

# 港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 564      Sept. 1986

間隙水中の塩分が粒度試験結果に及ぼす影響について

小 川 富美子  
石 井 一 郎

運輸省港湾技術研究所



# 目 次

要 旨	3
1. はじめに	3
2. 現行の沈降分析法の問題点	4
2.1 粒子の沈降に関する Stokes の法則	4
2.2 粒度分布の測定方法	4
2.3 沈降分析法による海成粘土の粒度試験の問題点	5
3. 比重浮ひよう測定法を用いた粒度試験	7
3.1 使用した海成粘土	7
3.2 塩分を調整した試料の粒度試験方法	9
3.3 塩分濃度を調整した水の比重試験	12
4. 粒度試験結果に及ぼす塩分濃度の影響	13
4.1 懸濁液の塩分濃度と粒度試験結果	13
4.2 自然試料と脱塩試料の粒度試験結果	20
4.3 自然試料, および調整粘土の物理定数と塩分濃度の関係	23
4.4 塩分が土の質量百分率に及ぼす影響	25
5. 塩分濃度を考慮した粒度試験方法	27
5.1 脱塩試料の許容塩分濃度	27
5.2 必要脱塩回数の設定	29
6. ま と め	29
参 考 文 献	30
記 号 一 覧 表	30

## Influence of Pore Water Salinity on Grain Size Analysis of Soils

Fumiko OGAWA\*  
Ichiro ISHII\*

### Synopsis

The sedimentation analysis with the hydrometer method were carried out to study the influence of pore water salinity on the grain size analysis of marine clays.

From results of a series of tests, it was clarified that the fine-grain-soil content was underestimated due to the flocculation of soil particles in the suspension. Further, it was made clear quantitatively that errors were introduced in the calculating process, because the water is assumed distilled water, not saline water and specific gravity of suspension with salinity is different from that used in calculation,

These influences became larger with the increase of salinity. However, they may be neglected when the salinity is less than a particular value. It was estimated that this value was 0.7-0.8‰ from the test results. The desalting method to satisfy that level was examined.

On the basis of these results, the authors proposed the desalting method of which process could be predetermination from the natural water content and the plasticity index of the specimen.

---

\* Member of Soil Investigations Laboratory, Soils Division

# 間隙水中の塩分が粒度試験結果に及ぼす影響について

小川 富美子\*  
石井 一郎\*

## 要 旨

海成粘土中に含まれる塩分が、粒度試験結果に及ぼす影響を調べるため、人為的に塩分濃度を調整した試料の比重浮ひょう測定法による粒度試験を実施した。

一連の粒度試験結果から、試料中の塩分の影響により土粒子が凝集して沈降するため、細粒分の過小評価を招くことが明らかになった。また、塩分による懸濁液の比重増大が、質量百分率の計算に反映されないことによる試験誤差が確認された。

これらの影響は塩分濃度とともに大きくなるが、ある限界塩分濃度以下では実用上無視できる。この限界の塩分濃度を、希釈により脱塩を行った海成試料の粒度試験結果から考察し、0.7～0.8%と想定して脱塩方法を検討した。その結果にもとづいて、試料の自然含水比、および塑性指数に対応した粒度試験法を提案した。

## 1. はじめに

土は、たくさんの土粒子の集合体である。土を構成する土粒子の大きさを知ることは、土の特性を調べるために必要なことからの一つである。土粒子の大きさを表すのに、普通、粒径という概念が用いられる。これは、土粒子の形状を完全な球と仮定したときの仮定の直径で、砂、シルト、粘土などの粒径区分や、砂や礫などの粗粒土の土質分類などに用いられている。また、土粒子をその粒径によって分けしたときの分布状態を粒度あるいは粒径分布という。土の粒度特性は、土の力学的特性や塑性指数などの他の物理的な性質とも密接に関係している<sup>1)</sup>。

土粒子の粒径の分布状態すなわち土の粒度を求めるために行う試験を、土の粒度試験または粒度分析という。粒度試験は、基本的な土質試験の一つであり、一般的な土質調査を行う際には必ずといってよいほど行われている。粒度試験には、ふるい分析法と沈降分析法の二種類があり、粒径が74 μmより大きな試料(粗粒分)の粒度分布は前者により、74 μmより小さな試料(細粒分)の粒度分布は後者によって求める。

沈降分析法は、土粒子をはじめとして他のいろいろな粒体の大きさを測定する方法の一つである。これには、比重浮ひょう法、ピペット法、光透過法などの方法があ

るが、いずれも原理的には静水中を土粒子が沈降する速度とその粒径との関係を規定するStokes(ストークス)の法則を利用するものである<sup>2)</sup>。土の粒度試験方法は、JIS A-1204<sup>3)</sup>に規格として定められており、JISでは比重浮ひょうによる沈降分析法が用いられている。比重浮ひょうによる測定方法を用いて、海底表面に堆積する底質土、浚渫細粒土あるいは海成粘土の粒度試験を行う場合、間隙水中に含まれる塩分の影響により土粒子は互いに凝集して早く沈降してしまう。したがって、JISに定められたとおりに試験を行うと粒径を過大に測定する結果となり、粒度試験の誤差の要因の一つになっている。

もし、このような誤差が生じた場合、地盤を構成する土が砂質土なのかあるいは粘性土なのかという工学的な判断を誤る恐れがある。また、砂分が多い粘性土の一軸圧縮強さを、対象とする土の粘土含有量を用いて補正をする<sup>4)</sup>場合、沈降分析法において粘土含有量を過小に見積もると、補正した一軸圧縮強度が過大となる危険性がある。このように粒度試験結果は、単に土の粒度を求めるだけでなく、試験結果の工学的な利用の面からも、その精度を向上することが強く望まれている。そこで、海成粘土について粒度試験を実施し、試験結果に及ぼす塩分の影響について調べ、これらの結果から塩分の影響を排除した粒度試験方法について検討を行った。

\* 土質部 土質調査研究室

## 2. 現行の沈降分析法の問題点

### 2.1 粒子の沈降に関する Stokes の法則

粘土粒子のように粒径の小さい土粒子の粒度試験は、沈降分析法によって行う。この方法は、土粒子が静水中を沈降する速度が粒径によって異なるという Stokes の法則を利用するものである。

さて、1個の球が静水中を沈降するとき、水の粘性によって球に抵抗力が作用する。この粘性抵抗力  $R$  は、Stokes の法則によると次式で表される。

$$R = 3\pi\eta dv \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

- $R$  : 水の粘性抵抗力
- $\eta$  :  $T^\circ\text{C}$ における水の粘性係数
- $d$  : 球の直径
- $v$  : 沈降速度

一方、その球には重力と水による浮力が作用し、その差が重力方向に働く。すなわち、

$$f = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_s - \rho_w) g \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

- $f$  : 球に作用する力
- $\rho_s$  :  $T^\circ\text{C}$ における球の密度
- $\rho_w$  :  $T^\circ\text{C}$ における水の密度
- $g$  : 重力加速度

この球が静水中で沈降を開始すると、速度が増すにつれて式(1)で示したように水から受ける粘性抵抗力  $R$  が増加し、やがて抵抗力  $R$  の大きさが重力の大きさ  $f$  と一致して等速度で沈降していくようになる。このときの球の沈降速度  $v$  は、式(1)および(2)から、

$$v = \frac{(\rho_s - \rho_w)gd^2}{18\eta} \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。すなわち、球の静水中における沈降速度はその粒径の2乗に比例する。これを粒子の沈降に関する Stokes の法則という。

ところで、粘土粒子をはじめとする土粒子は、完全な球ではなく板状の平らで複雑な形をしている。したがって、Stokes の法則に基づいて沈降分析法で求める粒径は、静水中を土粒子が沈降するときこれと同じ沈降速度を有する球の直径（これを Stokes 径という）であり、細粒土の粒径は、すべてこれで表現する。また、Stokes の法則が成立するのは、流体の流れが層流領域であるときであり、土粒子比重  $G_s = 2.65$  程度の粘土粒子の場合、

Stokes 径  $100\ \mu\text{m}$  前後の粒径までは測定可能<sup>5)</sup>とされている。

### 2.2 粒度分布の測定方法

沈降分析法では、土粒子の沈降速度のかわりに、メスシリンダー内に分散させた土の懸濁液の土粒子の沈降にともなう濃度変化を、比重浮ひょうを用いて検出することによって、その粒径分布を求める。

図-1(a)に示したように、懸濁液をメスシリンダーに均一に分散させた状態（時間  $t=0$ ）では、懸濁液のどの部分でも（粒径の異なる）土粒子の分布状態すなわち密度は一定である。次に時間  $t$  の経過にともなって、土粒子が沈降を始めると、図-1(b)、(c)に示すように液面から深さ  $z$  の位置においては、 $v = z/t$  よりも大きな沈降速度をもつ土粒子は、すべて  $z$  面を通過してしまう。

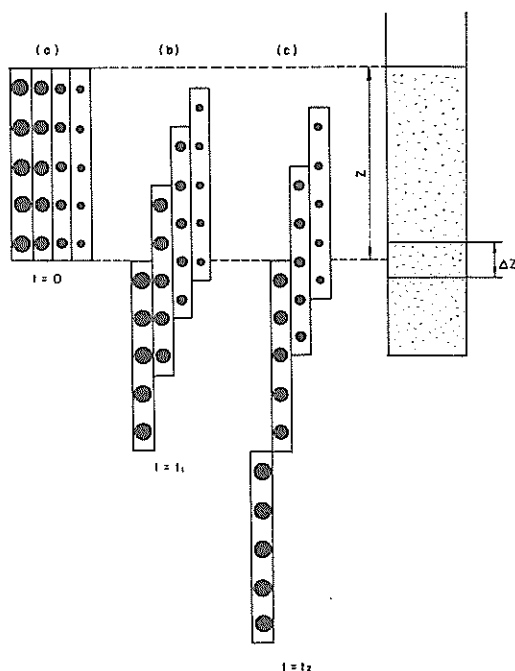


図-1 沈降分析法による粒径測定原理

この場合の土粒子の粒径  $d$  は、式(3)より

$$d = \sqrt{\frac{18\eta}{(\rho_s - \rho_w)g} \cdot \frac{z}{t}}$$

$$= \sqrt{\frac{18\eta}{(G_s - 1)\gamma_w} \cdot \frac{z}{t}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

$G_s$  :  $T^\circ\text{C}$  の水に対する土粒子の比重

$\gamma_w$  :  $T^\circ\text{C}$  における水の単位体積重量

$z$  : 液面からの深さ

$t$  : 沈降開始後の経過時間

で表される。したがって、時刻  $t$  で  $z$  よりも浅いところには、式(4)で示される  $d$  よりも大きな粒径の土粒子は存在しえない。他方、粒径  $d$  以下の土粒子については、厚さ  $\Delta z$  のきわめて薄い層における土粒子の出入りは確率的に等しいから、深さ  $z$  における粒径  $d$  以下の土粒子の濃度は不変である。このように、時刻  $t$  における深さ  $z$  での懸濁液の濃度は、それが沈降開始時の初期状態における粒径  $d$  以下の土粒子の濃度に等しい<sup>6)</sup>。この濃度を測定するかわりに、比重浮ひょうを用いて深さ  $z$  における懸濁液の比重すなわち懸濁液の密度を測定することにより、粒径  $d$  以下の土粒子の全体に対する質量百分率  $P$  を次のようにして求めることができる。

懸濁液の体積を  $V$ 、懸濁させた全土粒子質量を  $m_{so}$  とすると、懸濁液単位体積中の粒径  $d$  以下の土粒子の質量  $Pm_{so}/(100V)$  であり、その占める体積は  $Pm_{so}/(100VG_s\rho_w)$  である(ただし、 $G_s\rho_w$  は土粒子の密度)。一方、残りの部分である水の体積は  $1 - Pm_{so}/(100VG_s\rho_w)$  であるから、懸濁液の密度  $\rho_f$  は

$$\rho_f = \frac{Pm_{so}}{100V} + \left(1 - \frac{Pm_{so}}{100VG_s\rho_w}\right) \rho_w \dots (5)$$

ここに、

$\rho_f$  : 懸濁液の密度

$P$  : 粒径  $d$  以下の土粒子の全体に対する質量百分率

$m_{so}$  : 懸濁させた全土粒子質量

$V$  : 懸濁液の体積

となる。式(5)より、粒径  $d$  以下の土粒子の全体に対する質量百分率  $P$  は、

$$P = \frac{100}{m_{so}/V} \cdot \frac{G_s}{G_s - 1} \cdot \left(\frac{\rho_f}{\rho_w} - 1\right) \cdot \rho_w \dots (6)$$

となる。

したがって、任意の時刻  $t$  ごとに比重浮ひょうを懸濁液中に挿入すると、比重浮ひょうの重心位置での懸濁液の比重すなわち懸濁液の密度  $\rho_f$  を簡単に読み取ることができ、式(4)から求まる粒径  $d$  を、また式(6)から粒径  $d$  以下の小さな土粒子の質量百分率  $P$  を計算することができる。これが比重浮ひょうを用いた沈降分析法の原理である。

### 2.3 沈降分析法による海成粘土の粒度試験の問題点

細粒土の沈降分析を行う場合、Stokesの法則が成立することを前提として、土粒子の粒径分布を間接的に求める。このStokesの法則は、一個の球が無限に広い液体中を沈降すると仮定したものであるが、土粒子は球形ではないこと、おのおの土粒子の比重は必ずしも等しくないこと、多くの土粒子がいっせいに落下し互いに干渉し合うことなど、実際の試験とStokesの法則の仮定とは一致しないことのほうが多い。したがって、Stokesの仮定に近い状態で沈降分析を行うことが試験の精度を上げるうえでのポイントとなる。このため、沈降分析を

