

ヘドロの固化・覆土による池の水質浄化の一事例

加藤 顕 喜田 大三
辻 博和 漆原 知則

A Case of Purification of Pond Water by Solidification of Sediment and Covering with Soil

Akira Kato Daizo Kita
Hirokazu Tsuji Kazunori Urushibara

Abstract

Work to solidify organic bottom sediments was done in a pond on a college campus to purify the pond water. It was feared regarding the work that alkali released from the solidified material might have an effect on habitation of carp and other organisms. After laboratory tests, the following methods were applied to the work. ① A special cement with little alkali leached out and providing the target solidified strength with little addition was used. ② Solidified material was left naturally for 4 weeks after solidification, and alkali leaching was greatly reduced by accelerating neutralization. ③ Kanto loam available in the vicinity of the site and of high pH buffering capability was used to cover solidified material to reduce diffusion of alkali into the water. ④ After solidification and covering with soil, the pond was filled with water and for 270 days since then no problems have occurred regarding pH of pond water, habitation of carp, and growth of aquatic plants.

概 要

某大学構内の池において、池水の水質浄化を図るために、池底に堆積した有機性のヘドロの固化工事が施工された。工事に当って、固化体からのアルカリの溶出が鯉等の生育に悪影響を与えることが危惧された。そこで室内試験を行ない、下記の対策を工事に適用した。① 固化材として、アルカリ溶出量が少なく、かつ少ない添加量で所定強度を確保できる、特殊セメントを用いた。② 固化後4週間程度自然放置し、中性化を促進することによって、アルカリ溶出を大きく低減させた。③ 現地付近で発生する、pH 緩衝能が高い関東ロームを覆土材として用い、水中へのアルカリの拡散を低減させた。④ 現地では、固化処理・覆土工事が完了し、水張りを行なってから270日程経過した段階でも、pH 等に異常はなく、鯉や水生植物は正常に生育している。

1. はじめに

某大学構内の池は、周辺を緑で囲まれ、池には多くの鯉が生息し、学生の憩いの場所となっていた。しかし、大学開所以来、約20年近く経過し、池水の水質汚濁が進行して、近年では池水の透明度が1.2 m 程度となっていた。折から、池近辺の講堂の新設工事に伴い池を改修し修景池として再生することになり、池水の浄化が望まれた。池内には最大約1 m のヘドロが堆積し、これが水質汚濁の大きな原因の一つとなっていると考えられたため、なんらかのヘドロ対策が必要となった。

ヘドロ対策として、まず浚渫・除去することを検討したが、その運搬、処分地の確保等の問題からこの工法の採用は難しかった。そこで当現場では、現位置にヘドロを封じ込めることとなった。そして、ヘドロの巻き上がりやリン等の溶出による、池水の再汚濁を防止することを目的として、ヘドロをセメントで固化し、良質土を覆土する工事が計画された。その際、そのヘドロ固化体か

らのアルカリ溶出による鯉等への影響が懸念された。

そこで、ヘドロの固化材として、固化後の施工に必要な強度及び固化体からの溶出アルカリ量の両面から適切な固化材を選定するとともに、固化後に溶出してくるアルカリ量の低減方法、さらに覆土材として、付近の現場発生土で入手可能な関東ロームのpH 緩衝効果について実験・検討し、現場に適用した。

2. 改修工事前の池の状況

2.1 池の概要

図-1 に、池及び池周辺の地形図を示す。池の規模は常水位時の水面積が4,400 m²、水量が5,000 m³であり、水深が最深部で約3 m であった。

周辺は雑木林であり自然環境に恵まれ、池内には多くの鯉が生息し、蓮などの水草も一部に繁茂していた。池への流入水は湧水及び集水域からの降水であり、流入水に応じてオーバーフロー管から池水の一部が流出していた。

