

浚渫土の脱水・浄化・還元システムの提案（その1） ー天然ゼオライトを添加した諏訪湖底泥の マルチドレーン真空脱水法による浄化と減容化ー

梅崎健夫¹, 河村 隆¹, 西田健吾²,
 河崎 彰³, 大寺正志⁴, 石井大悟⁵, 志賀信彦⁶
¹信州大学工学部, ²一般社団法人グリーンディール推進協会,
³宇部工業株式会社, ⁴錦城護謨株式会社
⁵旭化成ジオテック株式会社, ⁶三井金属資源開発株式会社

A System of Dehydration, Purification, and Reduction for Dredged Soil (Part 1)
 – Dehydration and Purification of Bed Mud in Lake Suwa Added Natural Zeolite
 Using Multi-drain Vacuum Aspirating System –

T. Umezaki¹, T. Kawamura¹, K. Nishida²,
 A. Kawasaki³, M. Oodera⁴, D. Ishii⁵ & N. Shiga⁶
¹Faculty of Engineering, Shinshu University, ²Green Deal Promoting Association,
³Ube Kogyo Co., Ltd., ⁴Kinjo Rubber Co., Ltd., ⁵Asahi Kasei Goetechnologies Co., Ltd.
 & ⁶Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd.

キーワード：諏訪湖，底泥，浚渫，脱水，減容化，浄化，ゼオライト

Keywords: Lake Suwa, Bed mud, Dredging, Dehydration, Volume reduction, Purification, Zeolite

1. はじめに

湖沼などの閉鎖性水域では、富栄養化による水質汚濁や悪臭などの対策として底泥の浚渫が実施されてきたが、公共事業の削減や処分場確保の問題などのために年々減少し、多量の底泥が堆積したままになっている。

梅崎ら^{1)~3)}は、処分場の延命化や浚渫土の再利用のためには、簡易な方法による浚渫土の減容化が重要であると考え、マルチドレーン真空脱水法(図-1)を開発した。さらに、富栄養化や悪臭などの対策として、閉鎖性水域における生態系保全のための浚渫土の脱水・浄化・還元システムも提案している^{1), 4), 5)}(図-2)。本システムは浚渫した底泥に栄養塩類を吸着する浄化剤を添加して、脱水・減容化した処理土を排出することなく、浚渫した水底に還元するゼロエミッションシステムである。