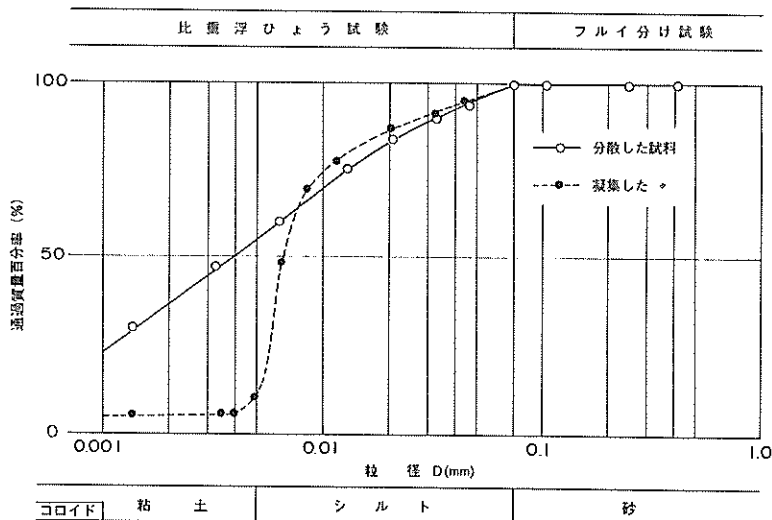
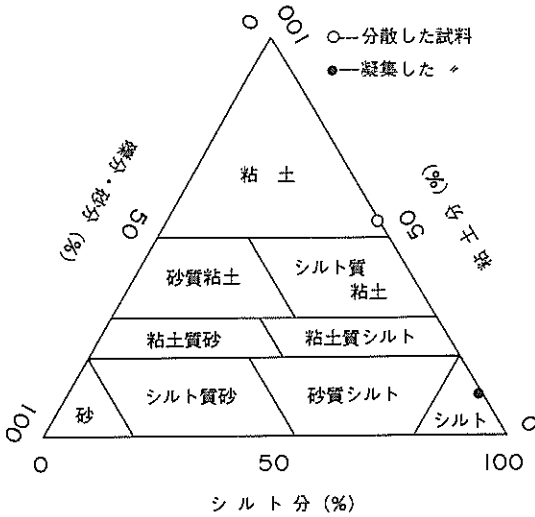


図-2 ある海成粘土の粒度試験結果(粒径加積曲線)



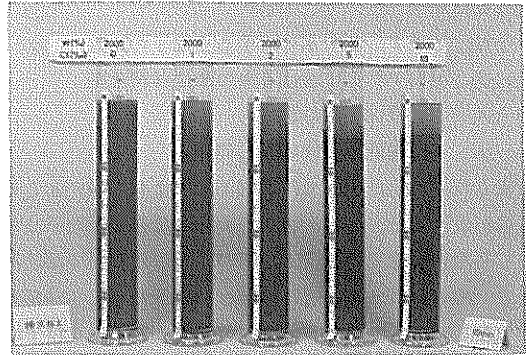
(ミシシッピー河管理委員会方式)

図一三 ある海成粘土の粒度試験結果(三角座標)

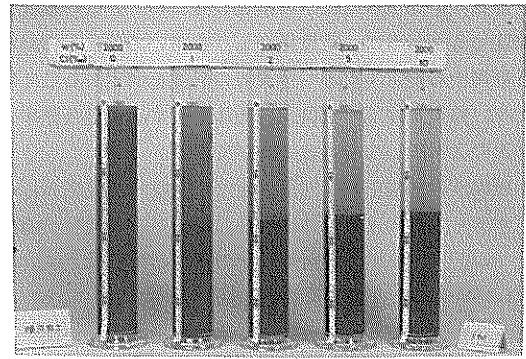
行う前に互いに固結した土粒子を分離させることが必要で、また、試験中にそれらが再び結合していわゆる綿毛化をおこさないように、土粒子の分散を行うことが最も大切である。

図一2, 3は、ある海成粘土試料に対して行った粒度試験結果を図示したものである。図一2は、横軸に粒径を対数目盛でとり、縦軸にそれぞれの粒径よりも細かなものの質量百分率を表した粒径加積曲線である。図一3は、土を粒径範囲によって粘土分、シルト分、砂礫分の3成分に区分し、正三角形の3辺を各成分の質量百分率で表した座標(これを三角座標という)面をいくつかの領域にわけて土の分類名を付けたもので、ミシシッピー河管理委員会方式による三角座標と呼ばれるものに、この粒度試験結果をプロットしたものである。これらの図からわかるように、土粒子がよく分離され、Stokesの仮定に近い状態で沈降分析が行われた場合と、土粒子が凝集した場合とでは、粒度試験結果に大きな違いが生じている。

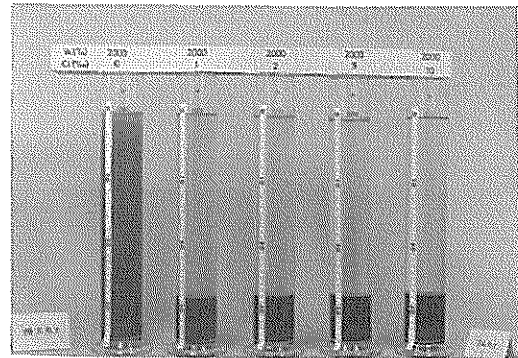
懸濁液中の土粒子の凝集には、液に含まれる塩分が重要な役割を果たす。写真一1(a)~(c)は、ある海成粘性土試料の沈降分析を行う際に、懸濁液に海水を加えることによってその塩分濃度を变化させた場合の土粒子の沈降状態を、時間変化とともに示したものである。これは、十分に脱塩し分散させた粘土を乾燥質量で50g相当取り、これに海水を加えて、懸濁液の塩分濃度がそれぞれ0, 1, 2, 5, 10%になるように調整したのち、容積



写真一1(a) 液状粘土の沈降 (15分)



写真一1(b) 液状粘土の沈降 (1時間)



写真一1(c) 液状粘土の沈降 (24時間)

1000mlのメスシリンダーに入れて同時に1分間振とうさせて静置し、15分、1時間、24時間経過後の土粒子の沈降状態を調べたものである。写真一1(a)~(c)から、懸濁液中に塩分が含まれていると土粒子が互いに凝集してフロックを形成し、土粒子の沈降速度が早くなっていることがわかる。

JISに規定されている沈降分析法に準じて海成粘土の粒度試験を行う場合、粘土の間隙水中に含まれる塩分を除去することなく沈降分析を行うため、この塩分の影

響により懸濁液中で土粒子がフロックを形成して凝集してしまふ。その結果、土粒子の沈降速度が早くなり、粒径を大きく測定してしまうことになる。そこで、間隙水中に含まれる塩分が粒度試験に与える影響を調べるため、比重浮ひょうを用いた沈降分析法による粒度試験を実施した。以下、これらについて詳しく述べることにする。

### 3. 比重浮ひょう測定法を用いた粒度試験

海成粘土の間隙水中に含まれる塩分が、粒度試験結果に及ぼす影響を調べるため、人為的に懸濁液の塩分濃度を調整した試料、自然試料、ならびに自然試料から塩分を除去した脱塩試料について比重浮ひょう測定法による粒度試験を行った。

また、塩分濃度を調整した水の比重を測定し、海成試料を用いた比重浮ひょう測定用の懸濁液に、試料中の海水が加わることによる影響を調べた。

#### 3.1 使用した海成粘土

粒度試験に使用した試料は、横浜港、大阪湾、錦海湾などの28の海成試料である。これらの試料は、粒度試験の試験条件によって、異なった用い方をしているので、粒度試験を行うさいの試料の初期条件によって区別し、調整粘土、自然試料、脱塩試料の3種に大別した。

調整粘土とは、特定の土質調査地区から採取した海成粘土を、試料の深さとは無関係に比較的均質と思われるものを選択して人為的に作製した混合試料である。

また、自然試料は、土質調査試料として採取された、採取位置、試料番号、深さが明確な単一試料であり、塩分の調整は行っていない。それに対して脱塩試料とは、前述の自然試料の間隙水中に含有した塩分を、ある範囲まで人為的に除去した試料をいい、今回は1試料について、試料の塩分含有量が採取時と変化がないと考えられる自然試料と、塩分がある程度まで除去された脱塩試料とについて粒度試験を行っている。

使用した海成試料は、3種類の調整粘土（横浜調整粘土、大黒調整粘土、および錦海調整粘土）、25種類の自然試料、ならびに、25種類の脱塩試料である。

これらの試料の特性については以下のとおりである。また試料の中で横浜調整粘土については、特別の処理を行っている。

横浜調整粘土は、横浜港から採取した浚渫土である。その物理特性を表一1に、塑性図、三角座標中にプロットした分類特性をそれぞれ図一4、図一5に、粒径加積曲線を図一6に示す。

試料は、まず蒸留水を加えながら、土粒子の固結がないよう充分にねり返した後、均質にするため2000 $\mu$ mのふるいによって、礫、貝などを除いた。

今回の粒度試験では、懸濁液の塩分濃度を調整し、いろいろな濃度の試料を作成して試験を実施する。そこで、あらかじめ粘土の間隙水中に含まれている塩分を取り除くことが必要であるため、脱塩作業を次のような方法で行った。

表一1 調整粘土の物理特性

試料名		横 浜 錦 海 大 黒			
		横 浜	錦 海	大 黒	
土粒子の比重	$G_s$	2,674	2,693	2,640	
特 性 指 数 性	液性限界	$w_L$ (%)	85.4	96.3	131.1
	塑性限界	$w_p$ (%)	41.3	33.7	45.4
	塑性指数	$I_p$	44.1	62.6	85.7
	分 類	塑性 図	CH	CH	CH
粒 度 組 成	礫 分	(%)	0	0	0
	砂 分	(%)	4.0	0.6	0
	シルト分	(%)	50.5	37.6	26.7
	粘土分	(%)	45.5	61.8	73.3
	コロイド分	(%)	22.0	34.0	39.2
分 類	三角座標	F	F	F	



塑性図

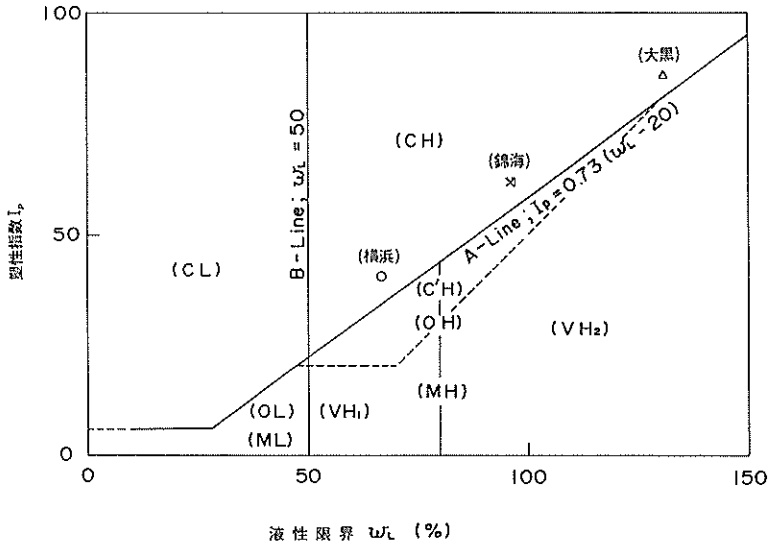


図-4 調整粘土の塑性図

ねり返した粘土を20lのポリ容器に入れ蒸留水で満たす。次にハンドスコープで充分に攪拌した後静置する。土粒子が沈殿した後、上澄み液を静かに流す。この操作を5~6回繰り返した。

脱塩した粘土を、含水状態を均一にしてプラスチック容器に分けて入れ、含水比を測定して湿気箱中に保管した。測定した横浜調整粘土の含水比は、113%であった。

大黒調整粘土は、横浜港大黒ふ頭沖で、錦海調整粘土は、岡山県錦海湾で、また25の自然試料および脱塩試料は、大阪湾、横浜港、尼ヶ崎港、久里浜野外実験場などから採取したものである。これらの試料中、横浜、大黒、錦海の調整粘土、および22の自然試料、脱塩試料は沖積試料であり、自然試料、脱塩試料の残り3試料は大阪湾から採取した洪積試料である。

大黒、錦海の調整粘土の物理特性を表-1に、塑性図、三角座標、粒径加積曲線をそれぞれ図-4、図-5、図-6に示した。使用した25の自然、および脱塩試料は粘土含有量が15%~76%の範囲の細粒土である。

今回粒度試験を行った、表-1の調整粘土、およびその他の海成試料の土粒子の比重 $G_s$ は、試料中の塩分、および有機物質を可能な範囲まで除去し測定した値である。

これらの試料は、いずれも過去に土質調査を目的として採取され、土質試験終了後プラスチック容器に入れて

実験室内に保管されたものである。したがって試料は採取後半年から7~8年経過しており、当然含水状態は変化しているが試料中の塩分含有量は一定と考えられる。今回の粒度試験に先立ち、これらの試料に蒸留水を加えながらへらでねり返しを充分に行って土粒子の団粒、固結がないように分散を行った。また、供試料の均質化をはかるため、試料中の貝殻や礫を除去し大黒粘土は74

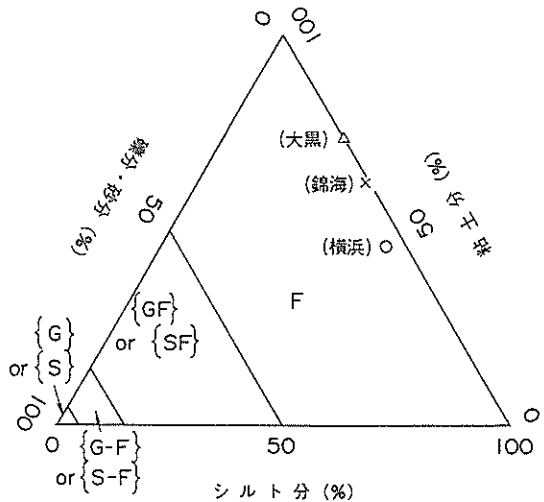
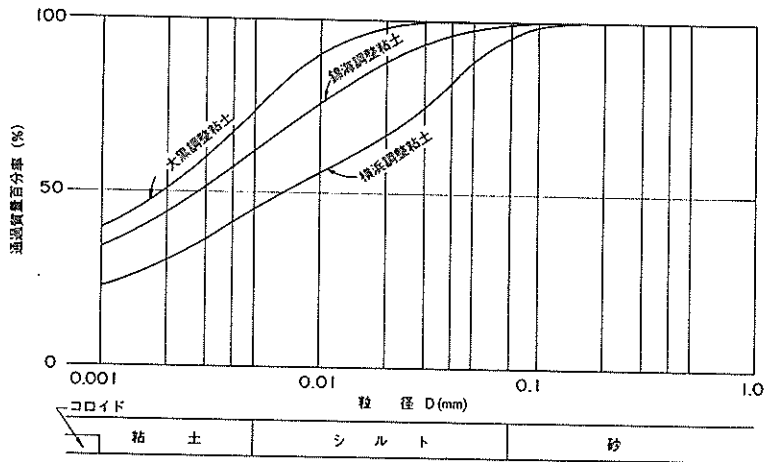


図-5 調整粘土の三角座標



図一六 調整粘土の粒径加積曲線

$\mu\text{m}$  ふるい、錦海粘土は  $2000\ \mu\text{m}$  ふるいで裏ごしを行い、粒度を調整した。25の自然および脱塩試料については粒度の調整を行っていない。次に、調整した粘土については粒度および含水状態が一樣になるよう混ぜ合わせた後、それぞれ含水比を測定してプラスチック容器に入れ湿気箱中に保管した。このとき測定した調整粘土の含水比は、大黒調整粘土140%、錦海調整粘土106%であった。

