

港 湾 技 研 資 料

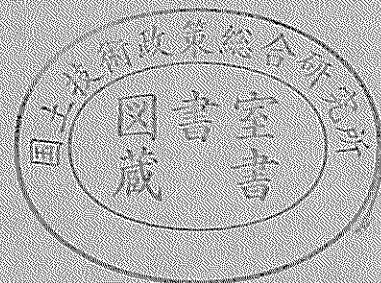
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 421 June, 1982

塩水中におけるベントナイトのフロック形成について

安 立 重 昭

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. 実 験 概 要	3
2.1 供 試 土	3
2.2 海 水	4
2.3 実 験 方 法	4
2.4 実 験 条 件	4
3. 実 験 結 果	4
3.1 フロックの形成される条件	4
3.2 フロックの観察	5
3.3 フロックの成長	9
3.4 フロックの最大粒径	9
4. 凝集の機構	12
4.1 界面電気二重層の構造	12
4.2 粒子間の相互作用と凝集	12
4.3 塩水中における土粒子の凝集	13
5. 結 論	16
6. あ と が き	16
参 考 文 献	16
記 号 一 覧 表	16

Flocculation of Bentonite in Salt Water

Shigeaki ADACHI*

Synopsis

The soil particles causing turbidity compose flocs in the sea. The behavior of flocs composed in the sea is different from individual soil particles. The basic knowledge concerning the behavior of soil particles in the sea was gained by observing flocs composed in salt water under the microscope.

The higher concentration of SS is, the higher concentration of salt for flocculation is, they are nearly in proportion within the limits of this experiment. In the same case of concentration of SS, the higher concentration of salt is, the larger floc size is. On the other hand, in the same case of concentration of salt, the higher concentration of SS is, the smaller floc size is. But it attains the maximum floc size soon.

Generally, the mechanism of coagulation is explained by the theory of electrical phenomena at surface. So adaptation of that theory to the problem of coagulation in salt water was tried.

* Senior Research Engineer, Machinery Division

塩水中におけるベントナイトのフロック形成について

安立重昭*

要 旨

海域において濁りの原因となる微細な土粒子は、フロックを形成し、個々の土粒子と異なった挙動をする。このため、ベントナイトを用いて、塩水中で形成されたフロックを顕微鏡下で観察することにより、塩水中において土粒子が凝集する条件、形成されたフロックの大きさ等を調べ、海域における土粒子の挙動に関する基礎的知見を得た。

凝集が起こり、フロックが形成される塩分濃度は、濁質濃度が大きくなると大きくなり、実験の範囲では、ほぼ比例している。濁質濃度が同じ場合、塩分濃度の大きいほど、形成されたフロックの粒径は大きい。一方、塩分濃度が同じ場合、濁質濃度の大きいほど、形成されたフロックの粒径は小さいが、最大粒径には早く達する。

懸濁質の凝集の機構は、一般に、界面電気学的理論により説明されている。このため、塩水中における土粒子の凝集の問題にこの理論を適用した。

1. ま え が き

海域において浚渫・埋立を行う場合、ある程度の濁りを発生することは避けられず、これが国民の環境に対する意識の高まりにつれて問題となっている。このため、浚渫・埋立によって発生する濁りの研究、さらに発生した濁りの拡散に関する研究が急速に進められ、かなりの成果をあげている。

濁りの原因となる物質は、浚渫によって海底から巻きあげられたり、埋立地から排出される余水に含まれる微細な土粒子であるが、海域においてこれらの土粒子は、単独で存在することなく、海水中の塩分の働きにより凝集してフロックを形成し、個々の土粒子とは異なった挙動をする。河口感潮部において、上流から流れてきた土粒子が堆積して埋没現象を引き起こすのも、塩分の働きにより凝集が起こり、フロックが形成されるためである。

土粒子が塩分の働きにより、フロックを形成することは、以前から知られていたが、現象が複雑であるためもあってか、塩分による土粒子の凝集に着目した研究は、わずかに楠田ら¹⁾にみられるだけである。

海域における濁りの発生・拡散に関する現象についての正確な情報を得るためには、海域における土粒子の挙動を一層明らかにする必要がある。このため、本研究では、この問題に関する研究の一環として、塩水中で形成されたフロックを顕微鏡下で観察して、土粒子が凝集す

る条件、形成されたフロックの大きさ等を調べ、海域における土粒子の挙動に関する基礎的知見を得ようとした。

また、懸濁質の凝集の機構は、一般に、界面電気学的理論により説明されている。このため、塩水中における土粒子の凝集にこの理論を適用することを試みた。

2. 実験概要

2.1 供試土

実験では土粒子として市販のベントナイトを用いた。図-2.1に顕微鏡法により求めたこの供試土の粒径加積曲線を示す。

なお、顕微鏡法により粒径分布を求める場合には、その分解能より小さい粒子は測定し得ないことに留意する必要がある。顕微鏡の分解能 δ は、次式で示される。

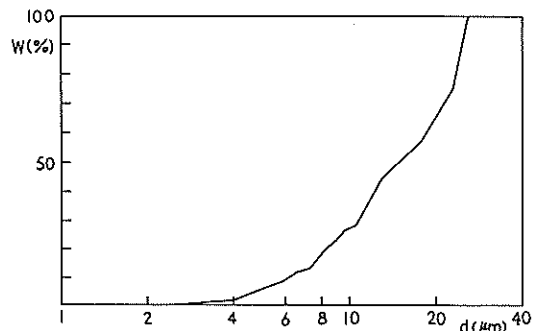


図-2.1 供試土の粒径加積曲線

*機材部 主任研究官

$$\delta = \frac{\lambda}{N} \quad (2.1)$$

ここで、 λ ：照明光線の波長

N ：対物レンズの開口数

この測定で使用した対物レンズの開口数は、0.25であり、可視光線の平均波長は $0.55\mu\text{m}$ であるので、式(2.1)より δ は $2.2\mu\text{m}$ となり、これが測定し得る粒子のほぼ下限である。

顕微鏡法により粒径分布を求める際には、試料をスライドガラスにそのままふりかける乾式法と液相の媒に試料を懸濁させる湿式法のいずれもが用いられるが、ここでは湿式法により、ベントナイトを蒸留水に懸濁させた。

2.2 海水

海水1kgには30g前後の塩類が含まれており、この塩類が土粒子のフロック形成に大きな役割を果たすと考えられることは前述したとおりである。これらの塩類の中で最も多いのは、塩化ナトリウム(NaCl)であり、塩類総量の69%を占める。次いで塩化マグネシウム(MgCl_2)、硫酸ナトリウム(Na_2SO_4)と続き、それぞれ塩類総量の14%、11%を占める。これらの比率は、塩類総量が変わってもほとんど変わらない。

実験では海水として、蒸留水に塩化ナトリウムを溶解させたもの(以下「塩水」という。)を使用した。これは、海水中に含まれる塩類は、土粒子のフロック形成に際していずれも電解質として働き、その大部分を占める塩化ナトリウムをもって、その働きを代表させることができると考えたからである。

