

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)

梅崎健夫¹, 河村 隆¹, 河野剛志², 河崎 彰²,
野村忠明³, 大寺正志³, 藤森徳雄⁴, 細野武久⁵, 西井 淳⁵,
境 大学⁶, 岡村昭彦⁷, 近藤誠二⁸

¹信州大学工学部, ²宇部工業(株), ³錦城護謨(株),
⁴(株)中部測地研究所, ⁵(株)ランド・エコ,
⁶三井金属資源開発(株), ⁷芦森工業(株), ⁸(株)田中

Demonstration of Artificial Beach with Natural Zeolite in Lake Suwa (Part 1)

T. Umezaki¹, T. Kawamura¹, T. Kono², A. Kawasaki²,
T. Nomura³, M. Oodera³, T. Fujimori⁴, T. Hosono⁵, A. Nishii⁵,
D. Sakai⁶, A. Okamura⁷ & S. Kondo⁸

¹Faculty of Engineering, Shinshu University, ²Ube Kogyo Co., Ltd.,
³Kinjo Rubber Co., Ltd., ⁴Chubusokuchi Laboratory Co., Ltd.,
⁵Land Eco Corporation, ⁶Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd.,
⁷Ashimori Industry Co., Ltd. & ⁸Tanaka 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(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 河川の流入河川に対して, 流出河川は天竜川 1 河川のみを典型的な閉鎖性水域である。湖周辺の都市化の進展に伴い, 高度経済成長の著しい昭和 30 年代後半頃から湖の富栄養化による水質汚濁が急速に進み, アオコの発生, 悪臭などの環境問題が引き起こされている。そのため, 諏訪湖浄化対策の一環として昭和 44 年から底泥の浚渫が行われたが, 浚渫した底泥を投入する囲繞堤のための広大な用地の確保や長期間の天日乾燥に付随する問題および公共事業の縮小により, 現在, 浚渫事業は中止されている。一方, 流入河川対策として, 昭和 46 年から流域下水道の整備が開始され, 現在, 普及率は 97.6%に至っている。また, 近年では, 理化学的な水質調査とともに, 生物的な環境修復として, 葦原再生などの水生植物帯による自然浄化機能の回復を目指して, 諏訪湖畔の整備が実施されている。これらは, いわば, 体質改善・基礎体力増強のための東洋医学的手法であり, 近年その効果

が徐々に表われてきている。しかし, 依然として夏場には大量のアオコが発生するなど, さらなる改善が望まれている。そこで, この機会に, 積極的な対処療法を施す西洋医学的手法, すなわち, 工学的な水質・底質浄化対策を取り入れることが, 諏訪湖の浄化をさらに前進させるものと考えられる。

本文では, ゼロエミッション型の水質・底質浄化対策として, マルチドレーン真空脱水法を用いた閉鎖性水域底泥の脱水・浄化システム^{2),3)}および天然ゼオライト遊水なぎさを提案する。そして, 諏訪湖湖岸において実施した天然ゼオライト遊水なぎさの実証実験について論じる。

2. ゼロエミッション型の水質・底質浄化対策

(1) マルチドレーン真空脱水法を用いた閉鎖性水域底泥の脱水・浄化システム

マルチドレーン真空脱水法(図-1)^{2),3)}は, 複数のドレーンを設置した脱水槽と真空ポンプを有する簡易な設備により, 高含水比で泥水状の底泥を短時間で脱水・浄化する技術であり, 本脱水法を用いた閉鎖性水域底泥の脱水・浄化システム^{2),3)}を提案している(図-2)。本システムは, 一旦浚渫した底泥を船上もしくは湖岸などの簡易施設により脱水・浄化処理



図-1 マルチドレーン真空脱水法の概要（室内大型実験）

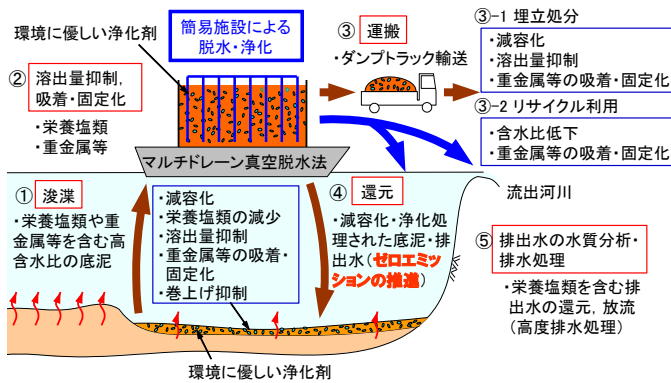


図-2 マルチドレーン真空脱水法を用いた脱水・浄化システム

した後に、再度湖底に還元することにより、ゼロエミッションを推進するものである。このことにより、底泥の減容化、栄養塩類の減少・溶出量抑制、重金属等の吸着・固定化および底泥の巻上げ抑制などを実現する。詳細は文献3)を参照されたい。

(2) 天然ゼオライト遊水なぎさ

天然ゼオライト遊水なぎさは、天然ゼオライト(写真-1)の浄化作用により、水質・底質浄化および悪臭防止の効果、親水・遊水の機能を期待するものであり、生活により密着した湖岸付近に対象範囲を区切って脱水・浄化システムを適用したものである。対象範囲を区切ることは、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-3(a)に示すように、土嚢(補強袋)などに天然ゼオライトなどの浄化剤を充填し、水面上まで土嚢を積み上げ、湖岸に圍繞堤を施工する。透水性の圍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。湖底が泥質土の場合は、図-3(b)に示すように、圍繞堤内から浚渫した底泥に浄化剤として天然ゼオライトを添加した後、マルチドレーン真空脱水法を適用することにより脱水・浄化処理して、圍繞堤内に還元する。さ

