

東北工業大学大学院 学生会員 ○三田地 君人
 東北工業大学工学部 正会員 今野 弘
 東北工業大学工学部 小林 知紀、日黒 仁祐

1.はじめに アルミニウム塩を凝集剤として使用する場合、アルミニウムの残留性が課題となる。藻類増殖が顕著な水源水に対しては凝集阻害も起こる。それらの機構を明らかにすることは浄水上重要であるとの観点で研究を統けているが、本報告ではアルミニウム化学種の平衡より任意の硫酸アルミニウム注入量(以下 Al_t)における溶解性アルミニウム(以下 AI)を理論的に求め、一方であるアルカリ度と Al_t におけるその反応時間と AI について濁質や藻類生産有機物がない状態で実験的に検討した。

2.溶解性アルミニウムの生成に与える pH の影響についての理論的検討

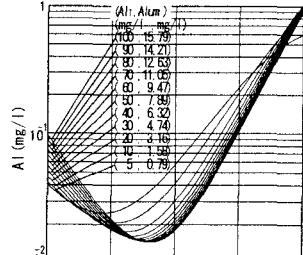
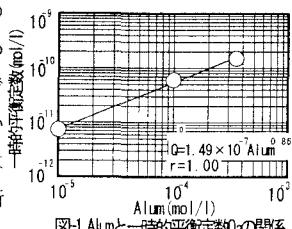
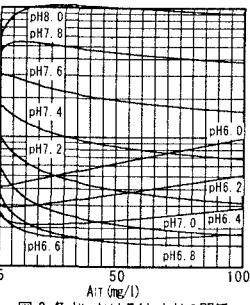
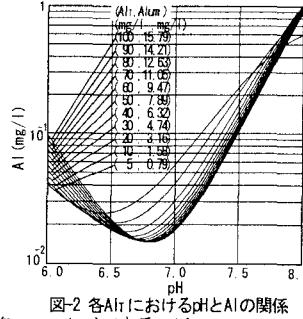
2-1.溶解性アルミニウムの生成 残留したアルミニウムは様々な形態で存在するが、ここで Sullivan & Singley¹⁾(以下 S&S)におけるモーナルミニウム錯イオンの一時的平衡を考慮し、 Al_t に含まれるアルミニウム(以下 Alum)と水酸化アルミニウムの差から AI を求めた。最終的な式を以下に示す。

$$AI = Alum \left[1 - \frac{1}{\frac{10^{-3pH}}{Q_1} + \frac{Q_1 10^{-3pH}}{Q_3} + \frac{Q_2 10^{-3pH}}{Q_3} + \frac{Q_3 10^{-3pH}}{Q_3} + \frac{Q_4 10^{-3pH}}{Q_3} + 1} \right]$$

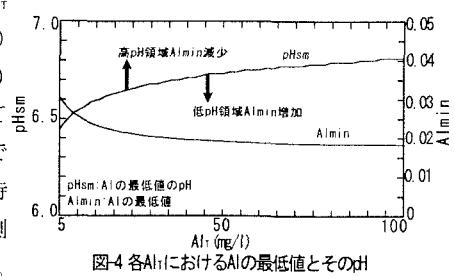
Q_1 ~ Q_5 :一時的平衡定数 Alum: Al_t に含まれるアルミニウム AI:溶解性アルミニウム

丹保・伊藤²⁾は Alum3 種類について各 pH における AI を分析した。今回の一時的平衡定数(Q_1 ~ Q_5)は S&S のそれをもとにこの実験値に沿うように定めた。図-1 はこの 3 種類の Alum と一時的平衡定数(Q_1)の関係を示したものであるが、これらの間に相関性がみられる。また他の一時的平衡定数についても同様な傾向が示されたことから回帰式を $Q = b \cdot Alum^a$ (b と a については各一時的平衡定数により異なる)と仮定し任意の Alum における一時的平衡定数を求めた。これから上記の式より任意の Al_t と pH における AI を求めた。

2-2.pH と溶解性アルミニウムの関係 図-2 は各 Al_t における pH と AI の関係を示す。pH が中性付近で AI が低下することは以前から知られているが今回の理論値も同様の結果を示した。また pH6 では Al_t が多くなるにつれ AI も高くなるが pH7 では逆の減少がみられる。 AI の最低値では Al_t が高くなると最低値は減少しながら高 pH 側に移動していることがわかる。図-3 は各 pH における Al_t

図-2 各 Al_t における pH と AI の関係図-1 Alum と一時的平衡定数 Q_1 の関係図-3 各 pH における Al_t と AI の関係

と AI の関係を示したものであるが、この図では Al_t が 5 (mg/l) では pH6.4 また 10~40 (mg/l) では pH6.6 そして 50~100 (mg/l) においては pH6.8 で最低値となっている。つまり Al_t によって AI が最小値となる pH は異なり、その pH を境に高低両 pH で AI が増加していることがわかる。ここで AI の最低値とその時の pH を図-4 に示す。 AI の最低値は Al_t の増加に伴い高 pH 側に移動しその際移動するにつれて AI は減少する傾向を示す。

図-4 各 Al_t における AI の最低値とその pH

3.アルカリ度による溶解性アルミニウム生成に関する実験的検討

3-1.実験条件および方法 AlにpHが大きく左右することは前述のとおりである。そこでその他の要因としてアルカリ度を考慮した実験を行った。pHは、富栄養化に伴う藻類の増殖により上昇したpHを想定し7.5と設定した。その上でアルカリ度を10~82(mg/l)(4種類)に設定した。アルカリ度はpH7.5のリン酸緩衝液を希釀することで得られた。硫酸アルミニウムは10~200mg/l(9段階)に調整した。硫酸アルミニウム注入後急速攪拌を100rpm2分間、緩速攪拌を30rpmとして1分から最高48時間まで継続した。濁質は特に添加していない。従って懸濁物質となるのは水酸化アルミニウム不溶性成分のみである。攪拌後は0.45μmのメンブランフィルターでろ過しろ過水のAlを測定した。アルミニウムの測定にはHACH社製のアルミニウム計を使用した。この方法はアルミノ法で精度は0.01mg/lである。

