

諏訪湖底泥の脱水・浄化対策の検討

梅崎健夫¹, 河村 隆¹

¹ 信州大学工学部

Study on Countermeasure of Dewatering and Purification of Bottom Sediments in Lake Suwa

T. Umezaki¹ & T. Kawamura¹

¹ Faculty of Engineering, Shinshu University

キーワード：諏訪湖，底泥，浚渫，脱水，浄化，全窒素，全リン，ゼオライト

Keywords: Lake Suwa, Bottom sediments, Dredging, Dewatering, Purification, T-N, T-P, Zeolite

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，図-1 に示す主要 4 河川を含む 31 河川の流入河川に対して，流出河川は天竜川 1 河川のみ典型的な閉鎖性水域であり，多量の土砂の流入により年間約 2cm の底泥の堆積が確認されている^{2), 3)}。

閉鎖性水域では，図-2 に示すように，土砂流入の他に，窒素・リン等の栄養塩類や場合によっては重金属等の汚染物質も流入し，さらに，それらの底泥からの溶出も加わって，富栄養化によるアオコの発生や環境汚染等が問題となる．それらの対策の一つとして底泥を除去するための浚渫が行われるが，その場合にも図-3 に示すような問題点が指摘される．すなわち，底泥の詳細な堆積状況が不明であるために，経済的な浚渫計画の立案が困難であり，また，浚渫においては，底泥の巻上げに起因する水質汚濁も懸念される．浚渫された底泥は，埋立処分や一部リサイクルされるが，高含水比で取扱が困難であるため排泥管圧送システム等の特別な設備や大規模な処分場が必要である．一方，減容化やその後の取扱を容易にするために，機械脱水や囲繞堤への埋立てにより，底泥の脱水を行う場合もある．しかし，汎用の機械脱水では，一般に大規模な設備が必要であり，多大なコスト負担やエネルギー消費等の問題も指摘される．さらに，脱水処理後の土などに重金属等の汚染物質が含まれる場合には，浄化処理や埋立処分場の管理も必要となる．

諏訪湖においても，浄化対策の一環として昭和

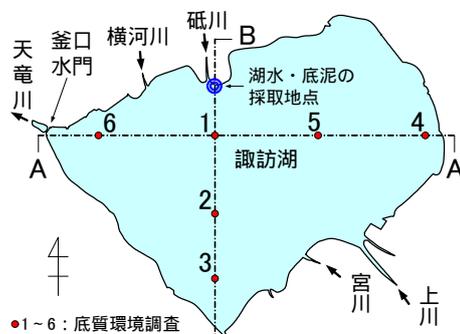


図-1 諏訪湖の主要河川と調査地点

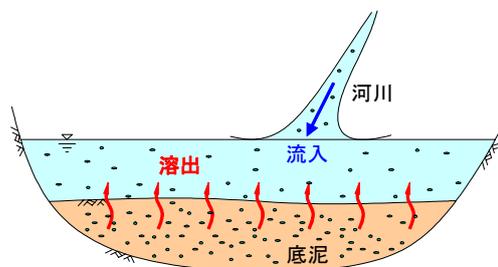


図-2 閉鎖性水域における栄養塩類・重金属等の河川からの流入と底泥からの溶出

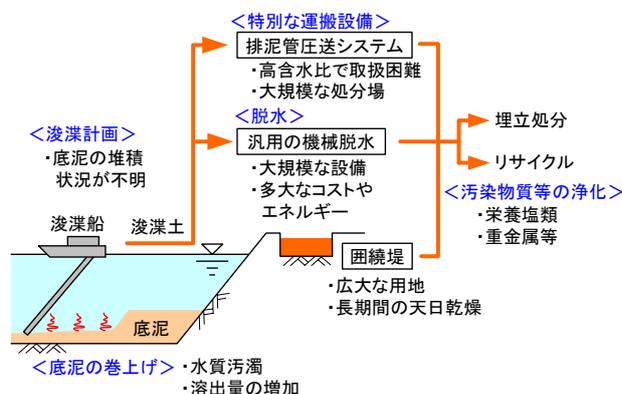


図-3 底泥浚渫の現状と問題点

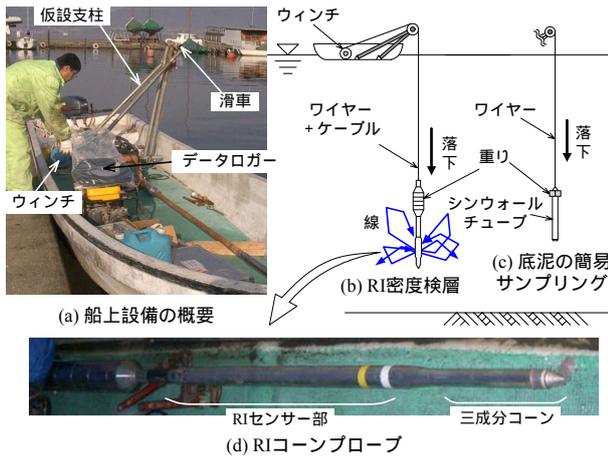


図-4 諏訪湖における底質環境調査

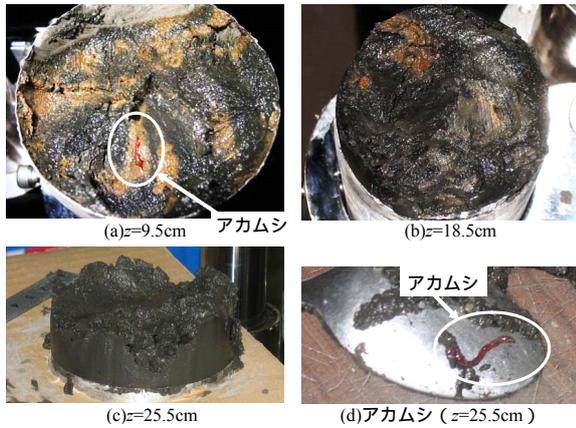


写真-1 採取した試料の状態（諏訪湖 No.1）

44 年から浚渫が行われ、湖岸に囲繞堤を築造し浚渫した底泥の脱水を図っている。しかし、この場合も広大な用地や長期間の天日乾燥に付随する問題が指摘され、浚渫事業は中止されている。

