

との比較試験を行つた。その結果は表-1のようで、いずれの場合でも火山灰に少量のセメントを加えて使用する場合には必ず適量の石灰を加えたポゾランセメントとしてこれにセメントを加えた方が著しく有利であることが知られる。

5. 総括

本研究はこの外に、火山灰類の利用に関するものも含まれるのであるが、本報告では省略し、以上の研究から、火山灰類を利用する場合の基本事項を総括すれば次のようである。

火山灰を消石灰と混合して利用する場合の最も好適な条件は次のようである。

使用水量は煉瓦やブロック等のように硬練り状態で締固めを十分行う場合には、最大密度を与えるものより幾分少ない水量を用い、現場打ちとして利用する場合にはポゾランセメントの重量に対し30~40%位が適当である。火山灰類の粒度は0.6mm篩の通過分程度として使用すればよい。火山灰と石灰の配合比は6:4と7:3の中間位、砂を入れる場合にはその量に応じて石灰量を増す。ポゾランモルタルに砂を混用した方がよいかどうかは火山灰によつて異なる。使用水量が

なり多く軟練り程度となればある程度まで砂を入れても強度には影響しない。ポゾランモルタルは製作後1ヶ月位は乾燥状態でもよいが、それ以後はなるべく湿潤状態におかないと長期強度が低下する。

セメントに火山灰を加える場合はセメント量の25%位までが、凝結、軟かさ、強度からみて限度である。火山灰を加えたための強度の変化は火山灰の種類によつて異なる。火山灰に少量のセメントを加えて使用する場合には、火山灰に適量の石灰を加えたポゾランセメントの形としてこれにセメントを加えた方が有利である。

一般に火山灰類の利用に際しては、火山灰によつて以上の基本的な性質が若干変動することに注意しなければならない。また、火山灰と石灰の混合モルタルは空気中では風化しやすく、長期強度が低下するおそれがあるから、なるべく湿潤状態にあるところ、例えば地下の部分などに利用すべきである。

附記 本報告は紙数の制限もあり詳細な実験結果を載せることができなかつたが、それらについては、九州大学応用力学研究所所報第1号に発表の予定であるから御参照願いたい。(昭.27.4.30)

UDC 532.582.7:624.034.72

静水中における砂粒子の沈澱に関する一実験考察

准員 徳 平 淳*

AN EXPERIMENTAL STUDY ON SEDIMENTATION OF SAND GRAINS IN QUIESCENT WATER.

(JSCE Aug. 1952)

Atushi Tokuhira, C. E. Assoc. Member.

Synopsis This paper contains a part of study on the sedimentation of sand grains which are dropped simultaneously in quiescent water. The qualitative relationship between the amount of sand grains and settling time was ascertained by our experimental results.

要旨 多数粒子の静水中における、沈澱量と沈降時間との関係を実験し、現象の定性的な面に若干の考察をおこなつた結果の報告の一部であり、沈澱池内の沈澱解析に対する基礎実験の一つである。

1. 緒論

沈澱性浮遊物質の沈降解析に対する実験研究は今迄

* 東京大学講師、工学部土木教室

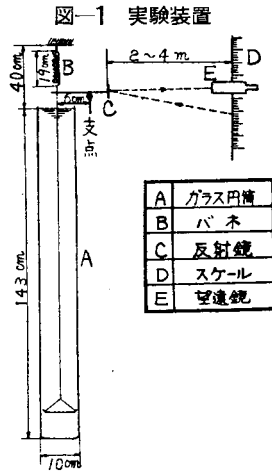
種々なされてきている。例えば H. Rouse¹⁾, W.E. Dobbins²⁾ 等の人々は、実験的に静水中にあらかじめ沈澱性物質をおき、それに任意の乱れを与えて、その垂直濃度分布を求めている。