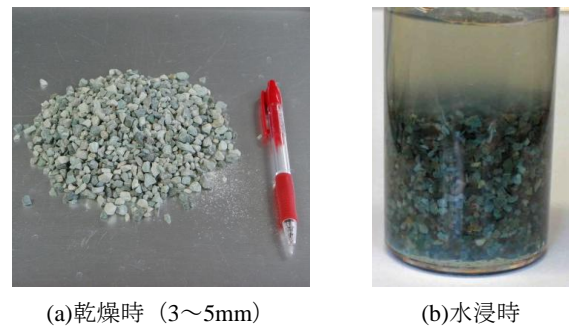


写真-1 天然ゼオライト

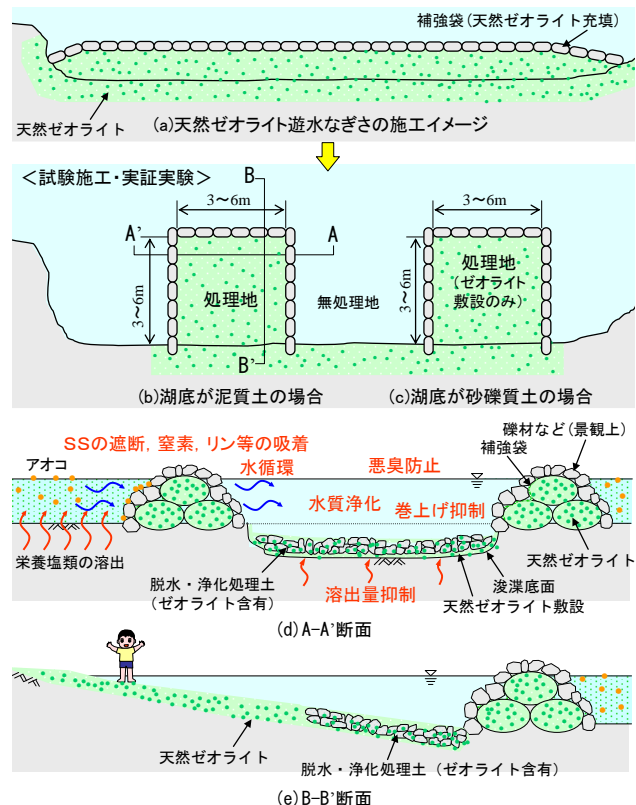


図-3 天然ゼオライト遊水なぎさ（イメージ図）

らに、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-3(b)~(e))。一方、湖底が砂礫質

表-1 MG イワミライトの組成・成分, 品質および物性⁵⁾

組成・成分	%	PH	6.5~7.5
珪酸全量(SiO ₂)	66.57	塩基置換 容量 (CEC)	120~ 180 _{meq} /100g
酸化アルミニウム (Al ₂ O ₃)	12.62		
酸化鉄(Fe ₂ O ₃)	1.03	吸水率	25%
苦土全量(MgO)	0.54	嵩比重	1.0
石灰全量(CaO)	2.55	・主成分：モルデナイト	
曹達全量(Na ₂ O)	1.52	・採掘：露天掘	
加里全量(K ₂ O)	2.17	・細孔径：6.7×7.0Å	
リン酸全量(P ₂ O ₅)	0.02	・踏圧に耐え、崩壊しにくい	



写真-2 天然ゼオライトの電子顕微鏡写真⁴⁾

土で覆われている場合は、浚渫・脱水・浄化・還元は行わない。写真-1に示すように、天然ゼオライトは砂粒のように粒径を揃えることが可能であり、水浸させると翠色を呈し、人工なざきとしての美観も期待される。

天然ゼオライト (MGイワミライト)^{4)~7)}は、天然に産出する無機資源を原料として製造される(写真-1)。表-1にMGイワミライトの組成・成分, 品質および物性を示す。その主な用途は、土壌改良, 水質浄化, 畜産飼料等であり⁴⁾, 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空洞が存在し (MGイワミライトの細孔径：6.7×7.0Å, 写真-2), そこに水分やガスを吸着する性質がある⁵⁾。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⁴⁾, 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⁶⁾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⁷⁾の効果がある。

3. 実証実験のための現地調査

(1) 施工箇所および現地調査の概要

実証実験は、図-4に示す諏訪湖湖岸において実施した。施工前の2007年8月17日, 2008年2月8日

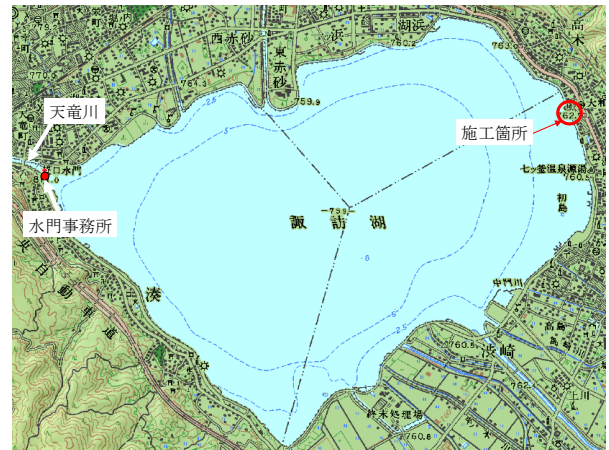


図-4 施工箇所



写真-3 施工箇所の状況 (2007年8月17日)