本文は諏訪湖底泥の脱水・浄化対策について論じたものである。まず、既往の研究成果³⁾⁻⁶⁾に基づいて、諏訪湖の底質環境調査について論じた。次に、新たに開発したマルチドレーン真空脱水法⁷⁾⁻⁹⁾を用いた諏訪湖底泥の脱水・減容化について論じた。さらに、浄化剤として天然ゼオライトを用いた場合の全窒素および全リンの浄化について検討した。

2. 諏訪湖における底質環境調査³⁾⁻⁶⁾

梅崎ら³⁾⁻⁶⁾は、2005年11月28日に小型船上から、自重貫入型 RI(ラジオアイソトープ)密度検層 (RI-DL)、三成分コーン貫入試験 (CPT) および底泥の簡易サンプリング (TTS) による底質環境調査を実施した。密度検層に用いた RI センサー¹⁰⁾は、セシウム 137(¹³⁷Cs、半減期 30 年)の線源とヨウ化ナトリウム (NaI) シンチレーション検出

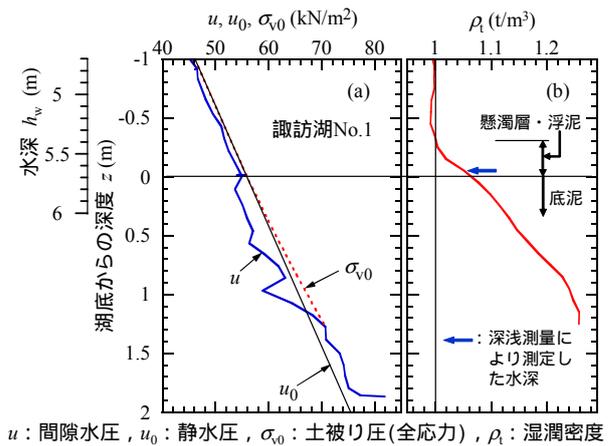


図-5 三成分コーン貫入試験および RI 密度検層の主な結果の一例

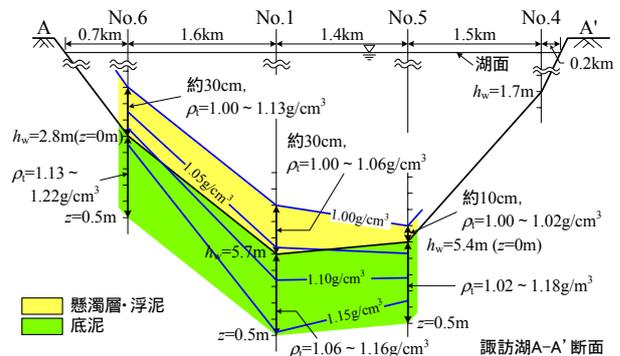


図-6 懸濁層・浮泥および底泥の堆積状況の一例

器で構成される RI の密封線源は低レベルであり、地盤調査法として多くの実績を有している。

調査地点および船上調査の概要をそれぞれ図-1 および図-4 に示す。RI-DL および CPT では、RI コーンプローブをワイヤーで吊るし、10cm/s 程度の速度で落下させ湖底に貫入した。TTS では、シンウォールチューブを自由落下に近い速度で落下させ湖底に貫入し、ウィンチによって引揚げて試料を採取した。

図-5 に CPT および RI-DL から得られた測点 No.1 における u , u_0 , σ_{v0} および ρ_t の深度分布を示す。原位置において高精度で ρ_t の分布を計測することができる。 u が u_0 分布から変化する深度を湖底面 (浮泥と底泥の境界面) として判断することができ、この深度は音響測深器を用いた深浅測量による水深とほぼ一致する。

写真-1 に深度 z ごとの試料の状態を示す。試料の上端面を湖底面 ($z=0$ m) とすると、湖底面から深度 $z=53.5$ cm の試料が採取された。アカムシ (写真-1(a), (d)) やそれが生息していたと考えられる穴も確認された。

図-6 に、 ρ_t 分布から求めた懸濁層・浮泥および

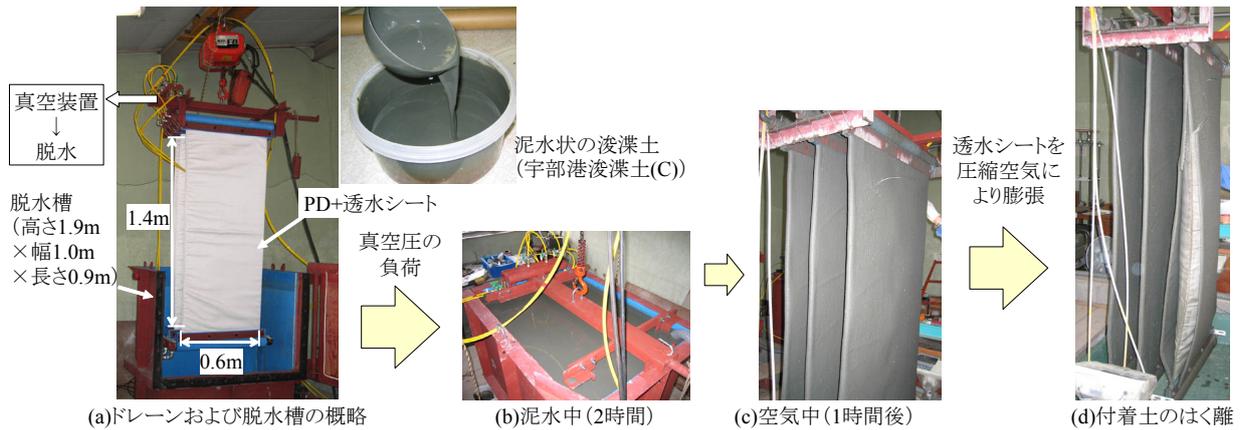


図-7 マルチドレーン真空脱水法の概要

底泥の堆積状況の一例を示す。図中には、等密度線も示している。RI 密度検層をさらに広範囲に実施することにより、諏訪湖全域における詳細な底泥の堆積状況を評価することができ、底泥の浚渫計画に有効である。

