

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

---

VOL. 19

NO. 2

JUNE 1980

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



正 誤 表

頁	欄	行	誤	正
73	式 (2.3)		$(m_1+m_2)\frac{d^2y_1}{dt^2}+m_2\frac{d^2y_2}{dt^2}+c_1y_1$ $-m_2l\frac{d^2\theta}{dt^2}=0$	$(m_1+m_2)\frac{d^2y_1}{dt^2}+m_1\frac{d^2y_1}{dt^2}+c_1y_1$ $-m_1l\frac{d^2\theta}{dt^2}=P_w$
81	右	下から 4	のうちに	のように
83	左	上から 4	3200 tf/cm	3200 tf/m
84	"	"	衝衝速度	衝突速度
88	"	" 9	考慮	考察

頁	欄	行	誤	正
115		上から 8	0.01~5 Hz の周波数の	0.01~5 Hz の周波数の
119	右	下から 6	模擬の	模擬の
120	図-2.1			削除
123	左	上から 5	$-2\rho g d \overline{BGM}\varphi$	$-2\rho g d \overline{BGM}\varphi$
124	右	下から 5	橋りょう梁などの	橋りょうなどの
"	"	" 2	春一番のとき風速の	春一番のときの風速の
126	図-3.3			削除
135	右	上から 7	ベキ指数	べき指数
136	"	下から 9	16.3 m/s <sup>2</sup>	16.3 m/s,
139	"	上から 8	時々刻々と	時々刻々と
142	"	" 9	シミュレーションモデルに	シミュレーションモデルに
143	"	" 14	高さ 25 m がとすると	高さが 25 m とすると
"	"	下から 13	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>3</sup> 程度の	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>3</sup> 程度の
145	"	" 7	風荷重などの	風荷重などの
147	"	" 6	シミュレーショ	シミュレーショ
150	"	上から 5	シミュレーション	シミュレーション
"	"	" 11	シミュレーション	シミュレーション
151	表-7.5 (その 1)	ケース番号 1	49,340	49,390
"	"	"	23,400	23,480
"	" (その 2)	ケース番号	<b>13</b>	<b>13</b>
153	表-7.7 (その 1)	表題	パネの変位 (その 1)	パネの変位 (その 1) Y 方向
"	" (その 2)	"	パネの変位 (その 2)	パネの変位 (その 2) X 方向
155	左	下から 4	5,675 tf·m	5,678 tf·m
"	"	" 2	49.6 cm	49.5 cm
155	右	上から 4	0.86×10 <sup>-3</sup>	1.28×10 <sup>-3</sup>
"	"	"	4 cm 程の	6 cm 程の
156	左	下から 1	シミュレーション	シミュレーション
"	右	" 8	シミュレーション	シミュレーション

頁	欄	行	誤	正
177	右	下から 4	内節近 0 を	内節点 0 を
179	式 (3.29)		$W_0 = \{\delta_e\}^T [K] \{\delta_e\}$	$W_0 = \{\delta_e^*\}^T [K] \{\delta_e\}$
183	図-4.2 左	$\omega$ 厳密解	1.0	1.0×10 <sup>-1</sup>
"	" 右	"	1.00	1.00×10 <sup>-1</sup>
184	図-4.2	"	1.132	4.13×10 <sup>-1</sup>

# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第19巻 第2号 (Vol. 19, No. 2), 1980年6月 (June 1980)

## 目 次 (CONTENTS)

1. 埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験……………門 司 剛 至………… 3  
(Experimental Study on Purification Effect of Backfilling Sand Used for Revetments  
for Reclaimed Land……………Takeshi MONJI)
2. けい留中の大型タンカーの衝突力……………上 田 茂・佐藤喜………… 67  
(Impact Force by VLCC Moored to Dolphin……………Shigeru UEDA and Kiichi SATOH)
3. 海上風の性質とそれによるく(矩)形浮体の動揺解析……………清 宮 理………… 115  
(The Properties of Wind above Sea and the Oscillation Analysis of Floating Bodies  
(Rectangular Cross Section) subjected to Wind Force ……………Osamu KIYOMIYA)
4. 有限要素法による鉄筋コンクリートスラブの弾塑性解析……………関口信一郎………… 169  
(Elasto-plastic Analysis for Reinforced Concrete Slabs by Finite Element Method  
…………… Shin-ichiro SEKIGUCHI)

# 1. 埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

門 司 剛 至\*

## 要 旨

廃棄物埋立護岸の設計においては、埋立地に投入された汚染物質が周辺海域に流出しないような配慮が必要である。本研究はこうした汚染物質に対する裏込砂の浄化効果について室内実験で調べたものである。

実験では、実際の護岸の条件、たとえば、裏込砂の粒径、残留水位、粘土、有機へどろなどをできるだけ実験条件としてとり入れ、浄化効果がどの程度期待できるかを調べた。実験として、粘土懸濁液の砂ろ過実験、重金属の粘土粒子への吸着実験、および有機物の吸着ろ過分解実験を行った。その結果、通常の裏込砂で懸濁物質はほぼ完全に除去でき、重金属や有機物についても、条件を整えればある程度の浄化効果が期待できることがわかった。

---

\* 土質部 基礎工研究室長

## Experimental Study on Purification Effect of Backfilling Sand Used for Revetments for Reclaimed Land

Takeshi MONJI\*

### Synopsis

In design of revetments for land reclaimed with disposed waste, it is important to prevent waste from leaking out through revetments. In this study, purification effect of backfilling sand is investigated by laboratory experiments under simulated site conditions, which include such as grain size of sands, residual water level, clay type and organic sediments etc.

Three series of experiments are conducted, which include that on sand filtration of clay suspension, that on adsorption of heavy metal to clay particles, and that on adsorption of organic matter to clay, sand filtration and decomposition of organic matter.

From these experiments it is clarified that suspended solids can be almost perfectly filtered by backfilling sand and that heavy metal and organic matter can be removed to some degree under a suitable condition.

---

\* Chief of the Foundation Laboratory, Soil Division

## 目 次

要 旨	3
1. ま え が き	7
2. 概 説	7
2.1 研究の目的	7
2.2 実験の構成と内容	8
3. 砂ろ過実験	8
3.1 概 要	8
3.2 実験用機器, 材料および分析方法	10
3.3 懸濁物質ろ過実験 (I)	11
3.4 懸濁物質ろ過実験 (II)	13
3.5 目詰り実験 (I)	17
3.6 目詰り実験 (II)	18
3.7 ま と め	21
4. 重金属の粘土粒子への吸着実験	21
4.1 概 要	21
4.2 実験用機器, 材料および分析方法	21
4.3 かく拌吸着実験	22
4.4 吸着沈降実験	28
4.5 海水中のカドミウムかく拌吸着実験	29
4.6 砂中吸着実験	29
4.7 飽和吸着量実験	31
4.8 各種粘土に対する吸着実験	32
4.9 ま と め	35
5. 有機物の吸着分解実験	35
5.1 概 要	35
5.2 実験用機器, 材料および分析方法	36
5.3 かく拌吸着実験	39
5.4 有機物ろ過実験	42
5.5 有機へどろ分解実験	43
5.6 間げき水分解実験	49
5.7 砂中間げき水分解実験	55
5.8 へどろ濃度と COD の相関実験	63
5.9 ま と め	64
6. 結 論	65
7. あとがき	65
参考文献	65

## 1. まえがき

大都市周辺では都市から発生する廃棄物や海底のしゅんせつ土砂等を海域の埋立地に処分することが多くなってきた。埋立地を囲む護岸はこうした廃棄物に含まれる汚染物質が流出し、周辺環境を悪化させることのないような構造でなければならない。現在、その対策として止水矢板を打設したり、コンクリート壁を設けたり、幅広い腹付土を設けたりする方法が採用されている。また、法律的には「海洋汚染および海上災害の防止に関する法律」や「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」等がある。

しかし、完全に水密な護岸を建設することは不可能であるし、もし、それに近い構造の護岸の建設が可能であっても、埋立地に降る雨により残留水位が高くなると安定上問題を生じ護岸の建設に莫大な費用がかかる。埋立護岸には図-1.1に示すように重力式と矢板式があるが、汚染水が海域に流出する径路としては、護岸本体を直接通過する径路、護岸上を越流する径路、原地盤や地盤改良した基礎地盤を通過する径路が考えられる。

本文ではこうした埋立護岸のうち、特に裏込砂の浄化効果について室内実験で調べたものである。

## 2. 概 説

### 2.1 研究の目的

埋立護岸には、構造物の安定上、数 m から 10 m 以上の良質な中詰砂や裏込砂が入れられ、土圧の軽減や残留水位の低下に寄与している。この裏込砂や中詰砂に従来の安定効果を損わずに浄化効果が期待できれば、より経済的な断面設計が可能となる。砂の浄化効果には、懸濁物質に対するフルイ効果、重金属等に対する吸着分解効果などが考えられ、古くから上水道の關係で研究が進められてきた。本研究は裏込砂の浄化効果について、実際の護岸の条件をできるだけ満足させた実験を行い、裏込砂や中詰砂のろ過効果をは握しようとするものである。すなわち、実際に裏込砂に利用されていると同様な砂、粘土、残留水位など、実験条件を実際に合わせて浄化効果を調べようとするものである。以下に本研究の背景となる従来の研究と本研究の位置づけについて概説する。

裏込砂の浄化効果には大別すると、ろ過整果、吸着効果、分解効果が考えられる。まず、砂ろ過については急速ろ過と緩速ろ過があるが現在はほとんど後者が利用されている。砂ろ過の基本はフルイ効果であり、これまで行われてきた研究もろ過砂と砂層厚を決定するためのものが多く、砂の粒径と損失水頭、浮遊物の抑留、ろ過継続時間などについての実験的研究がある<sup>2)~6)</sup>。さらに、ろ過効果を高めるために凝集剤の添加やマイクロプロックろ過などの研究が盛んになってきた<sup>7)</sup>。これらの実験では懸濁溶液として白陶土溶液や浄水場の未ろ水が使用され、実験装置も小型のものが使用されてきた。その結果、実際のろ過施設では砂層厚 70 cm 程度、均等係数 1.3~1.4 程度の砂が使用されている<sup>8)</sup>。

これに対して埋立護岸では大量の裏込砂を使用するため、ろ過施設のように砂の粒径を規定することは不可能に近く、むしろ実際に使用されている砂にどの程度のろ過効果を期待できるかをは握ることが主目的となる。また、懸濁物質としては埋立土砂や廃棄物に含まれる粘土粒子が中心になるし、海水の影響、残留水位の影響などが重要となってくる。本実験ではこれらの点を考慮し、大型のろ過塔を用いた実験を行うことにした。

つぎに吸着に関する研究は重金属や PCB など環境問題がクローズアップされて以来、比較的新しい問題としてとりあげられている。これらは水底に堆積するへどろに含まれる重金属の挙動、水中の懸濁物質に対する吸着

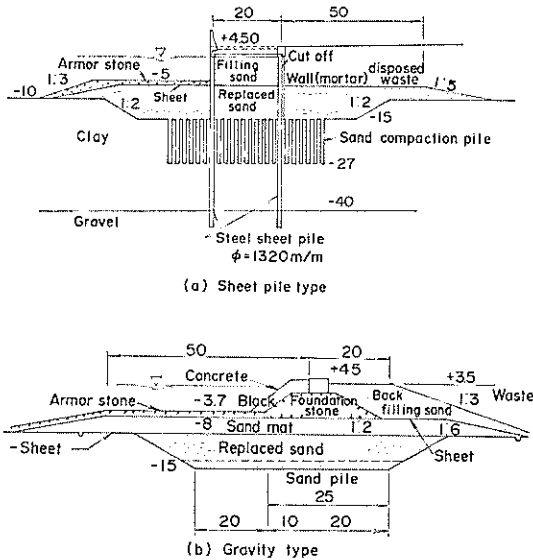


図-1.1 廃棄物埋立護岸例

の問題としてとりあげられている<sup>9)~12)</sup>。埋立護岸を考えた場合<sup>13)</sup>、廃棄物に含まれる重金属が周囲の粘土粒子に吸着するかどうかという問題として考えられる。すなわち、重金属が粘土粒子に吸着されれば、その粘土粒子は裏込砂でろ過され、結果的に重金属は周囲に流出しないことになる。しかし、吸着は粘土種類、重金属の種類および濃度、海水濃度、pH などによって変わってくるのでその影響について調べておく必要がある。本実験ではこうした点を考慮して各地の主な港の粘土に対する水銀、カドミウム、鉛の吸着を室内実験で調べることにした。

有機物の分解については主として活性汚泥法など下水道分野で発達してきた。そのため主として分解を促進するための研究が中心で、酸素の影響、細菌や微生物の作用、温度や pH の影響などに対する実験的研究が多い<sup>15)</sup>。埋立護岸について考えると、埋立地に投入される有機物のうち固形物として存在するもの、あるいは粒子に吸着したものは裏込砂によってろ過されるため問題は少なく、むしろ、溶解性の有機物が埋立地または裏込砂中でのように分解するかが問題となる。そこで、ここでは、実際に河口付近から採取した有機へどろの分解について、温度、好気嫌気条件、海水の影響など護岸の条件を満足させる形の室内実験を行うことにした。

## 2.2 実験の構成と内容

実験の構成を 図-2.1 に示す。また、実験内容の概要を以下に示す。

### (1) 砂ろ過・目詰り実験

懸濁物質がどの程度ろ過されるか、砂の粒径や水位差など実験条件を実際に近い形で実験し、ろ過効果および目詰りの状況を調べた。実験要因としては砂の粒径、海水の影響、水位差、砂層厚などを考えた。

### (2) 重金属の粘土粒子への吸着実験

一般に重金属は陽イオンであり、粘土粒子は負に帯電しているため、イオン吸着をおこす。ここでは重金属として水銀、鉛、カドミウムを選び、粘土粒子への吸着を調べた。実験要因としては pH、海水の影響、粘土の種類、飽和吸着量、砂中粘土への吸着などを考えた。

### (3) 有機物の吸着・ろ過実験

有機物には懸濁物質として存在するものと、溶解性のものがあり、前者は目詰りとして裏込砂等によりろ過されるが、後者は護岸を通過して流れ出る恐れがある。そのため、溶解性の有機物をしてグルコースを用い、かく排吸着実験とろ過実験を行った。

かく排吸着実験では、グルコースの粘土粒子への吸着、

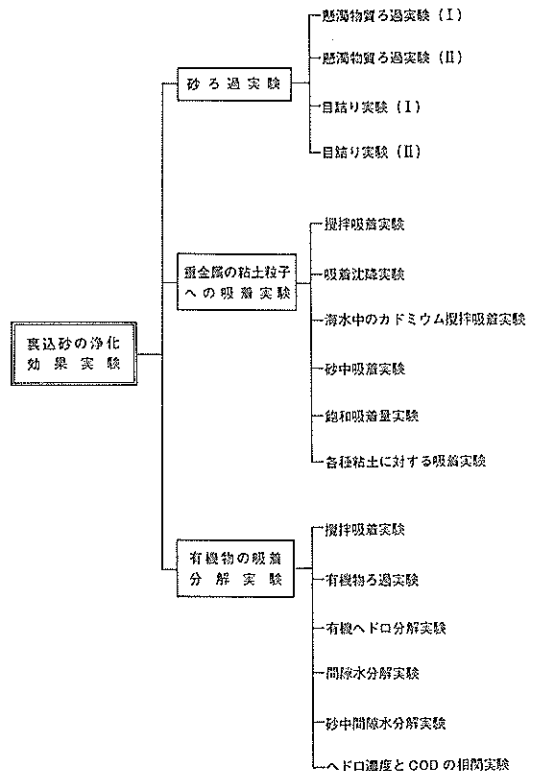


図-2.1 実験の構成と内容

および、吸着剤としてシリカゲル、活性炭を添加した場合の吸着を調べた。また、ろ過実験ではグルコース、粘土粒子、吸着剤を混合した懸濁液を砂層に通し、ろ過効果を調べた。

### (4) 有機物の分解実験

攪拌吸着実験では有機物としてグルコースを使用し、粘土粒子への吸着状況を調べたが、ここでは実際に水底にあるへどろを採取し、種々の条件のもとに3か月放置し、分解効果が期待できるかどうか調べた。

実験は、へどろをそのまま放置するへどろ分解実験、間引き水を放置する間引き水分解実験、間引き水を砂中に放置する砂中間引き水分解実験、およびへどろの懸濁水濃度 SS と COD の相関を求める実験から成り立っている。

## 3. 砂ろ過実験

### 3.1 概 要

汚濁水を浄化する方法として砂ろ過による方法が古くから利用され、その現象も上水道に携わる研究者によってかなり明らかにされてきた。ここで対象としている埋



埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

立護岸では、構造物の中詰や裏込めに幅数 m から 10 m 以上の砂を利用している。埋立終了後の中詰砂や裏込砂の調査としては、目詰りによる残留水位の変化という観点からの調査<sup>16)</sup>があるだけで、ろ過効果や浄化効果に関する調査はほとんどみられない。

本実験は、実際に使用されている中詰砂や裏込砂にどの程度のろ過効果が期待できるかを調べるために行ったものである。したがって、ここでは数多く提案されているろ過理論との適合性について調べるのではなく、実際の護岸の条件をできるだけとり入れ、実構造物でどの程度のろ過効果が期待できるかを把握することに主眼をおいた。

ここで、ろ過について簡単に整理してみる。ろ過は水中の浮遊物を砂などのろ材で水から分離する、いわゆる固液分離のための単一作業であり、特に沈殿では除くことができないような微小粒子や細菌の除去に効果があるといわれる。

ろ過を機構上から分類するとケーキろ過（表面ろ過）と清澄ろ過（内部ろ過）に分けられる<sup>17)</sup>。ケーキろ過は、ろ材によって除去された浮遊物がろ材上に逐次厚さを増しながら堆積していくと同時に、これらの堆積した浮遊物が次のろ過のろ材の役目をするようなるろ過であり、ろ過現象はろ材の表面だけに集中する。これに対して清澄ろ過は浮遊物質がろ材の中まで侵入して行き、ろ過現象はろ材の表面以外に内部でも生じる。したがって、ろ材はある厚さがなければならぬし、粒子が進入できる程度のすきが間なければならぬ。

ろ過はまた流速の大小によって緩速ろ過と急速ろ過に分けられる。流量（ろ過量）をろ過面積で除したものをろ過速度というが、緩速ろ過では 4~5 m/日、急速ろ過では 120~150 m/日である。緩速ろ過では、ろ過を開始した直後はろ水はあまりきれいでないが、ろ過が進行

しある期間経過すると、それ以降のろ水はきわめて清浄になる。すなわち、懸濁物質、細菌ともにほぼ 100% 除去され、色度、臭味、鉄、マンガン、アンモニア性窒素もある程度除去されるといわれている。これはろ過の進行によりろ過膜が発生し、その中で物理的、化学的、生物的浄化作用が働くためと考えられる。

急速ろ過では緩速ろ過よりも粗い砂を用いるため、末ろ水中の懸濁物質はブロックの形になっていないと完全な清澄水は得られない。急速ろ過は物理的なフルイ作用が中心のため、懸濁物質はほぼ 100% 除去できるが溶解性有機物、アンモニア性窒素、色度などは除去できない。急速ろ過の機構を初めて数学的に説明したのは岩崎<sup>18)</sup>で、現在もろ過理論の基本になっている。その考え方は、浮遊物質濃度  $c_0$  の末ろ水が砂層深さを流過するにつれて、浮遊物質濃度  $c$  は指数函数的に減少するというもので、方程式の基本形は次式で示される。

$$\frac{\partial c}{\partial z} = -\lambda c \quad (3.1)$$

ここに、 $\lambda$  は時間とともに増加する閉塞量で阻止率と呼ばれている。この  $\lambda$  に対する考え方が研究者によって異なっており、種々の公式が提案されている。

以上のように、懸濁物質の除去は砂のフルイ作用と考えられるが、最近ではこの他に沈殿作用、吸着作用、ブロック形成作用についても研究がなされている。

これまで上水道で発達してきたろ過について概説したが、埋立諸岸に適用する場合に考慮すべき点は、砂の粒径、残留水位と潮位変動、海水の影響、経過時間などである。そこで、ここでは実際の護岸に利用されている砂の粒径、設計残留水位、海水の影響などをできるだけとり入れた室内ろ過実験を行うことにした。実験の構成は表-3.1 のとおりである。

表-3.1 砂ろ過実験の構成と内容

(実験内容)

砂ろ過実験	—	懸濁物質ろ過実験 (I).....	小型ろ過塔による予備実験。懸濁物質として川崎粘土、溶媒には淡水、ろ材には高萩砂使用。砂層厚 (50 cm)、ヘッド差 (90 cm) を一定にして懸濁物質濃度だけを変化させた。
		懸濁物質ろ過実験 (II).....	大型ろ過塔による本実験。懸濁物質として川崎粘土を使用、実験要因として、懸濁物質濃度、砂層厚、ヘッド差、溶媒の種類、砂の種類を考えた。
		目詰り実験 (I).....	砂ろ過目詰り後の砂層中に粘土粒子がどのように分布しているかを調べる。実験要因として、懸濁物質濃度、溶媒、砂の種類を考えた。
		目詰り実験 (II).....	目詰りにおける砂の粒径の影響を細かく調べる。川崎粘土と海水を使用し、砂の粒径分布を種々変化させた。

### 3.2 実験使用機器, 材料および分析方法

#### (1) 実験使用機器

- (a) 小型ろ過塔 (図-3.1): アクリル製, 内径 180 mm, 高さ 1100 mm, 中間コック, 採水口, 空気孔付。
- (b) 大型ろ過塔 (図-3.2): アクリル製で一部塩化ビニール製, 内径 290 mm, 高さ 2000 mm, 中間コック, 採水口, 空水孔付, 耐圧製。
- (c) 目詰り実験用管: 塩化ビニール製, 内径 29 mm, 高さ 1000 mm, 底面に穴のあいたアクリル円板をはめこんだもの。
- (d) 混合砂ろ過実験筒: アクリル製, 内径 110 mm, 高さ 750 mm, 採水口付。

#### (2) 実験材料

- (a) 砂: 高萩砂, 豊浦標準砂および相模川砂を水洗したもの。使用砂および実際に裏込砂として利用されている砂の粒径分布を 図-3.3 に示す。現在実際の裏込砂として利用されている砂は大部分高萩砂と標準砂の間にある。
- (b) 粘土: 懸濁物質として川崎粘土を利用した。粒径分布を 図-3.4 に示す。
- (c) 溶媒: 水道水および港湾技術研究所前面で採取した海水。
- (d) ろ紙: ワットマン GF/C

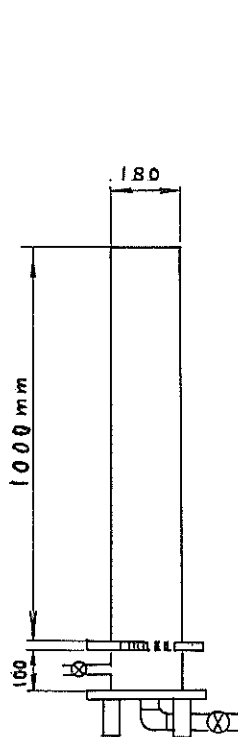


図-3.1 小型ろ過塔

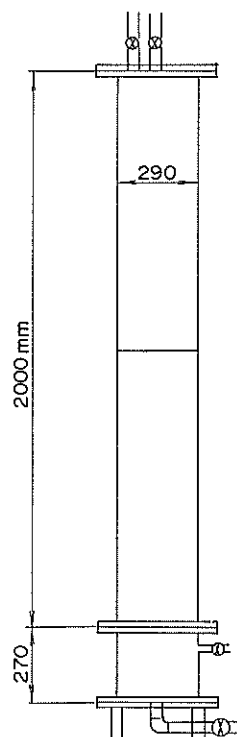


図-3.2 大型ろ過塔

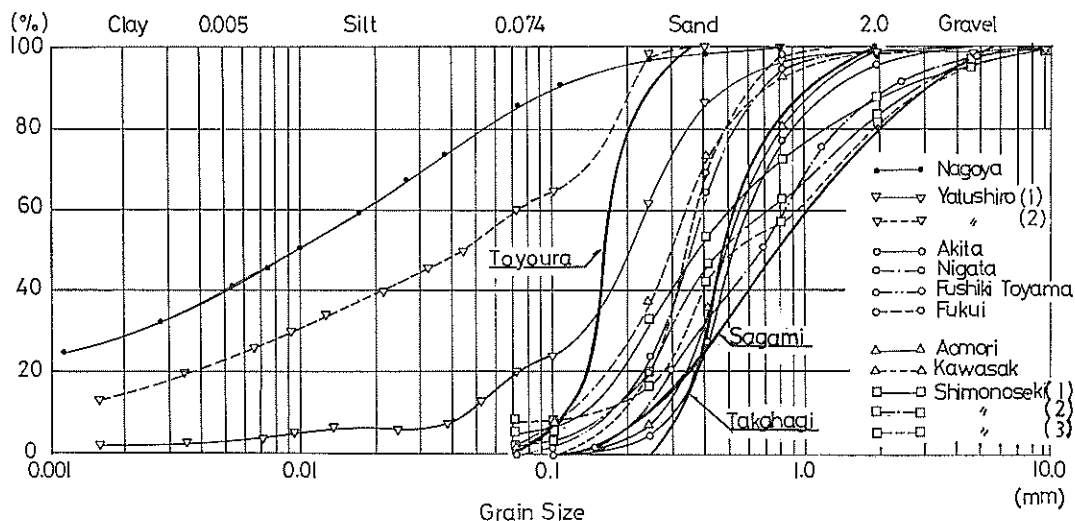


図-3.3 使用砂の粒径加積曲線

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

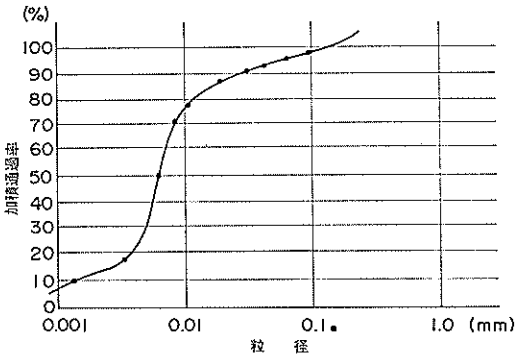


図-3.4 川崎粘土の粒径加積曲線

(3) 分析方法

分析項目および分析方法を表-3.2 に示す。

表-3.2 分析方法

分析項目	分析方法
浮遊懸濁物質 (SS)	昭和 49 年環境庁告示第 64 号 付表 4
濁度	JIS-K-0101-8
懸濁粒子数	コールターカウンターによる
塩素量	海洋観測指針 8.2.3

3.3 懸濁物質ろ過実験 (I)

(1) 実験の目的

砂ろ過の機構については 3.1 でのべたが、ここでは予備実験として、懸濁物質濃度だけを変化させ、他の実験条件を一定にした場合の実験を行い、実際に懸濁物質がどの程度砂によってろ過されるかの目安を得ることとした。

(2) 実験方法

実験方法のフローチャートを図-3.5 に示す。懸濁物質としては川崎粘土を使用した。粒度組成が一樣に分布しているため乾泥計算での設定濃度懸濁水作製が困難であった。そのため、分取りする粘土量は懸濁水がおおよそ設定濃度に近くなると思われる量を経験的に算出して計り取る方法を採用した。この方法では作製懸濁濃度は設定濃度と一致しないが作製後の SS 濃度の測定でこれをチェックした。

粘土は使用量に応じて水道水に混合し、タンクに貯えて水流ポンプで常時かく拌した。ろ材の高萩砂は濁りがなくなるまで水洗いしたものを用い、砂詰めは砂層中の空隙をできるだけ少なくするように層厚 50 cm に水縮

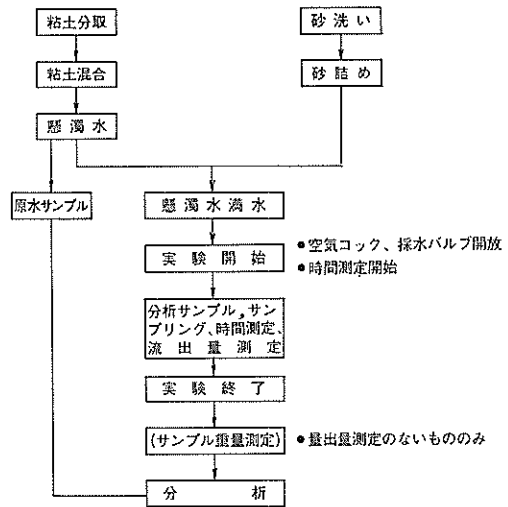


図-3.5 懸濁物質ろ過実験 (I) フローチャート

めした。

注水に関しては定水位になることと砂表面を乱さないことに注意を払った。具体的には、流量コントロールのできる循環ポンプを使って若干オーバーフローさせるか、または水表面が定水位の 90% 以下にさがらないように調節しながら注水し、砂表面の乱れを少なくするため、出水口に金網、ゴム板をとりつけた。採水は一定時間ごとに筒の下端で 1 l ポリビンで行い、試水の SS 濃度と濁度を測定した。なお、実験は目詰りをおこしてろ水がほとんどなくなるまで継続した。

(3) 実験ケースと実験条件

実験ケースと実験条件を表-3.3 に示す。本実験では高萩砂と淡水を使用し、砂層厚 (50 mm)、ヘッド差 (90 cm) を一定にして懸濁濃度を 100~5000 ppm まで変化させた。

表-3.3 懸濁物質ろ過実験 (I) 実験ケースと実験条件

ケース No.	懸濁物質濃度 (ppm)	共通条件
1	100	砂層厚 50 cm
2	500	ヘッド差 90 cm
3	1000	砂の種類 高萩砂
4	3000	淡水使用
5	5000	

(4) 実験結果

実験結果についてのべる前に、ろ過効果を表わす指標

として、ろ過率と除去率を定義しておく。すなわち、本実験およびこれ以降のろ過、目詰り実験では式(3.2)、(3.3)でろ過率、除去率を定義し、ろ過効果を表わすものとする。

$$F = \frac{SS_0 - SS_1}{SS_0} \times 100 \quad (3.2)$$

ここに、 $F$  : ろ過率 (%)  
 $SS_0$ : 原水平均 SS 濃度 (ppm)  
 $SS_1$ : 流出平均 SS 濃度 (ppm)

$$R = \frac{\sum SS_0 - \sum SS_1}{\sum SS_0} \times 100 \quad (3.3)$$

ここに、 $R$  : 除去率 (%)  
 $\sum SS_0$ : 流入総 SS (mg)  
 $\sum SS_1$ : 流出総 SS (mg)

上式から明らかなように、ろ過率はある時間における流入 SS 濃度と砂層通過後の SS 濃度の比を表わすのに対し、除去率はある時間までの総流入 SS と総流出 SS の比を表わす。