写真-4 施工箇所の状況 (2008年2月6日)



写真-5 施工箇所の状況 (2008年3月12日)

および施工直前の2008年3月12日の現地の状況をそれぞれ写真-3~5に示す。

測量調査を2008年1月10日および2月6日に、ボーリング調査を2008年1月31日に、湖底調査を2008年2月29日に、それぞれ実施した。現地調査の状況を写真-6~11に示す。測量調査は、7測線(図-5)における水準測量を実施した。ボーリング調査は、図-5に示すNo.A~Cの3カ所において実施し(写真-7および8), 地表面から深度5mまでのボーリングコアを採取した。湖底調査においては、図-5に示すNo.G~Iの3ヶ所において全面凍結した湖面上の氷に穴を開け(写真-9), その穴から採泥器によ

り底質を採取した（写真-10および11）。

(2) 調査結果および考察

調査結果に基づいて、図-5および6に示す詳細な平面図および断面図をそれぞれ作成した。ボーリング調査から得られたボーリングコアおよび結果の一例を写真-12および図-7に示す。調査の結果、施工箇所について以下のことを明らかにした。①湖岸および水深0.5~1.0m程度以浅の湖底は、湖岸改修により砂礫質土で覆われている。②測線No.0, No.A, No.1, No.BおよびNo.2においては湖岸から5m程度、No.CおよびNo.3においては湖岸から10m程度の範囲において、水深は0.5~1.0m程度まで徐々に増し、その後2m程度まで急激に深くなる。③湖岸から15m程度の場所の湖底は、No.2およびNo.Cでは泥質土であり、No.3では砂礫質土である。

4. 囲繞堤の施工と天然ゼオライトの敷設

(1) 施工平面および断面

現地調査の結果、諏訪湖の凍結および天候を考慮して、湖底が砂礫質土の場合について実証実験を実施することとした。本年度は、表-2に示すように、天然ゼオライトの使用量と囲繞堤内外の湖水の流入量を変えた2ケースを実施した。図-8および9に囲繞堤断面の模式図および施工平面図を示す。大型土



写真-6 水準測量の状況



写真-7 ボーリング調査の状況(1)



写真-8 ボーリング調査の状況(2)



写真-9 採泥用の穿孔



写真-10 底泥の採取(1)



写真-11 底泥の採取(2)