3-2.アルカリ度における溶解性アルミニウムの変化

あるアルカリ度において Al_t を注入すると水酸化アルミニウム生成時にアルカリ度が消費されるため Al_t を増していくと次第にアルカリ度が不足する。不足した時点での水酸化アルミニウムは一定となり結果として Al_t を増した分だけAlが増加する。本実験においてあるアルカリ度でこれ以上 Al_t を注入するとAlが生成する Al_t を Al_b とする。

図-5は各アルカリ度における Al_t とAlの安定した値の関係を示している。安定した値とは攪拌時間を継続した時の安定したAl(以下 Al_s)である。 Al_t が同じ条件の場合やはり先に述べた理由によりアルカリ度が高いと Al_s は低い。図-5の直線は Al_t に対するアルミニウムの割合から実験値をもとに外挿したものである。つまり各アルカリ度の外挿線が横軸を横切る時の Al_t が前述の Al_b である。この Al_b とアルカリ度の関係を図-6に示す。原水のアルカリ度が高くなると Al_b はある一定の割合で増加することが示された。この Al_b は各アルカリ度でこれ以上の Al_t を注入するとAlが生成することを示しており、いわゆる凝集阻害がない状態においてもAlが残留してしまう限界の Al_t といえる。

3-3.緩速攪拌時間による溶解性アルミニウムの変化

表-1は各アルカリ度と各 Al_t におけるAlに至るまでの緩速攪拌時間(以下 T_s)を示している。表-1によると各アルカリ度において $Al_t < Al_b$ の場合 Al_t が低い程 T_s は長くなる。

$Al_t > Al_b$ の場合においても同様の傾向を示し Al_t が低い程 T_s は長く場合によっては1日以上かかる場合も想定される。図-7と図-8は表-1をもとに各 Al_t におけるアルカリ度と T_s の関係を示したものである。 $Al_t < Al_b$ の場合 Al_t が10(mg/l)の時アルカリ度が高くなると T_s は長くなる。また Al_t が50(mg/l)においても同じく両者とも T_s は半日とかからない。それに対して $Al_t > Al_b$ の場合アルカリ度が高くなると T_s は長くなるが Al_t 100(mg/l)の時アルカリ度が10(mg/l)と47(mg/l)において T_s の増加が顕著である。また $Al_t < Al_b$ に對し通常の原水で考えられるアルカリ度において T_s が長くかかることがわかる。

4.おわりに 今回はアルミニウム化学種の平衡より理論的にAlを求めた。結果pHによって Al_t とAlの関係が逆転することや最低値についての特性がわかった。また実験ではAl生成の因子としてアルカリ度と Al_t を考慮した時の反応時間の特性やアルミニウムが残留する限界の Al_t について得られた。今後濁質の存在さらには藻類生産有機物存在下でのこの種の現象を明らかにしていきたい。

参考文献 1) Sullivan J.H.Jr and J.E.Singley :Jour. of AWWA, Nov., 1968

2) 丹保、伊藤:水道協会雑誌、No.508, 1977

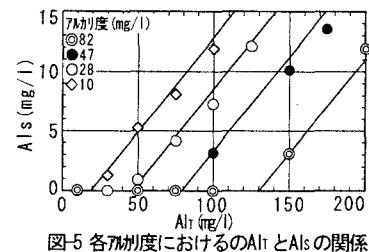


図-5 各アルカリ度における Al_t と Al_s の関係

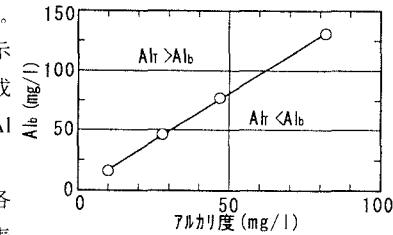


図-6 Al_t におけるアルカリ度と Al_b の関係

表-1 Al_t とアルカリ度による T_s の関係

| Al_t (mg/l) | アルカリ度(mg/l) | | | |
|---------------|-------------|-----|------|-----|
| | 10 | 28 | 47 | 82 |
| 10(min) | 1 | 4 | 20 | 210 |
| 30 | 720 | 1 | 1 | |
| 50 | 300 | 720 | 15 | 45 |
| 75 | 60 | 120 | 2880 | 1 |
| 100 | 1 | 80 | 1080 | 1 |
| 125 | 50 | 720 | 1 | |
| 150 | 720 | 120 | 2880 | |
| 175 | 120 | 120 | 120 | |
| 200 | | | | 120 |

*並りつぶしあは $Al_t > Al_b$ の時

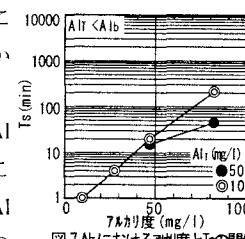


図-7 Al_t におけるアルカリ度と T_s の関係

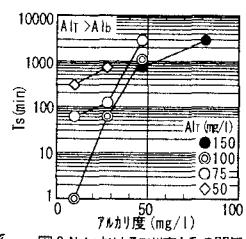


図-8 Al_t におけるアルカリ度と T_s の関係