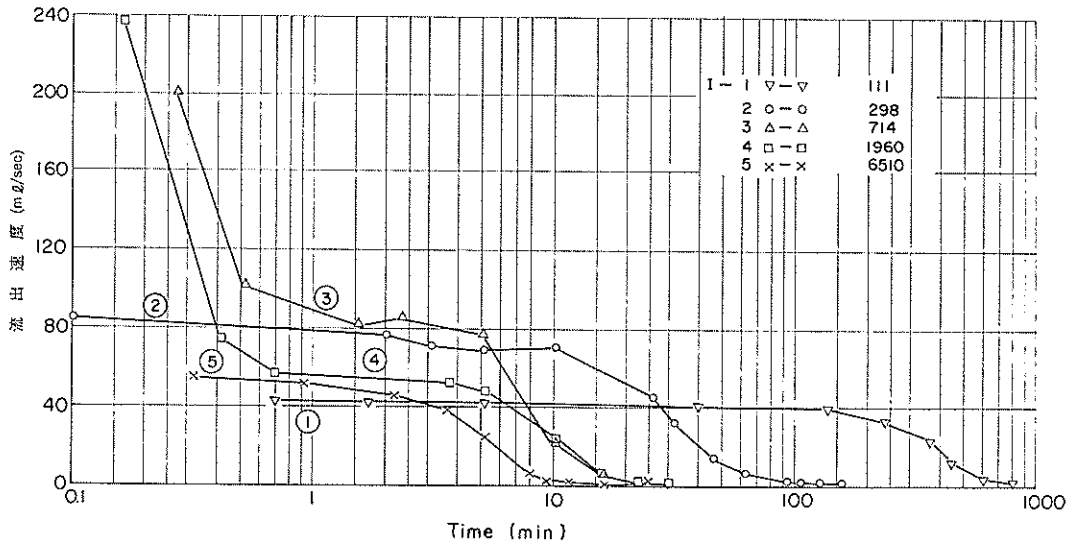


図-3.6 流出速度の時間変化

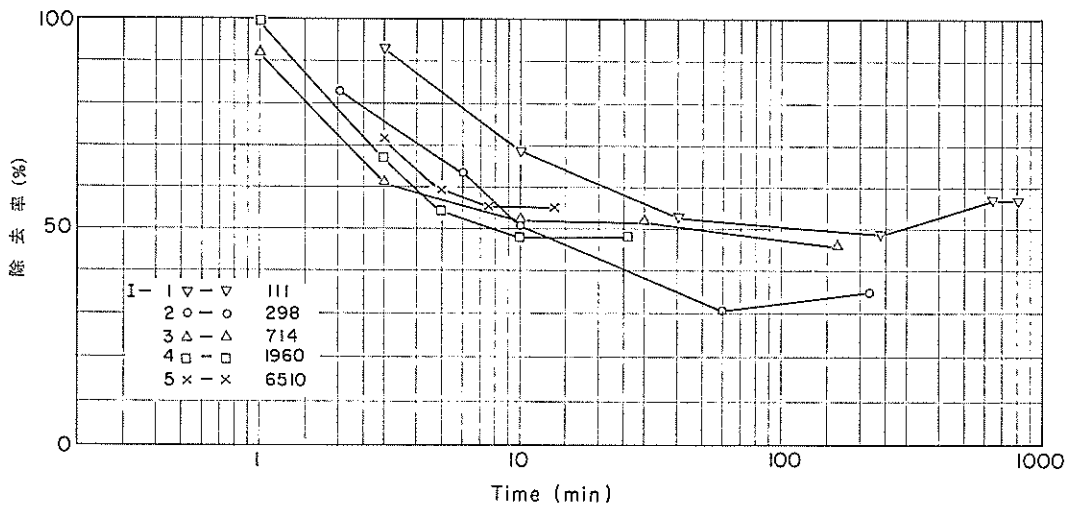


図-3.7 除去率の時間変化

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

実験結果を 図-3.6~3.9 に示す。図-3.6 は流出速度の時間変化を示したものである。これによると流れがほぼ止まるまでの時間は原水濃度が高くなるに従って早くなり、10分から1000分の間で変化する。

図-3.7 は除去率の時間変化を示したもので、ある一定時間が経過すると除去率はほぼ一定になる。この実験では 図-3.8 に示すように原水 SS 濃度に関係なく約 50% の値を示した。ここに示した除去率は目詰りをおこすまでに砂中に堆積した SS 量を総流入 SS の比で、砂層が厚いほど、砂の粒径が小さいほど除去率は大きいものと考えられる。

図-3.9 はろ過率の時間変化を示したものである。図-3.6 と対比すると明らかなように、最初の数分間は砂詰め時に入ったきれいな水がでるため、見かけ上ろ過率がよく、ついで懸濁水がほとんどろ過されずに流出する

ろ過率の低い状態があり、さらに、目詰りによって徐々に流速は低下し、ろ過率は上昇する。この現象は懸濁水濃度が大きいほど早くおこる。

実験中の目視観測では、どの実験においても、ある一定時間が経過すると砂表面に粘土膜ができ、その膜の形成とともに流速が急に低下し、ろ水がきれいになる現象がみられた。実験終了後にこの粘土膜を破壁すると、流速が増え、ろ過率も低下する。これより、まず砂の表層に粘土粒子がたまり、徐々にろ過効果が増しているものと考えられる。

3.4 懸濁物質ろ過実験 (II)

(1) 実験の目的

実験 (I) では懸濁物質濃度だけを変化させてろ過、目詰りの現象を調べた。本実験では更に実験要因として、砂層厚、ヘッド差、使用水の種類、砂の種類を考え、それぞれの影響を調べることにした。

(2) 実験の方法

実験の方法、実験液の作製方法等は 3.3 の実験 (I) と同じである。ただし、本実験では大型のろ過塔 (図-3.2) を使用し、特に砂詰めに注意を払った。すなわち、あらかじめ数 cm の水を筒内に入れておき、そこへ水面がくれない程度に砂を入れる。さらに砂表面から数 cm まで水を入れるという順序で設定砂層厚まで繰り返し行った。また、砂詰めが終了した段階で、砂の詰まり具合を比較するために透水試験を行った。ヘッド差はろ過塔に注水して可能な範囲は 250 cm までで、それ以上についてはろ過塔の横に高い仮設タンクを設けて、そこ

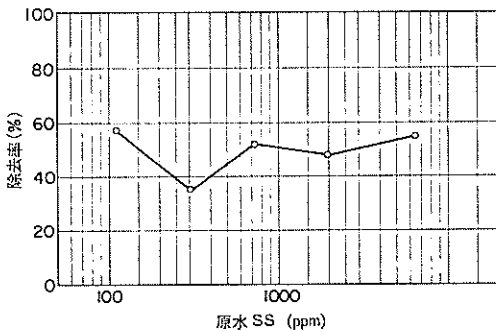


図-3.8 除去率と原水の関係

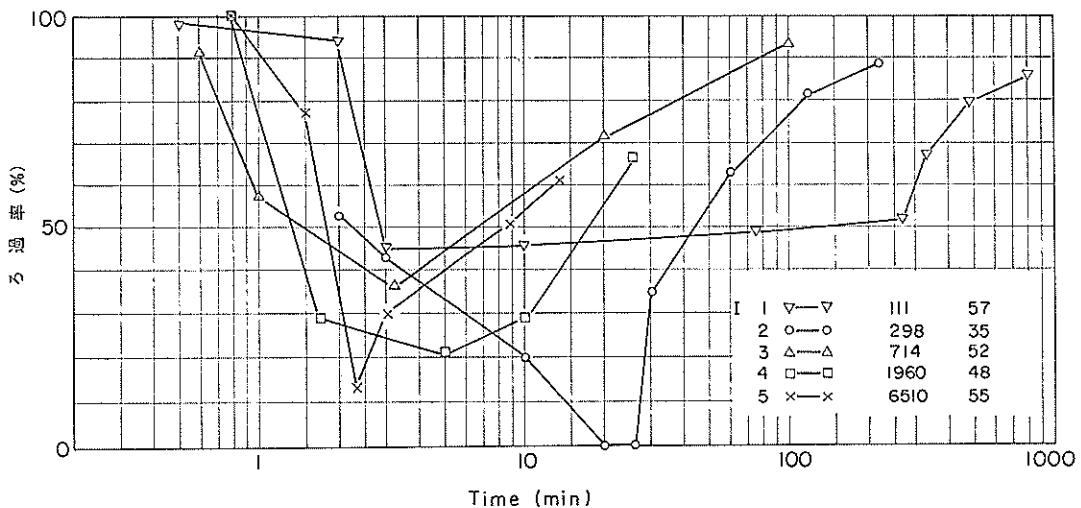


図-3.9 ろ過率の時間変化

からパイプで注水・加圧した。

(3) 実験ケースと実験条件

実験ケースと実験条件を表-3.4 に示す。懸濁物質濃度は目詰りまでの実験時間を考えて、3000 ppm を基本とし、500 ppm と 6000 ppm についても行った。砂は実際の裏込砂と粒径分布が類似している高萩砂を中心に一部標準砂も用いた。砂層厚は 50 cm, 100 cm, 150 cm の

3 種類について比較した。ヘッド差は実際の潮位変動、埋立地への降雨を考慮、250 cm を中心に最大 620 cm まで考えた。なお、表-3.4 でケース ③, ⑥, ⑧, ⑨ においてヘッド差を変えているが、これはそれぞれの最低ヘッド差で目詰りさせたあと、順次加圧する方法をとった。

(4) 実験結果

実験結果を 図-3.10, 3.11 に示す。以下に表-3.4 の

表-3.4 懸濁物質ろ過実験 (II) 実験ケースと実験条件

ケース No.	懸濁物質濃度 (ppm)	砂層厚 (cm)	ヘッド差 (cm)	砂の種類	使用水
II- 1	3000	50	36	高萩砂	淡水
2	6000	50	200	"	"
3	3000	50	200-350-620	"	"
4	3000	50	200	"	"
5	3000	100	200	"	"
6	3000	100	250-400-620	"	"
7	3000	150	300	"	"
8	3000	150	250-400-620	"	"
9	3000	100	250-400-620	"	海水
10	3000	100	400	"	淡水
11	500	100	250	"	"
12	3000	100	250	標準砂	"
13	500	100	250	"	"

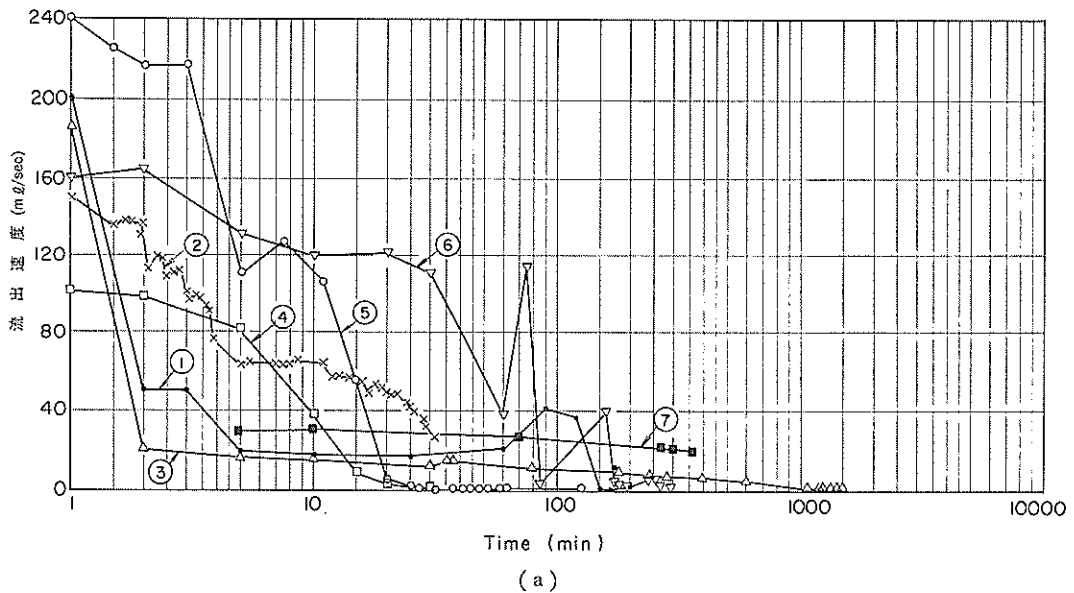


図-3.10 流出速度の時間変化

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

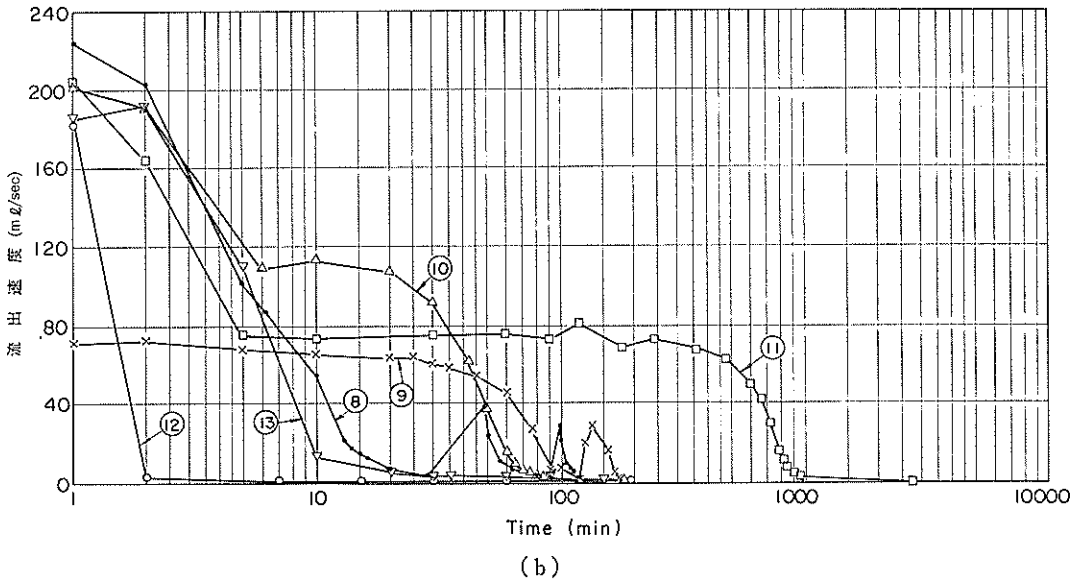


図-3.10 (つづき)

実験条件と対比しながら考察を加える。

図-3.10 は流出速度の時間変化を示したものである。これによると、全体的には5分から10分で急激に流速が減少し、一部を除いて100分前後で完全に目詰りをおこす。ついで、実験要因ごとに調べてみる。

懸濁物質濃度 SS についてみると、ケース②と④の結果から6000 ppmと3000 ppmでは余り差はみられない。一方、ケース⑤と⑩を比較すると、SSが500 ppmの場合目詰りに約1000分必要であり、同じ条件の3000 ppmの場合と比較して約10倍の時間がかかる。このことから、ある濃度以下では流出速度に対するSSの影響が大きくなることわかる。

砂層厚の影響をみるために、ケース④、⑥、⑧を比較する。これを見ると、ケース④と⑧が同様な値を示しているのに対し、ケース⑥は流出速度も大きく、目詰りまでの時間も長い。この原因として、表-3.4に示した透水係数を比較すると、ケース⑥は $k=1.78 \times 10^{-1}$  cm/s と他の2ケースより小さい。すなわち、ケース⑥は砂詰めがルーズであったため、このような結果になったものと考えられる。また、目視観測の結果、砂表面の粘土膜の形成が大きく影響していることから、砂層厚の影響は大きくないと予想される。

つぎに、ヘッド差の影響を調べる。ケース⑤(300 cm)と⑩(400 cm)を比較すると、ケース⑤では15

分くらいで流出速度が低下し、20分でほぼ目詰りを完了するのに対し、ケース⑩では50分くらいで流出速度が低下し、100分でほぼ目詰りを完了する。また、目詰り完了後徐々に水位をあげていったケース③、⑥、⑧、⑨をみると、いずれも一時的にはわずかに流出速度が増加するが、すぐに目詰りを生じる。以上より、ヘッド差は目詰りをおこすまでの現象には影響するが、一度目詰りをおこすと、4~6mの範囲では余り大きな影響は与えないようである。

ろ材としての砂の影響をみるために、SS濃度500 ppmについてはケース⑩と⑬、SS濃度3000 ppmについてはケース⑨と⑫を比較する。これより、明らかに粒径の小さな標準砂の方が早く目詰りをおこす。

つぎに使用水の影響を調べる。埋立護岸は一般に海域に建設されることが多いが、埋立地への降雨等もあり、護岸を通過する水は海水と淡水の中間的なものであると考えられる。その影響をみるためにケース④と⑨を比較する。ここではケース④の方が砂層厚が薄いにもかかわらず、急激に流出速度が減少し早く目詰りをおこす。これに対して、海水を用いたケース⑨では初期流出速度は比較的小さいが目詰りをおこす直前まで流出速度は変化しない。これは粘土粒子が海水中でフロックを形成するためと考えられる。

図-3.11 はろ過率の時間変化を示したものである。こ

門司剛至

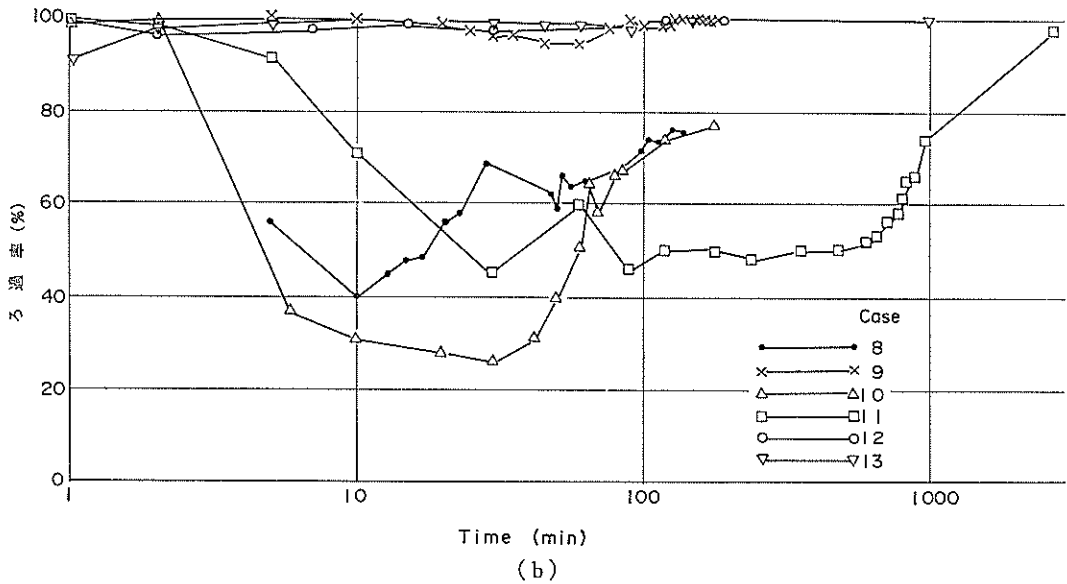
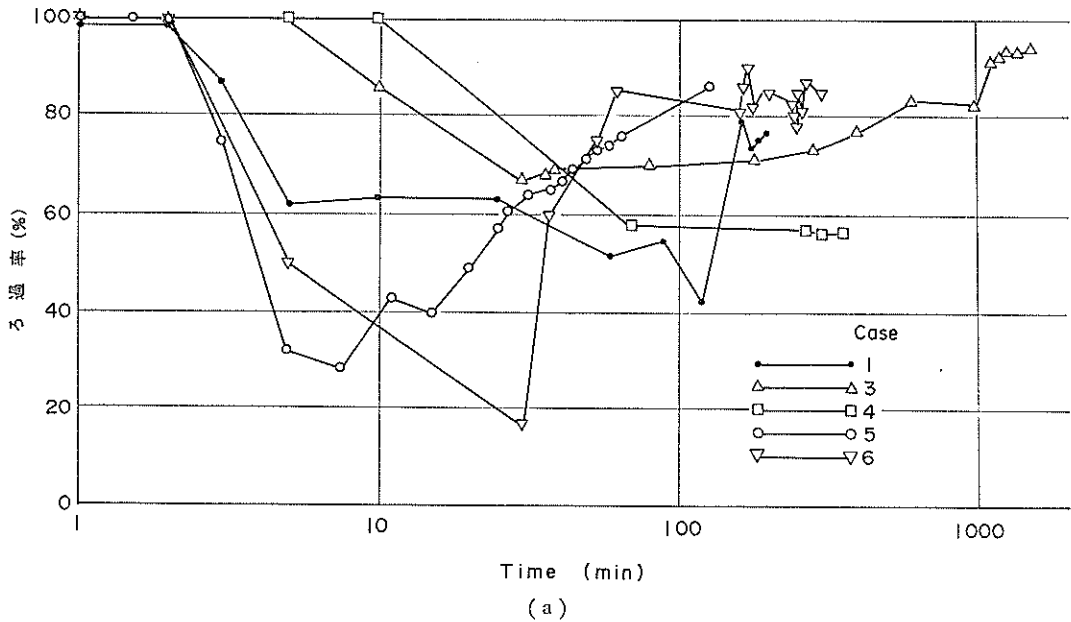


図-4.11 ろ過率の時間変化

れから明らかなように、ケース⑨、⑫、⑬が他のケースと著しく異なり、ろ過率は経続時間にかかわらず、ほぼ100%である。ここで、ケース⑨は高萩砂で海水を用いたケースであり、ケース⑫、⑬は標準砂を用いたケースである。このうち、ケース⑫、⑬は図-3.10

に示した流出速度からも明らかなように、粒径が小さいため目詰りも早くおこり、ろ過率が高いのは説明できる。これに対してケース⑨では、流出速度はそれほど急激には減少していないのにろ過率は大きい。この原因として、粘土粒子は海水中でフロックを形成し、砂層中にと



埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

どまるが、フロックが淡水の場合に比べて大きいため、間抜けが大きく水が流れやすいものと考えられる。

ケース ⑩, ⑫, ⑬ 以外のケースはいずれも同じような変化を示した。すなわち、最初は見かけ上のろ過率が高いが、一度 30~60% まで減少する。その後、時間の経過とともにろ過率は高くなり、最終的には 100% 近い値を示した。この中でも懸濁水濃度が低いもの（ケース ⑪）、砂の詰め方がルーズで透水係数が大きいもの（ケース ⑥）、最初からヘッド差が大きいもの（ケース ⑩）のろ過率が低い傾向を示した。

以上の実験結果から次のことが明らかになった。すなわち、砂ろ過効果に大きな影響を与えるのは砂の粒径と懸濁物質の粒径であり、砂層厚とヘッド差は目詰りをおこすまでの時間に影響するだけである。また、一度目詰りをおこしてしまえば、懸濁物質には対してほぼ 100% のろ過効果が期待できるものと考えられる。

3.5 目詰り実験 (I)

(1) 実験の目的

懸濁物質ろ過実験で、ろ過効果は主として、砂表面における粘土膜の形成、砂を粘土の粒径に影響されることがわかった。また、砂層厚は目詰りにあまり大きな影響を与えないと考えられた。しかし、実際の設計において砂層厚を決定するためには、目詰り時にろ過中に懸濁物質がどのように堆積しているかを把握しておく必要がある。

ここでは、砂ろ過において、砂層中に粘土粒子がどのように分布しているかを調べることを目的として、懸濁水濃度、溶媒、砂の種類を変えた実験を行った。

(2) 実験方法

実験方法のフローチャートを図-3.12 に示す。本実験では内径 29 mm、高さ 100 cm の塩化ビニール管の底にアクリルをはめこんだろ過塔を用い、懸濁水の作成方法、砂詰めの方法は 3.4 ろ過実験 (II) と同じである。砂は高萩砂については水洗いしたものを 0.4 mm のフルイでふるって、それ以下の粒子をとり除いたもの、標準砂は 0.074 mm と 0.4 mm のフルイでふるってその間の粒径のものを使用した。

注水はサイフォンからのホースをピンチコックで流量調節しておこない、送水時間は 3.4 ろ過実験 (II) の結果から、各実験ケースの特色がよく現われるように 45 分とした。送水終了後は砂の上にある懸濁水だけを抜きとり、そのまま冷凍室に入れて凍結させた。

砂層別の砂のサンプルは凍結した砂層をろ過塔からと

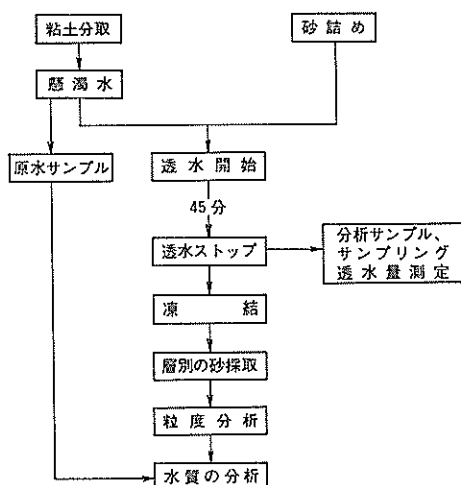


図-3.12 目詰り実験 (I) フローチャート

りだし、5 cm ごとに切断したもので、これを一定容量の水に溶かして砂を粘土を分離して分析した。また、実験開始から終了までの流出水はまとめて一つの容器に受け、経過時間ごとの流出速度、流出 SS 濃度などの測定は行わなかった。

(3) 実験ケースと実験条件

実験ケースと実験条件を表-3.5 に示す。本実験では表に示したように、実験要因として砂層厚、ヘッド差を一樣にし、懸濁物質濃度、砂の種類、使用水を変えてその影響を調べた。

表-3.5 目詰り実験 (I) 実験ケースと実験条件

ケース No.	懸濁物質濃度 (ppm)	砂の種類	使用水	共通条件
1	3000	高萩砂	淡水	砂層厚 70 cm ヘッド差 100 cm
2	3000	標準砂	"	
3	500	高萩砂	"	
4	3000	"	海水	

(4) 実験結果

実験結果を図-3.13 に示す。ここに、除去率は式 (3.3) で定義したもので総流入 SS と総残留 SS の比である。総流出量を見ると高萩砂については懸濁物質濃度、使用水にかかわらず 3.5~3.8 l であるのに対し、標準砂は 0.1 と非常に小さい。除去率をみると標準砂を

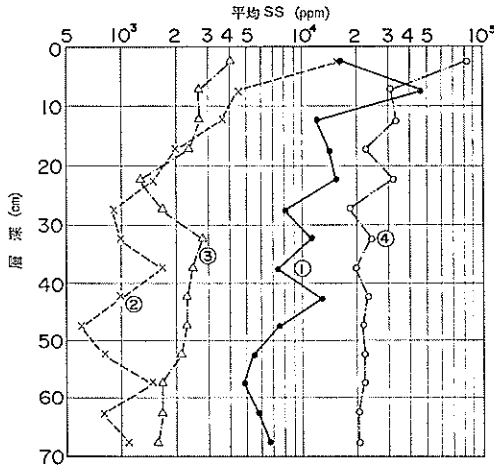


図-3.13 目詰り実験 (I) 実験結果

用いたケース②、海水を用いたケース④がよく、高萩砂で淡水を用いた場合が低い。この結果は3.4ろ過実験(II)と同様な傾向である。

つぎに、砂中に堆積した粘土分布について実験要因ごとにみてる。まず、懸濁物質濃度の影響をみるためにケース①と③を比較する。これを見ると、砂中SS量は濃度の高いケース①の方が、ほぼ濃度比だけ大きく、層別の分布状況も類似している。砂の種類による影響をみるためにケース①と②を比較すると明らかに違いがみられる。すなわち、標準砂の場合は深さ30cm付近まで直線的に減少し、上層に多く堆積しているのに対し、高萩砂の場合は全層にわたって入りこんでいる。

使用水の影響をみるためにケース①と④を比較する。これによると海水の場合、淡水の場合より2~3倍のSSが砂中に留っており、しかも上層部にピークがある。これは、海水の場合除去率が非常によいことを考え合わせると、海水中では粘土粒子がフロックを形成して砂中に留まるのに対し、淡水の場合は流れだすことが多いものと考えられる。

また、除去率のよいケース②と④を比較すると、同じ懸濁水濃度でも、標準砂で淡水の場合は砂表面でのろ過効果が大いなのに対し、高萩砂で海水の場合は全層にわたってろ過効果があることがわかる。

### 3.6 目詰り実験 (II)

#### (1) 実験の目的

3.5目詰り実験(I)でろ過効果には砂の種類と使用水の影響が大いことが明らかになった。特に、砂の粒

径と懸濁物質の相対的な大きさが影響すると考えられた。そこで、本実験ではろ材をフルイにかけ、種々の粒径分布の砂をつくって、目詰りの状況、ろ過状況の違いを調べることにした。

#### (2) 実験方法

実験の概要を図-3.14に示す。図に示すように、本実験は高さ75cmのろ過塔に50cmだけ砂を詰め、上から川崎粘土と海水を混ぜた懸濁水を目詰りをおこすまで連続注水するものである。砂は水洗いた標準砂、高萩砂、相模川砂を規定の粒径に調合したもので、砂詰めの方法は3.5目詰り実験(I)と同じである。実験中は水位を一定に保つことと砂表面を乱さないことに留意し、流量、流入SS、流出SSを測定した。実験は完全に目詰りをおこし、ろ過塔下端の排水口からろ過水が流出しなくなるまで続けた。

実験終了後、砂層の粘土分布を調べるため、砂表面から22.5cmまでは2.5cmごと、それ以下は30~32.5cm、40~42.5cm、47.5~50cmの試料をスプーンで採取した。ついで、この試料を1lの蒸留水に入れて0.074mmのフルイでふるった後SS量を測定した。

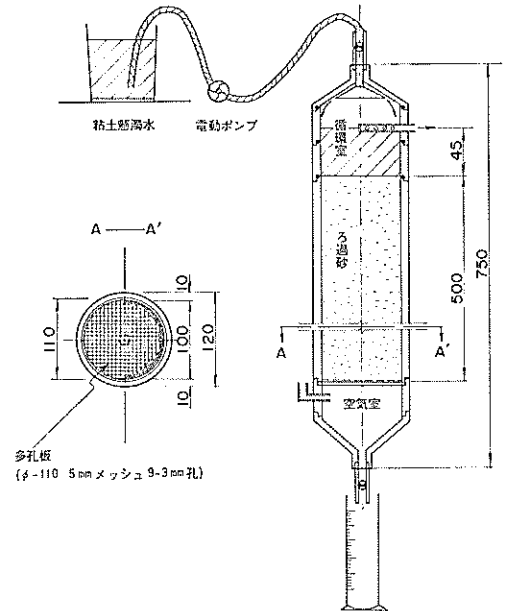


図-3.14 目詰り実験 (II) 実験概要

#### (3) 実験ケースと実験条件

本実験でろ過砂の粒径分布だけを変えて実験した。ろ過砂は標準砂、高萩砂、相模川砂を混合したもので、

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

表-3.6 目詰り実験 (II) 実験ケース

ケース No.	ろ過砂粒径	砂詰り状態			粒径比 (d/D <sub>10</sub> )	ろ過率 (%)	備考
		r' (g/cm <sup>3</sup> )	e	k (cm/s)			
①	0.105~0.25	2.057	0.705	1.763×10 <sup>-2</sup>	0.6	100	(共通条件) 海水 ヘッド差 54.5 cm SS=500 ppm
②	0.074~2.00	2.098	0.569	2.570×10 <sup>-2</sup>	0.5	100	
③	0.42~0.84	2.011	0.724	1.512×10 <sup>-1</sup>	0.15	100	
④	0.42~2.00	2.032	0.673	1.590×10 <sup>-1</sup>	0.14	95	
⑤	0.84~2.00	2.051	0.743	4.130×10 <sup>-1</sup>	0.08	64	
⑥	2.00~4.76	2.56	0.371	7.18×10 <sup>-1</sup>	0.03	8	

