2009/7/23, 13時 : 気温26.9℃, 晴れ, 風速6.2m)



(d-1) No.13 (圍繞堤外,
アオコ発生)



(d-2) ケース1



(d-3) ケース2



(d-4) No.8 (圍繞堤外)

(d) 施工545日後 (2009/9/10, 13時 : 気温20.8℃, 曇り, 風速3.5m)



(e-1) No.13 (圍繞堤外)



(e-2) ケース1



(e-3) ケース2



(e-4) No.8 (圍繞堤外)

(e) 施工651日後 (2009/12/25, 13時 : 気温4.5℃, 晴れ, 風速2.2m)



(f-1) No.13 (圍繞堤外)



(f-2) ケース1



(f-3) ケース2



(f-4) No.8 (圍繞堤外)

(f) 施工718日後 (2010/3/2, 12時 : 気温8.1℃, 晴れ, 風速3.1m)

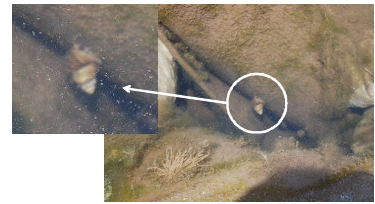
写真-4 施工後の圍繞堤内外の状況 (その1)



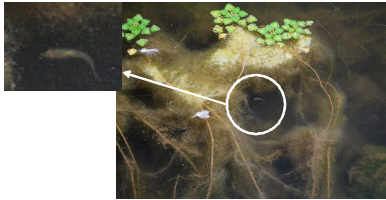
(g) 囲繞堤内の枯れた藻類など
(2009/4/16)



(h) 囲繞堤外に発生した藻類
(2009/6/19)



(i) 囲繞堤内に生息する巻き貝
(2009/6/19)



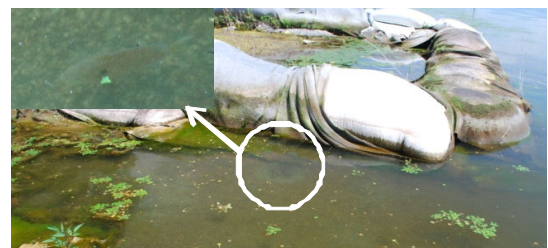
(j) 囲繞堤内に生息する小魚
(2009/6/19)



(k) 透水シートに付着した生物膜(2009/6/19)



(l) 越水 (2009/12/25)



(m) No.6における魚(ブルーギル)の営巣(2009/6/16)

写真-4 施工後の囲繞堤内外の状況 (その2)

(写真-4 (b-2), (b-3)). この頃になると, 最高および最低気温はそれぞれ20℃および10℃を越えており(図-6), No.8において芦原が繁茂し(写真-4 (b-4)), 堤外の湖面にヒシの葉が確認される(写真-4 (b-1), (b-4)). 写真-4 (b-2), (b-3)に見られる囲繞堤内の浮遊物は, ヒシの葉と藻類であり, 前年の同時期(2008/6/13)よりも多いが, 前年に多く見られた緑色の藻類は少ない. 一方, 囲繞堤の外側の土嚢表面および周辺の湖岸付近の石には緑色の藻類が発生している(写真-4 (h)). 囲繞堤内には, 巻き貝や小魚, 小エビなどの生物が生息しており(写真-4 (i), (j)), 堤内は生物に好ましい環境であると考えられる. また, 写真-4 (k)に示すように, 大型土嚢を被覆している透水シートは, 茶・黒色に変色してコケや生物膜の付着が維持されている. ケース1では堤外よりも水温が4℃ほど高いが, ケース2では1.5℃ほどであり, 1年以上経過しても囲繞堤の透水性が保たれていると考えられる(図-4, 6). 透視度は, 前年と同様にいずれも2009/4/16の値よりも高く, 堤外よりも高い透視度を有している(図-7). また, 濁度およびSSはいずれも4/16の値よりも低く, 堤内の方が湖水は澄んでおり, 透視度の傾向と整合

している(図-8, 9).