2.3 実験方法

実験は、平板型の搅拌翼(1.8cm×1.1cm)6枚を持つ搅拌機を用いて行った。

土粒子として使用したベントナイトは、実験に先立ち、24時間以上蒸留水に浸漬させてよく水になじませた。このベントナイトを蒸留水に懸濁させた懸濁液50mlをビーカー中の塩水450mlに投入して500mlとし、これを一定強度で搅拌して、フロックを形成させた。なお、ベントナイトの懸濁液と塩水は、投入後、所定の濃度になるようにあらかじめその濃度を調整した。

形成されたフロックの粒径の測定は、ベントナイトを投入した時点から所定の時間が経過したごとに、注射器を用いて採水を行い、これを顕微鏡下で撮影することにより行った。なお、顕微鏡撮影は、暗視野照明により行った。これは、通常の明視野照明では、形成されたフロックが透明に近く非常に観察しにくいからである。

顕微鏡の分解能については、前述したとおりであるが、暗視野照明によれば、分解能よりはるかに小さい粒径を

持つ粒子の形状を知ることはできないものの、その存在は知ることができる。したがって、分解能より小さい非常に微細な土粒子より構成されているフロックについても、全体の形状は知ることができる。この点も暗視野照明による長所である。

2.4 実験条件

フロックの形成は、土粒子の濃度(以下「濁質濃度」という。)、塩分濃度、搅拌強度(乱流変動の強さ)に支配されると考えられる。ここでは、搅拌強度を一定とし、濁質濃度を25mg/l、50mg/l、100mg/lの3とおり、塩分濃度を0g/l、1g/l、2.5g/l、5g/l、10g/l、20g/l、30g/l、40g/lの8とおりとし、これらを組み合わせた24ケースについて実験を行った。

搅拌強度については、簡単のために、全ケースにおいて、搅拌翼の回転数を通常のジャーテストにおける急速搅拌によく用いられる回転数である120rpmとした。

3. 実験結果

3.1 フロックの形成される条件

最初にフロックが形成される条件について述べる。図-3.1は、観察し得るフロックが形成されるまでに要した時間 t_f と塩分濃度 C 、濁質濃度 C_t の関係を示す。

塩分濃度が1g/lのときには、濁質濃度が25mg/lのケースのみフロックが形成される。塩分濃度が2.5g/lのとき

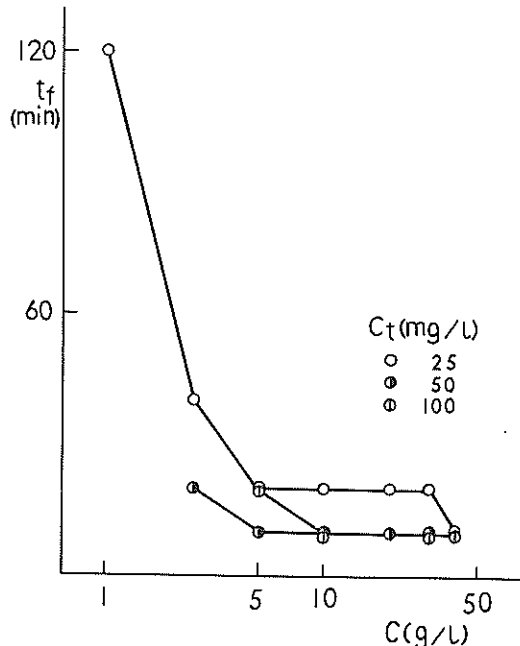


図-3.1 フロックの形成に要する時間

には、濁質濃度が25mg/l, 50mg/lの両ケースにおいてフロックが形成され、塩分濃度が5g/lをこえると、すべてのケースにおいてフロックが形成される。

このことから、凝集が起きフロックが形成される塩分濃度の下限は、濁質濃度が25mg/l, 50mg/l, 100mg/lのときそれぞれ1g/l, 2.5g/l, 5g/lとなり、濁質濃度にほぼ比例していることがわかる。

一方、 t_f についてみると、塩分濃度が小さくなると t_f が大きくなるばかりでなく、濁質濃度が小さくなっても t_f は大きくなる。

以上のことから、濁質濃度の小さいほど、小さい塩分濃度においてもフロックが形成されるが、 t_f は大きくなり、フロックの形成現象が塩分濃度ばかりでなく、濁質濃度とも密接な関連を有していることがわかる。

3.2 フロックの観察

形成されたフロックは、時間の経過とともに成長を続ける。図-3.2~3.5に顕微鏡撮影されたフロックの例を示す。暗視野照明により撮影されているため、通常の写真と黒白が逆になっている。

図-3.2は濁質濃度が25mg/l, 図-3.3は濁質濃度が

50mg/l, 図-3.4は濁質濃度が100mg/lの場合におけるものであり、塩分濃度はいずれも30g/lである。図-3.5は経過時間120分におけるものであり、濁質濃度、塩分濃度はそれぞれ異なっている。これらから、フロックの成長と濁質濃度、塩分濃度の関係を知ることができるが、次節で詳しく述べる。

フロックを詳細に観察すると、写真において明るく輝いている部分と比較的暗い部分があることがわかる。明るく輝いている部分は、直径数 μm 以上の比較的大きい粒子とみられる。比較的暗い部分は、個々の粒子の形状を知ることはできないが、暗視野照明下において、その存在だけは知ることのできる非常に微細な粒子から構成されていると考えられる。このことは、フロックがかなり成長した場合の写真から、微細な粒子の存在を示す輝点が見い出されないことから推察される。

フロックの構造は、濁質濃度、塩分濃度さらに攪拌強度によっても差異があると考えられる。実験で得られたフロックについてみる限り、かなりルーズであるとみられるが、この点については、さらに詳しい検討が必要である。

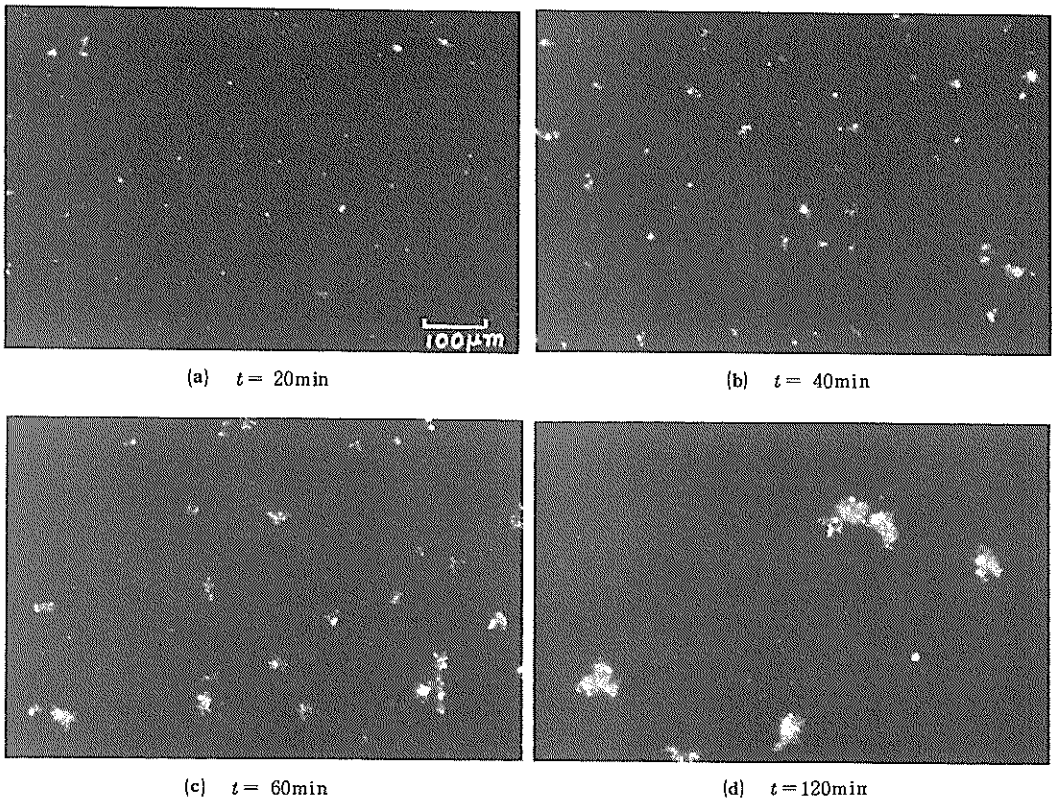


図-3.2 形成されたフロック ($C=30\text{g/l}$, $C_t=25\text{mg/l}$)