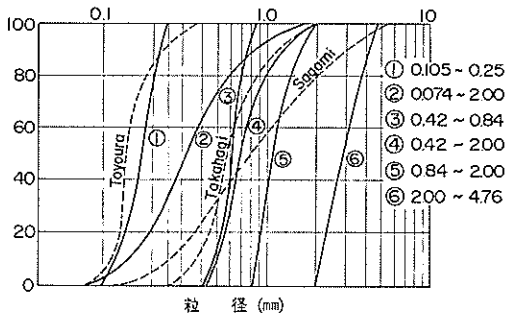


図-3.15 使用砂の粒径加積曲線

図-3.15, 表-3.6 に示す 6 種類の砂を用いた。また、懸濁物質として用いる粘土は 0.074 mm のフルイをとおした川崎粘土、溶媒には港湾技術研究所前面の海水を用

い、設定懸濁液濃度は 500 ppm とした。

(4) 実験結果

実験結果を 図-3.16~3.18 に示す。図-3.16 は実験開始からの総流出量, 原水 SS, 流出 SS の時間的変化を示したものである。これによると粒径の小さなケース ①, ②, ③ では流出量が小さく, 流出 SS 濃度は 0 に近く, ろ過効果も大きい。粒径の大きいケース ④, ⑤, ⑥ では最初は流出速度も早く, 流出 SS 濃度が高いが, 時間の経過と共に SS 濃度は小さくなり, 最終的にはろ過率が 100% 近くなる。

図-3.17 は目詰り後のろ過砂中の粘土分布を示したものである。図よりろ過中の SS 分布はろ過砂の粒径分布によって, ケース ① と ②, ケース ③, ケース ④ と ⑤, ケース ⑥ の 4 つのグループに分けられる。すなわ

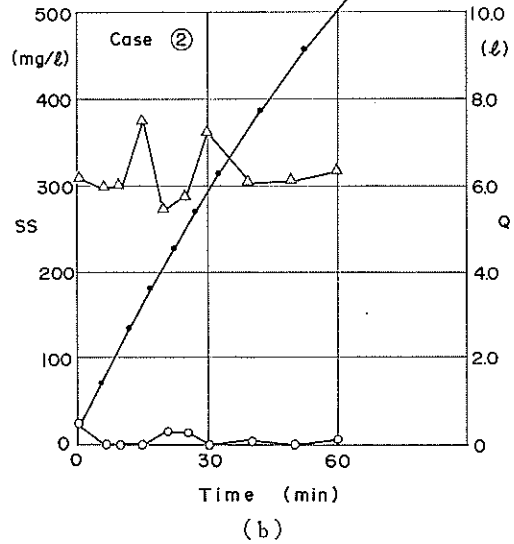
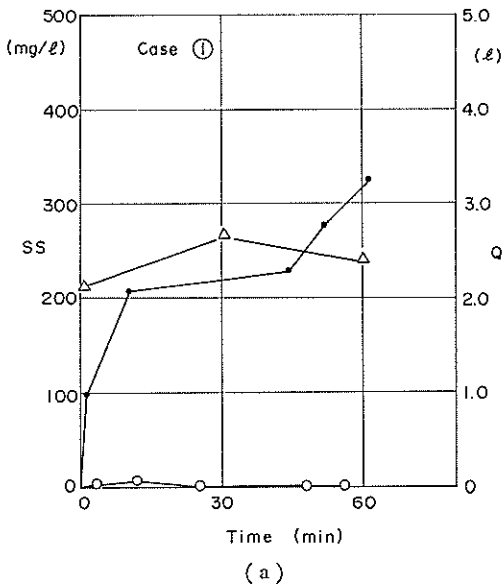
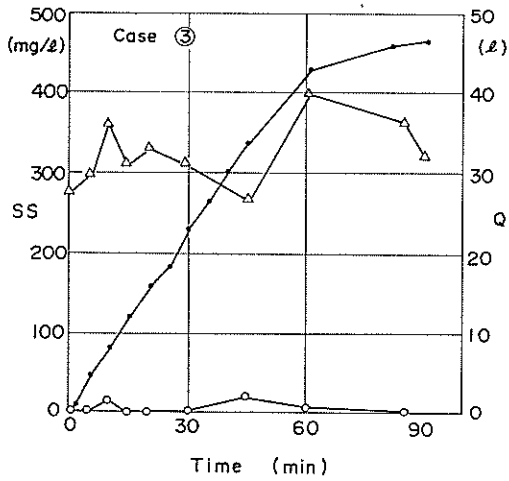
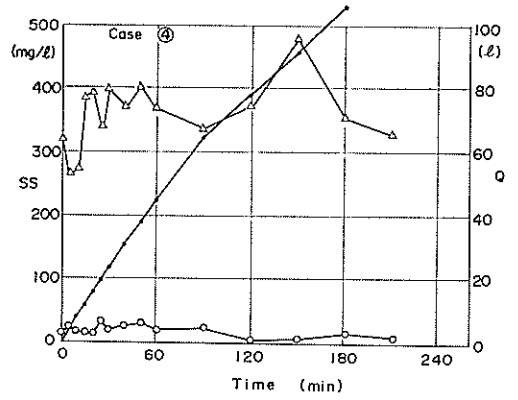


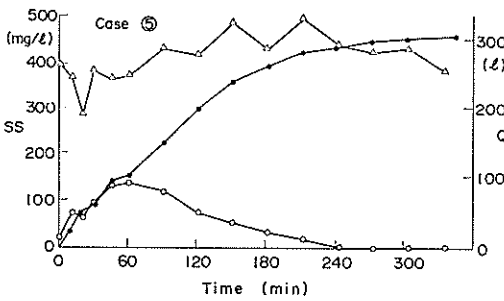
図-3.16 総流出量, 原水 SS, 流出 SS の経時変化



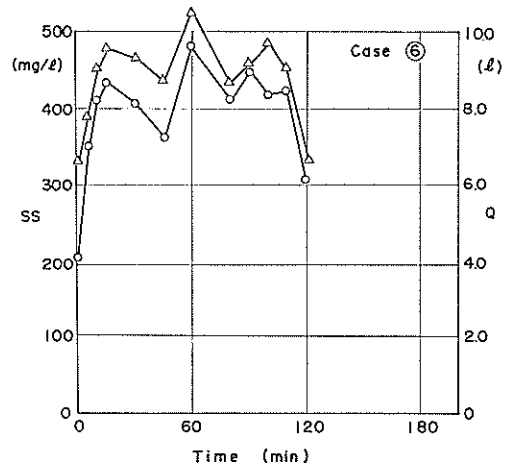
(c)



(d)



(e)



(f)

図-3.16 (つづき)

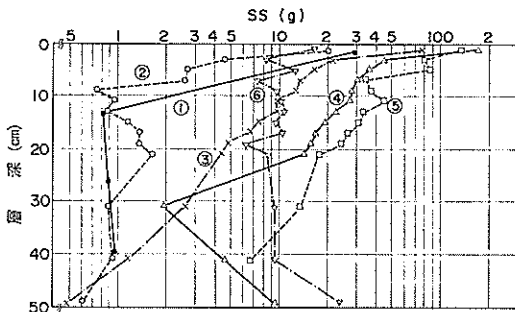


図-3.17 ろ過砂中の目詰り分布

ち、ケース①と②は粒径が小さいため、表層の10cm程度に多く堆積し、それ以下は少ししか堆積してい

ない。ケース③は砂層の上から下までほぼ直線的に分布し、ケース①、②よりも多く堆積している。つぎに、ケース④と⑤は良く似た分布を示し、ケース③よりさらに多く砂中に堆積している。最も粒径の大きいケース⑥は他のケースと全く異なりSS分布に差がみられない。これは粒径が大きいため懸濁水がろ過されずに下層まで侵入したためと考えられる。なお、ケース④と⑥の最下層でSSが多いのは、最下端にガラスクロスを敷いたため、局部的に目詰りをおこしたものと考えられる。

以上、各ケースについてのろ過状況、目詰り状況についてのべたが、図-3.18は粘土の最大粒径 $d$ (0.074mm)とろ過砂の有効径 $D_{10}$ の比 $d/D_{10}$ とろ過率の関係を示

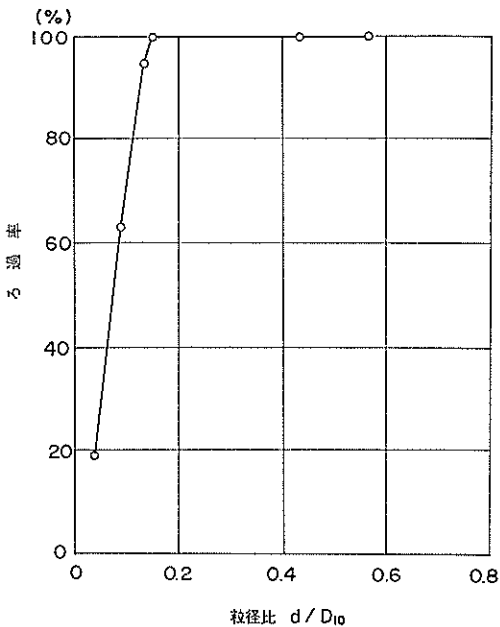


図-3.18  $d/D_{10}$  とろ過率の関係

したものである。ここに、ろ過率はろ過開始後1時間の値である。図をみると  $d/D_{10}$  が 0.15 以上の場合ろ過率は 100% であり、 $d/D_{10}$  が 0.15 より小さい場合、ろ過率は直線的に減少する。

### 3.7 まとめ

実際に利用されている裏込砂によく似た粒径の砂を用いて、粘土懸濁溶液に対する砂ろ過実験および目詰り実験を行った。その結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 懸濁物質は砂ろ過によってほぼ完全に除去できる。
- 2) 砂層に懸濁溶液を注入すると最初はろ過されずに流出するが、時間の経過とともに流出速度は小さくなり、ろ過効果は高くなる。特に、砂表面の粘土膜の形成によりろ過効果は高まる。
- 3) ろ過効果は砂の粒径が小さいほど、またよく詰っている方がよい。しかし、通常利用されている粒径の砂でも時間の経過とともにろ過効果はよくなる。
- 4) 砂層厚をヘッド差は目詰りをおこすまでの時間に影響するだけで、目詰りをおこしてしまえば懸濁物質はほぼ完全に除去できるものと考えられる。
- 5) 懸濁液の溶媒に海水を用いた場合、粘土粒子がフロックを形成し、ろ過効果は高まる。

6) 目詰りをおこした場合の粘土の砂中分布をみると上層部に多く堆積し、砂の粒径が小さいほどその傾向が著しい。砂の粒径が大きい場合は下層部まで侵入する。

7) ろ過効果は懸濁物質の粒径とろ過砂の粒径の比に左右される。

## 4. 重金属の粘土粒子への吸着実験

### 4.1 概要

重金属類が粘土粒子に吸着すれば、その粘土を砂ろ過することによって重金属を取り除くことが可能である。ここでは、重金属の粘土粒子への吸着について室内実験で調べることにした。

まず最初に粘土粒子への吸着機構について概観する<sup>19)</sup>。吸着には大きく分けて化学吸着と物理吸着の2つがある。化学吸着は化学的な結合力で吸着するもので、物理吸着は万有引力に由来する吸着をいう。たとえば、イオンのもつ静電気力で結合するイオン吸着は化学吸着であり、活性炭やシリカゲルのようにその表面積の大きさ、凹凸や孔などでの吸着は物理的吸着である。

重金属の粘土粒子への吸着は、粘土粒子のもつ負電荷と重金属陽イオンとのイオン吸着であると考えられる。粘土粒子の負電荷は主成分であるケイ素やアルミニウムのつくる結晶体であるシリカ正四面体 ( $\text{SiO}_2$ ) やアルミナ八面体 ( $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ ) 中のケイ素、アルミニウムが原子価の低い他のイオンと同形置換することによって生じると考えられる。この吸着はイオン結合であるため万有引力による物理吸着より非常に強いものと考えられる。

本実験では代表的な重金属として、水銀 (Hg)、鉛 (Pb)、カドミウム (Cd) を選び、粘土粒子への吸着を調べることにした。実験方法は基本的に粘土懸濁水に重金属溶液を混合し、このろ水ともとの重金属溶液中の重金属濃度を比較して吸着を調べるもので、実験の構成は表-4.1 のとおりである。

### 4.2 実験使用機器、材料および分析方法

#### (1) 実験使用機器

- (a) かく拌吸着実験用 5l シリンダー: アクリル製、内径 135 mm、高さ 450 mm
- (b) かく拌ロータリー: ヤマト科学ラボスターラー LS-58 型
- (c) 吸着沈降実験用筒: アクリル製、内径 190 mm、高さ 1000 mm
- (d) 砂中吸着実験用装置(図-4.1): 塩化ビニール製、

表-4.1 実験の構成と内容

懸濁液の粘土への重金属の吸着を調べる。

重金属の粘土粒子への吸着実験	—かく拌吸着実験……	重金属として Cd, Hg, Pb, 粘土は川崎粘土を使用。実験要因として、重金属濃度、懸濁物質濃度、かく拌時間、放置時間、粘土粒子の大きさ、および pH を考えた。
	—吸着沈降実験……	海水で重金属と粘土を混合し、沈降にともなう重金属濃度の変化を調べる。重金属は Cd, Hg, Pb, 粘土は川崎粘土使用。
	—海水中のカドミウムかく拌吸着実験……	海水濃度を考えてカドミウムの粘土粒子への吸着状況を調べる。川崎粘土使用。
	—砂中吸着実験……	砂の中に混在する粘土粒子への重金属の吸着を調べる。重金属として Cd, Hg, Pb, 粘土は川崎粘土使用。実験要因として粘土/砂比、および放置時間を考えた。
	—飽和吸着量実験……	粘土単位重量当りの最大吸着量を調べる。重金属として Cd, Hg, Pb, 粘土は川崎粘土を使用。実験要因として pH を考えた。
	—各種粘土に対する吸着実験……	粘土種類の違いによる吸着量の変化を調べる。粘土は青森港、川崎港、名古屋港、神戸港伏木富山港、門司港のものを使用。

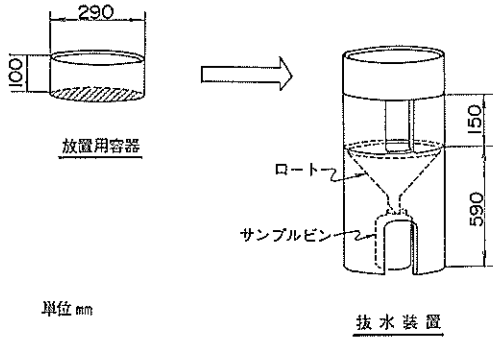


図-4.1 砂中吸着実験用装置

内径 290 mm, 高さ 120 mm

- (e) 振とう器: KM-Shaker Model V-D, IWAKI CO., LTD.
- (2) 実験材料
- (a) 砂: 高萩砂を水洗いしたもの、および豊浦標準砂、それぞれの粒径分布は図-3.3 に示した。
- (b) 粘土: 川崎粘土および各地の粘土。川崎粘土の分析結果を表-4.2 に、粒径分布は図-3.4 に示した。なお、各地の粘土の特性は 4.8 でのべる。
- (c) 溶媒: 水道水、海水、イオン交換水、蒸留水、人工海水を実験に応じて使用。海水は港湾技術研究所前面で採水した。
- (d) 重金属: 水銀(塩化第二水銀  $HgCl_2$ )、カドミウム(硝酸カドミウム  $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ )、鉛(硝酸鉛  $Pb(NO_3)_2$ )
- (e) ろ紙: ワットマン GF/C

表-4.2 川崎粘土の分析結果

分析項目	分析結果
COD	7.6 mg/g
強熱減量	5.9%
カドミウム	0.93 ppm
総水銀	0.42 ppm
鉛	27.7 ppm
TOC	3.7 mg/g
O.R.P.	$0.8 \times 100$ mV
pH	7.9

表-4.3 分析項目および分析方法

分析項目	分析方法
浮遊懸濁物質(SS)	昭和49年環境方告示第64号 附表4
濁度	JIS-K-0101-8
懸濁粒子数	コールターカウンターによる
塩素量	海洋観測指針 8.2.3 の方法による

(3) 分析方法

分析項目および分析方法を表-4.3 に示す。

4.3 かく拌吸着実験

(1) 実験の目的

重金属は粘土粒子に吸着するが、その吸着の度合いは金属の種類、懸濁液濃度、pH、かく拌時間、溶媒の種類、懸濁粒子の大きさなどによって異なるものと考えられる。本実験では、重金属の粘土粒子への吸着がどの程

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

度なのか、吸着が何によって左右されるかを調べることに主眼をおき実験を行った。

(2) 実験方法

実験方法のフローチャートを図-4.2 に示す。懸濁物質としては川崎粘土を用い、混合溶媒にはイオン交換水を用いた。重金属溶液には4.2.(2)でのべたように、塩化第二水銀、硝酸カドミウム、硝酸鉛を所定の濃度に調整したものをを用いた。使用水量は各実験とも重金属原液、

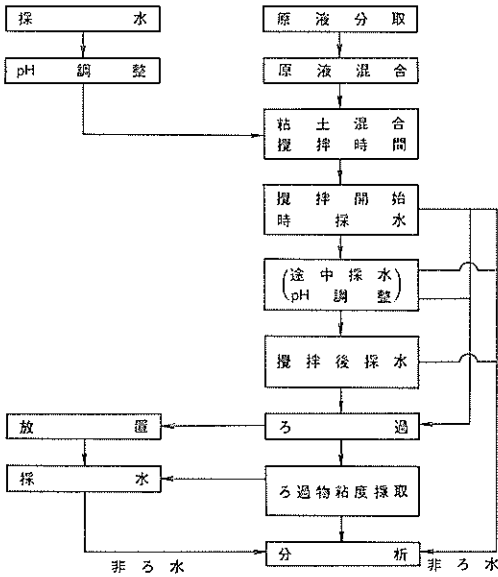


図-4.2 重金属かく拌吸着実験フローチャート

粘土を混合した状態で5lとした。かく拌はシンダー内でかく拌ロータリーを用いて、一定回転(約50r.p.m)で、原則として30分を行った。

採水はU字形に曲げたガラス管のサイフォンを使って中間水層から採水した。また、分析は非ろ水は重金属、濁度、pHについて、ろ水は重金属について行い、さらに実験ケースに応じて粘土中の重金属等の分析も行った。

(3) 実験ケースと実験条件

実験ケースと実験条件を表-4.4~4.7に示す。すなわち、実験要因としては、重金属濃度、懸濁物質濃度、かく拌時間、放置時間、粘土粒子の大きさ、およびpHを考えた。

(4) 実験結果

実験結果についてのべる前に吸着率を定義しておく。すなわち、本実験では次式で吸着率を定義し、吸着効果を表わすものとする。

$$A_d = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (4.1)$$

ここに、 $A_d$ ：吸着率(%)

$C_0$ ：実験前の原水の重金属濃度(ppm)

$C_t$ ：実験後のろ水の重金属濃度(ppm)

実験結果を図-4.3~4.8に示す。これらを各実験要因ごとにまとめると以下のとおりである。

(a) 懸濁液濃度(SS)の影響

図-4.3は重金属を個々に混合した場合の懸濁物質濃度(SS)と吸着率の関係を示したものである。図から明らかのように、水銀の粘土粒子への吸着はSSの対数に

表-4.4 Hg: 実験ケース及び実験条件

ケース No.	水銀濃度 (ppm)	懸濁物質濃度 (ppm)	かく拌時間 (分)	放置時間	ろ物差違	上下差違	メッシュ差違	pH
VI-Hg- 1	0.005	20	30	180分-1昼夜-2昼夜	○			1 4 変化
2	0.005	100	30					
3	0.005	500	30					
4	0.005	3000	30					
5	0.050	20	30					
6	0.050	100	30					
7	0.050	500	0.5-15-30-60					
8	0.050	3000	30					
9	0.050	500	0.5 30					
10	0.050	3000	0.5 30					
11	0.050	500	30					
12	0.050	500	30					
13	0.050	500	30					
14	0.050	500	30					

門司剛至

表-4.5 Cd: 実験ケース及び実験条件

ケース No.	カドミウム濃度 (ppm)	懸濁物質濃度 (ppm)	かく拌時間 (分)	放置時間	ろ物粘度	上下差違	メッシュ差	ユ違	pH
VI-Cd- 1	0.01	20	30	180分-1昼夜-2昼夜	○	○	○		1 4 変化
2	0.01	100	30						
3	0.01	500	30						
4	0.01	3000	30						
5	0.10	20	30						
6	0.10	100	30						
7	0.10	500	0.5-15-30-60						
8	0.10	3000	30						
9	0.10	500	0.5 30						
10	0.10	3000	0.5 30						
11	0.10	500	30						
12	0.10	500	30						
13	0.10	500	30						
14	0.10	500	30						

表-4.6 Pb: 実験ケース及び実験条件

ケース No.	鉛濃度 (ppm)	懸濁物質濃度 (ppm)	かく拌時間 (分)	放置時間	ろ物粘度	上下差違	メッシュ差	ユ違	pH
VI-Pb- 1	0.1	20	30	180分-1昼夜-2昼夜	○	○	○		1 4 変化
2	0.1	100	30						
3	0.1	500	30						
4	0.1	3000	30						
5	1.0	20	30						
6	1.0	100	30						
7	1.0	500	0.5-15-30-60						
8	1.0	3000	30						
9	1.0	500	0.5 30						
10	1.0	3000	0.5 30						
11	1.0	500	30						
12	1.0	500	30						
13	1.0	500	30						
14	1.0	500	30						

表-4.7 混合: 実験ケース及び実験条件

ケース No.	重金属および濃度 (ppm)			懸濁物質濃度 (ppm)	かく拌時間 (分)
	水 銀	カドミウム	鉛		
VI-混-1	0.050	0.01	0.1	100	30
2	0.005	0.01	0.1	500	30
3	0.005	0.01	0.1	3000	30
4	0.050	0.10	1.0	100	30
5	0.050	0.10	1.0	500	30
6	0.050	0.10	1.0	3000	30



埋立護岸における珉込砂の浄化効果に関する実験的研究

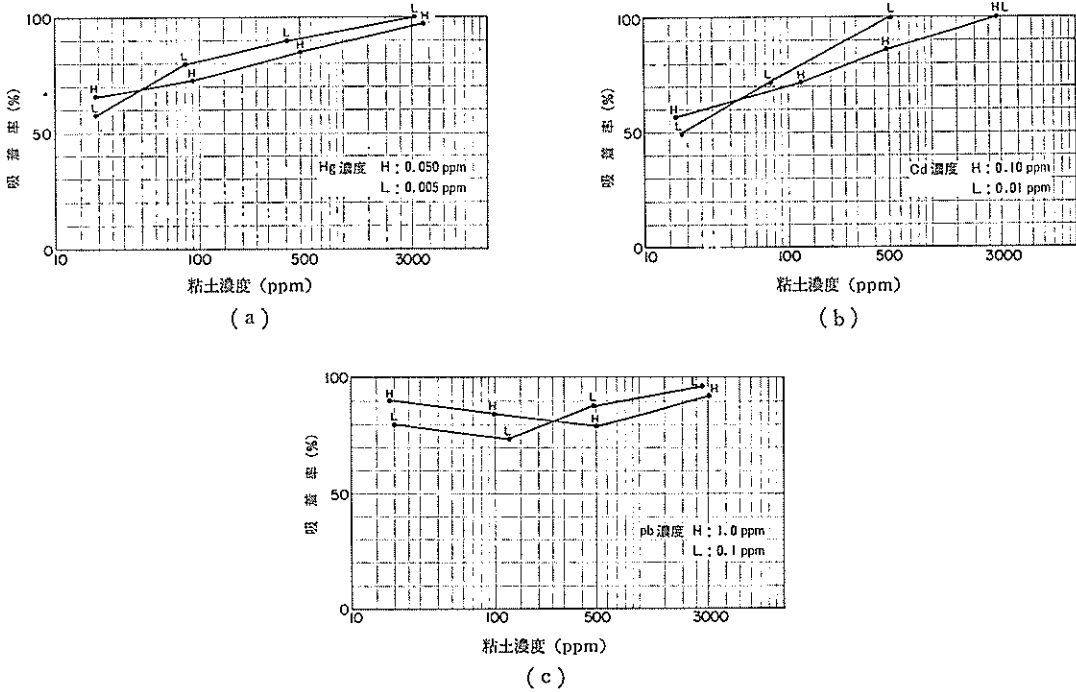


図-4.3 懸濁物質濃度 (SS) と吸着率の関係 (単独)

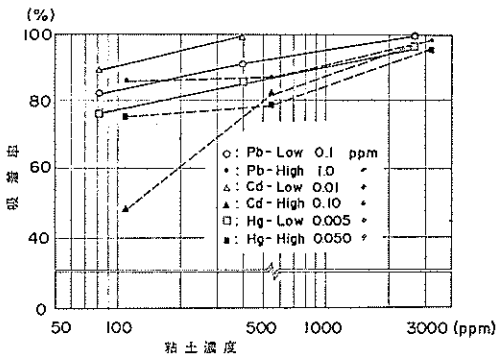


図-4.4 懸濁物質濃度 (SS) と吸着率の関係 (混合)

比例し、SS 100 ppm で 70%，500 ppm で 80% をこえている。また、カドミウム、鉛についてもほぼ同様な結果が得られており、重金属は粘土粒子によく吸着されることがわかる。図-4.4 は各重金属を同時に懸濁液に混合した場合の結果で、個々に混合した場合とほぼ同じ傾向を示している。

(b) かく拌時間の影響

図-4.5 は SS 濃度が 500 ppm，重金属濃度が高い場

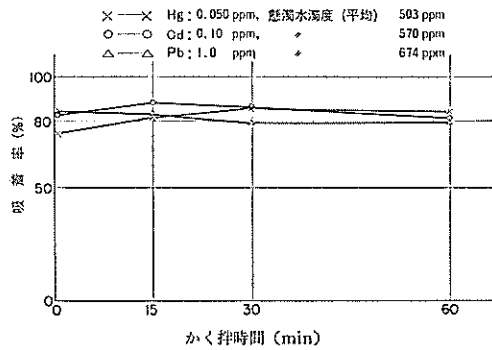
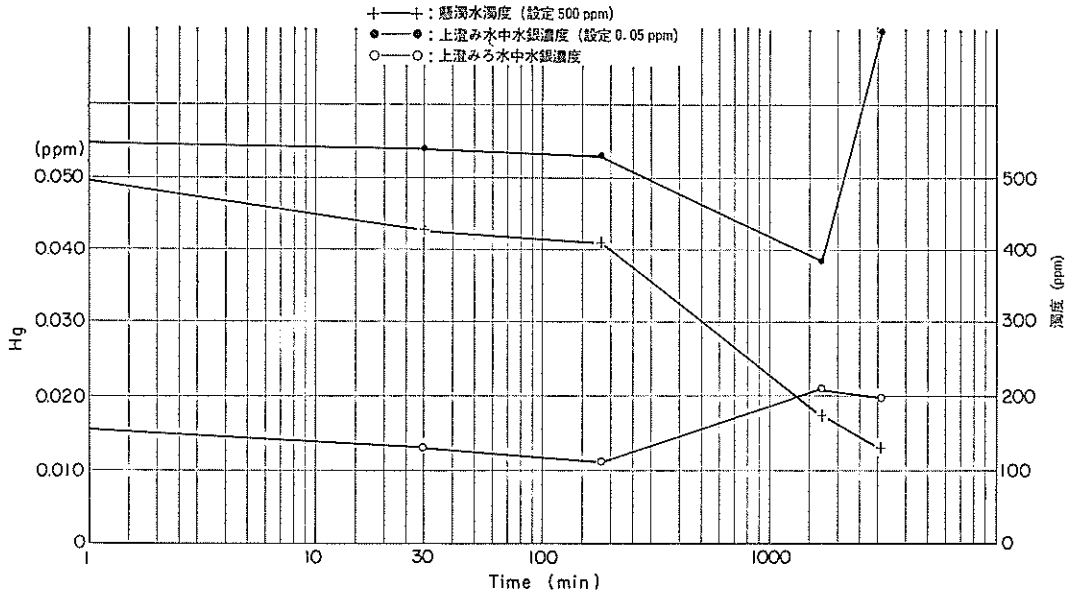


図-4.5 かく拌時間と吸着率の関係

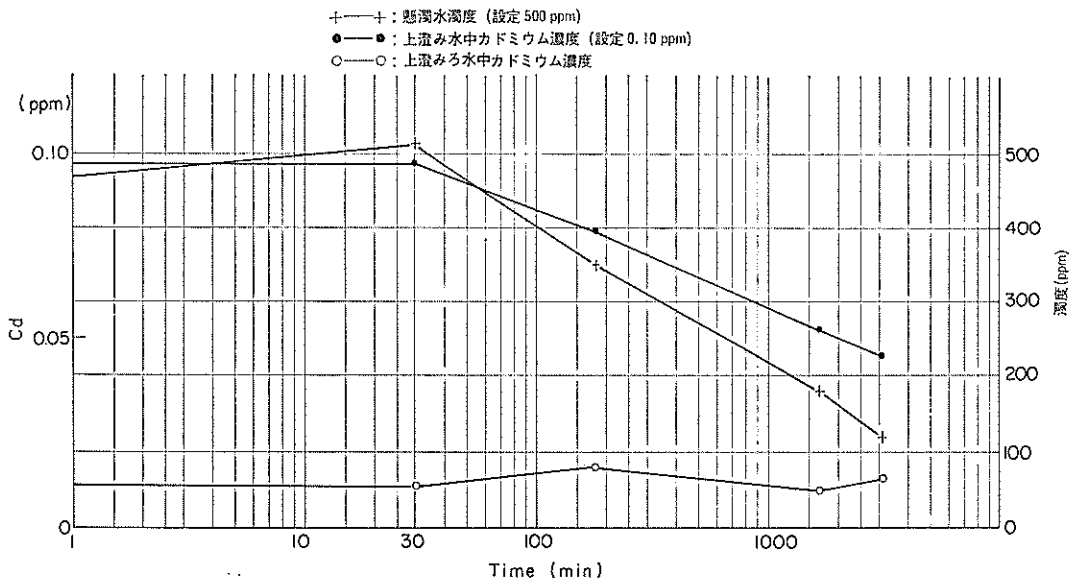
合の吸着率の時間変化を調べた結果である。図によるとかく拌開始から 30 秒～60 分の吸着率には変化がなく、吸着は短時間におこるものと考えられる。

(c) 放置時間の影響

図-4.6 は SS 濃度が 500 ppm，重金属濃度が高い条件で、30 分かき拌後放置した試水とそのろ水について、重金属濃度と SS 濃度の時間変化を示したものである。図によると試水中の重金属濃度と SS 濃度は時間とともに



(a)



(b)

