

ヘドロの凝集沈降の挙動について

九州大学工学部教授

工学博士 栗谷陽一

近年ヘドロの問題が各地で騒がれるようになりその対策が頭痛の種となっている。元来土中の微粒子が河川により運ばれ、河口附近で塩分に接し、凝集沈降の結果堆積したのが所謂ヘドロである。悪童連がカニやドンボを追い回し、太閤望が明日の手ごたえを夢みてゴカイをあさったヘドロが、今では汚物、危険物の代名詞として組上に載せられるようになったのも、もとはと云えば人の為せる業、ヘドロにとっては不本意千万な事であろう。ともあれ、既に人為的なヘドロが入江をうめ、あるいは天然のヘドロが有害物質の汚染を受けたところが少なくない今日、ヘドロの挙動を追いかけることの重要性は非常に大きくなったと云わざるを得ない。

水域におけるヘドロの挙動を支配するおもな現象を挙げてみると、

① 河川の固有流れ、入退潮流あるいは海域における潮流、海流による輸送。② この輸送に伴っておこる分散、拡散。③ ヘドロ粒子の沈降、堆積。④ 堆積した粒子の流れによる再浮揚あるいは洗掘。と云ったことになろう。

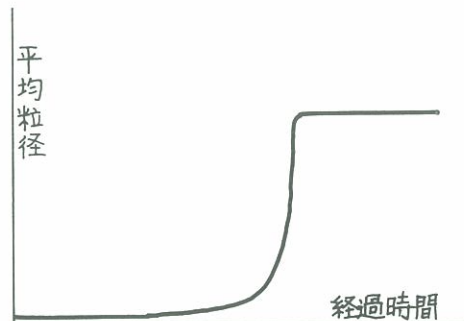
これらの諸現象には、ヘドロ粒子そのものの性質のほか流況、流れに伴う乱れの強さ、塩分濃度の分布状況など多くの支配要因が存在するだけでなく、現象を解析するのに上記の ①+②+③+④=答 とはならず、それぞれの現象が相互に影響し合いながらヘドロの挙動を支配するため、非常に複雑である。

この中で特に一見単純そうでありながら直感的に把握しにくいと思われるヘドロの沈降について少々述べてみたい。

小さな粒子が水中を浮遊している時、これが僅かな沈降速度しか持ち得ないのは、粒子の受ける浮力と水の粘性によるもので、その結果、沈降速度 \propto (粒子の水中比重量) \times (粒径)² / (水の粘性) となる事は Stokes の法則の示す所である。ヘドロの粒子の比重を 2.6 とすれば、シルトの最

大径 0.074 mm に対し約 5 mm/sec, 粘土の最大径 0.005 mm に対して約 1.3 mm/min, 1 U の微細粒子になれば、計算上約 3 mm/hr となるが、それ以下では所謂ブラウン運動のため、沈降し難い。大抵のヘドロ中で、粘土あるいはそれ以下の微細な粒子が多くを占める事は、それが淡水中を凝集しにくい状態で輸送されてきた事を考えれば、ほぼ明らかであろう。このような事から、周知のようにヘドロの沈降、堆積は粒子の凝集性を考慮しないと理解し得ない。

水中における微粒子を衝突させ、互いに付着させる要因として、① Brown 運動、② 懸濁する水流の速度勾配あるいは乱れ、③ 粒子の沈降速度の差等が挙げられているが、いずれにしても衝突合一が起こるためには、まず一個の粒子がパートナーを見出さなければならない。それで粒子が凝集する速さは、パートナーとなり得る粒子の数、つまりは S.S. に比例する事になる。そして粒子が大型になるにつれて上述の ①、② から ③ の順序で主要な支配要因が変わって行く。ところが粒子が凝集して余り大型になると、ついには流れの速度勾配あるいは沈降に伴って生じる凝集粒子内の応力に堪え兼ねて変形し破壊するまでになる。もし粒子濃度が一定に保たれるならば(例えば非常に深い沈降筒の底の方を考えよ)、平均粒径の増大はおそらく 図-① のようになると考えられる。粒径の増大が末期に著しいのは、大粒径



