

湖沼底質を有効利用した水辺環境の修復

吉野 広司 畑野 俊久
島多 義彦 斉藤 悦郎
望月 美登志 *1 石山 雄三 *1
土開 健義

概 要

湖沼水域において過剰な栄養塩類の供給が起きると、夏期に、これらを栄養分とするアオコが異常発生し、水質悪化の大きな原因となる。富栄養を多く含む泥状な底質は、浚渫によって取り除くことができるが、その処理が非常に困難であること、また狭隘な地域では有効利用先の確保が難しい課題がある。このような背景から、本稿では、栄養塩類を含む底質を、その湖沼の水辺環境へ戻すことで有効利用する方法とその適用成果について報告する。具体的には、諏訪湖、琵琶湖内湖の底質に吸水性を特徴とする土質改良材「FTマッドキラー」を適用し、改良土を水辺環境に有効利用する上で必要である改良土の強度確保と栄養塩の溶出量の低減化について究明した。更に、その成果を基に、実際の改良工事において、改良土を親水性の周景湖岸造成盛土へ有効利用した事例や、ヨシ育成の植生基盤材として利用を試みた事例について紹介する。

Restoration of Waterside Environment by Effective Recycling of Lake and Marsh Bottom Mud

Abstract

Abundant supply of nutrient salts in rivers, lakes and marshes leads to an abnormal increase of blue-green algae growth in summer and results in the deterioration of water quality, which can pose problems for our life. This paper reports on a study into an improvement method for bottom mud (which is rich in nutritive salts and primarily responsible for the deterioration of water quality and contamination of sediments) and use of the method to improve waterside environment. Firstly, experiments to verify the effectiveness of this method using lake mud of the Lake Suwa and Biwa are shown. In the experiments, a mud improvement material having high water-absorbing property was used. Results confirmed that the improved mud increased in strength and reduced in speed of nutritive salt elution. Secondly, this paper introduces application of this method to recycle lake mud to base material for a lake front formation project at the Suwa Lake and a reed cultivation project at the Biwa Lake.

キーワード: 湖沼, 底質, 水辺環境再生, ペーパー
スラッジ灰, 改良, 有効利用

*1 本社 土木本部

§1. はじめに

湖沼の水域における栄養塩は、水循環の中で植物プランクトンにより利用され、次いで動物プランクトン、底生動物、魚等に捕食、排泄されながら水中にて変化を繰り返している。その中で、栄養塩の一部は懸濁有機物として底質に沈降・堆積し、それらは分解された後に、再び水中に溶出している。湖沼水域において過剰な栄養塩類の供給が起きると、夏期に、これらを栄養分とするアオコが異常発生することになり、水質悪化の大きな原因として、社会生活上の問題とされる。そこで、水質汚濁防止対策や、底質汚濁防止対策などの水質浄化事業の一環として、底質の浚渫が実施されているが、その結果、多量に発生する浚渫土の処分、改良の難しさ、有効利用する方法や受け入れ先の確保において困難な問題が生じている。

本稿では、湖沼の水質・底質汚濁の主な原因である栄養塩類を含有する底質の改良方法とその改良土を用いた水辺環境修復技術について研究開発を実施してきた成果を述べる。修復技術の一つには、富栄養な諏訪湖の底質に、環境に配慮した改良を行うことで、改良土を周景湖岸盛土へ有効利用した例を紹介する。ここでの高含水かつ栄養塩を含む底質の改良には、高吸水性を特徴とする土質改良材を適用している。土質改良材「FT マッドキラー」(以下、改良材とする)は、これまで筆者らが研究開発した製紙スラッジ灰を基材とした、高吸水性、且つ砂状の粒子を特徴とする材料であり、瞬時に環境に配慮した改良が可能な材料である。この改良土を水辺環境に有効利用するために、改良土の強度確保と同時に、栄養塩の溶出量の低減化について実験的検証を行った。もう一つは、琵琶湖において、ヨシ原の減少が問題視されていることから、底質をヨシ育成の基盤材として有効利用することを考え、改良材の適用を試みた成果を紹介する。