3. マルチドレーン真空脱水法による諏訪湖底泥の脱水・減容化⁷⁾⁻⁹⁾

(1) 脱水法の原理と概要

マルチドレーン真空脱水法は、複数のドレーンと真空ポンプを用いた簡単な方法により、高含水比土を短時間で脱水・減容化させるものである。図-7 にその概要を示す。ドレーンは、地盤改良で使用されているプラスチックボードドレーン(PD)をポリプロピレンシート(透水シート)で覆って作製したものである(図-7(a))。まず、複数のドレーンを設置した脱水槽に高含水比で泥水状の底泥や汚泥等を投入し、ドレーン内を真空ポンプを用いて減圧し、真空圧密によりドレーンの表面に土を付着させて脱水する(図-7(b))。その後、脱水された土が付着したドレーンを空气中に引上げ、さらに真空圧を継続して負荷し、真空圧密および通気乾燥により含水比をさらに低下させる(図-7(c))。そして、ドレーンの表面の透水シートを圧縮空気により膨張させて、ドレーンに付着した土をはく離させる(図-7(d))。

本脱水法の基本的な考え方は以下のとおりである。

大きな礫分の除去を除いて、浚渫した底泥の厳密な分級を行わない。

凝集剤や固化剤等の添加剤をできるだけ用いない。

中小規模の浚渫埋立工事においても有効な移

設可能で簡易な脱水技術とする。

実務で許容される 2~3 時間の脱水によりダンプトラックで運搬できる程度まで含水比を低下させる。

脱水後にドレーンに付着した土を簡単にはく離し、排出作業を容易にする。

脱水後の土はある程度の流動性を有し、その後の埋立作業やリサイクル作業を容易にする。

(2) 小型脱水実験の概要

本脱水法における付着土量に及ぼす影響要因や最適な脱水時間等の検討は、写真-1 に示す取扱が容易な小型脱水実験により検討することができる。ただし、実用機を想定した大型脱水実験(図-7)におけるドレーンへの付着土量は、小型脱水実験の 0.8 倍程度である。ドレーン(両面排水)の下端部をシールし、上端部を排水パイプ(外径 1.0cm, 内径 0.7cm)に固定した(写真-1(a))。ドレーン表面をガムテープでシールし、排水面を 16cm × 14cm (片面の排水面の面積: 0.0224m²)に設定した。排水パイプの一端をシールし、もう一端をウォータートラップを介して真空ポンプに接続した(写真-1(b))。

試料には、2005 年 12 月 5 日に砥川河口付近の湖岸から採取した底泥および湖水を用いた(図-1 参照)。底泥の採取にはバックホウを用いた。土質定数は表-1 に示すとおりである。

表-1 に実験ケースを示す。ケース(a)では、グラブ浚渫を想定して、採取した底泥を含水比調整せずに練返して用いた(図-8(a), $w_0=103.5\%$)。ケース(b)では、ポンプ浚渫を想定して、底泥に湖水を加えて練返した泥水を用いた(図-8(a), $w_0=267.7\%$)。また、ケース(b)+NZ は、天然ゼオライトを添加した脱水・浄化実験であり、後述する。

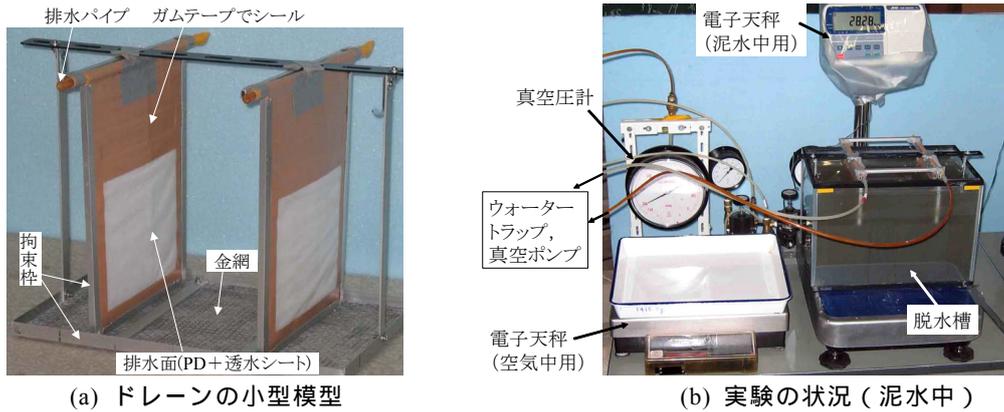


写真-1 小型脱水実験の概要

表-1 実験ケースの一覧

ケース	試料とその土質定数 *1	w_0 (%)	ρ_0 (g/cm ³)	M_0 (kg)
(a)	諏訪湖底泥	103.5 (1.5 w_L)	1.44	34.58
(b)	$\rho_s=2.671\text{g/cm}^3$, $w_i=114.3\%$, $w_L=70.3\%$, $w_p=49.4\%$, $I_p=20.9$, $F_C=6.8\%$, $A=7.46$, $C_C=0.56$, $c_v=598\text{cm}^2/\text{d}$, $k=3.3 \times 10^{-7}\text{cm/s}$	267.7 (3.8 w_L)	1.21	28.56
(b)+NZ		269.1 (3.8 w_L)	1.20	29.20 (0.45 *2)

ρ_s : 土粒子密度, w_i : 試料採取時の含水比, w_L : 液性限界, w_p : 塑性限界, I_p : 塑性指数, F_C : 粘土分含有率, A : 活性度, C_C : 圧縮指数, c_v : 圧密係数, k : 透水係数, w_0 : 初期含水比, ρ_0 : 初期湿潤密度, M_0 : 初期質量

*1: c_v , k は, 圧密試験 (JIS A 1217) から得られた平均圧密圧力 $\bar{p}=222\text{kN/m}^2$ における値, *2: ゼオライトの添加量 (乾燥質量の 6%)



図-8 小型脱水実験の脱水状況 (諏訪湖の底泥および泥水)

泥水もしくは底泥中で 2 時間真空圧を负荷した後 (写真-1(b)), ドレーンを脱水槽から引上げ空气中でさらに 1 時間真空圧を负荷した (図-8(b)). 実験終了後, ドレーンの表面に付着した土をはく離させるために, 真空ポンプを停止して 9.8kN/m^2 の圧縮空気によって透水シートを膨張させた.

(3) 実験結果および考察

図-8(a)に示すような底泥や泥水が合計 3 時間の脱水によりいずれも図-8(c)に示すように手で持てる程度の固さまで脱水される.

