

底泥置換覆砂工法の現地実証実験

諏訪湖実証実験

大谷英夫・松木田正義*¹・小林峯男*¹・上野成三・勝井秀博
・岡田和夫*²・岡田美穂*²・友井宏*³・丸山邦男*⁴・駒井篤*⁵

Keywords: sediment quality purification, water quality purification, dredging, sand covering works, Lake Suwa

底泥浄化, 水質浄化, 浚渫, 覆砂, 諏訪湖

1. はじめに

湖沼や内湾などの閉鎖性水域では、アオコ・赤潮の発生や貧酸素化問題に悩まされている。水質浄化対策として汚濁底泥の浚渫や覆砂が実施されているものの、浚渫土の処理場・捨場や砂の入手が困難という課題を抱えている。そこで、著者らは、浚渫土が生じないで現位置で底泥浄化が可能な「底泥置換覆砂工法」を開発した。底泥置換覆砂工法は、底泥下の砂をジェット水流により浮上させ底泥を覆砂する新技術である。

本工法は、従来行われてきた浚渫や覆砂に比べて、汚濁底泥を除去する必要がないので浚渫土の処理場問題が解決できること、底泥下部に堆積している砂を利用するため砂入手の必要がないこと、湖底の高さがほとんど変化しないため貯水容量に影響しないことなどのメリットがある。同時に、水質浄化効果・生態系修復効果として、以下の点が期待できる。

- ①覆砂により、底泥の酸素消費量や栄養塩の溶出量が低減され湖水の貧酸素化・富栄養化が抑制される。
- ②湖底環境が砂質土系の好気性環境に変わり底生生物や水生植物が主体の湖底生態系が復活する。
- ③系外からの砂搬入が無いので外来種移入などの生態系攪乱の影響が小さい。

平成12年11月および平成13年11月に長野県の諏訪湖で実証実験を実施した。実験の目的は、本工法の実用化を目指し、揚砂量・覆砂範囲を確認するとともに、効率的な施工方法を追求すること、本工法により湖底が生物にとって望ましい環境に改善されること等を確認することである。

*1 土木本部土木技術部海洋土木技術室

*2 エコロジー本部環境技術グループ

*3 土木本部機械部機械技術室

*4 北信越支店

*5 土木営業本部

2. 底泥置換覆砂工法の概要

2.1 工法の概要

ヘドロを砂で覆う方法は、図-1に示すとおりである。

- ①ヘドロ孔壁の保護と揚砂効率向上を目的としたガイド管と、ジェットを使用した揚砂を目的としたジェット管を湖底面に挿入する。
- ②ジェット管が砂層に到達したら、ジェットを開始。ジェット管は揚砂しながら砂層深くへ沈設する。ジェットにより乱された砂は、ジェット管の脇（孔内）を通り、ガイド管内を経て湖底表面へ揚砂される。
- ③所要の覆砂厚が得られたらジェット終了。ジェット管、ガイド管を引抜き、覆砂完了。

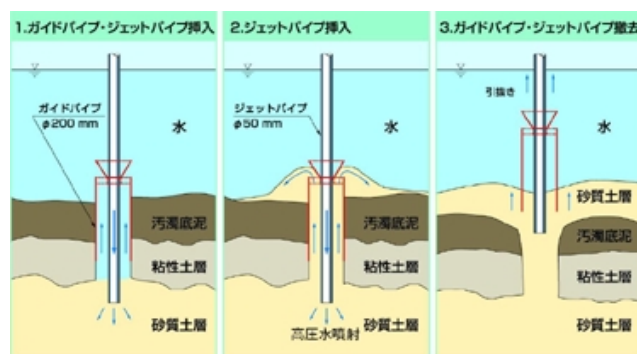


図-1 工法の説明

Illustration of the method

2.2 室内模型実験

実証実験に先立ち、本工法の基本特徴を調べる室内模型実験¹⁾を行った。写真-1、写真-2に覆砂状況を示す。ジェット管の周囲のヘドロ上に、ヘドロ層下の砂が揚砂され覆砂した状況がわかる。砂はジェット管周囲に放射状に広がること、揚砂量の分ヘドロ層は沈下するため、湖底高の変化が少ないことが示された。また、実証実験