§2. 底質改良に求められる条件

栄養塩類を含む底質は、天日乾燥による含水比低下工法では非常に多くの時間や用地を必要とし、化学的改良を行うと多量の有機物等を含むために改良強度が得られにくいことや悪臭を放つ等の問題が生じてしまう。改良土の有効利用先の現状は、受け入れ地を選択することは難しく、その周辺地域において様々な用途に利用可能な改良土の品質が求められる。以下に、これまで諏訪湖や琵琶湖等へ適用する際に、必要とした条件を記す。特に近年は、動植物への影響を与えない環境負荷への低減が重要視されてきており、改良時の条件として要望されている。

- a) 改良直後に運搬、盛土可能な改良土の締固め強度
- b) 利用先に合わせ、容易に強度調整が可能
- c) 改良による粉塵が少ない
- d) 改良土は中性の範囲
- e) 悪臭が発生しない
- f) 植生が良好
- g) 水域内還元の場合、栄養塩類の溶出抑制

§3. 底質の性状と土質改良材「FT マッドキラー」

3.1 湖沼の底質

諏訪湖および琵琶湖内湖の底質の物性を表 2 および図 1 示す。諏訪湖は富栄養湖に分類され、栄養塩類の濃度が高い底質表層 50cm を浚渫し、圍繞堤内で天日乾燥により含水比の低下を図ったものである。琵琶湖内湖は、現地において底質を直接採取した後、上澄水を取り除いたものである。諏訪湖の底質は、シルトや粘土の細粒分が非常に多く、液性限界以上の高含水な性状を有する。琵琶湖内湖は、砂分に対しシルトや粘土の細粒分は同程度である。底質は、このような性状を有することから、有効利用可能な土質材料として改良することは非常に難しい現状にある。

表 2 底質の性状

湖沼名	諏訪湖	琵琶湖内湖
湖沼型	富栄養湖	貧栄養湖
泥土の採取場所	浚渫土	底質
密度(g/cm ³)	2.489	2.655
含水比(%)	204.6	80.0
液性限界w _L (%)	181.0	52.4
塑性限界w _p (%)	84.7	29.5
塑性指数I _p	96.4	22.9
pH	6.1	7.2

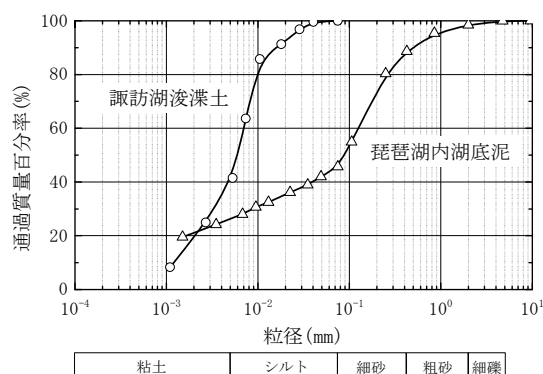


図 1 粒度分布

3.2 土質改良材「FT マッドキラー」

改良材は、写真1、表1に示すように、高温再焼成処理した製紙スラッジ灰を基材とするもので、主成分はシリカとアルミナによる硬い結合結晶となっている砂状の粒状体である。また、粒子は多孔質で高吸水能力を有する。この改良材の大きな特徴は、吸水作用と砂状性質によって泥土を瞬時に施工性の良い改良土にすることができる点である。化学的には安定し、土壤の汚染に係わる環境基準について(平成3年環境省告示第46号)、およびダイオキシン類による土壤の汚染に係わる環境基準(平成14年環境省告示第46号)に対して基準内であり、改良土は対象土のpHにもよるが、中性の範囲とすることが可能である。



写真1 改良材の概観

表1 改良材の概要

外状	灰白色粉体	
化学的性状	主成分	シリカ・アルミナ主体
物理的性状	粒度	砂状
	密度	2.40g/cm ³
	かさ比重	0.60g/cm ³
	吸水率 ^{※1}	39%