表-2 に脱水実験の結果の一覧を示す. 表中には後述する天然ゼオライトを添加した場合の実験結果 (ケース(b)+NZ) も示している. 脱水後の含水比 w_2 は液性限界の 1.2~1.3 倍であり, 繰返した際に適度な流動性を有している. 飽和度 $S_r=100\%$ を仮定して, 初期状態から脱水後の体積の減容化率を算定すると, 減容化率は, ケース(a) およびケース(b)において, それぞれ 13% および 57% である. すなわち, 泥水状の諏訪湖底泥を 2/5 程度まで減容化することができる.

(4) 実務における脱水装置の試算

表-2 実験結果の一覧

ケース	泥水中 2 時間脱水後			泥水中 2 時間 + 空气中 1 時間脱水後					
	M_{d1} (kg/m ²)	\bar{w}_1 (%)	ρ_1 (g/cm ³)	M_{d2} (kg/m ²)	\bar{d}_s (cm)	\bar{w}_2 (%)	ρ_2 (g/cm ³)	M_s (kg/m ²)	減容化率 (%)
(a)	468.7	87.1	1.50	463.6	8.9	85.1 (1.2w _L)	1.51	250.4	13
(b)	199.9	106.7	1.43	182.5	6.0	93.7 (1.3w _L)	1.48	94.2	57
(b)+NZ	162.7	110.7	1.42	147.9	5.3	90.4 (1.3w _L)	1.49	77.7	58

M_{d1} および M_{d2} : ドレーン単位表面積 (片面) あたりの付着土の湿潤質量, \bar{w}_1 および \bar{w}_2 : 付着土の平均含水比, ρ_1 および ρ_2 : 付着土の湿潤密度, \bar{d}_s : ドレーン片面に付着した土の厚さの平均, M_s : ドレーン単位表面積 (片面) あたりの付着土の乾燥質量, 減容化率(= $\Delta V_d/V_{d0} \times 100\%$), V_{d0} (m³/m²): ドレーン単位表面積 (片面) あたりの初期状態における付着土の体積, ΔV_d (m³/m²): ドレーン単位表面積 (片面) あたりの排水量に相当する体積

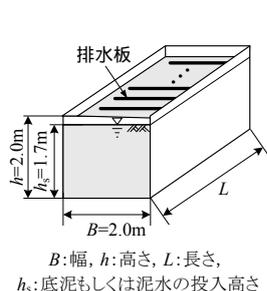


図-9 脱水槽の一例

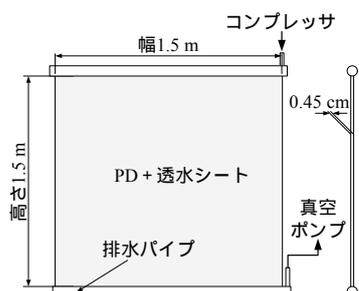


図-10 排水板の一例

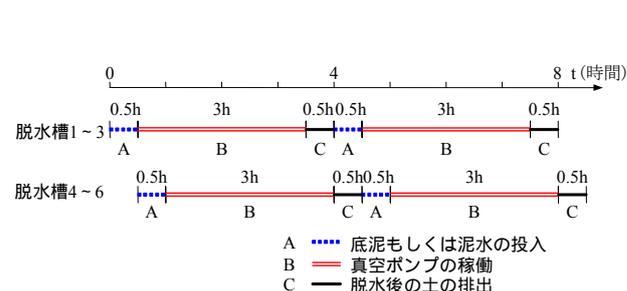


図-11 タイムテーブルの一例 (1日 300m³の浚渫, 脱水槽 6 機の場合を想定)

表-3 試算の条件および結果 (1日 300m³の浚渫, 脱水槽 6 機の場合を想定)

	初期 含水比 w_0 (%)	脱水後の 含水比 \bar{w}_2 (%)	付着土量 (片面) ^{*1} (kg/m ²)	L (m)	ドレーン (1.5m×1.5m) の枚数, 間隔	初期 土量 ^{*2} (t)	ゼオライト 添加量 ^{*3} (t)	付着 土量 ^{*4} (t)	排出 水量 ^{*4} (t)
(a)	103.5 (1.5w _L)	85.1 (1.2w _L)	370.8	4.1	20 枚, 20cm	36.1 [433.2]	-	1.6 [394.0]	0.16 [39.2]
(b)	267.7 (3.8w _L)	93.7 (1.3w _L)	147.8	3.9	25 枚, 15cm	30.1 [361.5]	-	0.63 [190.4]	0.57 [171.1]
(b)+NZ	269.1 (3.8w _L)	90.4 (1.3w _L)	119.8	3.6	30 枚, 12cm	30.1 [361.2]	0.49 [5.9]	0.52 [185.6]	0.48 [174.4]

*¹: 小型実験の結果×0.8, *²: 脱水槽 1 機に対する値, []内は底泥および泥水 300m³に対する値, *³: 乾燥質量の 6%, *⁴: 排水板 1 枚 (両面) に対する値

実験結果に基づいて, 実際の脱水作業を想定した実用機の試算を実施した. 計算条件を以下に示す (表-3).

浚渫した 300m³の底泥を 8 時間程度で脱水する作業を想定する. 脱水作業では, 図-9 に示すような脱水槽を 6 機使用する.

排水板は図-10 に示すように, 高さ 1.5m, 幅 1.5m, 厚さ 0.45cm とする.

図-11 に示すように, 脱水作業は脱水槽 6 機を用いて 8 時間で 2 サイクル実施する. 1 サイクルの脱水時間は泥水中 2 時間, 空气中 1 時間の合計 3 時間とする.

対象とする底泥もしくは泥水の初期含水比 w_0 および脱水後の含水比 \bar{w}_2 は, 表-2 における小型脱水実験の結果を用いる. また, 付着土量 (片面) は, 別途実施した大型脱水実験の結果を考慮して小型脱水実験の結果の 0.8 倍の値を用いる. ドレーン間隔は, 表-2 中の付着土の厚さ \bar{d}_s の結果を参考に設定する.