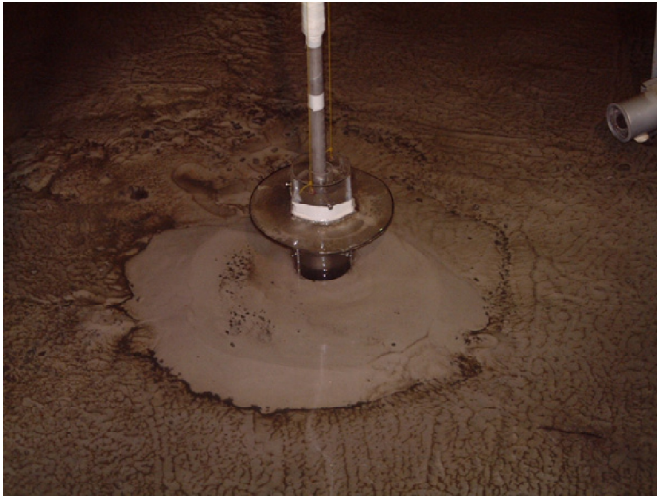


写真-1 覆砂平面状況（室内実験結果）
Snap shot of the experiment



写真-2 覆砂断面状況（室内実験結果）
Section view of the experiment

の章で後述するが本工法では濁りの発生がないことを確認した。

3. 諏訪湖実証実験

3.1 実験概要

- 1) 実験場所 長野県下諏訪町
- 2) 実験期間
 - その1 実験工事および環境調査：平成12年11月
追跡環境調査：平成13年 6月
 - その2 実験工事および環境調査：平成13年11月
- 3) 実験条件
 - 水深 3.7m（場所A）および2.7m（場所B）
 - 土質条件 底泥、粘性土層、砂層
- 4) 覆砂工
 - その1 覆砂面積49m²（7m×7m），他
 - ・ 65tクローラークレーン組立台船
 - ・ ジェット管タイプ $\phi 38 \times 1$ 本
 - その2 覆砂面積225m²（15m×15m）
 - ・ 65tクローラークレーン組立台船
 - ・ 水中ポンプ 200V, 37kW, H35m

- ・ ヘッダー管 $\phi 150$
- ・ ホース $\phi 38$, 20m
- ・ ジェット管タイプ
 - ① $\phi 38 \times 1$ 本：覆砂厚等確認試験用
 - ② $\phi 38 \times 4$ 本：
 - 覆砂面積49m²(7m×7m) 用
- ・ 覆砂位置決定 GPS使用

5) 環境調査

調査項目：粒度分布，全窒素・全リン・有機炭素，
酸素消費速度と栄養塩溶出速度
生物調査

3.2 覆砂試験設備

65tクローラークレーンを搭載したスパッド付組立台船（写真-3）に覆砂用設備を設置した。覆砂用設備は、ガイド管、ジェット管（写真-4）、配管類（ヘッダー管、分岐管、ホース）、水中ポンプ、発電機（125KVA）から構成される。写真-5にジェット噴射状況を示す。覆砂時の流量および水圧を計測するためヘッダー管に電磁流量計および圧力計を取りつけた。ガイド管は長さ1.5mとし、1辺が1.5mの正方形の角に4本配置した。吊り枠を介し、台船に固定したホイストで吊り下げた。ジェット管はガイド管と同様に1m角で配置しクローラークレーンで吊り下げた。ジェット管は、粘性土層厚、砂層厚を考慮し全長6mとした。

覆砂位置へは、GPSで誘導し、係留ワイヤーのウインチ操作およびバックホーによる微調整により移動した。覆砂位置ではオートレッドにより水深を確認した。組立台船に抱かせた小型台船上のハウス内にGPSおよびデータ取得用のパソコンを配備し、計測効率を高めた。



