



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	”凝集沈澱に於ける諸問題”（主として水理学的問題点について）
Author(s)	丹保, 憲二
Citation	衛生工学, 1, 13-19
Issue Date	1958-08-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/36127
Type	departmental bulletin paper
File Information	1_13-19.pdf



“凝集沈澱に於ける諸問題”

(主として水理学的問題点について)

助教授 丹 保 憲 仁

Some Problems Regarding to the Coagulation Processes.

Asst. Prof. Norihito Tambo.

近時大浄水場・新鋭浄水場の建設が相次ぎ、上水道施設が続々と強化されて行く事は喜びに耐えない所であるが、残念な事にはその設計の基本的諸問題については、理論的・実験的研究により理解・解明がなされたと云うには程遠く、the rule of thumb による点がその大半を占めて居るのではなかろうかと考えられる。

我々が水浄化の装置・浄水場等の設計を行はんとする際、問題となる最大の事は、或る装置の効率を正確に予め推定出来ない事にあるのではなかろうか。例へば或都市の浄水場を始めて建設しようとした場合、一年又は数年にわたって諸水源の質量の詳細な資料を得る事は出来るし、又所要給水量等の需要についても相当程度正確に推定を行なう事が可能である。それらの資料中の量的のものを用いて、送水・導水・配水管・貯・配水池等は又相当程度合理的に設計出来る。これらについては実用上充分な精度の計算式・諸係数が多くの研究者によつて明らかにされている。

しかるに浄水機構本体の設計についてはどうであろうか!! 例えば水源中に2 P.P.m の鉄が存在して居たとしよう。今これを特殊の除鉄を行なはねば通常の Alum を用いた凝集沈澱にかけたとする。そうするとこの過程ではどの程度の除去が可能なのだろうか。標準的 Alum の flocculation による効果と云つても共存物・その他の化学的・物理的要素等が異なるために簡単に表現しうるものではないがしかしその有効さの程度すら一般の設計者には知り難い。水道協会の急速ろ過設置基準にしても除鉄の項に“0.3 P.P.m以上の鉄を含む水はろ過前に除鉄しなければならぬ”と記してあり方法として曝気を推せんして居るがその効

果等についての記載もなく又 0.5 P.P.m などと言う若干の基準量 over の場合に於てすらも曝気が行なはれた方が良いのか。又この位であれば通常の Alum による凝集沈澱で除去されてしまうのか知る由もない。

この様な点がすべての問題に皆含まれている、この様な問題について広く資料を集めて、基準を設けるべきで、そして将来に於ける基準は現今の様な物から一歩出た “～” の process は “～” “～” と言った物で正常に運搬されるならば、A 項目については、B 案件の場合はどの位、C 案件の場合はどの位-----、B 項目については-----位等の除去を行う事が可能であり、又完成した “～” process は上記の程度の効果を保証すべきものでなければならぬ。” と言った工合の物になる。と言う事は私の夢であろうか。

この様に多くの案件によって変化して行く個々の問題について設計の資料となるべきものを集積して行く一方、これらの問題を出来るだけ分離解析して、混合、凝集、沈澱、浮遊等の各操作の基本枠構を解明して上記資料の合理的整理・使用の根本線を作り合理的設計の基盤を作って行かなければならない。

今後の水道界の研究は実務家を主軸とするであろう人々によって主として前者が、研究機関に於ける人々によって主として後者の方法が採られ、後者は実用性ある理論を組立て、前者は資料の集積整理を行って車の両輪の杯に統一解析の途を進んで行つたならば遠からざる将来に於て必ず合理的設計の途が開かれるものと考えられる。

以上の様な観点に立つて筆者が興味を有し若干手を染め将来その基本枠構の解明に努力を続けて行きたいと考えて居る物の一つの凝集沈澱に於ける諸問題点について述べて見、大方の皆様の適切な御指導・御助言を得たいと思う。

凝集沈澱の過程を細分して見ると混合・凝集・沈澱の三段階に分けて考える事が出来よう、その各々について私の興味を有する若干の問題点を記述して見ると、

1) 混合過程 (Mixing Process)

処理水中の凝集剤 (Chemicals) の充分な分散を確立する為めの高速度攪拌が沈澱処理の初段階である。この混合と凝集攪拌 (Flocculation) が全く意味の異った二つの過程として受け入れられたのはごく最