※1:吸水試験 JIS A 1109

§4. 諏訪湖底質への適用事例

4.1 概要

諏訪湖は、長野県のほぼ中心に位置し、全周約16km、面積約13km²、最大水深約7mである。流入河川は31河川である一方、流出河川は天竜川の1河川のみである。富栄養化は明治後半の製糸業の盛んなころから始まったとされ、特に高度成長期の1955年頃から急激に悪化し、水質浄化事業は1969年から取り組み初められた。1978

年まで水質悪化は続きピークとなるが、その後、徐々にではあるが水質が改善され現在に至っている。そのような中で、これまで浚渫が実施されてきたが、その多量な底質に対しての適した改良方法が見つからず、囲繞堤に堆積させた状態という課題を抱えていた。この課題に対して、底質を改良し、傾斜型周景湖岸へ有効利用した事例を以下に記す。

4.2 FT マッドキラーによる底質の改良

諏訪湖における底質改良の施工、図2に示すようなフローで実施した。事前に実施した配合試験による改良材の添加量と改良土のコーン指数 q_c との関係は図3に示す通りである。改良材の改良原理は吸水性によるため、底質の物理的性状が一樣と見なせる範囲では、現地において底質の含水比を測定することで容易に必要な強度を得るための添加量を決定することができ、施工可能である。本工事での湖岸盛土への改良土の目標強度は、 $q_c=500\text{kN/m}^2$ 以上である。改良装置は、写真2に示すように改良材サイロ、短軸のスクリーミキサ、搬送ベルトコンベヤからなる構成とした。

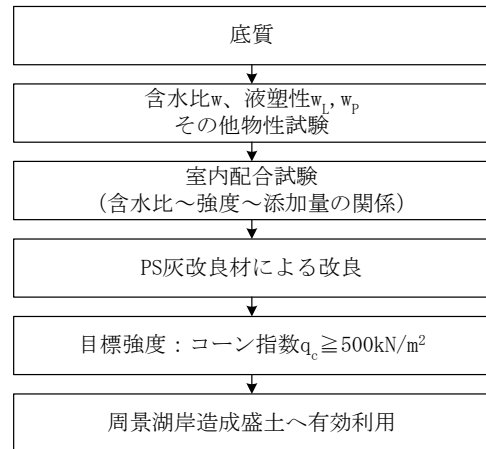


図2 施工フロー

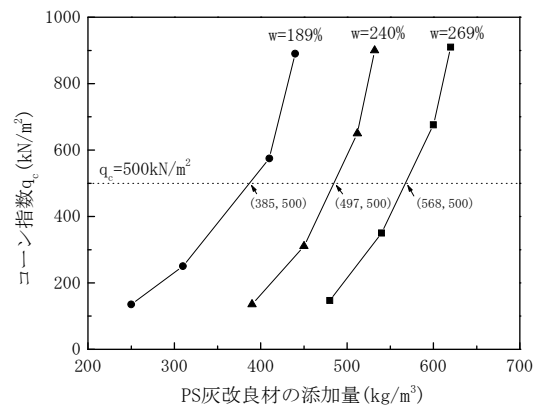


図3 配合試験例



写真2 改良状況

サイロ(中央), 改良装置(中央下), 改良土(手前)

4.3 有効利用事例

図4は、諏訪湖の水辺整備として周景湖岸造成盛土への有効利用図、写真3, 4は完成後の経過状況である。ここで、湖岸へ改良土を有効利用する条件は、栄養塩類の溶出速度の低減化、すなわち長期的にゆっくりと溶出させることで湖沼への栄養塩の影響が少ない方法とした。

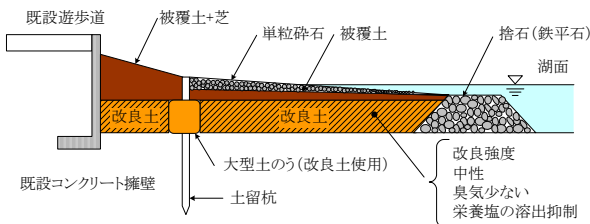


図4 周景湖岸造成盛土の断面図



写真3 周景湖岸造成盛土(2007年春撮影)