2011年7月20日から8月1日の期間に諏訪湖において、底泥を浚渫し浄化剤として天然ゼオラ



図-1 マルチドレーン真空脱水法の一例

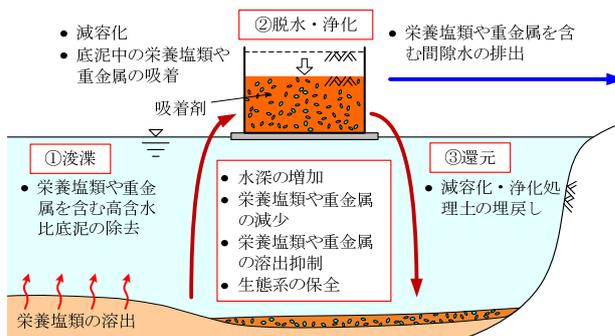


図-2 浚渫土の脱水・浄化・還元システム

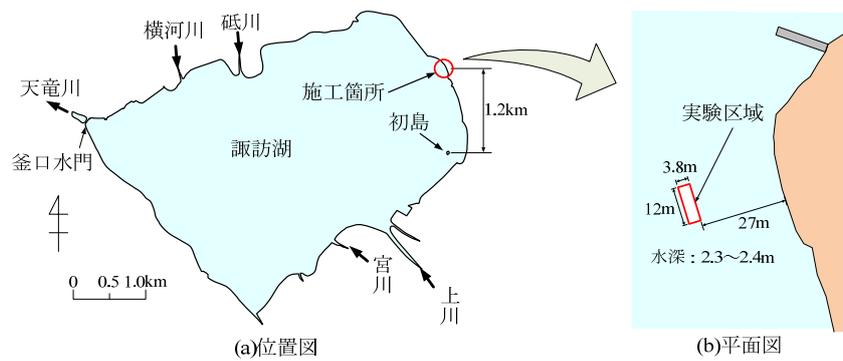


図-4 施工箇所

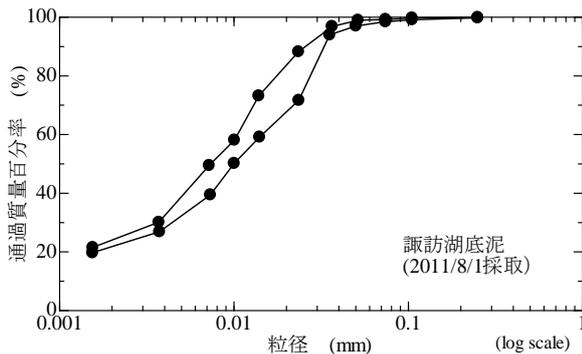


図-5 諏訪湖底泥の粒径加積曲線 (2011/8/1 採取)

表-1 諏訪湖底泥の物理特性 (2011/7/23, 8/1 採取)

初期含水比 w_0	255.5~314.5%
土粒子密度 ρ_s	2.439~2.582 g/cm ³
液性限界 w_L	157.0~182.3%
塑性限界 w_P	101.6~109.1%
塑性指数 I_P	55.5~71.4
強熱減量 L_i	16.2~16.9%
粘土分含有率	32~39%
シルト分含有率	61~67%
砂分含有率	1~2%

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: 6.7~7.0 Å (写真-1(c)), そこに水分やガスを吸着する性質がある⁸⁾。特に、窒素, カリウムを強力に吸着し^{6), 7)}, 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⁹⁾の効果がある。また, 微細な孔を有することから, 水中の窒素等を除去するバクテリア等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¹⁰⁾。

(2) 施工箇所および底泥・湖水の諸特性

実証実験は図-4 に示す諏訪湖の沿岸域において実施した。水深は 2.3~2.4m 程度である。

実験区域内およびその周辺において浚渫した底泥の粒径加積曲線, 物理特性および栄養塩類の含有量を図-5, 表-1 および表-2 に, 実験区域および近くの湖岸において採取した湖水の水質分

表-2 諏訪湖底泥中の栄養塩類の含有量*

(2011/7/23, 8/1, 8/23, 9/20, 10/17, 11/14 採取)

全窒素	270~5690 mg/kg
全リン	1900~2000 mg/kg
硝酸態窒素	2.7~24.6 mg/kg
亜硝酸態窒素	2.7~99.1 mg/kg
アンモニア態窒素	497~1060 mg/kg

*: 乾燥質量比

表-3 諏訪湖水中の栄養塩類の含有量

(2011/8/1, 9/20 採水)

	実測値	水質基準
全窒素	0.48~0.52 mg/L	0.6 mg/L
全リン	0.014~0.022 mg/L	0.05 mg/L
アンモニア態窒素	0.03~0.09 mg/L	—
COD	2.8~3.8 mg/L	3.0 mg/L

析結果を表-3 に, それぞれ示す。ここで, COD は化学的酸素要求量である。分析方法は, 全窒素: JIS K0102 45.2, 全リン: JIS K0102 46.3, 硝酸態窒素: JIS K0102 43.2.5, 亜硝酸態窒素: JIS K0102 43.1.2, アンモニア態窒素: JIS K0102 42, COD: JIS K0102 17 である。底泥中の栄養塩類の含有量は湖水中の数日から十数万倍であり, 富栄養化の改善には底泥に対する対策が重要である。

(3) 浚渫・還元区域の外枠の設置と底泥の浚渫

図-6 および写真-2(a)~(h)に実験区域および施工の概要を示す。湖上に浮き足場を設置し (写真-2(a)), 湖面に大量に繁茂するヒシの除去を行った (写真-2(b))。湖底における浚渫・還元区域 (2m × 1.5m) への底泥の流入を防止するために, 短管パイプと合板によって作製した外枠を設置した (写真-2(c), (d))。浚渫・還元区域内およびその周辺において, グラブ型採泥器を用いて潜水土による底泥の浚渫を行った (写真-2(e)~(h))。浚渫深さは 0.5m である。