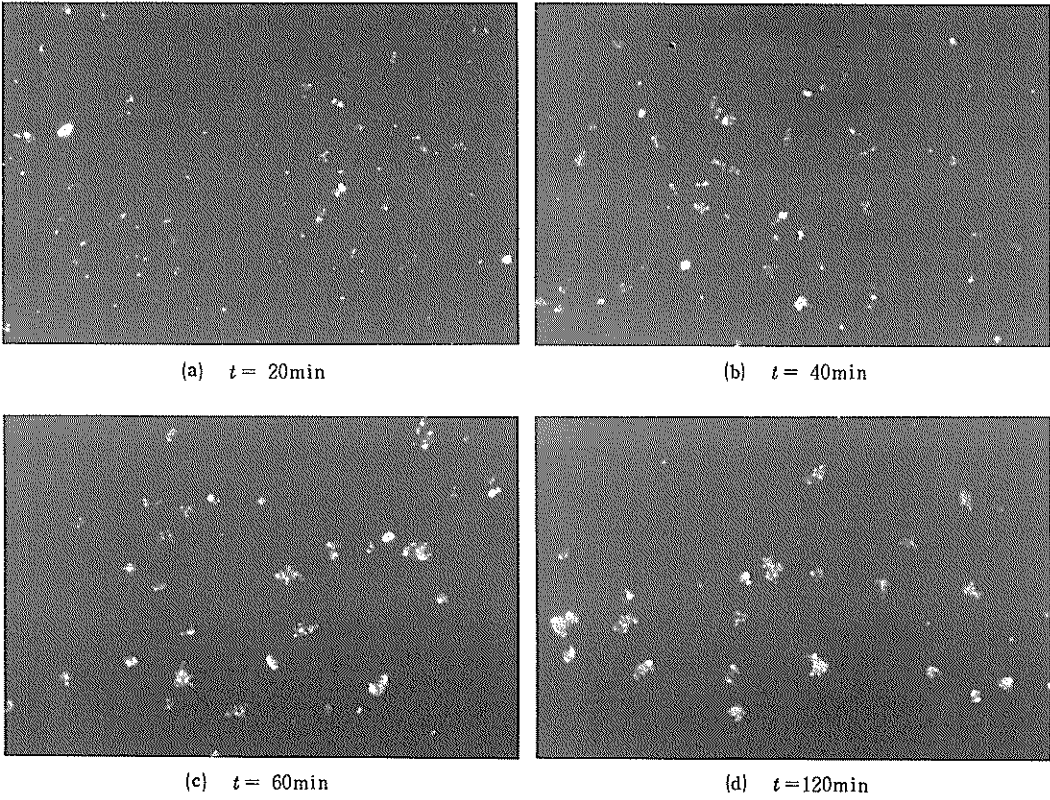


図-3.3 形成されたフロック ($C=30\text{g/l}$, $C_t=50\text{mg/l}$)

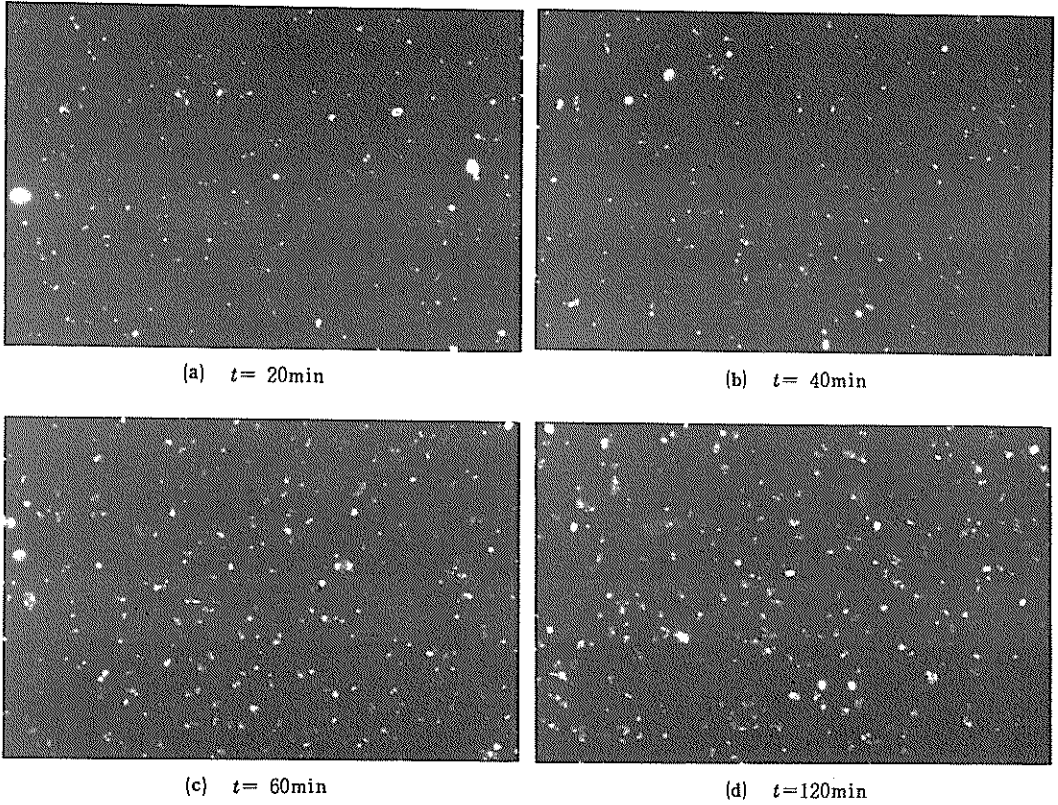
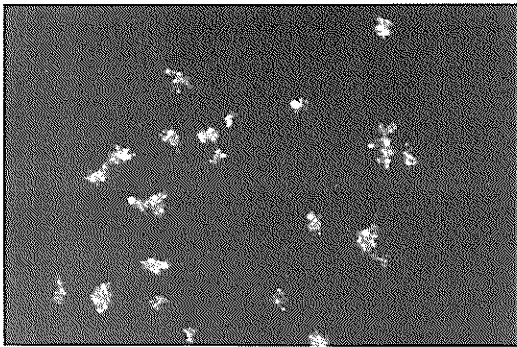
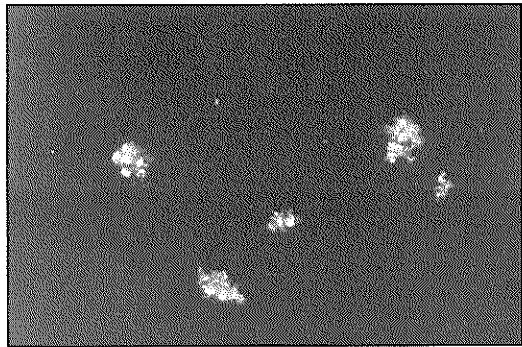


