

土のコロイド現象の基礎と応用 (その1)

— 今、何故、コロイド科学なのか —

岩田進午[†] 喜田大三^{††}
(Shingo IWATA) (Daizo KITA)

I. はじめに—農業土木技術の曲がり角

1992年6月、ブラジルのリオデジャネイロで、107カ国の元首および政府首脳の出席のもとに開催された「地球サミット(国連環境開発会議)」は、地球環境を守る憲法ともいえるべき「リオデジャネイロ宣言」とその実行計画である「アジェンダ21」を決定した。「アジェンダ21」には、今後の農業は持続可能なものでなければならないことが唱われている。砂漠化の進行、土の肥沃性の減退、化学肥料および農薬の多投による環境への負荷の増大などが、地球規模で顕著に認められるようになったからである。わが国でも、環境にやさしい農業を確立し、地力を維持・増進させるための方策が真剣に模索されはじめています。このことは、つい最近まで、経済効率を最大限に重視・発展してきた農業土木技術にも大きな転換を強いることになった。今までにもまして、広い視野をもつことが、農業土木技術者に要求されるようになったのである。コロイド科学の知識もその中の一つである。

過去に、農地の基盤整備によって、濁水が河川や海に流れこみ、魚類やサンゴ礁に大きな被害をおよぼしたことがあった。中山間地域における耕作放棄に起因する、土の侵食や地滑りが大きな社会的問題ともなっている。耕作放棄により、畦畔やスキ床に亀裂が発生し、水みちが大きく変化するためである。一方、水田の土の粘土含量は、確実に減少しつつある。粘土の流亡は、粘土と結合した腐植の減少をも意味し、水田はその肥沃性を徐々に減退させている。洪水による粘土分の供給が無くなったことに加え、きれいな水を灌漑しているためである。将来、粘土を混入した濁水を灌漑する必要が生じるかもしれない。濁水をきれいにするには、浮遊している土中のコロイド粒子である粘土を凝集させてやればよい。亀

裂の形成や土の分散性は、その土に含まれる粘土の性質や、その粘土に吸着されている無機イオン(Ca, K, Naなど)の種類と深くかかわっている。いずれの場合も、コロイド科学の助けなしに、解決策を見出すことができない。

読者のみなさんが、この講座で、コロイド科学のおおまかな姿をつかむとともに、なぜいま、コロイド科学が必要なのかを感じていただければ望外の幸である。

II. ふつうの溶液とコロイド水溶液のちがひ

コロイド(コロイド分散系)とは、媒質とその中に分散するコロイド粒子からなる系をいう。コロイド粒子は、すくなくとも、一方向(次元)において、およそ、1nmと1 μ mの間の大きさをもつ粒子とされている。最も小さい粒子でも、原子や低分子(小さい分子)よりかなり大きい。なお、1nm程度の大きさの粒子は、 $10^2 \sim 10^3$ 個の原子からなっている。土中の粘土や腐植もコロイド粒子と見なされる。

食塩水、砂糖水などのようなふつうの水溶液では、溶媒としての水分子と溶質としての食塩や蔗糖の分子は、ほとんど同じ大きさである。これに反して、コロイド粒子を含む水溶液中の媒質としての水分子と、その中に分散しているコロイド粒子の大きさを比べると、水分子の方がはるかに小さい。このことが、ふつうの溶質と異なった性質を、コロイド溶液に付与しているのである。

ここでは、媒質が水、コロイド粒子が無機質であるコロイド分散系を例にとり、かつ、土のコロイド現象に深くかかわる部分に焦点をあてて話を進めることにする。

1. コロイド現象とは?