(4) 底泥への天然ゼオライトの添加と脱水減容化

写真-3(a)~(l)にマルチドレーン真空脱水法の施工状況を示す。1 台の脱水槽に対してドレーン

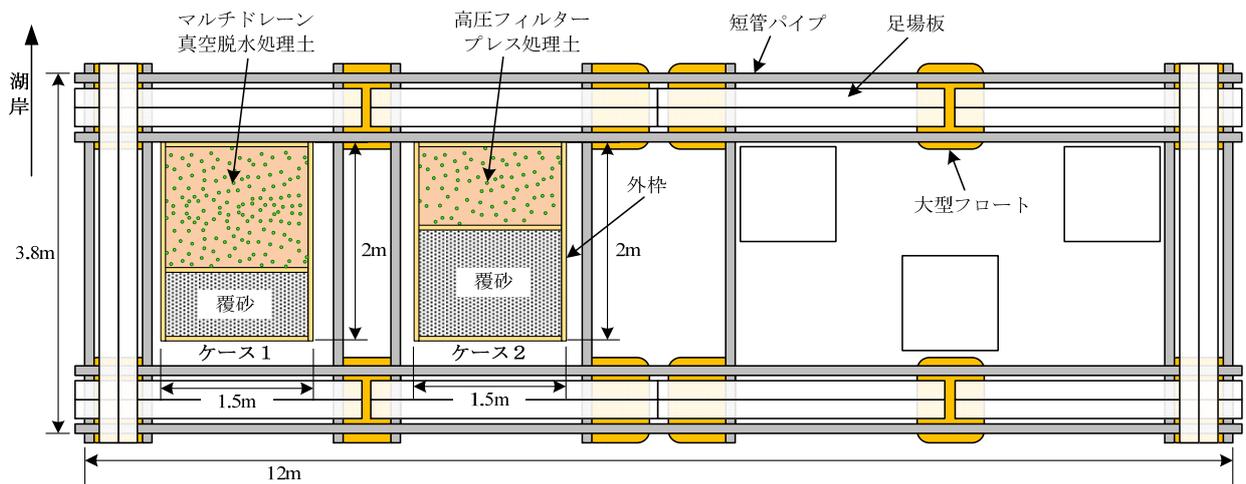


図-6 実験区域の概要



写真-2 浚渫・還元区域の外枠の設置と底泥の浚渫

(0.6×0.6m) 5枚を1セット(排水面積(両面) 3.6m²)とした装置を2機併用した(写真-3(a)). 浚渫したままの底泥(初期含水比 $w_0 \div 300\%$)に浄化剤として天然ゼオライト(MG イワミライト^{6),7}, 粒径 0.5mm 以下の粉末)を底泥の乾燥重量の 10% 添加した後(写真-3(b), (c)), 底泥中で 5~20 分間, 空气中で 30 分間真空圧を負荷した(写真-3(d), (e)). その後, ドレーンから剥離させた処理土(写真-3(f)~(h))を土のうに充填して 10 日間自重圧密した(写真-3(j)~(l)).

写真-4(a)~(d)に同時に実施された 4MPa の高圧フィルタープレスの脱水作業の概略を示す. 直径 40cm のろ室を 4 室(排水面積 1m²)設置された装置が用いられた. 前処理として, 湖水を加えて含水比を 2 倍に希釈した底泥($w_0 \div 600\%$)から交雑物と砂分を振動ふるいにより除去し, PAC および Ca(OH)₂ の薬剤を加え, さらに天然ゼオライト(粒径 0.5mm 以下の粉末)を乾燥重量比 3.3% 添加した.

(5) 処理土の湖底への還元

写真-5(a)~(d)に処理土の湖底への還元の施工状況を示す. 処理土の還元は潜水土による人力によって実施した(写真-5(a)~(c)). 図-6 に示すように, ケース 1 にはマルチドレーン真空脱水法による処理土を, ケース 2 には 4MPa の高圧フィルタープレスによる処理土を還元した. 還元後の層厚は 0.5m とした. 還元前にプラスチックプレートで 0.5m 間隔で固定した棒を湖底に突き刺し, 上部のプレートまで還元土を敷均すことにより, 層厚を管理した(写真-5(d)). また, 還元範囲の端部を合板で仕切り, 処理土が還元されなかった浚渫部分には覆砂を行った(図-6).