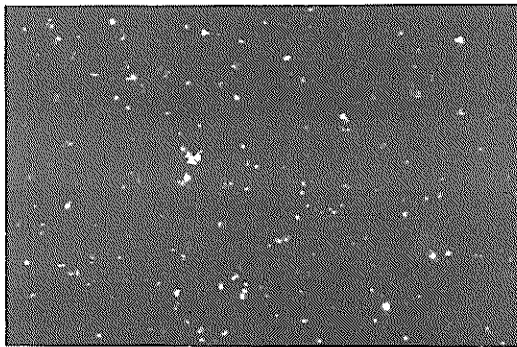
図-3.4 形成されたフロック ($C=30\text{g/l}$, $C_t=100\text{mg/l}$)



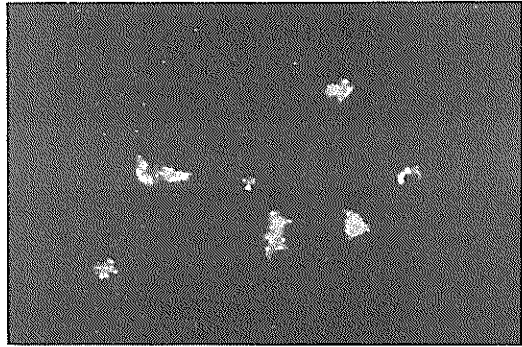
(a) $C=10\text{g/l}$, $C_i=25\text{mg/l}$



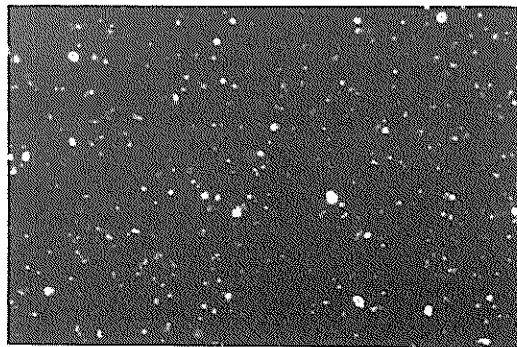
(d) $C=40\text{g/l}$, $C_i=25\text{mg/l}$



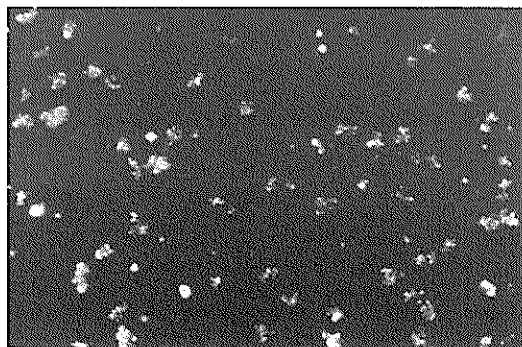
(b) $C=10\text{g/l}$, $C_i=50\text{mg/l}$



(e) $C=40\text{g/l}$, $C_i=50\text{mg/l}$



(c) $C=10\text{g/l}$, $C_i=100\text{mg/l}$



(f) $C=40\text{g/l}$, $C_i=100\text{mg/l}$

図-3.5 形成されたフロック ($t=120\text{min}$)

3.3 フロックの成長

フロックの成長を定量的に調べるため、顕微鏡撮影された写真より個々のフロックの粒径を読み取った。フロックのように複雑な形状を有するものを多数取り扱うとき、どのように定義された粒径を用いるかは大いに議論のあるところであるが、ここでは、測定の容易さをも考慮してフロックの長径をもって、フロックの粒径とした。このようにして求めたフロックの成長による個数基準の粒径加積曲線の一例を図-3.6に示す。

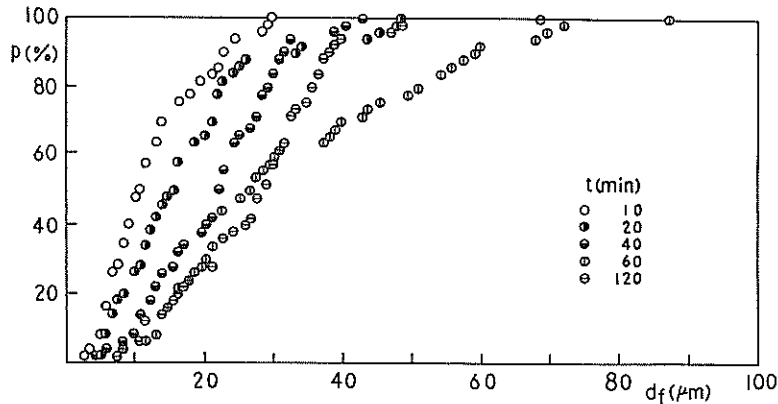


図-3.6 フロックの粒径加積曲線 ($C=40\text{g/l}$, $C_t=100\text{mg/l}$)

また、以下の議論では、算術平均粒径（以下「平均粒径」という。）をもってフロックの粒径を論じた。

(1) 塩分濃度との関係

図-3.7から塩分濃度とフロックの成長の関係を知らることができる。横軸は、ベントナイトの投入時を0とした経過時間 t 、縦軸は、フロックの平均粒径 d_{fm} である。濁質濃度が 25mg/l の場合に、若干のばらつきがみられるものの、塩分濃度の大きいほど、フロックの粒径が大きいことがわかる。

(2) 濁質濃度との関係

図-3.8から濁質濃度とフロックの成長の関係を知らることができる。いずれの塩分濃度においても、濁質濃度

が大きいほど、フロックの粒径が小さい。

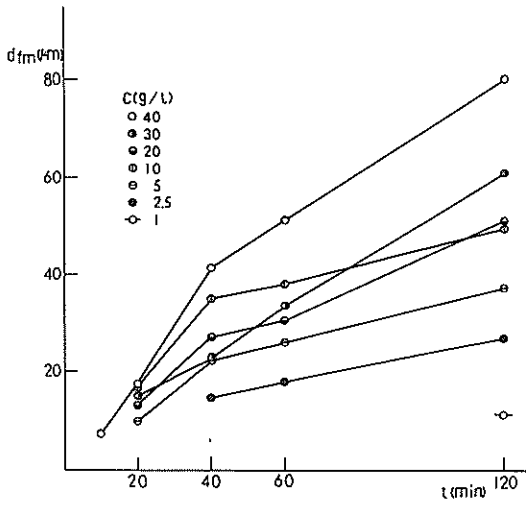
また、いずれの塩分濃度においても、濁質濃度が小さいほど早く、もうそれ以上、成長しない最大粒径に達する。濁質濃度が 50mg/l , 100mg/l の場合には、経過時間60分ですでに最大粒径に達しているのに対して、濁質濃度が 25mg/l の場合には、経過時間120分でも最大粒径に達せず、最大粒径に達するまでに長時間を要することがわかる。