嚢（ロジパックE, 1.5m×2.5m）に天然ゼオライト（MGイワミライト, 粒径3~5mm）を充填し、水面上まで土嚢を積み上げ、コの字型の囲繞堤（6m×

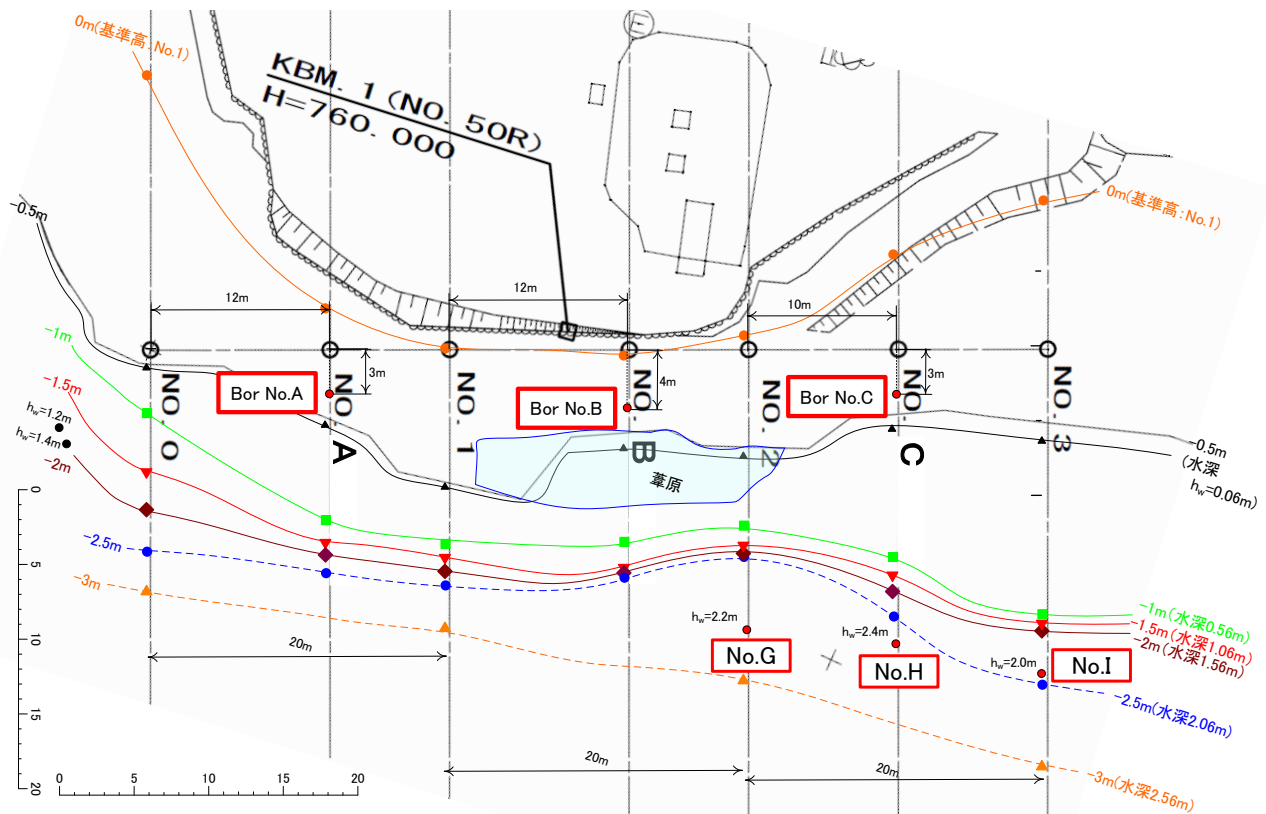


図-5 ボーリング調査地点および測量結果

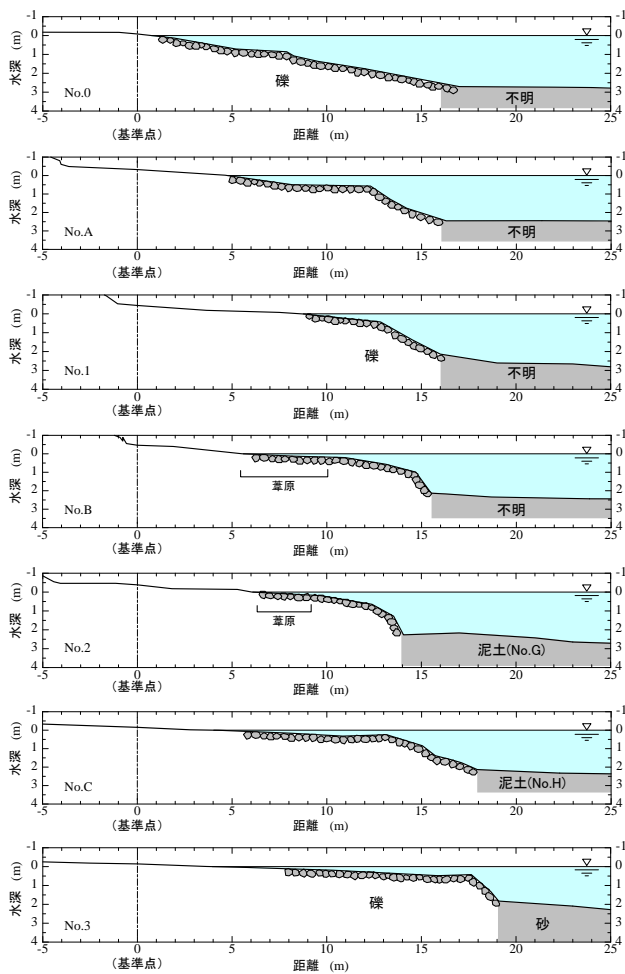


図-6 測量結果（施工箇所）の断面図



写真-12 ボーリングコアの一例 (No.A)

4m程度)を湖岸に施工した。なお、透水シートは湖水中の懸濁物をろ過するためと大型土嚢を紫外線から保護するために用いた(図-8)。

(2) 使用資材とその内訳

実証実験に用いた資材とその内訳を表-3にまとめる。大型土嚢(ロジパックE)⁸⁾および透水シート(ニードフルマット NN-6T)⁹⁾の仕様を表-4および5に示す。

(3) 天然ゼオライト・玉砂利の袋詰め作業

天然ゼオライト(MGイワミライト, 粒径3~5mm)および玉砂利の袋詰め作業の状況を写真-13~16に

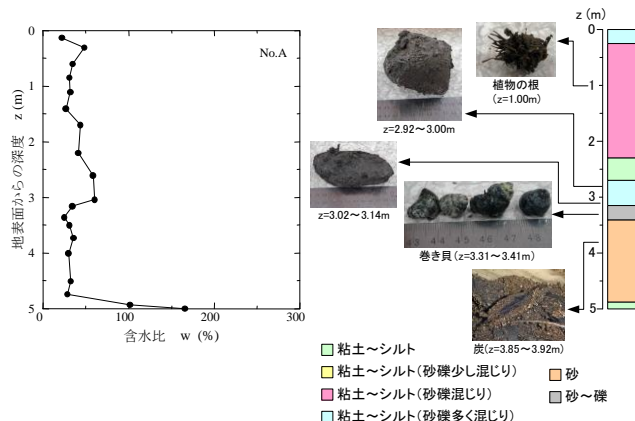


図-7 含水比の深度分布と土質柱状図の一例 (No.A)

表-2 実施したケース

湖底の状態	ケース	条件
砂礫質土	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, 囲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
泥質土を想定	ケース 3 (次年度実施)	脱水・浄化処理した底泥を囲繞堤内に還元する。(浚渫・脱水・浄化・還元のゼロエミッションシステムを想定)