2.2 池水の水質について

平成元年8月における、池水の水質が最も進行する時期の水質調査の結果を表-1に示す。

池水の色は暗灰黄緑色で、透明度は1.2 m程度で池底までは見えなかった。水質は全窒素が1.1~1.9 mg/l, 全リンが0.02~0.03 mg/l, CODが4~16 mg/l, クロロフィルaが26~36 μg/lであり、OECDの示した基準¹⁾によると、中~富栄養化に分類され、当池は富栄養化が進行し汚濁しているといえる。

2.3 ヘドロの性状について

ヘドロの堆積厚は、水深が浅い所で10~20 cm, 深い所で30~100 cm程度であり、池全体の堆積量は約4,000 m³であった。代表的地点のヘドロの分析結果を表-2に示す。強熱減量が14~28%, CODが40~80 mg/g, 全窒素が3~6 mg/g, 全リンが1.1~1.6 mg/gであり、当池のヘドロは一般的な有機性のヘドロであると判断できる²⁾。

2.4 ヘドロ対策の必要性

ヘドロからの栄養塩溶出試験³⁾を行なったところ、嫌気的条件下で窒素の溶出速度が326 mg/m²/day, CODのそれが71 mg/m²/dayであった。これらの数値は水質汚濁が問題となっている日本の湖沼等のヘドロと同等であり、当該池においてもヘドロからの栄養塩等の溶出が池水の富栄養化の進行に大きく影響しているといえる。

以上のことから、池水の浄化のためには、何らかのヘドロ対策が必要と判断され、はじめにも述べた理由から今回の工事ではヘドロの固化工事が施工された。

3. 固化材選定試験

3.1 試験目的

ヘドロの固化に適した固化材を、固化体の強度・固化体からのアルカリ溶出量をもとに評価、選定した。

3.2 試験方法

試験にはNo. 5地点で採取したヘドロを用いた。固化材は、普通ポルトランドセメント(以下、普通セメント)及び有機質土用の特殊セメント2種類(以下、特殊セメントA, B)を用いた。

固化材は、固化材1:水1のスラリー状にしてヘドロに添加し混練した。混練物はモールド(5φ×10 cm)に充填して28日間水中養生後、一軸圧縮強度試験を行なった。

また、アクリル容器(6φ×5 cm)にも充填、密封して空気中で1日養生し、1.2 lの水中に沈め、試料の上面のみを水に接した状態にしてpHの経日変化を測定した。

3.3 試験結果

3.3.1 固化強度について 28日養生後における固化材添加量と一軸圧縮強度の関係を図-2に示す。現場においてヘドロ固化後、ブルドーザによって覆土材の巻き出しを行なうものとし、室内での一軸圧縮強度の目標を2 kgf/cm²(現場では約1 kgf/cm²を想定)とした⁴⁾。

普通セメントの場合、300 kg/m³添加しても目標とする強度2 kgf/cm²を得られなかった。一方、特殊セメントでは、2 kgf/cm²を得るための添加量は、特殊セメント

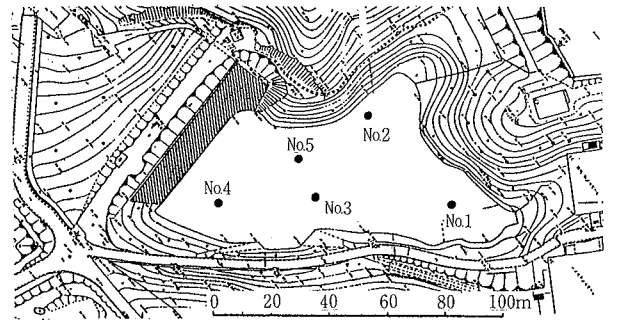


図-1 池水及び池周辺の地形図

(図中の番号は池水・ヘドロの採取地点を示す)