今回の粒度試験試料の中で、試料を作製する段階で脱塩を行ったのは、横浜調整粘土のみであり、その他の試料については脱塩を行っていない。

### 3.2 塩分を調整した試料の粒度試験方法

粒度試験に使用した試験用具(はかり、分散装置、比重浮ひょう、メスシリンダー、温度計、ふるいなど)、および基本的な試験方法は、日本工業規格 JIS A 1204 土の粒度試験方法<sup>4)</sup>に準じている。ただし、今回は供試

料の塩分濃度を種々変化させて試験を行っている。したがって、通常の粒度試験操作の他に供試料の準備段階において、海水を加えたり、逆に試料中の塩分を除去する試験操作が加わった。

#### (1) 試験条件

今回行った粒度試験は、横浜、大黒、錦海の3種の調整粘土について、懸濁液の塩分濃度を10段階前後に人為的に調整し、それぞれについて粒度試験を行った。その他の25の海成試料は、2種類に分類される。すなわち、1種類は塩分を含有した自然試料で、他は試料条件に係わりなく一律に3回の脱塩を行った脱塩試料である。

今回行った各種の粒度試験の試験条件を懸濁液の条件とともに表一2、表一3に示す。

#### (2) 試験方法

概略の粒度試験方法を、試験の手順に従って述べる。

表一2 調整粘土の粒度試験条件

試料名	懸濁液条件			試験条件						
	塩分調整			土粒子		分散剤使用量(ml)		煮沸方法		攪拌 時間 (分)
	調整方法	脱塩回数	塩分濃度 または段階	質量 (g)	過酸化水素6% 溶液	ヘキサメタリン酸ナトリウム4% 溶液	器具	時間 (時)		
横浜調整粘土	海水混合		(%) 0.5~10.0	50	100	20	ガスこんろ	2	1	
大黒調整粘土	希釈	0~7	10段階	50	100	20	ガスこんろ	2	1	
錦海調整粘土	希釈	0~7	10段階	50	100	20	ガスこんろ	2	1	

表一三 自然試料，脱塩試料の粒度試験条件

試料種別	懸濁液条件			試験条件					
	塩分調整			土粒子	分散剤使用量 (ml)		煮沸方法		攪拌
	調整方法	脱塩回数	塩分濃度段階	質量 (g)	過酸化水素6%溶液	ヘキサメタリン酸ナトリウム4%溶液	器具	時間 (時)	時間 (分)
自然試料	なし	0	1	50	100	20	ガスこんろ	2	1
脱塩試料	希釈	3	1	50	100	20	ガスこんろ	2	1

a) 供試料の質量測定

3.1によってねり返した各試料の含水比  $w$  から粒度試験方法に規定された乾燥試料の質量 50 g に相当する湿潤試料の質量を，次式にもとづいて決定した。

$$M = \left(1 + \frac{w}{100}\right) \times m_s \quad (\text{g}) \dots\dots\dots (7)$$

- ここに，  $M$  ; 湿潤試料の質量 (g)
- $w$  ; 湿潤試料の含水比 (%)
- $m_s$  ; 乾燥試料の質量 (g)

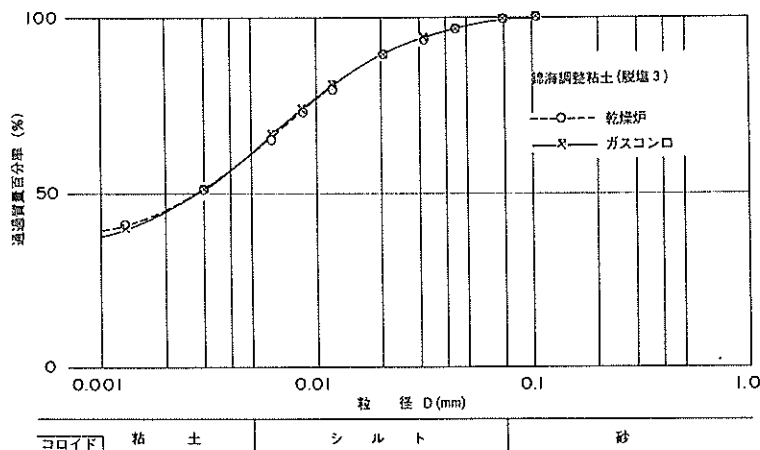
b) 懸濁液の作成

質量を測定した湿潤試料を蒸留水で洗いながら 500 ml ビーカーにあけかえ，過酸化水素の 6% 溶液を 100 ml 加える。今回はこの時点での懸濁液容量を蒸留水を加減して 300 ml とした。この理由は，懸濁液の過酸化水素濃度を一定とし，一連の粒度試験を行うさいの試料条件を同一にするためである。

c) 煮沸

土粒子の比重試験，および粒度試験においては，その試験の行程の中で液状にした土試料の煮沸を行う。この操作は土の分散や脱気によって精度よい試験結果を得るのに有効である。JIS および土質試験法においては，温度 110℃ の炉を使用することが規定されている。今回の実験においては，ガスこんろを使用して 2 時間の煮沸を行った。これは次の理由による。

ビーカー中の粒度試験用の懸濁液を，10～20 個同時に炉に入れて 2 時間の間煮沸を行うと，炉には過酸化水素を含んだ水蒸気が充満する。現在市販されている乾燥炉は，短時間に生じた大量の水蒸気を排出する構造には作られていないので，扉の取付け部などから水滴となって流れ出す。これを繰り返すことにより，錆のための損傷がはなはだしく半年～一年で乾燥炉は使用できなくなる。また，炉の天井や内壁の素材によっては，錆の破片が炉中の土試料に混入し，試験精度上からも好まし



図一七 煮沸器具による粒径加積曲線の比較

くない。さらに、炉中で煮沸中の供試料は外から見えないため、吹きこぼれなども見逃す場合がある。これに対してガスこんろでは常に監視しながら火力を調節し、最適な状態で煮沸を行うことができる。

図一七は、錦海粘土の粒径加積曲線で、煮沸を炉とガスこんろを用いて行い、その結果を比較したものである。この図では両者に差は認められない。

d) 塩分濃度調整

横浜調整粘土については、塩分濃度の調整を久里浜海水を加えて行った。

久里浜海水は、横須賀の久里浜沖で採取した自然海水を、ろ紙によってろ過し、50 lのポリ容器中に密閉保管したものである。この海水の塩分比 $\beta$ 、すなわち水の単位質量に対する塩分の乾燥質量の比は3.739%であった。

懸濁液の塩分濃度  $cl$  は、単位体積中に含有する塩分質量を比で表し、次式によって定義される。

$$cl = \frac{\beta}{1 + \beta} \cdot r_f \quad (\%) \dots\dots (8)$$

$$\beta = \frac{m_c}{m_w} \times 100 \quad (\%) \dots\dots (9)$$

ここに、

- $cl$  ; 塩分濃度 (‰)
- $\beta$  ; 海水の塩分比
- $r_f$  ;  $T^\circ\text{C}$ における海水の単位体積重量 (gf/cm<sup>3</sup>)
- $m_c$  ; 塩分の質量 (g)
- $m_w$  ; 水の質量 (g)

大黒、錦海の調整粘土のうち、表一2の脱塩を必要と

しない懸濁液、および表一3の25の自然試料の懸濁液については、煮沸終了後粒度試験方法の規定に従い18時間以上放置した。一方、25の脱塩試料については、試料条件に係わりなく一律に3回の脱塩を行っている。また、大黒、錦海の調整粘土については、表一2の懸濁液条件に基づき25の脱塩試料とともに次に述べる方法で脱塩を行っている。

煮沸を終了した懸濁液に、液量が500 mlになるよう蒸留水を加え、硝子棒で攪拌後静置する。ビーカー中の土粒子は時間の経過とともに凝集して沈降し水と分離する。最後にコロイド分がほぼ沈降して上澄み液が透明になったところで、土粒子を失わないよう注意しながら静かに上澄み液を流す。このとき、有機分を含有した試料では、過酸化水素液によって有機分が液中に溶解しているので、上澄み液は透明ではあっても必ずしも無色ではなく、茶褐色や黄褐色を呈している。しかしコロイド分が上澄み液中に残っている場合は液は透明にはならない。次に再び蒸留水を加えて攪拌しながら液量を500 mlとし、静置して前回と同様の操作を繰り返し行う。

各懸濁液中の土粒子が沈降を終了する時間は、一定ではなく、供試料の粒度や懸濁液の塩分濃度によって異なると考えられる。また、懸濁液を煮沸後必要以上に長時間放置することは比重浮ひよう測定時に土粒子の分散を困難にすることから好ましくない。そこで今回は、個々の懸濁液の沈降状態に応じて脱塩を行った。図一8に脱塩を行った粒度試験の行程の1例を参考のため示した。

e) 攪拌

横浜調整粘土については、攪拌を行う直前に想定塩分濃度に相当する質量の久里浜海水を混合した。また、全試料に分散剤ヘキサメタリン酸ナトリウム約4%溶液を20 ml使用した。分散剤を混合した懸濁液を攪拌装置で

試料名	試験操作		比重浮ひよう測定	塩分濃度 (‰)
	煮沸	希釈・脱塩		
大阪粘土	40m 2h20m	2h30m (4回)		1.9 ~ 0.6
久里浜粘土	1h10m	4h (3回)		1.9 ~ 0.6
大黒砂質土	40m	5h (3回)		1.2 ~ 0.4
経過時間	1日目 a.m.   p.m.   2日目 a.m. 8 10 12 2 4 6 8 10 12 2 4 6 8 10 (時)			

図一8 粒度試験の行程例

1 分間攪拌した後、比重浮ひょう測定用の 1000 ml のメスシリンダーに入れかえた。

f) 比重浮ひょう測定

粒度試験方法に従い 1 分間振とう後静置して比重浮ひょうで、液比重を測定した。比重浮ひょうの測定時間については、横浜、大黒、錦海の調整粘土の場合は規定された時間間隔をやや短縮して、測定点を多くした。しかし 25 の自然試料および脱塩試料については粒度試験方法の規定に従った。

g) 塩分濃度測定

3.1 で述べたように、横浜調整粘土については試料作成の段階で脱塩を行っており、懸濁液の塩分調整は所定量の海水を加えて行っている。したがって多少の誤差はあるものの、概略の塩分濃度は把握できる。しかし、その他の試料の塩分濃度は他に測定方法がないため、比重浮ひょう測定を終了後、卓上塩分計で測定した。

今回使用した卓上塩分計は、測定液の塩分濃度に対応する導電率を電磁誘導方式によって測定するもので、測定範囲は  $cl = 0 \sim 20\%$  である。この塩分計から求めた塩分濃度は、乾燥法による塩分比  $\beta$  から式(8)で求めた塩分濃度よりも約 2 割ほど大きく求められた。今回は、塩分計で測定した塩分濃度に校正値 0.79 をかけた値を採用した。

塩分計による塩分濃度と乾燥法による塩分濃度の比較に使用した標準海水は、地中海で採取した自然海水である。採取した海水中に防腐剤を添加して放置し、その上澄み液をアンプル中に密閉したものである。塩分比  $\beta$  は、3.961% であった。

h) 粗粒分のふるい分け試験

大黒調整粘土を除いた他の試料については、74  $\mu m$  のふるいで水洗いをし、細粒土を除いた後、ふるい残留分を乾燥し、ふるい分け試験を行った。

(3) データ整理方法

粒度試験のデータ整理方法は、以下のようにして行った。粒径  $d$  以下の土の質量百分率  $P$  は式(10)で表される。

$$P = \frac{100}{m_{s0}/V} \cdot \frac{G_s}{(G_s - 1)} (r' + F) \cdot \rho_w \quad (10)$$

ここに、

- $m_{s0}/V$  ; 懸濁液 1 ml 当たりの乾燥試料質量 (g/cm<sup>3</sup>)
- $m_{s0}$  ; 乾燥試料質量 (g)
- $V$  ; 懸濁液の体積 (cm<sup>3</sup>)
- $G_s$  ; T°C の水に対する土粒子の比重
- $r'$  ; メニスカス補正をした比重浮ひょう読

み

$F$  ; 補正係数

$\rho_w$  ; 水の密度 (g/cm<sup>3</sup>)

懸濁している粒子の最大粒径  $d$  は次式で表される。

$$d = \frac{0.018 \eta}{(G_s - 1) \gamma_w} \cdot \frac{L}{t} \quad (\text{mm}) \dots (11)$$

ここに、

$\eta$  ; T°C における水の粘性係数 (gf.s/cm<sup>2</sup>)

$L$  ; 比重浮ひょうの有効深さ (mm)

$G_s$  ; T°C の水に対する土粒子の比重

$\gamma_w$  ; T°C における水の単位体積重量 (gf/cm<sup>3</sup>)

$t$  ; メスシリンダー静置後の時間 (s)

3.3 塩分濃度を調整した水の比重試験

海成粘土の粒度試験を行う場合、比重浮ひょう測定用の容量 1000 ml のメスシリンダーに入れた懸濁液には、土粒子、試料中に含まれた海水、および過酸化水素の 6% 溶液 100 ml、ヘキサメタリン酸ナトリウムの約 4% 溶液 20 ml と蒸留水が懸濁している。この懸濁液から、土粒子を除外した水の体積は、土粒子の体積を式(12)から求め、懸濁液の体積 1000 ml から差し引くことにより計算できる。この場合、土粒子質量は 50 g であり、土粒子の比重値を 2.70 と仮定した。

懸濁液中の土粒子の体積  $V_s$  は次式によって求められる。

$$V_s = \frac{m_s}{G_s} \quad (\text{cm}^3) \dots (12)$$

ここに、 $V_s$  ; 土粒子の体積 (cm<sup>3</sup>)

$m_s$  ; 土粒子の質量 (g)

$G_s$  ; 土粒子の比重

懸濁液中の海水量は、試料の含水比によって決定する。含水比は、土粒子の質量 50 g に対する海水の質量の比で表されるから、含水比  $w_0 = 50, 75, 100, 125, 150\%$  に相当する、海水の質量を、式(13)に基づいて決定し、その質量を測定した。

$$M_f = m_s \times \frac{w_0}{100} \quad (\text{g}) \dots (13)$$

ここに、 $M_f$  ; 海水の質量 (g)

$m_s$  ; 土粒子の質量 (g)

$w_0$  ; 土の真の含水比 (%)

ここでいう土の真の含水比  $w_0$  は、間隙水の質量と土粒子の質量の比から求めたもので、土粒子の質量は塩分

表一 4 比重を測定した水の液条件

含水比 (%)		液 条 件			
$\frac{w_0}{m_w + m_c}$	$\frac{w}{m_w + m_c}$	蒸 留 水	過酸化水素 6% 溶液	ヘキサメタリン 酸 ナトリウム 40g/1000ml 溶液	標 準 海 水
		982 ml	0 ml	0 ml	g
		882	100	0	
		862	100	20	
50	48	838	100	20	25
100	93	813	100	20	50
150	137	789	100	20	75
		842	100	40	

