

浚渫土を利用したヨシ群落再生工法の開発

島 多 義 彦 吉 野 広 司
袋 昭 太 畑 野 俊 久 ^{*1}
高 下 健 一 ^{*2} 石 山 雄 三 ^{*1}

概 要

底質浄化や航路確保等を目的として、今後も湖沼やダム湖等の閉鎖性水域における浚渫が見込まれ、浚渫土の有効利用が課題となっている。一般にヘドロといわれる浚渫土は、次の4点を主な理由として沿岸植生基盤への適用が困難とされ、川砂等の砂質土が使用されている。①高濃度で含有する窒素・リンの溶出による水質汚濁。②シルト・粘土含有率の高い浚渫土では、生育に必要な基盤強度が不足することや造成後の植栽工事の施工性が悪いこと。③造成後に沈下等が起こる可能性があること。④動植物の生息に悪影響する可能性があること。

本研究では、浚渫土をFTマッドキラー（製紙工場から発生するペーパースラッジ灰を基材とした土質改良材）により土質改良し、植生基盤を造成するヨシ群落再生の実証実験等を約2年間実施した。その結果、上記4つの課題を解決し、有益な工法であることが示された。

Reed Community Regeneration using Dredged Sediment

Abstract

Dredging in enclosed waters (e.g. lakes and dams) for sediment purification or safe ship navigation will continue to be carried out for the foreseeable future. As a result, the effective utilization of dredged sediment is a serious problem. Generally, it is difficult to use dredged sediments ("Hedoro") as soil for water plants because of the following four problems: ①water pollution caused by high levels of nitrogen or phosphorus in the sediments, ②lack of ground strength for reed growth and poor workability in planting works for dredged sediments containing silty or clayey soil, ③ possibility of settlement after establishment, ④ possibility of a negative impact on the area's pre-existing flora and fauna.

In this study, we carried out validation tests on reed community regeneration using dredged sediment improved by FT-MUDKILLER (soil improvement material made of paper sludge ash), and established a vegetation ground at a demonstration scale. The new method addressed the four problems mentioned above and the usefulness of this method was confirmed.

キーワード： 浚渫土, 土質改良, ヨシ群落,
植生基盤, 栄養塩

*1 土木本部 技術営業部

*2 大阪支店

§1. はじめに

近年、浚渫土の処分場不足や処分費の問題があり、その有効利用先として湖内での利用が求められている。一方、湖沼等ではヨシ等の水生植物群落を再生し、生態系修復や水質浄化等を行う事業が増加しつつある。

琵琶湖等の湖沼やため池等から発生する浚渫土を沿岸のヨシ群落等の植生基盤に使用することは、①高濃度で含有する窒素・リンの溶出による水質汚濁、②シルト・粘土含有率の高い浚渫土では、生育に必要な基盤強度が不足することや造成後の植栽工事の施工性が悪いこと、③造成後に沈下等が起こる可能性があること、などを理由に沿岸植生基盤への適用が困難とされ、川砂等が使用されている。

本研究では、浚渫土を FT マッドキラー（製紙工場から発生するペーパースラッジ灰（PS灰）から製造した多孔質セラミックス状の土質改良材、以下土質改良材）で土質改良し、湖岸のヨシ群落の基盤に有効利用する工法の開発を目的とし、浚渫土からの栄養塩の溶出抑制、在来工法である川砂と比較したヨシの生育促進、圧密沈下等の地形の変化防止、生物への悪影響の防止を課題として約2年間実証実験等を行い検討した。

§2. 工法の概要

浚渫土に土質改良材を添加し均一に混合して、物理的な吸水効果により改良する。改良土は瞬時に所定の強度に造成できる特徴がある。施工区域の水位を低下させつつ、ブルドーザ等により、改良土の撒き出し締め固めを行い、所定の強度（コーン指数 $qc \approx 400 \sim 800 \text{ kN/m}^2$ ）を確保し、水位を戻す。ヨシの植栽はマット法など従来法による。水生動植物の生育に適した基盤強度を確保でき、締め固め等による窒素・リンの封じ込めと植物の栄養素への利用、沈下等の地形変化や波浪等による侵食を抑制できることを意図して工法の検討を行った。（図1参照）

