

凝集沈殿処理法の概要説明（浸出水処理設備を念頭に）

1、概要

排水処理方法において根幹を成すのが生物処理法と物理化学処理法であり、物理化学処理において広く採用されているのが凝集沈殿処理法である。

ここでは凝集沈殿処理法の原理、特徴、操作因子等について簡単に記述する。

2、無機凝集反応による作用機序、化学的反応と物理化学的反応について

排水中の汚濁成分、有害成分に対し薬剤を使用して不溶化させて沈殿分離する方法が凝集沈殿処理法である。

排水中の処理対象物質の除去は主に以下の二つの作用機序によって達成される。

一つ目は処理対象物質を化学結合により不溶化する。二つ目は無機凝集剤添加によって発生した水酸化物に吸着させる方法である。

以下、二つの作用機序について記述する。

(1) 化学的結合反応

処理対象物質を化学的結合によって不溶性化合物（SS）を発生させて沈殿分離除去する。

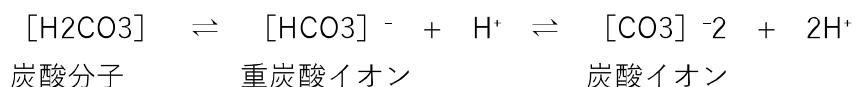
<処理例を挙げれば>

- ①金属イオンに苛性ソーダを添加、アルカリ性にpH調整し、水酸化物にして沈降分離除去する。従って、設定pHが重要な因子となる。
- ②硫化ナトリウムなどのSイオンを添加して不溶性の硫化物を発生させて沈降分離除去する。重金属イオン除去での事例が多い。
ちなみに飛灰に重金属固定剤を添加して重金属を処理する原理は、この類似反応である。
- ③Caイオン除去を目的として炭酸ナトリウムを添加して炭酸カルシウムを発生させて沈殿分離する。

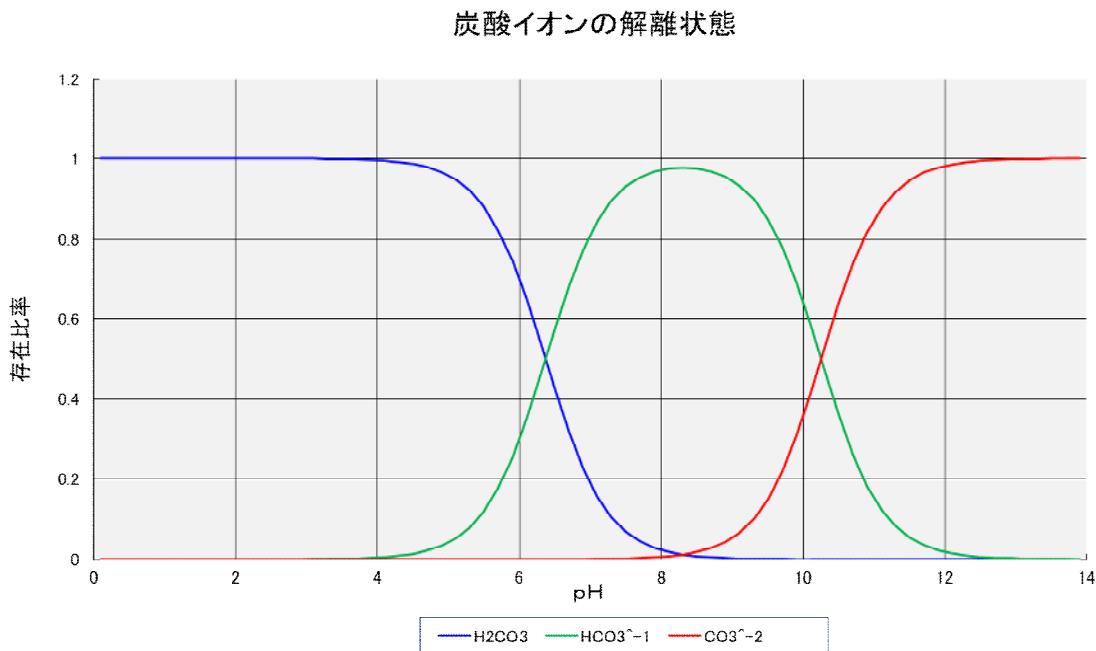
浸出水処理設備にはカルシウム除去システムも組み込まれていることが多いので、原理的な部分について触れておく。