3.4 フロックの最大粒径

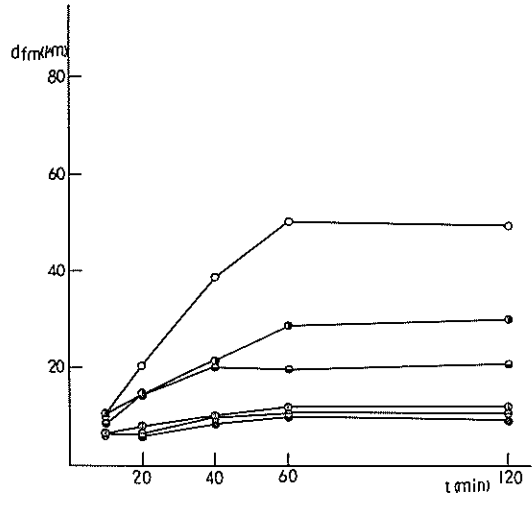
図-3.9に濁質濃度が 50mg/l , 100mg/l の場合における塩分濃度と最大粒径 d_{fmax} の関係を示す。いずれの場合においても、経過時間120分における平均粒径をもって最大粒径とした。

濁質濃度が小さくなると、最大粒径が大きくなることは既に述べたとおりであり、塩分濃度 30g/l における最大粒径は、濁質濃度が 50mg/l の場合には、 $29.7\mu\text{m}$, 100mg/l の場合には、 $14.1\mu\text{m}$ である。

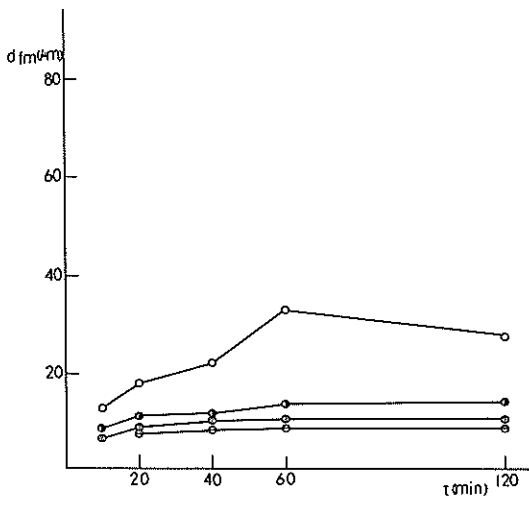
一方、塩分濃度と最大粒径の関係をみると、塩分濃度が大きくなると、最大粒径が大きくなることは既に述べたとおりであるが、塩分濃度が大きくなればなるほど、その増加は顕著になる。



(a) $C_i = 25 \text{ mg/l}$

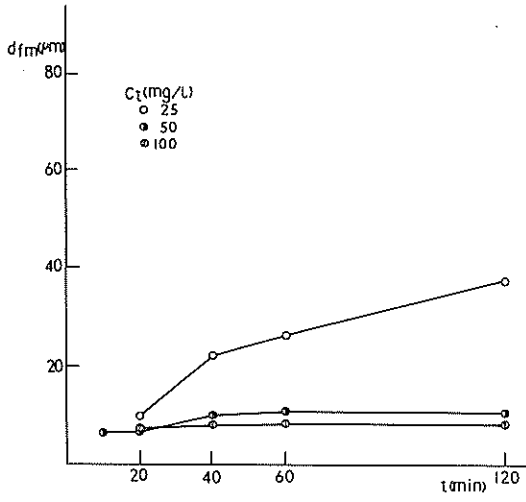


(b) $C_i = 50 \text{ mg/l}$

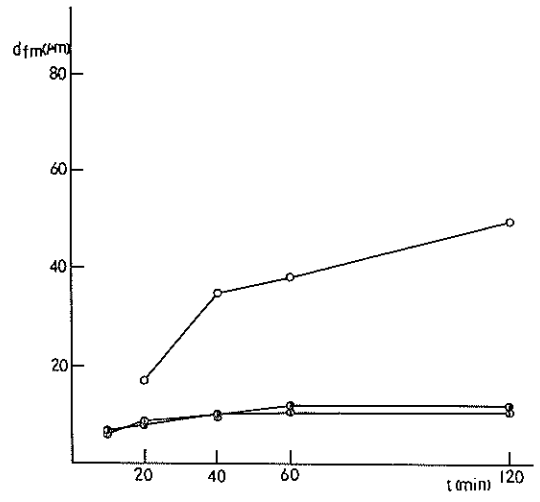


(c) $C_i = 100 \text{ mg/l}$

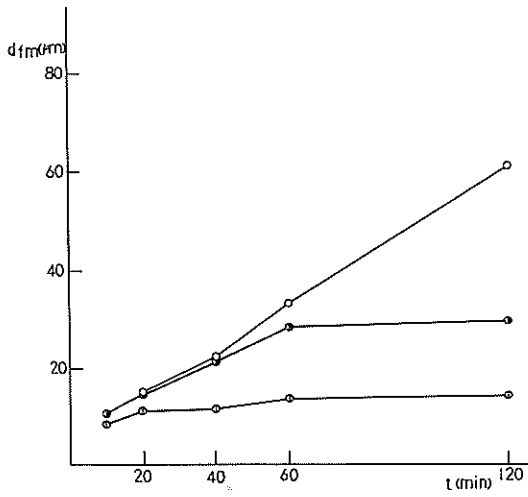
図-3.7 フロクの成長



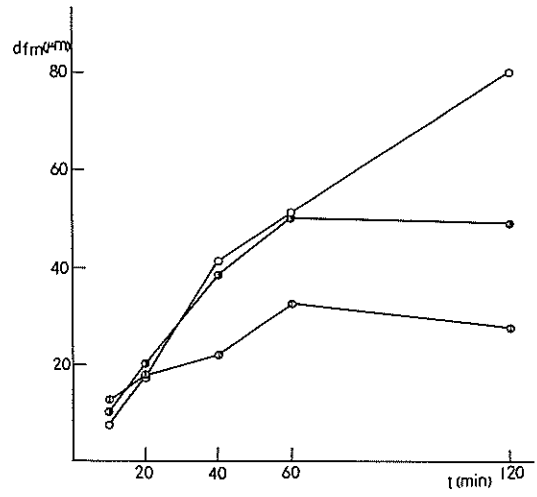
(a) $C=5\text{g/l}$



(b) $C=10\text{g/l}$



(c) $C=30\text{g/l}$



(d) $C=40\text{g/l}$

図-3.8 フロックの成長

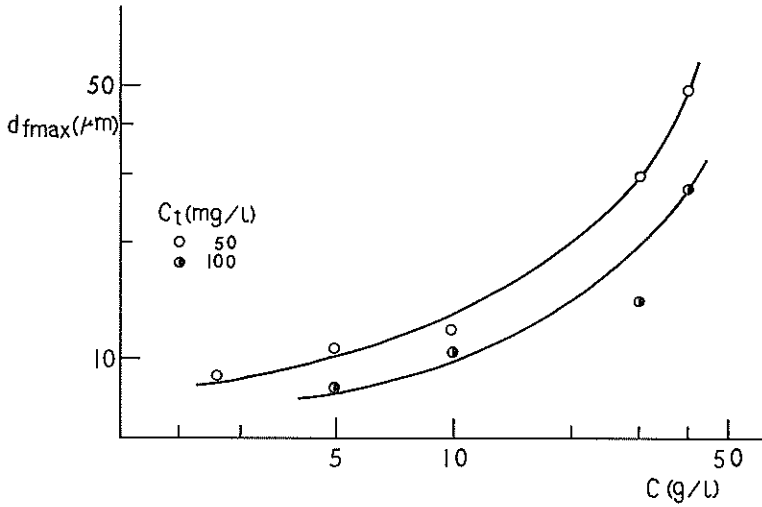


図-3.9 フロックの最大粒径

4. 凝集の機構

前章で明らかにしたように、塩水中における土粒子は、凝集してフロックを形成する。このような懸濁質の凝集の機構は、一般に、以下に述べるような界面電気学的理論により説明されている²⁾。