写真-3 作業船
Working craft



写真-4 ジェット管およびガイド管
Jet pipes and guidepipes



写真-5 ジェット状況
Jet ejection from jet pipes

3.3 施工サイクル

- ①台船移動位置決め
- ②スパット打設
- ③ガイド管ジェット管セット
- ④ジェットポンプ 運転始動
- ⑤ガイド管ジェット管底泥層内貫入
- ⑥ジェット管砂層内貫入置換覆砂
- ⑦ガイド管ジェット管引抜き
- ⑧スパット引抜き

3.4 実験ケース

「実験その1」では、本工法の実用化を判断する基礎実験を行うと共に、7m×7mの範囲を覆砂し生態系の復元調査を行った。「実験その1」から7ヵ月後の状況については後述する。表-1に「実験その2」の実験条件を示す。ジェット管先端のノズル形状、覆砂時間、ガイド管の貫入深等が覆砂厚、覆砂範囲に与える影響を調べられるよう実験ケースを設定した。覆砂場所は、消波堤に近い場所A、15m×15mの範囲に連続覆砂を行う場所Gの2箇所とした(図-2)。場所Aでは1本のジェット管で、ノ

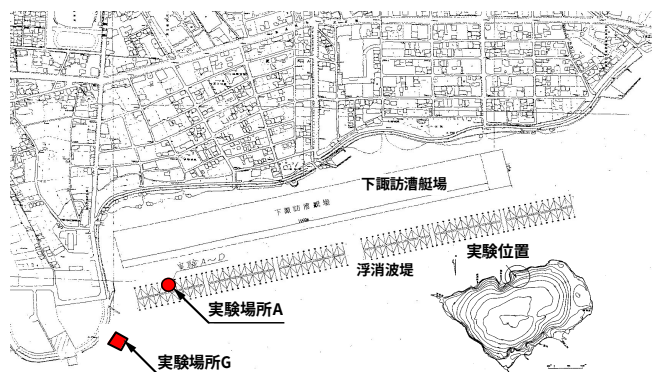


図-2 実験場所

Location of the field experiments

表-1 実験条件(実験その2)

Experiment condition

年月日	目的	No.	場所	ノズル形状 (°)	ジェット数 本	流量/1 m3/min	ノズル 新旧	ジェット全開位置(m) ガイド管下 砂層天端下	測線	備考
2001.11.6	ノズルの検討	1	A-1	18	1	0.5	新	1.5 0.5	測線：南北のみ	シルト層：2.5m
2001.11.6	と	2	A-2	18	1	0.5	新	1.5 0.5	測線：南北と東西	砂層：2.0m
2001.11.7	流量の検討	3	A-3	30	1	0.5	新	1.5 0.5	測線：南北と東西	
2001.11.7		4	A-4	30	1	0.5	新	1.5 0.5	測線：南北と東西	
2001.11.7		5	A-5	18	1	0.6	新	1.5 0.5	測線：南北と東西	
2001.11.8	覆砂時間の検	6	A-6	18	4	0.5	新	1.5 0.5	測線：南北と東西	
2001.11.8	討	7	A-7	18	4	0.5	新	1.5 0.5	測線：南北と東西	
2001.11.11	ノズル新旧の	8	G-35	18	4	0.5	新	0.5	測線：北西-南東	シルト層：0.2-0.5m
2001.11.11	検討	9	G-33	-	4	0.5	旧	0.5	と南北	砂層：シルト混り砂層
2001.11.11	ジェット全開位置	10	G-32	18	4	0.5	新	0.5		3.0m
2001.11.11	の検討	11	G-37	18	4			湖底面		
2001.11.11	ガイド管の根入	8	G-35	18	4	0.5	新	0.5		
2001.11.11	れの検討	10	G-32	18	4	0.5	新	0.5		
2001.11.12	全域	12	G (全域)		4				対角線	