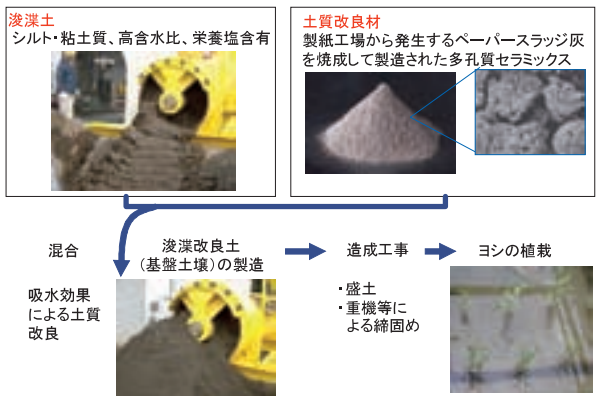


図1 工法の概要

§3. 実証実験施設

ヨシ群落の植生基盤への浚渫改良土の適用性を検証するため、実証実験を、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター（Biyoセンター）で2004年5月～2006年1月まで実施した。実験施設の概要を以下に示す。

3.1 施設構造

実験施設の概要を図2に示す。実験区は、A区：改良土 $qc=300 \text{ kN/m}^2$ 、B区：改良土 $qc=500 \text{ kN/m}^2$ 、対照区：川砂（在来工法）の3区とし、水中植栽部（水域）、陸上植栽部（陸域）の植生基盤を造成し、2.7株/㎡にてヨシポット苗を植えた（2004年5月31日施設完成）。各実験区には、付近の葉山川の水を平均流速約0.3cm/sで導水した。

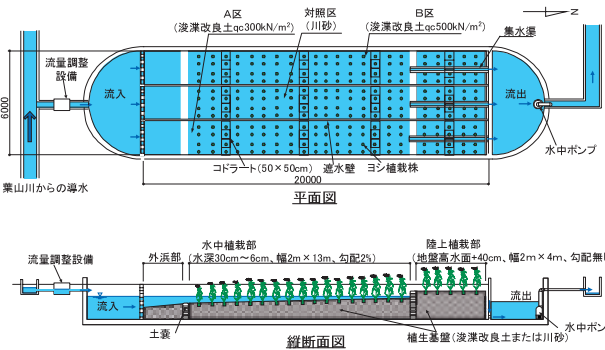


図2 実験施設の構造概要

3.2 浚渫土の性状

使用した浚渫土は、木浜町の県有地浚渫土集積場にて仮置きされていた琵琶湖内湖もので、表1に示すように、液性限界よりも高い泥状な性状を有する土であった。

表1 浚渫土の性状

土質項目	分析値	試験法
礫含有率(%)	3.5	JIS A 1204
砂含有率(%)	17.5	
シルト・粘土含有率(%)	79.1	
含水比(%)	80.0	JIS A 1203
液性限界(%)	52.4	JIS A 1205
pH	7.2	JGS 0211
強熱減量(%)	6.6	底質調査法 (600℃)
窒素含有率(mg/g)	1.8	燃焼法
リン含有率(mg/g)	1.3	硝酸-過塩素酸分解法

3.3 土質改良材の性状

今回使用した土質改良材は、表2に示すように、高温再焼成処理したPS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おり、多孔質で高吸水能力を有する粒状体材料である。土質改良材としての大きな特徴は、砂状の粒度分布を有すること、吸水作用により瞬時に必要な締め固め強度を発揮できること、さらに土壤環境の溶出基準を満たし、吸水作用による改良

であるため、改良土の pH が弱アルカリで改良土が環境に及ぼす悪影響がないことが挙げられる。

表 2 土質改良材の概要

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	2.65g/cm ³
	かさ比重	0.65 g/cm ³
	吸水率	39%

3.4 土質改良方法および改良土

浚渫土の改良は、写真 1 に示す改良材サイロ、短軸のスクレーミキサ (50m³/h)、搬送ベルトコンベヤで構成する改良装置で行った。改良土をヨシ群落の育成基盤とするための基盤硬さは、図 3 に示すようにエネルギー A 法で作成した供試体のコーン指数と土質改良材の添加量で管理し、既往の知見からヨシの生育に影響を受けない基盤硬さを $q_c=200\sim900\text{kN/m}^2$ とし、 $q_c=300, 500, 800\text{kN/m}^2$ の 3 種類を試験強度とした。



