HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	河川流入域附近の濁度変化に関する研究(Ⅰ):淡塩二重水層中の懸濁粒子沈降について
Author(s)	坂本, 亘
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 17(2), 71-82
Issue Date	1966-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23273
Type	departmental bulletin paper
File Information	17(2)_P71-82.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

河川流入域附近の濁度変化に関する研究 (I)
淡塩二重水層中の懸濁粒子沈降について

坂 本 亘

Study on the Turbidity in Estuary (I)*

Settling Patterns of Particles through the Boundary between Two Layers

Wataru SAKAMOTO**

Abstract

A fundamental experiment was carried out to learn settling patterns of suspended matters at the boundary between the upper fresh water and the lower saline water layer in an experimental tank. The tank was separated holizontally into three parts with two vinyl membranes before measuring, which were held in place by rubber packings pasted on the tank walls. The settling velocity of particles was measured by CdS-photoresistors.

The particles stayed at the boundary for several minutes in spite of the fact that they had settled gradually through the fresh water, and after a while they began to settle again in the saline water. The time during which they remained at the boundary seemed to be proportionate to the density of the lower saline water.

He considered that this phenomenon was due to the difference between the density of the saline water and the virtual density of the particles that contained fresh water.

緒 言

河川と海水が明瞭な二重水層を形成する河口附近の浮游漂砂については海岸工学の立場から多くが論じられている[1]。

著者はこれら河川から流入する懸濁粒子の沈降を解明する手段として，淡水・塩水の接する実験水槽中で懸濁粒子を沈降せしめたが，その際二層境界面において沈降がいったん停止する現象を見た。[PLATE 1.]

一般に河口附近での懸濁粒子の沈降，拡散は海水のイオン作用[2]，二層の擾乱運動[3]，懸濁粒子の鉱物特性等[4,5]の物理的，化学的作用のため簡単に数式化することは困難であるが，著者の実験中には粒子が境界面に停滞する時間は下層におかれた塩水の濃度に比例すると考えられた。このことから塩の浸透による粒子の密度増加と停滞時間との関係について若干の考察を試みたのでここに報告する。

実験にあたっては井上直一教授，黒木敏郎教授，佐藤修助教授，梨本勝昭教官より親切な御指導と御助言を賜わった。又，粘土鉱物のX線回折については石井次郎助教授より御指導を賜わった。ここに深く謝意を表する。

---

* 昭和 40 年度日本水産学会秋期大会（清水）において発表。

** 北海道大学水産学部漁法物理学教室

理 論 式 の 設 定

粒子が境界面で一旦沈降を停止する現象については，種々の原因が考えられるが，著者はこの現象を淡水と塩水の密度の相異によると考えてみた。

沈降していく際の粒子が複雑なスポンジ状をなしているということは十分想像されるが[6]，このような状態では粒子がその中に淡水を含むため塩水層では浮ぶことも考えられる。

実際試料粒子を乾燥させた後，比重瓶にとって測定した密度より，水中での見かけの密度はもっと淡水に近くなっていると考えたほうが妥当であって，このことは 20‰ の塩水中へ懸濁粒子をスポイトで吹きこんだ際の観察によっても確かめられた。すなわちスポイトの押し出し力で一旦沈降した粒子は次第に浮上しはじめ，水表面にとどまり一定時間経ないと再び沈降しなかったのである。[PLATE II.]

以上のことから沈降中の粒子の見かけの密度が小さくて，一旦は境界面にとどまることは理解できるが，停滞した粒子群が，再び塩水中を沈降するためには，その中に含まれている淡水中へ塩が浸透して次第に密度を増加させ，下層の塩水の密度より大となるものと考えることが必要であろう。

淡水中にある粒子の見かけの密度 C_{so} は，

$$C_{so}=\frac{W_W}{\frac{Wd}{C_d}+\frac{W_W-W_d}{C_0}} \quad \cdots\cdots(1)$$

で表わされる。ここで，W_W は飽和含水状態の懸濁粒子の重さ，C_0 は純水の密度，W_d は乾燥状態の粒子の重さ，C_d は乾燥状態の粒子の空隙率を含まない密度を示す。

粒子の形を粘土粒子が核となってまわりを水がぐるりととりまいている球と仮定する。[Fig. 1.]

粒子の大きさはストークスの沈降法則から求められる[7]。淡水中を沈降する粒子の沈降速度は

$$U=\frac{2(C_{so}-C_0)gr^2}{9\eta C_0} \quad \cdots\cdots(2)$$

但し，η は動粘性係数，g は重力加速度，r は粒子の半径，U は沈降速度を示す。

半径 r は，

$$r=\sqrt{\frac{9\eta C_0 U}{2(C_{so}-C_0)g}} \quad \cdots\cdots(3)$$

となり，一方核の大きさ r_1 は

$$\frac{4\pi}{3}r^3C_{so}=\frac{4\pi}{3}(r_1^3C_d+r^3C_0-r_1^3C_0) \quad \cdots\cdots(4)$$

から，$C_0=1$ とおいて

$$r_1^3=\frac{r^3(C_{so}-1)}{C_d-1} \quad \cdots\cdots(5)$$

であたえられる。

粒子が境界面をはなれて再び沈降を開始する条件は，その時の粒子の重さが塩水排斥量より大となった時であるから，t 時間後における V_2 の密度を $C_{s(t)}$ とすると，

$$V_0C_W \leqq V_1C_d+C_{s(t)}V_2 \quad \cdots\cdots(6)$$

ここで，V_0 は粒子の体積，V_1 は核の体積，V_2

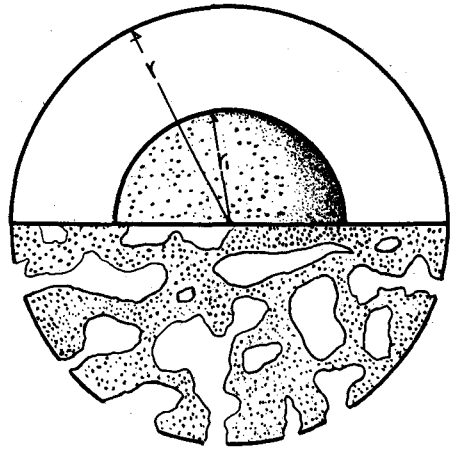


Fig. 1. Idealized shape of particle (upper part) and modeled spongy shape (lower part)