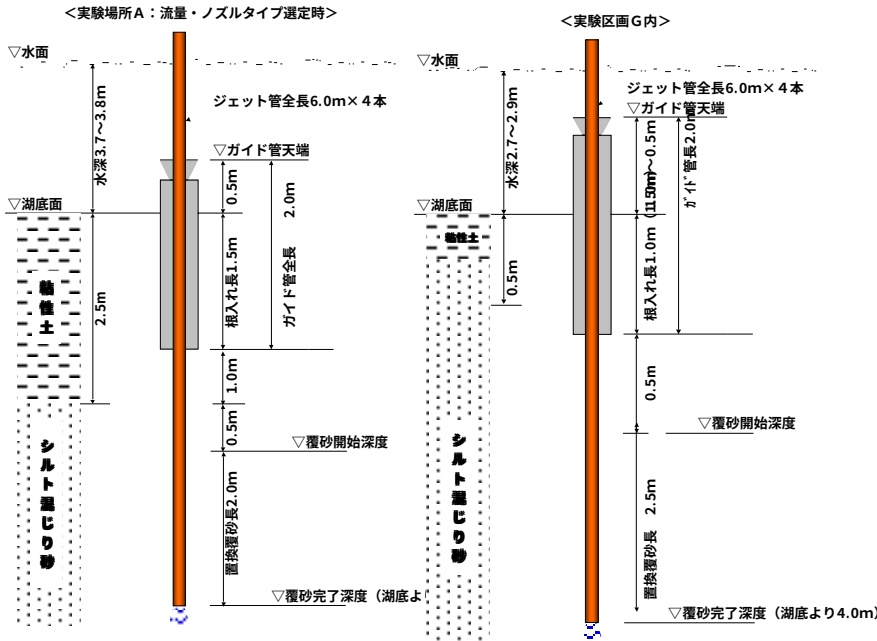


図-3 実験土層

Layers at experiments site



写真-6 コア採種状況
a sampled core

ズル，流量，覆砂時間の影響を詳細に調べた．場所Bは，15m×15mの広範囲に覆砂し，より実施工に近い作業を実現し生態系の復元調査も行う目的とした．

3.5 掘削土層

「実験その2」の掘削土層を図-3に示す．砂粒径Dは，場所AがD=0.2mm，場所GがD=0.4mmであった．

3.6 計測項目および計測方法

- (1) 覆砂厚：ダイバーによるコアサンプリング．
- (2) 濁りの分布：船から濁度計により計測．

3.7 実験結果および考察

3.7.1 流量および水圧

「実験その2」の施工中の流量および水圧の実績は表-2に示すとおりであった

表-2 ジェット流量と水圧の実績

Jet discharge rate and water pressure		
流量	底泥層内貫入	1.2
	置換覆砂	2
	ガイド・ジェット管引抜	0.4
水圧	底泥層内貫入	0.14
	置換覆砂	0.4
	ガイド・ジェット管引抜	0

流量（ジェット管4本当り）：m³/min, 水圧：MPa

3.7.2 覆砂厚

覆砂厚は写真-6のようにコアを採種しコア内の砂層厚を読みとった．写真-7は採種したヘドロと砂をバットにあげたものである．本実験条件のもと，覆砂厚については以下の結果が得られた．



写真-7 ヘドロ（左）と砂（右）
Mud(left) and sand(right)