添加した炭酸ナトリウムの炭酸イオンに着目する。

水中の炭酸は下記の式で示す様に解離して3つの形態をとるとされている。

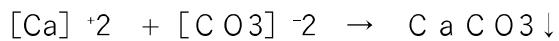


3 様の存在比率は水の pH よって異なり、それを図に示す。



高 pH では炭酸イオンの、中性領域では重炭酸イオンの、酸性領域では炭酸分子の比率が高くなる。酸性領域では炭酸はガス化して飛びやすくなる。

一方、Ca除去の基本反応は



なので、効率良く除去するために CO₃イオンの存在比率が高い pH に設定する方が有利である。

また、CaHCO₃は溶解性なので pH が低下するとカルシウム除去率が顕著に低下する。

以上が Ca 除去の反応槽の pH を高く設定する根拠である。ただし、発生した CaCO₃粒子は微細なので、更に無機凝集剤と高分子凝集剤を併用して沈殿分離する事が必然的である。

余談であるが、コーラにレモンをいれると一気に泡立つのは pH が低下する事で解離平衡がグラフの左側に移行して、炭酸分子 (H₂CO₃) が発生し、ガス化することが原因である。

また、炭酸飲料を強く振ったり、多孔質の物を入れると同じように発泡するが、これは別の物理的な現象である。

④湖沼の富栄養化の原因である燐の除去には、鉄イオンやアルミイオンを

含有する無機凝集剤を添加し、リン酸鉄、リン酸アルミ等の不溶性化合物を発生させて沈殿分離する

⑤フッ素イオンは石灰を添加して不溶性のフッ化カルシウムを発生させて沈降分離除去する。

ただし、フッ化カルシウムの溶解度は比較的高いので7～10mg/L程度は残留するので更に除去する、例えば1mg/L以下に処理しなければならない場合には次項で記述する水酸化物による吸着反応を利用する事もある。

(2) 物理的吸着反応

無機凝集剤を排水に添加し、発生期の水酸化物に処理対象物質を吸着させ、その発生した固体物を沈殿分離除去する事による。

その吸着活性はイオンが水酸化物になる瞬間（発生期）が最も高い。従って、予め水酸化化合物を形成させて、それを添加しても効果は期待出来ない。

この処理では化学的（水酸化物発生）&物理的反応（水酸化物への吸着現象）の複合反応が起きていると推定される。

水酸化物を発生させる条件によって除去効果と形成されたフロックの沈降性は大きく異なる場合があるので特に設定pHは重要な因子である。

<処理例を挙げれば>

①解りやすいのは色成分で除去効果は上澄み液を目視で判定可能である。

②細かいSS粒子。水酸化物に吸着捕捉されて粗大化させる。

③溶解性COD成分。定量分析しないと判定できない。

などなどである。

3、使用薬剤

凝集沈殿法に使用する薬剤は多種多様である。ここでは一般的に使用されている無機凝集剤の種類や特徴などについて付記するにとどめておく。

(1) 鉄系の無機凝集剤

①塩化第二鉄液、38%溶液、比重：1.3前後

②ポリ硫酸鉄、Feとして11%以上、比重：1.5

上記二種類の特徴は

- ・三価鉄イオンなので反応するpH領域が広い。酸性凝沈法に適している。
- ・大量に使用する場合は重金属のMnイオンを含有するので要注意である。
- ・pH低下が大きい。
- ・排水によっては黄色に着色する場合がある。