は粒子をつつむ水の体積である。$C_{s(t)}$ について解くと，

$$C_{s(t)} \geqq \frac{\frac{4}{3}\pi(C_W r^3 - C_d r_1^3)}{\frac{4}{3}\pi(r^3 - r_1^3)} \quad \cdots\cdots(7)$$

$$\therefore \quad C_{s(t)} \geqq \frac{(C_W r^3 - C_d r_1^3)}{(r^3 - r_1^3)} \quad \cdots\cdots(8)$$

となる。Δt 時間に粒子中に浸透する塩の重量 $\Delta\alpha$ は，塩分濃度の差に比例すると考えて，

$$\Delta\alpha = K(C_W - C_{s(t)})\Delta t \cdot 4\pi r^2 \quad \cdots\cdots(9)$$

$$\therefore \quad \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = (C_W - C_{s(t)})4\pi r^2 \cdot K \quad \cdots\cdots(10)$$

で示される。但し C_W は塩水の密度，K は浸透に関係する係数を示す。
ここで

$$K' \equiv 4\pi r^2 \cdot K \quad \cdots\cdots(11)$$

とすると，(10) 式は

$$\frac{d\alpha}{dt} = (C_W - C_{s(t)})K' \quad \cdots\cdots(12)$$

となる。今，t を粒子が淡塩水境界面に到達して浸透を開始してからの時間とし，C_{W0} を $t=0$ の時の塩水の密度，又 n を粒子の数とすると V_2 の密度 $C_{s(t)}$ は

$$C_{s(t)} = C_0 + \frac{\alpha}{V_2} \quad \cdots\cdots(13)$$

となる。一方，塩水塩分量は，t 時間あたり $n\cdot\alpha$ だけ減少していくから，塩水の量を V_W とすると，

$$C_W = C_{W0} - \frac{n\cdot\alpha}{V_W} \quad \cdots\cdots(14)$$

となる。(12) 式へ (13) 式，(14) 式をそれぞれ代入すると，

$$\frac{d\alpha}{dt} = \left\{\left(C_{W0} - C_0\right) - \left(\frac{n}{V_W} + \frac{1}{V_2}\right)\alpha\right\}K' \quad \cdots\cdots(15)$$

を得る。(15) 式を α について解くと

$$\alpha = \frac{(C_{W0} - C_0)V_2 V_W}{nV_2 + V_W} - \frac{V_2 V_W}{nV_2 + V_W}\frac{1}{K'}\exp\left(-\frac{nV_2 + V_W}{V_2 W_W}\cdot K't - f\right) \quad \cdots\cdots(16)$$

となる。但し f は積分定数である。
$t=0$ で $\alpha=0$ という初期条件を考えれば (16) 式は

$$\alpha = \frac{(C_{W0} - C_0)V_2 V_W}{nV_2 + V_W}\left\{1 - \exp\left(\frac{nV_2 + V_W}{V_2 V_W}K't\right)\right\} \quad \cdots\cdots(17)$$

となり，又 $t=\infty$ の時

$$\alpha_\infty = \frac{(C_{W0} - C_0)V_2 V_W}{nV_2 + V_W} \quad \cdots\cdots(18)$$

となる。α の時間的変化がわかれば，時間函数としての $C_{s(t)}$ はわかる。したがって逆に (8) 式から各濃度塩水中の再沈降時間がもとまることになる。

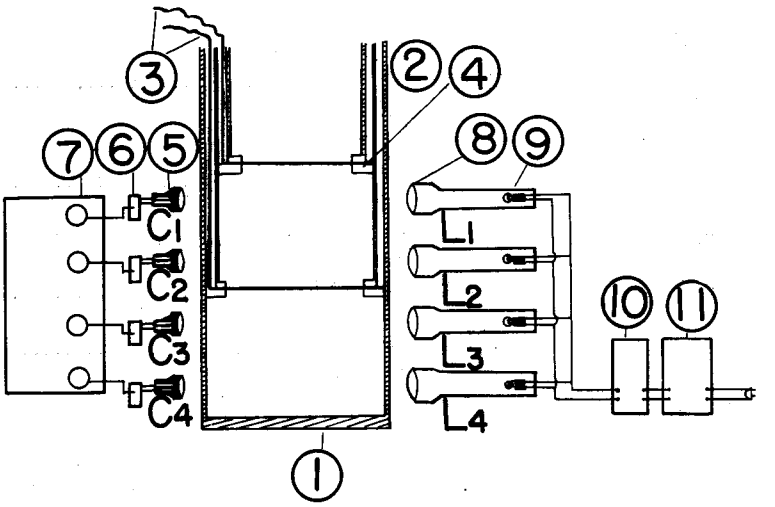


Fig. 2. Schema of experimental apparatus

The upper vinyl membrane was used to separate the particles from the fresh water (distilled) and the lower membrane was used to separate the fresh water from the cold or saline water which has a greater density.

The upper membrane was taken off two minutes after the lower one had been taken off.

1: Water tank 2: Glass wall 3: Vinyl membrane
4: Rubber packing 5: CdS-photoresistor 6: Bridge circuit
7: Recorder 8: Lens (f: 7.5 cm) 9: Lamp (4.26 Lux, 3.5 W)
10: Transformer (primary Voltage 100 V; secondary voltage 4 V)
11: Stabilizer of electric-source

実 験 方 法 と 装 置

実験水槽を三つの部分に仕切り，下層に各種濃度の塩水，体積 1400 cm^3 を注入し，その上層に淡水（蒸留水）を重ねた。[Fig. 2.]