施工496日後(2009/7/23)には, 囲繞堤外のNo.13に前年(2008/7/23)に見られなかったアオコが発生している(写真-4 (c-1)). 透視度は両ケースで高い値となっており, ケース2においてのみ透視度が高かった前年と異なっている(図-7). 写真-4 (c-2), (c-3)に示すように, 前年よりも堤内のヒシが大幅に増加して水面の大部分を覆っており, 藻類の発生も確認できる. 堤内水深は, ケース1では22cm, ケース2では28cmであり, 前年とほぼ同じである(図-4, 5). 囲繞堤の透水性の低いケース1においては, 堤外の水温よりも4℃程度高い. 一方, ケース2では水温差は小さく, 2℃高い程度である(図-6). 温度の上昇に伴って生物の活性が高まり, 温度が10℃上がると生物の活性が2倍になること¹¹⁾が知られており, ケース1における生物の活性は, 囲繞堤外よりも1.4倍程度であると考えられるが, 顕著な水質汚濁は生じていない. 濁度およびSSは, 両ケースとも小さい値となっており, 写真に示した状況および透視度(図-7)と同様の傾向を示している(図-8, 9).

施工545日後(2009/9/10)においては, 囲繞堤外のNo.13にアオコが少量発生している(写真

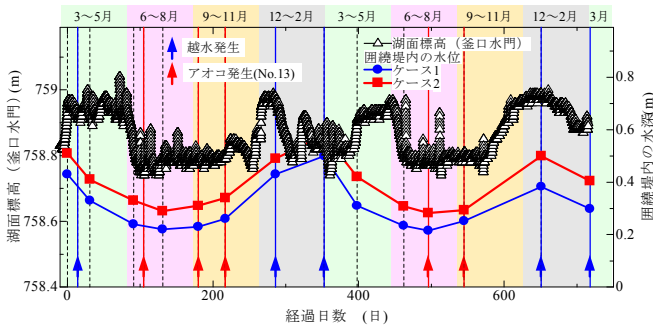


図-5 湖面標高と圍繞堤内の水深の経時変化

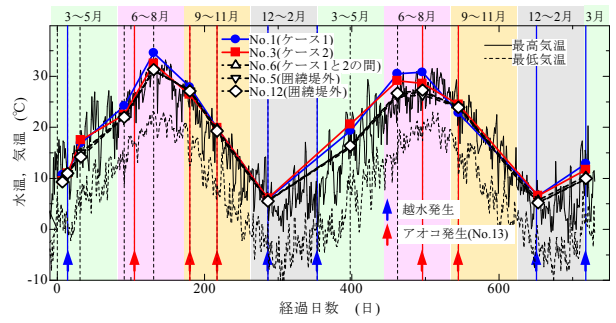


図-6 気温および水温の経時変化

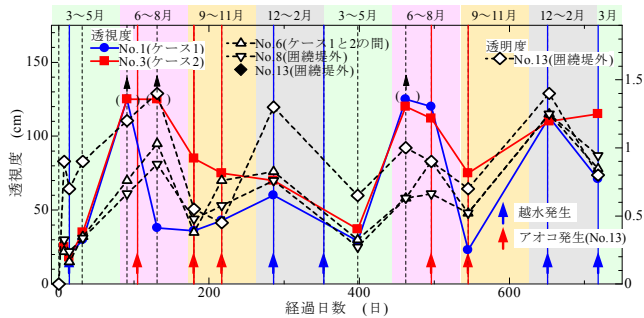


図-7 透視度および透明度の経時変化

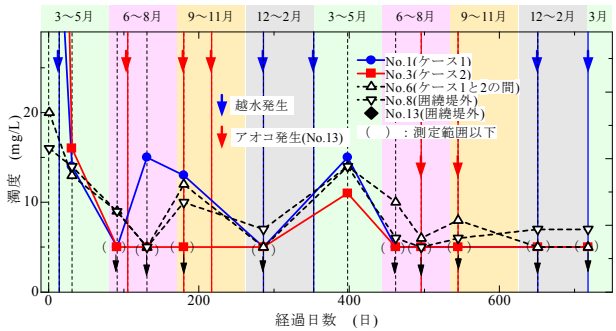


図-8 濁度の経時変化

-4(d-1)). ケース1およびケース2ともに、ヒシの量は496日後(2009/7/23)と同様であり、水面の大部分をヒシに覆われている(写真-4(d-2), (d-3)). ただし、ケース1において前年(2008/9/10)に多く見られた藻類はほとんど確認できない。前年同様に、水温は堤内外ともほぼ等しく、ケース2の透視度は少し低下したものの、80cm程度であり、ケース1および堤外のその他の地点(約50cm)よりも澄んでいる(図-7)。濁度も同様の傾向である(図-8)。SSはケース1のみが大きい値となっている(図-9)。