写真4 周景湖岸造成盛土(2006年冬撮影)

4.4 栄養塩類の溶出抑制

栄養塩類の溶出速度の低減化を把握するために、その溶出特性について検証した結果を以下に記す。

4.4.1 栄養塩類の溶出試験方法

溶出試験には、栄養塩類溶出試験(窒素, リン)²⁾に準拠したカラム溶出試験方法を採用した。この試験は、湖沼における底質に含有された栄養塩が液中に溶出する過程を実際の水域環境に近い条件下で再現する方法である。溶出試験装置は図5に示す構成とし、円筒形の直径14cmに底質は静かに投入し、改良土は締固めエネルギーA法にて厚さ30cmで作成した。改良土および覆砂の効果も検討した。改良土は周景湖岸造成盛土へ有効利用することから、カラム試験条件は嫌気条件とし、直上水の高さは50cmとし、ポンプにて循環、恒温室20°Cで実施した。実験ケースを以下に示す。

【実験ケース】

- ①底質, ②改良土 $q_c=500\text{kN/m}^2$
- ③改良土 $q_c=500\text{kN/m}^2$ +覆砂厚さ15cm
- ④改良土 $q_c=500\text{kN/m}^2$ +覆砂厚さ30cm

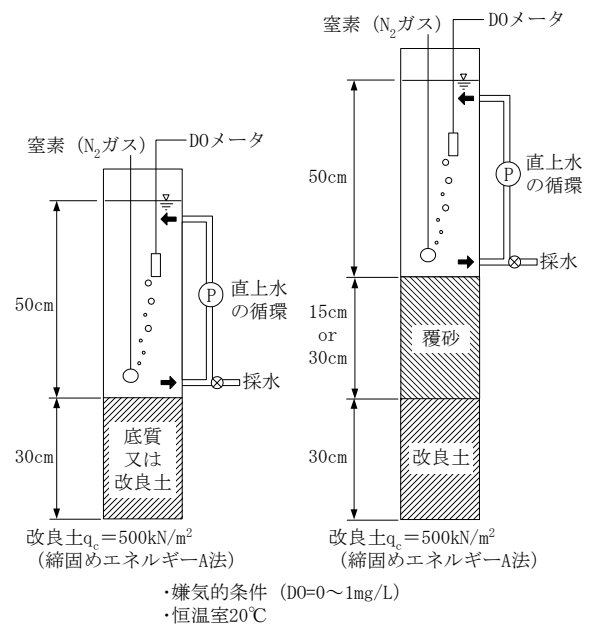


図5 カラム試験装置

4.4.2 栄養塩の溶出速度

溶出速度は、底質の表面から1日当り、単位面積当り、何mgの溶出物質が出てくるかを表す指数($\text{mg/m}^2/\text{day}$)である。底質およびその改良土からの溶出速度を過去に測定されている数値と比較し、図6, 7に示す。図6に、底質および改良土とその上部に覆砂を施したものに対する全窒素(以下TNとする)の溶出速度を比較して示した。底

質の溶出速度は、諏訪湖にて福原他ら(1981年)¹⁾が測定した結果の範囲にある 142mg/m²/dayである。これに対し、改良土の締固め強度を $q_c=500\text{kN/m}^2$ とした場合には、既報に測定されている底質の溶出速度の下限値 45 以下の 32 mg/m²/dayに低減される結果を得た。全リン(以下 TPとする)は図7に示すように、底質 15 mg/m²/dayに対し、既報に測定された下限値の 6 mg/m²/day程度に低減している。覆砂の効果は、TNでは顕著に見られ、本試験結果でのTPは僅かとなり、それ以上の低下は少ないと見れる。以上の結果から、溶出速度は、底質を改良し、更に覆砂の工夫を加えた場合、TNで 77%、TPで 60%まで低減することが可能である。