4. 実験結果および考察

図-7 にマルチドレーン真空脱水法の実証実験の結果の一例を示す. また, 室内模型実験(ドレーンの排水面の寸法: 0.14×0.16m, 排水面積: 0.0224m², 脱水時間: 底泥中 10 分+空气中 30 分)



写真-3 マルチドレイン真空脱水法の施工状況

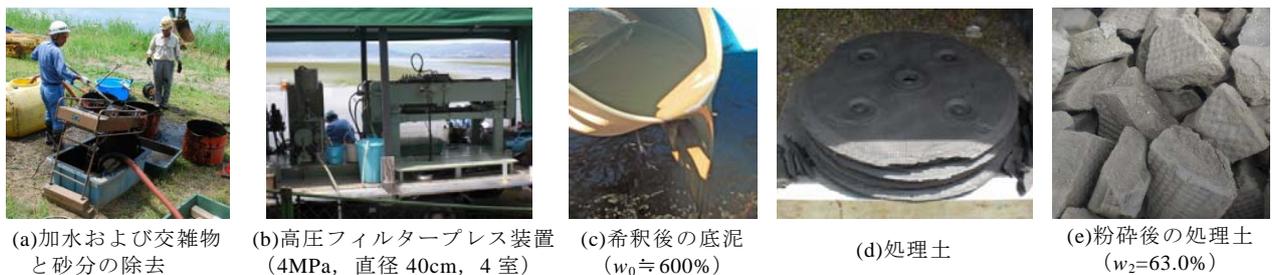


写真-4 4MPaの高圧フィルタープレスによる脱水作業の概略

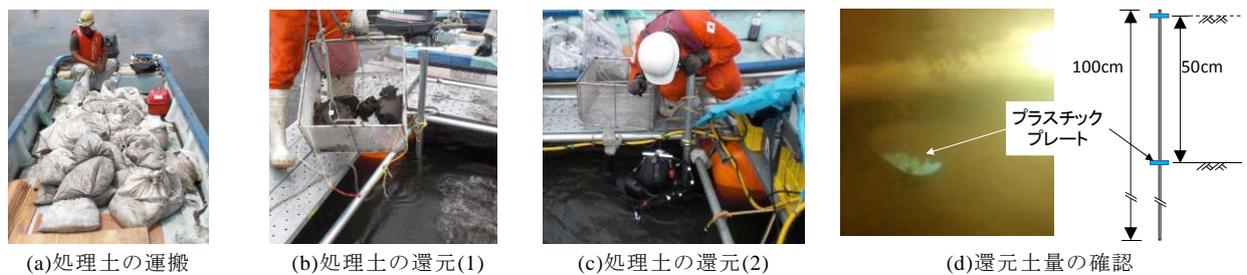


写真-5 処理土の湖底への還元

における天然ゼオライトの粉末（粒径 0.5mm 以下）を乾燥重量比 10% 添加した場合と添加しない場合の結果も併せて示した。いずれも底泥中の脱水においては、-80kPa 程度の真空圧が維持されている。また、その後、ドレインを空气中に引き上げると、いずれも付着土にクラックが生じて真空圧が-40kPa 程度まで低下している。単位面積当たりの排水量は、室内模型実験と実証実験において概略同じであり、室内模型実験の結果によって原位置における脱水計画を決定することができる。また、天然ゼオライトの粉末（粒径 0.5mm 以下）

を乾燥重量比 10% 添加した場合と添加しない場合の脱水速度や脱水後の含水比はほぼ同じである。

実証実験においては、真空圧を底泥中 5~20 分間、空气中 30 分間負荷した場合の排水量は 0.022~0.067m³（約 20~70kg）である。排出水の濁度は 21.6 度であり、ほとんど濁っていない（写真-3(i)）。また、写真-3(h)に示すように、脱水後の処理土の含水比は $w_1=188.2\%$ 程度（ $\approx 1.0\sim 1.2w_L$ ）であり、手で持ち上げることができる程度の固さである。