施工後651, 718日後は、冬期であり気温が低下して(最高気温10℃程度以下)生物が活発に活動しておらず、また、越水が発生しており(写真-4(l)), 堤内外の状況、透視度、濁度およびSSに顕著な差は認められない(図-7~9)。

写真-4(m)に堤外のNo.6(図-3)の状況を示す。前年は1カ所だった魚の営巣(円形状の砂のくぼみ)が3箇所ほどに増加しており、生息している生物に好ましい環境が維持されていると考えられる。

(2) COD, BOD, 全窒素, 全リンおよびORP

図-10~13にCOD, BOD, 全窒素および全リンの経時変化を示す。なお、諏訪湖では、COD, 全窒素および全リンの水質基準はそれぞれ3.0mg/L, 0.6mg/Lおよび0.05mg/Lと定められている。図-10,

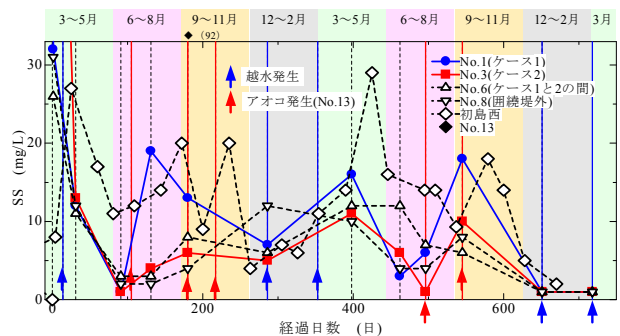


図-9 SSの経時変化

12および13には、長野県諏訪地方事務所環境課のデータ(初島西, 図-1参照)¹²⁾も示した。

図-10および11に示すように、CODおよびBODはいずれの地点においても夏期に増加する傾向にある。CODは、検液中の酸化分解される有機物の量から求められるものであり、植物プランクトン、河川から流入する有機物、植物プランクトンの生成有機物や湖底からの溶出有機物等の含有量を表している¹¹⁾。したがって、CODの増加は水中の有機物が増加したためであり、これは、水温の上昇(図-6)によって生物の活性が高まったことに起因していると考えられる。前年と同様に、特に水温上昇が大きいケース1のCOD値が大きく、545日後(2009/9/10)において13mg/Lであり、諏訪湖の水質基準(3.0mg/L)の4倍以上の値である。ケース2においても、496日後(2009/7/23)において9.8 mg/L, 545日後(2009/9/10)において8.0 mg/L