の質量を含まない。したがって、通常の土質試験法<sup>7)</sup>に定められた含水比 $w$ とは異なるので、真の含水比 $w_0$ から、標準海水の塩分比3.981%を用いて土質試験法に規定された含水比、すなわち土粒子の質量中に塩分の質量を含めて計算された含水比を、式(14)によって計算した。

$$\frac{1}{w} = \frac{1.03961}{w_0} + 0.03961 \dots \dots \dots (14)$$

過酸化水素6%の溶液、ヘキサメタリン酸ナトリウム約4%の溶液を通常の粒度試験を行う場合と同容量のそれぞれ100 ml, 20 ml を使用した。今回比重を測定した塩水の液条件を、表一4に示す。ここで、塩分含有試料の凝集を防止する方法として、分散剤を規定量(20 ml)に更に追加使用することが考えられる。しかし、この方法は、効果的ではなく、逆に水の比重が増大することにより誤差を生じることが実験によって確かめられているので今回は分散剤の使用量を20 mlに限って実験を行っている。

これらの塩水は、粒度試験を行うさいの懸濁液の条件と同様であることが望ましいので、液中に含まれる空気量なども考慮して、過酸化水素液を蒸留水と混合後1時間の煮沸を行い、その他の試験操作もすべて粒度試験を行う場合と同様の方法で行っている。

これらの塩水の比重測定は、100 mlの比重びんを用いて、水の質量と水温を測定し、その質量を比重びんの容積で割ることにより求めたものと、比重浮ひょうによって測定したものと2種類である。

また、想定含水比100%に相当する海水を混合した塩水を用いて、6本の比重浮ひょうによって水の比重を測定し、比重浮ひょう読みのばらつきについても調べた。

#### 4. 粒度試験結果に及ぼす塩分濃度の影響

##### 4.1 懸濁液の塩分濃度と粒度試験結果

###### (1) 調整粘土の粒径加積曲線

横浜、大黒、錦海の調整粘土については、懸濁液の塩分濃度を1.1~1.2段階に変化させて粒度試験を行っている。図一9~図一11はそれぞれの調整粘土の粒径加積曲線を懸濁液の塩分濃度によって、2または3グループに分けて示したものである。

図一9(a), 図一9(b)は横浜調整粘土の粒径加積曲線で、図一9(a)は $cl = 0.5 \sim 1.3\%$ 、図一9(b)は $cl = 1.4 \sim 10.0\%$ の懸濁液から求められた粒度試験結果である。また、表一5はこれらの粒径加積曲線から読み取った粒径、すなわち砂、シルト、粘土、コロイドの含有量、懸濁液の塩分濃度、および肉眼で観察した懸濁液の沈降状態を分散、凝集の別によって表した粒度試験結果である。表中の土の全質量百分率とは、比重浮ひょうで測定した懸濁液の比重を用いて計算した細粒分の質量百分率と、ふるい分け試験を行った粗粒分の質量百分率とを合計したものである。

図一9(a)の懸濁液の塩分濃度1.3%以下の粒径加積曲線を比較すると最少塩分濃度0.5%の曲線に比べて他の曲線は粒径に対する質量百分率がやや大きい。したがって、粘土、コロイドの含有量に最大8%の差を生じている。しかし、曲線の形状にはそれほど顕著な違いは見られない。

次に、塩分濃度1.4~10%の粒径加積曲線(図一9(b))は、粒径0.006 mm前後から急激に彎曲し、それ以下の粒径の質量百分率が減少している。その結果、これらの曲線から読み取った粒径、とくにコロイド分は、 $cl = 0.5\%$ のそれと比較すると、その差が約17%と大きくなった(表一5)。

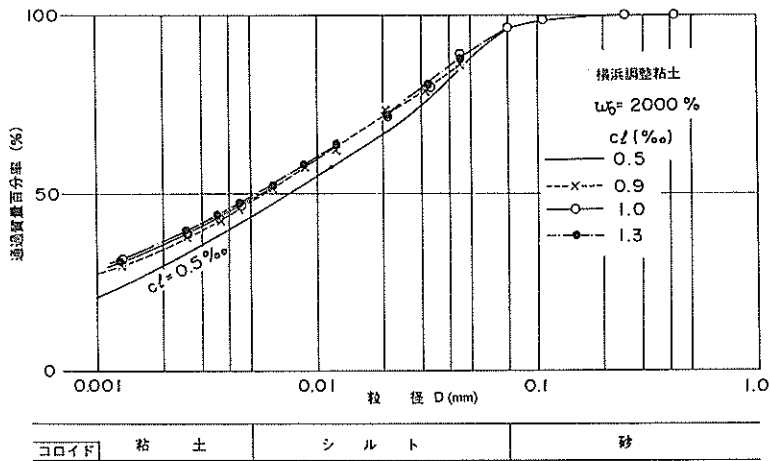


図-9(a) 横浜調整粘土の粒徑加積曲線 (  $cl = 0.5 \sim 1.3 \%$  )

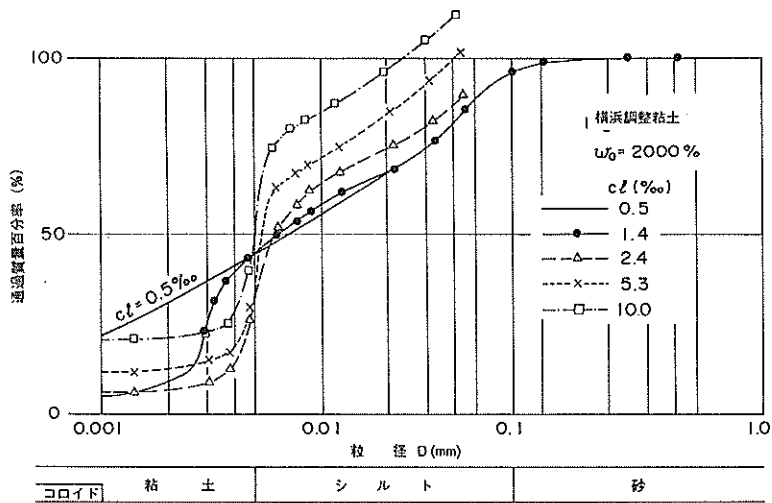


図-9(b) 横浜調整粘土の粒徑加積曲線 (  $cl = 1.4 \sim 10.0 \%$  )

表-5 横浜調整粘土の粒徑試験結果

試料名	塑性指数 $I_p$	分類 塑性図	塩分濃度 $cl (\%)$	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	コロイド分 (%)	分類 三角座標	土の全 質量率 P (%)	○分散
										●凝集
横浜粘土	44.1	CH	1.00	4.0	48.0	48.0	2.15	F	129.5	●
			5.3	4.0	54.0	42.0	10.0	F	118.7	●
			2.4	4.0	66.0	30.0	7.5	F	106.8	●
			1.4	4.0	51.0	45.0	5.5	F	100.0	●
			1.3	4.0	47.0	49.0	27.0	F	100.0	○
			1.2	4.0	46.2	49.8	28.0	F	100.0	○
			1.1	4.0	47.0	49.0	29.9	F	100.0	○
			1.0	4.0	48.5	47.5	29.0	F	100.0	○
			0.9	4.0	49.0	47.0	27.0	F	100.0	○
			0.4	4.0	50.5	45.5	22.0	F	100.0	○

また、曲線が折れ曲がった0.006 mm以上の粒径、すなわち、比重浮ひょう測定の前半における質量百分率は、懸濁液の塩分濃度が增大するに従い  $cl = 0.5\%$  の質量百分率に比べ大きく求められている。このため、ふるい分け試験から求められた粗粒土の加積曲線との連続性に無理を生じ、細粒土と粗粒土を合計した質量百分率が100%を大きく越える矛盾を生じている。 $cl = 1.0\%$  の全質量百分率は約130%であった。

次に大黒調整粘土の粒径加積曲線を、横浜調整粘土と同様に懸濁液の塩分濃度によって3グループに分けて、 $cl = 0.4 \sim 0.9\%$  を図-10(a)に、 $cl = 1.0 \sim 1.3\%$  を図-10(b)に、 $cl = 1.4 \sim 2.6\%$  を図-10(c)に示す。また、粒度試験結果表を表-6に示す。

この試料では、1.4%以下の塩分濃度については、

約0.1%間隔に変化させて粒度試験を行っている。粒径加積曲線から見た傾向は、横浜調整粘土の場合と同様である。 $cl = 0.9\%$ 以下(図-10(a))では懸濁液の塩分濃度が大きくなると、質量百分率は比重浮ひょう測定の初期段階でやや大きく $cl = 0.8, 0.9\%$ が100%以上になった。しかし総体的に試験結果のばらつきはそれほど大きなものではない。

次に、懸濁液の塩分濃度が1.0~1.3% (図-10(b))の粒径加積曲線を、最少塩分濃度0.4%の場合のものと比較する。質量百分率の差が $cl = 0.9\%$ 以下の曲線に比較してやや大きくなり、コロイドの含有量は $cl = 0.4\%$ のそれと比較し最大8%大きい結果になった。しかし、曲線の形状にはまだ大きな違いは認められない。

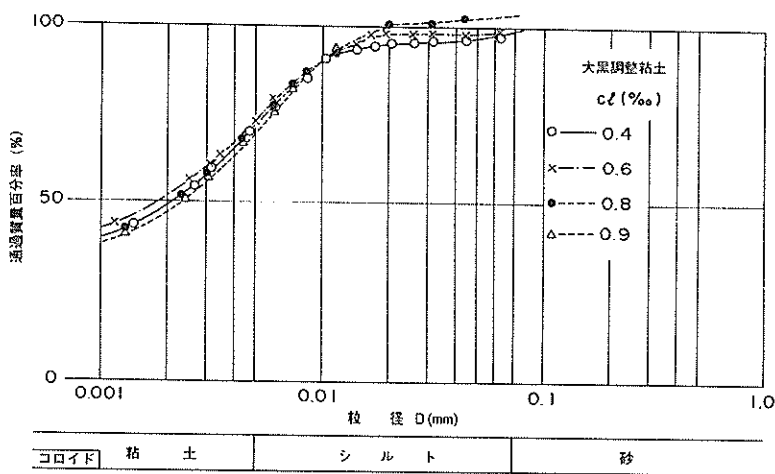


図-10(a) 大黒調整粘土の粒径加積曲線 ( $cl = 0.4 \sim 0.9\%$ )

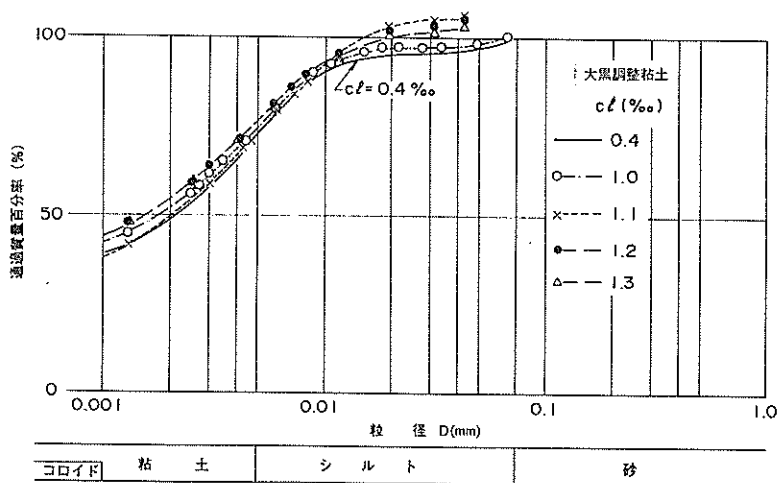


図-10(b) 大黒調整粘土の粒径加積曲線 ( $cl = 1.0 \sim 1.3\%$ )



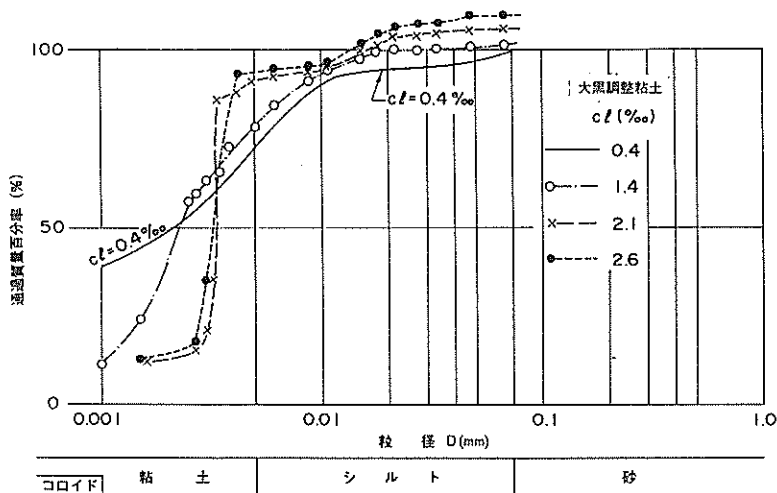


図-10(c) 大黒調整粘土の粒径加積曲線 (  $cl = 1.4 \sim 2.6 \%$  )

表-6 大黒調整粘土の粒度試験結果

試料名	塑性指数 $I_p$	分類 塑性図	塩分濃度 $cl(\%)$	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	コロイド分 (%)	分類 三角座標	土の全 質量率 $P(\%)$	脱塩回数 (回)	○分散
											●凝集
大黒粘土	85.7	CH	2.6	0	16.5	83.5	12.0	F	109.0	0	●
			2.1	0	8.0	92.0	10.0	F	106.0	1	●
			1.4	0	21.7	78.3	11.1	F	101.7	2	●
			1.3	0	23.0	77.0	47.0	F	104.0	2	○
			1.2	0	22.0	78.0	45.0	F	105.2	2	○
			1.1	0	26.1	73.9	39.0	F	105.2	2	○
			1.0	0	25.5	74.5	42.5	F	101.2	3	○
			0.9	0	31.0	69.0	38.0	F	103.8	3	○
			0.8	0	28.0	72.0	39.0	F	103.8	3	○
			0.6	0	26.7	73.3	39.2	F	100.0	4	○
0.4	0	28.0	72.0	39.0	F	100.0	5~6	○			

図-10(c)は、同試料における懸濁液の塩分濃度 1.4, 2.1, 2.6 ‰ の粒径加積曲線である。前述の図-10(a), 図-10(b)の  $cl = 1.3 \%$  以下の粒径加積曲線と比較すると、その形状の違いが明らかに認められる。とくに  $cl = 2.1, 2.6 \%$  から求められた曲線は、粒径  $0.003\text{mm} \sim 0.004\text{mm}$  辺りで急激に折れ曲がった。この3供試料から求められた粘土、コロイドの含有量の差は、20~30%であった。