4.1 界面電気二重層の構造

水中に浮遊している粒子の表面は、一般に帯電している。このため、図-4.1に示されるような電位分布を持つ界面電気二重層が形成される。表面の電荷と同量の反対符号イオンが表面に吸着された場合、Helmholtzの固定二重層が形成されるが、水分子および水中に存在しているイオンの熱運動の働きによって、反対符号イオンは、

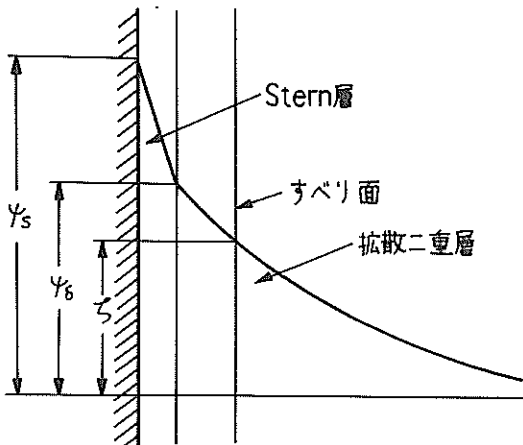


図-4.1 界面電気二重層の構造

表面で最大濃度、無限遠で水中における平均濃度になるような分布を示す。同符号イオンは、表面で0,無限遠で水中における平均濃度になるような分布を示すが、無視できることが多い。この熱運動の影響を受ける部分は、拡散二重層と呼ばれている。

粒子の表面に近い部分では、静電作用が強力であり、London-van der Waals力によっても補強されているため、もはや熱運動によっては反対符号イオンを拡散させることができない。このため、粒子の表面のすぐ近くには、反対符号イオンや反対電荷を有する微粒子が特異的に吸着されて、Stern層と呼ばれる固定層が形成される。このStern層は、拡散二重層と平衡状態を保って存在している。

4.2 粒子間の相互作用と凝集

水中の粒子は、界面電気二重層に囲まれているので、全体としてみれば電氣的に中性であり、十分離れた粒子間では、静電的な反発力は働かない。しかし、粒子間の距離が小さくなると、界面電気二重層が重なり、クーロン力による反発力が働く。

粒子間には、これに加えてLondon-van der Waals力と呼ばれる力が働いている。この力は、電氣的な力であるが、同種粒子間では、常に吸引力として働く。

粒子間に働く力は、これらの合成力である。2つの粒子が接近したときの相互作用をポテンシャルで表わすと図-4.2のようになる。粒子が凝集するためには、図-4.2に示されるポテンシャルの山=ポテンシャル障壁を乗り越える必要がある。クーロン力によるポテンシャル V_C 、London-van der Waals力によるポテンシャル V_A は、

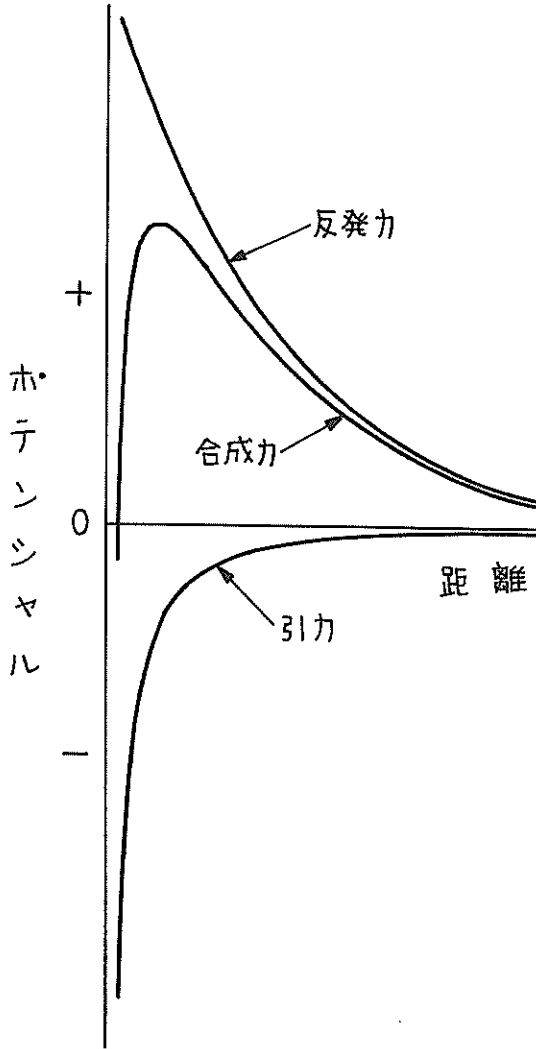


図-4.2 相互作用のポテンシヤル

それぞれ次式で与えられる。

$$V_R = \frac{\epsilon a \psi_0^2}{2} \ln \{1 + \exp(-kH)\} \quad (4.1)$$

ここで、

ϵ : 水の誘電率

a : 粒子の半径

ψ_0 : Stern面 (Stern層と拡散二重層の境界) の電位

k : 拡散二重層の厚さの逆数

H : 粒子間の最短距離

$$V_A = -\frac{A}{6} \left\{ \frac{2a^2}{H^2 + 4aH} + \frac{2a^2}{(H+2a)^2} + \ln \frac{H^2 + 4aH}{(H+2a)^2} \right\}$$

ここで、 (4.2)

A : Hamaker 定数

なお、水中のイオンが対称 $z-z$ 型電解質より生じた場合、拡散二重層の厚さ $1/k$ は、次式で与えられる。

$$\frac{1}{k} = \sqrt{\frac{\epsilon KT}{8\pi n z^2 e^2}} \quad (4.3)$$

ここで、

K : Boltzmann 定数

T : 絶対温度

n : 単位体積におけるイオンの個数 ($n_+ = n_- = n$)

z : イオン価 ($z_+ = z_- = z$)

e : 単位電荷

一般に、ポテンシャルの極大値 V_{max} が $15KT$ より大きければ、粒子に与えられた運動エネルギーによって、ポテンシャル障壁をこえる確率は小さく、凝集が起こらず、その懸濁液は安定であるとされている。