のもの程衝突頻度あるいは小粒子を捕捉する頻度が高くなる事による。このことが、いわゆる「凝集時間」なるものが考えられる所以である。初濃度が異なる時にも、前述のように、図一①の時間軸の代りに時間×濃度をとれば、曲線はほぼ初濃度によらぬ一般性のある表現となり得る。

実際の水域におけるヘドロの沈降性、あるいは沈降筒による沈降試験のような場合には、上述の粒子の凝集による大型化に加えて、沈降堆積によって粒子が懸濁系外に去って行く問題がからむので、現象の取扱いが厄介になる。つまり、この場合には水深が本質的な意味を持つようになるわけである。沈澱池における「沈殿時間」が池の深さを粒子の沈降速度で割ったものになるのと同じである。

凝集と沈降とが同時に起こる場合の濃度あるいは粒径等の諸性質は、一般に最初の状態とそれからの経過時間 t 及び水深 z の関数として与えなければならない。ここでは簡単に、最初濃度、粒径とも深さ方向に一樣に分布している場合を考えよう。

前述のように、凝集の進み具合が初濃度 C_0 と時間 t との積 $\tau = C_0 t$ によって定められるならば、異なる初濃度 C_0 および C_0' から出発し、それぞれ $t = \tau / C_0$ および $t' = \tau / C_0'$ 経過した時の凝集の進み具合は同程度となる。しかし鉛直方向には濃度および粒度の分布が既に形成されているわけで、両者が同じ状態になっているのは経過時間に比例した水深のところであることは、粒子の沈降を考えれば容易に理解されよう。例えば深さ z における t 時間後の平均粒径 d あるいは濃度の初濃度に対する比 C/C_0 などは、 $\tau = C_0 t$ と $\xi = C_0 z$ との関数となる筈である。

$$C/C_0 = F(C_0 t, C_0 z)$$

したがって全水深 H のところにおける残留平均濃度 \bar{C} は

$$\begin{aligned} \bar{C} &= \frac{C_0}{H} \int_0^H F(C_0 t, C_0 z) dz \\ &= \frac{1}{H} \int_0^{C_0 H} F(\tau, \xi) d\xi \end{aligned}$$

したがって

$$\frac{\bar{C}}{C_0} = \frac{1}{C_0 H} \int_0^{C_0 H} F(\tau, \xi) d\xi = F_1(C_0 t, C_0 H)$$

あるいは

$$\begin{aligned} C_0 H &= F_2(C_0 t, C_0 H) \\ CH &= \Phi(t/H, C_0 H) \end{aligned}$$

のように書くこともできる。

これにより、全水深 H の異なる場合の沈降状況を、濃度を H に反比例させ、時間を H に比例させることによって推定することができるので便利である。

実際のヘドロについて、沈降除去率 $\frac{C_0 - C}{C_0}$ を時間 t の関数として求めた一例を図一2に、またこの結果を上式の形に整理したものを図一3に示す。

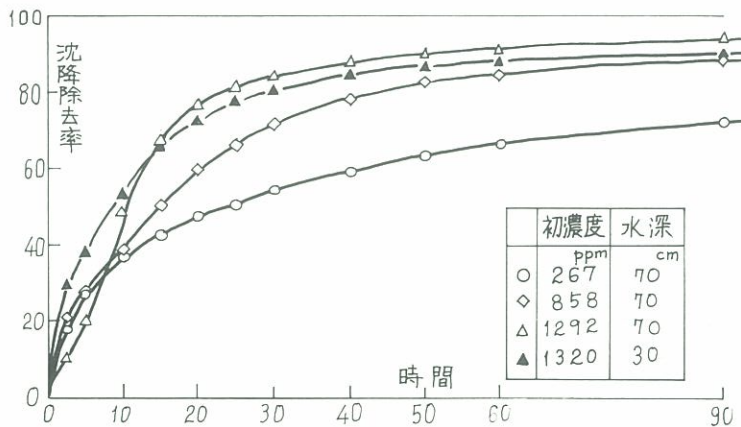
この結果からヘドロの凝集沈降に関する挙動に明らかな特徴をひろい挙げることができる。