写真 1 琵琶湖浚渫土の土質改良装置

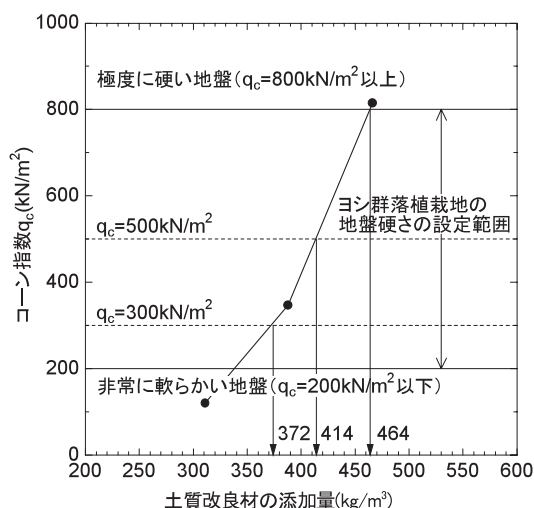


図 3 浚渫改良土のコーン指数と改良材添加量の関係

§4. 調査方法および結果

4.1 改良土が水質に及ぼす影響に関する調査

湖岸にヨシ群落を再生する事業の植生基盤材に川砂や山砂が使用されている大きな理由として、浚渫土を基盤材に使用した場合の栄養塩の溶出が水質に悪影響することが指摘されている。このため改良土からの栄養塩の溶出特性を把握するために、次の 2 種類の実験を行った。実験ケースは、①浚渫土 (原泥)、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 $q_c=800\text{kN/m}^2$ とした。

① 溶出 (抽出) 実験

沿岸環境調査マニュアル¹⁾に準拠して、土壌および土質改良材について溶出試験を実施した。溶出試験の実施条件は、混合液中に含まれる固形分の重量と混合液との割合は 3/100 (g/l)、混合液量が 500ml 以上になるように調整し、室温にて 4 時間振とう後ろ紙 (5 種 C) を用いて濾過した濾液を分析した。

全窒素 (T-N)、全リン (T-P) の溶出量調査結果を図 4 に示す。主に次のことが示された。

- ・改良土からの窒素・リン溶出量は、土質改良材を添加することにより、原泥と比較して改良土では T-N: 30～49%、T-P: 20～39%削減された。
- ・溶出した窒素の形態は、主にアンモニア態窒素、および有機態窒素であった。溶出したリンの形態は、大部分がリン酸態リンの形態であった。
- ・土質改良材からの窒素・リンの溶出はほとんど見られなかった。

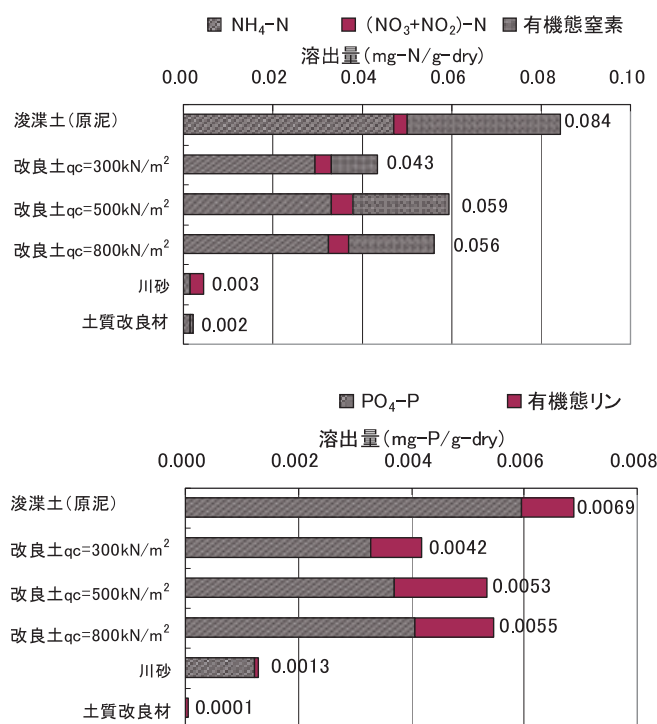


図 4 植生基盤材の窒素、リン溶出試験結果

② 室内カラム溶出試験

湖沼において底泥に含有する栄養塩が水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したカラム溶出試験を実施した。試験方法は、(社)底質浄化協会「底質の調査・試験マニュアル」²⁾の栄養塩類の溶出試験に準拠した方法とした(図 5 参照)。

T-N および T-P 溶出量を図 6 に示し、20 日間の溶出量から算出した溶出速度を表 3 に示す。窒素については、基盤強度を高めることにより、溶出速度が抑制されることが確認され、 $q_c = 800 \text{ kN/m}^2$ の改良土では T-N 溶出速度は、原泥と比較