凝集を促進させるためには、ポテンシャル障壁を低くしてやればよい。懸濁液に硫酸アルミニウムのような無機凝集剤を添加すると、水中で電離して多量の反対符号イオンが供給される。この反対符号イオンが Stern 層に吸着されると、Stern 面電位 ψ_0 が低下する。また、拡散二重層に反対符号イオンが取り込まれると、拡散二重層の厚さ $1/k$ が薄くなる。クーロン力は、 ψ_0 , $1/k$ の関数で与えられ、これらの値が小さくなると小さくなり、その結果として、ポテンシャル障壁も低くなり、凝集しやすくなる。無機凝集剤の働きは、このように説明されている。

4.3 塩水中における土粒子の凝集

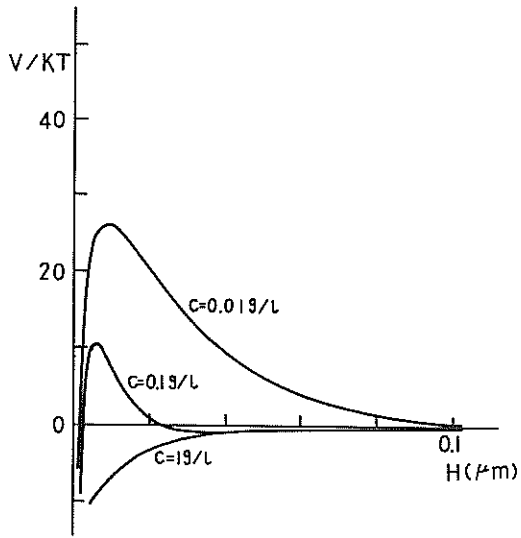
海水中に含まれる塩分の大部分は、電離して、イオンとして存在している。塩化ナトリウムの場合、 Na^+ イオンと Cl^- イオンに電離している。

一方、土粒子の表面は負に帯電していることが知られている。このため、水中に Na^+ イオンのような反対符号イオンが存在していると、無機凝集剤と同じ働きをし、凝集が促進されると考えられる。ここでは、塩水中における土粒子間の凝集が、前述したような機構により起こると考えて、式(4.1)、(4.2)を用いて、土粒子間の相互作用による全ポテンシャルを計算し、これから、凝集が起こる塩分濃度の下限を求めた。

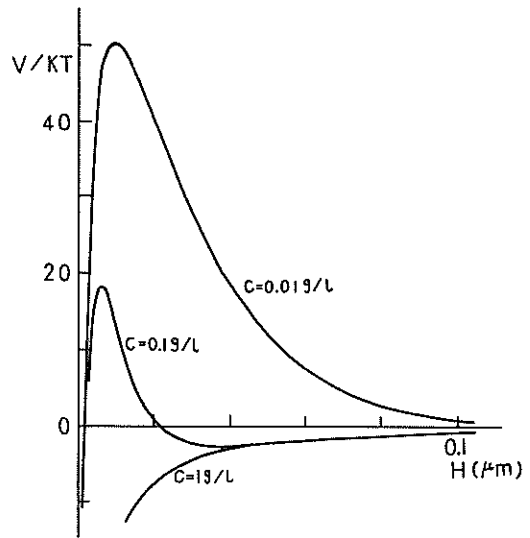
(1) 計算の前提

塩水中における凝集を一応、非特異的な凝集と考えた。このため、イオンの特異吸着はなく、Stern 面電位 ψ_0 は、塩分濃度を変えても一定であるとし、文献3)から、 -16 mV とした。