③硫酸第一鉄（粉体）

- ・粉体なので取り扱いが厄介
- ・二価鉄イオンなのでアルカリ性にしないと効果が無い。
- ・二価鉄のまま残留するとCODの原因になる。

(2) アルミニウム系の無機凝集剤

アルミニウムイオンは両性なので酸性またはアルカリ性で溶解する、従って中性付近での使用に限定される。

①液バン（硫酸アルミニウム液）

②PAC（ポリ塩化アルミニウム）など

4、沈殿分離について、物理的な観点から

薬剤を添加して不溶化させた粒子を沈殿分離する方法において、沈殿槽における粒子の沈降現象についても、ここで併せて記述しておく。

(1) 沈降速度

流体の上昇流に粒子をさらすと、沈降もせず、上昇もしないで流速が存在する。

これを終端速度という。回りくどい表現だが、沈降分離とは終端速度以上の沈降速度を有する粒子を分離する方法である。

粒子の沈降速度式は種々提案されている。

ここでは球形粒子の沈降モデル式として一般的に知られているストークスの式を紹介して、説明する。

ストークスの式

$$V = \{D^2 (\text{粒子密度} - \text{液体密度}) \times g\} / 18 \cdot \mu$$

ここで D：粒子直径 μ：粘度

即ち、沈降速度は粒子直径の二乗に比例する事を意味し、粒子径（フロック径）の影響が大きい。また粒子密度が高いほど沈降速度が高い事が理解できる。液の粘性には反比例して沈降速度は低下する。

理解し易いように、粒子密度、液密度、液粘度は不变で、フロック径のみが D_i から D_f に変化し、その結果、沈降速度が V_i から V_f に向上したと仮定すると、その比は

$$V_f/V_i = (D_f/D_i)^2$$

で表される。

数値を代入すれば、解りやすい。フロック径が 1 mm から 2 mm に大きくなつたとすると

$$V_2/V_1 = (2/1)^2 = 4$$

即ち、直径の変化比の二乗に比例するので沈降速度は 4 倍に上昇することになる。

径が 3 倍になると沈降速度は 10 倍近くになるのである。この影響が非常に大きい事が理解されるであろう。

フロック径の粗大化は無機凝集剤添加と高分子凝集剤添加により 2 段階で進行する。

従って、フロック径を支配する凝集条件の検討は重要な項目である。

(2) 沈殿槽の分離負荷について

沈殿槽の負荷は流入量を沈殿槽の面積で除した（割った）数値で表され、表面積負荷または水面積負荷という。単位は $m^3/m^2 \cdot 時$ 、または $m^3/m^2 \cdot 日$ で示され、これは即ち、沈殿槽の水の上昇速度に他ならない。