(1) ブラウン運動 イギリスの植物学者ブラウンは、1927年、ある種の植物の花粉を水に入れて観察しているとき、小さな花粉の粒がふるえるように動いているこ

Fundamentals and Applications of Soil Colloid Science (1) — Why is Colloid Science Necessary in Relation to Environmental Problems ? —

[†](財)日本農業研究所 ^{††}(株)環境科学コーポレーション



干拓, 除塩, 団粒, 分散・凝集, 環境共生, 公害, 泥水・濁水処理, 底泥浚渫

とに気づいた。観察を続けるなかで、彼は、この運動につきのような特徴を見出した。

①一つ一つの粒子の運動様式は不規則である。②分散媒の粘性が小さいほど、動きは活発である。③分散粒子の大きさが小さいほど、はげしく運動する。④系の温度が上昇すると、運動ははげしさを増す。⑤この運動は停止することなく永久に続く。

限外顕微鏡の発明者であるチグモンディー (Zsigmondy) は、金のコロイド溶液を限外顕微鏡で観察したときの感動を、次のように記している。“金の粒子も小さくなると、もうじっと浮かんではいません。それらは運動します。しかも、おそろしくはやく動くのです。太陽の光の中で、ブヨの一群がおどっているとでもいえば、この金コロイド溶液中の粒子の運動を想像していただいでしょうか。とにかく、それは飛んだり、踊ったり、跳ねたり、互いに突進して近づいたり、飛び去ったりして、その運動をつきとめようとしても、複雑でわずらわしくって、つきとめられません”。

この奇妙な現象は、最初は、「生きもの」に固有のものと考えられた。しかし、すぐに、花粉だけでなく、ガラスや岩石のようなものでも、これを粉碎して非常に小さくさえすれば、このような運動をすることがわかってきた。その結果、ブラウン運動は水分子の熱運動に起因するものと結論された。よく知られているように、気体や液体を構成する分子は、絶え間なく熱運動を行っている。コロイド粒子は、数多くの原子の集合体なので、自ら熱運動を行うことはない。しかし、粒子があまり大きくないので、はげしく熱運動をしている周囲の水分子に衝突され、ブラウン運動をおこなうのである。

(2) チンダル現象 朝早く、雨戸を閉め切った部屋で目を覚ますと、雨戸の節穴やそのすき間からはいつてくる日の光の通路がはっきり見える。これと同じ現象が、コロイド水溶液でも認められる。ガラスのピーカーの中のコロイドに、レンズまたは細隙を通してつくった強い平行線をあてる。それを、その光線の通路の方向と直角な方向からみてみると、光の通路が輝いているのが観察される。このような現象はチンダル現象と呼ばれており、コロイド分散系で共通に認められる。雨戸の光の場合は、コロイド粒子がホコリ、媒質が空気なのである。これに反して、ホコリなどを含まないきれいな水やふつうの溶液ではチンダル現象は認められない。チンダル現象は、コロイド粒子によって光が散乱されるために生じる。水分子や食塩、蔗糖の分子も光を散乱させるが、粒子の大きさが低分子のオーダーまで小さくなると、散乱される光の量がずっと弱くなり、観察できなくなるので

ある。

ちょっと話はそれるが、チンダル現象の時には、コロイド溶液に細い光の束をあてたのであるが、光を液全体にあててみると、液全体が濁って見える場合がある。この濁りは、粒子の大きさが光の波長と同程度、すなわち、 $1\sim 0.1\mu\text{m}$ ぐらいのときにいちばん大きくなり、それよりも粒子が大きくても小さくても濁りは小さくなる。

以上述べてきたように、コロイドの特質は、物質固有の性質ではなく、いかなる物質も、それを微粒子状に粉碎して、媒質中に分散させれば認められるものなのである。もちろん、原子や低分子よりかなり大きい高分子でも、同様な特質を示す。

2. 大切な粒子表面の性質

ブラウン運動やチンダル現象は、粒子の大きさのみに関係し、物質にはよらない。しかし、ひとたび、コロイド分散系の物理化学的性質やコロイド粒子間の相互作用に目を向けると、粒子表面の性質—表面と媒質の間に形成される界面層の性質—や粒子の形状が大きく関係してくる。その原因の一つは、コロイド粒子の表面積がきわめて大きいことである。

(1) 大きな比表面積 ある大きさ、形状をもつ物質(一般に粉体)において、その物質1g当たりの表面積を比表面積と呼んでいる。よく知られているように、対象とする物質の一つ一つの大きさが小さくなるほど、比表面積は大きくなる。したがって、微粒子であるコロイド粒子の比表面積は、数十～数百 m^2 に達する。土も粘土などのコロイド粒子を多量にふくんでいるので、その比表面積はきわめて大きい(表-1)。