上記の条件に基づいて試算した結果を表-3 に示す. 表中には後述する天然ゼオライトを添加した場合の実験結果に基づく試算結果も示している. いずれにおいても脱水槽の大きさや必要なドレーン枚数は実行可能な結果である. 本脱水法は

諏訪湖底泥に対して高い実用性を有している。

4. マルチドレーン真空脱水法を用いた諏訪湖底泥の浄化対策の検討

(1) 脱水・浄化システムの原理と概要

図-12 にマルチドレーン真空脱水法を用いた脱水・浄化システムの概要を示す。本システムは、栄養塩類や重金属等を含む底泥を浚渫し、船上もしくは湖岸の簡易施設により脱水・浄化を行うものである。

本システムの基本的な考え方は以下の通りである。

栄養塩類や重金属等を含む底泥を湖底から除去するために浚渫する。

天然材料等の環境に優しい浄化剤を添加剤として用いる。浚渫した底泥に浄化剤を添加することにより、栄養塩類の溶出量抑制や重金属等の吸着・固定化を行う。

2~3時間の脱水後に、浄化剤を含む脱水後の土をダンプトラックで運搬し、埋立処分やリサイクル利用を行う。このことにより、底泥の減容化(含水比の低下)、栄養塩類の溶出量抑制、重金属等の吸着・固定化を行う。減容化・浄化処理された底泥を湖底に還元し、ゼロエミッションを推進する。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を実現する。

排出水の水質分析を行い、浚渫を行った水域もしくは下流の河川に放流する。なお、排出水中に環境基準を上回る栄養塩類や重金属等が含まれる場合には、別途その高度処理が必要である。

(2) 環境に優しい浄化剤

浄化剤を添加することによる環境負荷を小さくするためには、添加剤は化学物質ではなく、天然材料等が望ましい。本文では、研究の端緒として浄化剤に、写真-2 に示す天然ゼオライト(イワミライト)^{11)~13)}を用いた。表-4 にイワミライトの組成・成分、品質および物性を示す。天然ゼオライトは天然に産出する無機資源を原料として製造され、イワミライトの主成分はモルデナイトである。その主な用途は、土壌改良、水質浄化、

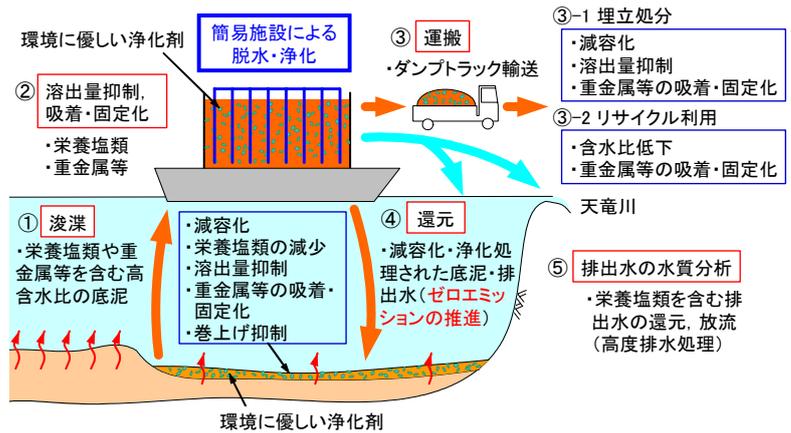


図-12 マルチドレーン真空脱水法を用いた脱水・浄化システム

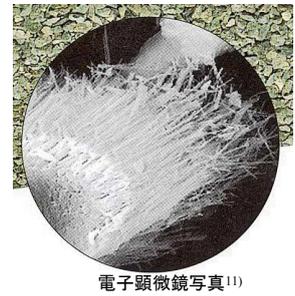


写真-2 天然ゼオライト(イワミライト)、粒径: 1~3mm)

表-4 イワミライトの組成・成分、品質および物性¹¹⁾

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	高比重	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: 6.7×7.0	
リン酸全量(P ₂ O ₅)	0.02	・踏圧に耐え、崩壊しにくい	

畜産飼料等であり¹¹⁾、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(イワミライトの細孔径は6.7×7.0である。)、結晶水・沸石水と呼ばれる水分を含有している¹²⁾。沸石水は加熱することにより脱水され、沸石水のあとが微少な細孔として残り、そこに水分やガスを吸着する性質がある¹²⁾。特に、窒素、カリウムを強力に吸着することが知られている¹¹⁾。また、吸着機能・陽イオン交換機能(図-13)によって、

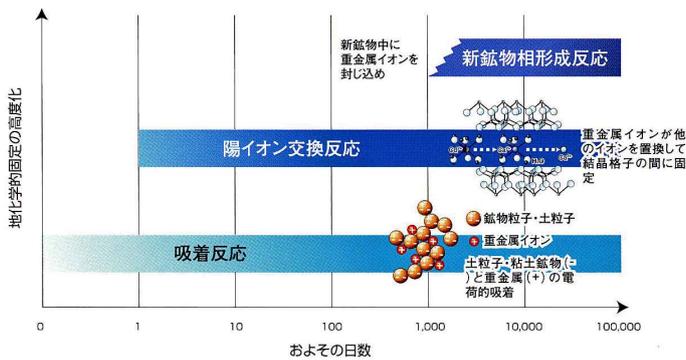


図-13 天然ゼオライトの地化学的固定化の概念¹³⁾

カドミウムや砒素等の重金属を固定化することも知られている¹³⁾。

(3) 全窒素・全リンの測定方法

図-14 に全窒素・全リンの測定手順を示す。土壌からの全窒素・全リンの溶出量の測定方法は土壌環境基準に規定されていないため、環境基準（環境庁告示第46号 土壌の汚染に係る環境基準について、付表、1）の重金属の測定法に準じて行った。すなわち、図-14 に示す方法で、底泥および脱水後の土中の土粒子および有機物等の表面に付着している全窒素および全リンを溶出させ検液を採取する。次に、JIS に規定されている方法（JIS K 0102 45.2, JIS K 0102 46.3）で検液中の全窒素および全リンの含有量を測定し、底泥および脱水後の土からの溶出量とした。一方、湖水、泥水および排水は、そのまま検液として用いてそれぞれの含有量を測定した。

(4) 実験結果および考察

底泥に湖水を加えて練返し天然ゼオライトを添加した脱水・浄化実験（ケース(b)+NZ）における実験条件および結果は、それぞれ表-1 および表-2 に示したとおりである。本ケースの減容化率および脱水後の含水比は、同程度の初期含水比のケース(b)とほぼ同じであり、脱水後の土はダンブトラックで運搬することが可能である。一方、付着土量は本ケースの方が20%程度少なく、処理される土量が少ない。しかし、300m³の浚渫を想定した脱水槽の大きさや必要なドレーン枚数は、表-3 に示したように、ケース(b)と同程度であり、天然ゼオライトを添加した場合においても十分