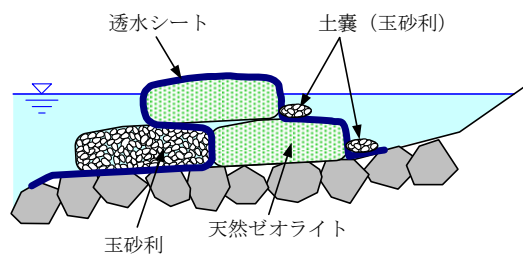


図-8 施工断面の模式図

示す。大型土嚢(ロジパックE, 1.5×2.5m)内には, 天然ゼオライト 1.2t程度, 玉砂利 1.8t程度をそれぞれ充填した。天然ゼオライトを充填した大型土嚢全体の透水係数は, 大型土嚢の透水性を考慮しても 10^{-2} cm/s程度であり, 大きい値である。

(4) 囲繞堤(土嚢積み)の施工

写真-17~28に囲繞堤の施工状況を示す。大型土嚢(1.8×1.2×0.5m, 天然ゼオライト詰め: 1.2t, 玉砂利詰め: 1.8t)をクレーンで吊り下げて所定に位置(最大水深約0.8m)に設置した(写真-17~19)。このとき, 潜水士により所定の位置に正確に設置し

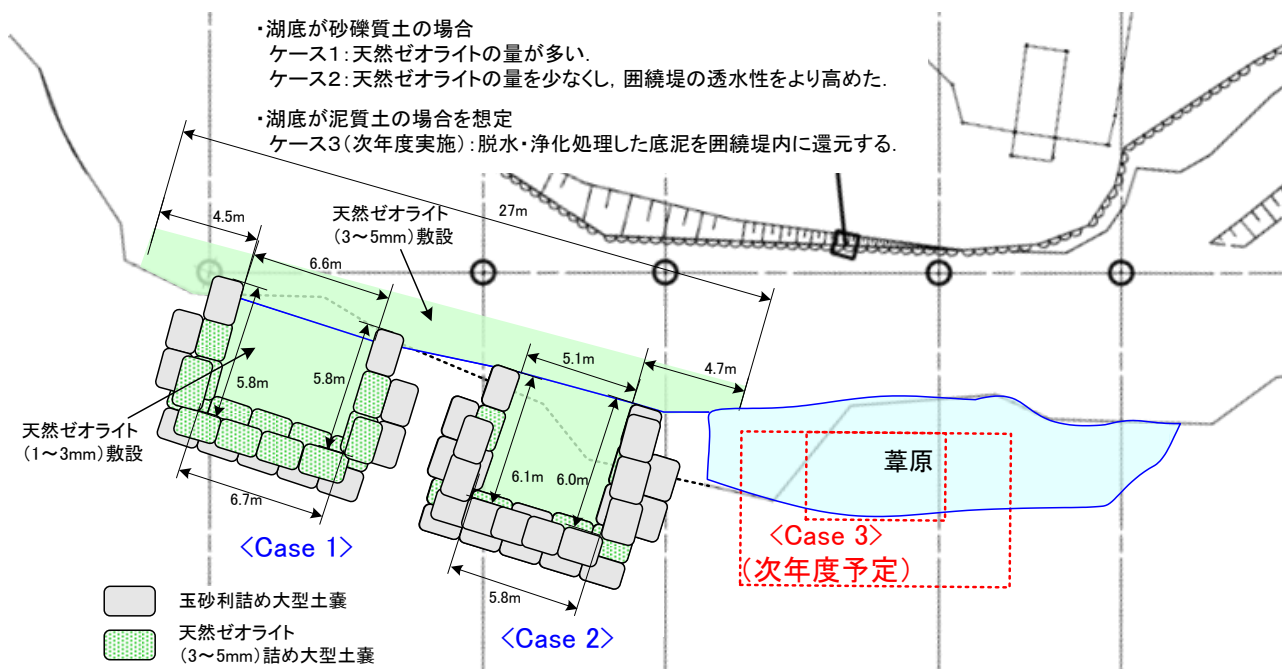


図-9 施工平面図

表-3 使用資材とその内訳

・大型土嚢 (ロジパック E, 1.5×2.5m)		
ケース 1	天然ゼオライト詰め (15 袋) + 玉砂利詰め (11 袋)	26 袋
ケース 2	天然ゼオライト詰め (6 袋) + 玉砂利詰め (24 袋)	30 袋
		56 袋
・天然ゼオライト (MG イワミライト, 粒径 3~5mm)		
ケース 1	大型土嚢詰め (1.8×1.2×0.5 m ≒ 1.1m ³ , 1.2t) × 15 袋	18t
ケース 2	大型土嚢詰め (1.8×1.2×0.5 m ≒ 1.1m ³ , 1.2t) × 6 袋	7.2t
	(土嚢湖岸に敷設 (27×2×0.1m ≒ 5.4m ³))	20~30 袋 5t
		30.5t
・天然ゼオライト (MG イワミライト, 粒径 1~3mm)		
ケース 1	の圍繞堤内に敷設 (6.6×5.8×0.07m ≒ 2.6m ³) 20kg×120 袋	2.4t
ケース 2	の圍繞堤内に敷設 (5.4×6.0×0.08m ≒ 2.6m ³) 20kg×120 袋	2.4t
		4.8t
・玉砂利		
ケース 1	大型土嚢詰め (1.8×1.2×0.5 m ≒ 1.1m ³ , 1.8t) × 13 袋	14.3m ³ (23.4t)
ケース 2	大型土嚢詰め (1.8×1.2×0.5 m ≒ 1.1m ³ , 1.8t) × 22 袋	24.2m ³ (39.6t)
	(土嚢)	100 袋
		40m ³ (65.5t)
・透水シート (ニードフルマット NN-6T, 1 巻 : 2×10m)		
ケース 1	2×5m×14 枚	7 巻
ケース 2	2×5m×16 枚	8 巻
		15 巻
・砂 : 作業ヤード整地用		
		2m ³