比表面積が大きいということは、その表面が、媒質分子や媒質に含まれる低分子やイオンと相互作用し合うことができる面積が大きいことを意味する。換言すれば、相互作用により一つの粒子の表面が変化すると、その変化は媒質中に存在する粒子の全表面にも生じ、コロイド分散系全体の性質に大きな影響が及ぶのである。粒子の表面が化学的に活性であったり、荷電を帯びていれば、

表-1 各種の土の比表面積(多田ら, 1963)

| 土の種類 | 比表面積 (m^2/g) |
|---------------|--------------------------------|
| 関東ローム表層土 | 320 |
| 下層土 | 330 |
| 鹿沼土 | 480 |
| 赤黄色土(静岡) 0 cm | 76 |
| 40 cm | 86 |
| 重粘土(紋別) 40 cm | 77 |

土1gは、茶サジに軽く1杯の量である。その面積の大きさに驚かされるであろう。

媒質分子や媒質中の低分子・イオンと容易に反応し、粒子表面や界面層の性質が変わることが多い。その結果、粒子の分散状態や分散系の力学的性質も変化を受けることになる。このように、粒子表面やその界面の性質が、コロイド分散系の性質に大きな影響を及ぼすので、表面や界面についての研究も、コロイド科学の重要な一分野となっている。

(2) 塩を加えると凝集する一電気を帯びているコロイド粒子 多くのコロイド粒子は電気を帯びている。たとえば、火山の爆発による灰も荷電をもっているし、タバコの煙の粒子も、全体の約4分の1が正に、約4分の1が負に帯電しているといわれる。なんらかの原因により、イオンまたは電子が粒子に吸着されたためである。

水を分散媒とするコロイド分散系で、粒子が帯電するメカニズムとして、二つのメカニズムが存在する。一つは、水中に存在する電解質の陰イオンまたは陽イオンのどちらかが、粒子表面に選択的に吸着されることにより粒子が帯電するのである。銀などのコロイド分散系にみられる。他の一つは、粒子の表面に存在する解離基の電離による。よく知られている解離基の一つに、カルボキシル基 (-COOH) がある。末端の水素は弱く結合されているので、水溶液中の水酸化イオン (OH-) の濃度が高まると (pH が増大すると)、これにひっぱられて解離し、末端に負電荷が形成される。この反応は、土中の粘土や腐植でもみられる。このような反応は、土中の物質に限ったことではない。動植物の身体を構成するタンパク質でも普遍的に認められるものである。タンパク質はカルボキシル基とともに、アミノ基をあわせもち、酸性側では、アミノ基が水素イオンをとりこんで正の荷電を、アルカリ側では、水素イオンを放出し負の荷電を

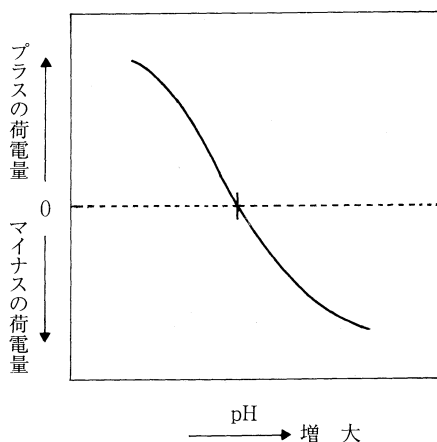


図-1 タンパク質の荷電特性の模式図 (点線との交点は、プラスとマイナスの量が等しくなる pH で等電点と呼ばれる)

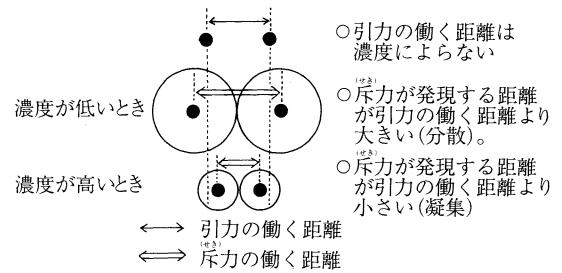


図-2 濃度が高くなると凝集するメカニズムを説明する図

帯びる (図-1)。pH の変化とともに、自己のもつ荷電の符号を変えるのである。なお、後述するように、粘土粒子の荷電には、上に述べたメカニズムによらず pH に全く影響されないものが存在する。永久荷電と名づけられている。