従って、原理的には水の上昇速度より高い沈降速度を持つ大きい粒子は沈殿槽下部に沈み、濃縮汚泥となって系外に排出される。

一方、水の上昇流速より低い沈降速度の粒子、言い換れば小さい粒子は上昇速度に負けて処理水側に流出してしまう。これが処理水のSS値として検出される訳である。

沈殿槽から流出したSSは砂ろ過器で補足されるが、この数値が高いと砂ろ過器の逆洗頻度を上げる要因になるので低いことが望ましい。

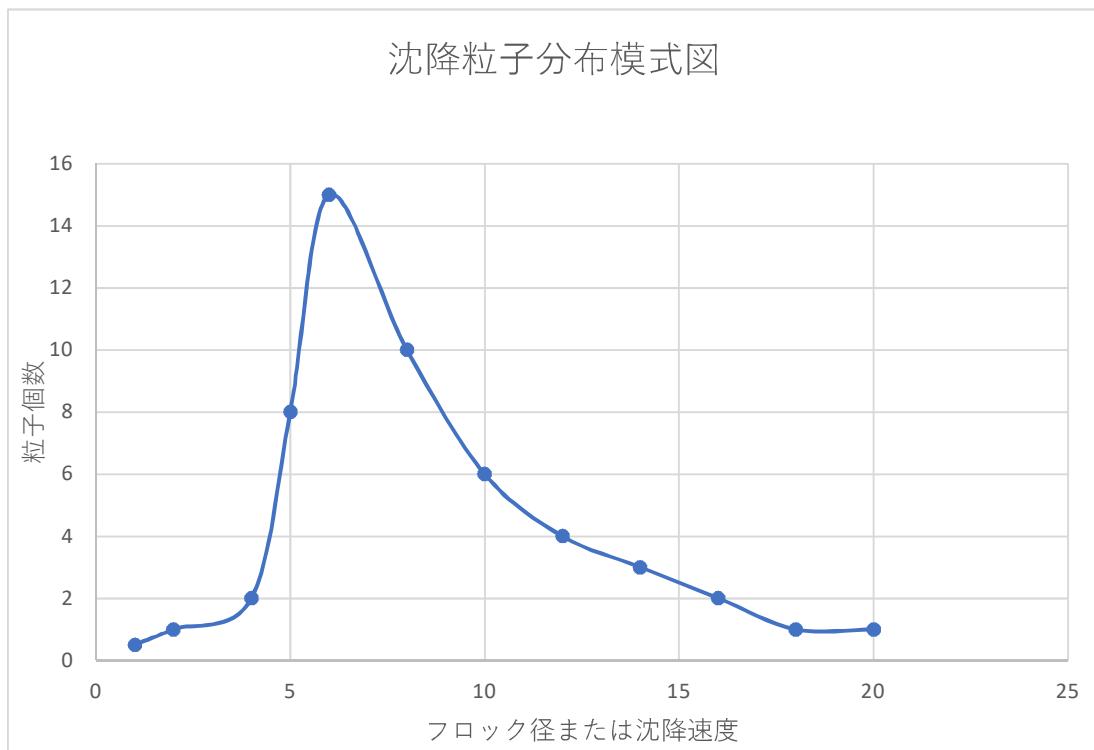
(3) フロック径の分布について

凝集反応槽から沈殿槽に流入する排水中のフロック群の粒径分布は大きい径に偏り、揃っている事が沈殿分離には都合が良いのだが、現実的には極小～大のフロックに幅広く分布している場合が多い。

即ち、フロック粒子の沈降速度も広範囲に分布した粒子群のまま沈殿槽に流入して行く。

沈殿槽からの処理水中のSSを低く抑えるには小さい（沈降速度の低い）径のフロックの沈降速度に合わせて流入負荷を設定せざるを得なくなるのである。

→フロック粒子径分布（フロック沈降速度分布）模式図1



・設定 pHによって、凝集フロックの沈降性などが異なる可能性がある。

<補足>

沈殿槽の形状、構造、水の流動状態も分離効果への影響は関係するが、ここでは言及しない。

4、凝集反応槽における操作因子

装置の分離性能を可能なだけ発揮させるためには凝集反応槽におけるソフト的な配慮が重要な因子となる事と沈降現象について記述して来た。

反応槽の役割は処理対象物質の低減、発生フロックの良好な沈降分離特性維持と改善である。

実設備で確認する方法もあるが、負荷量、滞留時間など色々な変動要因もある中では時間も要するし、典型的な部分を抽出して確認するには判定しづらさや困難が伴う。

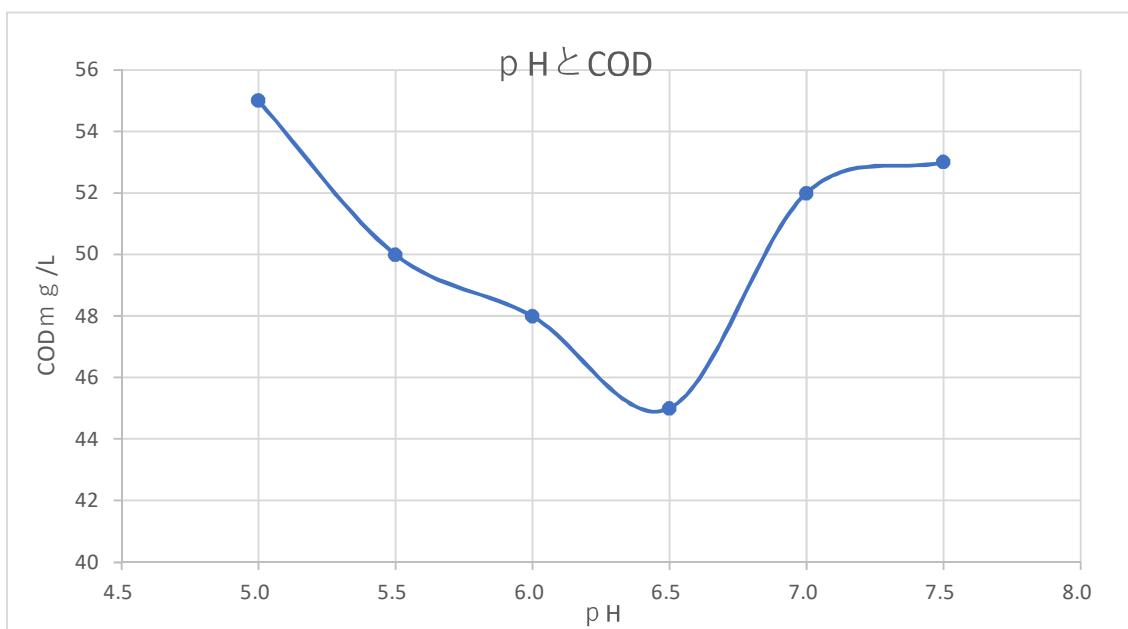
従って、ビーカー規模で試験を実施し、凝集条件を検討後、設備運転条件を確定する事は重要である。