図-11(a), 図-11(b)は、前述の2試料と同様に示した錦海調整粘土の試験結果である。この試料では粒径加積曲線の形状が塩分濃度 1.3 ‰ 以上で、明確な変化を見せた。試験結果を、表-7に示す。粘土、コロイド含有量の差は30~40%ときわめて大きい。

以上3種の調整粘土の粒度試験結果から、比重浮ひよ

う測定法を用いた細粒土の粒度試験は、懸濁液の塩分濃度がある限界を越えると、液中の土粒子が凝集して沈降するため、試験結果に著しい誤差を生ずることが明らかになった。

懸濁液は静置後、小さなフロックを生じゆっくりと沈降した。この時点での比重浮ひょうによって測定した懸濁液の密度は土粒子が分散して沈降した場合はあまり変わらない。次にフロックがしだいに塊になって粒径が大きくなると、土粒子はややスピードを増して沈降し、比重浮ひょうの測定深さを通過した後液比重は急に減少して塩水の比重に近くなる。したがってこの液比重から計算される土の質量百分率も当然減少し粒径は過大に求められる。

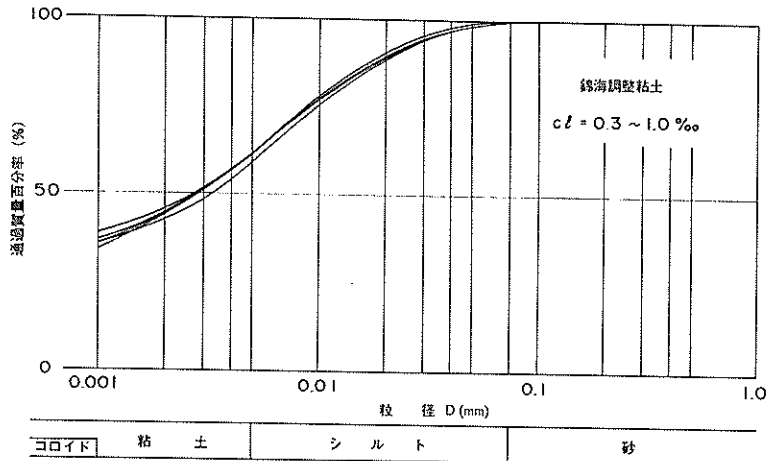


図-1 1(a) 錦海調整粘土の粒径加積曲線 (  $cl = 0.3 \sim 1.0\%$  )

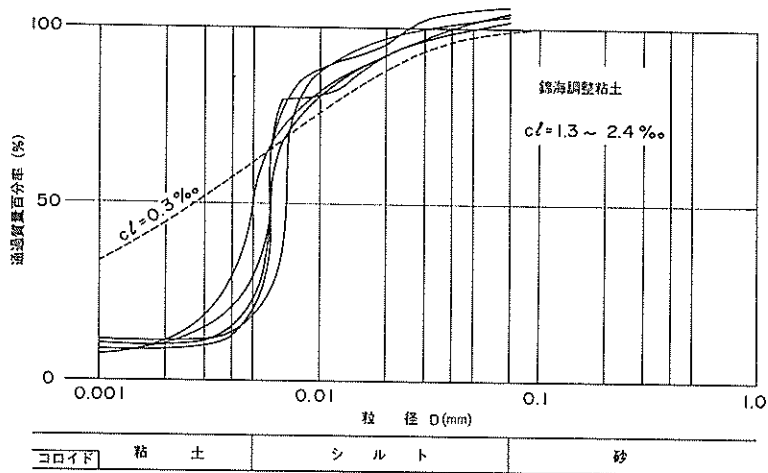


図-1 1(b) 錦海調整粘土の粒径加積曲線 (  $cl = 1.3 \sim 2.4\%$  )

表-7 錦海調整粘土の粒度試験結果

試料名	塑性指数 $I_p$	分類 塑性図	塩分濃度 $cl(\%)$	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	コロイド分 (%)	分類 三角座標	土の全質量率 $P(\%)$	脱塩回数 (回)	○分散 ●凝集
錦海粘土	6.2.6	CH	2.4	0.6	73.8	25.6	10.0	F	102.6	0	●
			2.3	0.7	81.3	18.0	11.5	F	106.5	0	●
			2.1	0.6	70.4	29.0	8.6	F	110.0	0	●
			1.4	0.4	57.8	41.8	10.2	F	104.2	1	●
			1.3	0.4	43.8	55.8	3.8	F	103.8	1	●
			1.0	0.7	37.3	62.0	38.0	F	102.1	2	○
			0.9	0.9	37.3	61.8	36.5	F	100.0	2	○
			0.8	0.4	38.1	61.5	35.7	F	100.0	3	○
			0.7	0.6	39.4	60.0	38.0	F	100.0	3	○
			0.4	0.3	41.5	58.2	36.0	F	100.0	5	○
			0.3	0.6	37.6	61.8	34.0	F	100.0	7	○

(2) 懸濁液の塩分濃度と粒度組成

前述の調整粘土の粒径加積曲線から、それぞれの試料において、粒径加積曲線はある塩分濃度を境にして、それ以上になるとその形状が異なり、境界以下の塩分濃度

では粒度分布がほぼ一定となった。そこで懸濁液の塩分濃度と粒度組成の関係をプロットしたのが、図-12~図-14である。また、土粒子の凝集による試験結果の誤差が、コロイド含有量に最も顕著に表れるので、塩分

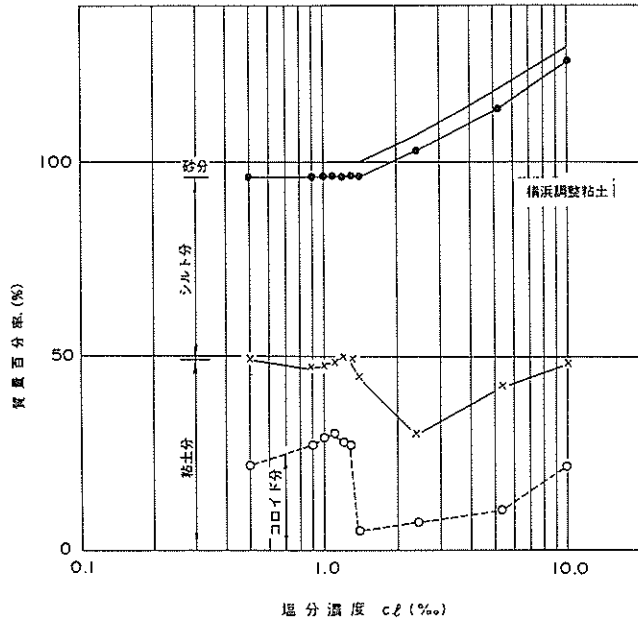


図-12 粒度組成と塩分濃度の関係 (横浜調整粘土)

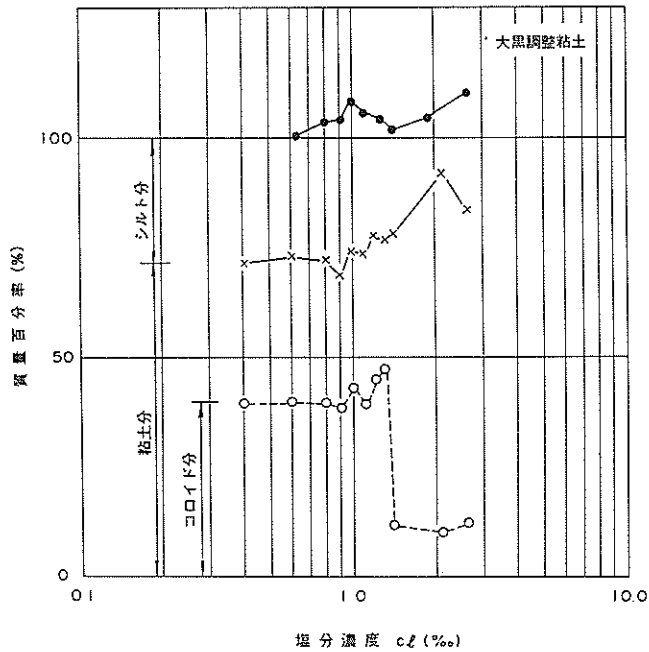
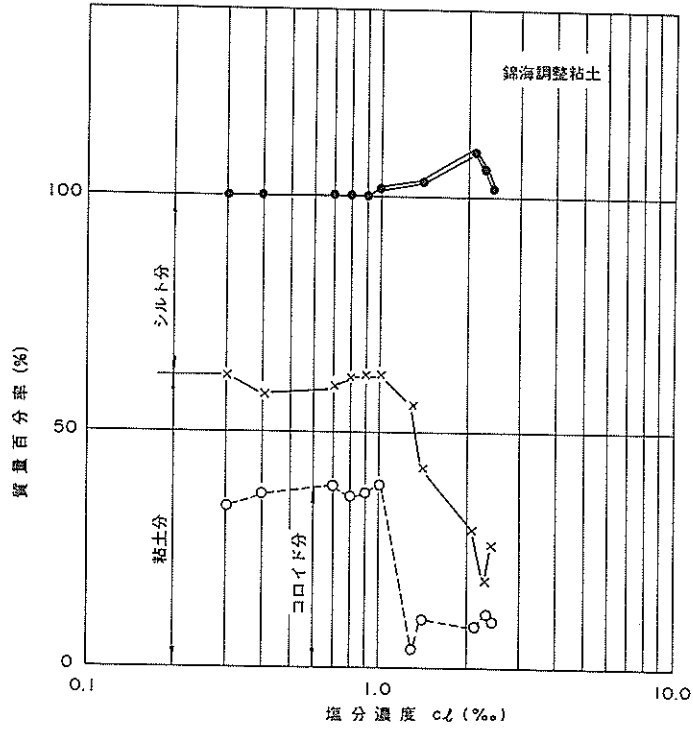


図-13 粒度組成と塩分濃度の関係 (大黒調整粘土)

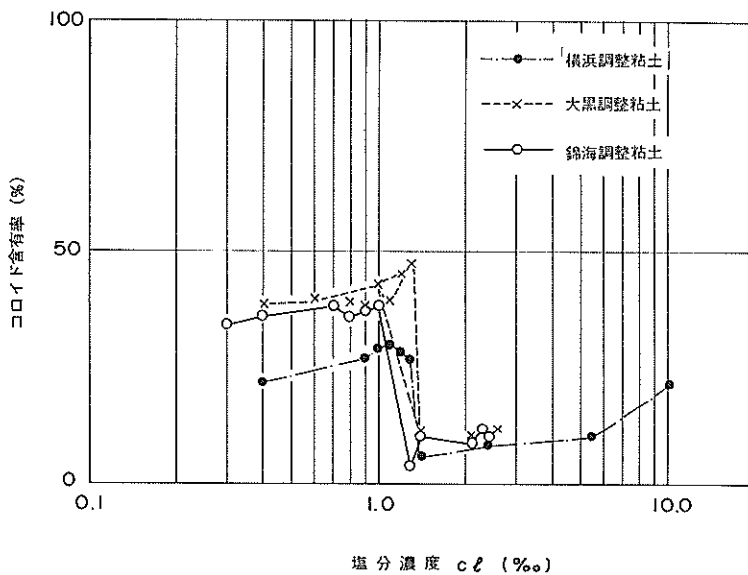


図一14 粒度組成と塩分濃度の関係 (錦海調整粘土)

濃度とコロイド含有量の関係を図一15に示した。

これらの図から、横浜調整粘土  $cl = 1.3‰$ 、大黒調整粘土  $cl = 1.3‰$ 、錦海調整粘土  $cl = 1.0 \sim 1.2‰$  が境界になってそれ以下の塩分濃度では、試験誤差や試料の不均一による多少のばらつきはあるが、粒

度はほぼ一定である。しかし、塩分濃度が境界よりも高くなると、粒度は大きく変動している。また、図一15のコロイド含有量の変動からも、3つの調整粘土においては、懸濁液の塩分濃度が1.0~1.3‰以上になると、液中の土粒子は凝集して沈降するため、試験誤差を生じ



図一15 コロイド含有量と塩分濃度の関係

ることが明白となった。

なお、ここで懸濁液の塩分濃度がある限界を越えて、それ以上になると土粒子が凝集する、境界の塩分濃度をかりに限界塩分濃度と呼ぶことにする。

#### 4.2 自然試料と脱塩試料の粒度試験結果

大阪湾、大黒ふ頭、尼ヶ崎港などから採取した25試

料について行った自然試料、および脱塩試料の粒度試験結果と、懸濁液の塩分濃度を、試料の自然含水比、塑性指数とともに、表一8に示す。表中に、前述の調整粘土と同様に土粒子が沈降するさいの分散・凝集の別も表示した。

表一8 自然試料、脱塩試料の粒度試験結果

試料名	含水比 w (%)	塑性指数 I <sub>p</sub>	分類 塑性図	塩分濃度		砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	コロイド分 (%)	分類 三角座標	土の全 質量率 P (%)	脱塩回数 回	○分散 ●凝集	
				cl (%)	el (%)									
大阪No2 T 8	86.8	49.9	C'H	2.0 0.4	0.7 0.6	37.1 44.1	62.2 55.3	4.0 27.0	F	106.4	3	● ○		
T 10	79.7	47.5	CH or C'H	2.0 0.3	0.6 0.6	51.4 50.4	48.0 49.0	8.4 25.5	F	104.0	3	● ○		
T 12	74.8	37.1	C'H	1.8 0.6	1.0 1.0	49.0 51.0	50.0 48.0	2.4 24.2	F'	107.7	3	● ○		
T 14	64.8	39.5	CH	1.8 0.4	0.6 0.6	50.9 53.4	48.5 46.0	6.0 18.0	F	102.3	3	● ○		
T 16	71.2	46.0	CH	2.0 0.4	1.4 1.3	45.2 39.7	52.0 59.0	6.0 21.5	F	100.0	3	● ○		
T 18	63.4	48.4	CH	1.5 0.4	3.9 4.1	41.7 44.4	54.4 51.5	4.5 19.8	F	100.0	3	● ○		
大阪No57-2 T 2		59.2	CH	2.0 1.0	0.3 0.3	42.7 37.7	57.0 62.0	2.0 28.0	F	93.8	3	● ○		
大阪No57-26 T 12	89.7	51.0	CH	2.1 0.7	0.3 0.3	53.7 46.7	46.0 53.0	5.0 27.0	F	101.4	3	● ○		
大阪No57-30 D 15	48.4	35.4	CH	1.1 0.4	1.0 1.1	65.0 38.6	34.0 60.3	4.0 30.5	F	100.0	3	● ○		
D 23	71.2	57.1	C'H	0.8 0.4	0.5 0.5	80.0 45.5	19.5 54.0	5.3 22.0	F	100.0	3	● ○		
D 30	50.3	43.1	CH	1.4 0.3	0.3 0.2	15.3 24.1	84.4 75.7	0.5 40.2	F	110.3	3	● ○		
尼ヶ崎 clay				2.5 1.2	0.7 0.7	25.3 32.3	74.0 67.0	8.5 35.0	F	103.7	3	● ○		
大黒No1 1119 (1)	87.5	45.6	C'H	2.2 0.5	3.4 3.0	46.6 50.0	50.0 47.0	7.0 20.0	F	100.0	3	● ○		
1119 (8)	88.7	52.4	C'H	2.2 0.5	3.5 3.9	51.5 48.1	45.0 48.0	10.0 21.5	F	100.0	3	● ○		
2229 (1)	87.0	53.3	C'H	2.2 0.6	2.5 2.6	52.5 49.4	45.0 48.0	5.0 22.0	F	100.0	3	● ○		
2229 (5)	83.6	51.8	C'H	2.1 0.5	2.6 2.3	46.9 49.7	50.5 48.0	4.0 22.0	F	100.0	3	● ○		
2229 (9)	82.7	47.5	C'H	2.2 0.5	3.1 2.4	55.0 50.6	42.0 47.0	6.8 25.0	F	100.0	3	● ○		