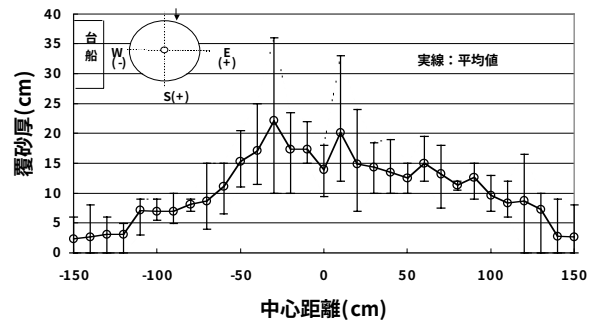


図-4 覆砂厚の分布（1本ジェット時）

Distribution of thickness of sand capping by single jet

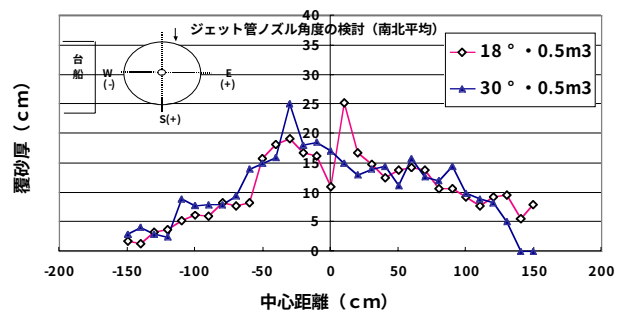


図-5 ノズル形状の影響

Effect of shape of nozzle on the sand thickness

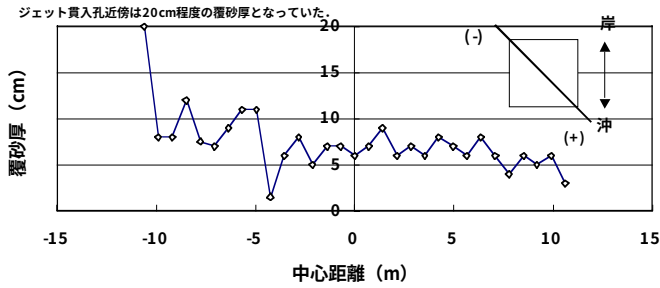


図-6 実験場所Gの覆砂厚分布
Distribution of thickness
of covered sand in the areaG

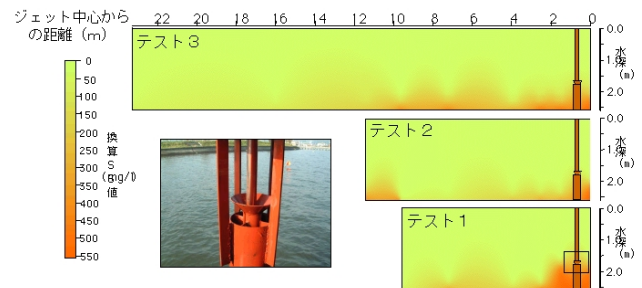


図-7 にごりの分布
Distribution of turbidity
around a jet pipe

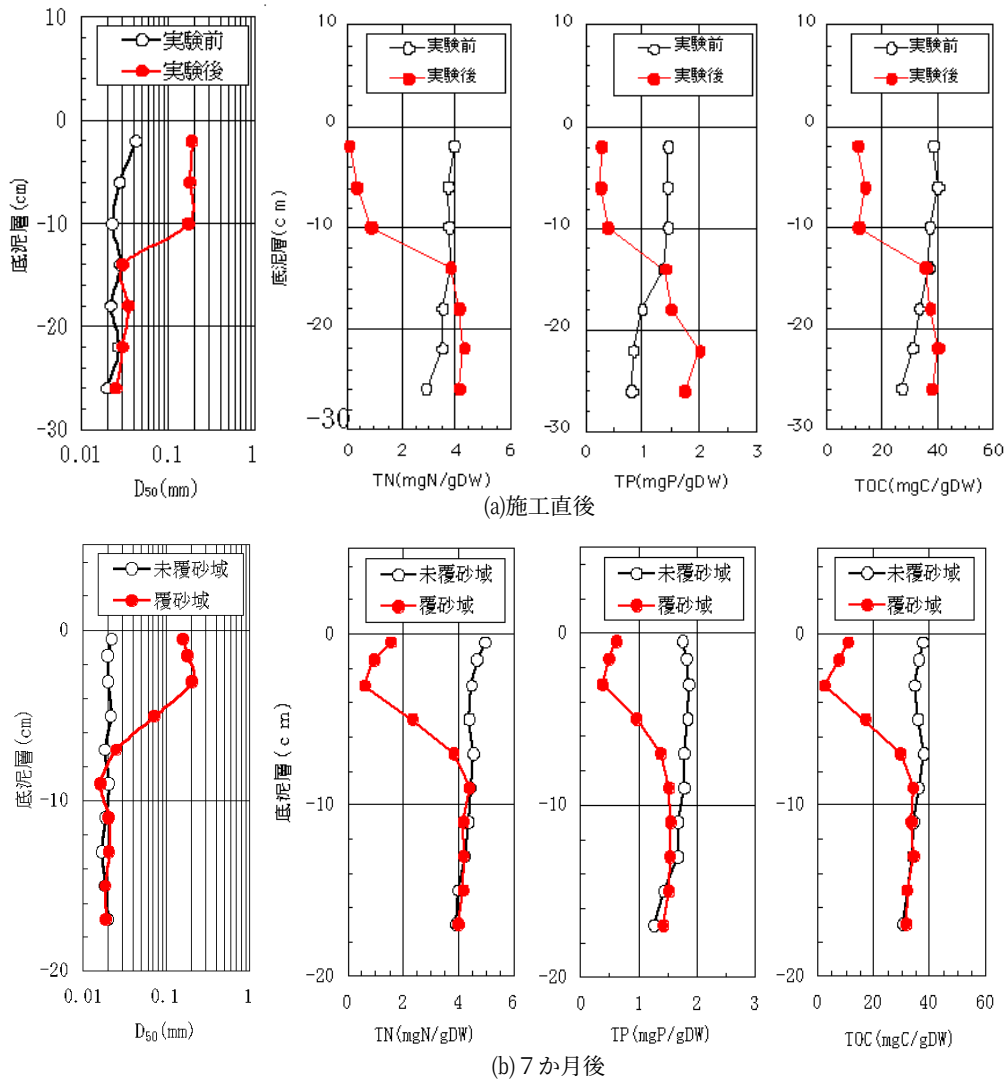


図-8 施工直後と7ヵ月後の底質状況
Sediment condition right after sand capping and after 7 months

a) ジェット中心より半径50cmの範囲では、15cmから20cmの覆砂厚が確保できた(図-4)。