荷電をもつコロイド粒子を含む水溶液分散系では、水溶液の塩濃度 (NaCl, KCl などの濃度) が小さい場合、コロイド粒子が同種の電気をもっているため、近づいても反発しあい凝集することはない。安定な分散系を形成しているのである。しかし、これに塩を加え、塩濃度を高めると、いままで安定して分散していた粒子が凝集をはじめ。河口付近まで濁っていた河の水が、海にそぐとみるみる澄んでくるのも、海水の塩濃度が高いためである。粒子が凝集をはじめた濃度を臨界凝集濃度と呼んでいる。凝集の原因を一言でいえば、塩濃度が増加すると、粒子間に作用する電気的反発力の及ぶ距離が小さくなり、分子間力にもとづく引力が働くことができるようになるためである (図-2)。分子間力は、きわめて小さい距離にならないと発現しない。このような凝集現象は、ふつうの電解質溶液 (たとえば、NaCl や HCl 溶液) では生じない。それは、コロイド粒子がふつうの原子や分子のイオンと比べて、きわめて多数の原子や分子からなっているため、粒子の間に働く引力がふつうのイオンの間のそれと比べて、はるかに大きいこと。そして、コロイド粒子を構成する原子一つあたりの荷電量が、イオン同士のそれと比べて、きわめて小さいことに起因している。pH の変化につれて、自己の荷電量が変化するコロイド粒子の分散・凝集は、とうぜん、pH に大きく影響される。

(3) 異常な粘性の発見 ふつうの溶液では、流動させるために加えられる圧力 (圧力勾配) がどのような値をとっても、その粘性の値は変わらない。しかし、コロイド粒子が紐状であったり、薄片状であったりすると、事態は全く異なったものとなる。圧力勾配が大きくなると、粒子が流れの方向に配向したり、凝集していた粒子が流れによって分散したりして、粘性が減少することが

あるのである。特に、紐状の粒子同士がからみあったり、なんらかの原因でコロイド粒子が互いに接触して、系全体にわたってある種の構造をつくっている場合には、圧力勾配の大小によって粘性が極端に変化する。構造粘性といわれるものである。圧力勾配が小さいときには、構造が維持されたままなので、粘性はきわめて大きい。圧力勾配が大きくなると構造が壊れ、粘性は通常の値に近づく。

III. 土中のコロイド粒子の特殊性

土は、砂、シルト、粘土などの無機質と分解過程にある有機物から構成されている。砂は、0.02 mm 以上、シルトは 0.02~0.002 mm、粘土は 0.002 mm (2 μ m) 以下の大きさの粒子に、それぞれ名づけられた名称である。

1. 多様なコロイド粒子を含む土

上記の分類により、無機物では、粘土のみがコロイド粒子の条件を満足する。このように、粘土は大きさのみで分類されたものなので、結晶性および非晶質粘土鉱物、鉄やアルミニウムの酸化物（水酸化物）など多様な物質からなっている。これらのコロイド物質は、荷電特性だけでなく、大きさも形状も著しく異なっている。ある物質は 1 nm 程度の厚みと 0.1 μ m オーダーの広がりをもつ薄片状であり、他の物質は直径数 nm の中空の球状粒子である。直径 1 nm 前後の中空円筒状の物質もある。したがって、そのコロイド的性質も、当然大きく違ったものとなる。木の葉などの有機物が、微生物により分解される過程で生じる腐植と呼ばれる物質も、重要なコロイド粒子の一つである。鎖状化合物で、土のコロイド的性質に大きく影響する。

粘土は、岩石を構成している一次鉱物が風化変質した、あるいは新たに生成した二次鉱物であり、気温や降水量がちがえば、その種類・量も異なってくる。たとえば、熱帯や亜熱帯の沖縄でよく見かける赤い土の粘土の主体は、鉄やアルミニウムの酸化物（水酸化物）である。干拓によって造成された八郎潟の農地の粘土は、最も活性の高い結晶性粘土鉱物に属する。西日本に広く分布する花崗岩が風化してできた土は、活性の低い結晶性粘土鉱物からなっている。関東ロームと呼ばれる火山灰に由来する土には、非晶質の粘土鉱物が多量に含まれている。加えて、腐植の量も、土によって大きく異なる。