表一 8 自然海成試料の粒度試験結果

試料名	含水比 w (%)	塑性指数 I <sub>p</sub>	分類 塑性図	塩分濃度 cl (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	コロイド分 (%)	分類 三角座標	土の全質量率 P (%)	脱塩回数 回	○分散 ●凝集
3259 (1)	64.2	35.9	C'H	1.7 0.6	26.2 25.2	36.8 41.5	37.0 33.3	20.8 18.0	F	100.0	3	○ ○
3259 (9)	70.1	39.4	C'H	1.7 0.6	17.5 17.1	38.5 44.9	44.0 38.0	17.0 20.0	F	100.0	3	● ○
4289 (2)	50.9	N, P		1.2 0.4	54.2 59.7	26.8 22.3	19.0 18.0	13.0 11.5	SF	100.0	3	○ ○
4289 (7)	38.9	N, P		1.1 0.4	62.7 62.5	18.3 22.7	19.0 14.8	11.0 10.0	SF	100.0	3	○ ○
大黒-12m岸壁 4289 (8)	38.9	N, P		1.1 0.4	66.8 65.5	15.7 19.2	17.5 15.3	10.0 10.0	SF	100.0	3	○ ○
5319 (5)	48.1	21.8	C'H	1.4 0.4	40.4 39.4	33.4 37.1	26.2 23.5	17.8 13.7	F	100.0	3	○ ○
久里浜No59 I-5154	89.3			2.3 0.6	1.1 1.1	45.9 47.9	53.0 51.0	6.5 27.9	F	101.7	3	● ○
川崎 clay		45.7	C'H	1.9 0.6	4.4 4.5	40.6 43.7	55.0 51.8	8.0 27.0	F	100.0	3	● ○

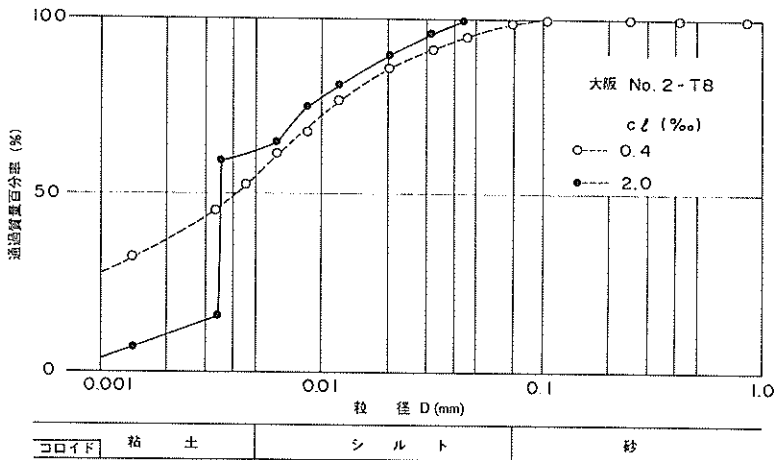
また、大阪湾、大黒ふ頭、尼ヶ崎港の3試料の粒度試験から得られた粒径加積曲線を、図一16、図一17、図一18に示した。

自然試料、すなわち、塩分を含有した25試料の懸濁液の塩分濃度は、最高2.5‰、最低0.8‰であり、表一8に示したように、20試料は土粒子が凝集して沈降し、5試料は分散して沈降したと判断された。図一16～図一18の粒径加積曲線は、いずれも土粒子が凝集して沈降し、試験結果に誤差を生じた結果例である。

次に脱塩試料の粒度試験結果について述べる。3回の

脱塩を行った脱塩試料から得られた懸濁液の塩分濃度は、最高1.2‰、最低0.3‰であった。これらの懸濁液は肉眼ではフロックは観察されなかった。また、それぞれの試料から求められた粒径加積曲線の形状からも、懸濁液中の土粒子は一応分散して沈降したと判断される。

以上の粒度試験結果から、今回試験を行った25の海成試料中、試料の間隙水中に含有した塩分の影響によって粒度試験結果に誤差が認められた試料は20であり、その他の5試料は塩分含有に係わりなく、自然試料、脱塩試料の粒度試験結果はほぼ一致した。



図一16 自然試料と脱塩試料の粒径加積曲線 (大阪湾)

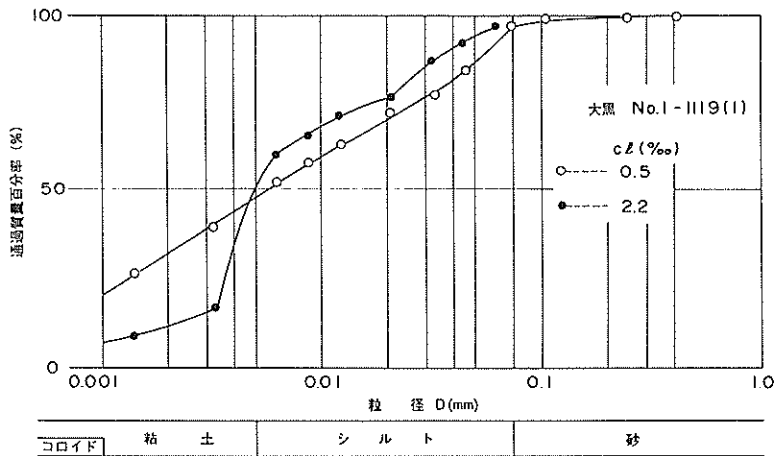


図-17 自然試料と脱塩試料の粒径加積曲線 (大黒ふ頭)

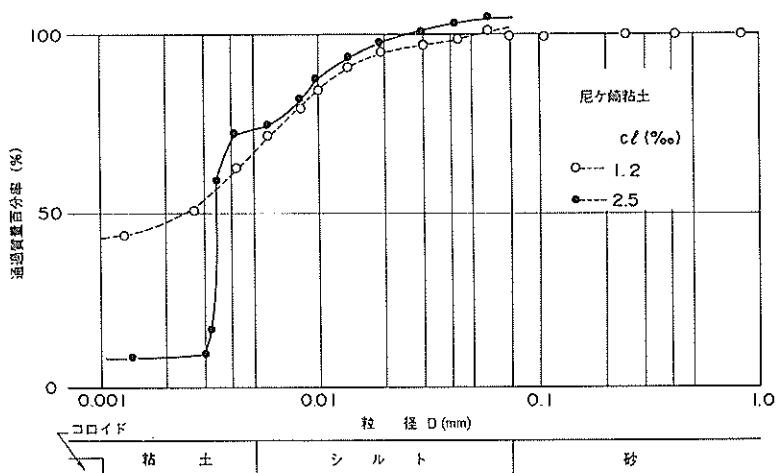


図-18 自然試料と脱塩試料の粒径加積曲線 (尼ヶ崎港)

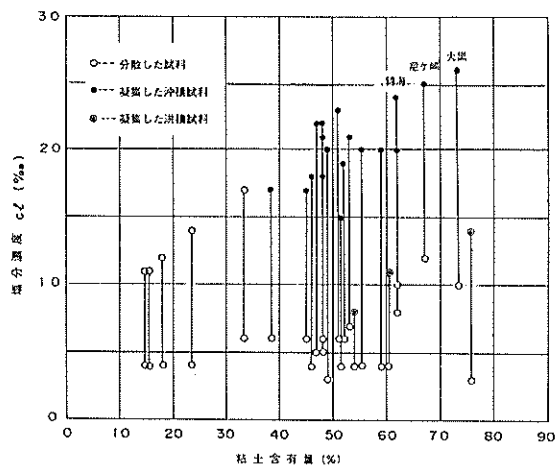


図-19 粘土含有量と塩分濃度の関係 (自然試料・脱塩試料)

次に、図一19は、自然試料と脱塩試料の懸濁液の塩分濃度を、試料の粘土含有量に対してプロットしたものである。この図には、前述の大黒、錦海の調整粘土も含めてプロットした。1試料について測定した両者の塩分濃度の差が3回の脱塩によって減少した塩分濃度を表している。

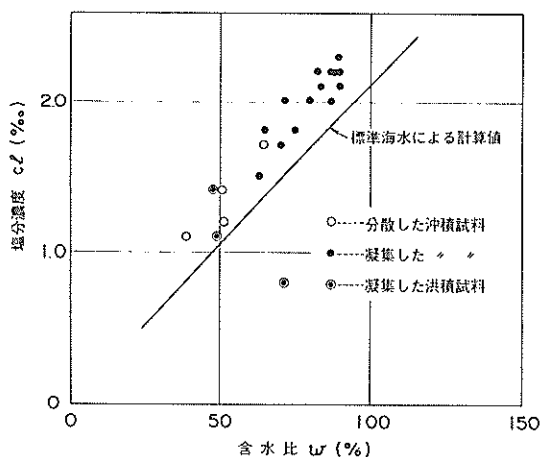
今回粒度試験を行った海成試料においては、3回の脱塩によって減少した平均塩分濃度は、1.3‰であった。図一19によってわかるように、大部分の脱塩試料の塩分濃度は0.8‰以下に減少している。しかし、脱塩前の塩分濃度が2.4‰以上の尼ヶ崎粘土、錦海調整粘土、大黒調整粘土の3試料においては、脱塩後の塩分濃度がいずれも0.8‰以上であり、それぞれ、1.2, 1.0, および1.0‰であった。これら3試料は粘土含有量が60%以上の粘性土である。

#### 4.3 自然試料、および調整粘土の物理定数と塩分濃度の関係

4.2で述べた海成の自然試料の粒度試験結果を示した表一8から、懸濁液中の土粒子の沈降状態を表す、分散・凝集の別と懸濁液の塩分濃度との関係を両者を対比させながら見ると、分散して沈降したとする大黒試料の塩分濃度は1.7‰である。しかしそれ以下の塩分濃度であっても試料によっては凝集して沈降している。このことから、懸濁液中の土粒子が凝集する要因は、懸濁液の含水比が一定の場合、必ずしも塩分濃度のみではなく、他の要素との係わりも考えられる。そこで、次に土試料の物理定数と、懸濁液の塩分濃度との関係から、土粒子の凝集性について検討を加えた。

##### (1) 自然含水比

海成試料の自然含水比が、粒度試験を行うさいの懸濁



図一20 試料の自然含水比と塩分濃度の関係

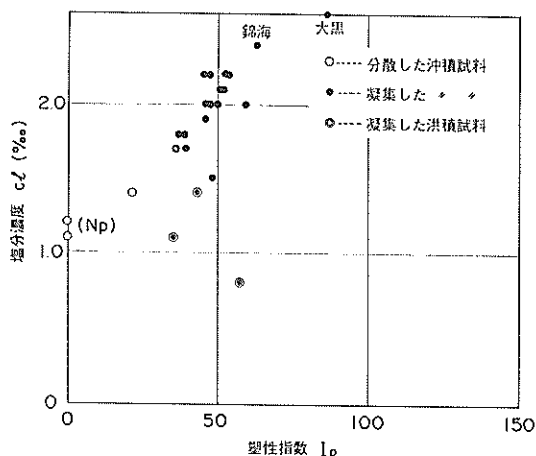
液の塩分濃度と密接な関連をもつことは当然である。

図一20に今回粒度試験を行った海成試料の自然含水比と塩分濃度の関係を示した。図中の実線は、3.3で述べたものと同じであり、標準海水を混合した塩水の塩分濃度を、3.2の式(8)、式(9)から計算によって求めたものである。この図から、大阪湾の洪積土が、自然含水比約70%に対し塩分濃度が0.8‰と極端に低い。しかし、その他の試料における塩分濃度は、総体的に計算値よりもやや上まわったものの、試料の自然含水比の増大にとともに、懸濁液の塩分濃度も高くなっている。

またこの図から、 $w = 65\%$ 、 $cl = 1.8\%$ 以上の試料はすべて懸濁液中の土粒子が凝集して沈降している。しかし、それ以下の含水比では、土粒子の凝集性と懸濁液の塩分濃度との関係は明確ではない。

##### (2) 塑性指数

図一21は、(1)と同様に土試料の塑性指数  $I_p$  と懸濁



図一21 試料の塑性指数と塩分濃度の関係

液の塩分濃度との関係から、土粒子の分散・凝集について調べたものである。沖積層においては土の自然含水比  $w$  と塑性指数  $I_p$  は比較的明確な相関関係が認められる<sup>1)</sup>ことから、この図においても、洪積試料を除外すれば当然塑性指数の増大につれて懸濁液の塩分濃度も高くなっている。しかし、前述の自然含水比が土粒子の分散・凝集についての明確な関係を示さなかったのに対し、塑性指数との関係においては、懸濁液の塩分濃度に係わりなく、 $I_p = 35$ 以上の試料はすべて凝集して沈降していることがわかる。