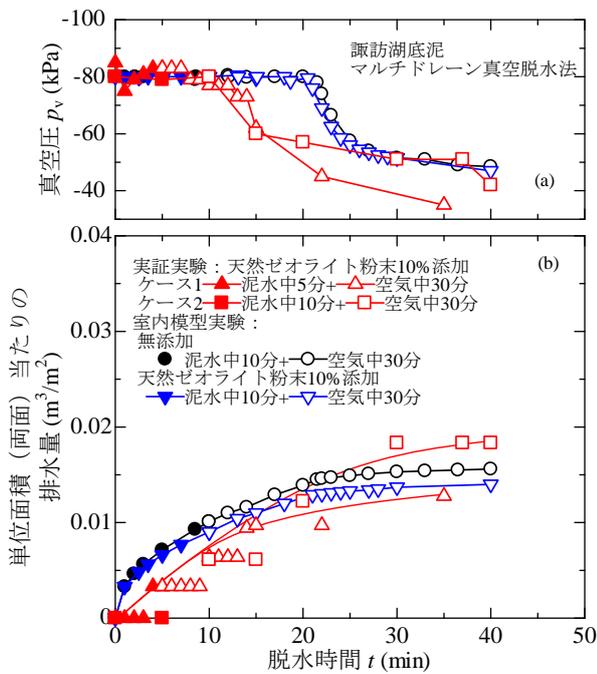


図-7 脱水実験の結果の一例

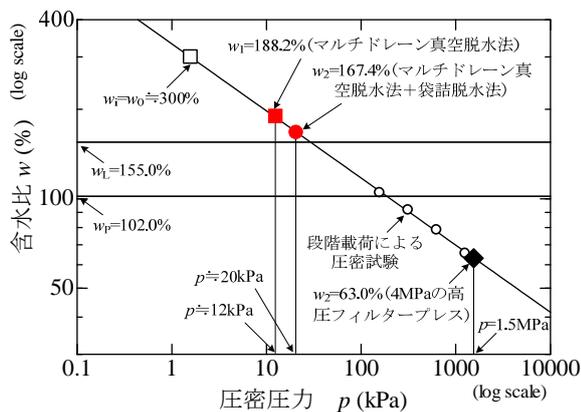


図-8 含水比と圧密圧力の関係

図-8 に別途実施した圧密試験から得られた含水比 w と圧密圧力 p の関係を示す。図中の $\log w \sim \log p$ 関係の直線は、段階載荷による圧密試験 (JIS A 1217) より求めたものである。マルチドレーン真空脱水法の実証実験における処理土の含水比は、ドレーン表面に接触していた部分は低く、ドレーンから離れるほど高い。処理土の平均含水比 ($w_1=188.2\%$) に対応する圧密圧力は $p=12\text{kPa}$ 程度であり (写真-3(h))、測定された真空圧 $p_v=-80\text{kPa}$ に対する圧密度 U_p は 15% 程度である。一方、4MPa のフィルタープレスによる処理土の含水比 ($w_1=63.0\%$) は塑性限界の 0.6 倍程度であり、それに対する圧密度は $U_p=40\%$ 程度である (写真-4(d), (e))。

図-9 に排出水中の全窒素および全リンの含有量を示す。図中には、室内模型実験の結果も併せ

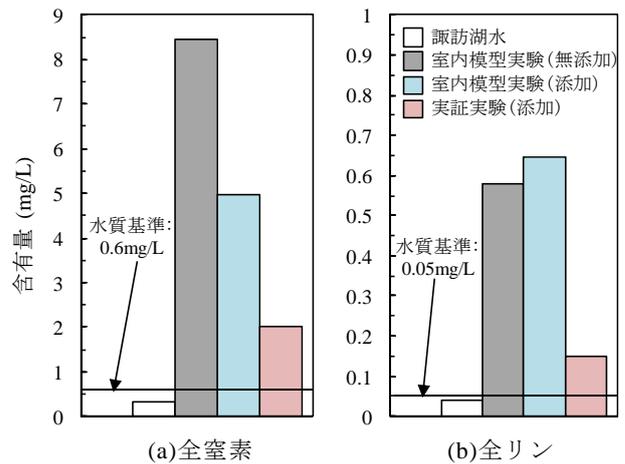


図-9 排出水中の栄養塩類の含有量 (脱水時間: 実証実験 (底泥中 5 分+空气中 30 分), 室内模型実験 (底泥中 10 分+空气中 30 分))

て示した。室内模型実験において無添加の底泥を脱水した場合の排出水中の全窒素および全リンの含有量はそれぞれ 8.5mg/L 程度および 0.58mg/L 程度である。底泥中の全窒素および全リンの含有量は、表-2 に示したように、 $270\sim 5690\text{mg/kg}$ および $1900\sim 2000\text{mg/kg}$ (乾燥質量比) であった。底泥から除去された割合はそれぞれ $0.2\sim 5\%$ 程度および 0.05% 程度であり、脱水により除去される栄養塩類は少ない。天然ゼオライト (粒径 0.5mm 以下の粉末) を乾燥重量比 10% 添加した場合の排出水中の全窒素は、天然ゼオライトの吸着効果により 5mg/L 程度に減少する。実証実験における排水中の全窒素および全リンの含有量はともに室内模型実験よりも少ない値となっている。