著者は完全に静止しているとみなせる水中に砂粒子群を静かに沈降させたならば、いかなる現象が表われるかを実験的に求めようとして、次に示すような実験

を行い、その結果に対して若干の考察をなしたものである。

2. 実験装置及び方法

実験装置は図-1に示すように optical lever を応用して水面より静かに試料を水中に落下させ、水面より一定距離 (138 cm) までの沈降量と沈降時間との関係を測定した。試料としては粒径 0.42~0.21mm,



0.21~0.149 mm, 0.149~0.105mm の丸味浦砂及び豊浦砂のセメント強度試験用標準砂を用いた。

すなわちこれらの砂をタイラー製標準篩で篩分けて上記の3つの範囲にわけて、これらの各組につき、0.5 gr, 1.0 gr, 1.5 gr, 2.0 gr, 2.5 gr, 3.0 gr, を沈降させ、一つの混入量につ

3. 実験結果

き10回実験したのである。水温は10回毎に読み、また、1粒の時の沈降時間を各組につき 300 粒任意に取り出し 300 回測定した。

3. 実験結果
実験結果の1例を図-2, 図-3, 図-4に示してある。各図の曲線は、各混入量につき10回の実験値の平均値をとつてその混入量の代表値として画いたものである。図-2は水面より138 cm の位置、すなわち沈降距離 138 cm における沈降量百分率(S)と沈降時間(t)との関係を混入量(m)を媒変数として表わした測定値である。図-3は、円筒面積につき単位当りの沈降量(g)と沈降時間との関係を混入量(m)を媒変数として、表わしたものである。図-4は与えられた粒径の範囲内にある粒子の性質をみるためになされた

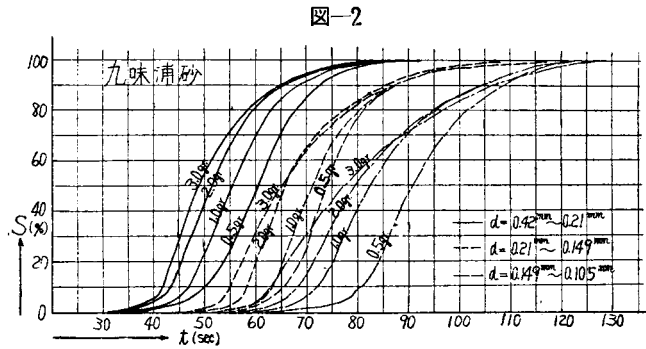
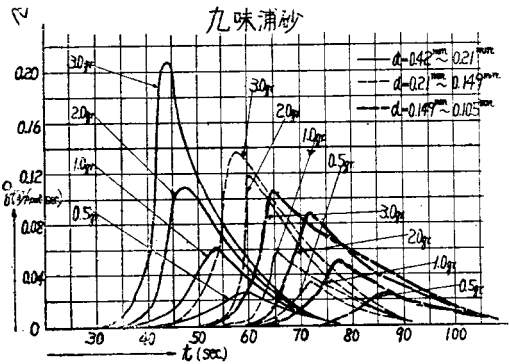


図-2

図-3



1粒の場合の測定値である。すなわち、かかる範囲内の粒子を互に影響しないように同時に水面より初速0で沈降せしめた時、沈降距離 138 cm の位置に生じ得べき沈降量百分率と沈降時間との関係を表わしているものとみなせる。また実験に使用した砂粒子の水理的性質は表-1に示す通りである。

図-4

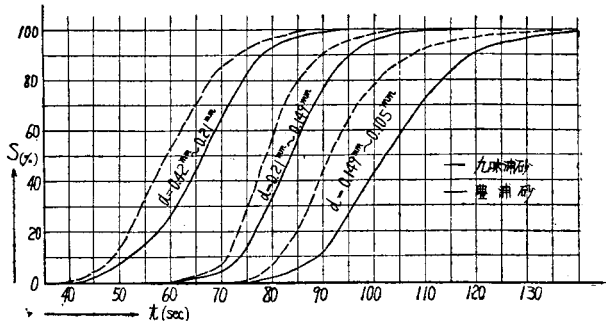


表-1

砂の種類	丸味浦砂		豊浦砂			
粒径の範囲 (d)	0.42~0.21mm	0.21~0.149mm	0.149~0.105mm	0.42~0.21mm	0.21~0.149mm	0.149~0.105mm
平均沈降速度 (w ₀)*	2.08	1.64	1.33	2.29	1.73	1.49
	cm/sec	cm/sec	cm/sec	cm/sec	cm/sec	cm/sec