図-4.6 かく拌後の放置時間と重金属濃度, SS 濃度の関係

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

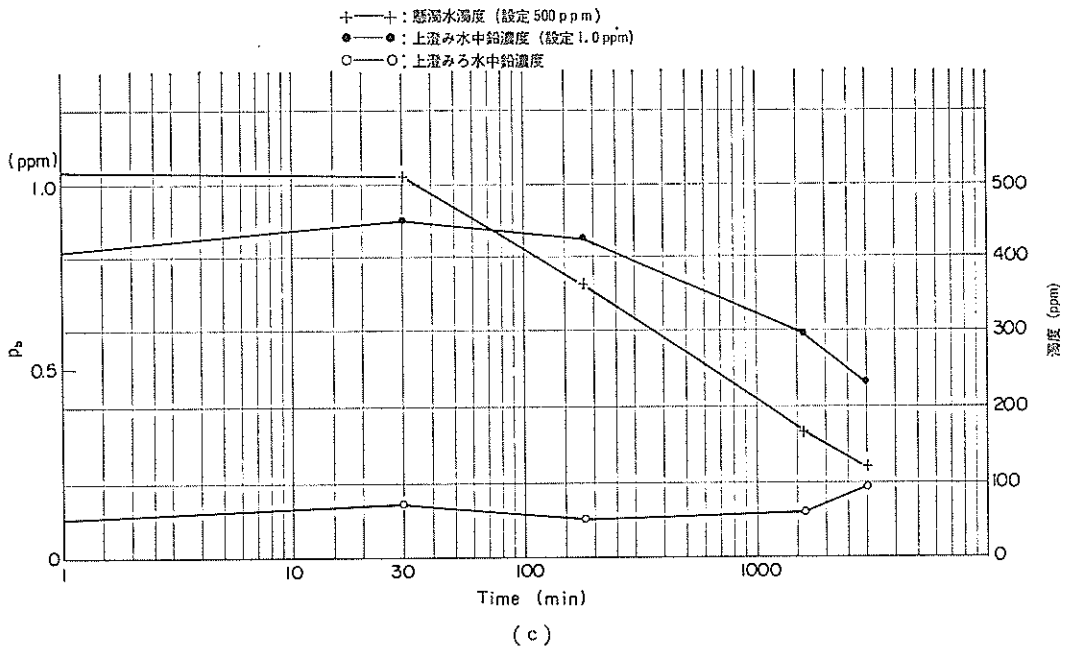


図-4.6 (つづき)

に減少しているが、ろ水中の重金属濃度は時間経過にかかわらず一定で、当初濃度の 10% 程度である。以上より、吸着に対する放置時間の影響はないものと考えられる。

(d) pH の影響

図-4.7 は pH を変えた場合の吸着率の変化を示したものである。図によると各重金属とも pH が小さい(酸性)の場合に吸着率が小さい。これは強酸を加えること

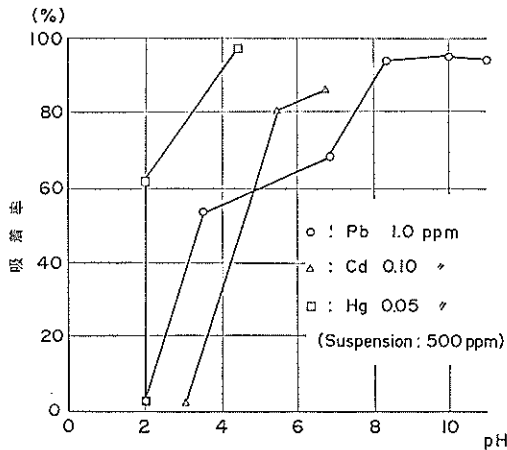


図-4.7 pH と吸着率の関係

により、解離が促進されたためと考えられる。

(e) 粒子の大きさの影響

図-4.8 は 3G2 と 3G4 のろ過器でろ過した試水について最大粒位と単位 SS 当りの吸着量の関係を示したものである。これによると吸着量は最大粒位の対数に反比

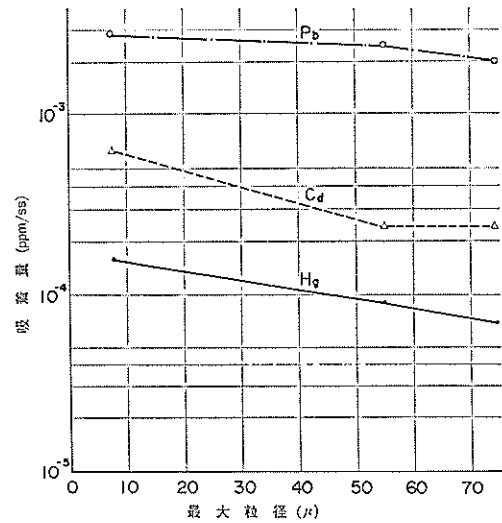


図-4.8 粒子の大きさと吸着率の関係

例し、ろ過器の目が小さいほど吸着がよいことを示している。

#### 4.4 吸着沈降実験

##### (1) 実験の目的

かく拌吸着実験では溶媒としてイオン交換水を用い、重金属の粘土粒子への吸着を調べたが、ここでは実際の現象に合わせるために、海水を使った吸着沈降実験を行い、かく拌吸着実験の結果を比較することにした。実験は重金属と粘土懸濁液を混合し、沈降にともなう重金属濃度の変化を調べるものである。

##### (2) 実験方法

実験方法のフローチャートを図-4.9 に示す。本実験では懸濁物質として川崎粘土を、混合溶媒には港湾技術研究所前で採水した海水を使用した。海水の分析結果を表-4.8 に示す。重金属溶液は 4.3 かく拌吸着実験と同様のものを使用した。

実験は吸着沈降実験用アクリル筒に深さ 90 cm まで重金属を混合した懸濁液を入れ、開始前 1 分間ガラス棒でよくかく拌して沈降させた。採水は初期水面から 45 cm の深さからサイフォンでおこない、実験中この位置を変えなかった。

分析は試水の非ろ水の重金属、SS、pH とろ水の重金属についておこなった。また、海水中と淡水中における沈降の違いを調べるための沈降実験も同様な方法で行った。

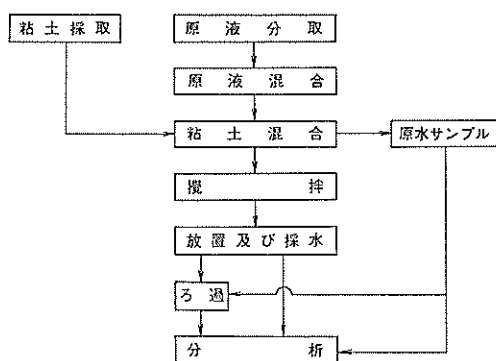


図-4.9 吸着沈降実験フローチャート

表-4.8 海水の水質分析結果

分析項目	分析結果
SS	<1 ppm
Cl <sup>-</sup>	17600 ppm
pH	7.8

##### (3) 実験ケースと実験条件

実験ケースと実験条件を表-4.9 に示す。

表-4.9 実験ケース及び実験条件

ケース No.	重金属の種類と濃度 (ppm)			共通条件
	水 銀	カドミウム	鉛	
1	0.050	0.10	1.0	懸濁物質濃度 300 ppm, 海水使用
2				
3				

##### (4) 実験結果

図-4.10 に淡水と海水における沈降速度加積曲線を示す。図から明らかなように粘土粒子は海水中でフロックを形成し、淡水の場合に比較してすみやかに沈降することがわかる。図-4.11 は重金属濃度と SS 濃度の時間変化を示したものである。これを見ると水銀と鉛は粘土粒子の沈降に呼応してその濃度も減少するが、カドミウムは全く減少しない。さらに、試水をワットマン GF/C でろ過したろ水の中のカドミウム濃度にも減少がみられず、海水中ではカドミウムの吸着はないものと考えられる。カドミウムが海水中で粘土粒子に吸着しない原因は、カドミウムのイオン化傾向が比較的大きいことや吸着を阻

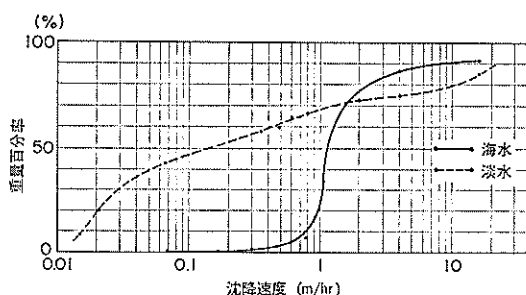


図-4.10 川崎粘土沈降加積曲線

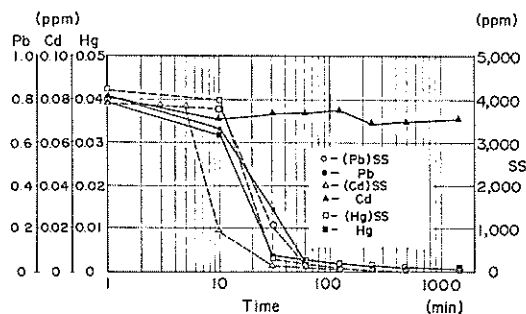


図-4.11 吸着沈降実験結果

害する多量の溶存物質が存在するためと考えられる<sup>10)</sup>。

#### 4.5 海水中のカドミウムかく拌吸着実験

##### (1) 実験の目的

吸着沈降実験でカドミウムは海水中では粘土粒子に吸着しないことが明らかになった。ここでは海水濃度の変化と吸着率の関係を求めるために、海水濃度を変えたかく拌吸着実験を行った。

##### (2) 実験の方法

実験には川崎粘土と港湾技術研究所前面で採取した海水を用い、海水を希釈するために蒸留水を用いた。実験方法は 4.2 のかく拌吸着実験と同じで、かく拌時間は 30 分とした。

##### (3) 実験ケースと実験条件

カドミウム濃度は 0.1 ppm、懸濁水濃度 3000 ppm とし、海水濃度は 0, 25, 50, 75, 100% とした。また、pH は 7 になるように調整した。

##### (4) 実験結果

実験結果を図-4.12 に示す。図から明らかなように海水濃度が増えるに従って吸着率は小さくなる。これより海水濃度を調べることによって吸着率が推定できる。

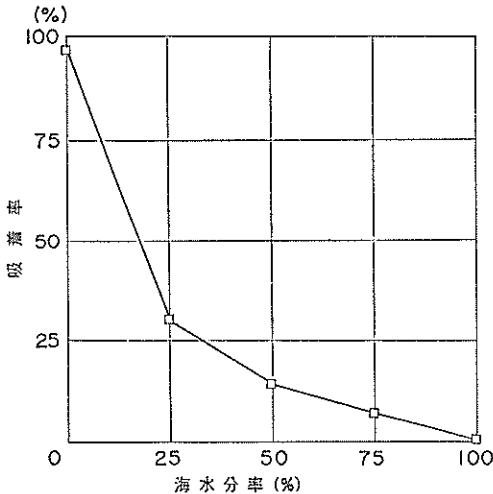


図-4.12 海水中のカドミウムかく拌吸着実験結果

#### 4.6 砂中吸着実験

##### (1) 実験の目的

これまでの実験で重金属は粘土粒子に吸着することが明らかになったが、重金属を含んだ水が実際の護岸における裏込砂や中詰砂の中を通過する間に砂中に存在する粘土粒子に吸着するかどうか調べる必要がある。ここでは、砂中に混在する粘土粒子に重金属が吸着するかどうか

かを調べるため、砂中の粘土粒子含有量、砂の種類、放置時間を変えて実験を行った。

##### (2) 実験方法

実験方法のフローチャートを図-4.13 を示す。砂は高萩砂を水洗いして乾燥したもの、または 0.4 mm のフルイでふるって大きなゴミを取り除いた標準砂を用い、粘土は川崎粘土を乾燥器で乾燥させ、すりつぶして 0.074 mm のフルイでふるったものを用いた。この砂と粘土を所定の粘土/砂比になるように混合し、全重量を 5 kg として図-4.1 に示した容器に詰めた。

重金属溶液はかく拌吸着実験と同様に実験条件に応じた濃度の溶液を使用し、溶媒には港湾技術研究所前面で採取した海水を使用した。重金属溶液は 1 実験に 3 l 使用し、これを砂の上からシャワーで静かに注ぎ入れた。また、放置時間は 3 時間を原則とし、放置時間による吸着の差を調べるため 30 分、1 時間のケースも行った。

所定時間放置後、実験容器の底から抜水して、初めの 1 l を採水し、この試水の非ろ水の重金属、濁度、pH とワットマン GF/C でろ過したろ水の重金属について分析した。砂中に浸透した重金属溶液量が 1.4~1.7 l なので採水した試水は放置の間砂層中にあったものと思われる。

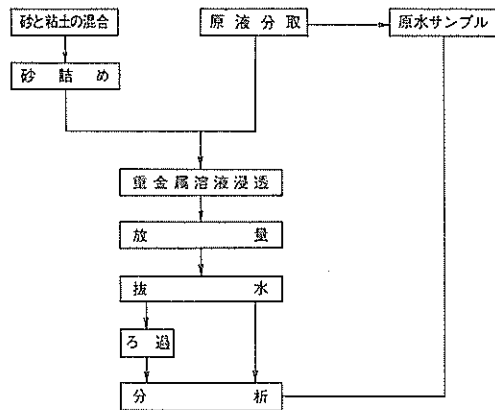


図-4.13 砂中吸着実験フローチャート

##### (3) 実験ケースと実験条件

各重金属に対する実験ケースと実験条件を表-4.10~4.12 に示す。なお、実験に使用した水銀、カドミウム、水銀の濃度はそれぞれ 0.005 ppm, 0.01 ppm, 0.1 ppm で pH は 7 に調整した。

##### (4) 実験結果

各重金属に対する吸着率と粘土/砂比の関係を 図-4.

表-4.10 Hg: 実験ケース及び実験条件

ケース No.	粘度/砂	砂の種類	放置時間 (分)
Hg- 1	0 (ppm)	高萩砂	180
2	10	"	180
3	100	"	30-60-180
4	1000	"	180
5	1 (%)	"	180
6	3	"	180
7	5	"	180
8	0 (ppm)	標準砂	180
9	10	"	180
10	100	"	30-60-180
11	1000	"	180

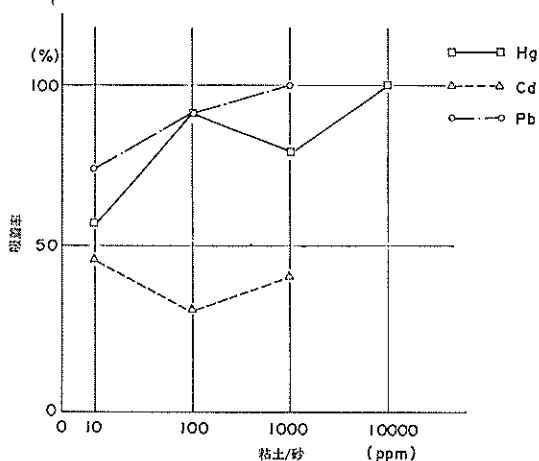


図-4.14 粘土/砂 比と吸着率の関係

表-4.11 Cd: 実験ケース及び実験条件

ケース No.	粘度/砂 (ppm)	砂の種類	放置時間 (分)
Cd-1	0	高萩砂	180
2	10	"	180
3	100	"	30-60-180
4	1000	"	180
5	0	標準砂	180
6	10	"	180
7	100	"	30-60-180
8	1000	"	180

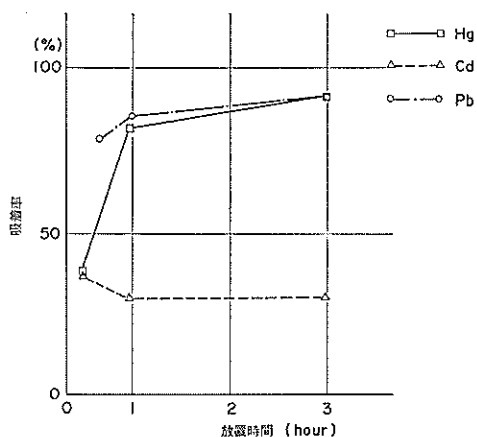


図-4.15 放置時間と吸着率の関係

表-4.12 Pb: 実験ケース及び実験条件

ケース No.	粘度/砂 (ppm)	砂の種類	放置時間 (分)
Pb-1	0	高萩砂	180
2	10	"	30-60-180
3	100	"	180
4	1000	"	180
5	0	標準砂	180
6	10	"	180
7	100	"	30-60-180
8	1000	"	180

14 に示す。これは高萩砂についてとりまとめたもので、水銀、鉛については吸着率は高く、粘土分が 10000 ppm 以上になるとほとんど吸着される。しかし、カドミウムについては海水を使用したため吸着率が低く、砂の種類、粘土含有率にかかわらず吸着率は 30% 程度である。一

方、標準砂についてはカドミウムを除いて吸着率は粘土含有率に関係なく 100% に近かった。これは混入した粘土分だけでなく、標準砂の細粒子分にも重金属が吸着されたものと考えられる。

放置時間、すなわち砂中に重金属溶液がとどまる時間と吸着率の関係を 図-4.15 に示す。標準砂の場合明らかな変化がみられなかったので高萩砂だけについて示したが、水銀と鉛は放置時間が長くなるに従って吸着率は増加傾向にあるのに対し、カドミウムにはあまり変化がみられなかった。

以上より、砂中にある粘土粒子に対しても、かく拌吸着実験と同様、重金属は十分吸着しうることがわかる。

4.7 飽和吸着量実験

(1) 実験の目的

これまでの実験では、重金属濃度と懸濁物質濃度を適当に変えて、吸着の度合いを調べてきたが、実際にこの吸着現象を有効に利用しようとする場合、粘土単位重量当りの最大吸着量、すなわち飽和吸着量をは握しておく必要がある。ここでは、水銀、鉛、カドミウムについて振とう吸着実験を行い、飽和吸着量を求めることにした。

(2) 実験方法

実験方法のフローチャートを図-4.16に示す。本実験でも重金属は4.3 かく拌吸着実験と同様なものを使用し、懸濁物質として川崎粘土を用いた。混合溶媒として蒸留水を用い、容量 300 ml の共栓フラスコに混合し、振とう器で12~24時間振とうした。

振とう後数時間放置したサンプリングの上澄みをワットマン GF/C で吸引ろ過し、分析は表-4.3によって行った。

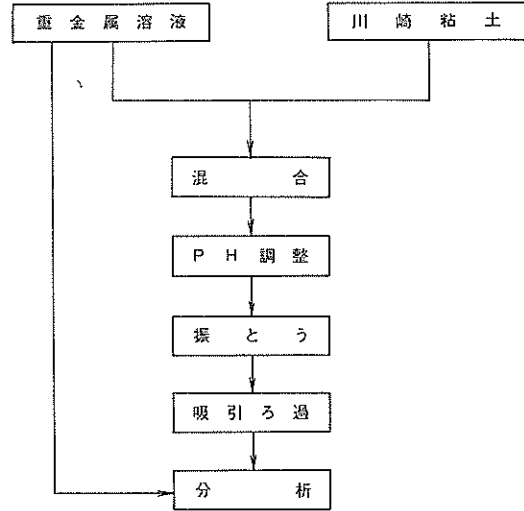


図-4.16 飽和吸着量実験フローチャート

(3) 実験条件および実験ケース

実験条件および実験ケースを表-4.13に示す。本実験では重金属濃度はすべて 50 ppm とし、粘土濃度を 1000, 3000, 10000, 30000 ppm と変えながら吸着率を調べた。また、pH は原則として 7 とし、pH 5, 9 の場合も比較した。

(4) 実験結果

実験結果はこれまでと同様吸着率で示した。図-4.17 は pH 7 の場合の粘土濃度と吸着率の関係を示したも

表-4.13 飽和吸着実験 実験ケース

金属種	粘土濃度 (ppm)		3000		10000	30000
	1000	pH	5	7	9	7
水銀	○	7	○	○	○	○
カドミウム	○	7	○	○	○	○
鉛	○	7	○	○	○	○
ブランク	○	7	○	○	○	○

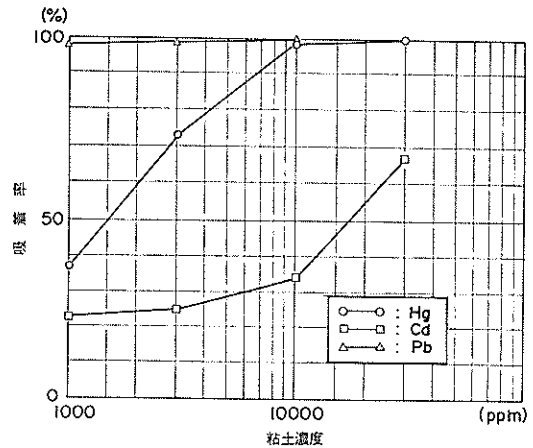


図-4.17 粘土濃度と吸着率の関係

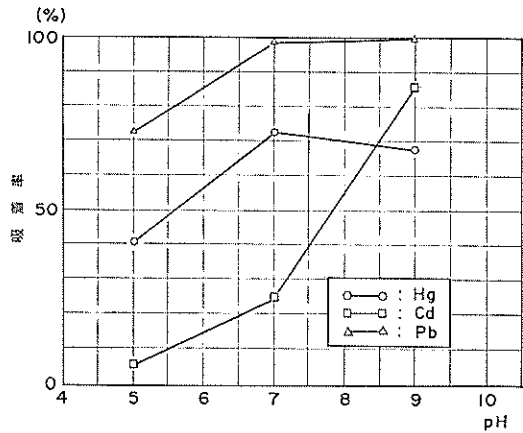


図-4.18 pH と吸着率の関係

ので、粘土濃度から大きくなるにつれて吸着率も大きくなる。各金属について比較すると鉛と水銀が大きく、カドミウムは小さい。これは当然のことながらかく拌吸着実験の結果と同じである。

図-4.18 は 粘土濃度 3000 ppm の場合の pH と吸着

率の関係を示したもので、各金属とも pH 9 程度のアルカリ性が強い方が吸着率がよい。ただし、カドミウムの pH 9 の値には、水酸化カドミウムができてみかけ上吸着率が高くなっている可能性がある。

吸着現象は一般に吸着式で表わされるがその代表的なものが式 (4.2) に示すフロイントリッヒの等温吸着式である。

$$\ln \frac{W_g}{W_0} = \ln K + N \ln C_g \quad (4.2)$$

ここに、 $W_0$  : 吸着された金属の濃度 (mg/l)

$W_g$  : 粘土濃度 (g/l)

$C_g$  : 吸着反応後の金属濃度 (mg/l)

$K, N$ : 定数

ここで、重金属の初期濃度を  $C_0$  (mg/l) とすると  $W_0 = C_0 - C_g$  となり、(4.2) 式は次のように表わせる。

$$\frac{C_0 - C_g}{W_g} = K \cdot C_g^N \quad (4.3)$$

図-4.17 に示した実験結果をフロイントリッヒの等温吸着式にあてはめたのが 図-4.19 である。図をみると、水銀と鉛は直線となり式 (4.3) が適用できるが、カドミウムはあてはまらない。そこで、水銀と鉛について定数  $K, N$  を定めると式 (4.4), (4.5) が成立する。

水銀について

$$\frac{C_0 - C_g}{W_g} = 5.2 C_g^{3.7} \quad (4.4)$$

鉛について

$$\frac{C_0 - C_g}{W_g} = 77.5 C_g^{1.4} \quad (4.5)$$

これより、最終的な重金属濃度を  $C_g$  とした時、初期の重金属濃度  $C_0$  を測定すれば、必要な粘土濃度  $W_g$  が決定できる。

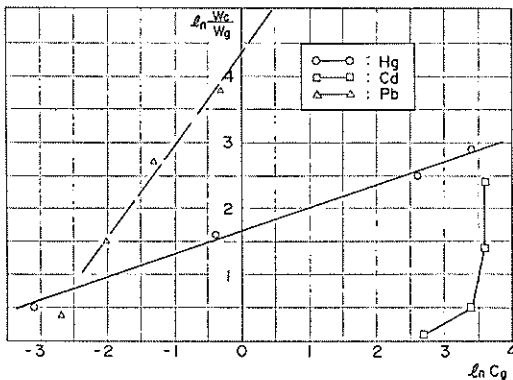


図-4.19 フロイントリッヒの等温吸着式を求める図

#### 4.8 各種粘土に対する吸着実験

##### (1) 実験の目的

概要でのべたように粘土はその種類によって組成、および帯電状態が異なるので重金属の吸着も粘土の種類によって異なるはずである。これまでの実験では川崎粘土のみを対象に考えていたが、ここでは 図-4.20 に示す日本の主要港湾の粘土および沖縄のサンゴ粉に対するかく拌吸着実験を行い、粘土の種類によって重金属の吸着がどのように異なるかを調べることにした。

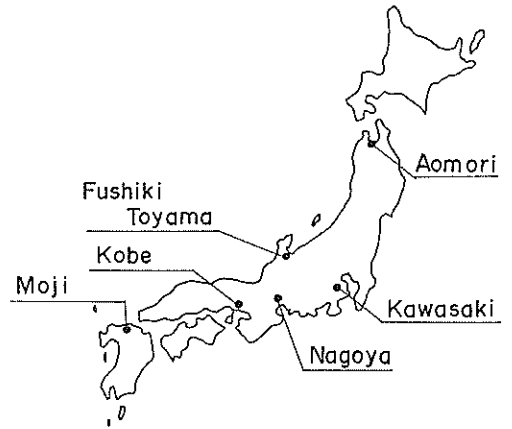


図-4.20 粘土試料採取位置

##### (2) 実験方法

実験方法は 4.3 かく拌吸着実験と同じであるが、溶媒としては人工海水を用いた。この人工海水は試薬特効の塩化ナトリウムを 30% の濃度になるように精製水に溶解させたものである。また、懸濁物質として使用する各種粘土は風乾、粉碎した細粒土を用いた。

実験はまず 5l のメスシリンダーに人工海水を満たし、水湿を測定する。これに設定濃度の風船粘土を添加し、30 分間かく拌した後、ろ水を分析して吸着率を求め

表-4.14 各種粘土に対する吸着実験ケース

粘土種類	懸濁液濃度 (ppm)		
川崎港	20	200	2000
青森港	20	200	2000
名古屋港	20	200	2000
神戸港	20	200	2000
門司港	20	200	2000
伏木富山港	20	200	2000
サンゴ粉	20	200	2000



埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

表-4.15 各地の粘土の特質

特 質	粘 土	青 森	川 崎	名古屋	伏 木 富 山	神 戸	門 司
$G_s$		2.56	2.69	2.68	2.66	2.70	2.70
$W_L$ (%)		70.4	75.6	64.5	63.8	100.4	76.5
$W_p$ (%)		46.7	37.8	30.9	32.9	39.2	29.6
$I_p$		23.7	37.8	33.6	30.9	61.2	46.9
砂 利 (%)		0.5	0	5.1	0.2	0.1	0.3
砂 (%)		14.0	4.7	17.1	19.5	1.1	10.2
シルト (%)		55.2	38.3	34.3	51.9	36.3	30.5
粘 土 (%)		30.3	57.0	43.5	28.4	62.5	59.0
分 類		F	F	F	F	F	F
水 銀 (ppm)		0.36	0.33	0.23	0.48	0.17	0.05
カドミウム (ppm)		0.75	0.23	0.32	0.64	0.24	0.10
鉛 (ppm)		56.1	39.4	41.2	35.9	40.2	19.9
硫 化 物 (mg/g)		1.90	0.28	0.22	2.30	0.21	0.06
pH		7.9	8.4	7.9	8.0	7.8	7.7
O.R.P. (100 mV)		-3.10	-1.40	1.60	-3.40	0.60	1.40

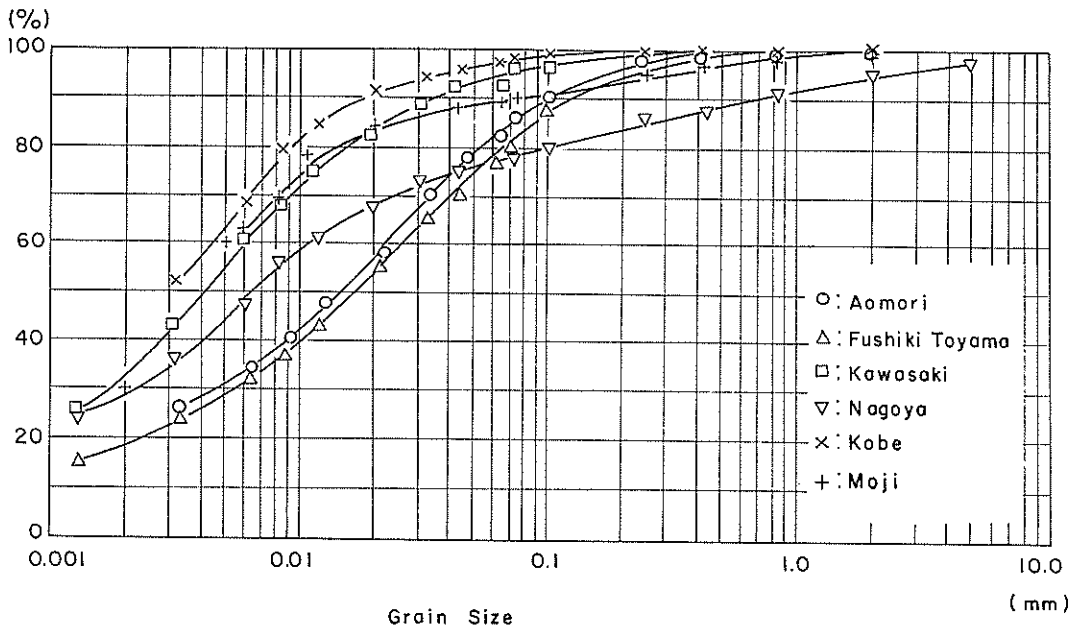


図-4.21 各地粘土の粒径分布

る方法である。

(3) 実験ケースと実験条件

実験ケースと実験条件を表-4.14に示す。本実験では懸濁物質として、これまで使用した川崎粘土の他に、青森港、名古屋港、神戸港、伏木富山港、門司港で採取した粘土および沖繩のサンゴ粉の計種類を用いた。懸濁液濃度は20, 200, 2000 ppmの3種類とし、溶媒には人工海水を用いた。

(4) 実験結果

各地の粘土の特性および粒径分布を表-4.15、図-4.21に示す。これを見るといずれも塑性指数  $I_p$  30~60の粘土であるが、青森港と伏木富山の粘土は硫化物を多く含

み、酸化還元電位が低い。

実験結果をまとめて表-4.16に示す。図-4.22は懸濁

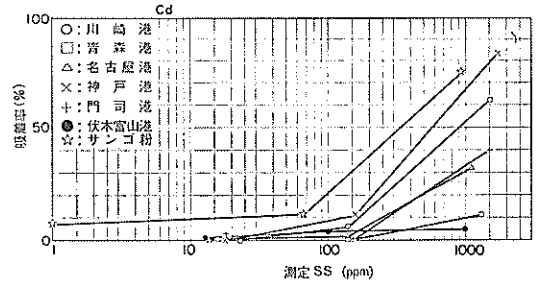
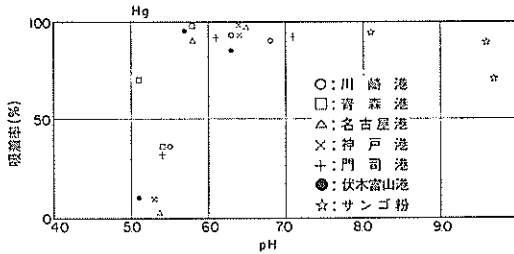