塩水，淡水，懸濁粒子を含んだ水の各層間はビニール膜で仕切り，上層の仕切り膜は懸濁粒子と淡水を，又，下層の仕切り膜は淡水と塩水を仕切るのに用いた。実験開始時にまず下層の淡水と塩水の仕切り膜を引き抜いて二層を形成させ，さらに引き抜きによる擾乱がおさまると考えられる二分後に懸濁粒子と淡水の仕切り膜を引き抜いた。

沈降速度の測定は透過光の濁りによる変化を CdS-Photoresistor で受感させる比濁法によった。これは光源からの照度が懸濁粒子の濃度によって変化する割合を CdS-

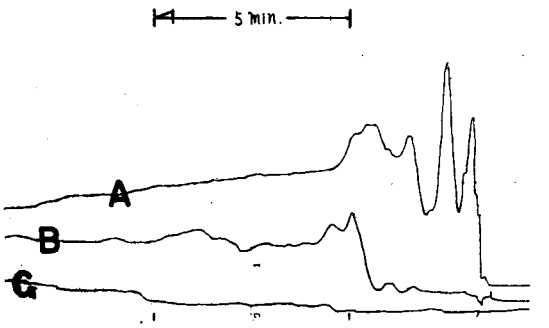


Fig. 3. An example of records of the turbidity change at the three system in the fresh water

A: by L_2–C_2 system
B: by L_3–C_3 system
C: by L_4–C_4 system

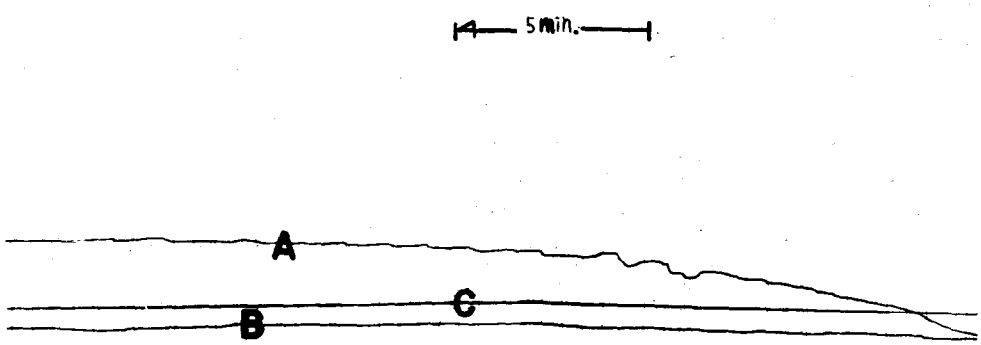


Fig. 4. An example of records of the turbidity change at the three system in the fresh water (upper) and the 8‰ saline water (lower)
A: by L_2–C_2 system　B: by L_3–C_3 system　C: by L_4–C_4 system

Table 1. The x-ray diffraction data (Original Sample)

	Untreated	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	Water-treated	Notation
d(Å)	3.24	3.20	3.20	3.19	3.20	3.20	3.21	3.21	F.
Intensity	12	13	12	14	10	15	10	10	
d(Å)	3.34	3.32	3.34	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	Q.
Intensity	22	22	20	20	21	15	22	30	
d(Å)	3.78	3.78	3.78	3.75	3.76	3.78	3.78	3.78	F.
Intensity	2	1	3	2	2	3	2	3	
d(Å)	3.89	3.89	3.86	3.88	3.89	—	3.86	3.86	F.
Intensity	4	1	2	1	1		1	1	
d(Å)	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	F.
Intensity	9	13	10	10	11	9	8	10	
d(Å)	4.28	4.26	4.28	4.26	4.28	4.28	4.28	4.28	Q.
Intensity	5	5	5	5	5	4	4	4	
d(Å)	4.54	4.50	4.52	4.48	4.50	4.54	4.50	4.50	M.K.
Intensity	2	2	2	3	2	2	3	3	
d(Å)	6.70	6.45	6.60	6.60	6.55	6.60	6.60	6.60	K.F.
Intensity	3	2	2	2	2	2	1	2	
d(Å)	7.13	7.24	7.30	7.30	7.36	—	—	7.36	F.
Intensity	3	2	3	4	1			2	
d(Å)	10.63	10.90	10.63	10.63	10.63	10.63	10.39	10.39	I.HH.
Intensity	2	2	2	2	2	2	3	1	
d(Å)	14.71	14.71	14.96	—	—	—	—	13.58	M.
Intensity	3	2	1					2	

Notation: M: Montmorillonite　F: Feldspar
I: Illite　Q: Quartz
K: Kaolinite　HH: Hydrated halloysite

Photoresistor で受感し，ミリボルトの変化におきかえて，連続3ペン記録器で自記記録させたものである。[Fig. 3.] [Fig. 4.] (両図とも時間経過は左向きであることに注意)

粒子中へ塩分が浸透する量的変化は8ケのシャーレへ等量の飽和懸濁粒子を入れ，20‰ の塩水を注入した後，30 分，60 分，120 分，240 分，360 分，420 分，500 分，550 分，の8間隔についてそれぞれ粒子を取り出し，その中の塩分量を測定した。

資料は函館市外久根別川の海岸から 500 m 上流地点で 100l の水を採水し，沈殿させて得た懸濁粒子を用いた。これらはできるだけ鉱物質のものを得るため，降雨後1日経過した川から採水した。

沈降実験にはあらかじめ蒸留水 10 cm 中を沈降させて均一な粒径のものを採って之を用いた。X 線回折により含有成分を検討した資料と灼熱減量の測定に用いたものは遠心分離器によって粒度分析した。

結 果 と 考 察

懸濁粒子の X 線回折の結果判明した含有成分については，Table 1 と Table 2 にそれぞれ示すような結果を得た。

それぞれの数値を計算すると，乾燥した粒子の密度は比重瓶で測定して C_d=1.810 (g/cm³) を得た。飽和懸濁粒子 W_W=846 (mg) をとって 110°C で 24 時間乾燥させて，W_d=16.9 (mg) を得た。