表-4 は、実証実験におけるマルチドレーン真空脱水法および 4MPa の高圧フィルタープレスの処理土 ($w_2=167.4\%$ および 63.0%) を湖水中に 20 日間水浸した室内実験の結果である。それぞれに対して、窒素ガスおよび空気を水中で曝気して嫌気状態および好気状態とした 2 種類を実施した。水浸 20 日後の含水比 w_2^* は、マルチドレーン真空脱水法および 4MPa の高圧フィルタープレスにおいて、それぞれ $w_2^*=165\sim 180\%$ および $80, 89\%$ である。水浸後の含水比は、マルチドレーン真空脱水法による処理土ではほとんど増加しないが、4MPa の高圧フィルタープレスによる処理土では増加している。

表-5 にマルチドレーン真空脱水法と 4MPa の高圧フィルタープレスの作業工程を比較して示す。マルチドレーン真空脱水法では、前処理の作業や薬剤を用いず、浚渫されたそのままの底泥

表-4 脱水処理土の水浸実験

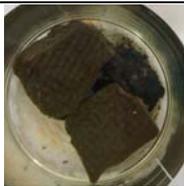
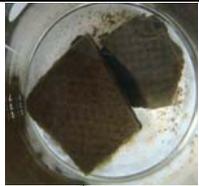
	(a)マルチドレーン真空脱水法		(b)4MPa の高圧フィルタープレス	
	0 日	20 日後	0 日	20 日後
嫌気状態 (DO=0.60～ 1.58mg/L)	 $w_2=167\%$	 $w_2^*=165\sim 180\%$	 $w_2=63\%$	 $w_2^*=89\%$
好気状態 (DO=8.23～ 9.93mg/L)	 $w_2=167\%$	 $w_2^*=165\sim 180\%$	 $w_2=63\%$	 $w_2^*=80\%$

表-5 作業工程の比較

		マルチドレーン真空脱水法	4MPa の高圧フィルタープレス ¹⁾
ろ過面積		0.6×0.6m (両面排水) @5 枚, 3.6m ²	直径 40cm@4 室, 1m ²
前処理	必要作業	特になし	希釈, 交雑物や砂分の除去
	初期含水比 w_0	300% (無処理)	600% (加水)
	薬剤処理	不要	PAC, Ca(OH) ₂
作業工程	浄化剤添加	天然ゼオライト 10.3% (乾燥重量比)	天然ゼオライト 3.3% (乾燥重量比)
	脱水工程	底泥中脱水 (5～20 分), 空気中脱水 (30 分)	高速打ち込み (15 分), 低速打ち込み, 4MPa 加圧 (5 分)
	剥離工程	数分 (ろ布内への加圧)	ろ室の個数分の作業が必要
処理能力 (浚渫土換算)		40～106 kg/m ²	23 kg/m ²
作業日数		2 機併用によって 1 日程度 ($V_0=2.2\text{m}^3$)	7 日程度 ($V_0=1.3\text{m}^3$)

($w_0=300\%$) に天然ゼオライトを添加した (写真-3(b), (c)). 全作業工程は 1 時間程度であり, 浚渫土換算におけるドレーン 1m² (両面) 当たりの処理能力は 40～106kg/m² (底泥中の脱水時間: 5～20 分間) であり, 2 機のマルチドレーン真空脱水装置を併用して 1 日程度で $V_0=2.2\text{m}^3$ 程度の浚渫土の脱水処理が完了した. 一方, 前述したように, 4MPa の高圧フィルタープレスでは, 湖水を加えて含水比を 2 倍に希釈した底泥から交雑物や砂分を除去し, PAC および Ca(OH)₂ の薬剤を加える前処理が行われた (写真-4(a)). 前処理や剥離工程の作業時間を考慮しない脱水時間は 20 分程度であり, 処理能力は 23kg/m² であった. $V_0=1.3\text{m}^3$ 程度の浚渫土の脱水処理に 7 日間程度を要した. 諏訪湖浚渫土における同程度のろ過面積および浚渫土量に換算した場合のマルチドレーン真空脱水法は, 4MPa の高圧フィルタープレスの約 3.3 倍の処理能力を有する. また, 高圧フィルタープレスにおいては砂分が配管を閉塞することを防止するために, その除去が必要である. そのため, 多量の天然ゼオライトを添加することは困難である.