た(写真-18~20)。1 段目外側の土嚢を設置した後に、透水シートを設置した(写真-20)。2 段目の土嚢を設置(写真-21)した後、水面上の土嚢を透水シートで被覆した(写真-22)。さらに、圍繞堤の低い

部分を土嚢(天然ゼオライト)で嵩上げし(写真-25)、透水シートの端部を土嚢(玉砂利)で固定した(写真-26)。圍繞堤の施工完了後の状況を写真-27 および 28 に示す。

表-4 大型土嚢（ロジパックE）の仕様⁸⁾

タイプ	一般土壌用		縦方向	横方向
規格	1m ³	引張り強さ (N/5cm)	3,000	3,300
材質	ポリエステル 繊維	伸び (%)	10	10
最大容量	1.3m ³	引裂強さ (N)	800	800
標準寸法	折幅 1,500mm, 長さ 2,500mm	透水係数 (cm/s)	1.5x10 ⁻³	

表-5 透水シート（ニードフルマット NN-6T）の仕様⁹⁾

厚さ	6mm		タテ	ヨコ
幅	2.0m	引張り強さ (N/5cm)	400	1,000
長さ	10m			
質量	700g/m ²	伸び (%)	80	60



写真-13 袋詰め作業用足場



写真-14 大型土嚢の足場への設置



写真-15 袋詰め作業の状況



写真-16 結束バンドによる試料投入口の密封



写真-17 土嚢の吊り下げ(1)



写真-18 土嚢の吊り下げ(2)



写真-19 1段目土嚢の設置



写真-20 透水シートの設置



写真-21 2段目土嚢の設置



写真-22 透水シートの巻込み



写真-23 透水シートの設置



写真-24 2段目土嚢の設置



写真-25 低い部分を土嚢（天然ゼオライト）で嵩上げ



写真-26 土嚢（玉砂利）による透水シートの固定



写真-27 囲繞堤の施工完了（ケース1）



写真-28 囲繞堤の施工完了（ケース2）

(5) 囲繞堤内への天然ゼオライトの敷設

写真-29 および30に、ケース1およびケース2における囲繞堤内への天然ゼオライト敷設の状況を示す。MGイワミライト（粒径1~3mm）を約10cmの厚さで敷設した。

(6) 湖岸への天然ゼオライトの敷設

写真-31 および32に、湖岸への天然ゼオライト敷設の状況を示す。MGイワミライト（粒径3~5mm）を約10cmの厚さで敷設した。敷設の詳細は、図-9を参照されたい。

(7) 完成後の状況

写真-33 および図-10に完成後の全景および囲繞



写真-29 圍繞堤内への敷設



写真-30 潜水士による敷き均し



写真-31 湖岸への敷設



写真-32 バックホウによる敷き均し



写真-33 施工完了後の全景 (2008年3月15日)