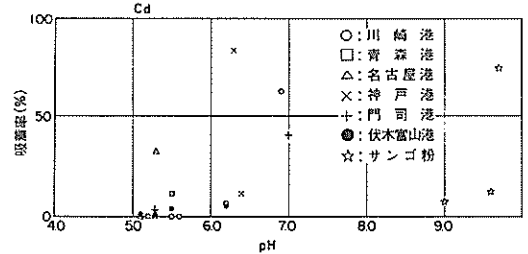
図-4.22 懸濁物質濃度と吸着率の関係

表-4.16 各地の粘土に対する重金属の吸着率

粘土	金属 SS (ppm)	Pb			Cd			Hg		
		20	200	2000	20	200	2000	20	200	2000
青森	%	—	—	91	—	0	11	36	70	98
	pH	(4.3)	(4.8)	(5.6)	(5.2)	(5.6)	(5.5)	(5.4)	(5.1)	(5.8)
川崎	%	—	6	99	—	6	62	36	93	90
	pH	(4.1)	(4.9)	(6.6)	(5.5)	(6.2)	(6.9)	(5.5)	(6.3)	(6.8)
名古屋	%	—	—	84	—	1	32	2	90	97
	pH	(4.2)	(4.4)	(6.0)	(5.1)	(5.4)	(5.3)	(5.4)	(5.8)	(6.5)
伏木富山	%	—	—	46	1	4	5	10	95	85
	pH	(4.3)	(4.6)	(5.8)	(5.1)	(5.5)	(6.2)	(5.1)	(5.7)	(6.3)
神戸	%	—	3	99	0	11	83	9	93	98
	pH	(4.0)	(5.0)	(7.2)	(5.3)	(6.4)	(6.3)	(5.3)	(6.4)	(6.4)
門司	%	—	—	97	2	0	40	32	92	92
	pH	(4.0)	(4.4)	(6.7)	(5.3)	(6.1)	(7.0)	(5.3)	(6.1)	(7.1)
沖繩 (サンゴ砂)	%	—	88	99	7	12	74	94	89	70
	pH	(6.5)	(9.3)	(9.5)	(9.0)	(9.6)	(9.7)	(8.1)	(9.6)	(9.7)



(a)



(b)

図-4.23 pHと吸着率の関係

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

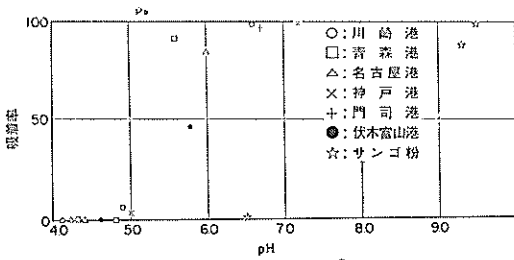


図-4.23 (つづき)

物質濃度と吸着率の関係を、また、図-4.23 は吸着率と pH の関係を示したものである。図-4.22 より水銀と鉛は懸濁物質濃度が高くなるに従って吸着率がよくなり、粘土種類に関係なくほぼ一定であるのに対し、カドミウムは海水を用いたため同じような傾向を示すが吸着率は小さく、しかも粘土種類によるばらつきが大きい。特に、伏木富山港と青森港の粘土に対する吸着が低い。本実験では表-4.15 で明らかなように懸濁物質濃度により pH が変化している。そこで pH と吸着率の関係を調べたのが図-4.22 で、各金属とも pH が 6 以下の場合に吸着率が小さく、粘土種類による違いはあまりみられない。

以上まとめると粘土種類の違いによる吸着率の差はほとんどみられず、サンゴ粉に対する吸着も粘土に対する吸着とほぼ同じことがわかった。

4.9 まとめ

重金属の粘土粒子への吸着を調べるために、重金属として水銀、カドミウム、鉛をえらび各種の吸着実験を行った。その結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 重金属は一般に粘土粒子によく吸着し、この粘土を取り除くことにより、重金属の除去が可能である。
- 2) 吸着は懸濁物質濃度が濃いほど、粒子が小さいほど

大きく、かく拌時間や放置時間にはあまり影響されなかった。

- 3) 吸着は pH の影響を受けやすく、pH が小さい(酸性)の場合悪くなる。
- 4) カドミウムは海水中では吸着されず、海水濃度が低くなると吸着もよくなる。
- 5) 重金属は砂中に混在する粘土粒子に対しても、溶液の場合と同様に吸着する。
- 6) 単位量当りの粘土に対する飽和吸着量は、水銀と鉛についてはフロイントリッヒの等湿吸着式で表示できる。しかし、カドミウムはこの式で表示できない。
- 7) 吸着は粘土の種類にはあまり影響されないようである。

5. 有機物の吸着分解実験

5.1 概要

埋立土砂には都市ゴミなど有機物質を大量に含むものが多い。こうした有機物に対する護岸の浄化効果としては、有機懸濁物質が砂中に留まる目詰りる過効果、粘土などの細粒子に対する吸着効果、生物的化学的な分解効果が考えられる。しかしながら、これらは実際には有機物の種類、裏込砂や粘土の種類、温度、微生物の種類などにより異なり、また相互に関連し合った複雑な現象であると考えられる。本実験では有機物の粘土粒子への吸着、へどろの分解を中心に、護岸の有機物に対する浄化効果について室内実験で調べることにした。

有機物には懸濁物質として存在するものと溶解性のものであり、前者は目詰りとして裏込砂等によりろ過されるが、後者は護岸を通過して流れ出る恐れがある。そのため、まず溶解性の有機物としてグルコースを用いて、かく拌吸着実験とろ過実験を行った。

表-5.1 有機物の吸着分解実験、実験の構成と内容

有機物の吸着分解実験	— かく拌吸着実験 ……	グルコースの川崎粘土への吸着と、吸着材(シリカゲル、活性炭)の効果について調べる。
	— 有機物ろ過実験 ……	グルコースと粘土の懸濁液を砂ろ過し、有機物に対するろ過効果を調べる。また、吸着材の効果も併せて調べる。
	— 有機へどろ分解実験 ……	海底の有機へどろを温度、放置条件を変えて3か月放置し、有機成分の変化を調べる。
	— 間げき水分解実験 ……	有機へどろより抽出した間げき水を温度、放置条件を変えて3か月放置し、有機成分の変化を調べる。
	— 砂中間げき水分解実験 ……	上記間げき水を高萩砂、標準砂中に放置し、その有機成分の変化を調べる。
	— へどろ濃度と COD の ……	有機へどろの懸濁液の懸濁物質濃度と COD の関係を調べる。相関実験

かく拌吸着実験ではグルコースの粘土粒子への吸着、および吸着剤としてシリカゲル、活性炭を添加した場合の吸着を調べた。また、ろ過実験ではグルコース、粘土粒子、吸着剤が共存する懸濁液を砂層に通し、ろ過効果を調べた。

吸着・ろ過実験では有機物としてグルコースを使用した。埋立地に投入されるものには多種類の有機物が含まれているものと考えられる。そこで、つぎに実際に水底にあるへどろを採取し、種々の条件のもとに3か月放置して分解効果が期待できるかどうか調べた。実験はへどろをそのまま放置するへどろ分解実験、間けき水を放置する間けき水分解実験、間けき水を砂中に放置する砂

中間けき水分解実験、およびへどろの懸濁水濃度 SS と COD の相関を調べる実験から成り立っている。

本実験の構成は表-5.1のとおりである。

5.2 実験使用機器、材料および分析方法

(1) 実験使用機器

かく拌吸着実験およびろ過実験に使用した機器を表-5.2、図-5.1~5.3 に、また、有機へどろ分解実験に使用した機器を表-5.3 に示す。

表-5.2 かく拌吸着およびろ過実験使用機器

ろ過塔 (図-5.1)	アクリル製、内径 180 mm、高さ 1100 mm、中間コック、採水口、空気孔付
かく拌吸着実験装置 (図-5.2)	5 l シリンダー、ヤマト科学ラボ スターラー LS-58 型
吹引ろ過装置 (図-5.3)	ガラス製ろ過鐘、吸引ポンプ(木下理化工業、木下強力ミニポンプ KP-20-A 型)

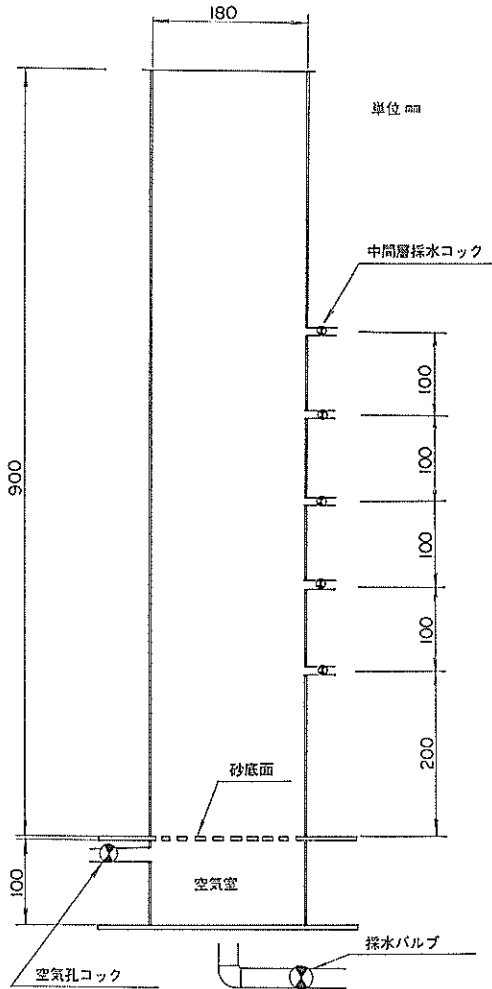


図-5.1 ろ過塔

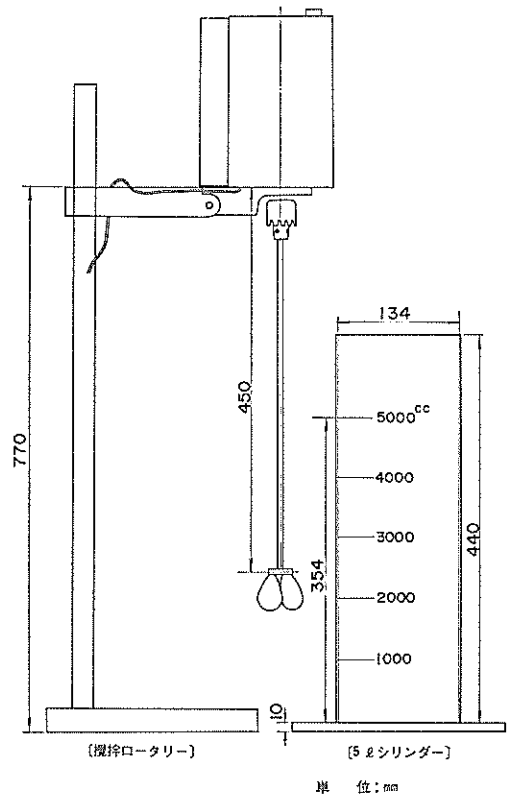


図-5.2 かく拌吸着実験装置

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

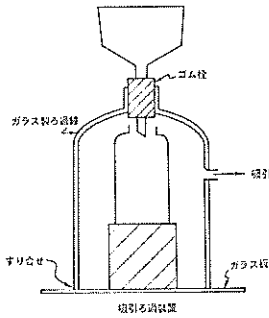
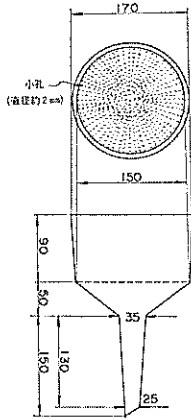


図-5.3 吸引ろ過装置

表-5.3 有機へどろ分解実験使用機器

好気実験用 エアープンプ	NIPPON JISEL SANGYO AIR PUMP NS-2 型
恒温装置	HIRAYAMA MANUFACTURING CORPORATION Mini 7

(2) 実験材料

かく拌吸着実験およびろ過実験使用材料を次に示す。

- (a) ろ材: 高萩砂を水洗いしたもの、および標準砂。
- (b) 粘土: 川崎粘土。川崎粘土の土質試験結果および分析結果をそれぞれ表-5.4, 5.5 に示す。
- (c) 吸着ろ過用有機物: グルコース
- (d) 吸着材: シリカゲル……Mallinckrodt SILICIC ACID 100 Mesh (powder), Analytical Reagent 活性炭……ツルミエール No. 2 HIPC
- (e) 水: 水道水

有機へどろ分解実験使用材料を次に示す。

- (a) 有機へどろ: 昭和54年7月19日に横浜駅西口

表-5.4 川崎粘土の土質試験結果

粒度特性	砂分	9%
	シルト分	69%
	粘土分	22%
	最大粒径	0.250 mm
	均等係数	2.5
比重	2.697	
自然含水比	$W_n=78.6\%$	
液性限界	$W_L=75.6\%$	
塑性限界	$W_p=37.8\%$	
塑性指数	$I_p=37.8$	

表-5.5 川崎粘土の流質分析結果

分析項目	分析値
含水比 (%)	80.5
総水銀 (ppm)	0.56
カドミウム (ppm)	0.00
鉛 (ppm)	18.2
硫化物 (mg/g)	0.05
pH	8.0
ORP (mV)	199

表-5.6 有機へどろの土質試験結果

項目	
自然含水比	$W_n=216.7\%$
比重	$G=2.391$
液性限界	$W_L=104.5\%$
塑性限界	$W_p=57.8\%$
塑性粒度	$I_p=46.7$
単位体積重量	$\gamma_t=1.26 \text{ t/m}^3$
粒度試験	$D_{60}=0.015 \text{ mm}$
	$D_{30}=0.0105 \text{ mm}$
	$D_{10}=0.002 \text{ mm}$

の幸川河口で採取したもの。このへどろの土質試験結果および底質分析結果を表-5.6, 5.7 に示す。

表-5.7 右材へどろの底質分析結果

項 目	
pH	7.0
O.R.P. (mV)	-75
COD (mg/g)	37.7
TOC (mg/g)	45.4
T-C (mg/g)	50.4
T-P (ppm)	2510
NH <sub>4</sub> -N (ppm)	1350
T-N (mg/g)	4.26
硫 化 物 (mg/g)	5.5
腐 植 酸 (mg/g)	—
n-へキ抽出物 (%)	1.4
エーテル抽出物 (%)	1.8
含 水 比 (%)	234
I.L. 600°C (%)	15.6

(b) 間げき水: 上記有機へどろを 5000 r.p.m. で 15 分間遠心分離した上澄みをさらに遠心分離にかけたもの。この間げき水の水質分析結果を表-5.8 に示す。

表-5.8 間げき水の水質分析結果

分析項目	分析値
pH	8.1
CT (ppm)	6780
SS (ppm)	79
COD (ppm)	47.7
TOC (ppm)	35.0
PO <sub>4</sub> -P (ppm)	0.54
T-C (ppm)	0.63
NO <sub>2</sub> -N+NO <sub>3</sub> -N (ppm)	0.06
O-N (ppm)	<0
T-N (ppm)	102.6
硫 化 物 (ppm)	0.16

(c) 砂: 74 $\mu$  のフレイ上で水洗いした高萩砂と同様の処理をした標準砂。その底質分析結果を表-5.9 に示す。

(d) 水: 蒸留水および港湾技術研究所前面で採取した海水。その水質分析結果を表-5.10 に示す。

表-5.9 高萩砂および標準砂の底質分析結果

項 目	砂 種	高 萩 砂	標 準 砂
pH		8.7	7.2
O.R.P. (mV)		368	390
COD (mg/g)		<0.1	<0.1
TOC (mg/g)		0.11	<0.01
硫 化 物 (mg/g)		<0.01	<0.01
含 水 量 (%)		3.5	12.4
I.L. 600°C (%)		0.4	0.3

表-5.10 海水の水質分析結果

分析項目	分析値
カドミウム (ppm)	0.002
SS (ppm)	<1
Cl <sup>-</sup> (ppm)	17600
pH	7.8

表-5.11 底質分析方法

分析項目	分析 方 法
pH	土質試験法 3.2.2.2
O.R.P.	分析化学便覧 22.19.3
COD	底質調査法 I.4.1
TOC	日本分光湿式分解法
T-C	CHN コーダーによる
T-P	前処理後, 海洋観測指針 8.8
硫 化 物	底質調査法 I.4.1
NH <sub>4</sub> -N	前処理後, 上水試験方法 20
T-N	CHN コーダーによる
n-へキ抽出物	昭和 50 年環境庁告示第 9 号 附表 4
エーテル抽出物	上記方法に準ずる
含 水 比	JIS-A-1203
I.L. 600°C	底質調査法

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

表-5.12 水質分析方法

分析項目	分析方法
COD	JIS-K-0102-13
TOC	日本分光湿式分解法
SS	昭和49年環境庁告示第64号 附表4
pH	JIS-K-0102-8
塩素量	海洋観測指針 8.2.3
硫化物	JIS-K-0101-29
PO <sub>4</sub> -P	湖水と海水の分析 2.5. A
T-P	海洋観測指針 8.8
K-N	下水試験法 25
	海洋観測指針 8.9
NH <sub>4</sub> -N	海洋観測指針 8.9
NO <sub>2</sub> -N	" 8.10
NO <sub>3</sub> -N	" 8.11

(3) 分析方法

底質の分析方法を 表-5.11 に、水質の分析方法を 表-5.12 に示す。

5.3 かく拌吸着実験

(1) 実験の目的

有機物が粘土のような細粒子に吸着すれば護岸のろ過効果、すなわち、細粒子が裏込砂や基礎地盤に留まることによって、海域に流れ出る有機物を除去することがで

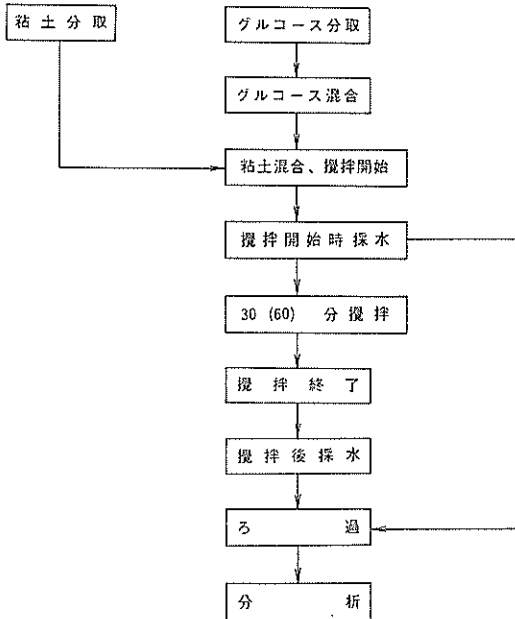


図-5.4 有機物かく拌吸着実験フローチャート

きる。本実験では溶解性の有機物としてグルコースを用い、粘土粒子に対する吸着を調べることにした。同時に吸着効果を促進するために、吸着材としてシリカゲルと活性炭を添加した場合の効果について調べた。

(2) 実験方法

実験のフローチャートを 図-5.4 に示す。懸濁物質としては川崎粘土を用い、混合溶媒には水道水を用いた。混合液のかく拌には 図-5.1 に示した実験装置を用い、試料は原則としてU字形に曲げたガラス管のサイフォンを使って中間水層から約 500 cc 採水した。分析は 5.2.(3) に示した方法で非ろ水の SS、焼いたワットマン GF/C でろ過したろ水の有機物について行った。

(3) 実験ケースと実験条件

実験は大別して、粘土のみの場合、シリカゲルを添加した場合、活性炭を添加した場合のつに分類できる。また、実験要因としてはグルコース濃度、懸濁物質濃度、吸着剤濃度、かく拌時間を考えた。それぞれの実験ケースと実験条件を 表-5.13~5.15 に示す。これらの表に示

表-5.13 実験ケース及び実験条件 (粘土のみ)

ケース No.	有機物濃度 (ppm)	懸濁物質濃度 (ppm)	かく拌時間 (分)
Soil-1	50	100	30
2	50	500	30
3	50	3000	30
4	500	100	30
5	500	500	30
6	500	3000	30

表-5.14 実験ケース及び実験条件 (シリカゲル添加)

ケース No.	有機物濃度 (ppm)	懸濁物質濃度 (ppm)	シリカゲル濃度 (ppm)	かく拌時間 (分)
Si- 1	50	100	10	30
2	50	100	100	30
3	50	500	50	30, 60
4	50	500	500	30, 60
5	50	3000	300	30
6	50	3000	3000	30
7	500	100	10	30
8	500	100	100	30
9	500	500	50	30, 60
10	500	500	500	30, 60
11	500	3000	300	30
12	500	3000	3000	30

表-5.15 実験ケース及び実験条件 (活性炭添加)

ケース No.	有機物濃度 (ppm)	懸濁物質濃度 (ppm)	活性炭濃度 (ppm)	かく拌時間 (分)
C-1	50	100	10	30
2	50	100	100	30
3	50	500	50	30, 60
4	50	500	500	30, 60
5	50	3000	300	30
6	50	3000	3000	30
7	500	100	10	30
8	500	100	100	30
9	500	500	50	30, 60
10	500	500	500	30, 60
11	500	3000	300	30
12	500	3000	3000	30

すようにグルコース濃度は 50 ppm と 500 ppm の 2 種類、懸濁物質濃度は 100 ppm, 500 ppm, 3000 ppm の 3 種類、添加する吸着剤の濃度は懸濁物質濃度の 10% および 100% の 2 種類とした。また、かく拌時間は 30 分を原則とし、一部は 60 分とした。

(4) 実験結果

実験結果は 4.3 の重金属のかく拌吸着実験と同様、式(4.1)で定義した吸着率で示す。以下に各実験ケースごとに結果をのべる。

(a) 粘土粒子への吸着

図-5.5 は粘土粒子のみの場合の結果を示したものである。この図から明らかなように、粘土粒子のみの場合

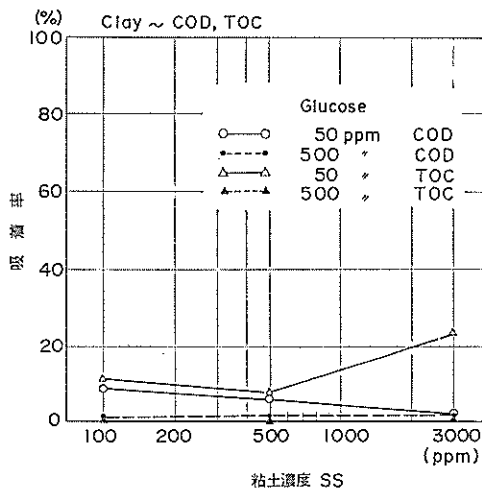


図-5.5 吸着実験結果 I (粘土のみの場合)

グルコースの吸着は 20% 以下でほとんど吸着しないことがわかる。さらに細かくみるとグルコース濃度が低いほど吸着率はよく、懸濁物質濃度の変化による影響は少ない。

(b) シリカゲルを添加した場合の吸着

図-5.6, 5.7 はシリカゲルを添加した場合の結果を示したものである。図-5.6 は COD についてとりまとめたもので吸着率は 20% 以下で、粘土だけの場合と同様あまり吸着しない。また、シリカゲル濃度や懸濁物質濃度による影響は少ないようである。図-5.7 は TOC に

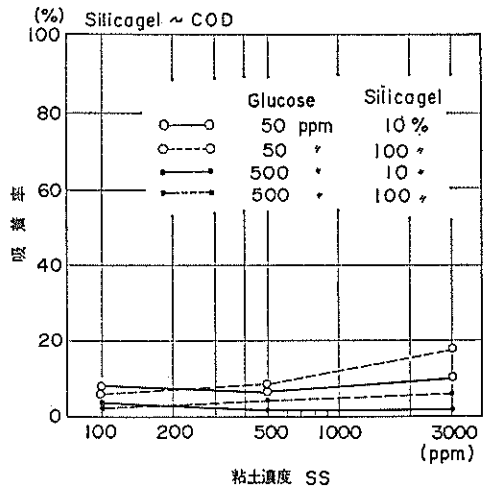


図-5.6 吸着実験結果 II (a) (シリカゲル添加, COD)

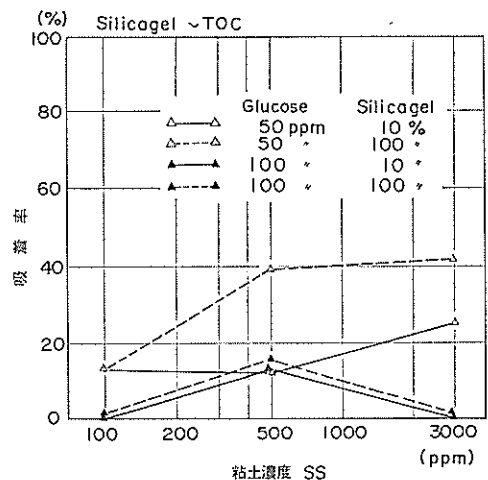


図-5.7 吸着実験結果 II (b) (シリカゲル添加, TOC)



埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

ついてとりまとめたもので、全体としては COD と同様吸着率は 10% 以下で吸着効果は少ないものと考えられる。ただ、グルコース 50 ppm, シリカゲル 50 ppm の場合だけ吸着率が 40% 近い値を示しているが、濃度が低く測定値にばらつきがあることから実験上の誤差と考えられる。

(c) 活性炭を添加した場合の吸着

図-5.8, 5.9 は活性炭を添加した場合の結果を示したもので、これより活性炭を添加するとかなり吸着することがわかる。図-5.8 は COD についてとりまとめたもので、グルコース濃度が低いほど、活性炭濃度が高いほど、

また、懸濁物質濃度が高いほど吸着率は高い。特に、グルコース濃度が 50 ppm で活性炭濃度が同じく 500 ppm の場合には 80% 以上の吸着率が期待できる。また、グルコース濃度が高い場合に吸着率が低いのは活性炭濃度が相対的に少ないためで、活性炭単位重量当りの吸着グルコース量はむしろ多くなっている。

図-5.9 は TOC についてとりまとめたものである。この図によると COD と同様、グルコース濃度が低いほど懸濁物質濃度が高いほど吸着率が大きい。ここで、グルコース濃度が 50 ppm の場合、活性炭濃度の低い方が吸着率がよいという結果がでていますが、この現象は他のすべての結果と逆であり、濃度の低いことによる誤差と考えられる。

ここで、COD の結果を 4.7 で示したフロイントリッヒの等温吸着式にあてはめてみる。グルコース濃度 50 ppm の場合でみると、活性炭濃度 10 ppm の場合および、活性炭濃度 500 ppm で 30 分かく拌のものを除くと図-5.10 に示すように、フロイントリッヒの等温吸着式にあてはまる値となっている。この結果、グルコースの吸着は次式で示される。

$$\frac{W_g}{W_o} = 5C_g^{2.8} \times 10^{-4} \quad (5.1)$$

ここに、 $W_o$ : 投入する活性炭濃度 (mg/l)

$W_g$ : 吸着されるグルコース濃度 (mg/l)

$C_g$ : 吸着終了後のグルコース濃度 (mg/l)

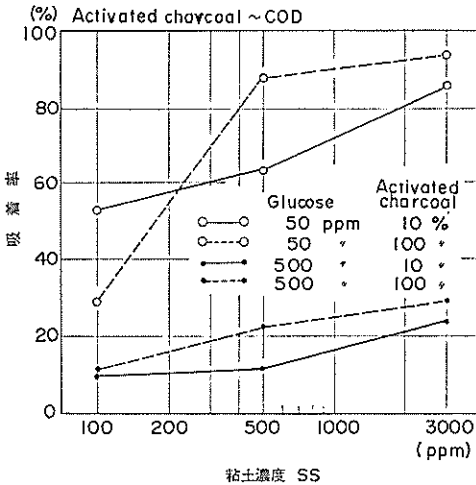


図-5.8 吸着実験結果 III (a) (活性炭添加, COD)

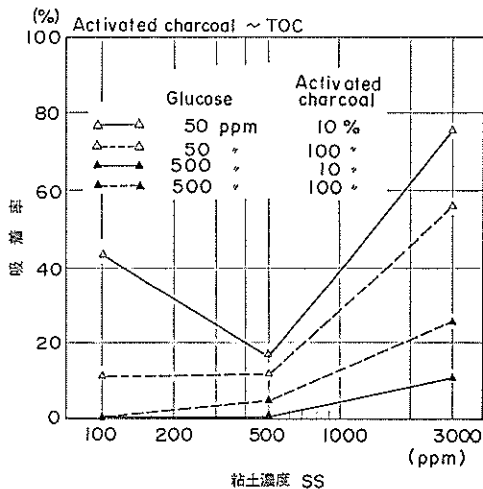


図-5.9 吸着実験結果 III (b) (活性炭添加, TOC)

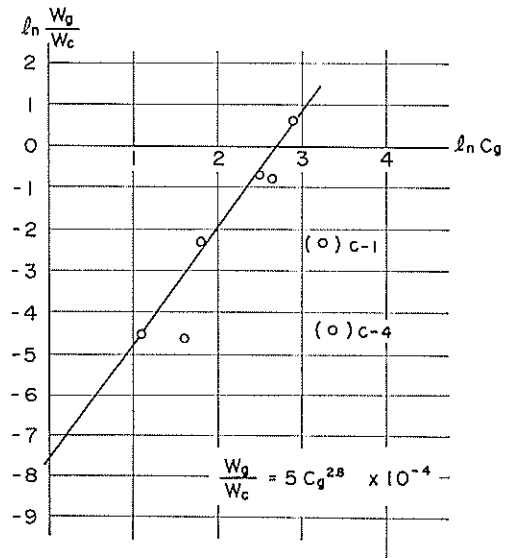


図-5.10 フロイントリッヒ等温吸着式を求める図

5.4 有機物ろ過実験

(1) 実験の目的

かく拌吸着実験でグルコースは粘土やシリカゲルにはあまり吸着せず、活性炭にはかなり吸着することがわかった。実際の護岸では有機物を含んだ懸濁水が裏込砂地や中詰砂を通過して海域を出る。そこで、粘土、グルコース、吸着剤の混合液を砂ろ過し、目詰り状況やグルコース濃度がどのように変化するかを調べることにした。

(2) 実験方法

実験フローチャートを図-5.11 に示す。実験方法は3.3 懸濁物質ろ過実験 (I) と同様である。

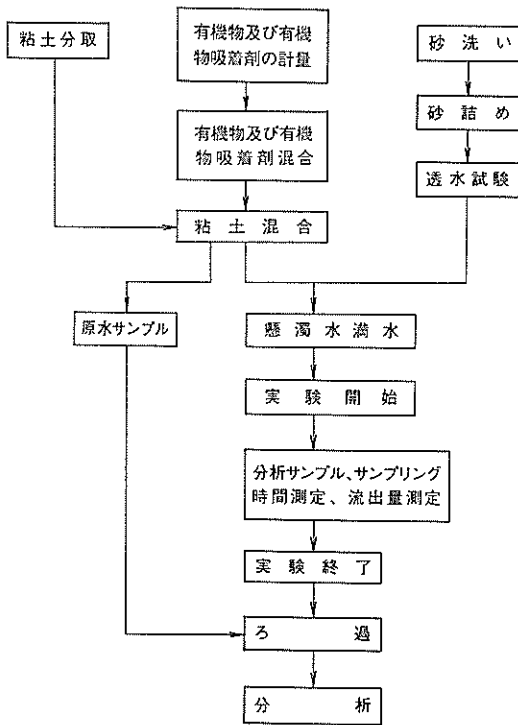


図-5.11 有機物ろ過実験フローチャート

(3) 実験ケースと実験条件

実験ケースと実験条件を表-5.16 に示す。

表-5.16 実験ケース及び実験条件

ケース No.	有機物吸着剤	懸濁物質濃度 (ppm)	砂層厚 (cm)	ヘッド差 (cm)	有機物濃度 (ppm)	使用砂	使用水
1	シリカゲル	3000	50	100	500	高萩	淡水
2	活性炭	3000	50	100	500	高萩	淡水

(4) 実験結果

実験結果を図-5.12, 5.13 に示す。ここに、図の横軸はろ過開始後の経過時間、縦軸はグルコース (COD, TOC) のろ過率、流速および懸濁物質濃度 SS の低減率である。ここに、ろ過率と低減率は次式で定義するものとする。

$$F = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100 \quad (5.2)$$

$$R = \frac{S_1}{S_0} \times 100 \quad (5.3)$$

ここに、F: ろ過率 (%)

C<sub>0</sub>: 当初グルコース濃度 (ppm)

C<sub>1</sub>: ろ過後のグルコース濃度 (ppm)

R: 低減率 (%)