近の事に属する。この混合の方法としては単に水路の上流端に薬品を滴下する方法・上下丘流・水平丘流による方法等で水流自体の乱流混合に期待するもの、溢流比を設けたり、跳水等を利用して瞬間混合を行なふもの、機械撹拌（注入を拡散ポンプを用いて行なふもの等も含む）によるものがある、が前半の諸方式は Compact な設計が不可能であり外的条件の変化に対する弾力性も少く（悪い場合は flocculation の目的と兼ね合はされて居る事もあり）混合の完全を期しがたい事が明らかなため新設の場合には跳水等の短時間で強制混合の出来る水理装置・機械混合装置の二者にしばられて来る。跳水による方法は充分落差の取れる所でも使用している事例をきかないしこれに関する研究も少ない様である。跳水現象自体は水理学的には良く知られて居り又安定した状態を相当広汎な流況変化の場合も保てるので動力費を要さぬ利点等をもかんがえて充分の研究をする価値がある。機械撹拌による混合について問題となるのは、どの様な形状・寸法（池に対して）の羽根をどの位の回転速度で回しどの位滞流させるかと言う点にある。羽根の寸法・形状が当を得なければ実際の翼回転速度を大としても池内水が翼と共に回転を生じ相對運動を生じないで混合の目的を達しない。消費動力・損失水頭等について、又邪魔板等の補助装置についても研究を要し、連続他の場合の実質滞流時間の知識も必要となる。もちろんこれらの諸項は注入薬品の性状等を充分考えに入れて検討しなければならない。

この方面の研究は化学工学の分野で相当広く取扱はれて居り見るべき成果もある様であるから、これらを学び取り消化して水道工学の分野で生かして発展させて行く事が必要であろう。

東京都の小島・井滝氏が渾一段の混合を長く激しく（完全化）する事により凝集・沈澱の効果を促進すると言う報文を発表して居るが、実験が Jar tester 中のものだけである為実際の場合と比較する事は困難であるが、混合の完全性の限度を追求する必要を強調したものとして注目し得る発言であろう。雖若も連続流の池に於て凝集・沈澱との関連に於て混合の強度・時間・方法等を考究して行く実験を準備中である。

はたして Colloid の電荷中和・化学反応がこの混合の段階中に終わってしまうのか。

又これら反応の終点と混合の打切点とに何等かの関係があるものだろうか。混合の原理を研究して行きたい。

(2) 凝集過程 (Flocculation Process)

添加され混合によって一様に分布された薬品による floc の形成・熟成が“凝集作用”(Flocculation)であり通常連続的な適度の Agitation によって遂行される。この過程は 1920 年以降初めて混合と分離して衛生工学者に認められ初めたもので、その後も適度な乱れと時間を要する過程であると言う事だけは理解されて居たけれども理論的解明・実設計の合理化と言う点に至っては見るべきものは無かった。

凝集に影響する諸要素の内 P.H., 溶解性 諸物質・添加凝集剤・凝集補助剤・浮遊物質とその交換能・等々 Jar Tester を用いる実験で可能なものについては、相当の利用出来る資料が現存する。しかるに混合の方法・過程等に関する水質を考慮した研究は少く、設計に既存の資料を応用する途は塞がれて居る。又少数の実験例にしても資料を無次元化する事が困難な例が多く、相似率も充分信頼出来る物が悪い事と相俟って実施設計への応用は難しい。

そこで問題を根本的に考え直して、単なる一個例の累積としてではなく、基本的原理を考究して行きその基の上に個々の資料を体系的に沈着・集成して行く様方法を採って行かなければなるまい。その様にして始めてえられた諸資料が実際の設計運転と結びつく。

そこで問題となる最大のものの一つとして、凝集操作の相似律としてはいかなる物かを知る事が研究の普遍化のために必要となる。

Camp によって提唱された G -Value, $G \cdot T$ -Value も亦一種の相似率であるがはたしてどの程度の応用範囲を有して居るものなのか、エネルギーの消費量が凝集反応と単純直接な関係にあるとして導かれた $G \cdot T$ -Value がはたして種々の条件下で適切なものか？ 混合によって生じた一次結晶が、拡散・混流により二次結合の floc の型となつて行く物理的・化学的变化を追求して水による Internal Work, 機械的仕事、とそれがどんな関係を有して居るものであろうか、 と言う諸点を種々の条件下・種々の Scale, 種々の Flocculator を用いて考察を進めて行かなければならない。

Jar Tester 等によって注薬の最適量は決定出来るとしても、floc の生長の Time factor について考察を行なう方法は現今まで何等講じられて居ない。そこで凝集の工合を電気的方法等を用いた或る index (Conductance 等) を用いて追跡し進んで運転の定規とする様な方法等についても実験を試みたい。

在来の機械的(水車)攪拌はいかぬにしても短絡流をまぬがれ難い又点が

ある事から、気泡等による攪拌についても効果経済の両面より検討を加えて見たいと思う。

又 Accelerator 等の基本原理の一つを形成している floc の再循環の問題について詳細な研究が未だ必要な所である。

又 Flocculation の強度を段線に落して凝集を起こさせて行く場合、その強度の減衰の程度・方法・各段階の時間等を規正して行く "Step Flocculation" とでも云うべきものの rule は未だ未確立であり充分の研究を加えて行かなければならない。