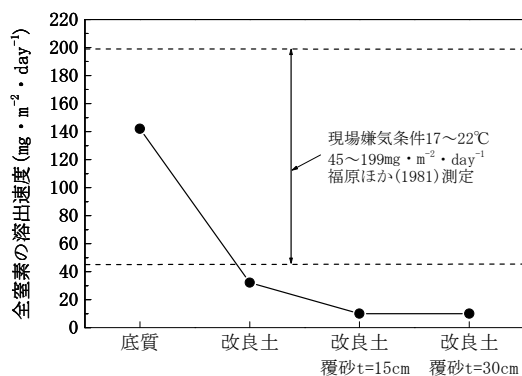


図6 全窒素の溶出速度(諏訪湖)

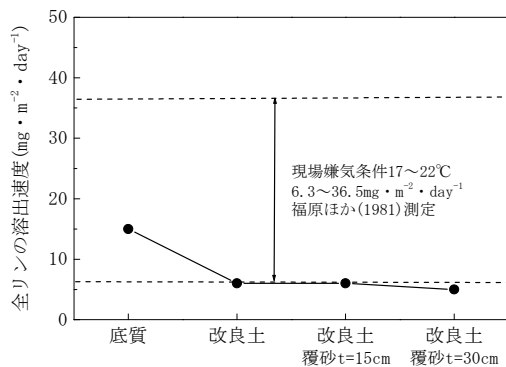


図7 全リンの溶出速度(諏訪湖)

§5. 琵琶湖内湖底質の有効利用

5.1 概要

琵琶湖周辺は日本でも有数のヨシ群落の生育地であるが、高度成長期による湖岸の建設などの結果、ヨシ群落が減少している状況である。ヨシ群落の特徴は、高い増殖速度と共に窒素、リン除去機能を持ち合わせることや、鳥類、魚類、水生動物等の生息地、湖岸の侵食防止や自然景観の保全の観点も有している。したがって、減少

するヨシ群落の再生は水質環境改善の重要な施策として調査研究が行われている。ここでは、栄養塩類を含む底質を、ヨシ群落の再生基盤として有効利用することを考え、ヨシの生育と同時に溶出速度の低減化について検証した。写真5に、試験フィールドにおけるヨシの生育試験状況を示す。改良土からのヨシの生育は、川砂よりも良好であり、この差は底質を基盤とした方が栄養分が豊富なこと、基盤強度が適した範囲にあったためと考察する。そこで、改良土からの栄養塩類の溶出量について実験を行った。



写真5 改良土からのヨシの生育状況
(左から3列順に、改良土 $q_c=500\text{kN/m}^2$ 、川砂、改良土 $q_c=800\text{kN/m}^2$)

5.2 栄養塩類の溶出抑制

内湖の底質を改良し、ヨシ植生基盤として水域へ利用した場合の栄養塩類の溶出特性を把握するために、4.4.1項と同様なカラム溶出試験とした。

5.2.1 栄養塩類の溶出試験方法

ヨシ群落の育成基盤とするための地盤硬さは、図10に示すように $q_c=200\text{kN/m}^2$ 以下～ 800kN/m^2 以上を生育範囲と推定し、この範囲の改良土にてカラム溶出試験を実施した。ヨシ群落の育成する湖岸は、水深が浅いことから好気状態とした。以下に実験ケースを示す。

【実験ケース】

- ①底質 , ②改良土 $q_c=300\text{kN/m}^2$
- ③改良土 $q_c=500\text{kN/m}^2$, ④改良土 $q_c=800\text{kN/m}^2$