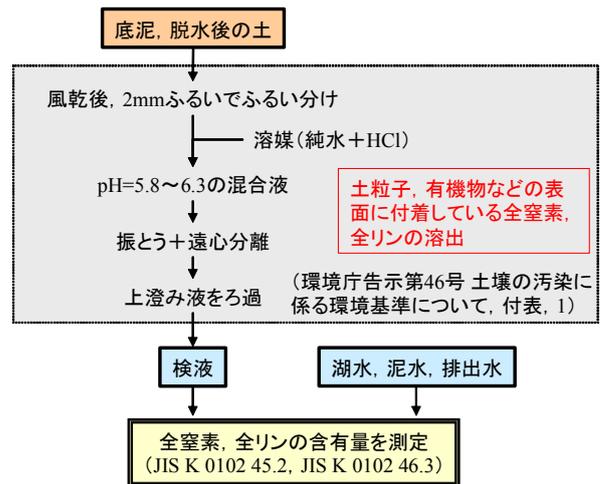


図-14 全窒素・全リンの測定手順

な実用性を有している。また、脱水後の土の湿潤密度は $\rho_2=1.5\text{g/cm}^3$ 程度（表-2 参照）であり、RI密度検層により実測した底泥の湿潤密度 $\rho_1=1.1\sim 1.3\text{g/cm}^3$ 程度（図-5 参照）よりも大きく、脱水後の土を湖底に還元することにより、底泥の巻上げ防止にも有効であると考えられる。

図-15 に湖水中の全窒素および全リンの含有量を示す。湖水採取（2005年12月5日）の後、それを保存して図中に示す2006年3月および8月に分析した結果である。湖水中の全窒素および全リンはいずれも諏訪湖の水質基準（全窒素0.6mg/L, 全リン0.05mg/L¹⁴⁾を少し下回っている。しかし、長野県諏訪保健所のホームページ¹⁴⁾より引用した同時期（2005年12月）の諏訪湖3地点の平均値においては、全窒素は基準を上回っており、全リンもほぼ基準と同じである。また、全窒素・全リンの含有量は冬期よりも夏期の方が多く、これらの浄化対策が緊急の課題である。なお、諏訪湖水域および天竜川の窒素およびリンの排水基準（脚注1, 2）¹⁵⁾は、それぞれ15mg/Lおよび3mg/Lである。

図-16 に底泥に湖水を加えて練返し泥水中の全窒素および全リンの含有量を示す。それぞれ図-15 に示した湖水の1,000倍および10,000倍程度の含有量である。なお、底泥は植物片等の有機物を多く含んでおり、2つのデータの差はそれらの含有量の個体差であると考えられる。また、ここ

脚注1：湖沼水質保全特別措置法第7条に基づく規制基準（県告示第280号）表1，上記以外の事業場（日平均排水量50m³以上500m³未満），上乗せ排水基準値（最大），脚注2：水質汚濁防止法第3条第3項に基づく上乗せ排水基準（公害の防止に関する条例第16条別表第1），2(3)窒素，燐，上記以外の施工令別表第1に掲げる特定施設，（新規，日平均排水量50m³以上500m³未満）