これより見かけの密度，C_{so} は (1) 式へ代入して，C_{so}=1.009 となる。Fig. 5 より沈降速度は，U=0.07 (cm/sec) を得るから，蒸留水中を沈降する際の粒子の大きさ，r は (3) 式より，$r=2\times10^{-2}$ (cm) となる。

塩水の密度を大気圧常温の下で考えて，それぞれ，20‰ で C_W=1.027 (g/cm³)，15‰ で C_W=1.020

Table 2. The x-ray diffraction data (>5 μ Sample)

	Untreated	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	Hcl-treated	Water-treated	Notation
d(Å)	3.20	3.21	3.21	3.20	3.21	3.20	3.20	3.21	—	F.
Intensity	12	16	15	19	17	15	17	16		
d(Å)	3.36	3.34	3.36	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	—	Q.
Intensity	33	30	35	32	29	28	29	30		
d(Å)	3.55	3.65	3.70	3.61	3.65	3.70	3.61	3.65	—	F.K.
Intensity	2	1	3	3	2	3	2	1		
d(Å)	3.76	3.75	3.78	3.73	3.78	3.78	3.78	3.81	—	F.
Intensity	4	5	3	3	5	5	10	5		
d(Å)	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	—	Q.
Intensity	5	7	8	10	8	7	9	8		
d(Å)	4.43	4.45	4.45	4.50	4.50	—	—	—	—	M.K.
Intensity	3	3	3	1	2					
d(Å)	6.80	7.05	7.13	7.13	7.36	—	—	7.49	7.36	M.K.
Intensity	2	2	3	3	2			3	2	
d(Å)	10.04	9.92	9.81	—	9.81	10.04	—	10.15	—	I.
Intensity	2	1	1		3	2		2		

Notation: M: Montmorillonite F: Feldspar
I: Illite Q: Quartz
K: Kaolinite

Table 3. Ignition loss of particles

Grain distribution (μ)	Ignition loss (%)
~40	24.39
40~25	16.37
25~10	17.99
10~ 5	11.31
5~	17.93

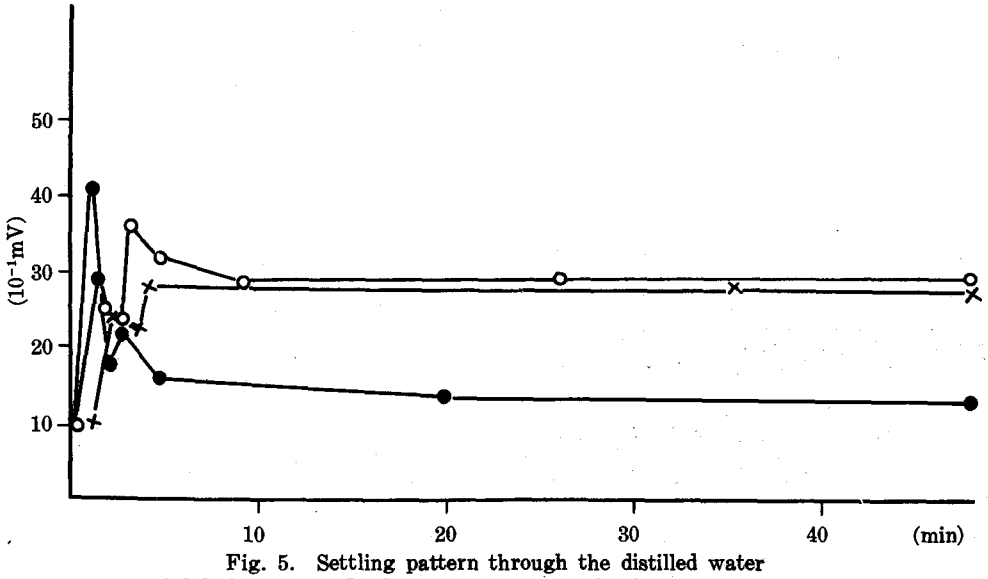


Fig. 5. Settling pattern through the distilled water
Solid circles: by L_2-C_2 system at 7.5 cm depth
Open circles: by L_3-C_3 system at 12.5 cm depth
cross: by L_4-C_4 system at 17.5 cm depth
Abscissa: time, elapsed since membranes had been moved out
Ordinate: relative turbidity

(g/cm³)，10‰ で C_W=1.013 (g/cm³)，9‰ で C_W=1.011 (g/cm³)，8‰ で C_W=1.010 (g/cm³)，とすると各塩分濃度中を沈降するに要する粒子の増加密度 $C_{s(t)}$ は (8) 式より，20‰ $C_{s(t)} \geqq 1.017_9$，15‰ $C_{s(t)} \geqq 1.010_7$，10‰ $C_{s(t)} \geqq 1.003_8$，9‰ $C_{s(t)} \geqq 1.001_7$，8‰ $C_{s(t)} \geqq 1.000_7$，となる。

α の時間的変化を調べるため懸濁粒子をとって 20‰ 塩水中にひたし，一定時間経過した後とり出してその中の塩分量を測定した。

飽和含水状態の懸濁粒子の量を W_W=845 (mg)，塩水の量を V_W=52.6 (cm³) (これは塩水層約 3 mm に相当する。) として測定した。

粒子の数 n は

$$n=\frac{W_W}{\frac{4}{3}\pi r^3 C_{so}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (19)$$