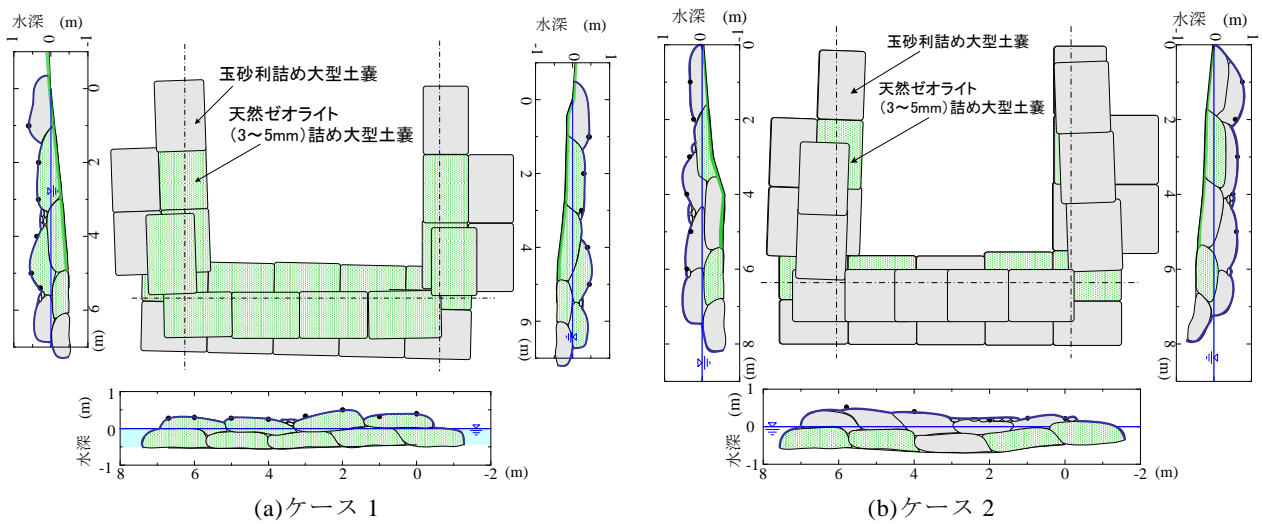


図-10 完成後の断面図



写真-34 侵入防止柵の設置

堤の断面図を示す。さらに、侵入防止柵 (写真-34) を設置した。

5. 水質浄化の検証のための採水

図-11 と写真-35 および 36 にそれぞれ採水地点と採水の状況を示す。圍繞堤内に No.1~4 の 4 点、圍

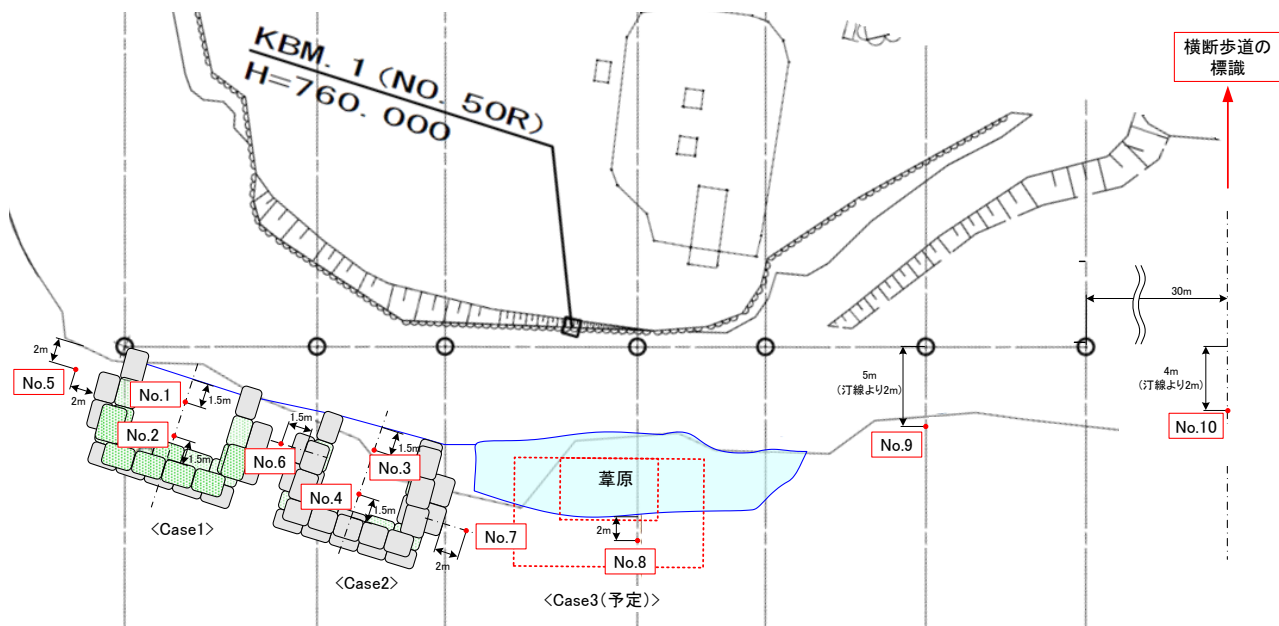


図-11 水質分析用検体の採水箇所



写真-35 採水地点 (No.2)



写真-36 採水地点 (No.6)

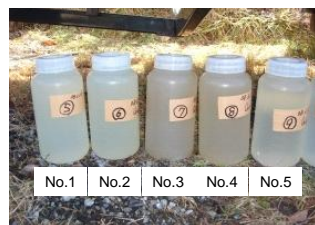
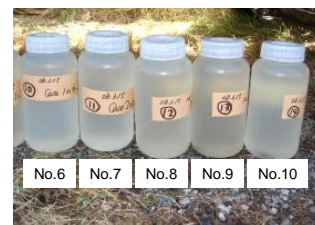


写真-37 採取した検体 (2008年3月15日採水)



繞堤周辺に No.5~7 の 3 点，自然状態の圍繞堤外に No.8~10 の 3 点の合計 10 点において，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た。

圍繞堤内の天然ゼオライト敷設後における平成 20 年 3 月 15 日に採水した検体を写真-37 に示す。現在，表-6 に示す項目について水質分析を実施中である。

6. まとめと今後の予定

ゼロエミッション型の水質・底質浄化対策として，マルチドレーン真空脱水法を用いた閉鎖性水域底泥の脱水・浄化システムおよび天然ゼオライト遊水なぎさを提案した。

①現地調査

実証実験に先立って，施工箇所の測量調査，湖底調査およびボーリング調査を実施し，土質状況を明らかにするとともに，詳細な地形図を作成した。その結果，実証実験の条件を決定した。

②天然ゼオライト遊水なぎさの実証実験

湖岸の改修状況やボーリング調査による土質状況，

表-6 水質分析の項目

水質分析	COD, BOD, SS, 全窒素, 全リン, 亜硝酸性窒素, アンモニア, 硫化水素, pH, 濁度
------	---

湖面凍結および天候などを考慮して，本年度は，湖底が砂礫質土により被覆されている場合 (図-3(b)) について実施した。ただし，天然ゼオライトの使用量と圍繞堤内外への湖水の流入流出量を変化させた 2 ケースの実証実験を実施した。

③湖水の採水と水質分析

施工完了前，完了後 1 日の湖水を圍繞堤内外の 10 箇所の水面付近で採取し，現在，表-6 に示す項目について水質分析を実施中である。今後，天然ゼオライト遊水なぎさの有効性を検証するために，施工後 1, 2, 3, 5, 7, 9, 12, 24 カ月において採水し，水質分析を実施する予定である。ただし，採水地点，採水期間および分析項目は状況に応じて変更する場合もある。