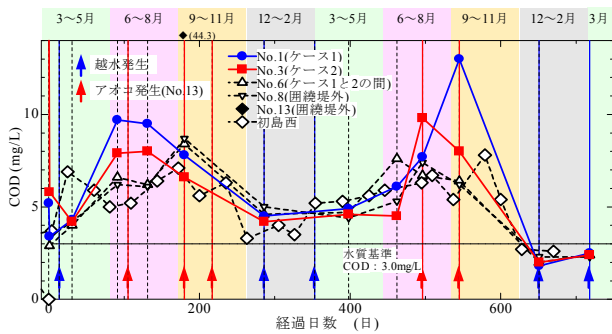


図-10 CODの経時変化

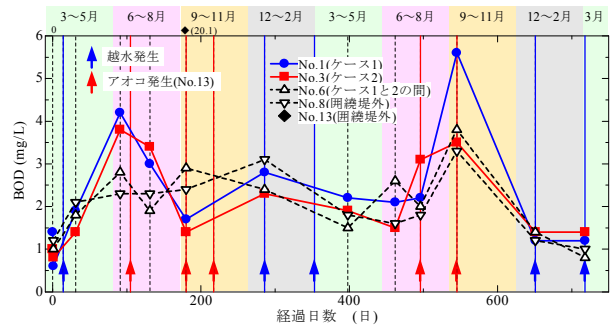


図-11 BODの経時変化

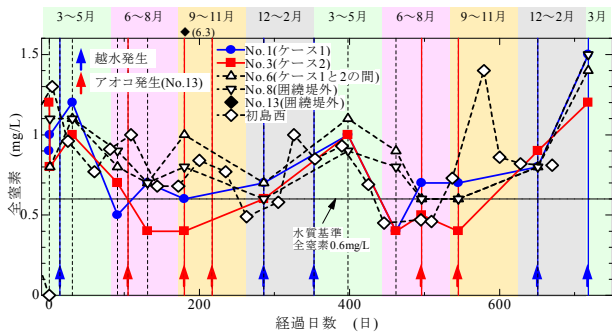


図-12 全窒素の経時変化

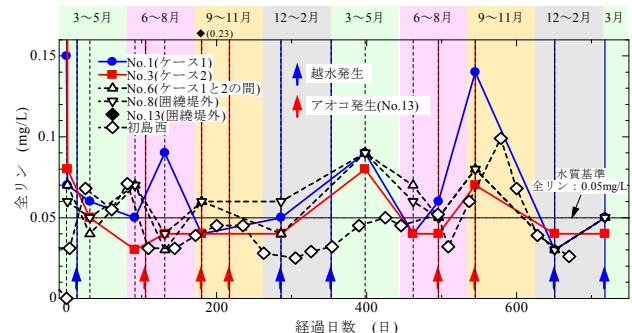


図-13 全リンの経時変化

であり、いずれも富栄養化の状態¹¹⁾である。また、堤外のNo.6, 8の測定値も6~8mg/Lで水質基準の2倍以上であり、有機物が多い状態である。しかし、図-7に示したように、ケース2の透視度が高いので、CODおよびBODが増加しているが、植物プランクトン量は少ないと考えられる。651日後(2009/12/25)および718日後(2010/3/2)においては、気温が低下して越水も生じており、地点間の値の差はほとんど見られない。

図-12に示すように、圍繞堤外の全窒素は初島西の263, 305, 446, 495および509日後のデータを除いたすべてにおいて水質基準を満たしていない。特に、アオコが大量に発生した180日後(2008/9/10)のNo.13の値は6.3mg/Lであり、水質基準の約10倍の値であり、かなり汚濁した状態である。圍繞堤内の全窒素は、約2年の測定期間において夏期に減少して冬期に増加する同様の傾向を繰り返している。ケース1では、91日後(2008/6/13)において基準値以下まで減少し、その後の堤内の汚濁が著しい131日後(2008/7/23)に再びそれ以上となっている。その後は、水質基準以上の範囲で推移し、前年と同様に462日後(2009/6/19)に基準値以下まで低下するが、その後496日後(2009/7/23)以降はそれ以上となっている。一方、ケース2では、131日後(2008/7/23)、180日後(2008/9/10)、462日後(2009/6/19)、496

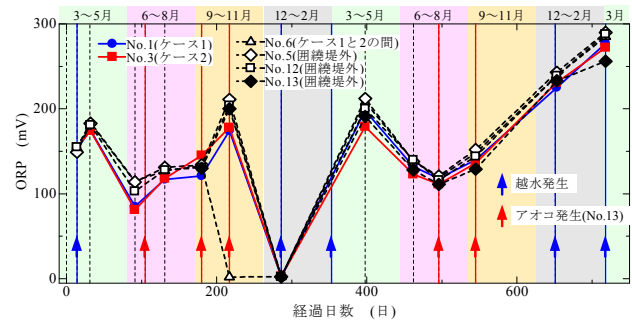


図-14 ORPの経時変化

日後(2009/7/23)および545日後(2009/9/10)において水質基準の2/3~4/5程度まで減少しており、それ以外では基準値以上となっている。冬期においては、越水のために圍繞堤外とほぼ同じ値となっているが、越水のほとんど生じない夏期においては、圍繞堤外よりも全窒素の含有量が抑えられており、後述する天然ゼオライトの窒素吸着効果が発揮されている。