であたえられるからそれぞれ数値を代入して，$n=50\times10^3$ を得る。又，塩分濃度 β‰ と α の関係は，

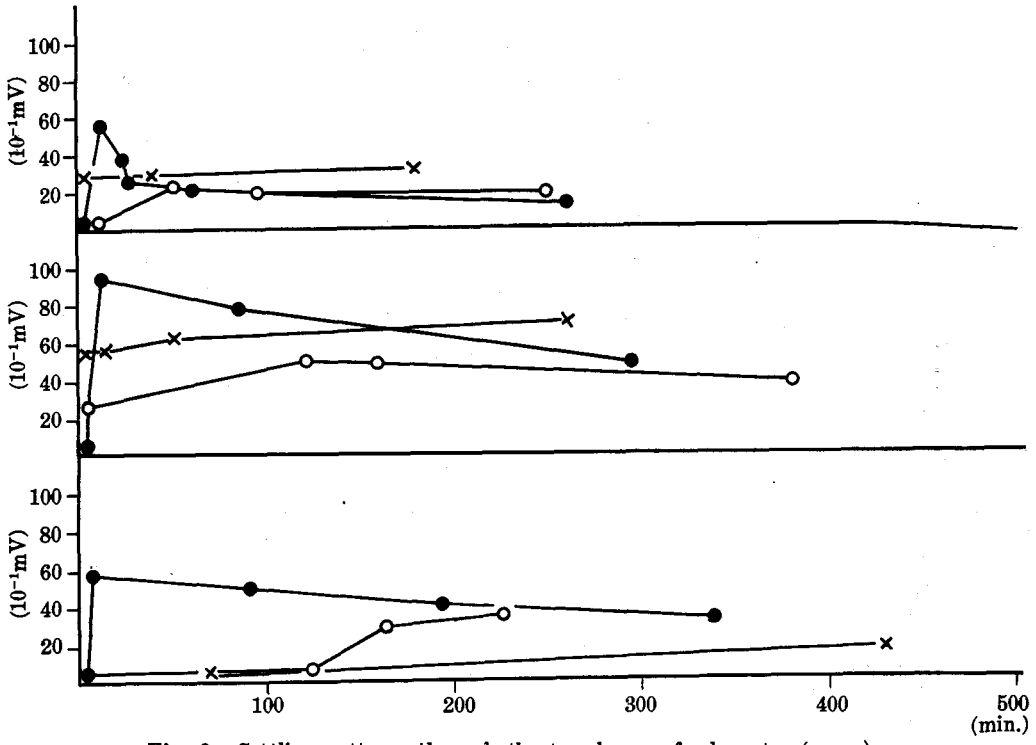


Fig. 6. Settling patterns through the two layers, fresh water (upper) and saline water (lower)
Solid circles: by L_2–C_2 system at 7.5 cm depth
Open circles: by L_3–C_3 system at 12.5 cm depth
cross: by L_4–C_4 system at 17.5 cm depth
Abscissa: time, elapsed since membrane had been moved away
Ordinate: relative turbidity by settling
Top figure: chlorinity of lower layer, 8‰
Middle: chlorinity of lower layer, 10‰
Bottom: chlorinity of lower layer, 20‰

$$\alpha=\frac{4}{3}\pi\cdot\frac{(r^3-r_1^3)C_0}{1000}\cdot\beta \qquad \cdots\cdots(20)$$

であるから，塩水にひたした粒子のうち，$t=500$ (min) の時 $\alpha=3.91\times10^{-7}$ を得る。この値を (17) 式へ代入すれば，20‰ の時 α と t との関係は実験的に，

$$\alpha=4.255\times10^{-7}\{1-\exp(-0.0051t)\} \qquad \cdots\cdots(21)$$

となる。各時間における α の増加量は Fig. 8 に示す。

(17) 式へ数値を代入して計算すると，α と t との各塩分濃度における関係は，

$$\left.\begin{aligned}
&20\text{‰ では } \alpha=4.255\times10^{-7}-\{1-\exp(-0.0051t)\}\\
&15\text{‰} \qquad \alpha=3.152\times10^{-7}-\{1-\exp(-0.0051t)\}\\
&10\text{‰} \qquad \alpha=2.049\times10^{-7}-\{1-\exp(-0.0051t)\}\\
&9\text{‰} \qquad \alpha=1.734\times10^{-7}-\{1-\exp(-0.0051t)\}\\
&8\text{‰} \qquad \alpha=1.576\times10^{-7}-1\{-\exp(-0.0051t)\}
\end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(22)$$