このように、土によって、粘土の種類やその量そして腐植量にも差があることが、土の工学的・農学的取り扱いをきわめて困難にしているのである。

2. 土の中には荷電が一杯

土中のコロイド粒子である粘土と腐植はいずれも電

気を帯びている。マイナスに荷電しているものが多く、1 m³の中に、10⁸ クローンに達する負の荷電量をもつものもある。1 kW の電熱器を、120 日間つけっぱなしにできる量に相当する。

土の中のいろいろなコロイド粒子の荷電特性を調べてみたところ、2 種類の荷電が存在することがわかった。一つは、pH 依存荷電あるいは変異荷電と呼ばれるもので、タンパク質と同じように解離基の存在による。いずれも、H⁺ イオンや OH⁻ イオンのとりこみや放出によるもので、酸性側ではプラスの荷電が、アルカリ側ではマイナスの荷電が発現し、その帯電量は pH によって大きく変化する。すべての粘土がこの種の荷電をもつ。ただし、腐植は、マイナスの荷電しか発現しない。

もう一つは、永久荷電と呼ばれるマイナスの荷電であり、pH に全く依存しない。粘土の生成過程で獲得されたものである。結晶性粘土鉱物の中には、変異荷電と永久荷電をあわせもつものが多い。このような粘土を酸性の水溶液中に分散させてやると、ある粒子のプラスの荷電が発現している部位と他の粒子のマイナス荷電が存在する部分とが静電的に結合し、間隙の多い構造をつくる。粘土の濃度が大きいとゼリー状になる。ところで、それに苛性ソーダなどを加えて水溶液の pH をアルカリ側にしてやると、構造は破壊され、分散状態に移行する。プラスの荷電が消滅し、マイナスの荷電があらわれ、反発するようになるからである。

3. 汚れがちな粘土表面

先に触れたように、土中の粘土の種類は多様であることに加えて、周囲に水酸化物、腐植、多種のイオンが存在している。加えて、乾湿や酸化・還元状態などの環境変化をつねに受けている。そのため、粘土粒子は、これら周辺物質と作用し合い、その表面の性質を変化させることが多い。たとえば、火山性土中の非晶質粘土は、リン酸イオンを吸着して負荷電を増加させる。あるいは、腐植が粘土鉱物と結合し、複雑なコロイド系を形成するなどである。

4. 土は巨大なイオン交換体

多くの間隙を含む固体を多孔体という。最近、環境・資源・エネルギー問題と関連して、微細な間隙をもつ微細孔体が注目されている。土も微細な間隙を数多くもっており、これに属する。このような微細孔体を研究する分野は、比喩的に逆コロイド科学とも呼ばれている。もちろん、コロイド科学の重要な分野の一つでもある。コロイド分散系が、流体の中をコロイド粒子が自由に動きまわるのに反し、微細孔体では、コロイド粒子が静止しており、流体がその中を動くことから名づけられたもので

あろう。しかし、ともに比表面積が大きく、流体中に存在するイオン、中性低分子、さらに流体分子などを多量に表面に吸着するという点では共通の面をもっているのである。

先述したように、土中の粘土や腐植がもつ負荷電量はきわめて大きい。したがって、粘土や腐植の表面に吸着される陽イオンの量も莫大なものとなる。たとえば、100m²、深さ50cmの関東ローム表土層に吸着されている陽イオン量は、K⁺イオンに換算して、20~30tにも達する。吸着されている陽イオンは、施肥などにより、ある種の陽イオンが土中に新たに加えられると、その陽イオンと交換され、雨水などによって土中深くに運び去られる。このような現象は、イオン交換と呼ばれている。降水量の多い地域の土が酸性を呈するのは、雨水によって絶えずH⁺イオンが供給される結果、吸着陽イオンの中に占めるH⁺イオンの割合が高くなることによる。永久荷電を多くもつ土ほど、また酸性になるとH⁺イオンを吸着して正荷電を発現させる能力をもつ土ほど、土の酸性化に抵抗する力が強いことになる。このことは、酸性雨との関連で重要なことである。