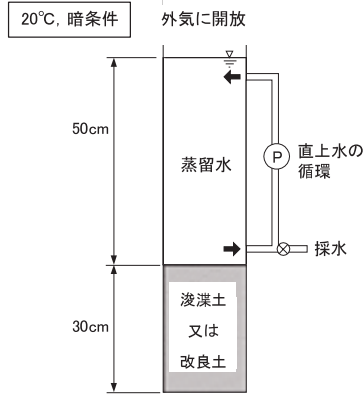


図 5 カラム試験装置の概要

して 77%減少した。リンについては、原泥の溶出速度が小さく、改良土の方が若干大きくなったが、窒素の場合と同様に基盤強度を $q_c = 800 \text{ kN/m}^2$ まで高めることにより、溶出速度を低減できる結果が得られた。

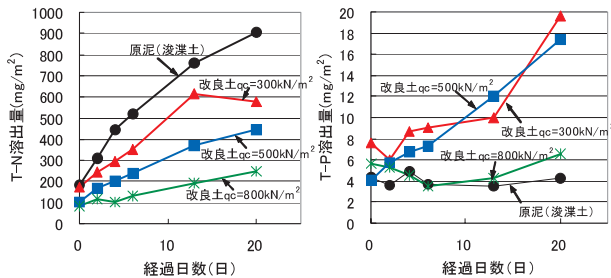


図 6 カラム溶出試験による窒素・リンの溶出量

表 3 窒素・リンの溶出速度 (単位: $\text{mg/m}^2/\text{日}$)

種類	T-N	$\text{NH}_4\text{-N}$	$(\text{NO}_3 + \text{NO}_2)\text{-N}$	T-P	$\text{PO}_4\text{-P}$
浚渫土(原泥)	36.1	37.5	1.0	-0.01	-0.21
改良土 $q_c = 300 \text{ kN/m}^2$	20.3	16.5	-0.1	0.60	0.63
改良土 $q_c = 500 \text{ kN/m}^2$	17.2	8.0	3.4	0.67	0.23
改良土 $q_c = 800 \text{ kN/m}^2$	8.3	1.9	2.4	0.05	0.00
(参考値) 木浜内湖浚渫土 ³⁾	103.1	-	-	3.94	-

なお、琵琶湖以外の浚渫土では、過去に諏訪湖の浚渫土について同様のカラム溶出試験を行い、窒素およびリンの溶出抑制効果が認められ、諏訪湖修景湖岸造成基盤材に有効利用されている。⁴⁾

4.2 改良土がヨシ生育におよぼす影響に関する調査

植生基盤材がヨシの生育におよぼす影響を把握するため、表 4 に示すようなヨシの地上部・地下部の生育状況および土壌調査を実施した。

表 4 ヨシの生育状況調査

調査項目	方法	時期・頻度
① 地上部の生長量定期調査	各実験区の水深の異なる4地点(水位-30cm、-18cm、-6cm、+40cm)に50cm四方のコドラートを横断方向に4区画ずつ設置し、ヨシ地上茎の個体数密度、各区画の最長草高、4区画のうち1区画の地上部の全草高を測定した。	4月～10月、1回/2ヶ月
② 地上部の刈り取り調査	地上部の定期調査を実施したコドラート内のヨシ地上部を全て刈り取り、単位面積あたりの乾燥重量を測定した。	実験終了時(2005年12月)
③ 地下茎の刈り取り調査	地上部の定期調査を実施したコドラート内の植生基盤を掘削し、地下茎を全て刈り取り、単位面積あたりの乾燥重量、分布状況を調査した。	実験終了時(2006年1月)
④ コドラート付近の土壌調査	各コドラート付近の植生基盤の q_c を測定し、土壌コアサンプル(地表～30cm、2回/地点)を採取して粒度分布、強熱減量、炭素・窒素・リン含有率を測定した。	実験終了時(2006年10月)