となる。

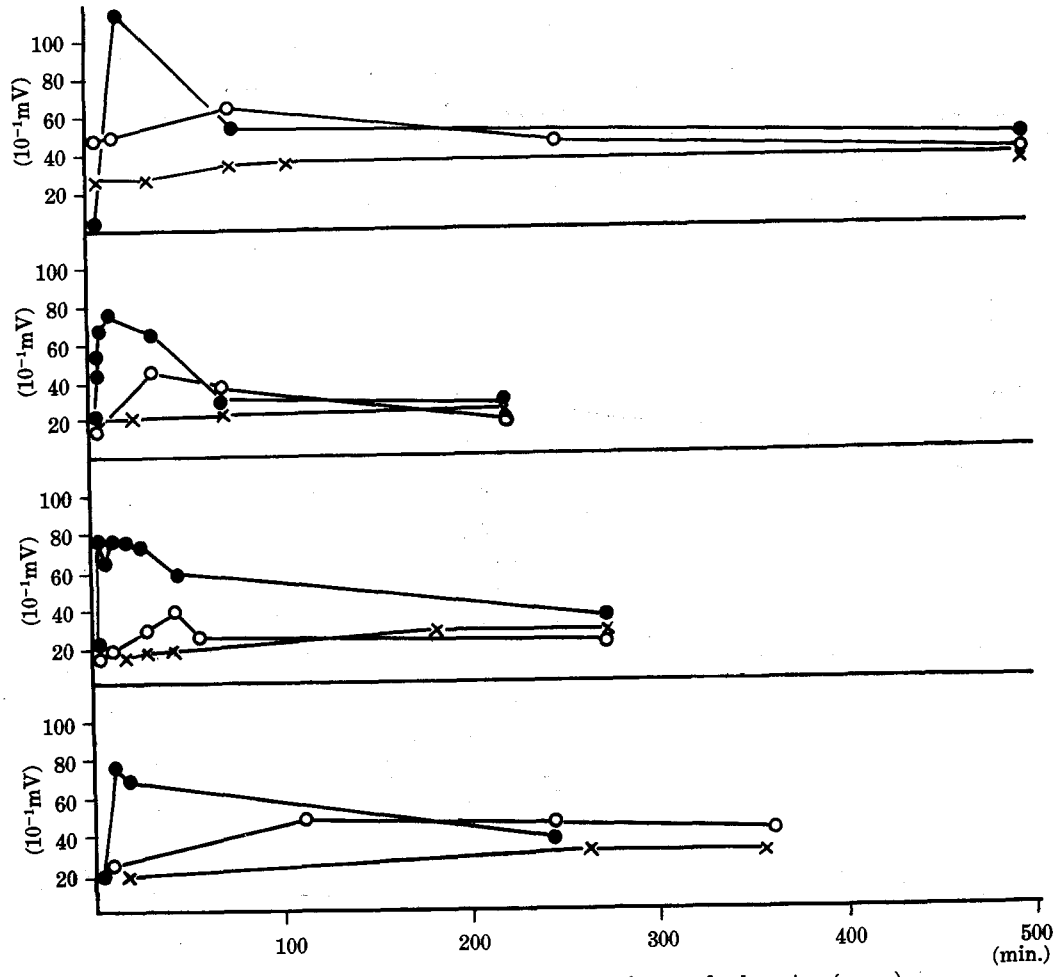


Fig. 7. Settling pattern through the two layers, fresh water (upper) and saline water (lower)

Solid circles: by L_2–C_2 system at 7.5 cm depth
Open circles: by L_3–C_3 system at 12.5 cm depth
cross: by L_4–C_4 system at 17.5 cm depth
Abscissa: time, elapsed since membranes had been moved out
Ordinate: relative turbidity by settling
chlorinity of lower layer, 0.1‰
chlorinity of lower layer, 1 ‰
chlorinity of lower layer, 2 ‰
chlorinity of lower layer, 4 ‰
from top figure to bottom figure

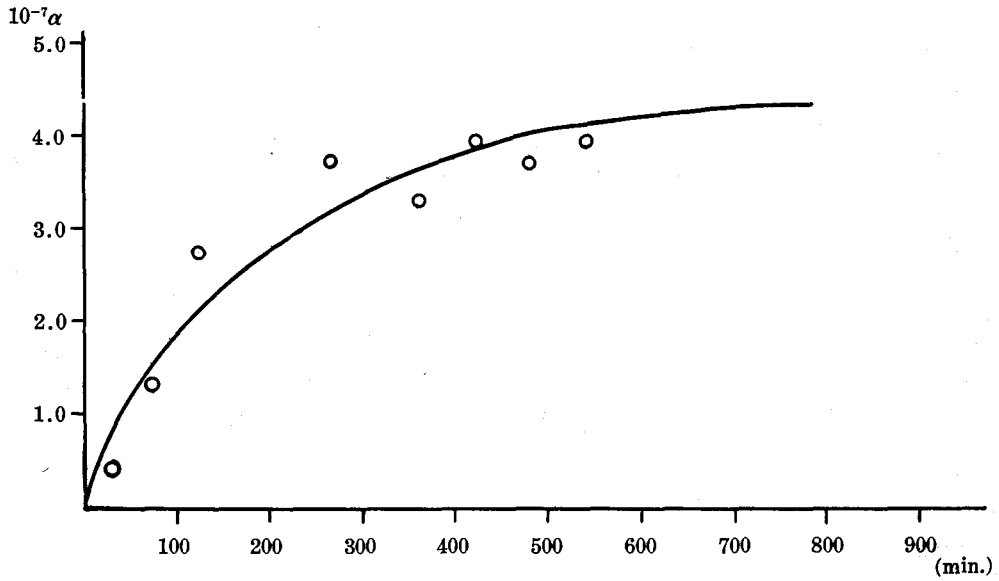


Fig. 8. Theoretical curve of quantity of salt infused into a particle after being soaked in 20‰ saline water and experimental values (circle)
Abscissa: time, elapsed since a particle was soaked in 20‰ saline water
Ordinate: infusing quantity of salt into one particle, α(gr)

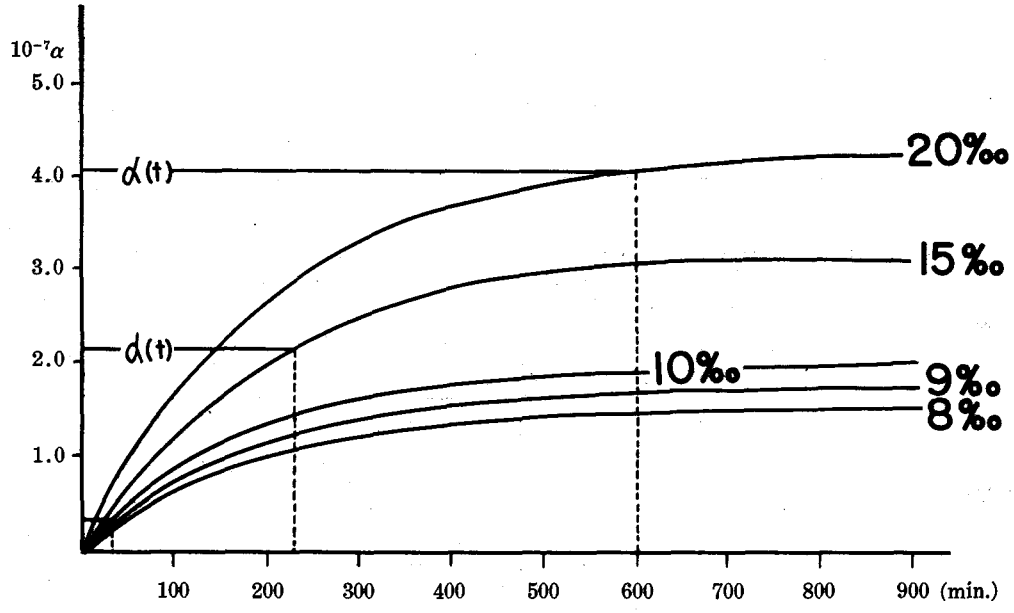


Fig. 9. Explanatory curve to seek theoretically the settling periods in various α