b) ノズルの形状による覆砂厚の変化はほとんどない(図-5)。ノズルの出口がラップ型でその開き角度が18°の場合と30°の場合で比較した。図-5に示されるようにこの程度の形状の違いでは覆砂厚に与える影響

は小さいことが分かった。

c) 場所G (15m×15m) は、平均7cmで覆砂を行った(図-6)。今後、この状態を初期条件とし、環境に関する追跡モニタリングにより調査を続けていく。

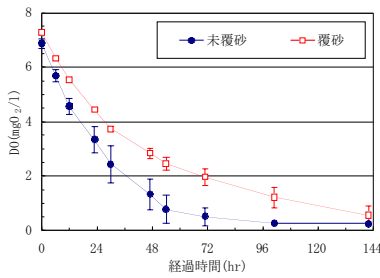


図-9 酸素濃度の時間変化
Time series of Oxygen concentration

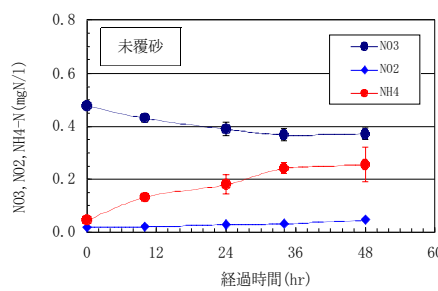


図-10 栄養塩濃度の時間変化（未覆砂）
Time series of nutrients before sand capping

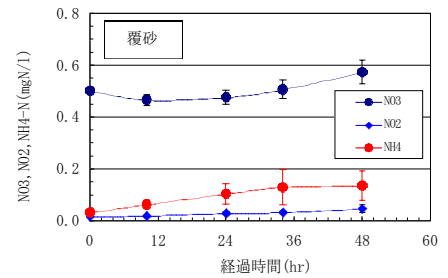


図-11 栄養塩濃度の時間変化（覆砂）
Time series of nutrients after sand capping

3.7.3 覆砂中の濁り状況

「実験その2」で計測した浮遊物質濃度SSの鉛直分布を図-6に示す。高濃度のにごりはガイドパイプ下の湖底上50cmの範囲に限定され、それより上層ではほとんどにごりが発生しない。本工法によって発生するにごりの範囲は湖底の極近傍に限ることが定量的に示された。