表-6 にマルチドレーン真空脱水法と 4MPa の高圧フィルタープレスの脱水・還元土量の比較を示す. マルチドレーン真空脱水法を用いれば, 小規模で簡易な設備による 1 時間以内の全作業工程によって, 無処理のままの高含水比の浚渫土 ($w_0=300\%$ 程度) を化学物質を添加することなく液性限界程度 ($w_1=188\%$ 程度) まで脱水することが可能である. 液性限界程度の含水比の処理土は適度な流動性や柔軟性を有しており, 湖底に還元した場合に, 植物, 昆虫の幼虫や貝などの水底生物の生息に適した環境が形成されると考えられる. また, 土のうによる簡易な自重圧密によって含水比をさらに低下させることも可能である (10 日後において, $w_2=167\%$ 程度, 写真-3(l)). 一方, 4MPa の高圧フィルタープレスによる脱水後の含水比は塑性限界の 0.6 倍程度 ($w_2=63\%$ 程度) であった. 脱水後の減容化率は, マルチドレーン真空脱水法では $R_1=0.57$ であり, 4MPa の高圧フィルタープレスでは $R_1=0.25$ である. しかし, 湖底への還元後の減容化率は, 前者では $R_2=0.67$, 後者では $R_2=0.48$ になる. すなわち, 還元によって体積がそれぞれ 1.2 倍, 2.0 倍程度に増加する. 4MPa

表-6 脱水・還元土量の比較

	マルチドレーン真空脱水法 +袋詰脱水法	4MPaの高圧フィルター プレス ¹¹⁾
浚渫土の体積 V_0	2.2m ³	1.3m ³
初期含水比 w_i	300% (≒1.6~1.9 w_L)	300% (≒1.6~1.9 w_L)
脱水前の含水比 w_0	300% (≒1.6~1.9 w_L)	600% (≒3.2~3.9 w_L)
脱水後の含水比 w_1	188.2% (≒1.0~1.2 w_L)	63.0% (≒0.6 w_p)
還元時の含水比 w_2 (10日後)	167.4% (≒0.9~1.1 w_L)	63.0% (≒0.6 w_p)
脱水後の体積 V_1	1.25m ³	0.33m ³
脱水後の減容化率 $R_1 (=V_1/V_0)$	0.57	0.25
還元後の体積 V_2	1.48m ³	0.64m ³
還元後の減容化率 $R_2 (=V_2/V_0)$	0.67	0.48
R_2/R_1	1.18	1.97
還元後の含水比 (室内水浸実験, 20日間) w_2^*	165~180% (=1~1.08 w_2)	80~89% (=1.27~1.41 w_2)

の高圧フィルタープレスのように処理土が塑性限界以下の含水比の場合は、還元時の体積の増加が大きい。還元前と還元後の含水比 w_2 および w_2^* の変化は、表-4 に示したように、マルチドレーン真空脱水法では、 $w_2^*/w_2=1.0\sim 1.08$ であり、含水比はほとんど増加しない。一方、4MPaの高圧フィルタープレスでは、 $w_2^*/w_2=1.28\sim 1.41$ であり、還元後に含水比が増加する。

5. まとめ

諏訪湖において浚渫した底泥に天然ゼオライト^{6)~9)}を添加し、マルチドレーン真空脱水法^{1)~3)}によって脱水・減容化した処理土を湖底に還元する実証実験を実施し、閉鎖性水域における生態系保全のための浚渫土の脱水・浄化・還元システム^{1), 4), 5)}の施工性および実行可能性を検証した。また、同時に実施された4MPaの高圧フィルタープレスの場合との比較を行った。得られた主な知見は以下の通りである。

- (1) 小型ドレーンを用いた室内模型実験の結果は実証実験の結果と概略同じであり、室内模型実験によって実際の脱水計画を決定することができる。また、天然ゼオライトの粉末(粒径0.5mm以下)を乾燥重量比10%添加した場合においても脱水速度、脱水後の含水比および減容化率は無添加の場合とほぼ同じである。
- (2) マルチドレーン真空脱水法を用いれば、小規模で簡易な設備による1時間以内の全作業工程によって、無処理のままの高含水比の浚渫土($w_0=300\%$ 程度)を化学物質を添加することなく液性限界程度($w_1=188\%$ 程度)まで脱水することが可能である。液性限界程度の含水比の処理土は適度な流動性や柔軟性を有してお