なお、吸着陽イオンの種類が変わると、土の力学性・工学性が大きく変わることも忘れてはならない。Na⁺イオンを多量に吸着している粘性土は、雨が降るとぬかるみ、晴天が続くとカチカチになる。あるいは、Ca²⁺を多く含む土が安定な構造をもつのはこの例である（粘性土の道路の支持力増大のために石灰添加が行われるのはこのためである）。

この章を終わるにあたって、農業土木技術へのコロイド科学の適用例として、粘土特有の分散・凝集の現場応用をいくつか紹介しておこう。

IV. 土のコロイド科学の現場への適用例

1. 児島湾干拓地の農地造成

若い方には理解しにくいことであろうが、食糧がなく運動場が芋畑になり、また終戦後は大規模な開墾あるいは干拓工事によって農地を造成した時代があった。

1951年（昭和26年）に大学を卒業した執筆者の一人である喜田は、機械化農業の岡山県児島湾干拓地で塩分を一日も早く除去する研究を担当した。

その際、ひとつの不可解な現象に気づいた。干拓粘性土から塩分が雨水や灌漑水で溶脱される過程で、乾燥した土塊は極めて固くなり、逆に降雨で容易に泥状になった。そのため、耕うん機の破碎性あるいは走行性に支障をきたした。

この異常な現象は、粘土コロイドの表面に付着してい

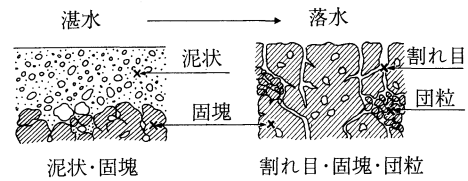


図-3 水田（乾田）作土層の構造模式図

る塩分の種類と量、いいかえれば粘土の分散・凝集現象から理解することができた（次項で説明）。

この不良粘性土に石灰そして有機物を投入して耐水性団粒を造り、不良土を改良して易耕性を向上させることができた。いうまでもなく団粒構造の土は、透水性・通気性・保水性など物理的性質において植生に非常に好ましい土である。

耐水性団粒の形成には、結合物質としての粘土・有機物・遊離鉄などのコロイド成分が必要であり、土の乾湿・植物の根・土中生物が大いに関与している。干拓40数年の水田地帯では、稲刈りに後に耕うんしないで麦を播種・栽培していた。落水後の土は固塊状構造とされていたが、図-3のように、割れ目のある固塊・団粒状構造であることを初めて知った。

この地域の古い地図を調査すると、内陸は海で小島が散在していた。洪水時に流入してきた濁水中の粘土は、海水の塩分によって凝集・沈降を促進され、その結果いわゆる沖積粘土層が島々の間に形成された（次項で説明）。

戦国時代から、特に江戸時代に、池田藩は干拓と灌漑の土木工事を行って、新田を次々開発した。まさに「衣食足りて礼節を知る」のとおり、池田藩では学問文化が大いに栄えた。明治になって、大阪の財閥藤田伝三郎氏は児島湾の総面積7,000町歩の7割を干拓する大構想をもって、強大な財力と進歩した技術によって大規模な干拓事業を進めた。戦後、国は当時企画された干拓工事を引き継いでいる。

2. 粘土の分散・凝集現象

粘土を水中に懸濁させると図-4に示すような分散・凝集現象がみられる。分散状態では、粘土粒子は相互に凝集することなく独立して沈降し、密に配向して不透水性の泥膜になる。それに反して凝集状態では、粘土粒子は綿毛状のフロック（凝集体）になり速やかに沈降し、粒子相互はランダムに配列して透水性の堆積物になる。

前述したように、このような分散・凝集現象はマイナスの電荷をもつ粘土粒子間に作用している動電位にもとづく反発力と分子間力に起因する引力の大小関係により生ずる。塩濃度が高くなるほど、吸着陽イオンの価数が