*水温 10°C, 300粒の算術平均値

註: 各砂の比重は、丸味浦砂=2.64 豊浦砂=2.64

4. 実験結果に対する考察

本実験は河川や沈澱池における乱流中に浮遊している物質が拡散沈澱してゆく場合と次の諸点でいささか条件を異にしている。

- (A) 砂を混入する前に水は静止している。
- (B) 砂を混入することによりはじめて水中に乱れを生じ、砂は自重と乱れによる影響によつて拡散されつつ沈降してゆく。
- (C) 砂は水面よりある距離一団となり沈降

した後、はじめて急に拡散される。

これらの諸点を考慮して、実験結果に対して考察してみると、**図-2**、**図-3**より次の諸点が顕著である。

- a) 砂粒子は一様でなく、ある範囲内の大きさであるので、乱れがなくても粗粒率の影響により、沈澱量が時間的に変化するが、混入量により乱れの影響が表われてくる。
- b) ある深さにおける沈澱量と沈降時間との関係は q_{max} に対しては曲線の形は非対称である。
- c) 一定の範囲内の砂に対しては、 q_{max} の値の生ずる時間は混入量が増すに従つて早くなる。
- d) q_{max} の値は、同じ混入量でも粒径の小さくなるにつれて小さくなる。

以上の点につきいささか考察を加えてみる。

i. 粗粒率と水の乱れ a) については水の乱れの影響が考えられる。もしも砂の粗粒率のみの影響であるとするれば、**図-2** において量の増加による曲線も、**図-4** の1粒の時の曲線と相似でなければならぬ。これらの関係を**図-5**に示してある。横軸に沈降時間比、縦軸に沈降量百分率をとつてある。図からわかるように混入量の増すに従い水の乱れの影響が顕著となり、また粒径の小さいものほどこの傾向は著しくなる。

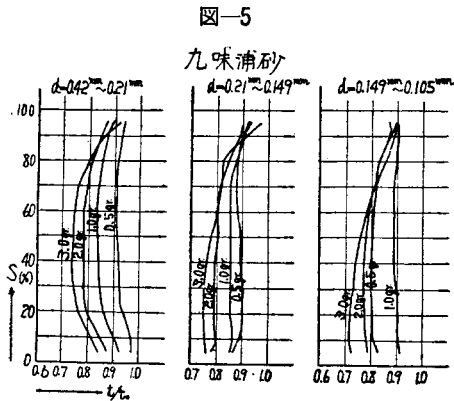


図-5

九味浦砂

ii. $q-t$ 曲線の形状について b) に関しては、今半無限状の容器に、水面に単位面積当り mgr の砂を混入した時、水面より x なる点を通過する単位時間、単位断面積当りの量を $m\dot{q}$ とすれば

$$m\dot{q} = w_0\sigma - k \frac{\partial \sigma}{\partial x} \dots \dots \dots (1)$$

- 但し σ : 砂粒子の濃度 (gr/cm³)
- w_0 : 粒子の沈降速度 (cm/sec)
- k : 乱れの交換係数 (cm²/sec)

今この σ を1次元の乱流中の浮遊物質の垂直濃度分布を示す方程式

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial \sigma}{\partial x} \right) - w_0 \frac{\partial \sigma}{\partial x} \dots \dots \dots (2)$$

を用いて求める。その際の初期条件及び境界条件として、

$$t=0; \sigma = F(\lambda) = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{m}{\Delta\lambda}, \lambda \leq x < \lambda + \Delta\lambda \dots \dots (3)$$

$$x=0; w_0\sigma - k \frac{\partial \sigma}{\partial x} = 0 \dots \dots \dots (4)$$