4. 環境改善結果

4.1 底質改善維持効果

実験その1終了後7ヵ月経過した後、追跡モニタリングを実施した。覆砂施工後7ヶ月のD50の鉛直分布（図-8）から、表層1cmでシルトが堆積傾向にあるものの、その下層では砂層が維持されていたことが分かる。施工直後の底質は、表層10cmが砂層に置き変わったことにより、全窒素・全リン・有機炭素の全てが施工前に比べて1/3以下に低下した。覆砂後7ヶ月経過した底質も、覆砂域で全窒素・全リン・有機炭素が未覆砂域に比べ小さいことが確認できた（図-8）。覆砂域（覆砂後7ヶ月）と未覆砂域の不攪乱底泥カラムを用いて、酸素消費量の時間変化（図-9）と栄養塩溶出量を計測した（図-10、図-11）。図-9より曲線の傾きから酸素消費速度を読み取ると覆砂域の酸素消費速度は未覆砂域の2/3である。同様に、各種栄養塩溶出試験のうち、アンモニア態窒素の溶出速度は覆砂域で未覆砂域の約50%であった。底泥置換覆砂工により湖底の酸素消費量の低減および栄養塩の溶出抑制が維持できることが確認できた。

4.2 生物生育環境改善効果

覆砂域（覆砂後7ヶ月）と未覆砂域の底生生物や水生植物の生育状況を各域3箇所ずつ調べた（図-12）。実験区は水深約4mと深く、日射量不足の影響を受けるため、水生植物は存在せず、底生生物もほとんど生育していない状況にあったにも関わらず、底生生物のユリミミズは、未覆砂域に比べて覆砂域に圧倒的に多く生育して

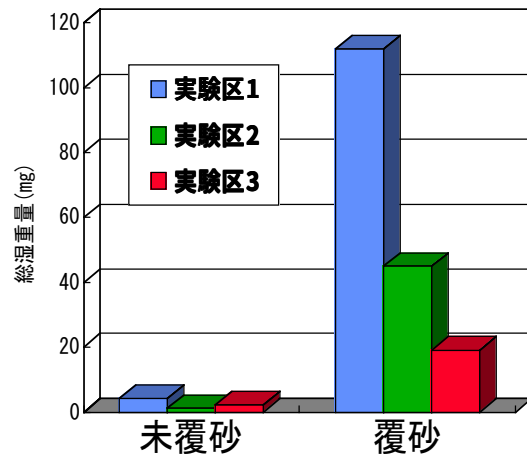


図-12 ユリミミズの総湿重量
Wet weight of Limnodrilus

いた。

本工法実施後7か月経過した時点でも汚濁底泥上に砂層が維持され底質改善効果が発揮されていることを確認した。

4. あとがき

諏訪湖実証実験では本工法の実用化のみならず環境にとってもたいへん有用な工法であることを示すことができた。実証実験その2の追跡モニタリングも今後進めていくが、より有益なデータが取得できるものと期待している。

今後は、施工の効率化、大規模化の検討を行うとともに本工法の普及を積極的に展開していく予定である。

参考文献

- 1) 松木田ら：底泥置換覆砂工法の開発，土木学会年次学術講演会講演概要集第7部，Vol.56，pp.66-67，2001
- 2) 小林峯男・岡田和夫・上野成三：底泥置換覆砂工法，建設機械と施工法シンポジウム論文集，pp.40-43，2001