表-1 池水の水質

地点	層	水深 (m)	透明度 (m)	pH (-)	COD (mg/l)	全リン (mg/l)	全窒素 (mg/l)	クロロフィルa (μg/l)
No1	表上(0.5m)層	1.4	1.2	7.2	5.5	0.023	1.672	29.36
	下(底上0.5m)層			7.1	5.3	0.027	1.652	31.32
No3	表上(0.5m)層	2.55	1.25	7.2	15.6	0.033	1.134	32.20
	下(底上0.5m)層			6.9	4.6	0.023	1.944	26.35
No4	表上(0.5m)層	2.86	1.2	7.0	4.6	0.030	1.624	29.01
	中(1.5m)層			7.1	5.3	0.025	1.955	35.90
	下(底上0.5m)層			7.0	5.0	0.034	1.973	29.22
平均値		—	1.22	7.1	6.6	0.028	1.708	30.48

表-2 堆積ヘドロの性状

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
含水比 (%)	232	177	286	346	458
強熱減量 (%)	25.2	22.5	14.6	17.8	28.0
pH	6.58	6.58	6.55	6.58	—
COD (mg/g)	71.4	62.7	40.8	55.6	80.0
全窒素 (mg/g)	4.9	5.7	3.3	4.7	5.4
全リン (mg/g)	1.1	1.7	1.3	1.6	1.6
硫化物 (mg-S/g)	0.07	0.01	0.02	0.02	0.08

Aで約110 kg/m³, Bで約100 kg/m³と普通セメントに比べるとかなり少なかった。

3.3.2 固化体からの溶出アルカリについて pHの経日変化を図-3に示す。いずれも、水中養生を開始して1日でpH10以上まで上昇し4日でほぼ平衡状態に達した。その際、普通セメントは7日目にpH12近くまで達するのに対して特殊セメントはpH11付近にとどまった。7日目におけるpHより、7日間で発生したアルカリ量(mol-OH⁻/cm²)を計算すると、普通セメントは2.33×10⁻⁴, 特殊セメントAが4.05×10⁻⁵, Bが6.13×10⁻⁵となった。このことから、特殊セメントのアルカリ溶出量は、普通セメントのその1/6~1/4と、非常に少ないことが分かった。

3.4 固化材の選定

以上の結果から、特殊セメントA, Bは少量の添加量で目標強度を確保でき、かつ固化体からのアルカリ溶出量も少ないことから、本件の固化材として採用できる。

さらにこの両者を比較すると、少ない添加量で目標強度が得られる特殊セメント B が適していると判断し、実際の工事に適用した。

4. 溶出アルカリの低減方法に関する試験

4.1 試験目的

前章でアルカリ低溶出の固化材を選定したが、ここでは、現場において、固化体から溶出してくるアルカリをさらに低減する方法について検討した。

4.2 試験方法

低減方法として下記の2つの方法を検討した。なお、固化材の添加量は 100 kg/m^3 とした。

4.2.1 自然放置 固化体を空气中で1週間または2週間放置し、アルカリの中性化を促進させた(乾燥放置)。また、現場での降雨、乾燥の繰返しを想定し、固化体表面が乾燥したら水で湿らせる操作を1週間続けた(湿潤放置)。いずれも上記の操作後、固化体を 1.2 l の水中に移し pH の経日変化を測定した。

4.2.2 覆土 覆土材として、現場付近で入手可能な関東ロームの pH 緩衝効果をみるため、ロームに水を添加してスラリー状にし、これに $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (水酸化カルシウム) を適量添加して、1日放置後の pH を測定した。

4.3 試験結果

4.3.1 自然放置について 1週間または2週間乾燥放置、また湿潤放置後水につけた時の pH の経日変化を前掲の図-3に併記した。

1週間乾燥放置では pH が8.2まで上昇し、2週間乾燥放置では pH が7.8まで上昇した。また、湿潤放置では、pH が9.5まで上昇した。先の3.3.2で述べたように、固化後すぐに水中養生したものは pH が11.2まで上昇したのに比べると、自然放置にはかなりのアルカリ溶出抑制効果があるものと分かった。

4.3.2 覆土について 試験結果より、ローム中に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を加えたとき、pH が9以下に抑えられる $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の許容量はローム 10 g 当たり 0.05 g であった。