(2)式を(3),(4)式の条件の下に解いて得た $\sigma(x,t)$ を(1)式に代入して q を求めると、

$$q = \frac{m}{2\sqrt{\pi kt}} \left[(x - \lambda + w_0 t) + e^{-\frac{x\lambda}{kt}} (x + \lambda - w_0 t) \right] \frac{e^{-n}}{2t}$$

$$= \frac{mc^{-n}}{2\sqrt{\pi kt}} \left(\frac{x}{t} \right) \left[1 - \frac{x\lambda}{2kt} \left\{ 1 - \frac{1}{2!} \left(\frac{x\lambda}{kt} \right) + \dots \right\} \right]$$

$$\times \left\{ 1 - \frac{w_0 t - \lambda}{x} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{但し } n = \frac{\{(x-\lambda) - w_0 t\}^2}{4kt}$$

なる式が嶋祐之氏により出されている⁴⁾。

但し λ : 初期落下距離(cm)(集団落下距離)

k : const.(cm²/sec)と仮定する。

λ, k を求めるために、(5)式より $(\partial q / \partial t)_{t=t_0} = 0$ なる条件を求めると、

$$\frac{8\pi q_{max}^2 t_0^2}{m^2} = \frac{3 \left(1 - \frac{\lambda}{x} \right) + \frac{w_0 t_0}{x} \left\{ \left(1 - \frac{\lambda}{x} \right) - \frac{w_0 t_0}{x} \right\} \left\{ 3 \left(1 - \frac{\lambda}{x} \right) + \frac{w_0 t_0}{x} \right\}}{\left(1 - \frac{\lambda}{x} \right) - \frac{w_0 t_0}{x} e^{\frac{w_0 t_0}{x} \left\{ \left(1 - \frac{\lambda}{x} \right) + \frac{w_0 t_0}{x} \right\}^2}} \dots \dots \dots (6)$$

$$kt_0 = \frac{\left\{ \left(1 - \frac{\lambda}{x} \right)^2 - \left(\frac{w_0 t_0}{x} \right)^2 \right\} \left\{ \left(1 - \frac{\lambda}{x} \right) + \frac{w_0 t_0}{x} \right\}}{2 \left\{ 3 \left(1 - \frac{\lambda}{x} \right) + \frac{w_0 t_0}{x} \right\}} \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{但し } e^{-\frac{x\lambda}{kt}} \neq 0$$

(5),(6),(7)式より計算した値と実験値との比較の一例を**図-6**に示す。図よりわかるように曲線の非対称性は理論においても認められる。

ただし実験値の方が顕著であるのは理論においては粗粒率の影響を考慮していないためであろう。他の例でも同じ傾向を有している。

iii 初期落下の影響について c) については実測値から(6)式を用いて λ を解き1粒の時の平均沈降速度 w_0 を媒変数として $\lambda/x \sim m$ 曲線を描くと**図-7**が得られる。この図から混入量 m の増加に従い、いずれの場合にも、 λ が大となり、有効沈澱距離が減少するからそれだけ早く沈降するので、 q_{max} の値の生ずる時間は混入量が増すに従つて早くなるのである。また、