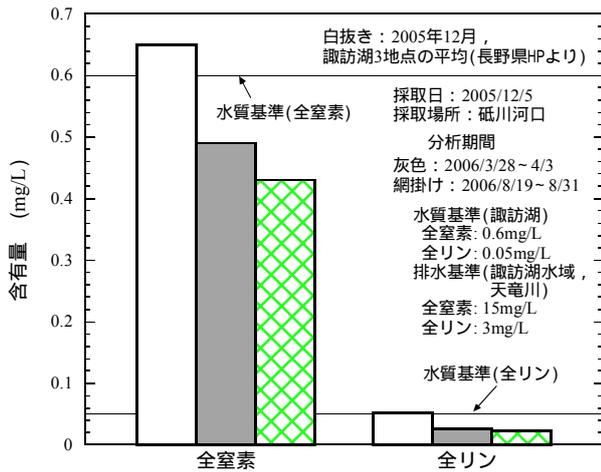


図-15 湖水中の全窒素・全リンの含有量

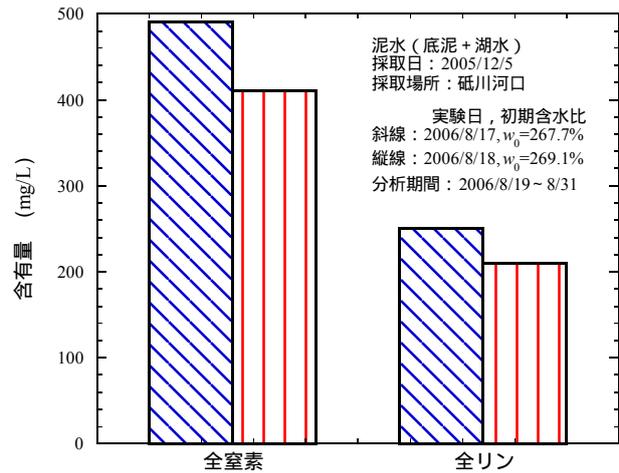


図-16 泥水中の全窒素・全リンの含有量

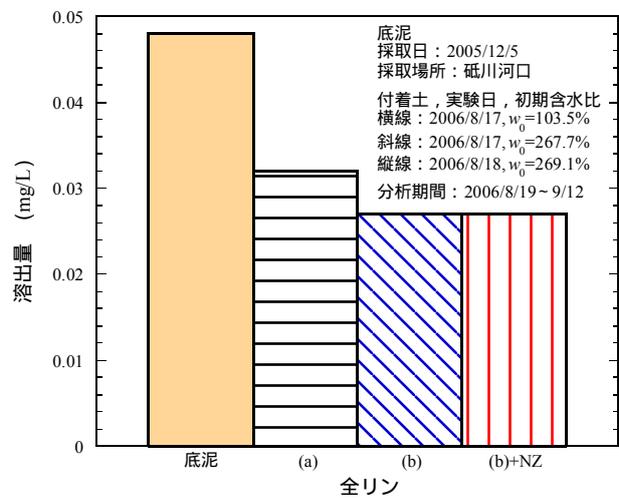
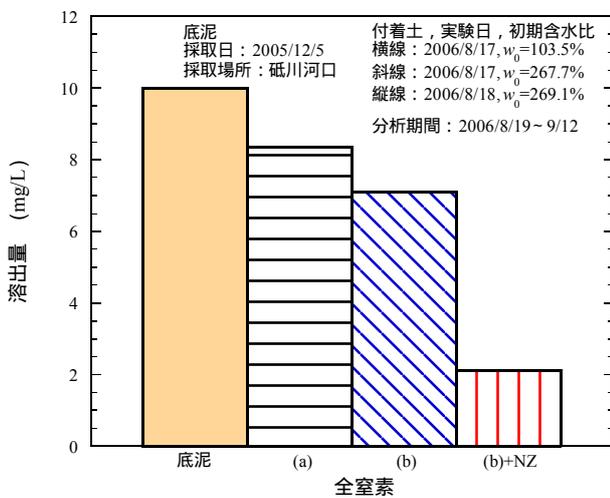


図-17 底泥および脱水後の土(付着土)からの全窒素・全リンの溶出量

で用いた泥水は,底泥が巻上げられた場合と同様の状態であり,諏訪湖の浄化対策としては,底泥の浄化と巻上げ防止が重要と考えられる。

図-17 にケース(a), (b)および(b)+NZ における脱水後の土からの全窒素および全リンの溶出量を示す。また,採取した底泥からの溶出量も脱水前の初期状態の値としてあわせて示した。繰り返した底泥を脱水することにより全窒素および全リンの溶出量は,それぞれ初期状態の 4/5 および 2/3 程度に減少している(ケース(a))。すなわち,底泥を脱水固化させることにより,溶出量を抑制することができる。さらに,底泥に湖水を加えて繰り返すことにより全窒素および全リンの溶出量をそれぞれ初期状態の 2/3 および 1/2 程度に抑制することができる(ケース(b))。また,天然ゼオライトを添加することにより,全窒素の溶出量を初期状態の 1/5 程度に抑制することができる(ケース(b)+NZ)。このように,天然ゼオライトの窒素

の吸着効果は大きい。ただし,リンの吸着については効果は見られない。これらのことより,脱水後の土を湖底に還元すれば埋立処分場が不要となり,底泥の減容化,巻上げ対策および全窒素・全リンの溶出量抑制等の効果が期待される。また,図-13 に示したように,窒素および重金属の吸着には長時間を有するので¹³⁾,短時間の脱水時よりも湖底還元後に吸着効果がさらに高められると考えられる。

図-18 に脱水・浄化実験により底泥および泥水から脱水された排出水中の全窒素および全リンの含有量を示す。データは脱水開始から最初の3分間と3分以降に分けて示した。底泥を脱水した場合の排水には,全窒素および全リンがそれぞれ諏訪湖の水質基準の 40 倍および 3~14 倍程度含まれている(ケース(a))。これは,天竜川および諏訪湖水域の窒素の排水基準(15mg/L)を上回っており,排水の浄化対策が必要である。しか

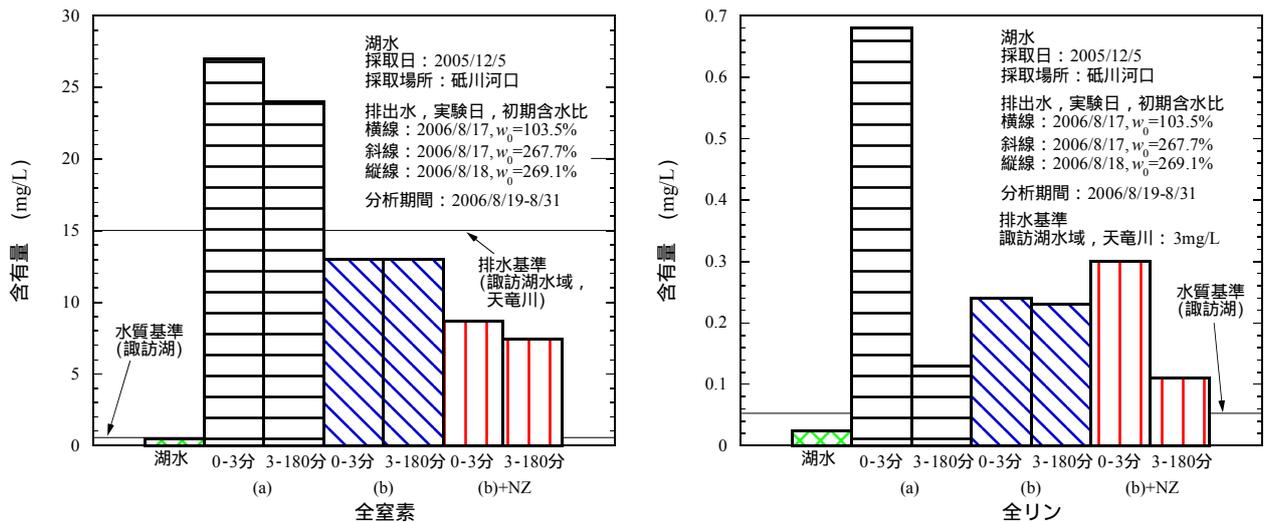


図-18 湖水中および排水水中の全窒素・全リンの含有量

し、底泥を加水練返した場合の結果は、それぞれ水質基準の 22 倍および 10 倍程度となり、初期状態よりも含有量を減少させることができる(ケース(b))。さらに、天然ゼオライトを添加することにより、それぞれ水質基準の 13 倍および 2~6 倍程度まで減少させることができる(ケース(b)+NZ)。ケース(b)+NZ の全窒素および全リンの含有量は、それぞれ天竜川および諏訪湖水域の排水基準の 1/2 および 1/30~1/10 程度である。したがって、排水水を天竜川へ放流することにより、諏訪湖内の窒素およびリンを除去し、減少させることができる。

5. まとめと今後の課題

マルチドレーン真空脱水法を用いた諏訪湖底泥の脱水・浄化対策について論じた。研究の端緒として、天然ゼオライトを用いた全窒素および全リンの浄化について検討した。得られた主な知見は以下のとおりである。