図一22は塑性図中に土粒子の分散と凝集の別をプロットしたものである。



塑性図

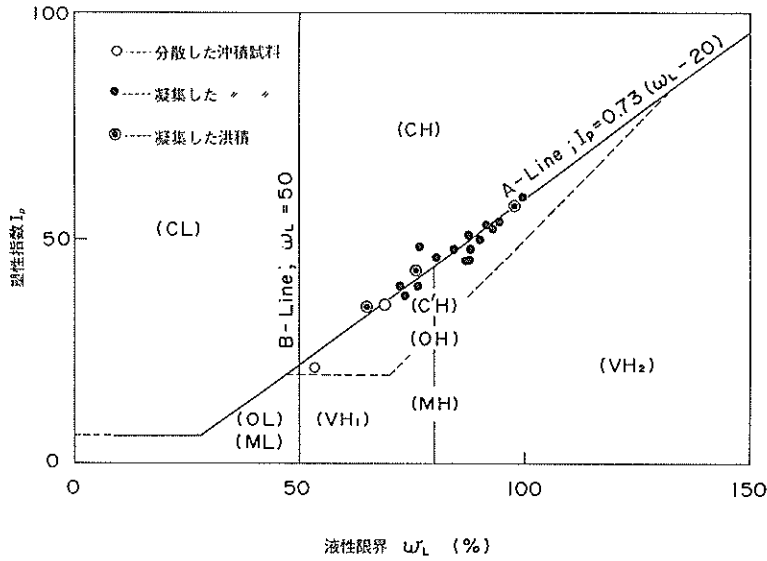


図-2-2 塑性図中の分散と凝集の別

(3) 粘土含有量

図-2-3は、土試料の粘土含有量と懸濁液の塩分濃度の関係から、土粒子の分散、凝集の別を調べたものである。この図でも、沖積試料と洪積試料は異なった分布を示した。一般に沖積試料においては、粘土含有量が大きくなると間隙比も大きく、したがって間隙水すなわち流水によって塩分濃度も増大している。しかし、図-2-3から粘土含有量が約45%以上の試料においては、懸濁液の塩分濃度とは無関係に土粒子はすべて凝集して沈降

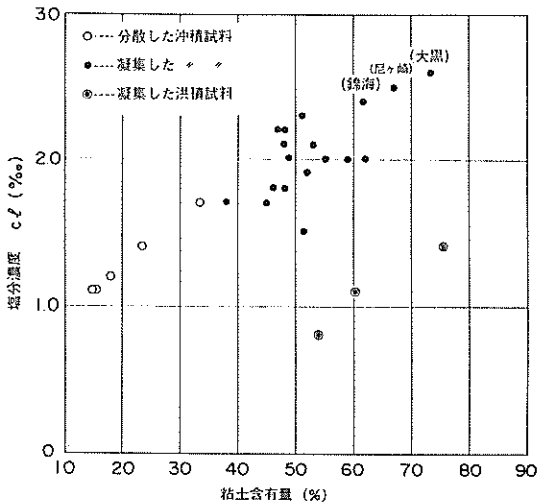


図-2-3 試料の粘土含有量と塩分濃度の関係

し、粘土含有量が約33%以下の試料においては、土粒子は分散して沈降していることが明らかになった。

図-2-4に粒度との関係を三角座標中にプロットしたものを示す。粗粒分、すなわち礫と砂の含有量が25%以上の試料においては土粒子が分散して沈降していることがわかる。

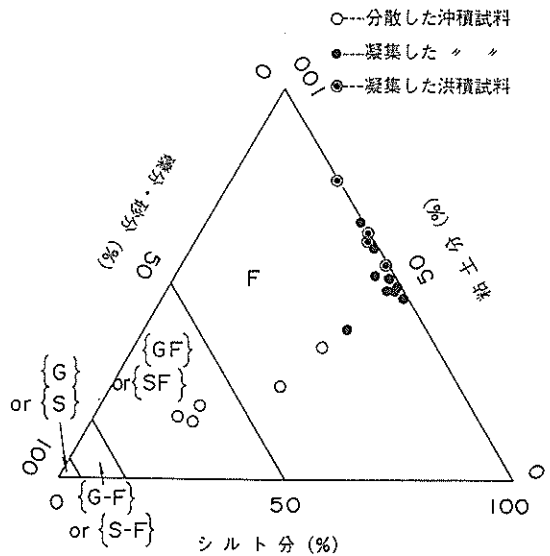


図-2-4 三角座標中の分散と凝集の別

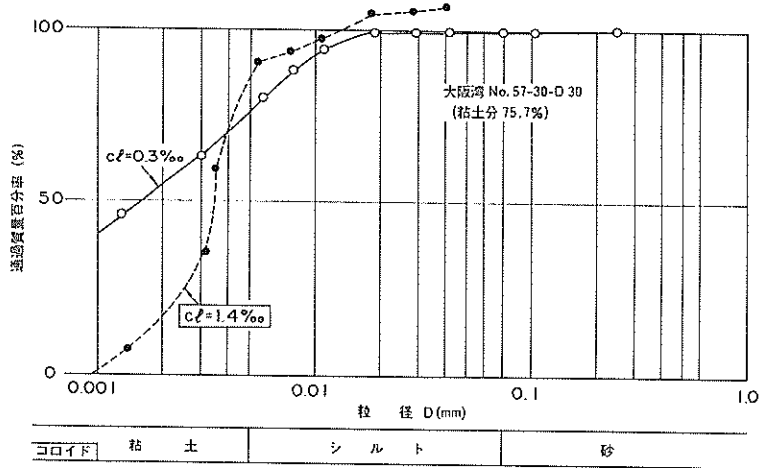


図-2 5(a) 粘土含有量による沈降の比較 (大阪湾試料)

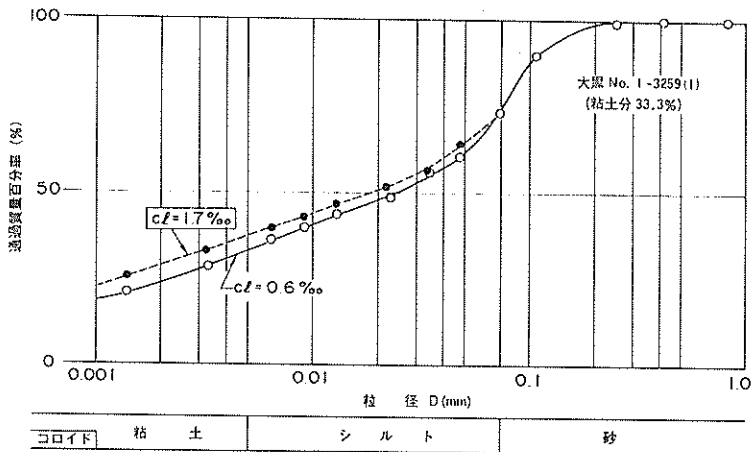


図-2 5(b) 粘土含有量による沈降の比較 (大黒ふ頭試料)

図-2 0～図-2 4 から、懸濁液中の土粒子の凝集性は土試料の粒度と関連があると考えられる。その一例として図-2 5(a)図-2 5(b)は大阪湾試料と大黒ふ頭試料の粒径加積曲線で塩分濃度はそれぞれ 1.4‰, 1.7‰である。粘土含有量 75.7%の大阪湾試料は凝集して沈降し曲線の形状の違いから試験誤差が顕著に表れている。しかし粘土分 33.3%, 砂分 25.2%の大黒ふ頭試料は、土の通過質量百分率が脱塩試料のそれに比較してやや大きいものの、曲線の形状には変化が認められず、土粒子は分散して沈降したと判断された。

以上、今回の粒度試験結果から、粒度試験を行うさいの懸濁液中の土粒子が凝集して沈降したと判断された、それぞれの定数値は次のようになる。

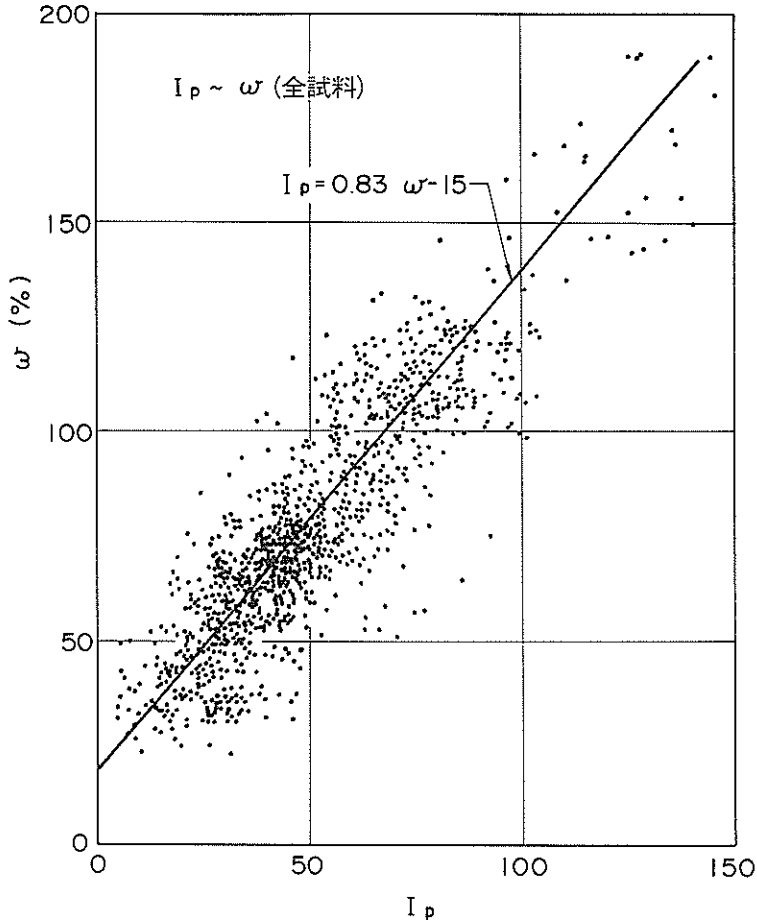
- a 自然含水比  $w$  沖積試料 6.3%以上

- 洪積試料 4.8%以上  
 b 塑性指数  $I_p$  沖積試料 3.7以上  
 洪積試料 3.5以上  
 c 粘土含有量 沖積試料 3.8%以上  
 洪積試料 5.4%以上

図-2 6 は、我国の全国港湾地域から採取した沖積層試料の自然含水比  $w$  と塑性指数  $I_p$  の相関図<sup>1)</sup>である。前述の土粒子が凝集して沈降する  $w = 6.3%$ 以上,  $I_p = 3.7$ 以上の領域をこの図においてみると、沖積層における海成粘土の大部分がこの範中に入ることを示している。

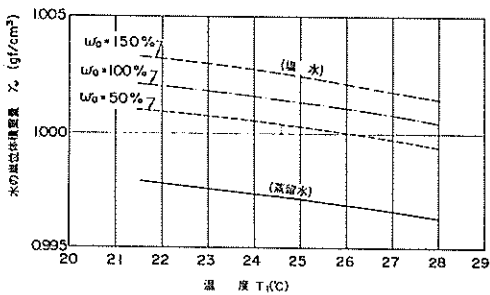
#### 4.4 塩分が土の質量百分率に及ぼす影響

前述の図-9(a), 図-9(b)の横浜調整粘土の粒径加積曲線によってあきらかなように、懸濁液の塩分濃度の増

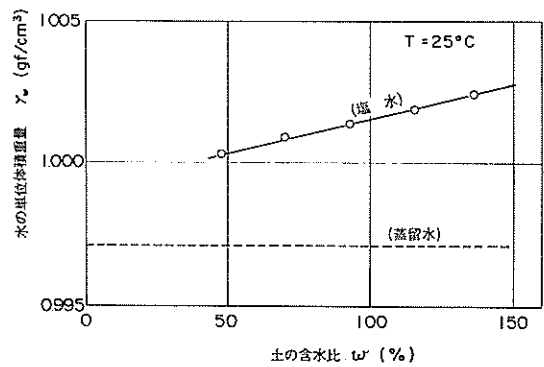


図一 2 6 沖積試料の自然含水比と塑性指数の関係

大とともに、比重浮ひょう測定によって求められた細粒分の質量百分率は増大している。とくに、懸濁液の塩分濃度が 10% の試料においては質量百分率は、約 130% と大きく求められた。この傾向は、今回行った粒度試験において、塩分が含まれた試料のすべてに共通して表れている。そこで、この原因を調べるために塩分を調整した水の比重を測定し検討を加えた。



図一 2 7 塩水の比重 ( $w_0 = 50, 100, 150\%$ )



図一 2 8 土の含水比と塩水の比重

図一 2 7 は、表一 4 に示したとおり、海水および分散剤を粒度試験を行う場合と同条件で混合した水の質量を、比重びんで測定して求めた比重である。粒度試験を行うさいの土粒子質量 5.0g に対する海水質量の比、すなわち含水比  $w_0$  がそれぞれ 50%, 100%, 150% に相

当する質量の海水を混合している。これらの水の比重は、当然塩分濃度とともに大きくなり、蒸留水との比重の差は0.003～0.005であった。

図-28は、図-27から温度25℃の水の比重を含水比に対してプロットしたものである。試料の含水比にもなって懸濁液に加わる海水の割合が大きくなるため、水の比重も塩分濃度とともに増大した。含水比と塩分濃度の関係は、図-20によっても明らかである。今回の測定結果では過酸化水素、ヘキサメタリン酸ナトリウムなどの分散剤を規定どおり加えるだけで、すでに水の比重は蒸留水のそれを上まわった。

比重浮ひょうによる比重測定は、比重びんによる測定に比べ、読みがやや不安定で測定精度が低いと考えられるが、ここで、比重浮ひょうによって前述の $w_0 = 100$  %の水の比重を確認のため測定した。測定結果を図-29に示す。図中の実線は温度15℃を1とした蒸留水の比重である。塩分が含まれた水の比重と蒸留水のそれとの差は、0.005近い。

以上の測定結果から、海成試料を用いた粒度試験における懸濁液の水の比重が、塩分の影響により実際には計算上の蒸留水の比重よりも大きいことが確認され、質量百分率が懸濁液の塩分濃度の増大にともない過大に求められる原因が明らかになった。

前述したように、土の粒度は、式(10)、式(11)から求められ、計算上に水の比重が密接に係わるため、試験結果に与える影響も大きくなる。

図-30は、図-29と同一の塩分濃度をもった水の比重を6本の比重浮ひょうで測定した結果である。6本の比重浮ひょうの測定値のばらつきは、約0.0015であり、計算上の水の比重が実際よりも過少なことになる誤差と、比重浮ひょう読みのばらつきによる誤差が加算されると、