以下、操作因子に対する処理水の挙動について、模式図2～3を例示する。あくまでも模式図なので理解が得やすいパターンで示した。

操作因子は①反応槽pH。②無機凝集剤添加量。③高分子凝集剤の銘柄と添加量。とし、④それらの結果に基づくシリンド-での沈降分離試験を実施する。

①反応槽設定pHの検討

→模式図2

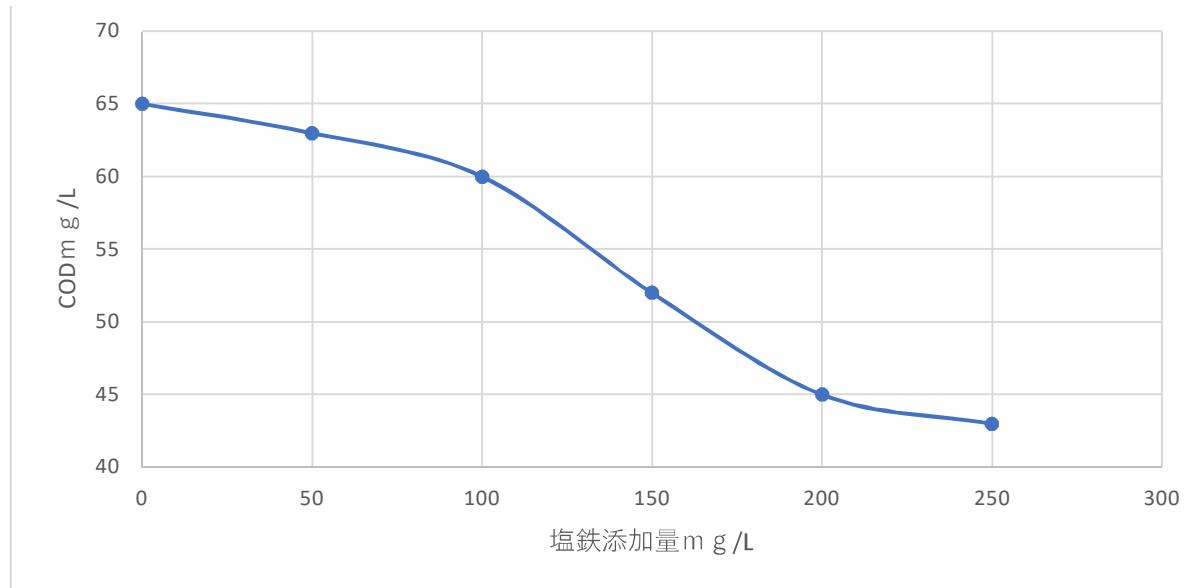


・設定pHによってはCOD除去率、異なる可能性がある。

②無機凝集剤添加量の検討

→模式図3

塩鉄添加量とCOD



③高分子凝集剤銘柄及び添加量の検討

無機凝集剤で形成したフロックを更に粗大化する事とその径を揃える効果がある。

銘柄は多く効果の差は非常に大きく異なるので選定試験は重要である。

ビーカー規模でフロックの形成状況を観察する。

④沈殿負荷試験

①～③のラボ試験によって決定した最適な凝集条件でフロックの沈降分離試験を実施後、徐々に実設備運転に反映させる。

以上