主な調査結果を以下に示す。

- ヨシ植栽後の基盤別茎個体数密度および区画内最長草高をそれぞれ図 7、図 8 に示す。2004 年度、2005 年度いずれも改良土 $q_c = 500 \text{ kN/m}^2 >$ 改良土 $q_c = 300 \text{ kN/m}^2 >$ 川砂の順であり、在来工法と比較して浚渫改良土はヨシが高密度に生育した。また、草高も同様の傾向が見られた。
- 水深別の茎個体数密度および区画内最長草高をそれぞれ図 9、図 10 に示す。茎密度については、従来使用されている川砂は、水深 20cm 以上で茎密度が著しく減少したが、改良土では水深 20～30cm においても高密度にヨシが繁茂した。草高は、茎密度のような明確な傾向は見られなかった。
- 植栽後2年目(2005 年 12 月 3 日)に地上部の刈り取り調査を行った結果を図 11 に示す。植栽後2年目のヨシの生産量は、改良土 $q_c = 500 \text{ kN/m}^2$ がいずれの水深(基盤高)においても多かった。また、改良土 $q_c = 300 \text{ kN/m}^2$ 、 500 kN/m^2 では、ヨシの生育不良は見られなかった。川砂(在来工法)では、水深約 20cm 以上ではヨシの生産量が少なかったが、改良土では多く、ヨシの生育が促進されたと考えられた。
- 植栽後2年目(2006 年 1 月 19 日)に実験区 B および対照区の陸域と水域中央の植生調査区域の地下茎の乾燥重量を調査した結果を図 12 に示す。陸域は、川砂と改良土で大きな差は見られなかったが、水域では改良土の方が川砂の約 2.7 倍増加した。
- ヨシ生育の影響因子として 2005 年 10 月に調査した土中のリン含有率、コーン指数(q_c)について、2005 年 8 月 24 日のヨシ茎個体数密度、区画内最高草高との関係を調査した。その結果、リン含有率、 q_c は、水中部で茎密度、最長草高といずれも正の相関が見られ(茎密度との相関係数:リン含有率 0.70, q_c 0.68)、改良土はリン含有率が高く(各平均値: A 区 2.10 mg/g-dry , B 区 2.44 mg/g-dry , 対照区 0.37 mg/g-dry)、水中部の q_c が川砂と比較して大きかったことがヨシの成長に影響したと考えられた。

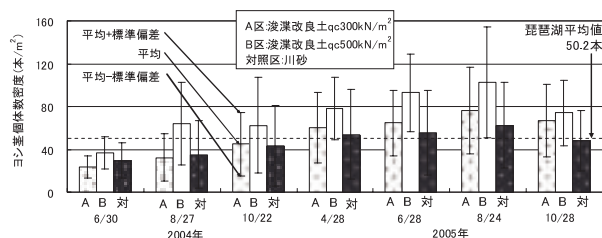


図7 茎個体数密度の推移

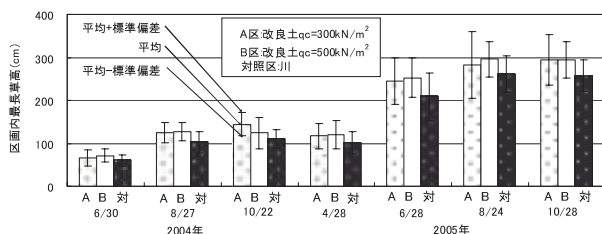


図8 区画内最長草高の推移

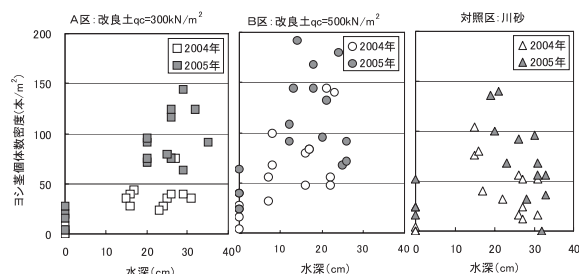


図9 水深別茎個体数密度

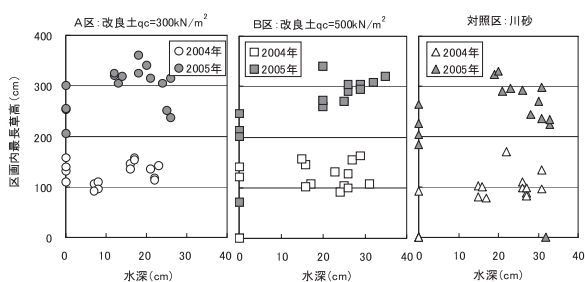


図10 水深別区画内最長草高

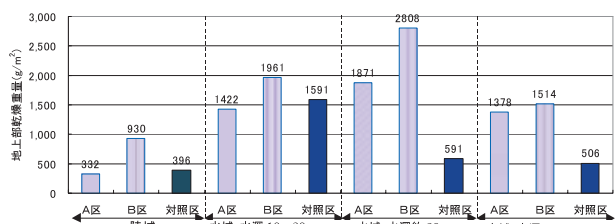


図11 ヨシ地上部の乾燥重量(植栽後2年目)