となる。(8) 式で得られた各塩水中を沈降するに要する粒子の密度から粒子の中の $\alpha_{(t)}$ 量を計算すると，

20‰　$\alpha_{(t)}=4.064\times10^{-7}$
15‰　$\alpha_{(t)}=2.017\times10^{-7}$
10‰　$\alpha_{(t)}=0.481\times10^{-7}$
9‰　$\alpha_{(t)}=0.091\times10^{-7}$
8‰　$\alpha_{(t)}=0.041\times10^{-7}$

となる。各粒子が時間 t とともに塩分量を増加させていく状態は Fig. 9 に示した。この図から得られる各塩水中の粒子が $\alpha_{(t)}$ になる迄の時間と，二層中を沈降させて得た実験結果 Fig. 6, Fig. 7 のうち，境界面下 2.5 cm の受光系 C_3-L_3 の最大濁度受感時間から得られたものを比較すると，Table 4 に示すように実験値と理論値がほぼ一致することが見られた。

Table 4. Comparison of the theoretical values of lapse time for settling with the experimental ones.

Chlorinity (‰)	Theoretical values (min.)	Experimental values (min.)
20	600	230
15	225	—
10	25	120
9	10	—
8	6	48

実験値と理論値との一致しない点について考察してみると，

1) 沈降中の粒子の見かけの密度 C_{s0} の測定誤差，技術的にいえば飽和含水状態の粒子を的確に取り出すことの困難なこと。
2) 複雑な混合状態の粒子群であったことによる粒径と粒数の測定誤差。
3) ビニール仕切り膜引き抜き時に発生する擾乱によって生ずる淡水と塩水の連続的混合。

等が考えられる。

今後は測定装置に改良を重ねるとともに，同一成分で構成された均一な粒径の沈降状態を中心に，粒子のスポンジ状が密度の変化にどのような影響をおよぼすかについて考察して行きたい。

要　　約

1) 河川より得られた懸濁物質を実験静水槽によって，淡塩水二層中を沈降させて，沈降速度を測定した。
2) 粒子は淡塩水境界面で一旦沈降を停止する。これは沈降中の粒子がスポンジ状をなし，その中に淡水を多量に含むため，見かけの密度が下層塩水の密度より小であることによるものと考えた。
3) 粒子が境界面を離れて再び沈降し始めるのは，粒子にふくまれる淡水中へ塩が浸透し，粒子の密度が塩水の密度より大となる時であると考え，理論式を設定して現象の説明を試みた。
4) 塩の粒子中への浸透量の測定と，境界面を離れて再沈降するまでの時間とから，沈降に要する時間の理論値と実験値とがほぼ一致することを確め得た。これは解明の過程が正しかったことを示す。

参 考 文 献

1) 例えば，福島久雄・柏村正和・八鍬　功・高橋　将. (1964). 石狩川河口の研究. 第 11 回海岸工学講演会講演集. 266 土木学会.

2) Elton, G.A.H. (1949). Sedimentation phenomena in ionic liquids. *Proc. Roy. Soc.* A. **197**, 568-573.

3) 金成誠一・奥田節夫. (1966). 淡塩水接触領域における堆積に関する水槽実験. 昭和 41 年度日本海洋学会春季大会講演要旨.

4) Whitehouse, U. G. & Jeffrey, L. M. (1958). Differential settling tendencies of clay minerals in saline water. Clay and clay minerals; 5-12 Pergamon Press.

5) Carroll, D. & Storkey, H. C. (1958). Effect of sea-water on clay minerals. Clay and clay minerals; 80-99. Pergamon Press.

6) Weiler, R. R. (1965). Surface properties and pore structure of marine sediment. *Deep-sea Res.* **12**, 511-529.

7) 久保輝一郎・中川有三・水渡英二・早川宗八郎. (1962). 粉体. 890. 東京. 丸善.

Explanation of Plates

PLATE I

Settling patterns of particles in the experimental tank

A. initial condition

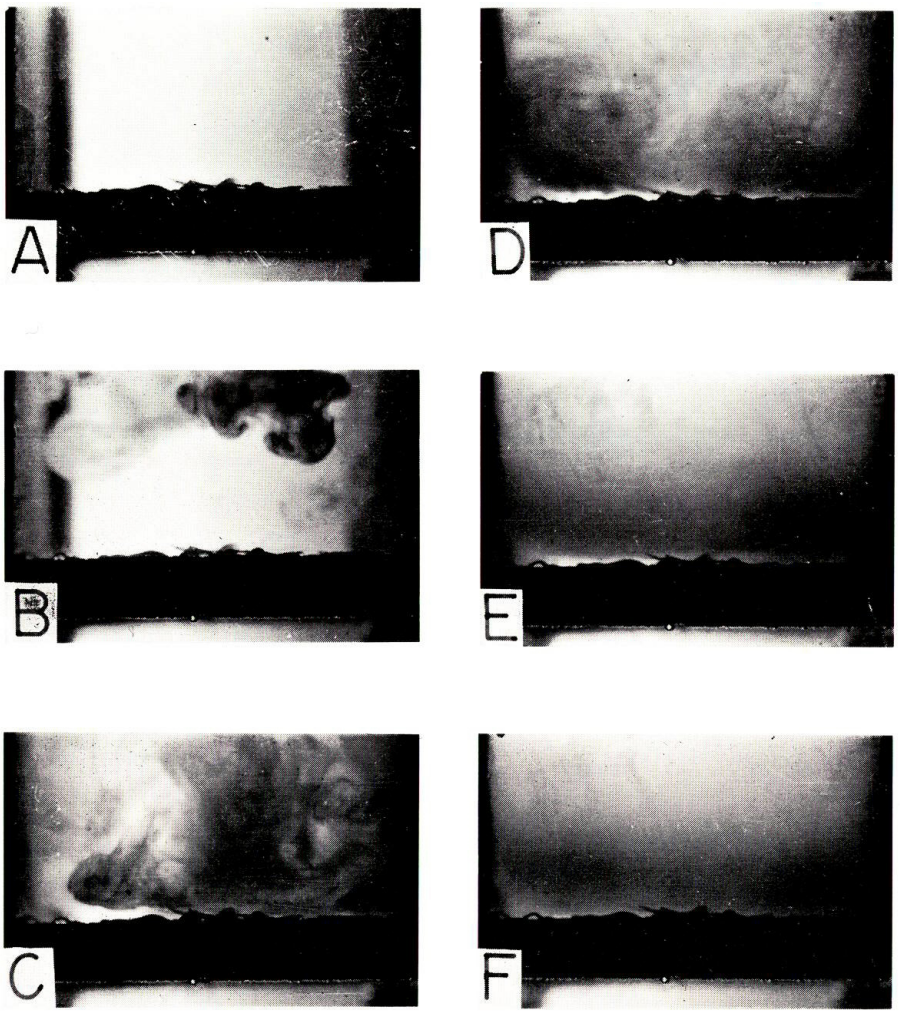
B. 5 seconds after removal of the upper membrane