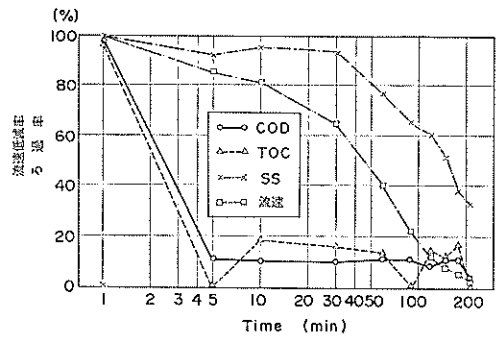


図-5.12 ろ過実験結果 I (シリカゲル添加)

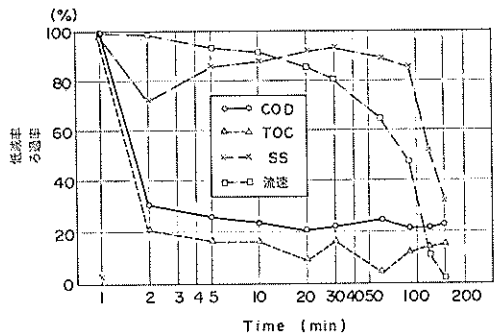


図-5.13 ろ過実験結果 II (活性炭添加)

$S_0$ : 当初の流速 (cc/min) 又は SS (ppm)

$S_1$ : 実験中の流速 (cc/min) 又は SS (ppm)

まず、有機物のろ過率についてみると、最初5分くらいまでは大きいですが、それ以後はほとんど一定で、活性炭で約20%、シリカゲルで約10%である。最初ろ過率が高いのは砂詰め段階で使用した水がでてきたためと考えられる。ろ過率の20%、10%はそれぞれ同じ条件のかく拌吸着率とほぼ同じ値である。

一方、流速とSS濃度の変化をみると、流速は50~100分ごろから低減しはじめ、200分ごろには完全に目詰りをおこして流れが止まる。これに対してSS濃度は流速の低減よりわずかに遅れるが、ほぼ同じ傾向を示しており、200分ごろには当初の30%まで低減する。

以上をまとめると、溶解性の有機物を含む懸濁液をろ過すると、懸濁物質は砂によりろ過されてきれいになるが、有機物濃度は一定で、活性炭やシリカゲルに吸着された分だけがろ過されると考えられる。しかし、全体の流量が減少しているため、流出する有機物の総量は減少することになる。

### 5.5 有機へどろ分解実験

#### (1) 実験の目的

護岸の有機物に対する浄化効果としては、吸着・ろ過効果の他に、裏込砂地や地盤中を浸透する間に生じるであろう分解効果が考えられる。分解効果については微生物、酸素、分解時間、温度などの影響が考えられ、厳密に論ずることはむづかしい。ここではこの分解効果が護岸の設計にあたって期待できるかどうかを把握することを目的に室内実験を行った。

分解実験で利用する有機物として何を利用するかが問題となる。本実験では河口付近に堆積したへどろを用いることにしたが、その理由は次のとおりである。すなわち、埋立地に投入されるものには通常の土砂の他に、都市の生ゴミ、焼却ゴミ、産業廃棄物、建設廃材、水底土砂などがある。これらはいずれもその生成過程により種々の有機物を含んでいるが、河口付近に堆積したへどろは上流あるいは海域からの有機物をまんべんなく含んでいるものと考えた。そこで、実際に公害防止対策事業として浚渫し、埋立地に投入しているへどろを用いることにした。

本実験は採取したへどろに含まれる有機物質が、温度放置条件などによってどのように変化するかを3か月にわたって調べたものである。

#### (2) 実験方法

実験のフローチャートを図-5.14に示す。

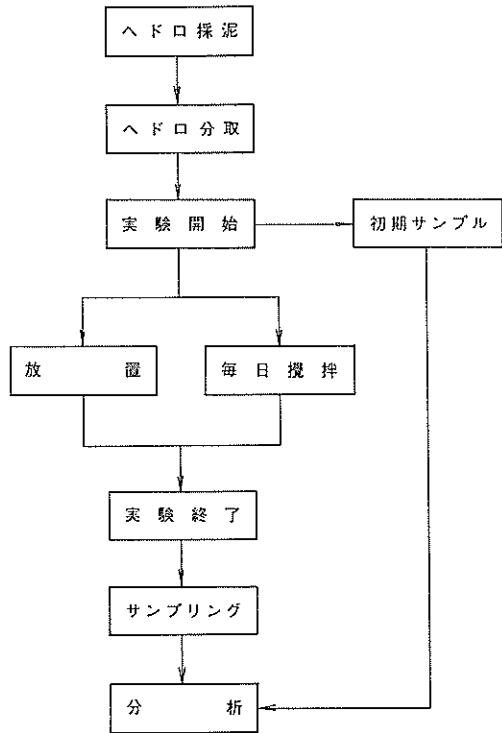


図-5.14 へどろ分解実験フローチャート

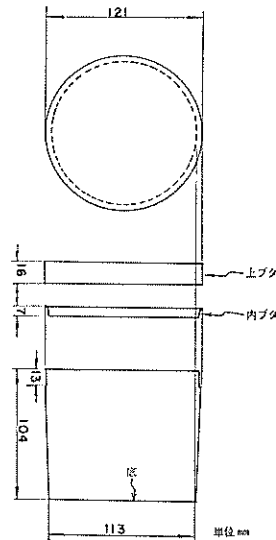


図-5.15 放置試料容器

(a) 放置試料の作成

採取したへどろは表-5.7 に示したように有機物を多く含む汚れたへどろである。このへどろを図-5.15 に示すように 1000 cc の容器につめた。試料の作成にあたっては嫌気、好気条件が満足されるように注意を払った。すなわち、嫌気サンプルは密閉を完全にすること、好気サンプルは湿度変化の影響をなるべく少なくするために容器のフタを閉じておくこととし、その代り外気との通気のための穴を容器側壁の2箇所に設けた。また、毎日かく拌試料は 540 g 入りの容器を2個(各温度ごと)つくった。

(b) 放置

作成試料を恒温室と地下暗室中に3か月放置した。地下暗室中の温度を図-5.16 に示す。この間の平均室温は 26.5°C である。毎日かく拌試料は1日1回30秒程度スパーテルでかく拌した。

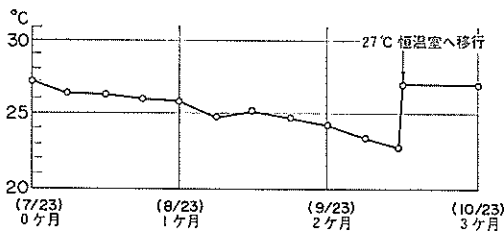


図-5.16 地下暗室中の気温変化

(c) サンプルング

サンプルングは1か月ごとに行った。嫌気条件試料はそのままを、好気条件試料は表層から 3 cm 厚さのへどろを採取した。また、毎日かく拌試料は同じ条件の試料を2個づつ作成しておき、1個につき約 180 g サンプルングした。

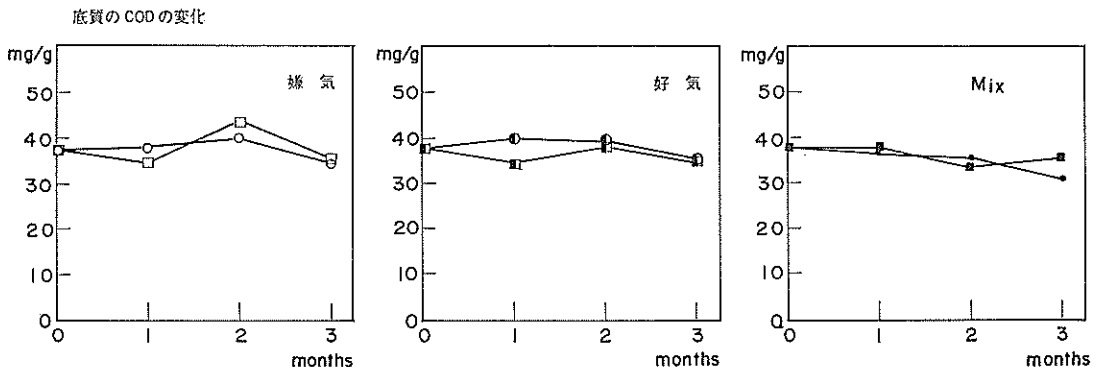


図-5.17 底質の COD 変化

(d) 分析

分析項目および分析方法は表-5.11 に示したとおりである。

(3) 実験ケースと実験条件

実験ケースと実験条件を表-5.17 に示す。表に示すとおり、実験要因は温度、好気嫌気条件、および放置時間である。

表-5.17 へどろ分解実験ケース

放置条件	放置月数	0	1	2	3
	温度				
嫌気条件	10°C		○	○	○
	25°C		○	○	○
好気条件	10°C	○	○	○	○
	25°C		○	○	○
毎日かく拌条件	10°C		○	○	○
	25°C		○	○	○

(4) 実験結果と考察

実験結果について、ここではまず各分析項目ごとにその変化状況をのべ、ついで特に顕著な変化を示したものについて考察する。

(a) COD, TOC, T-C

まず、有機物の指標となる COD, TOC, T-C についての結果をみる。図-5.17 は COD の変化を示したもので、3ヶ月の間にほとんど変化はみられず、放置条件や温度による影響もみられない。図-5.18 は TOC の変化を示したもので、全体にわずかに減少傾向にある。温度の影響をみると嫌気条件では差がないのに対し、好気条

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

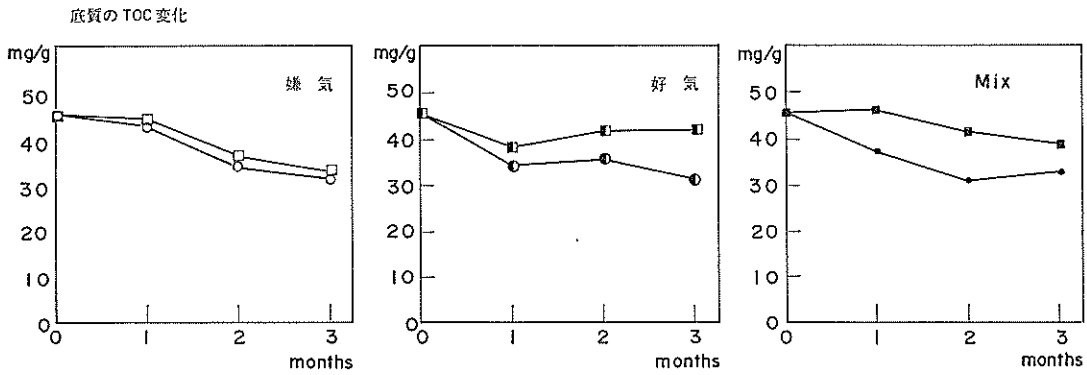


図-5.18 底質の TOC 変化

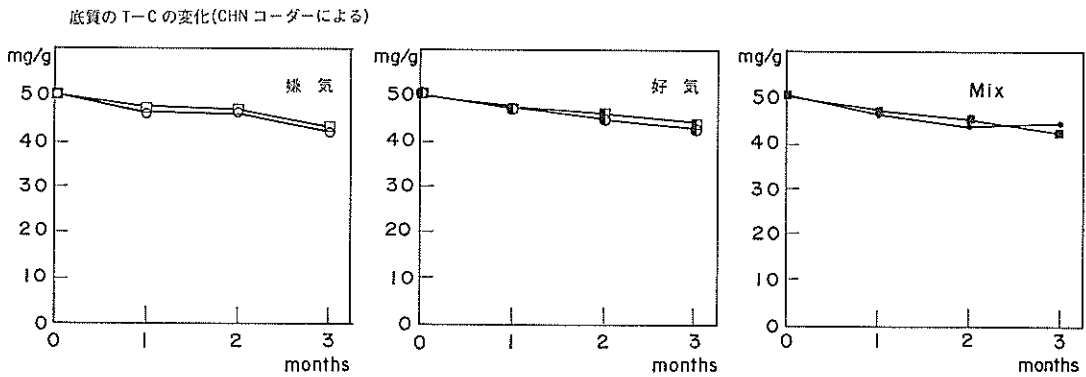


図-5.19 底質の T-C 変化

件では 25°C の方がよく減少している。図-5.19 は T-C の変化を示したもので、COD と同様わずかに減少傾向にあるが、放置条件や温度による差はみられない。

以上まとめると、上述した 3 項目については全体に減少傾向にあり、有機物はわずかながら分解されていると考えられる。また、放置条件にはあまり影響されず、温度の影響は TOC の好気及びかく拌条件にあらわれている。

(b) n-ヘキサン抽出物質、エーテル抽出物質

この 2 項目は有機物の中でも油分と呼ばれるものである。図-5.20 は n-ヘキサン抽出物質の変化、図-5.21 はエーテル抽出物質質量の変化を示したものである。これより、油分は多少のばらつきはあるが減少しており、減少の割合はかく拌 > 好気 > 嫌気 の順になっている。油分の減少は揮散・分散によるものと考えられるが、いずれもイオウ分も抽出されることから、油分が硫化物量に影響されているものと考えられる。

(c) NH<sub>4</sub>-N, T-N, T-D

ここでは栄養塩としての窒素とリンの変化をみる。図-5.22~5.24 にそれぞれの変化を示す。これらの図をみると、全体に大きな変化はみられないが、好気条件で 25°C の場合の NH<sub>4</sub>-N, T-N の減少が著しい。NH<sub>4</sub>-N が減少する原因としては揮散と硝化が考えられるが、毎日かく拌サンプルでは減少がみられないことから揮散ではなく硝化だと考えられる。原因が硝化だと考えると、好気条件では表層から酸化されているのに対し、毎日かく拌試料ではかく拌により酸化層の発生が阻害されているものとするれば実験結果が説明できる。また、温度が高い場合のみにおこることについては微生物の活性の違いによるためと考えられる。

(d) 硫化物

図-5.25 は硫化物の変化を示したものである。これによると、嫌気条件下では全く変化しないのに対し、好気条件で 2 か月目まで減少し、その後わずかに増加してい

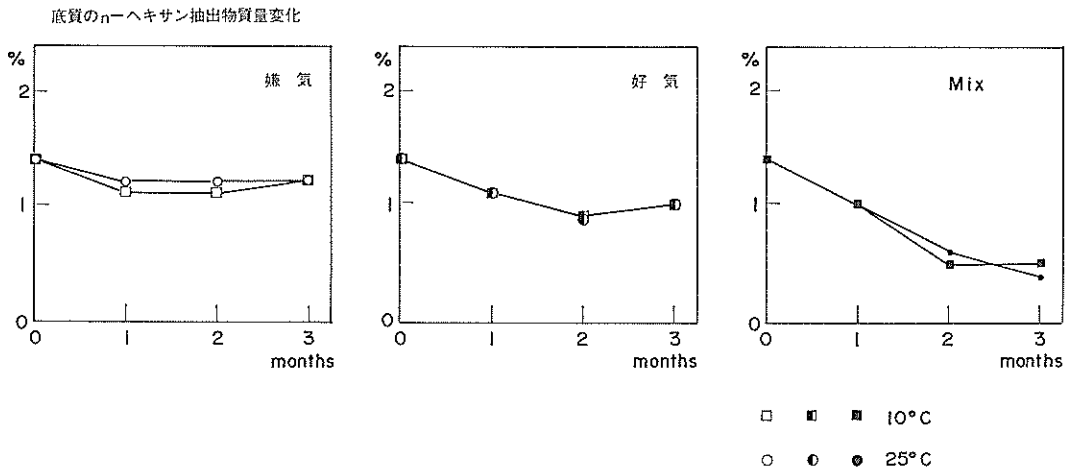


図-5.20 底質の n-ヘキサン抽出物質量変化

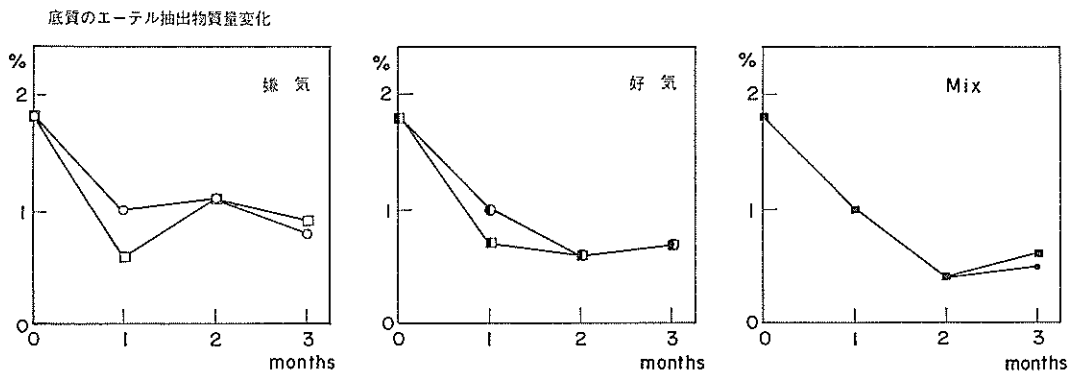


図-5.21 底質のエーテル抽出物質量変化

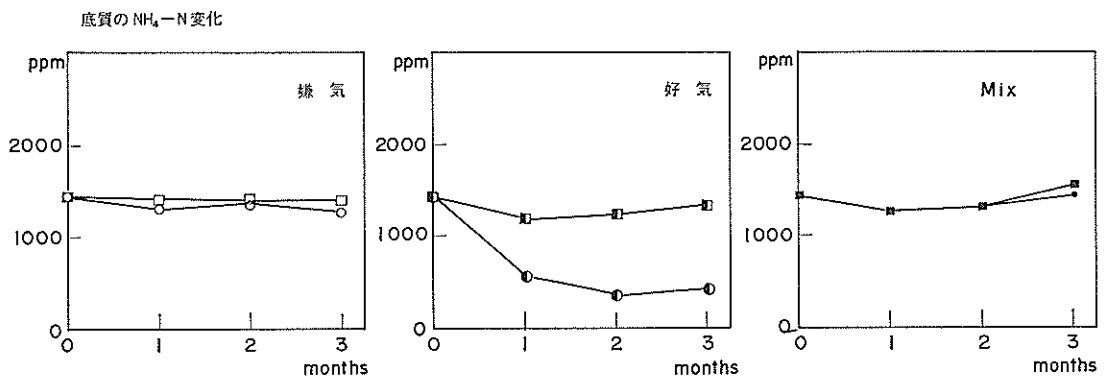


図-5.22 底質の NH<sub>4</sub>-N 変化

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

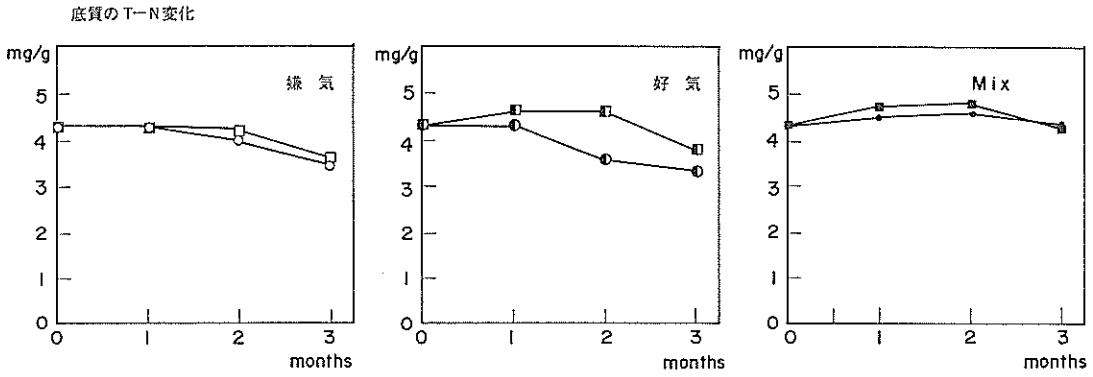


図-5.23 底質の T-N 変化

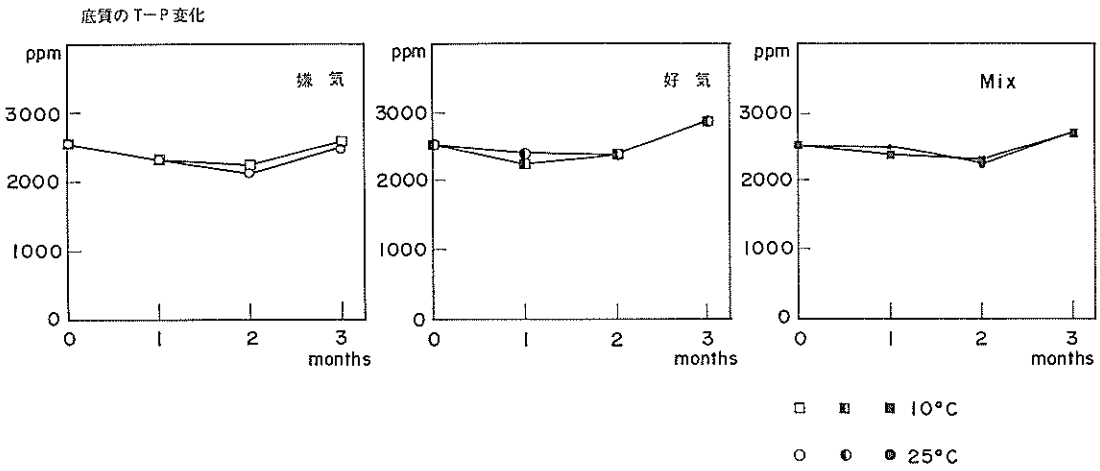


図-5.24 底質の T-P 変化

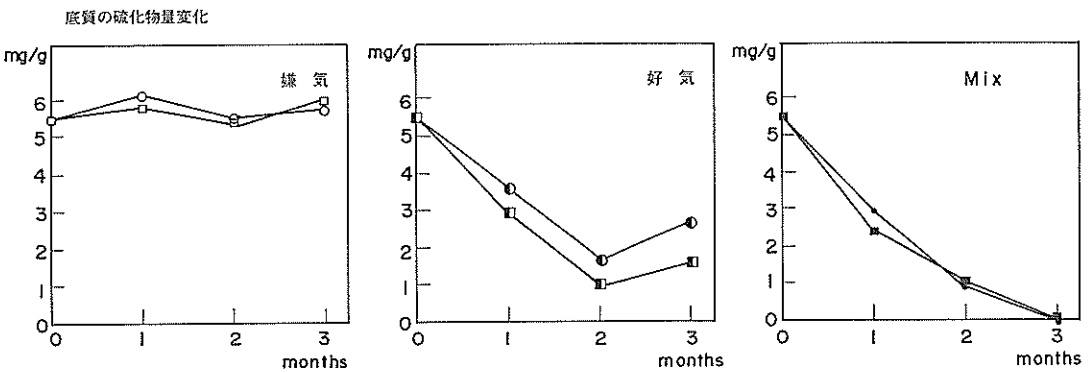


図-5.25 底質の硫化物量変化

る。毎日かく拌条件下では好気条件下のものよりさらに早く減少し、3か月目まで減少する。硫化物の減少は硫化物が酸化されて硫化水素が発生し、これが揮散することが主な原因と考えられ、毎日かく拌条件の結果からわかるように十分かく拌してやることにより、大部分の硫化物を消失させることができる。

(e) pH

図-5.26はpHの変化を示したものである。これを見ると嫌気および好気条件下では変化がみられないが、毎日かく拌条件では2か月目から酸化されて小さくなる。また、温度による差はみられない。

(f) O.R.P.

O.R.P. は酸化体の活動度と還元体の活動度の比の対数として表わされ、試料の酸化の程度を表わすものである。図-5.27はO.R.P.の変化を示したものである。こ

れによると、嫌気条件下では1か月目に減少がみられ、その後変化がなく、温度の高い方が低い値を示している。好気条件ではほとんど変化がみられない。これに対して、毎日かく拌条件では3か月目に大幅に上昇している。実験結果のうち、嫌気条件でO.R.P.が減少したのはH<sub>2</sub>Sが増加したためと考えられる。また、毎日かく拌条件でO.R.P.が増加するのは当然の結果であろう。

以上、実験の結果を総合してみると、大きく変化したのは毎日かく拌条件下の硫化物、pH、O.R.P.および好気条件25°CでのNH<sub>4</sub>-Nである。その他の結果も合せて考えると、有機へどろは分解するがその量はわずかであり、3か月の実験では顕著に現われなかった。ただし、長期間での分解を予測すれば、嫌気条件下およびここでいう好気条件下のものより、毎日かく拌条件下の方が分

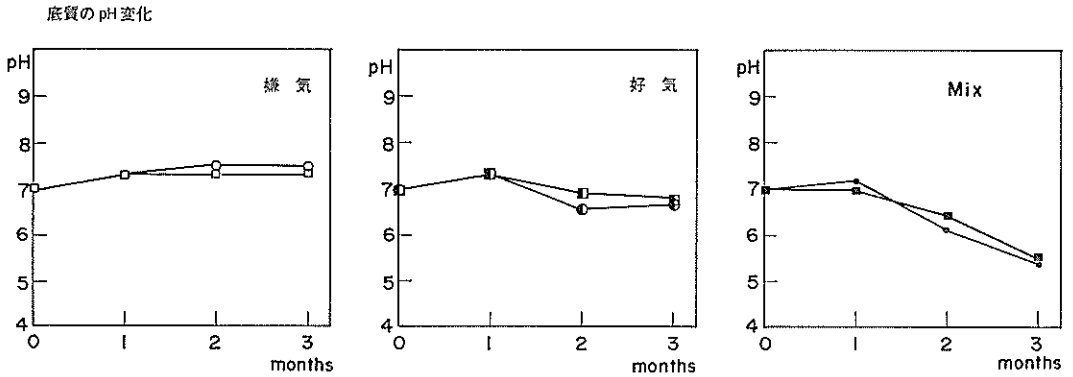


図-5.26 底質の pH 変化

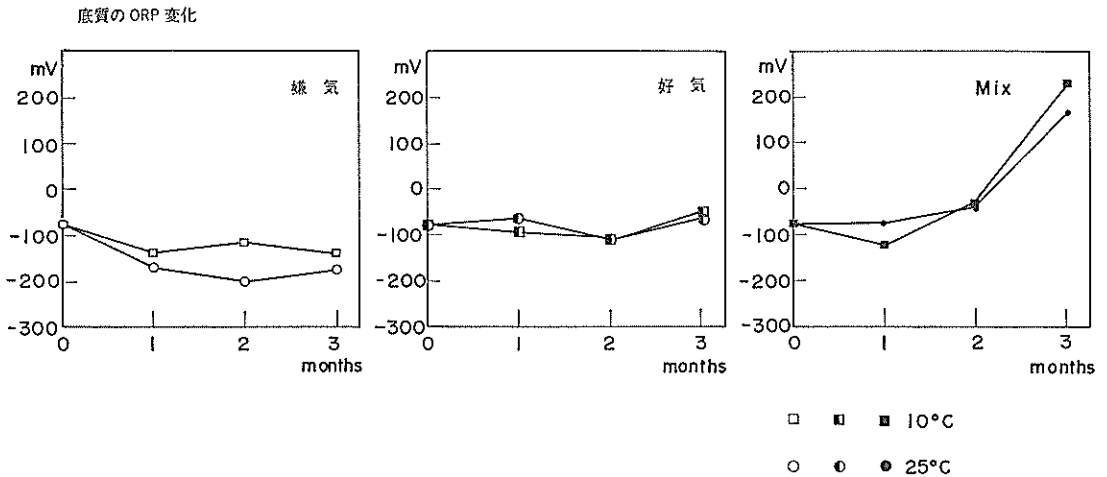


図-5.27 底質の O.P.R. 変化



解が期待できそうである。

### 5.6 間げき水分解実験

#### (1) 実験の目的

5.5 でへどろそのものの分解について調べたが、実際の護岸では埋立土によりへどろが圧密され、その間げき水が浸み出してくる。そこで、本実験では間隙水に含まれる有機物質がどのように変化するかを調べることとし、へどろの分解実験と同様放置条件を変えて有機物質の分解を調べた。

#### (2) 実験方法

実験のフローチャートを図-5.28 に示す。放置する間げき水は 5.2(2) に示したように、へどろを遠心分離にかけて採取したもので多量の有機物質を含んでいる。嫌気条件試料は間げき水を実験ケースごとに 500 cc の密閉容器に入れ、好気条件は 1500 cc の間げき水を空気曝気して放置した(図-5.29)。放置条件はへどろと同様、10°C の恒温室と 25°C 前後の地下暗室である。

採水は嫌気条件試料はそのたびに 1 本づつを、好気条

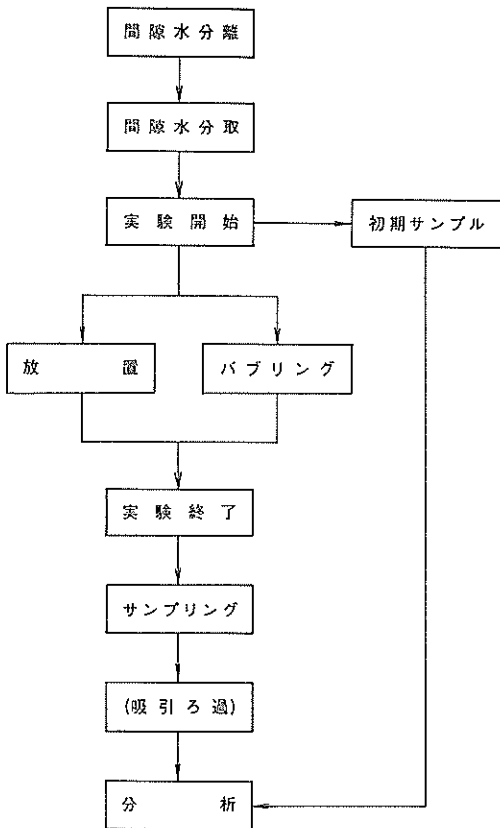


図-5.28 間げき水分解実験フローチャート

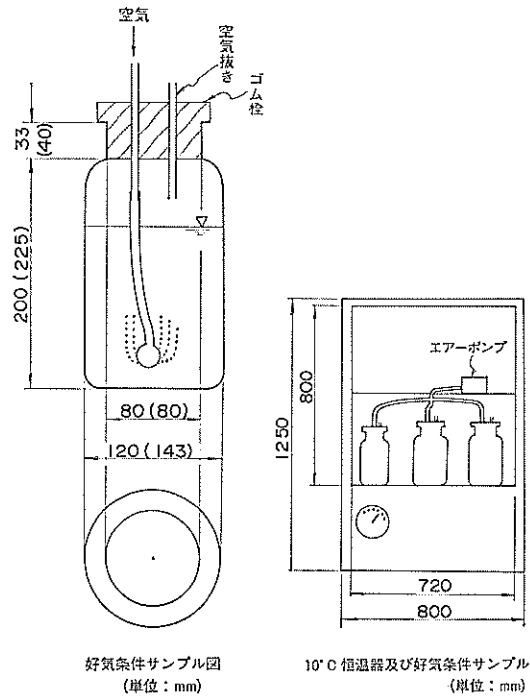


図-5.29 間げき水曝気概要図

件試料は 500 cc ずつを分取って分析試料とした。また分析は表-5.11 に示した方法で行った。

#### (3) 実験ケースと実験条件

実験ケースと実験条件を表-5.18 に示す。実験要因は間げき水濃度、温度、好気嫌気条件、および放置時間である。

#### (4) 実験結果と考察

ここではまず各項目ごとの変化をのべ、その中で特に顕著な変化を示したものについて考察することにする。

実験結果をのべる前に好気条件のサンプリングについて、実験結果への影響という点を中心にのべる。好気条件のサンプリングは、1 か月目はバブリングを止めた状態の水をそのまま 500 ml、2 か月目はやはりバブリングを止めたあとよく振って 500 ml を、3 か月目は同様に、バブリングを止めたあとよく振って、ピン壁についている水アカ群の物質も含めて残り水を採水した。