図-13に示すように、全リンの含有量は、ケース2では、施工直後および堤外が基準値の2倍程度に増加している398日後(2009/4/16)および545日後(2009/9/10)を除いて基準値以下に抑えられている。天然ゼオライトにはリンに対する顕著な吸着効果は確認されておらず、主に生物膜の効果であると考えられる。一方、ケース1では、水の透視度が悪化しCODが最大の545日後(2009/9/10)には、水質基準の3倍近くに急激に増加している。

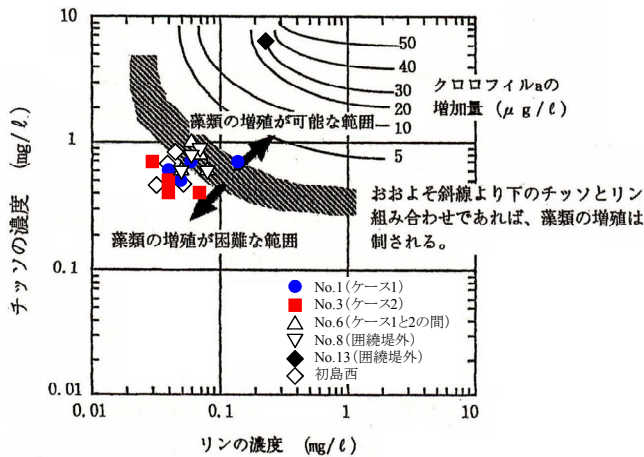


図-15 アオコの発生と窒素およびリンの濃度の関係 (文献13)に加筆

このとき、図-14に示すように、ORPは150mV程度の値である。リンの底質からの溶出量はORPが負の値（還元状態）では大きく、正の値（酸化状態）では減少するとの報告¹⁴⁾があり、545日後（2009/9/10）における底質からのリンの溶出量は小さいものと考えられる。すなわち、天然ゼオライトおよび生物膜の効果を打ち消すほど、水中には多くの植物プランクトンが生息しており、その窒素およびリンが測定されているためと考えられる。651日後以降は、ケース1、2ともに基準値以下となっている。

アオコの発生は、水中の窒素・リンの濃度に依存しているという報告がある（図-15）¹³⁾。図中に堤外でアオコが発生したときの全窒素と全リンの値をプロットして示す。堤外（No.6, 8, 13 および初島西）は、図で推測しているように、大部分がアオコの増殖が可能な範囲に入っている。ケース2はすべてのデータにおいて範囲外となっている。また、ケース1においても545日後（2009/9/10）の1回を除いて範囲外となっている。すなわち、図-10の関係は諏訪湖のアオコの発生においても概略適用することができる。

(3)pH, アンモニア態窒素, 亜硝酸態窒素および硫化水素

図-16にpHの経時変化を示す。圍繞堤内外においてpHは7~10程度である。一般に湖沼の表層近くでは植物プランクトンの光合成により二酸化炭素が消費されて、水素イオンが減少するためにアルカリ性を示すと言われている¹¹⁾。180日後（2008/9/10）および545日後（2009/9/10）以降、気温の低下に伴って二酸化炭素の消費が少なくなるため、pHが徐々に減少していると考えられる。