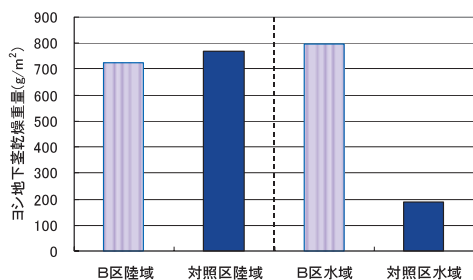


図12 ヨシ地下茎の乾燥重量(植栽後2年目)

4.3 植生基盤の地形の安定性に関する調査

植生基盤の地形の安定性を把握するため、1～3 ヶ月に1回の頻度でヨシ植生調査を実施したヨシ株を対象に、基盤高を測量し、造成後の基盤の変位を調査した。調査の結果、浚渫改良土の基盤高の変化量は2cm以下で顕著な沈下は見られず地形が安定していると判断された。川砂の場合、若干の継続的な沈下傾向が見られた。

4.4 ヨシ以外の生物におよぼす影響に関する調査

改良土を植生基盤に使用した場合に、ヨシ以外の生物の生息に悪影響がないかを把握するため、植栽後2年目の動物プランクトン、植生基盤表面のメイオバントス、ヨシ以外の水生植物、陸域の生物の出現状況等について調査した。さらに、沈水植物の生育試験を行い、その生育への影響を調査した。

4.4.1 ヨシ以外の水生植物への影響

植栽後2年目(2005年8月31日)に現地でヨシ以外の植物の分布を調査した結果を図13に示す。対照区(川砂)では、水域中央付近からヨシの生え際付近にかけてマツモと見られる沈水植物が繁茂した。対照区におけるマツモの分布は、ヨシの現存量が少なかった水域と一致したことから、マツモが繁茂した原因は対照区のヨシ茎個体数密度が低く、水面まで光が届いたためと考えられた。

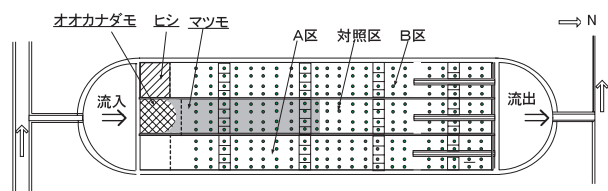


図13 ヨシ以外の水生植物の分布(植栽後2年目)

4.4.2 動物プランクトンへの影響

植栽後2年目(2005年6月25日)に、実証実験施設の水域中央部で約2l採水し、動物プランクトンを定量調査した。調査結果を図14に示す。種数は、改良土(実験区A, B)の方が川砂と比較して多かった。個体数密度は、特に輪形動物門(ワムシ類)が川砂の方に多く、改良土の方が少なかったが、顕著な悪影響は見られなかった。

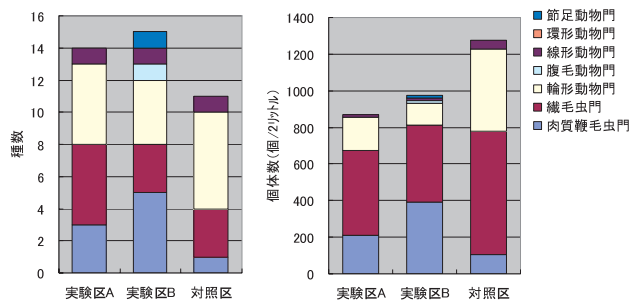


図14 動物プランクトンの種数、個体数密度

4.4.3 メイオベントスへの影響

2年目の6月25日に、実証実験施設の水域中央部の地表面から5cmまでの土壌コアサンプルを採取し、メイオベントスを定量調査した。調査結果を図15に示す。種数は、改良土(実験区A,B)の方が川砂と比較して若干少なかったが、顕著な悪影響は見られなかった。個体数密度は、線形動物門に差が見られ、改良土の方が少なかった。しかし、一般的に底質が悪化した場合に減少傾向が見られる節足動物門に大きな差は見られなかったこと、対照区では調査地点にマツモが繁茂しており、メイオベントスの生息に影響した可能性があることなどから、基盤材による著しい悪影響はなかったと判断された。