この値から、ロームのアルカリ吸着によってどの程度の溶出抑制効果があるか計算した。ロームによる覆土厚 50 cm とし、湿潤密度を 1.4 g/cm^3 とすると、このロームが許容できるアルカリ量 (OH^-) は 0.0095 mol/cm^2 とする。

3.3.2で求めた、初期における B セメント固化体からのアルカリ溶出量 $6.13 \times 10^{-5} \text{ mol/cm}^2$ が、覆土中に移動してきたと考え、覆土はこのアルカリ量に対して、 $0.0095 / (6.13 \times 10^{-5}) = 155$ 倍の許容量があるということを示しており、ロームによる覆土のアルカリ溶出抑制効果は大きいものと思われる。

4.4 固化体からのアルカリ溶出の対策案

以上の結果から、固化後2週間程度自然放置し中性化を促進させた後、付近の現場発生土である関東ロームで覆土することを提案し、実際の工事に適用した。

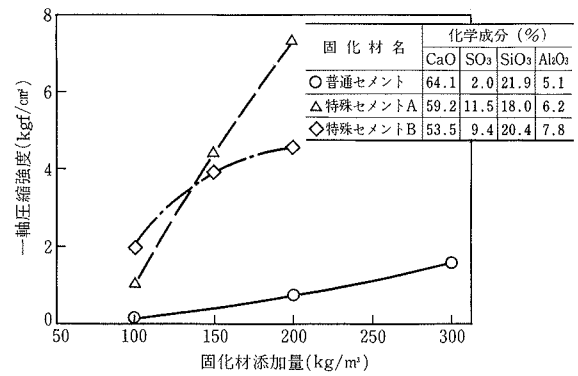


図-2 固化材添加量と一軸圧縮強度の関係

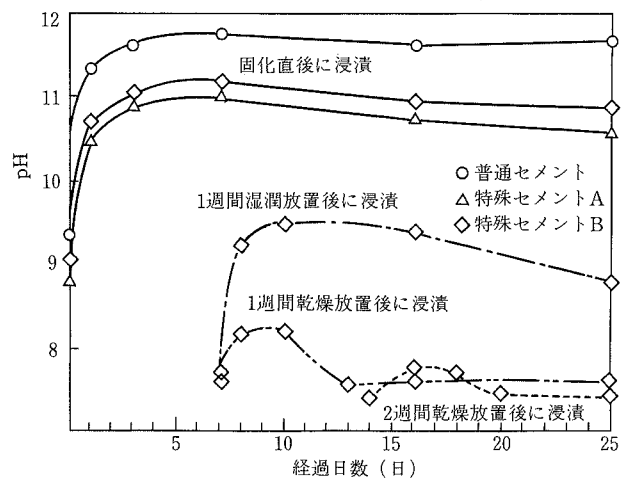


図-3 固化体の各種放置後の水中養生における pH の経日変化 (固化材添加量は 100 kg/m^3)

5. ヘドロ固化工事の経過概要

5.1 工事実施内容

池の改修工事の概要は、以下の通りである。

①池内を鋼矢板によって二重締切りし、片側へ魚を移して水を抜く。②特殊セメントを粉体でヘドロに散布し、泥水作業車タイプの攪拌混合機械(ソイルライマー)で混合。③4週間自然放置。(写真-2) ④ヘドロ固化後、管理用築堤を造成。小型ブルドーザで関東ロームを 50 cm 厚に覆土後、碎石を敷く。(写真-3) ⑤水を張り、ここに鯉等の魚を移す。⑥もう一方の部分と同様に固化・覆土、二重締切を撤去。⑦橋、護岸等の池周辺の環境整備の付帯工事を施工し、完了。(写真-4)

5.2 ヘドロ固化工事後の状況

池片側の施工で、固化処理後の中性化促進のための放置期間として約4週間を確保した。その際、断続的な降水の影響を受け、固化土の大部分は湿潤放置であった。また、部分的に湧水等の水が溜り、その一部の pH を継続的に測定したところ、 $8.3 \sim 9.6$ の範囲にあった。これは、