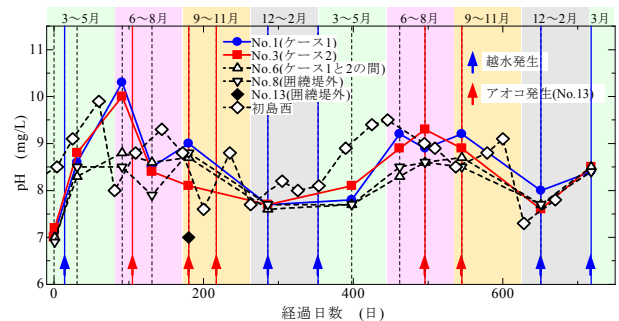


図-16 pHの経時変化

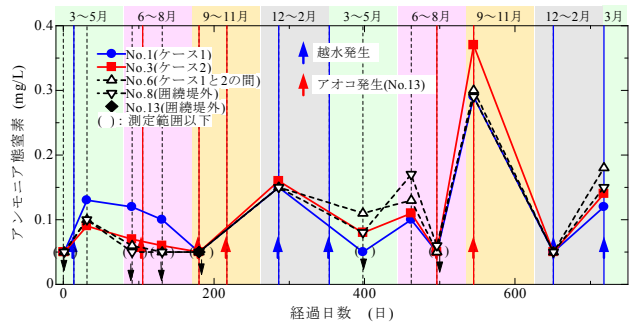


図-17 アンモニア態窒素の経時変化

越水の生じている283日後（2008/12/25）、651日後（2009/12/25）および718日後（2010/3/2）においては、すべての場所の値がほぼ同じとなっている。

図-17に示すように、アンモニア態窒素は、545日後（2009/9/10）に0.29~0.37mg/Lと異常に大きな値であるが、その他は0.05~0.15mg/Lであり、雨水中の濃度¹⁵⁾と同程度である。ケース1では、圍繞堤の透水性が低いために水循環が十分に生じないために、他の場所よりも高くなったと考えられる。特に、283日後（2008/12/25）の測定時と718日後（2010/3/2）の測定前においては、小雨が降っており、このときのアンモニア態窒素はその影響を受けて大きくなっていると考えられる。

なお、割愛したが、亜硝酸態窒素および硫化水素は、測定期間を通じていずれも場所においても測定範囲以下の濃度であった。

4.2 底質分析

図-18~21に、図-3に示す4点において採取した天然ゼオライトの全リン、全窒素、アンモニア態窒素および硝酸態窒素の吸着量の経時変化を示す。図中には、初期値として実験室で保管している天然ゼオライトの結果も示した。

図-18に示すように、圍繞堤内の天然ゼオライトには全リンの顕著な吸着は認められないが、圍繞堤外の湖底No.6において吸着量が最も多く、特に718日後（2010/3/2）には、初期値の6倍程度を