- (1) 3 時間程度の脱水により、泥水状の諏訪湖底泥を 2/5 程度まで減容化し、ダンプトラックで運搬可能な固さまで脱水することができる。脱水後の土には適度な流動性があり、その後の埋立作業やリサイクルに好都合である。
- (2) 1 日 300m³ の浚渫を想定した脱水作業や脱水槽の大きさの試算結果は実行可能な内容であり、本脱水手法は、諏訪湖底泥に対して十分な実用性を有している。
- (3) 底泥と湖水を混合した泥水中の全窒素および全リンの含有量は、それぞれ湖水中の 1,000

倍および 10,000 倍程度と非常に大きい。したがって、諏訪湖の浄化対策としては、底泥の浄化や湖底付近での底泥の巻上げ対策が重要である。

- (4) 底泥を脱水することにより全窒素および全リンの溶出量を初期状態よりもそれぞれ 4/5 および 2/3 程度に抑制できる。さらに、底泥を加水練返して天然ゼオライトを添加した場合は、全窒素および全リンの溶出量をそれぞれ初期状態の 1/5 および 1/2 程度に抑制することができる。したがって、脱水後の土を湖底に還元することにより、埋立処分場が不要となり、底泥の減容化、巻上げ対策および全窒素・全リンの溶出量抑制等の効果が期待される。
- (5) 底泥を脱水した場合の排水水には、全窒素および全リンがそれぞれ諏訪湖の水質基準の 40 倍および 3~14 倍程度含まれている。一方、加水練返して天然ゼオライトを添加することにより、それぞれ水質基準の 13 倍および 2~6 倍程度まで減少させることができる。この値は、河川放流するには問題ない値である。したがって、排水水を天竜川へ放流することにより、諏訪湖内の窒素およびリンを除去し、減少させることができる。

諏訪湖底泥の脱水・浄化対策には、浚渫計画から脱水、浄化、埋立て、リサイクルまでのトータルのシステムの構築が必要である。そのためには、以下の課題が指摘される。

- (1) 富栄養化の原因となる全窒素や全リンの浄化

能力の向上や底泥に含まれる重金属等の吸着・固定化のための浄化剤の選定・開発が重要である。

- (2) 環境基準に基づく全窒素および全リンの分析から、実施した脱水・浄化方法の有効性を示した。ただし、脱水後の土を用いた溶出モデル試験による全窒素および全リンの吸着・固定化の確認や現場実験による検討が必要である。
- (3) 浄化剤を含んだ脱水後の土を湖底に還元する場合の生息する生物への影響を検討する必要がある。
- (4) 排出水中に環境基準を上回る全窒素・全リンおよび重金属等が含まれる場合は、その高度処理法の検討が必要である。
- (5) 富栄養化対策には、河川からの栄養塩類の流入を抑制することも重要であり、河川水中の全窒素および全リンの除去や吸着・固定化の方法等を検討する必要がある。
- (6) 底泥の詳細な堆積状況の把握には、自重貫入型 RI 密度検層による底質環境調査が有効であり、経済的な浚渫計画の立案のためには、広範囲の底質環境調査に基づいた底泥の堆積状況と浚渫量の評価が必要である。

謝辞

RI を用いた底質環境調査法は、ソイルアンドロックエンジニアリング株式会社との共同研究により開発された。マルチドレーン真空脱水法は、宇部工業株式会社および錦城護謨株式会社との共同研究により開発された。また、天然ゼオライトの提供は、三井金属資源開発株式会社および株式会社ランド・エコのご尽力によるものである。関係各位に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) 長野県諏訪建設事務所：平成17年度国補河川浄化に伴う業務委託（測量委託）(1) 諏訪湖 岡谷市・諏訪市・下諏訪町・諏訪湖 報告書，2006.
- 3) 梅崎健夫，河村 隆，吉村 貢：RI 密度検層および深浅測量による諏訪湖の底質環境調査，土木学会

第61回年次学術講演会，pp.661-662，2006.

- 4) 梅崎健夫，河村 隆，吉村 貢：RI密度検層による底質環境および埋立処分場の圧密特性の評価，土と基礎，Vol.54，No.5，pp.13-15，2006.
 - 5) Umezaki, T., Kawamura, T. & Yoshimura, M.: Evaluation of sedimentation and consolidation properties using RI-density log for dredging and reclamation, Proceedings of International Workshop on the Mitigation and Countermeasures of Ground Environment (IW-SHIGA 2005), pp.101-106, 2005.
 - 6) 梅崎健夫，河村 隆，吉村 貢：RI密度検層による諏訪湖の底質環境の評価，環境科学年報 - 信州大学 - 第28号，pp.1-6，2006.
 - 7) 梅崎健夫，河村 隆，河野剛志，河崎 彰，野村忠明：浚渫土・汚泥における移設可能で簡易な脱水技術 - マルチドレーン真空脱水法の開発 - ，第7回地盤改良シンポジウム論文集，pp.59-64，2006.
 - 8) Umezaki, T., Kawamura, T., Kono, T. & Kawasaki, A.: Dewatering Test of Dredged Soil with High Water Content for Trial Design on Practical Work, Proceedings of the *International Symposium on Lowland Technology (ISLT2004)*, pp.27-32, 2004.
 - 9) 梅崎健夫，河村 隆，飯塚健太，河野剛志，河崎 彰，野村忠明：マルチドレーン真空脱水法による高含水比浚渫土の脱水実験（その4），第42回地盤工学研究発表会，2007（印刷中）。
 - 10) Shibata, T., Mimura, M. and Shrivastava, A.K.: Use of RI-cone penetrometer in foundation engineering, Proc. of 13th ICSMFE, Vol.1, pp.147-150, 1994.
 - 11) MINDECO IWAMI PROFILE イワミライト，三井金属資源開発株式会社，2006.
 - 12) 天然ゼオライト - 利用にあたっての品質評価基準 - ，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.
 - 13) 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。
 - 14) 長野県諏訪保健所公式ホームページ，諏訪湖浄化，<<http://www.pref.nagano.jp/xeisei/suwaho/suwako.htm>>（2007/3/23アクセス）
 - 15) 長野県，公害関係基準のしおり，2007.
- （原稿受付 2007.3.15）