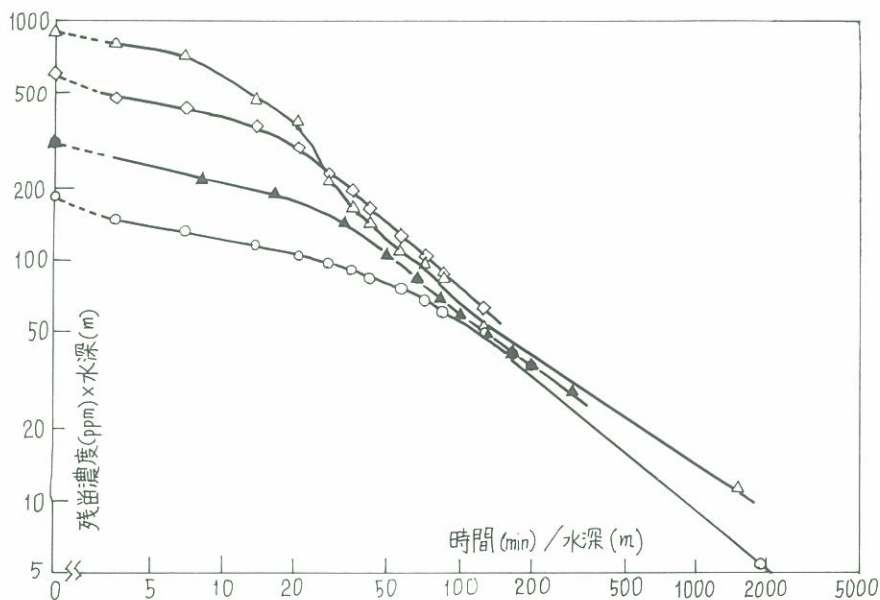
a) 沈降の初期には、初濃度 C_0 にほぼ反比例すると見られる「凝集時間 Tc_0 」がある。反比例することは、衝突頻度の点から予想される通りである。

b) 凝集時間内の残留濃度はほぼ初濃度に比例し、緩慢な濃度低下を示す。

c) 凝集時間を過ぎれば、残留濃度は殆んど初濃度に依存せず、経過時間 t のほぼ $2/3$ 乗に比例して減少していく。

図一3の結果は特定のヘドロに対するものであ





るけれども、傾向的な性質は一般の凝集性微粒子に共通するものと考えてよからう。要するに、

ヘドロが高濃度で懸濁するときは容易に沈降するが、低濃度になるとなかなか沈降しないと云う定性的には常識的なことがある程度理解されよう。

実際の水域におけるヘドロの挙動については、さらに輸送、拡散などが影響する。特に拡散現象

は稀釈効果による前記の凝集時間を大幅に延長しヘドロの移動距離を大きくする効果が著しいと考えられる。このような低濃度で輸送されるヘドロはもちろん質的な意味において問題視されるわけである。このような意味も含めてヘドロの沈降堆積あるいは輸送を考える場合の一助ともなれば望外の幸であるとともに、ヘドロが今日の汚名を返上する日の来ことを念ずる次第である。

Geopollution Surveyed

九州工業大学教授 工学博士 上 滝 具 貞

Geopollution Surveyed, 最近仕入れた言葉であるが、地球汚染ということらしい。

6年程前ヨーロッパへ行った折、スイスの山が美しく、山腹に点在する色とりどりの家々が、子供の頃よく見た西欧の風景画そのままであったことが、印象に鮮だった。昨年再び訪れた時も大いに期待して、8%やカメラを持って出掛けたのであるが、遠くの山々が皆青色に霞んで、かつて山腹に点々と見られた玩具のような家は見られず単調な田舎景色に変わって終い全く失望した。

そう思って日本を眺め直すと、数年前まで飛行

機の上からハッキリ見えていた地上の山や街が、今日ではスイスと同じ様に青色の霞に包まれて輪郭が見えるにすぎない。都市や県の小さな囲いの中で規制値が厳しいとか緩やかだとか議論している間に、大気の汚染は地球全体に拡がり、石油の青い煙で覆われて終たのではないかと思われ、世界の人々が公害と騒ぐ気持ちがやっとわかる気がしました。

公害の真の目的は、この地球の環境破壊 (Geopollution Surveyed) を防止することでなければならないが、その対象は単に大気だけでなく、少