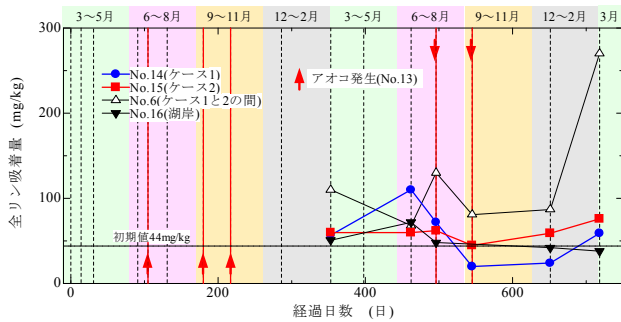


図-18 天然ゼオライトの全リン吸着量の経時変化

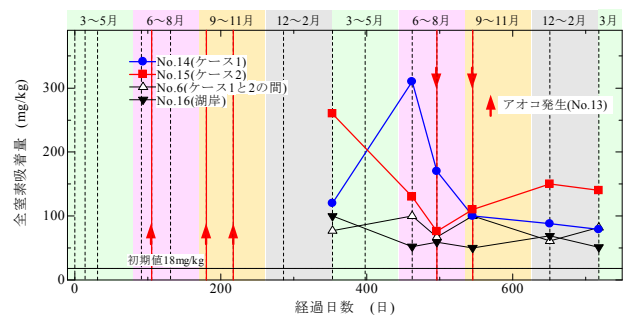


図-19 天然ゼオライトの全窒素吸着量の経時変化

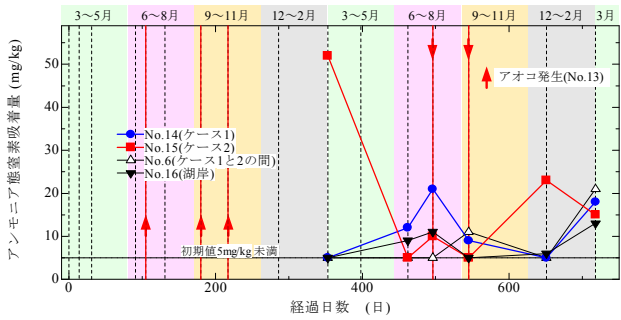


図-20 天然ゼオライトのアンモニア態窒素吸着量の経時変化

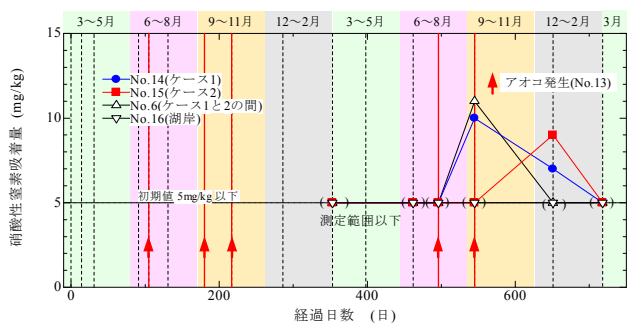


図-21 天然ゼオライトの硝酸態窒素吸着量の経時変化

吸着している。しかし、図-13に示した湖水中の含有量との直接的な関係は認められない。

図-19に示すように、いずれの地点においても全窒素を吸着しており、特に、圍繞堤内の天然ゼオライトの吸着量が多く、天然ゼオライトの水質浄化効果が裏付けられた。吸着量は変動しており、ケース2では初期値の4~17倍、ケース1では4~14倍である。しかし、全リンと同様に、図-12に示した湖水中の含有量との直接的な関係は認められない。

図-20に示すように、アンモニア態窒素については、圍繞堤内において顕著に吸着を示す場合があるが、測定日による変動が大きい。ケース1では651日後（2009/12/25）、ケース2では462日後（2009/6/19）、545日後（2009/9/10）において、ほとんど吸着していない。圍繞堤内外の湖水中の含有量が非常に高かった545日後（2009/9/10）においても、ほとんど吸着していない。

図-21に示すように、硝酸態窒素は496日後（2009/7/23）、545日後（2009/9/10）において吸着が認められるが、湖水中の含有量との直接的な関係は認められない。

なお、割愛したが、亜硝酸態窒素は、測定期間を通じていずれも場所においてもすべて測定範囲以下であった。

5. まとめ

諏訪湖湖岸での天然ゼオライトを用いた浄化実証実験施設において、約2年間継続して現地調査及び水質・底質調査を実施し、天然ゼオライトの浄化効果の持続性について検討した。得られた主な知見は以下の通りである。

- (1) 大型土嚢を適切に配置することにより、堤内外の水循環を十分に行えるようにして堤内の水温を上昇させないようにすることにより、天然ゼオライトの吸着効果および土嚢を被覆した透水シート表面の生物膜の効果により水中の全窒素および全リンが減少し、透明度が高くなり、堤内のアオコの発生を防ぐことができる。季節毎の堤内外の状況および水質分析結果は、2年目も同様に推移し、浄化効果は2年間継続しており、今後も減少する傾向は見られない。ただし、堤内のCODは堤外よりも高く、水中に溶存した有機物に対する対策が別途必要である。
- (2) 一方、圍繞堤の透水性が低い場合には、堤内の水が淀んで水温が上昇し、植物プランクトンが多量に発生する。そのため、天然ゼオライトおよび生物膜の効果が打ち消され、水中の全窒素および全リンが増加し、十分な浄化効果が得られない。