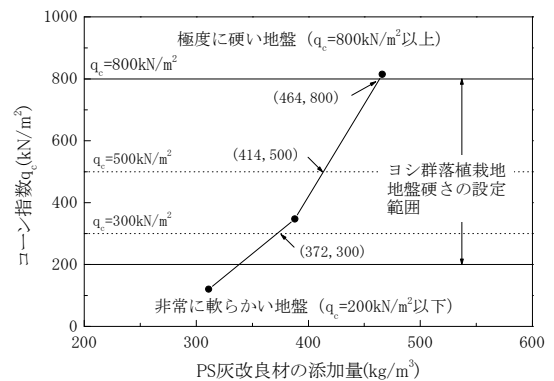


図8 ヨシ植生基盤のための地盤硬さの設定

5.2.2 栄養塩の溶出速度

底質からのTN溶出速度は、図9に示すように、南湖全体の測定値 $7.70 \text{ mg/m}^2/\text{day}^3$ よりも大きい $33 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ であった。改良土のコーン指数 $q_c=300\sim 800\text{kN/m}^2$ における溶出速度は、 q_c の増加に対しほぼ一次的な減少傾向が見られた。ここで、TNは $q_c=800\text{kN/m}^2$ のとき、70%低減することが可能である。TP溶出速度は図10に示すように、底質において $0.25 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ と琵琶湖の測定事例 $0.6\sim 3.94 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ より小さく、改良土も同程度であった。以上から、琵琶湖の底質の改良においても、TNの溶出速度は低減可能であった。TPの溶出速度は、底質において小さく、改良土においても小さく変わらないと言える。以上より、この状態において、ヨシは必要な栄養分と自身を支える基盤上にあり、良好に成長することができたと考察する。この方法が可能であれば、湖沼のヨシ群落再生と底質の有効利用を同時に対策していくことが可能になると期待される。

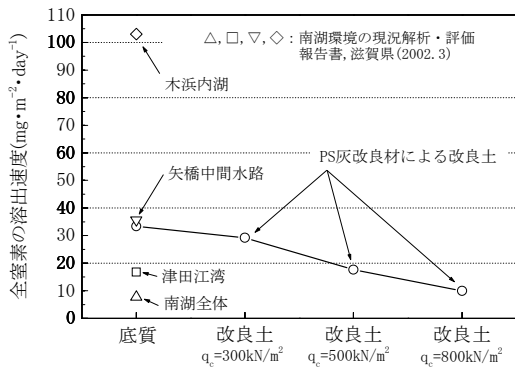


図9 全窒素の溶出速度(琵琶湖内湖)

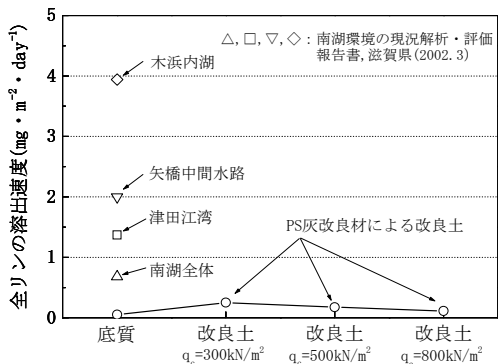


図10 全リンの溶出速度(琵琶湖内湖)

§6. まとめ

栄養塩類の蓄積する湖沼等において水質浄化やアオコ等の発生による悪臭防止のために底質を浚渫するが、その浚渫土は非常に高含水であり、栄養塩類も多く含んでいる。これを化学的な固化材により改良した場合はアルカリ性や臭気が発生し、湖岸もしくは周辺に有効利用するには、受け入れ先や利用用途が限定されてしまうため、水質・底質汚濁防止が困難となっていた。本土質改良材「FT マッドキラー」のように、吸水作用による改良工法は、これまで困難であった高含水、栄養塩類を含む底質に対し、即効性があり、環境に配慮した改良を行うことが可能である。今回は、これに加えて栄養塩類の溶出速度の低減化を図ることにより、水辺環境の修復のための土質材料として有効利用する方法へ進展させた。今後は、更に、湖沼等の水域における底質汚濁対策や水質浄化対策に本技術を適用し、水域の環境保全に役立てたいと考える。

参考文献

- 1) 西條, 三田:新編湖沼調査法, 講談社サイエンティフィック, p114
- 2) 社団法人底質浄化協会「底質の調査・試験マニュアル」
- 3) 南湖環境の現況解析・評価報告書, 平成4年3月滋賀県



吉野 広司

ひとこと

本研究開発において、湖沼底質を水辺環境の修復へ有効利用できたことは、非常に大きな成果である。今後も本技術を活かし、環境保全技術の向上に繋げて行きたいと思う。