以上のように、サンプリング条件がまちまちなため、好気条件サンプルの分解値に大きなバラツキがでているものと思われる。この傾向は粒状物も含めて測定する項目において大きいと考えられ、溶解性の物質である、 $PO_4\text{-P}$ 、 $NO_2\text{-N}+NO_3\text{-N}$ 、 $Cl^-$  ではその影響は少ないと

表-5.18 開げき水分解実験実験ケース

放置条件	濃度	放置月数	0	1	2	3
		温度				
嫌気条件	0%	10°C	○	○	○	○
		25°C		○	○	○
	30%	10°C	○	○	○	○
		25°C		○	○	○
	60%	10°C	○	○	○	○
		25°C		○	○	○
	100%	10°C	○	○	○	○
		25°C		○	○	○
好気条件	100%	10°C	○	○	○	○
		25°C		○	○	○

予想される。したがって、以下にのべる実験結果のうち、好気条件の結果についてはその影響を考慮した上で評価する必要がある。ただし、実際の護岸では本実験の嫌気

条件に近いと考えられる。

(1) COD, TOC

図-5.30 は COD の変化を示したものである。これを

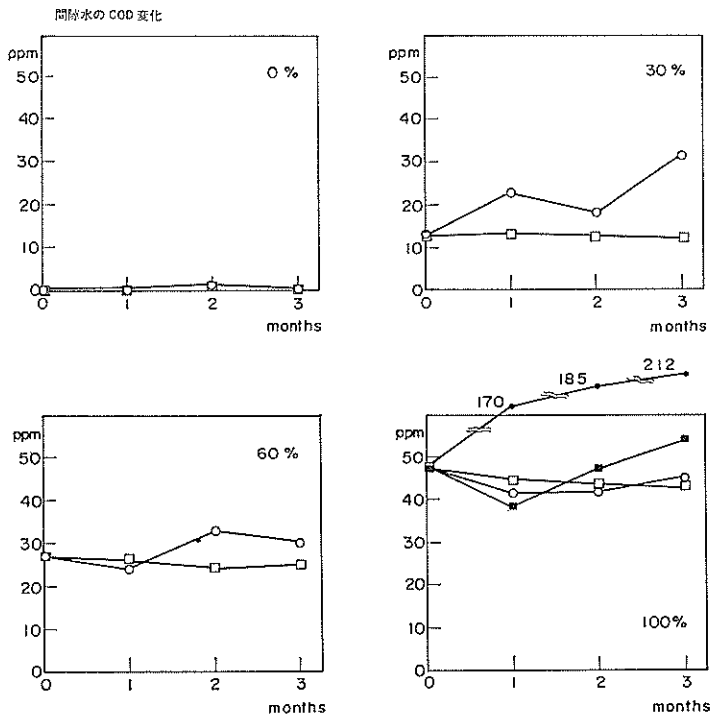


図-5.30 開げき水の COD 変化

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

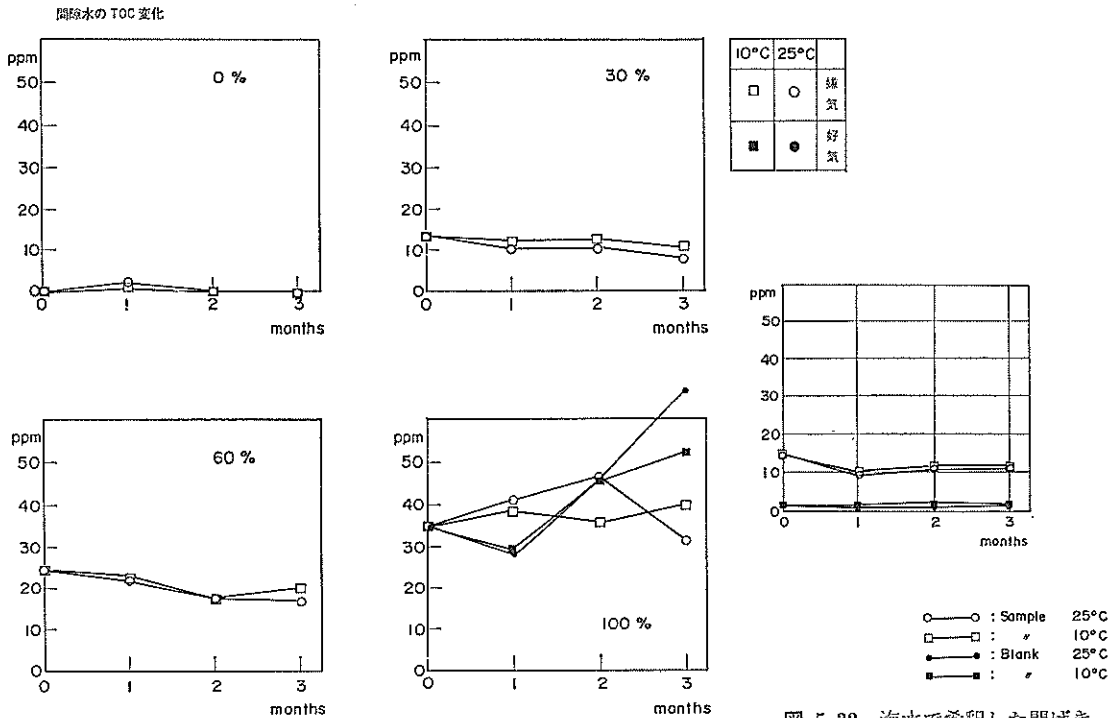


図-5.31 間抜き水の TOC 変化

図-5.32 海水で希釈した間抜き水の TOC 変化

みると好気条件の 25°C で非常に大きくなっている。前述したサンプリングの影響以上に COD が大きくなった理由として NO<sub>2</sub>-N の影響が大きいと思われる。すなわち、COD は過マンガン酸カリを用いて測定されるが、サンプル中に酸化される無機物、たとえば亜硝酸が存在すれば酸化されて硝酸になる。そのため、見かけの COD が大きくなるものと予想される。

図-5.31 は TOC の変化を示したものである。これを見ると、間抜き水 100%、嫌気条件でバラツキがあるが大きな変化はみられない。また、図-5.32 は間抜き水で希釈した場合の TOC 変化を示したものである。図から明らかなように時間的変化はみられず、値も蒸留水で希釈した場合とほぼ同じである。

(2) PO<sub>4</sub>-P, T-P

PO<sub>4</sub>-P, T-P の変化をそれぞれ 図-5.33, 5.34 に示す。これによると PO<sub>4</sub>-P は好気サンプルを除くと全体的に時間経過と共に減少している。また、T-P もわずかに減少傾向がみられるが間抜き水 100% ではバラツキがみられる。また、PO<sub>4</sub>-P, T-P ともに温度が高い方がわずかではあるが小さい値を示している。リン酸の減少

は沈殿、吸着、生物によるとりこみと考えられる。

(3) NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N, O-N, T-N

つぎに窒素の変化についてみる。NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N, O-N, T-N の変化をそれぞれ 図-5.35~5.37 に示す。これを見ると、NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N が大幅に増え、T-N があまり変化していない。NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N が増加する理由として、原液に存在する多量の NH<sub>4</sub>-N が亜硝酸菌や硝酸菌によって酸化されたためと考えられる。T-N の減少は NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N の揮散のためにおこると考えられるが本実験では好気条件 10°C で減少がみられた。

(4) pH, Cl<sup>-</sup>

間抜き水の pH および Cl<sup>-</sup> の変化をそれぞれ 図-5.38, 5.39 に示す。pH は嫌気条件、間抜き水 30%, 25°C の場合に若干減少がみられ、また、好気条件 25°C, 10°C で増大した。前者の減少は NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> の生成と間抜き水濃度が低いために緩衝力が低いことが原因と思われる。後者の増大は、バブリングによる濃縮効果によると考えられるが、10°C より 20°C の方が増え方が少ないのは NO<sub>2</sub>-N と NO<sub>3</sub>-N が原因であろう。

Cl<sup>-</sup> は嫌気条件では放置時間による変化はまったく見

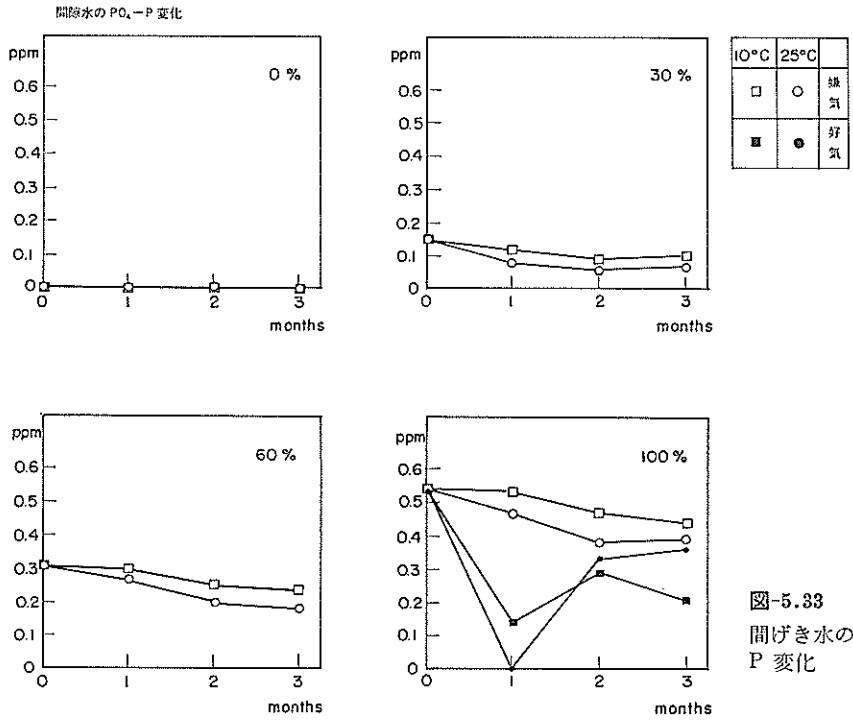


図-5.33  
間げき水の PO<sub>4</sub>-P 変化

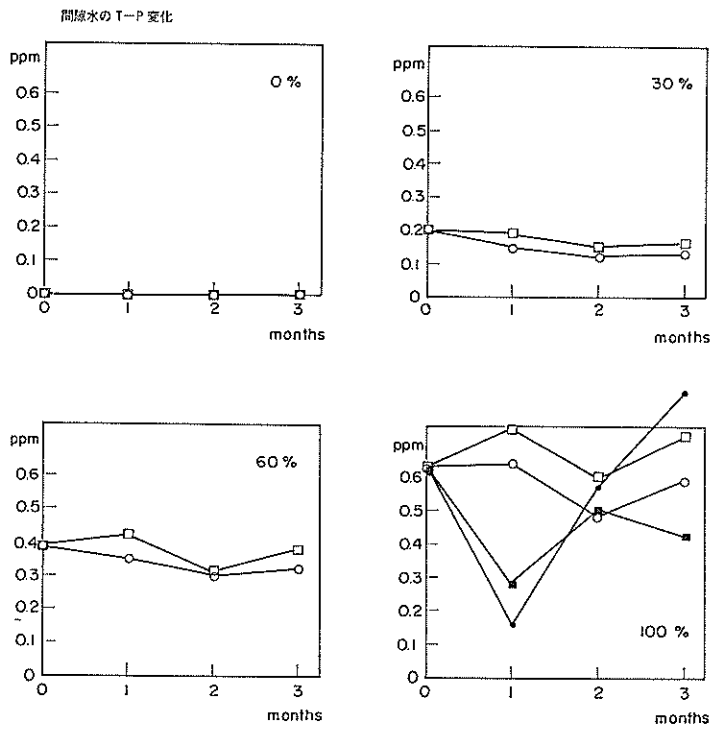


図-5.34  
間げき水の T-P 変化

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

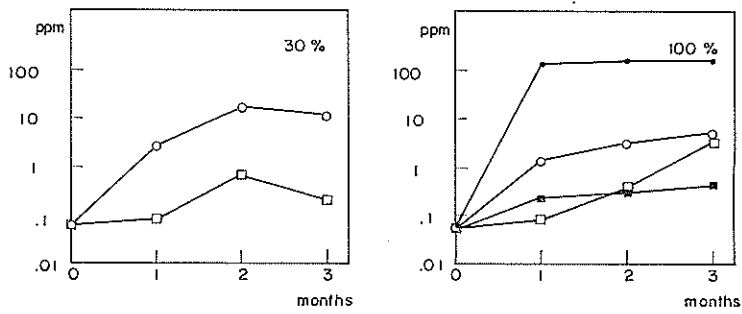
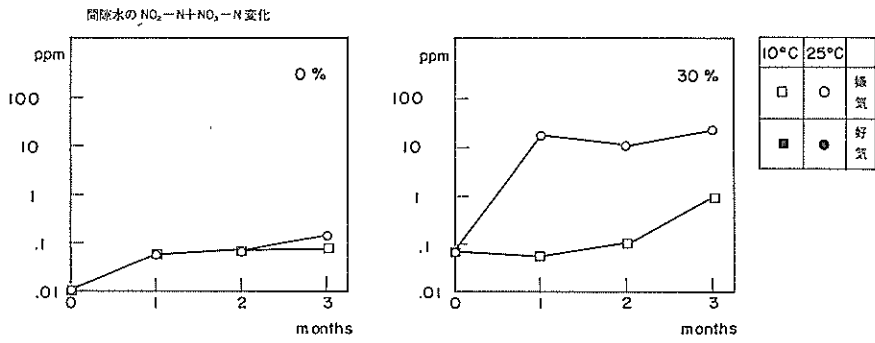


図-5.35  
間抜き水の  $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$  変化

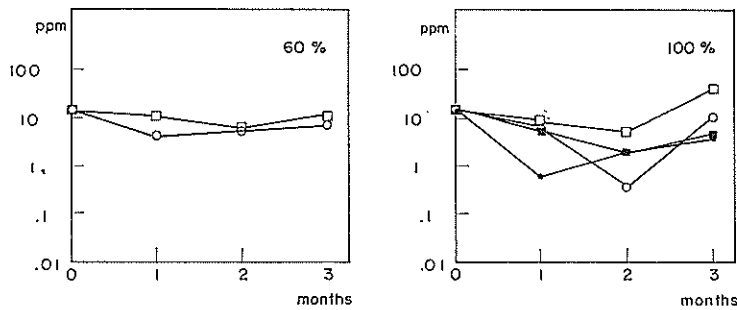
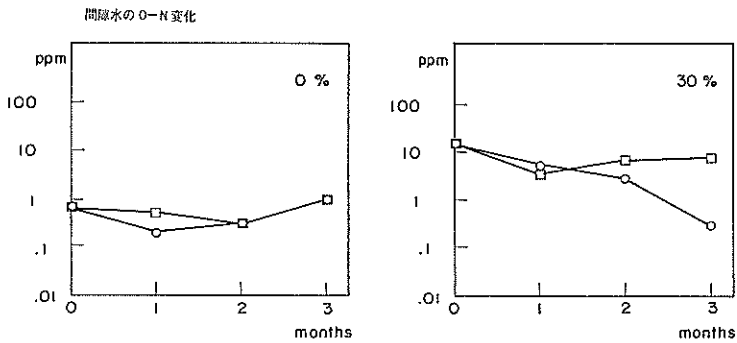


図-5.36  
間抜き水の O-N 変化

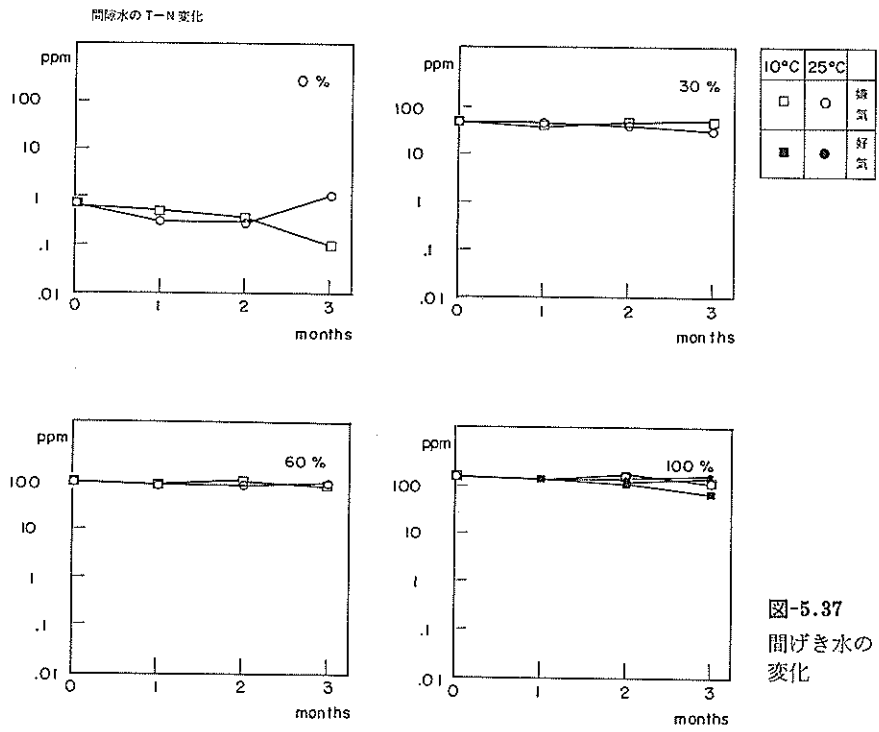


図-5.37  
間げき水の T-N  
変化

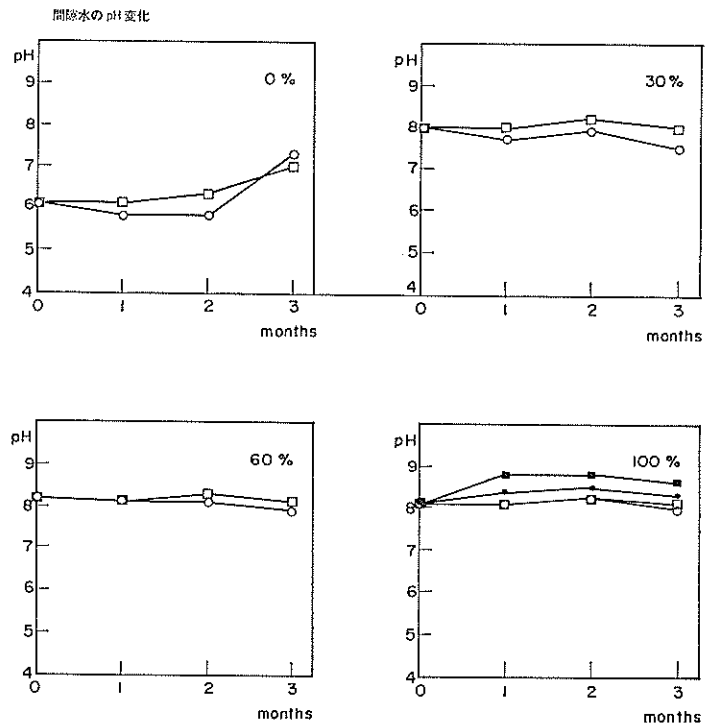


図-5.38  
間げき水の pH 変  
化

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

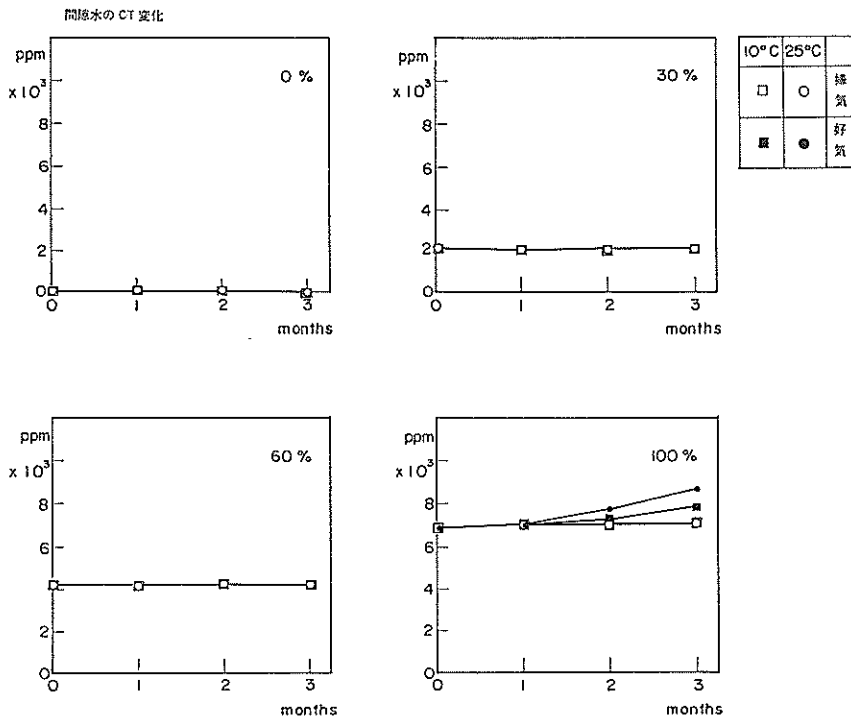


図-5.39 間抜き水の Cl<sup>-</sup> 変化

られず、好気条件では時間とともに増加している。これはバブリングによる蒸発の影響と考えられる。

以上をまとめると、間抜き水の分解のうちで変化が大きいのは窒素で、NH<sub>4</sub>-N が NO<sub>2</sub>-N および NO<sub>3</sub>-N に酸化される現象が特に好気条件で顕著である。また、この変化に合わせて COD も同様な変化を示している。その他のものでは PO<sub>4</sub>-P、T-P に減少傾向がみられる。なお、間抜き水濃度や海水の分解に与える影響は少ないと考えられる。

### 5.7 砂中間抜き水分解実験

#### (1) 実験の目的

間抜き水分解実験では間抜き水のみを放置したが、実際には間抜き水は裏込砂や地中に長い間滞留する。本実験は間抜き水が砂の中に放置された場合、分解効果がどの程度あるかを調べるものである。

#### (2) 実験方法

実験方法のフローチャートを図-5.40 に示す。砂は高萩砂および標準砂を水洗したものをを用い、間抜き水は 5.6 と同じものを利用した。嫌気条件試料は容器に砂を

入れたあと静かに間抜き水を注ぎ、スパーテルで静かにかき混ぜて砂の中に残った空気をだきただけ追い出した後、気泡が残らないように内ぶたをし、さらに上ぶたをし、さらに上ぶたをしてビニールテープをまいた。砂と間抜き水の量は高萩砂 1.3 kg、標準砂 1.1 kg に対し、間抜き水 500 ml である。各ケースごとに 1 試料を作製した。

好気条件試料は、容器に砂（高萩砂は 1.3 kg、標準砂は 1.1 kg）を入れたのち間抜き水 1500 ml を入れ、ゴム栓をしてビニールテープをまいた。ゴム栓には 2 本のガラス管をとおし、1 本にはエアストーンをつけて空気曝気用とし、もう本は空気抜きとした。この試料は実験中連続曝気した。

#### (3) 実験ケースと実験条件

実験ケースと実験条件を表-5.19 に示す。実験要因は砂の種類、好気嫌気条件、間抜き水濃度、温度、および放置時間である。

#### (4) 実験結果と考察

ここでは高萩砂と標準砂に分けて各項目ごとに結果をのべ、特に変化の顕著なものに対して、5.6 の間抜き水分解実験の結果と対比しながら考察する。

表-5.19 砂中間けき水分分解実験ケース

砂種	放置条件	放置月数		0	1	2	3		
		濃度	温度						
高萩砂	嫌気条件	0%	10°C	○	○	○	○		
			25°C	○	○	○	○		
		30%	10°C	○	○	○	○		
			25°C	○	○	○	○		
		60%	10°C	○	○	○	○		
			25°C	○	○	○	○		
	好気条件	100%	10°C	○	○	○	○		
			25°C	○	○	○	○		
		100%	10°C	○	○	○	○		
			25°C	○	○	○	○		
		標準砂	嫌気条件	0%	10°C	○	○	○	○
					25°C	○	○	○	○
100%	10°C		○	○	○	○			
	25°C		○	○	○	○			
好気条件	100%		10°C	○	○	○	○		
			25°C	○	○	○	○		

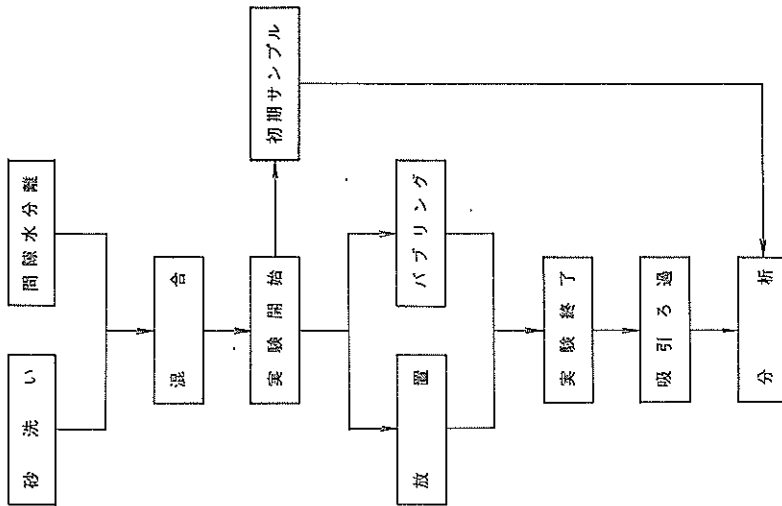


図-5.40 砂中間けき水分分解実験フローチャート



図-5.41~5.49 に高萩砂の実験結果を示す。各項目についてまとめると以下のとおりである。

(1) TOC, COD

図-5.41 は TOC の変化を示したものである。これによると時間の経過と共にわずかに減少傾向がみられ、混度や放置条件による差も少ない。また、間引き水 100% の場合、間引き水分解実験のように大きなバラツキもみられない。

図-5.42 は COD の変化を示したものである。ここでも間隙水 100% で好気の場合、後述する  $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$  の変化に合わせて COD が大きくなっている。ただし、間引き水の場合と異なり、この傾向は 1 か月目だけで 2 か月目からは元に戻っている。これは  $\text{NO}_2\text{-N}$  か  $\text{NO}_3\text{-N}$  に変化したためと考えられ、砂の存在が何らかの寄与をしているものと考えられる。

(2)  $\text{PO}_4\text{-P}$ , T-P

$\text{PO}_4\text{-P}$ , T-P の変化を図-5.43, 5.44 に示す。いずれも好気条件を除くと減少傾向にあり、温度による差も顕著ではない。

(3)  $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ , O-N, T-N

$\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ , O-N, T-N の変化を図-5.45~5.