写真-1 池の改修工事前

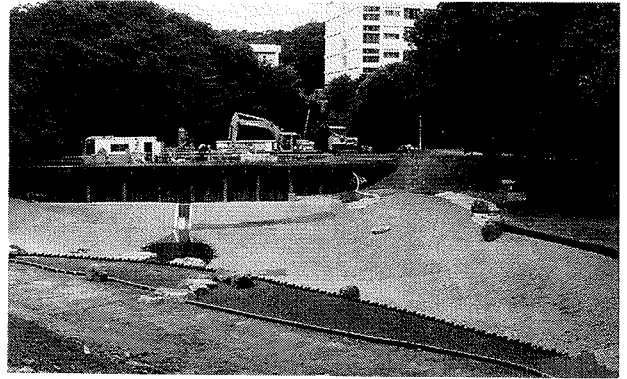


写真-3 ヘドロ固化・覆土工事後



写真-2 ソイルライマーによるヘドロ固化工事

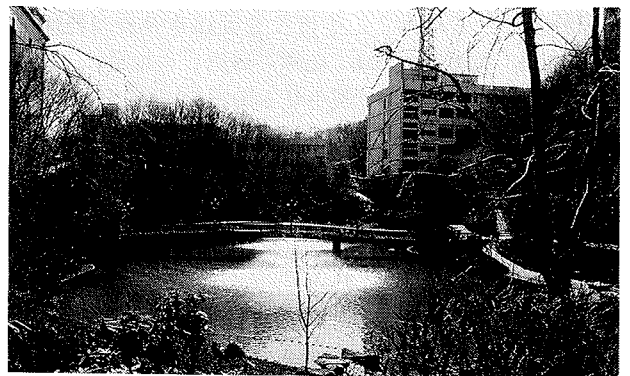


写真-4 工事竣工後

先の室内試験における湿潤放置の結果と近似しており、自然放置による中性化が進行したと思われる。さらに、大気との接触が多かった大部分の地区は、水が溜っていた部分よりさらに中性化が進行し、アルカリ溶出を低減できたと思われる。

固化土の強度については、一部湧水の多い地点を除いて、4週間後に約1 kgf/cm²の強度を確保できた。なお、湧水の多い地点については、再度、特殊セメントを添加・混合して強度増大を図り、関東ロームの覆土作業には支障を与えなかった。

覆土後、水を張って約270日経過したが、pHは8付近を維持し続け、鯉の生育にも問題は発生していない。

6. まとめ

某大学構内の池において、ヘドロが負荷となって池水が富栄養化しており、景観上良好な状態ではなかった。そこで、池水を除去した後ヘドロをセメントで固化し、固化体表面を良質土で覆土する、池の改修工事が施工された。工事に当って、固化体からのアルカリ溶出が鯉等の生育に影響を与えると考えられ、その対策として室内試験を行ない、下記のように工事に適用した。

① ヘドロ固化処理における固化材として、アルカリ溶出量が少なく、かつ少ない添加量で所定強度を確保できる、有機質土用の特殊セメントを用いた。

② 固化後4週間程度自然放置し、中性化を促進することによって、アルカリ溶出を大きく低減させた。

③ pH緩衝能が高い関東ロームを覆土材として用い、水中へのアルカリの拡散を低減させた。

④ 覆土後水を張り、約270日経過した段階でも、池水のpHは8付近を維持しており、上記①・②・③のアルカリ溶出の低減対策が妥当であったと判断される。

参考文献

- 1) Vollenweider, R. A.: Scientific fundamental of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication, Technical report DAS/CSI 68-27 (1968)
- 2) 喜田大三: ヘドロの浚渫・処理処分, 土と基礎, Vol. 26, No. 1, p.55~61, (1978)
- 3) (社)底質浄化協会: 底質の調査・試験マニュアル
- 4) 日本道路協会: 道路土工-施工指針