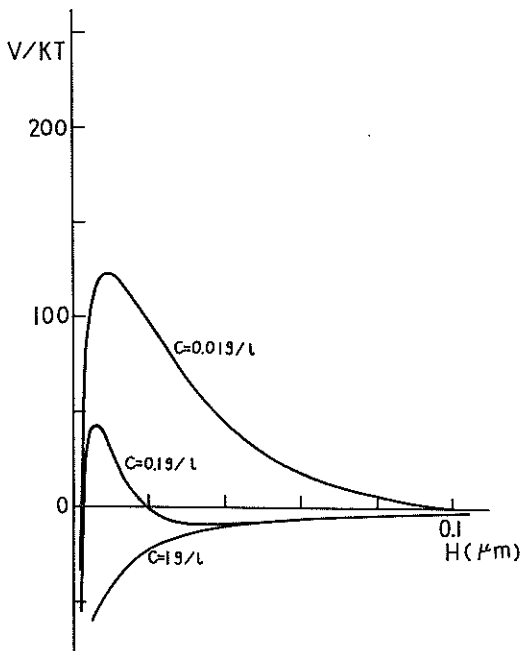
非特異的な吸着の場合、電解質の影響は、拡散二重層



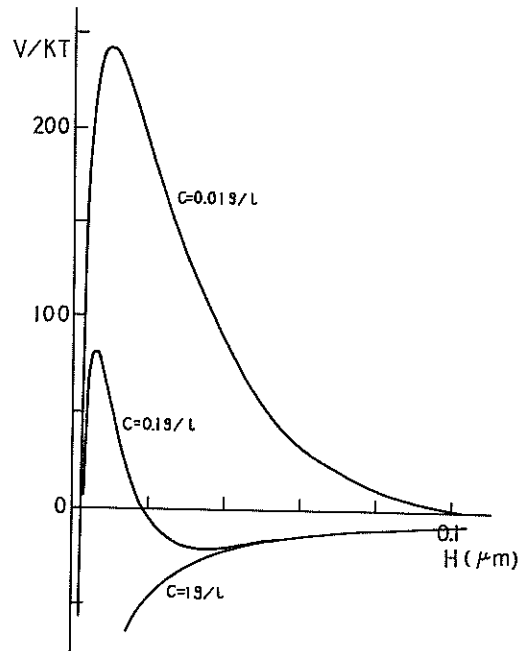
(a) $d = 0.5 \mu\text{m}$



(b) $d = 1 \mu\text{m}$



(c) $d = 2.5 \mu\text{m}$



(d) $d = 5 \mu\text{m}$

図-4.3 全ポテンシャル曲線

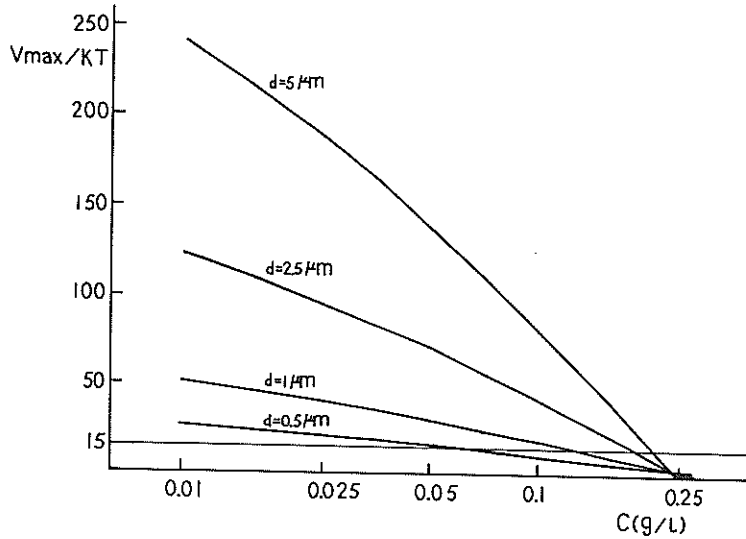


図-4.4 全ポテンシャル曲線の最大値

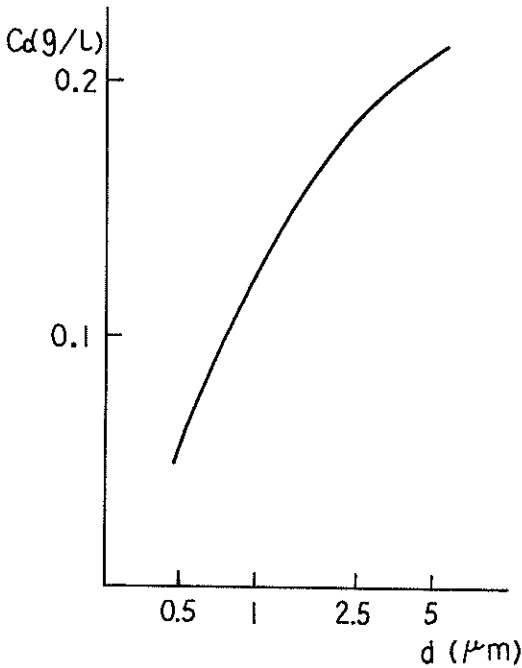


図-4.5 凝集が起こる塩分濃度の下限

の厚さのみに表われる。塩水中において、塩化ナトリウムが100%電離しているものとする、拡散二重層の厚さは、式(4.3)より次式で表される。ただし、水温は25°Cとした。

$$\frac{1}{k} = \frac{3 \times 10^{-8}}{\sqrt{C/58.44}} \text{ (cm)} \quad (4.4)$$

Hamaker 定数 A は $2 \times 10^{-20} \text{ J}$ とした。

(2) 計算結果

以上の ψ_0 , $1/k$, A を用いて、土粒子間の相互作用による全ポテンシャル V を計算した。土粒子の粒径は、0.5 μm , 1 μm , 2.5 μm , 5 μm とし、塩分濃度 C を 0.01 g/l と 1 g/l の間で変化させた。

土粒子径 1 μm は、単位時間内に重力によって沈降する距離とブラウン運動によって移動する平均距離が等しく、沈降しにくく、かつ凝集しにくい、いわば最悪粒径にほぼ相当する。したがって、土粒子の凝集を考える場合には、この粒径を中心に考えればよい。

計算より求められた全ポテンシャル曲線の例を図-4.3に示す。ただし、縦軸は25°Cにおける V/KT であり、無次元化されている。

図-4.3をみればわかるように、塩分濃度が大きくなると、全ポテンシャルの極大値は小さくなり、ついには、正の極大値が存在しなくなる。一方、極大値の大きさは、土粒子の粒径とも関係がある。図-4.4は、計算により求めた無次元化した全ポテンシャルの極大値 V_{max}/KT と、土粒子の粒径 d 、塩分濃度 C の関係を示したものである。

いずれの土粒子径においても、塩分濃度 0.25 g/l の近傍で V_{max} は 0 になり、塩分濃度がこれより大きい領域では、正の V_{max} は存在しない。塩分濃度が 0.25 g/l より小さい領域では、いずれの土粒子径においても、塩分濃度が小さいほど、 V_{max} は大きくなり、かつ土粒子径が大きいほど、 V_{max} は大きい。

凝集が起こる塩分濃度の下限 C_c は、 $V_{max}/KT=15$ に対応する塩分濃度として求められ、図-4.5 に示すとおりであり、土粒子の粒径が大きくなるほど、凝集に必要な塩分濃度は大きくなる。

実験により得られた凝集が起こる塩分濃度の下限は、濁質濃度によって異なるが、いずれも計算値よりかなり大きい。土粒子の粒径を $1\mu\text{m}$ とすると、計算値では 0.123 g/l となるが、実験値では、濁質濃度が 25mg/l, 50mg/l, 100mg/l のときにそれぞれ 1g/l, 2.5g/l, 5g/l となった。

計算値と実験値の合わない原因としては、色々考えることができるが、まず第一に考えなければならないのは、(1)で述べた計算条件の妥当性である。計算に際しては、これらの値を文献から求めたが、実験的検証は行っていない。このため、これらの値について、実験的検討を行うなどして、実験値との整合性を高めていきたい。

5. 結 論

塩水中における土粒子のフロック形成について調べた。供試土にはベントナイトを用い、攪拌強度は一定とした。フロックの成長による粒径変化は、顕微鏡写真より測定した。この結果、以下の点が明らかになった。

(1) 凝集が起こり、フロックが形成される塩分濃度は、濁質濃度が大きくなると大きくなり、実験の範囲では、ほぼ比例していた。

(2) 暗視野照明を用いることにより、形成されたフロックを顕微鏡下で観察することができた。形成されたフロックは、非常に微細な粒子から構成されていて、かなりルーズな構造である。

(3) 濁質濃度が同じ場合、塩分濃度の大きいほど、形成されたフロックの粒径は、大きくなる。

(4) 塩分濃度が同じ場合、濁質濃度の大きいほど、形成されたフロックの粒径は、小さくなるが、最大粒径に早く達する。

6. あ と が き

海水中における土粒子の凝集、フロック形成について、

基礎的知見を得た意義は大きい。

しかし、実際の問題に適用するためには、形成されたフロックの沈降速度や強さについても検討を進めるとともに、今回は検討しなかった海水中の乱流変動の強さの影響や海水中に含まれている有機物の影響についても検討する必要がある。また、今回は供試土にベントナイトを用いたが、他の種類の粘土や現地汚泥についても実験を進めていきたい。

凝集の機構については、界面電気学的理論による計算を試みた。
(1982年3月31日受付)

参 考 文 献

- 1) 楠田哲也・古賀憲一・粟谷陽一：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，pp.31～36.
- 2) 丹保憲仁：水処理における凝集機構の基礎的研究(Ⅰ)——理論的考察，水道協会雑誌，No. 361, 1964年，pp.2～12.
- 3) 丹保憲仁：水処理における凝集機構の基礎的研究(Ⅱ)——硫酸アルミニウムによる粘土系濁質の凝集，水道協会雑誌，No. 365, 1965年，pp. 25～37.

記号一覧表

A :	Hamaker 定数
a :	粒子の半径
C :	塩分濃度
C_c :	凝集が起こる塩分濃度の下限
C_t :	濁質濃度
d :	土粒子の粒径
d_f :	フロックの粒径
d_{fm} :	フロックの平均粒径
d_{fmax} :	フロックの最大粒径
e :	単位電荷
H :	粒子間の最短距離
K :	Boltzmann 定数
k :	拡散二重層の厚さの逆数
N :	対物レンズの開口数
n :	単位体積におけるイオンの個数
T :	絶対温度
t :	経過時間
t_f :	フロックが形成されるまでに要した時間
V :	粒子間の相互作用による全ポテンシャル
V_A :	London-Van der Waals 力によるポテンシャル
V_E :	クーロン力によるポテンシャル
V_{max} :	全ポテンシャルの極大値
σ :	イオン価
δ :	顕微鏡の分解能
ϵ :	水の誘電率
λ :	照明光線の波長
ψ_s^0 :	Stern 面電位

港 湾 技 研 資 料 No.421

1 9 8 2 ・ 6

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 日青工業株式会社

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