47 に示す。これらを見ると、間引き水の場合と同様に好気条件、25°C で  $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$  が増え、O-N にはあまり変化がみられない。また、T-N は好気条件で減少したがこれは  $\text{NO}_3\text{-N}$  の揮散と考えられる。

(4) pH,  $\text{Cl}^-$

pH および  $\text{Cl}^-$  の変化をそれぞれ図-5.48, 5.49 に示す。これによるといずれも間引き水 100%、好気条件の場合のみに増加する傾向にある。これはバブリングによる濃縮効果のためと考えられる。

標準砂の場合の実験結果を図-5.50~5.58 に示す。これらを見ると高萩砂の場合とほとんど変わりなく、砂の種類による影響はないものと考えられる。

以上まとめると間引き水を砂中に放置した場合は間引き水のみを放置した場合と基本的には同じであり、違いは  $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ , および T-N に少しみられる程度である。しかし、全体的にはいずれも間引き水の場合より減少傾向にある。これは分解効果だけでなく、吸着、溶出効果があったためと考えられる。また、砂の種類による差はほとんどみられなかった。

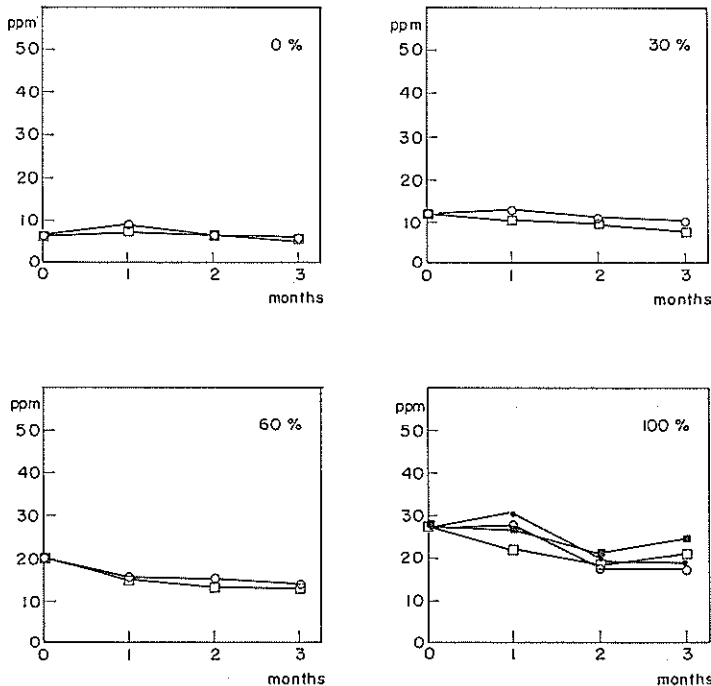


図-5.41 高萩砂中の間引き水の TOC 変化

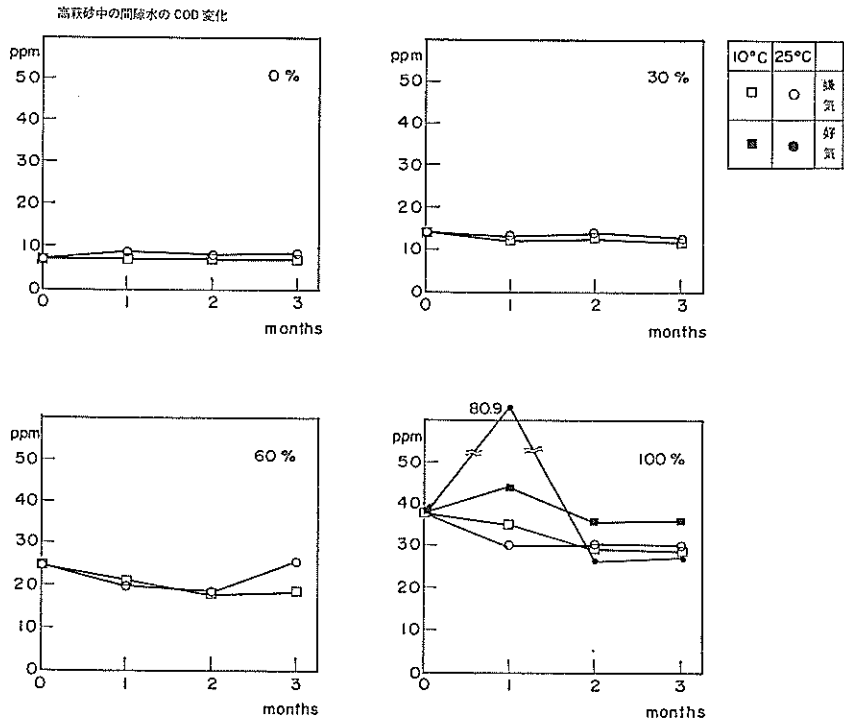


図-5.42 高萩砂中の間けき水の COD 変化

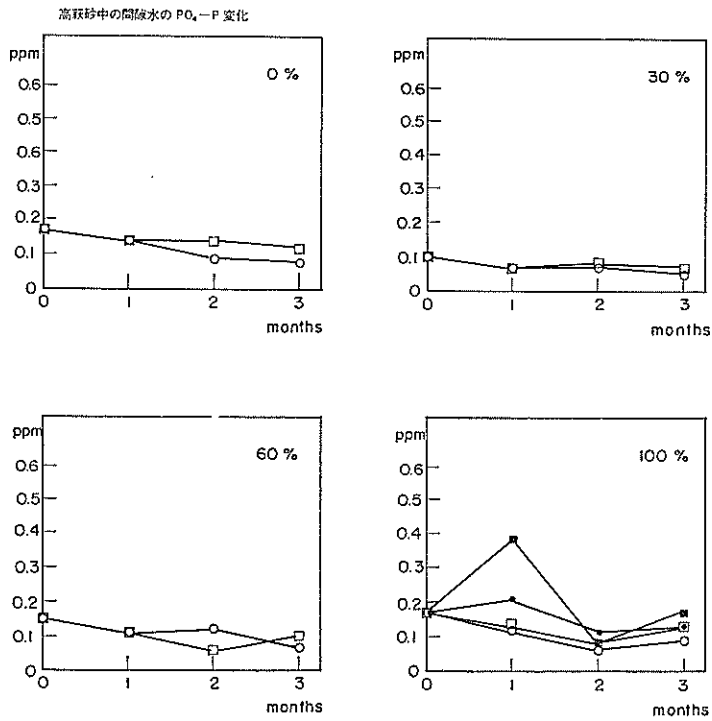


図-5.43 高萩砂中の間けき水の PO<sub>4</sub>-P 変化

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

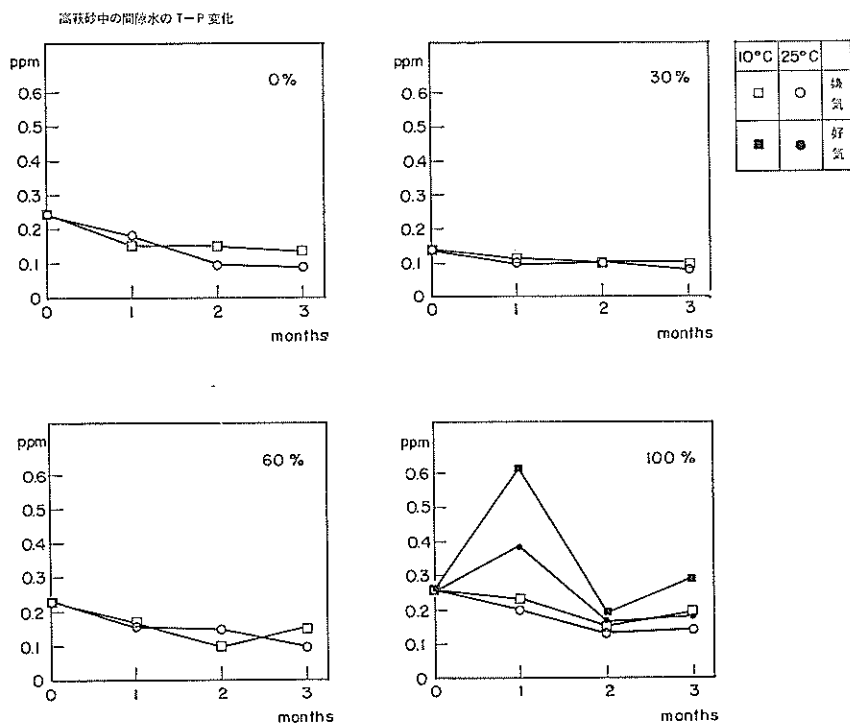


図-5.44 高萩砂中の間隙水の T-P 変化

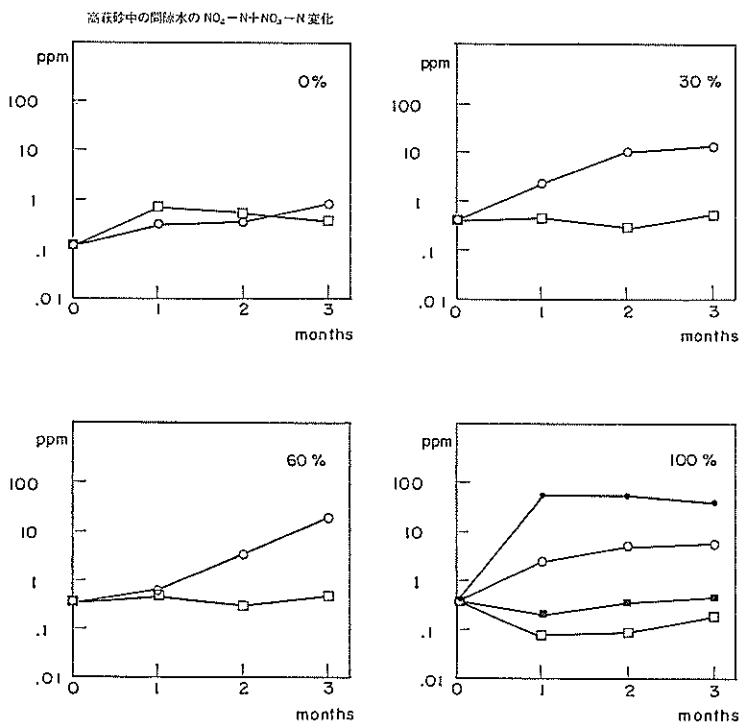


図-5.45 高萩砂中の間隙水の  $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$  変化

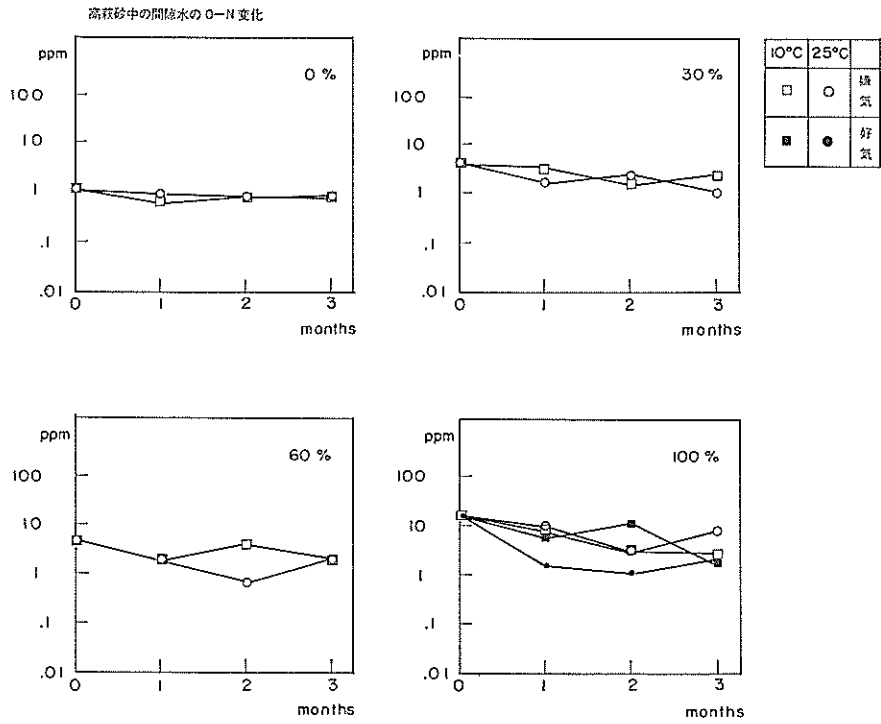


図-5.46 高萩砂中の間隙水の O-N 変化

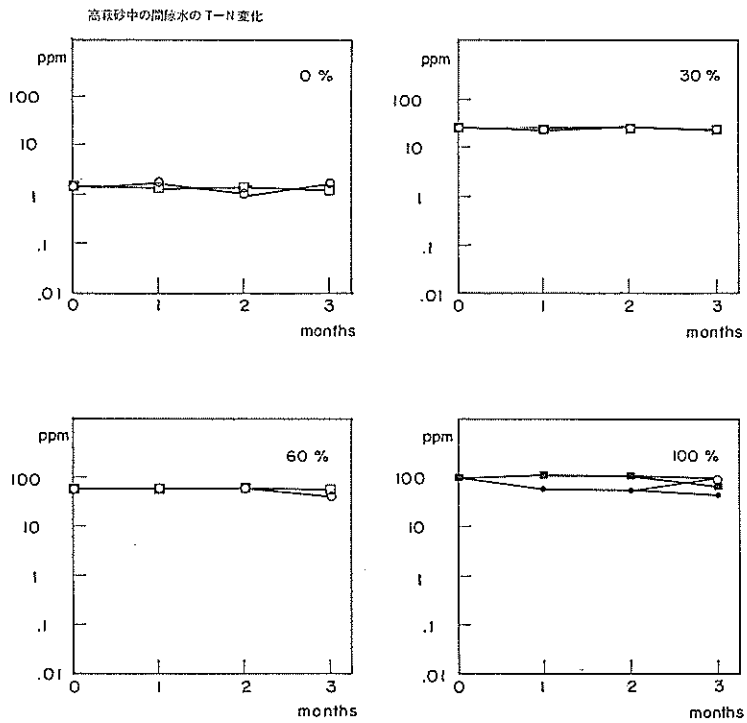


図-5.47 高萩砂中の間隙水の T-N 変化

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

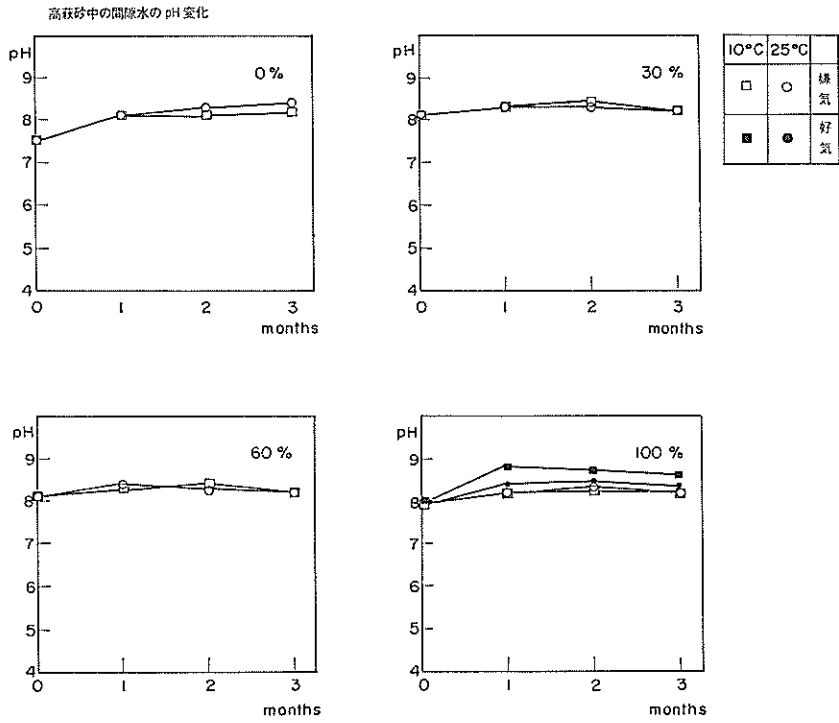


図-5.48 高萩砂中の間けき水の pH 変化

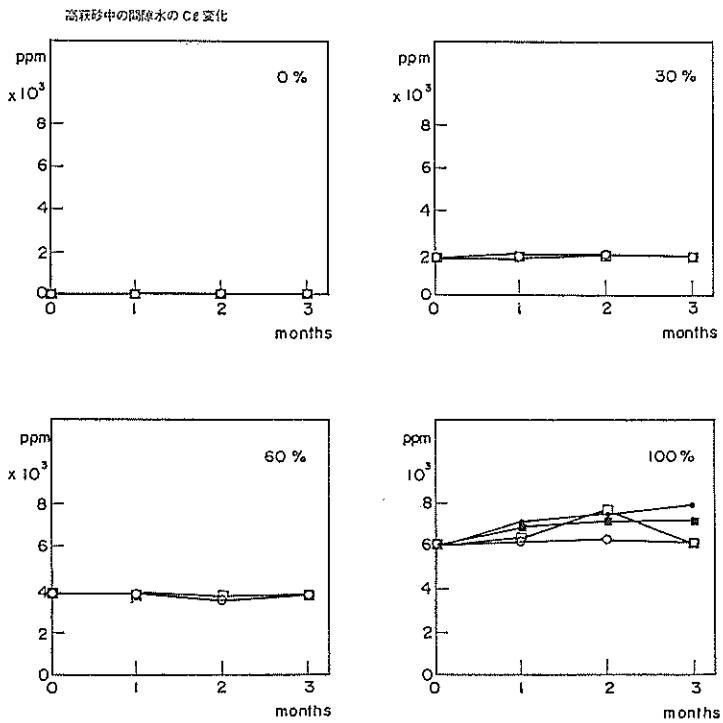


図-5.49 高萩砂中の間けき水の Cl<sup>-</sup> 変化

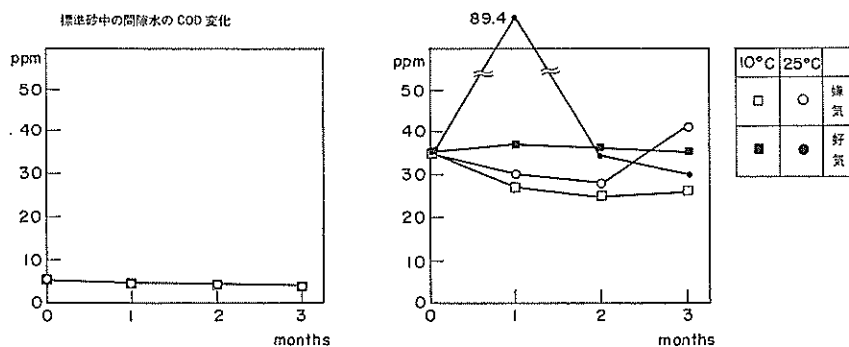


図-5.50 標準砂中の間隙水の COD 変化

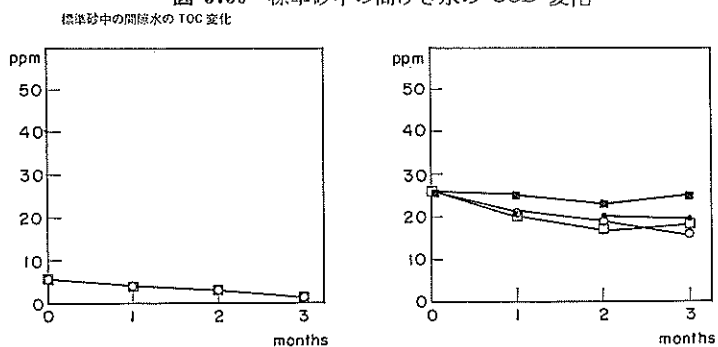


図-5.51 標準砂中の間隙水の TOC 変化

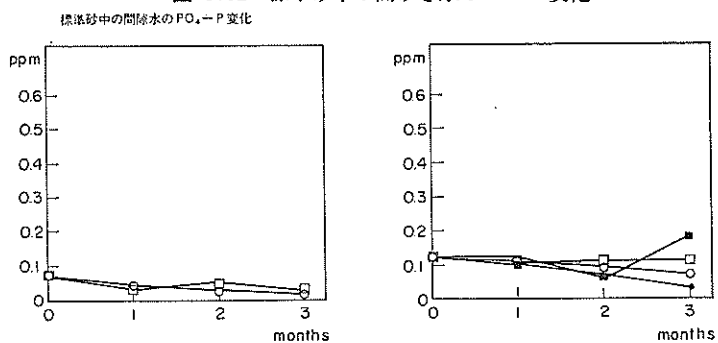


図-5.52 標準砂中の間隙水の PO<sub>4</sub>-P 変化

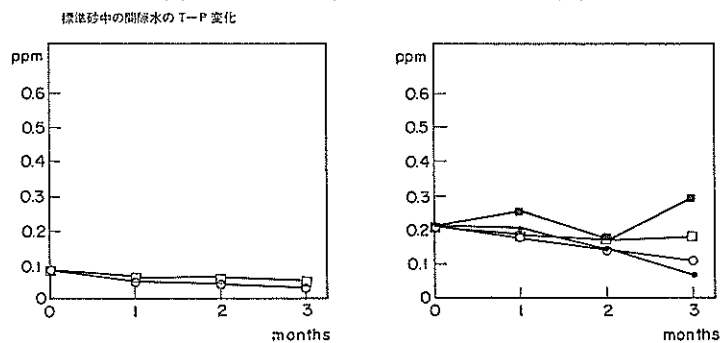


図-5.53 標準砂中の間隙水の T-P 変化

埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

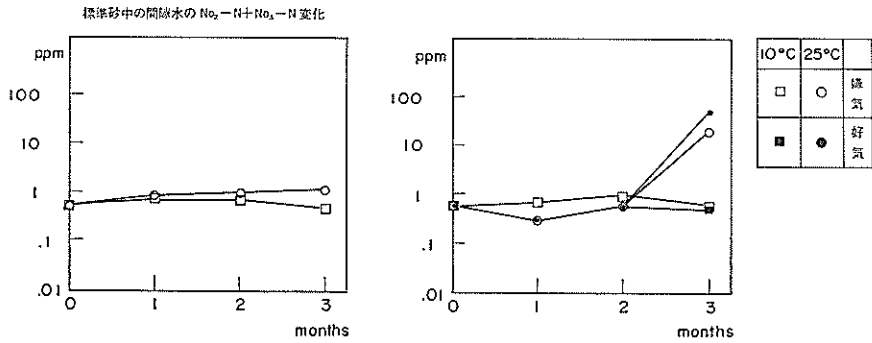


図-5.54 標準砂中の間けき水の  $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$  変化

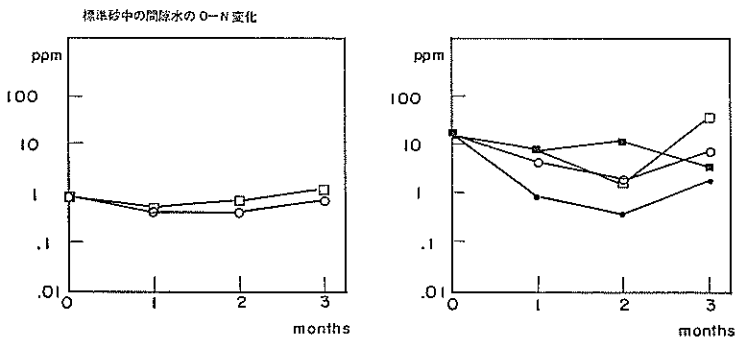


図-5.55 標準砂中の間けき水の O-N 変化

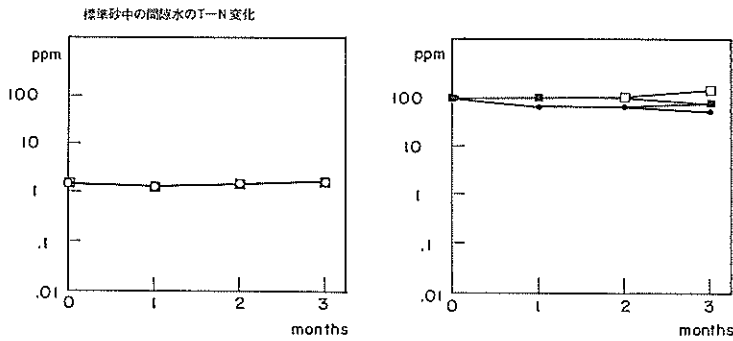


図-5.56 標準砂中の間けき水の T-N 変化

5.8 へどろ濃度と COD の相関実験

(1) 実験の目的

分解実験に用いたへどろは高濃度の有機物を含んでいるが、これをしゅんせつしたり埋立地に投入すればかなりの濁りが発生することが予想される。いままで、溶解性の有機物の吸着、ろ過、分解について調べてきたが、実際には懸濁粒子としての有機物が多量にあるものと考えられ、これを除去すれば、結果的に有機物を除去することができる。この懸濁物質濃度 SS と有機物濃度との関係を把握しておけば護岸や余水吐の設計に役立つ。

本実験は分解実験に利用したへどろを蒸留水で希釈し、その COD と SS、およびろ水の COD 濃度の関係を調べるものである。

(2) 実験方法と実験ケース

実験のフローチャートを図-5.57 に示す。実験は 500 cc 共栓付三角フラスコに蒸留水を入れ、その中に所定の濃度になるようにへどろを混入し、約 30 分振とう器で振とうする。ついでこの試水の COD と SS、およびろ水の COD を測定するものである。実験は懸濁物質濃度を数 ppm から約 2000 ppm までのケースについて行った。

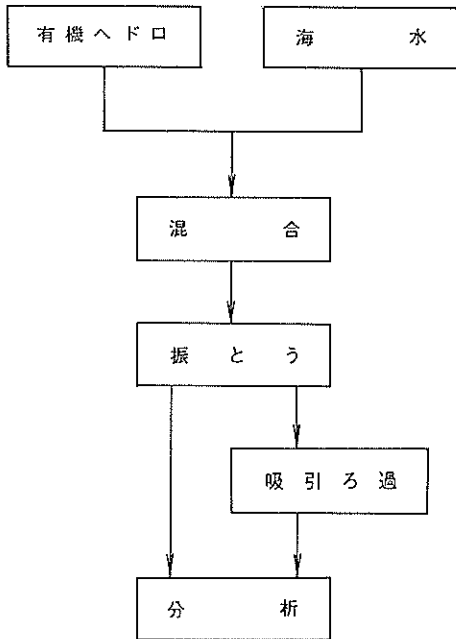


図-5.57 懸濁物質濃度 SS, COD 相関実験フローチャート

(3) 実験結果

実験結果を 表-5.20 に示す。これより、COD と SS

の関係を求めるに次式のような結果が得られた。

$$\text{COD (ppm)} = 0.079\text{SS (ppm)} - 0.40 \quad (5.6)$$

この結果は 図-5.58 に示すように東京湾で行われた現地調査の結果<sup>21)</sup>とほぼ一致している。COD と SS の関係は懸濁物質(へドロ)の種類によって異なると考えられるが、少なくとも都市型廃棄物が堆積したと考えられるへドロについては SS を完全に除去することにより、90% 以上の浄化効果を期待できると考えられる。

5.9 まとめ

有機物に対する護岸の浄化効果を調べるよめに、グルコースを用いたかく拌吸着実験およびろ過実験と、有機へドロを用いた分解実験を行った。その結果、つぎのようなことが明らかになった。

- 1) グルコースは粘土粒子にほとんど吸着しない。
- 2) 粘土懸濁液にシリカゲルを添加した場合、グルコースは 10% 程度の吸着がみられた。
- 3) 粘土懸濁液に活性炭を添加した場合、グルコースはかなり吸着され、適切な量を添加すれば 80~90% 以上のグルコースを吸着することが可能である。
- 4) グルコースを含む懸濁液を砂ろ過すると、グルコースは粘土粒子や添加剤に吸着した分のうち、砂中に留まったものだけろ過されると考えられる。
- 5) 実際の護岸にあてはめると、粒子として存在する

表-5.20 実験結果

へドロ設定濃度 (ppm)	○ (Blank)	2	20	200	2000	20000
分析項目						
COD (非ろ過) (ppm)	2.8	2.8	4.4	18.1	135	1350
COD (ろ過) (ppm)	2.6	2.6	2.6	2.8	4.1	11.4
SS (ppm)	1	3	22	230	1900	17000

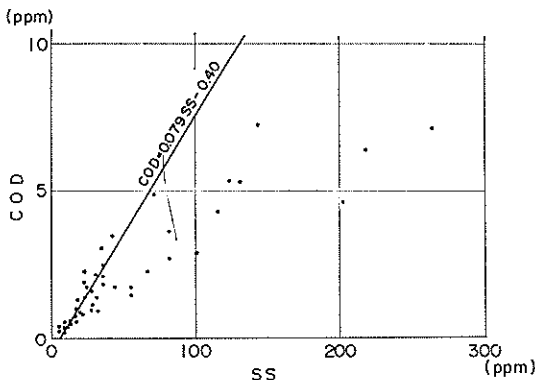


図-5.28 SS と COD の関係

有機物は砂ろ過が可能であるが、グルコースのように溶解性の有機物に対しては活性炭のような吸着剤の使用が必要であろう。

- 6) へドロそのものの分解実験では、有機へドロの分解はみられるがその量はわずかであり、3か月目の本実験では顕著ではなかった。ただし、毎日かく拌試料や高温放置試料の方が分解が早いようである。
- 7) 間引き水の分解実験では  $\text{NH}_4\text{-N}$  が  $\text{NO}_2\text{-N}$  および  $\text{NO}_3\text{-N}$  に酸化される傾向が顕著であった。そのため、見かけ上の COD が大きくなる結果となった。また、間引き水濃度や海水の影響は少ない。
- 8) 砂中間引き水実験の結果は、N の変化 ( $\text{NO}_2\text{-N} \rightarrow$



## 埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験的研究

NO<sub>3</sub>-N → 揮散)を除けば、開げき水の場合と基本的に変りはないが、少し吸着、溶出効果がみられる。

- 9) 有機へどろの SS 濃度と COD には直線的な相関関係があり、現地観測データでもほぼ近い値を示した。これより、懸濁物質として存在する有機物はほぼ完全に除去できると考えられる。

### 6. 結 論

護岸の止水性ろ過性に関する研究として裏込砂の浄化効果について室内実験を行った。実験にはできるだけ実際の護岸の条件をとり入れ、設計に役立てるように配慮した。実験は懸濁物質に対するろ過効果実験、重金属の粘土粒子への吸着実験、および有機物の吸着・ろ過・分解実験である。その結果を要約すると次のとおりである。

- 1) 通常裏込砂に利用されているような粒径の砂を用いると、粘土懸濁物質はほぼ完全にろ過される。ろ過効果には特に砂表面に発生する粘土膜の影響が大きく、砂層厚やヘッド差の影響は小さい。
- 2) 重金属は一部 pH や海水の影響を受けるが、一般に粘土粒子によく吸着され、粘土の種類、かく拌時間には影響されない。また、砂中に混在する粘土粒子にもよく吸着する。
- 3) 有機物は懸濁物質として存在することが多く、これをろ過することによって有機物を除去することができる。溶解性の有機物は粘土には吸着しないが、活性炭などの吸着剤を添加することにより吸着させることができる。また、実際の有機へどろの分解実験ではわずかに分解現象がみられたが、実験期間が短いことから明確な結論は得られなかった。

以上、裏込砂の浄化効果について室内実験で調べ、有意義な結果を得た。これらの結果を現地調査の結果や安定計算と合わせることにより、合理的な護岸の設計が可能になると考える。

### 7. あとがき

護岸の懸濁物質、重金属、および有機物に対する浄化効果について室内実験を行った。その結果、護岸の裏込砂や中詰砂による浄化効果が期待できることがわかった。その浄化効果は、護岸の構造、砂の種類、有機物の種類により異なると考えられるが、今後、現地調査の結果等合わせて、安全かつ経済的な護岸の設計にいくらか

でも役立てば幸いである。

本実験は昭和 52~54 年度にわたって、埋立護岸開発 W.G. の要請を受けて行ったもので、メンバーの方々には有意義な意見をいただいた。また、有機へどろの採取は横浜市港湾局の、裏込砂の調査や粘土の採取は各工事事務所の温かい協力を得た。ここにあわせて深く感謝の意を表する次第である。最後に、実験およびデータの整理においては現第二港湾建設局八戸港工事事務所勤務(前基礎工研究室員)篠原邦彦君の尽力が大きかったことを付記しておく。なお、本実験のうち、重金属および有機物の分析は新日本気象海洋(株)に委託した。

### 参 考 文 献

- 1) 岩崎富久: 濾過阻止率の計算, 土木学会誌 24 巻 8 号, 昭和 13 年 8 月
- 2) 佐藤敦久, 谷口 元: 急速砂ろ過の濁質除去に関する基礎的研究, 水道協会誌, 第 398 号, 昭和 42 年 11 月, pp. 30~39
- 3) 佐藤敦久: 最近のろ過理論, 用水と廃水, Vol. 11 No. 4, 1969, pp. 261~267
- 4) 丹保憲仁, 小笠原紘一: 砂ろ過の抑留機構に関する研究 (I), 水道協会誌 No. 458, 昭和 47 年 11 月, pp. 2~9
- 5) 丹保憲仁, 小笠原紘一, 他: 砂ろ過の抑留機構に関する研究 (II), 水道協会誌, No. 484, 昭和 50 年 1 月, pp. 2~25
- 6) 佐藤敦久: 砂ろ過の原理, 工業用水, No. 227, 昭和 52 年 8 月, pp. 18~26
- 7) 角田省吾: マイクロフロックろ過の研究の現状, 工業用水, No. 227, 昭和 52 年 8 月, pp. 18~26
- 8) 柳瀬 晃: ろ過施設における設計上の問題点, 用水と廃水, Vol. 11, No. 4, 1969, pp. 268~270
- 9) 村上 健, 竹石和夫: ヘドロの除去処分に伴う重金属類, PCB 等の挙動について, 港湾技術要報 No. 78, 1977 年 3 月, pp. 113~128
- 10) 吉田龍夫, 生垣吉計: 水俣湾水銀汚染底質の挙動に関する研究, 港湾技術要報, No. 78, 1977 年 3 月, pp. 153~165
- 11) 青山 勲, 井上頼輝, 橋本徳照: 河川中における微量重金属の物理化学的存在形態に関する研究, 水処理技術, Vol. 17, No. 9, 1976, pp. 17~27
- 12) 中村文雄, 酒井道則: 懸濁物質から水中への重金属溶出に関する研究, 用水と廃水, Vol. 19, No. 11, 1977, pp. 53~62
- 13) 寺島 泰, 菅原正孝, 鈴木秀男: 水中重金属の底質への移行機構について, 水質汚濁研究, Vol. 2, No. 2, 1979, pp. 23~30
- 14) 楠本正康, 八木 博, 他: 東京湾ごみ埋立処分地の土壌と浸出水の性状ならびに浸出水の土壌による処理に関する研究 (第 1 報), 公害と対策, Vol. 15, No. 9, 昭和 54 年 6 月, pp. 33~40

門司剛至

- 15) 福永 勲, 宇野源大, 石井隆一郎: 河川底質沈殿物と河川汚濁対策について, 水処理技術, Vol. 14, No. 1, 1978, pp. 15~30
- 16) 古土井光昭, 片山猛雄: 残留水位測定調査, 港湾技研資料, No. 115, 1971年3月
- 17) 楠田哲也, 古賀憲一, 栗谷陽一: 塩水中における粘土粒子の凝集, 用水と廃水, Vol. 20, No. 3, 1978年
- 18) 最上式雄編: 土質力学, 土木学会, 1969年4月, pp. 3~22
- 19) 岩井重久, 北尾高嶺, 他: 湖沼底質のカドミウム吸着とその支配因子, 水質汚濁研究, Vol. 2, No. 1, 1979, pp. 20~26
- 20) 松井 弘: 吸着工学要覧, 1977年8月, pp. 54~56
- 21) 運輸省第二港湾建設局: 東京湾底質浄化調査報告書, 昭和54年3月, pp. 23~27