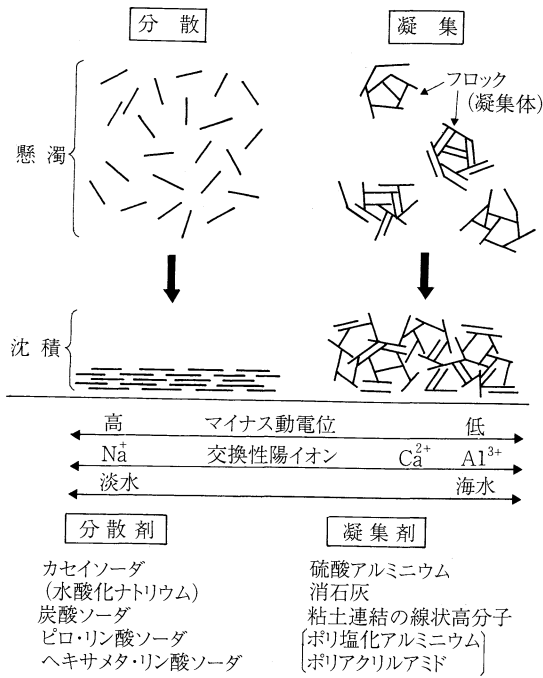


図-4 水中における粘土の分散・凝集

大きくなるほど、電気的反発力のおよぶ距離が小さくなり、凝集しやすくなる。

小島の散在する児島湾では、洪水時に流入する濁水中の粘土は、図-4のように、海水に触れると塩類凝集して速やかに沈降する。その結果、粘土は沖合まで拡散しないで、軟弱な沖積地盤が順次形成された。干拓すると、過剰の塩分は雨水・灌漑水によって次第に溶脱され、粘土粒子表面は Na⁺ イオンに富み水中では良く分散し、乾燥すると粘土粒子は密に配列して乾燥土塊が非常に固くなり、逆に降雨で粘土は再び分散して異常に泥状化することが判明した。この土の改良は、一価の Na⁺ イオンを二価の Ca²⁺ イオンと交換して粘土を凝集させることであり、石灰資材の施用は効果的であった。

3. 環境共生型の土木工事

戦後の急速な経済成長と共に、大気汚染・水質汚濁・土壌汚染・騒音・振動・地盤沈下・悪臭などの公害が生活・自然環境を著しく悪くした。それを防止するため、1967年(昭和42年)に公害対策基本法が制定された。1993年(平成5年)に、この基本法に地球環境保全を追加した環境基本法が制定された。

1965年(昭和40年)頃、騒音・振動・地盤沈下の建設公害を防止する基礎工法として、連続地中壁工法が脚光をあび採用されはじめた。地盤に溝型の孔を掘り、鉄筋を挿入し、コンクリートを打設して単位壁を造る。隣接して、単位壁を順次構築して仮設土留・止水の連続壁を完成させる。現在、この連続地中壁工法は、飛躍的

な技術進歩の結果、土留・止水壁はもちろん各種地下構造物の外壁・基礎杭などの築造に広く普及し活用されている。

地盤に溝型の孔を掘る際、孔の崩壊を防止するため孔内に安定液を充填させなければならない。当然ながら、工事現場はこのような重要な機能をもつ安定液に関する技術の確立を要望した。

初期の安定液は、Na型ベントナイト粘土の泥水であり、この工法は泥水工法とも呼ばれた。前項の図-4のように、安定液は分散状態で掘削溝壁に不透水性のろ過泥膜を形成し溝壁崩壊を防止するが、使用中に地下水の塩分特にセメントのCa成分の混入で次第に凝集状態になり、その性能は劣化する。そこで、粘土の分散剤や劣化安定液の固液分離機などが実用化された。さらに、粘土・ポリマーコロイドの分散・凝集の基礎研究に基づいて、このような塩類で凝集しにくいポリマー安定液が開発された。また、海水練りポリマー安定液を開発して、淡水の無い人工島でも連続壁構築が可能になった。

下水道工事などでシールド工法を施工する際、軟弱地盤改良に薬液を注入して地下水汚染の事故が発生したことがある。そこで、無公害の粘土泥水を使用する泥水加圧式シールド工法が普及している。最近では、この泥水シールド工法は東京湾横断道アクアラインの海底トンネルの構築にも採用された。掘削した懸濁状粘土分は、最終的に機械的に分離そして脱水される。前項の図-4に示すように、凝集剤を添加して粘土の分離・脱水の効率をあげている。