④平成 20 年度の予定

本来，図-2 に示した脱水・浄化システムは，広範囲に浚渫した底泥を脱水・浄化処理後に，再度湖底へ還元することを想定している。ここでは，図-3(b)

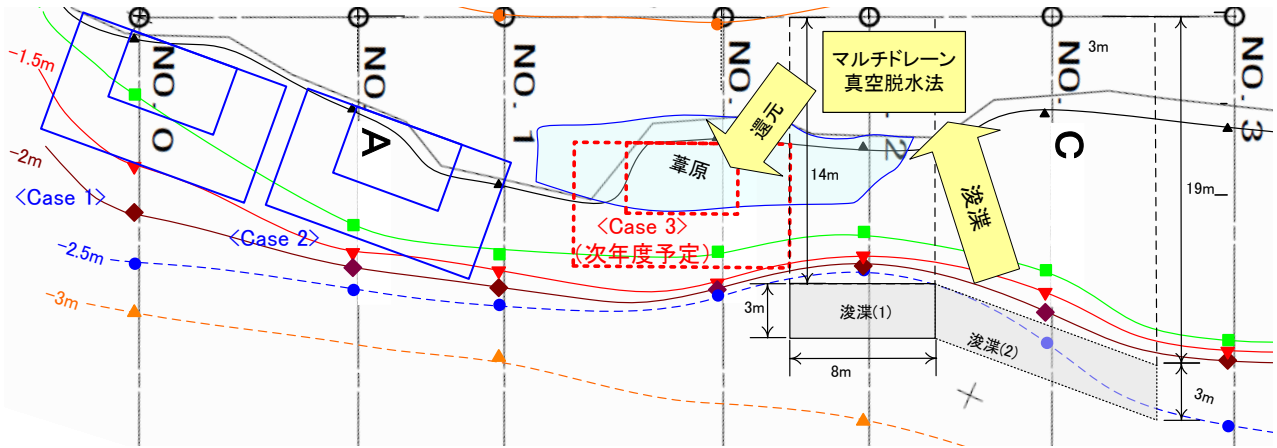


図-12 施工箇所の概要

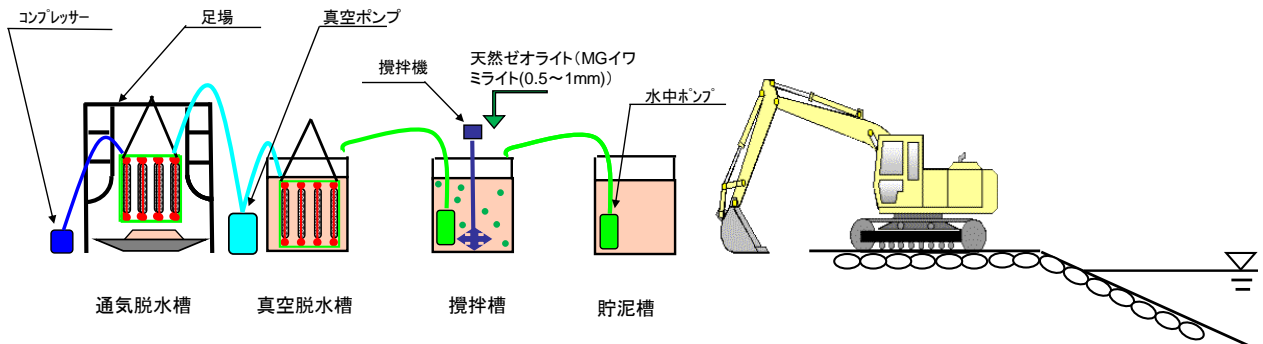


図-13 マルチドレーン真空脱水法の施工概要

に示したように、圍繞堤を施工し、堤外から浚渫した底泥を脱水・浄化処理した後に堤内に還元する実証実験を実施する。そのために施工箇所を10m程度南方に移動して同程度の圍繞堤を施工する。図-12および13に施工箇所およびマルチドレーン真空脱水法の施工概要を示す。対策工の施工性および有効性を検証するために、継続的な管理および定期的な水質・底質分析を実施する。分析項目は、表-7に示すとおりである。

謝辞

実証実験は、長野県諏訪建設事務所により委託された「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」として実施された。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：諏訪湖底泥の脱水・浄化対策の検討，環境科学年報 -信州大学-，第29号，pp.29-38，2007.
- 3) 梅崎健夫，河村 隆，河野剛志，河崎 彰，野村忠明，

表-7 水質・底質分析の項目

水質分析	COD, BOD, SS, 全窒素, 全リン, 亜硝酸性窒素, アンモニア, 硫化水素, pH, 濁度
底質	全窒素, 全リン, 亜硝酸性窒素, アンモニア, 硫化水素, pH, 酸化還元電位 (ORP)

細野武久，境 大学：マルチドレーン真空脱水法による閉鎖性水域底泥の脱水・浄化システムの開発，ジオシンセティックス論文集，第22巻，pp.177-184，2007.

- 4) MINDECO IWAMI PROFILE イワミライト，三井金属資源開発株式会社，2006.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 減量化小型袋 ロジパックEB，芦森工業株式会社.
- 9) 高度化・大型化・省力化・・・土木建設工事の明日を拓く<ニードフルマット>，株式会社田中.

(原稿受付 2008.3.20)