- (3) 天然ゼオライトで覆われた堤外の湖底には魚が営巣し、また、圍繞堤内には、小エビ、巻き貝、小魚が生息しており、生物にとっての良好な生息環境が得られていると考えられる。
- (4) 湖底に敷設した天然ゼオライトの栄養塩類吸着量は時間の経過とともに増減を繰り返すが、圍繞堤内においては、全窒素およびアンモニア態窒素の吸着量が認められ、天然ゼオライトの水質浄化に対する直接寄与していることが裏付けられた。

謝辞 実証実験は、長野県諏訪建設事務所より委託された「平成19年度 国補 河川浄化事業に伴う浄化実証実験業務委託」、「平成20年度 県単 河川維持・河川環境改善事業に伴う浄化効果検討業務委託」および「平成21年度 国補 河川環境整備事業に伴う浄化効果検討業務委託」として実施された。また、諏訪湖釜口水門水位データは同建設事務所から、諏訪湖（初島西）の水質データは同地方事務所から提供いただいた。実証実験施設の施工・現地調査および水質・底質調査は多くの関係各位にご協力いただいた。付記して、感謝の意を表わします。

参考文献

- 1) 例えば、諏訪湖，アーバンクボタ，No. 36，1997.
- 2) 梅崎健夫，河村 隆，河野剛志，河崎 彰，野村忠明，大寺正志，藤森徳雄，細野武久，西井 淳，境 大学，松永 斉，岡村昭彦，近藤誠二：諏訪湖における天然ゼオライト人工なぎさの実証実験（その2），環境科学年報 ー信州大学ー，第31号，pp.48-59，2009.
- 3) 梅崎健夫，河村 隆，河野剛志，河崎 彰，野村忠明，大寺正志，藤森徳雄，細野武久，西井 淳，境 大学，岡村昭彦，近藤誠二：諏訪湖における天然ゼオライト遊水なぎさの実証実験（その1），環境科学年報 ー信州大学ー，第30号，pp.5-14，2008.
- 4) 梅崎健夫，河村 隆，河野剛志，河崎 彰，野村忠明，

- 大寺正志，藤森徳雄，細野武久，西井 淳，境 大学，松永 斉，岡村昭彦，近藤誠二：ジオテキスタイルと天然ゼオライトを用いた人工なぎさの水質浄化実験，ジオシンセティックス論文集，第23巻，pp.119-126，2008.
- 5) MINDECO IWAMI PROFILE イワミライト，三井金属資源開発株式会社，2006.
- 6) 天然ゼオライトー利用にあたっての品質評価基準ー，日本学術振興会鉱物新活用111委員会・天然ゼオライト利用研究分科会，2006.
- 7) ハイブリッド浄化工法&シーリングソイル工法，”水”と”天然鉱物”によるon site環境修復技術，シーリングソイル協会.
- 8) 水づくりをーイワミライトで！！池用総合水質管理材，三井金属鉱業株式会社.
- 9) 三上恭弘，木持 謙，正田武則，常田 聡：成形体を活用した生態工学的な水質浄化手法の機能強化とメカニズム解明に関する研究，第40回日本水環境学会年会講演集，p.201，2006.
- 10) 気象庁ホームページ 気象統計情報 過去の気象データ検索 < <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> > (2010/3/17アクセス)
- 11) 武田育郎：水と水質環境の基礎知識，オーム社，2001.
- 12) 長野県諏訪地方事務所，諏訪湖浄化に関するページ <<http://www.pref.nagano.jp/xtihou/suwa/seikatsu/suwa-ko/suwako.htm>> (2010/3/17アクセス)
- 13) 森本辰雄，湊 秀雄：ゼオライト混液法による脱チッソ，脱リン技術，(株)アステック社内技術資料，pp.1-4，1996.
- 14) (社)底質浄化協会 底質の調査・試験マニュアル，4節 栄養塩類溶出試験(窒素，リン)，pp.3-3-31～3-3-40，2003.
- 15) 諫早干潟ネット水質データの基礎知識 < <http://www.isahaya-higata.net/isa/libr/lb971030suishitu.html> > (2010/3/17アクセス)

(原稿受付 2010.3.20)