各種土木工事で発生する濁水は、河川・湖沼・港湾・沿岸海域などの公共水域の水質を汚濁しないよう処理されている。その処理法には、自然沈殿方式、凝集沈殿方式、凝集沈殿・ろ過脱水方式がある。粘土の凝集・ろ過脱水促進に凝集剤を添加している。

たとえば、ダム建設現場では、コンクリート骨材製造時の濁水を凝集沈殿・ろ過脱水方式で処理している。加圧脱水したケーキ状のスラッジは、一般的に産業廃棄物処分場に埋立処分される。最近、資源の再利用・自然環境保全の社会的要請にこたえて、スラッジから舗装用レンガ、水質浄化ろ材、ダム周辺の緑化基材などが開発されている。

また、高度経済成長に伴って、工場周辺には「死の海」「死の川」が出現したが、Hg, PCBなどで汚染された有害底泥(へどろ)を浚渫して著しく改善された。しかし、公共水域には有機底泥が多量に堆積し、富栄養分が溶出して水質を有機汚濁させている。水質改善・生物相回復をめざした底泥浚渫工事では、浚渫濁水の処理に、

凝集沈殿さらにろ過脱水方式を採用している。

なお、泥水・濁水処理の事例は、その13およびその14において詳しく紹介される。

V. おわりに

“土のコロイド現象”にかかわる知見をかけ足で紹介した。次回より本論にはいる。予定されている各回のテーマおよび執筆者名を示しておく。基礎的な課題は前半で、その応用的事例は後半で論じられる。各執筆者は、コロイド科学に不慣れな読者でも、容易に内容が理解できるよう配慮しているので、読みやすいものになると信じている。本講座が、読者のみなさんの知識向上に役立ち、実務に活用されることを願っている。

講座「土のコロイド現象の基礎と応用」予定

- その1 総論 (なぜ、いま土のコロイド科学なのか?)
岩田進午 (日本農業研究所)・喜田大三 (環境科学コーポレーション)
- その2 土のコロイド粒子の化学構造・荷電特性
中原 治 (九州大学農学部)
- その3 土のコロイド粒子の形と大きさ
和田信一郎 (九州大学農学部)
- その4 多様な土環境の影響を受ける土のコロイド
南條正巳 (東北大学農学部)
- その5 コロイド現象の物理的基礎
大井節男 (農業工学研究所)
- その6 コロイド現象の測定法
足立泰久 (筑波大学農林工学系)・Ceco Dushikin (東京大学教養学部)
- その7 凝集・分散の動力学
小林幹佳 (筑波大学農学系研究科)・足立泰久 (筑波大学農林工学系)

- その8 粘土懸濁液の膨潤とレオロジー
藤井克巳 (岩手大学農学部)・中石克也 (茨城大学農学部)
- その9 地層中におけるコロイド形成とその移動特性
長崎晋也 (東京大学大学院工学系研究科)
- その10 海成粘土の工学的性質におけるコロイドの寄与
大坪政美 (九州大学農学部)
- その11 水溶性高分子の環境技術への適用とその課題
松本哲洋 (筑波大学農学系研究科)・足立泰久 (筑波大学農林工学系)・Isac Schainberg (イスラエル乾燥地工学研究所)・石黒宗秀 (岡山大学環境理工学部)
- その12 コロイドから見た土の侵食と透水性
西村 拓 (東京大学大学院)・取出伸夫 (佐賀大学農学部)
- その13 土木工事とコロイド
炭田光輝 (大林組技術研究所)
- その14 代かき濁水の沈降浄化と児島湾底泥の脱水特性の改良
赤江剛夫 (岡山大学環境理工学部)
- その15 土の表面水の挙動と役割
溝口 勝 (三重大学生物資源学部)
[1997. 10. 7. 受稿]

参 考 文 献

- (全般に関するもの)
岩田進午・喜田大三監修：土の環境圏，フジ・テクノシステム (1997)
- (現場への適用例に関するもの)
地盤工学会：連続地中壁工法，地盤工学会 (1993)
土質工学会編：土質工学会における化学の基礎と応用，土質工学会 (1984)
日本建設機械化協会：建設工事に伴う濁水対策ハンドブック，日本建設機械化協会 (1985)