C. 15 seconds after

D. 30 seconds after

E. 1 minute after

F. 2 minutes after

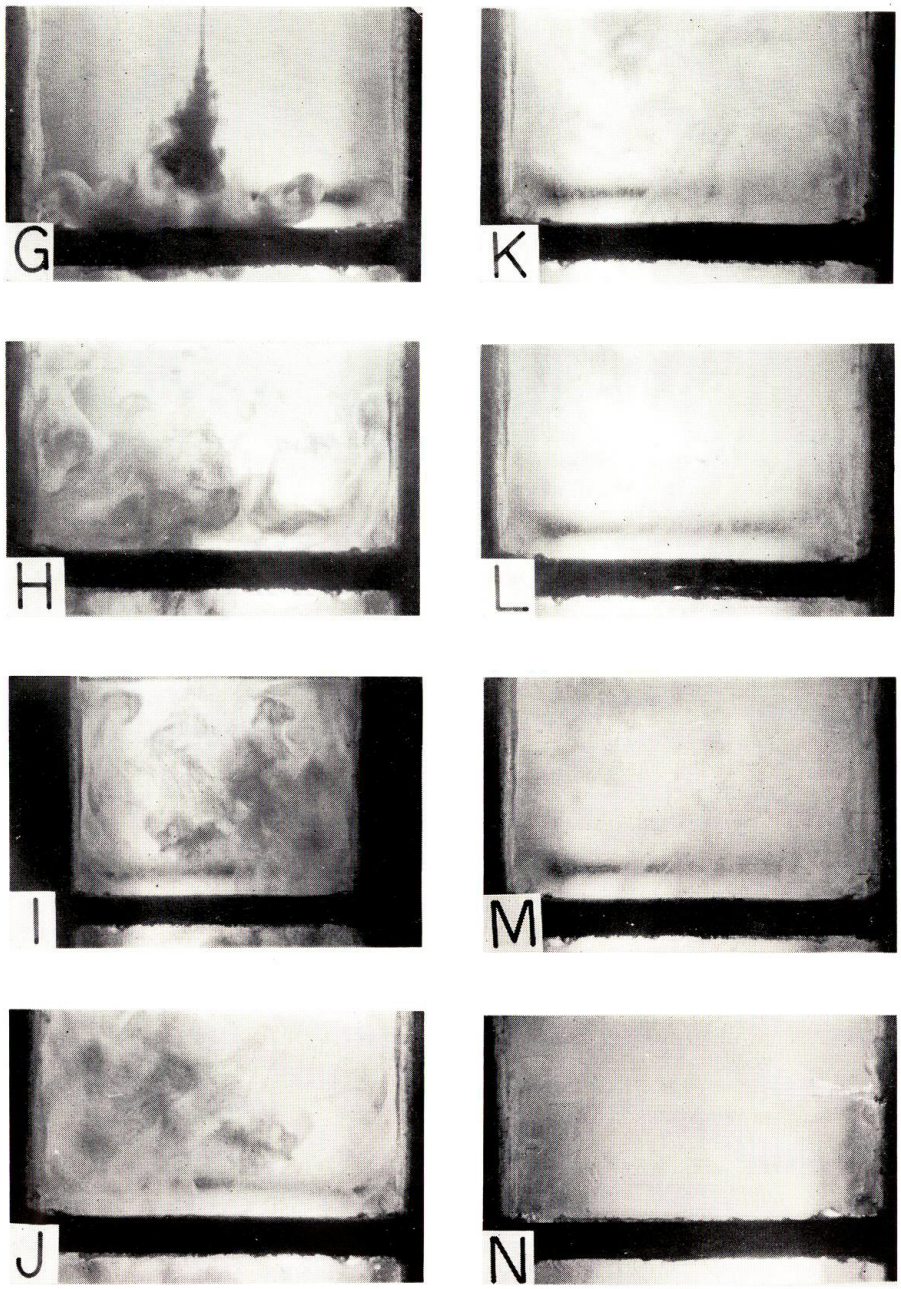


W. SAKAMOTO: Study on the Turbidity in Estuary (I)

PLATE II

Refloating patterns of particles which had been jetted into 20‰ saline water

G. 1 second after
H. 3 seconds after
I. 5 seconds after
J. 13 seconds after
K. 15 seconds after
L. 30 seconds after
M. 60 seconds after
N. 90 seconds after



W. SAKAMOTO: Study on the Turbidity in Estuary (I)