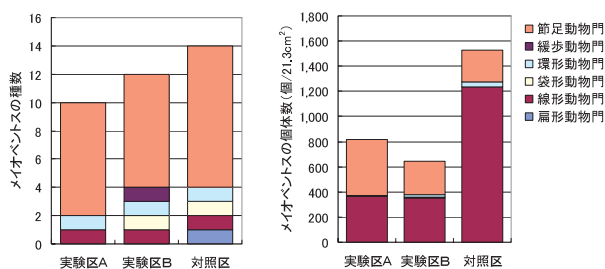


図 15 メイオベントスの種数、個体数密度

4.4.4 沈水植物への影響(室内実験)

対照区に出現したマツモが実験区に見られなかったことから、改良土が沈水植物の生育に与える影響を把握するため、土質改良材および改良土を沈水植物の植栽基盤とした室内試験を行った。

バケツ(22l)に基盤材を約5cm厚で敷詰め、雨水貯留水を約20cmの水深となるように満たし、ヒロハノエビモとオオカナダモは3個体ずつ、クロモは2個体ずつそれぞれの基盤に植栽し、室温20℃、照度37~40 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (1850~2000 lx)、16時間の明条件、8時間の暗条件で栽培した。実験開始時(2006年1月23日)に植物体の最長葉長、新鮮重量を測定し、30日後に植物体を回収し、最長葉長、新鮮重量を測定した。沈水植物は清浄な水域に生息する種(クロモ)、一般的に全国で見られる種(ヒロハノエビモ)、繁殖力のある種(オオカナダモ)を選定した。基盤材は、浚渫土、改良土(qc=500kN/m²の配合)、土質改良材、山砂とした。主な実験結果を以下に示す。

- 全ての基盤材の試験区において、実験終了時まで枯死個体はみられず、湿重量は増加した。
- 増加率は概ね底泥>改良土>土質改良材≒山砂試験区の順となった。改良土では山砂よりも生育が良好であったが、これは改良土に底泥由来の栄養素が含まれていたためと考えられた。また、土質改良材による沈水植物の生育阻害は見られなかった。

4.4.5 陸域の生物

2006年1月に実験区Bおよび対照区の陸域でヨシ地下茎刈り取り調査をした際、実験区Bでオケラ、ミミズ、昆虫の幼虫(種未確認)を確認した。また、対照区においても昆虫の幼虫が見られた。改良土を植生基盤にしたヨシ群落陸域がこれらの生物の生息場になることがわかった。

§5. 結論

シルト・粘土含有率が高く、高含水比の浚渫土を、PS灰から製造した多孔質セラミックス状の土質改良材で改良し、ヨシ群落を再生する実験的検証を行った。

本研究により、次のような知見が得られた。①水質に悪影響する栄養塩の溶出については、土質改良材を添加し、締固めにより基盤の硬さを高めることにより抑制できる。②ヨシの生育への影響については、生育に必要な栄養塩を改良土が含有していることや適度な基盤強度の確保等により、川砂と比較してヨシの生育が促進される。③基盤形状の安定性については、所定の強度に締め固めたことなどにより、沈下等の地形変化は見られなかった。④ヨシ以外の生物への悪影響については、水生動植物および陸生の小動物への著しい悪影響は見られなかった。

謝 辞 本研究は、(財)琵琶湖・淀川水質保全機構との共同研究で実施され、貴重なご指導・ご協力いただいた皆様、京都大学大学院田中周平助手に深謝いたします。

参考文献

- 1) 沿岸環境調査マニュアル(底質・生物), 日本海洋学会編, pp.90, 1986.
- 2) 底質の調査・試験マニュアル改訂第三版, (社)底質浄化協会, pp.3-3-31~40, 2003.
- 3) 滋賀県(オンライン): 木浜内湖の概況: <http://www.pref.shiga.jp/h/ku-doboku/sinkonohama/gaikyo/gaikyo4.htm>, 参照 2006-02-01.
- 4) 畑野俊久・斉藤悦郎・石山雄三: 諏訪湖における浚渫土の有効利用, ヘドロ, No.91, pp.43-50, 2004.



ひとこと

本年度は、実物件に適用し、ヨシ以外の植栽種の生育状況、施工データを取得して、施工法を構築するとともに、新しい水環境修復技術として普及に努める予定です。

島多 義彦