図-6

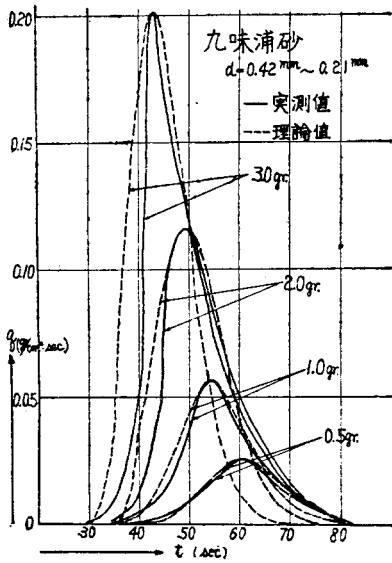


図-7

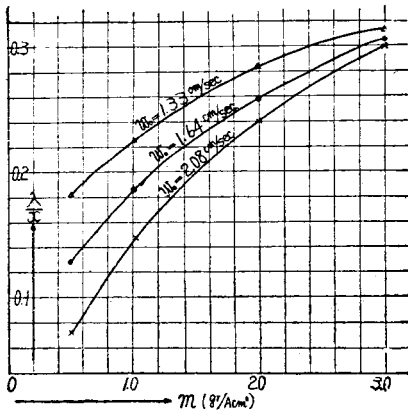
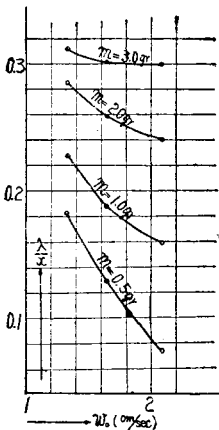


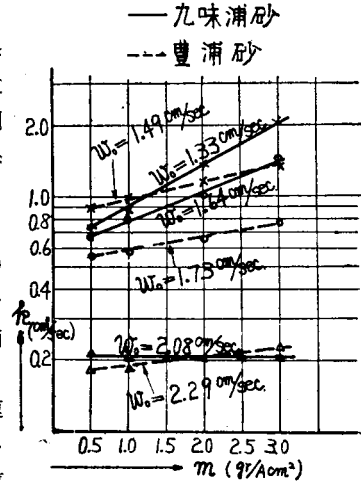
図-8



同じ混入量でも粒径の小なる程、この傾向は大となるが、混入量の増すに従つてその差は小となる。このことは混入量 m を媒変数とした 図-8 より明らかである。この例は九味浦砂の場合であるが、豊浦砂の場合も全く同様な傾向を有している。

iv 水の乱れの影響について d) については実測値から(7)式を用いて k を求め、1 粒の時の平均沈降時間 w_0 を媒変数として $k \sim m$ 曲線を描

図-9

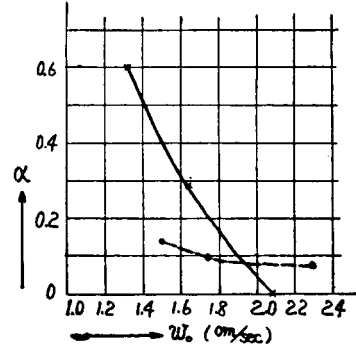


くと図-9 が得られる。この図から同一の沈降速度を有する粒子群の m, k の間には次式の関係が成り立つ。

$$k = k_0 c \alpha m \dots\dots (8)$$

(8)式に基づき $\alpha \sim w_0$ 曲線を描くと図-10 のようになり沈降速度 w_0 の大となる程、すなわち粒

図-10



子が大きくなる程、混入量の増加による乱れの増加が小さく、粒子の小なるもの程、混入量の増加による乱れの増加が大となる。このことから同じ混入量でも粒子が小となる

に従つて、 q_{max} の値が小となるのである。

5. 結語

以上の如く本実験では、現象の定性的な一面を考察し得たのみであるが、将来なされるこの種の実験に対する二、三の注意を与え得るものと思う。

終始、御指導を賜わっている東大教授広瀬孝六郎先生、本間仁先生に深く感謝致します。

参考文献

- 1) H. Rouse; "Experiments on the Mechanics of Sediment Suspension" Proceedings, 5th International Cong. for Applied Mechanics, 1938.
- 2) W.E. Dobbin; "Effect of Turbulence of Sedimentation." Proceedings, Am. Soc. of Civil Engineers, Feb., 1943.
- 3) 野満隆治; "河川学"
- 4) 嶋祐之; "砂の沈澱に関する一考察" 第1回上下水道研究発表会 昭.25.(東京) (昭.27.4.14)