り、湖底に還元した場合に、植物、昆虫の幼虫や貝などの水底生物の生息に適した環境が形成されると考えられる。また、土のうによる簡易な自重圧密によって含水比をさらに低下させることも可能である($w_2=167\%$ 程度)。一方、4MPaの高圧フィルタープレスによる脱水後の含水比は塑性限界の0.6倍程度($w_2=63\%$ 程度)であった。

- (3) 脱水後の減容化率はマルチドレーン真空脱水法では $R_1=0.57$ である。一方、4MPaの高圧フィルタープレスでは $R_1=0.25$ である。しかし、湖底への還元後の減容化率は、前者では $R_2=0.67$ 、後者では $R_2=0.48$ になる。すなわち、還元によって体積がそれぞれ1.2倍、2.0倍程度に増加する。4MPaの高圧フィルタープレスのように処理土が塑性限界以下の含水比の場合は、還元時の体積の増加が大きい。
- (4) 還元前と還元後の含水比 w_2 および w_2^* の変化は、マルチドレーン真空脱水法による液性限界程度の含水比の場合は、 $w_2^*/w_2=1.0\sim 1.08$ であり、含水比はほとんど増加しない。一方、4MPaの高圧フィルタープレスによる塑性限界以下の場合は、 $w_2^*/w_2=1.28\sim 1.41$ であり、還元後に含水比が増加する。
- (5) 諏訪湖浚渫土における同程度のろ過面積および浚渫土量に換算した場合のマルチドレーン真空脱水法は、4MPaの高圧フィルタープレスの約3.3倍の処理能力を有する。また、高圧フィルタープレスにおいては、砂分の除去が必要であり、多量の天然ゼオライトを添加することは困難である。
- (6) 無添加の底泥を脱水した場合の排出水中の全窒素および全リンの含有量はそれぞれ

8.5mg/L 程度および 0.58mg/L 程度であった。

底泥から除去された全窒素および全リンの割合はそれぞれ 0.2~5%程度および 0.05%程度であり、脱水により除去される栄養塩類は少ない。天然ゼオライトの粉末（粒径 0.5mm 以下）を 10%添加した場合の排出水中の全窒素は、天然ゼオライトの吸着効果により 5mg/L に減少する。また、マルチドレーン真空脱水法の実証実験における排出水の濁度は 21.6 度程度であり、ほとんど濁っていない。

なお、還元後の処理土における栄養塩類の溶出抑制効果については、実証実験を模擬した室内カラム溶出試験によりその有効性が検証されている⁵⁾。

謝辞 本研究は、長野県諏訪建設事務所より委託された「平成 23 年度地域自主戦略交付金（治水）河川事業に伴う浄化工法検討業務委託」の一環として実施された。実証実験においては、株式会社中部測地研究所およびソイルアンドロックエンジニアリング株式会社にご協力をいただいた。付記して、感謝の意を表わします。

【参考文献】

- 1) 梅崎健夫, 河村 隆, 河野剛志, 河崎 彰, 野村忠明, 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.
- 2) 梅崎健夫, 河村 隆, 河野剛志, 河崎 彰, 野村忠明, 大寺正志: 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 5), 第 43 回地盤工学研究発表会, pp.899-900, 2008.
- 3) 梅崎健夫, 河村 隆, 河崎 彰, 大寺正志, 西田健吾, 志方洋介: 高含水比土の脱水減容化と濁水の濾過処理におけるマルチドレーン真空脱水法の開発, 信州大学環境科学年報 第 33 号, pp.5-19, 2011.
- 4) 梅崎健夫: 天然ゼオライトを用いた湖沼の水質浄化実験と水質・底質浄化対策について, ヘドロ, No.109, pp.18-27, 2010.
- 5) 梅崎健夫, 河村 隆: 浚渫土の脱水・浄化・還元システムの提案 (その 2) - 天然ゼオライトを用いた諏訪湖底泥からの栄養塩類の溶出抑制 -, 信州大学環境科学年報, 34 号, 2012 (印刷中).
- 6) MINDECO IWAMI PROFILE イワミライト, 三井金属資源開発株式会社, 2006.
- 7) 三井金属資源開発株式会社の天然環境資材イワミライト, 三井金属資源開発株式会社, 2011.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 平成 23 年度第 2 回諏訪湖浄化に関する工法検討委員会資料, 長野県諏訪建設事務所, 2012.

(原稿受付 2012.3.30)