(3) 沈澱過程 (Sedimentation Process)

近來沈澱池の合理的設計が呼ばれ、Hazen, Camp, Carpenter, Speiden, Dobbins, 合田等々によって見るべき進歩が遂げられては居るが未だ一歩の感がある。

その一つとして Floc の沈澱速度等に関する値がその性質の複雑な事から簡単な表現で表はし得ず又簡単な解析の方法も得られて居ない事は最も致命的な欠点であり、前述の凝集の項の研究とも相まって沈澱して行く floc の動向を定量的に表はす実験方法を確立する事が又く事の出来ぬ急務である。

又接觸式高速凝集沈澱装置 (上向流式沈澱槽) の出現は上水道界の一大進歩の一つと考える事が出来ようが、強大な短絡流を有しながら非常に良好な成績をあげると云はれる浄化機構については未だ確たる理論的説明の有るのをきかず、rule of thumb による印象を受ける。これらの水流状態・浄化機構等の研究を行い説明を施す事によってさらに一段と高次の装置への発展も考えられよう。

又 Conventional な水平流式沈澱池に於ても未解決の分野は非常に多い。浄化効率の問題が取りあはれ一応の理論的解はえられて居るが内部に於ける乱流の原因が壁の drag によるものよりはむしろ流入の影響によるものが大きいと考えられ乱れの減衰が重要な要素となる事を考え合はせれば、従来の理論だけではなく流入口の影響を含めての乱れを考えて行くのが正当であり、流入の乱れの減衰に対する理論的研究は重要なものである。

池内の Reynolds 数が linear dimension に至深を取って限界数以上であるからと云って単純に小管、小渠内の高 Reynolds 数の場合と同様機構の乱流度があるとして良いものだろうか。流入口との関係による乱流度が卓越して居る池 (特に前半部で) で linear dimension として流入口よりの距離をとった Reynolds 数の方が価値があるのではないだ

らうと云った問題も又研究を要する。

密度流の主因として上水の沈澱池では流入水と池内水の水温差によるものが主と考えられて居たが筆者が測定を行つた例によると普通濃度(10°~15°)程度の場合に於ても末沈澱池は下層に流れ込む傾向の相当強い事が認められ沈澱池運営上考慮を施さねばならない。

又池内の水流状態を調べるために Froud 数を同じとした池で実験を行なうのが可とされて居たけれども、Scale Down の結果現今までに報告されて居る様な実験池では、Reynolds 数は乱流との限界値をはるかに下まはりすでに laminar となつて居る事を考えると、実際の池と流況が異つて来て居る事を考えねばならぬ(き流通時間/理論滞流時間)の値が異つて来ると思はれ比較して充分信頼すべき結果が得られるかどうか、相似率と Scale Effect の両者を充分検討して置なくてはならない。

又池内の Boundary Layer の発達の仕事も容量効率に大きく作用し普通程度の池で80%が得られる最大程度ではないかと云う事が試算される、池の寸法・形状もこの値に大きく依つて来る事から、池の長さ等を決める要素の一つとして境界層の発達の仕事も考えに入れなければならない。

又沈澱池の寸法を決定する重要素の一つとして限界洗堀流速の問題があるが、薬品沈澱池に於ける底の沈積物の状況は河川のそれとは異り Camp によって示された河川の式の変形によるものでは正當に表はしうるものとは云いがたい。そこには次の様な無次元の諸項で表はされる様な諸要素が作用していると考えられる。

$$\frac{\tau_0}{\rho g d} = f \left(\frac{S}{S_0} \cdot \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{v_D}{\nu} \cdot \frac{v_D}{\nu} \cdot \frac{V}{\sqrt{Dg}} \cdot \frac{v}{\sqrt{Dg}} \right)$$

where

τ_0 : 掃流力, S : 粒子の密度 S_0 : 水の密度
 D : 粒子の径 g : 重力の加速度 ν : 動粘性係数
 v : 乱流の変動速度 V : 水路の平均流速
 λ : 乱れの大きさを表はす数

一般の掃流力公式は上式右辺亦二項以下を微小項として考えに入れず補正係数に入れたわけで工學上普通の取扱として河川の様な場合には認められようがはたして上・下水の沈澱池にもそのまま用いて良いものであろうか、沈澱物が細く、その見かけの比重が水に非常に近いと云う事に特別の意義が考えられねばなるまい。又沈澱粒子は海綿状粗しさを有して居ると考えられ

るので、河川の林な固体液体層のはつきり分かれて居る林な水平剪断力を主としたものではなく、固体、液体層のはつきりせぬ圧密過程上にある部分から水の変動攪乱によって運動するもので右辺沖二項、沖四項が最も重要な要素として考えねばならない。

又沈澱池内構造物についても研究を続けて行くつもりである。