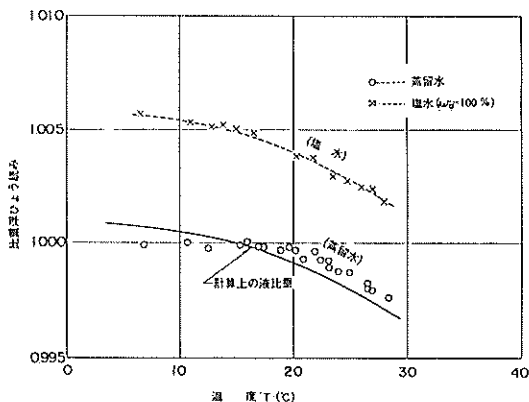


図-29 塩水と蒸留水と比重浮ひょう読み

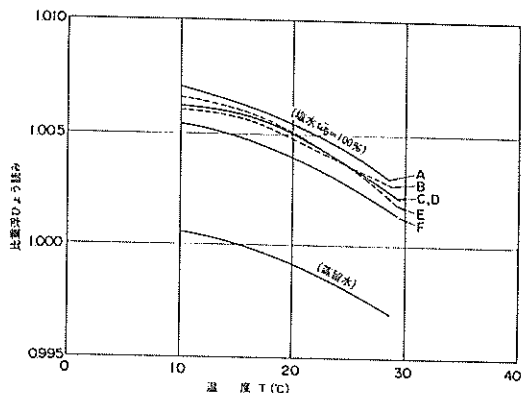


図-30 比重浮ひょう読みのばらつき

質量百分率の誤差はますます大きなものとなる。

塩分を含有した水の比重を用い、懸濁液中を沈降する土粒子の質量を補正し、質量百分率を精度よく求めることは可能である。しかし、次の理由から補正計算は行っていない。

細粒土においては、粒度と土の諸性質との間に一定した関係が見出されない。このことから、現在は土の分類特性としてはコンシステンシーに利用度が移行している傾向にある。したがって、液中の土粒子が分散して沈降した液比重から求められた粒度であれば、その誤差は、実用上問題はないと考えられるからである。

また、質量百分率の誤差が、補正を必要とするほど大きく求められた懸濁液は、塩分濃度が比較的高く、前述の限界塩分濃度に近いことも予想される。この塩分濃度の懸濁液は、比重浮ひょう測定中に土粒子が凝集する可能性もある。海成試料の粒度試験を行う場合、塩分の影響によって水の比重が増大することによる試験誤差を解消する手段としても、脱塩は重要である。

## 5. 塩分濃度を考慮した粒度試験方法

これまでの粒度試験結果の考察から、海成試料中に含まれる塩分は、細粒土の粒度試験結果に影響を及ぼし、試験誤差を生ずることが確認された。この試験誤差を解消する方法は、試料の脱塩以外にはなく、海成粘土の粒度試験を行う場合、脱塩は不可欠の試験操作といえる。そこで、今回の試験結果の考察にもとづいて脱塩方法について検討した。

### 5.1 脱塩試料の許容塩分濃度

前述したように調整粘土の粒度試験において、懸濁液中の土粒子が分散して沈降しうる最大の塩分濃度、すなわち、限界塩分濃度は1.0～1.3%であった(図-12～図-15)。一方、自然試料、および脱塩試料については、図-19で明らかのように、土粒子が凝集した懸

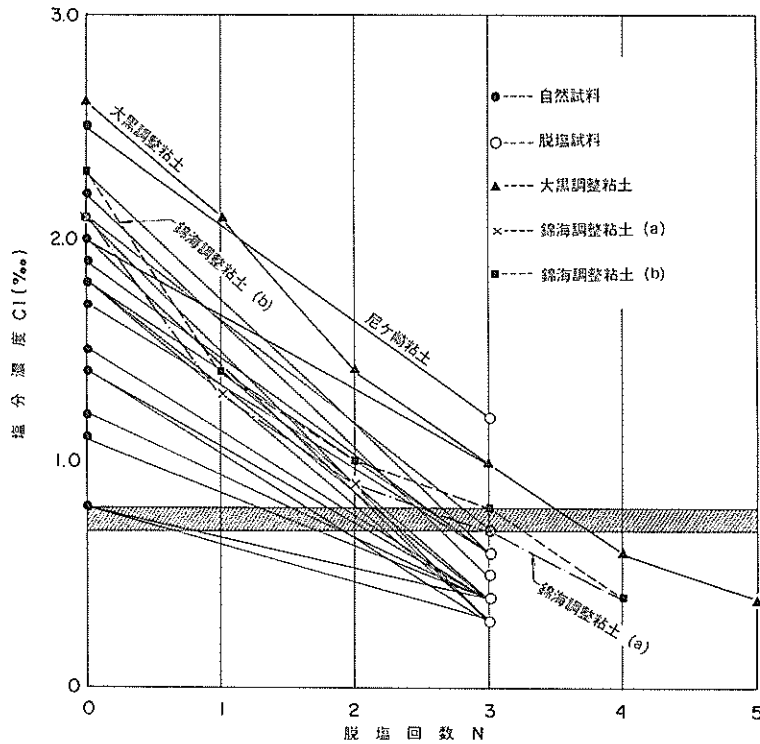
濁液の最小塩分濃度は、大阪湾の洪積粘土の場合にみられ、その値は0.8‰であった。これらの結果から、土粒子の凝集性を考慮した場合の許容塩分濃度は、試料により異なるが0.7～1.3‰の範囲にある。

塩分濃度が高い場合、実際の懸濁液の水の比重が計算上の水の比重値よりも過大なことによる試験誤差が生ずる。

図一10(a), 図一10(b)に示すように、調整粘土の塩分濃度0.8～1.3‰の試料についての粒径加積曲線を見ると、同一試料における最少の塩分濃度のそれと比較

して、質量百分率がいずれも大きく求められている。一方この傾向は脱塩試料においても同様で、図一18の尾ヶ崎粘土においても、塩分濃度1.2‰の脱塩試料についてもその質量百分率は100%以上になった。これらの結果を考慮すると、水の比重が過大なために生ずる質量百分率の誤差は、塩分濃度を0.8‰以下にすれば、実用上許容できる程度に収めうるものと考えられる。

以上の2つの事実から、塩分を含有した海成試料から脱塩を行った後の粒度試験用懸濁液の許容塩分濃度を、0.7～0.8‰以下と想定した。なお、洪積試料について



図一31 脱塩回数と塩分濃度の関係

表一9 脱塩回数と塩分濃度

回数	試料	錦海 (1)	錦海 (2)	大黒
0	回	2.1 ●	2.3 ●	2.6 ●
1		1.3 ●	1.4 ●	2.1 ●
2		0.9 ○	1.0 ○	1.4 ●
3		0.7 ○	0.8 ○	1.0 ○
4		0.4 ○	0.4 ○	0.6 ○
5				0.4 ○

○ ; 分散

● ; 凝集

ては、0.8%では若干過大な傾向があるが、試料数が少ないため、限界の値は明確には規定し難く、したがって今回の検討の対象外とする。

## 5.2 必要脱塩回数の設定

図-31は、大黒調整粘土、錦海調整粘土および自然試料の塩分含有試料から、希釈による脱塩を行ったさいの脱塩回数と塩分濃度を示したものである。表-9に、調整粘土の脱塩後に行った粒度試験における土粒子の分散と凝集の別を表示した。これらの図表から、初期塩分濃度が2.6%と最も高い大黒調整粘土においては、許容塩分濃度0.7~0.8%の塩分濃度に減少させるのに必要な脱塩回数は4回である。また、錦海調整粘土では3回の脱塩で0.7,0.8%と許容塩分濃度の上限に達している。

図-19から、粘土含有量が67%の尼ヶ崎粘土についてみると、自然試料の塩分濃度が2.5%と高い場合、3回の脱塩を行った脱塩試料の塩分濃度は、1.2%とやはり高く、この場合は3回の脱塩ではまだ不十分であるといえる。

以上のことから懸濁液の塩分濃度を測定することにより、必要脱塩回数を知ることができた。しかし、定常的な業務として細粒土の粒度試験を行う場合、粒度試験の行程中に懸濁液の塩分濃度を測定する試験操作を組み入れることは、試験の能率低下をまねき、更に試験を煩雑にするためこの方法は実用に適さない。また、3.2で述べたように1回の脱塩に要する時間、(図-8)あるいは塩分濃度の減少する割合も試料によって異なる。そこで前述した物理定数との相関関係(図-20、図-21)にもとづいて1つの目安としてそれぞれの試料に対応した脱塩回数を設定した。

- ① 塑性指数60(または自然含水比80%)以上の試料-4回
- ② 塑性指数35~60(または自然含水比60~80%)の試料-3回
- ③ 塑性指数35(または自然含水比60%)以下の試料-2回

ただし、設定した脱塩回数は、塩分を含有した試料の塩分濃度を許容塩分濃度0.7~0.8%以下に減少させる必要回数である。粒度試験の懸濁液は、塩分濃度が0に近いほど、試験精度は高くなると考えられるから、可能な範囲で脱塩回数を追加すれば、さらに試験誤差を減少できると考えられる。

希釈による脱塩を行うさいに、上澄み液中に含まれるコロイド分を失うことによる土粒子質量の減少が解念される。3回の脱塩を行った上澄み液を炉乾燥して測定し

た質量は最大2g前後であった。この質量は、塩分、有機物の中に多少のコロイドが混合したものの質量であり、粒度試験を行うさいの種々の試験誤差の要因と比較すれば、実用上、問題はないと判断される。

## 6. まとめ

海成の自然試料と、塩分濃度を人為的に調整した調整粘土、および脱塩試料について実施した、比重浮ひよう測定法を用いた粒度試験、および塩分濃度の異なる水に対して行った比重試験の結果から、次の結論が得られた。

(1) 海成粘土の粒度試験結果は、試料中に含まれる塩分が要因となり、2つのタイプの試験誤差を生じることが確認された。

(2) 調整粘土の粒度試験結果から、粘土含有量が45~73%、塑性指数44~86の粘性土においては、粒度試験用の懸濁液は、1.0~1.3%の塩分濃度で土粒子が凝集して沈降し、粒度試験結果に誤差を生ずることが確認された。この試験誤差は、塩分濃度の増大とともに大きくなるが、ある限界の塩分濃度以下ではきん少であり実用上無視できる。

(3) 実験に使用した自然試料の塩分濃度は0.7~2.5%の範囲にあり、塩分調整、および脱塩を行わない場合、25試料中20試料が土粒子が凝集して沈降しその結果、粒度試験結果に誤差を生じた。

なお、自然試料においては、粒度試験用の懸濁液の塩分濃度と、試料の物理定数(自然含水比、塑性指数、粘土含有量)とよい相関性を示した。この関係から、試料の自然含水比、塑性指数を用いて、懸濁液の概略の塩分濃度を推定することが可能である。今回の自然試料において、土粒子が凝集して沈降した試料の物理定数は、自然含水比63%以上、塑性指数35以上、粘土含有量38%以上であった。

(4) 自然試料に対し、3回の脱塩を行った脱塩試料の塩分濃度は、0.8~1.2%であった。脱塩試料においては、土粒子はほぼ分散して沈降したと判断された。しかし、脱塩試料における最高塩分濃度1.2%は調整粘土の粒度試験結果により、粘性土の限界塩分濃度1.0~1.3%の範中にあり、土粒子が分散して沈降し得る限界の塩分濃度と考えられる。

また、3回の脱塩の所要時間は、1日ないし2日であるが、粒度試験の行程中に組み込まれるため、従来の試験日数に対し、脱塩操作が追加されたことによる延長試験日数は、0ないし1日である。

(5) 粒度試験における懸濁液の水の比重は、塩分濃度とともに増大するが、計算上は塩分の影響を考慮してい

## 記号一覧表

ないため、結果的には、土の質量百分率が過大に求められることが明らかになった。この試験誤差も、上述の凝集防止に対する脱塩処理により、同時に解消される。

(6) 以上の試験結果の考察から、海成試料においては、粒度試験を行う場合、脱塩は不可欠な試験操作であることが確認できた。

土粒子の凝集と、水の比重の増大による試験誤差を考慮して、脱塩を行った後の試料の許容塩分濃度を、0.7～0.8%と想定し、試料の塑性指数、または自然含水比から試料に対応した脱塩回数を、次のように設定した。

- ① 塑性指数60（または自然含水比80%）以上の試料－4回
- ② 塑性指数35～60（または自然含水比60～80%）の試料－3回
- ③ 塑性指数35（または自然含水比60%）以下の試料－2回

（1986年6月30日受付）

### 謝 辞

この資料をまとめるにあたって、適切な御意見、御指導を頂いた梅原靖文土質部長、小林正樹土性研究室長に深く謝意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) 例えば 小川富美子・松本一明：港湾地域における土の工学的諸係数の相関性、港湾技術研究所報告、第17巻第3号、1978年3月、pp. 3～89
- 2) 土質工学会編：土質工学用語辞典、土質工学会、1985年3月、pp. 55～73
- 3) 中瀬明男・勝野 克・小林正樹：砂分の多い粘性土の一軸圧縮強さ、港湾技術研究所報告、第11巻第4号、1972年12月、pp. 83～102
- 4) 日本工業規格：土の粒度試験方法 JIS A1204-1980、1980年5月、10p.
- 5) 粉体工学研究会編：粒度測定技術、日刊工業新聞社、1976年8月、pp. 125～142
- 6) 山口柏樹：土質力学（全改訂）、技報堂出版、1984年2月、pp. 10～13
- 7) 土質工学会；土質試験法、1981年12月、pp. 2-3-8、pp. 2-5-1～2-5-31

$cl$	;	塩分濃度
$d$	;	球の直径、土粒子の直径
$F$	;	補正係数
$f$	;	球に作用する力
$g$	;	重力加速度
$G_s$	;	$T^{\circ}\text{C}$ の水に対する土粒子の比重
$L$	;	比重浮ひょうの有効深さ
$M$	;	湿潤試料の質量
$m_e$	;	塩分の質量
$M_f$	;	海水の質量
$m_s$	;	乾燥試料の質量
$m_{so}$	;	粒度試験の乾燥試料質量
$m_w$	;	水の質量
$P$	;	粒径 $d$ 以下の、土粒子の全体に対する質量百分率
$R$	;	水の粘性抵抗力
$r'$	;	メニスカス補正をした比重浮ひょう読み
$t$	;	沈降開始後の経過時間
$V$	;	懸濁液の体積
$v$	;	沈降速度
$V_s$	;	土粒子の体積
$w$	;	湿潤試料の塩分を考慮しない含水比
$w_0$	;	湿潤試料の塩分を考慮した含水比
$Z$	;	液面からの深さ
$\gamma$	;	$T^{\circ}\text{C}$ における懸濁液の単位体積重量
$\gamma_f$	;	$T^{\circ}\text{C}$ における海水の単位体積重量
$\gamma_w$	;	$T^{\circ}\text{C}$ における水の単位体積重量
$\eta$	;	$T^{\circ}\text{C}$ における水の粘性係数
$\rho_f$	;	$T^{\circ}\text{C}$ における懸濁液の密度
$\rho_s$	;	$T^{\circ}\text{C}$ における球の密度
$\rho_w$	;	$T^{\circ}\text{C}$ における水の密度
$\beta$	;	塩分比

港湾技研資料 No. 564

1986・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 新宿総合印刷センター協業組合

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.