

II-405 凝集剤として加えられたアルミニウムの溶解率

東北工業大学 工学部 正員 今野 弘

1. はじめに

凝集剤として用いられているアルミニウムは、水酸化アルミニウム ($\text{Al}(\text{OH})_3$) を生成させ、これが懸濁性粒子の除去に重要な役割を果たす。サイズは大きいけれども沈降が悪くて、除去効率が低いためろ過池にキャリオーバーしてろ過閉塞をもたらす藻類の除去にも大切な存在である¹⁾。一方では、ろ過水中へのアルミニウムの流出による健康上の問題などが指摘され²⁾、詳細な調査報告も見られる³⁾。WHOでは、 0.2 mg/l 、また、EPA（アメリカ環境保護局）では、 0.05 mg/l などのガイドラインも設定されている³⁾。

そこで、凝集剤として加えられたアルミニウムの不溶性、溶解性の割合について改めて考察した。

2. 従来の計算結果

この点については、従来からアルミニウム化学種の平衡定数から考える方法が、いろいろなアルミニウム錯イオンの平衡定数に基づいて計算されている。しかし、それによって得られた不溶性アルミニウムの存在領域のpH幅と実際のpH領域とが、特に酸性側で大きくかけ離れた結果しか得られていない。これに対し、水酸化アルミニウムの生成量と生成領域について、Sullivan⁴⁾らは、独自にモノマーアルミニウム錯イオンの一時的平衡定数 (instantaneous concentration quotients⁴⁾) を求めており、これらは、丹保ら⁵⁾の得た実験値に近い水酸化アルミニウムの存在するpH領域を与えている点で興味深い。そこで、Sullivanらの得た一時的平衡定数を再検討して水酸化アルミニウムの生成量を理論的に求めて検討する事にした。

3. 水酸化アルミニウムの存在領域

水酸化アルミニウム生成量 ($\text{Al}(\text{OH})_3$) は、アルミニウムの化学種 (Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, $\text{Al}(\text{OH})_5^{2-}$) の一時的平衡を考え、その一時的平衡定数を用いて計算する事ができる。結果的には、

$$\text{Al}(\text{OH})_3 = \frac{A \cdot Q_T}{\frac{10^{-3 \cdot \text{pH}}}{Q_3} + \frac{10^{-2 \cdot \text{pH}} Q_1}{Q_3} + \frac{10^{-\text{pH}} Q_2}{Q_3} + 1 + \frac{10^{\text{pH}} Q_4}{Q_3} + \frac{10^{2 \cdot \text{pH}} Q_5}{Q_3}}$$

という式に導かれる。($Q_1 \sim Q_5$: 一時的平衡定数、 $A \cdot Q_T$: アルミニウム濃度) この式からわかるように、水酸化アルミニウムの生成量は、一時的平衡定数とpHに大きく左右されることになる。さて $Q_1 \sim Q_5$ としてSullivanらの得た値を用いた計算結果は、丹保らの実験結果と厳密には一致していない。そこでSullivanらの値を第1近似値として、丹保らの実験データに合致するように試行法により、 $Q_1 \sim Q_5$ を捜し出した。最終的に得られた5つの一時的平衡定数を用いた各pHでの水酸化アルミニウムの存在比と、丹保らの実験結果を合わせて示したのが、図-1である。図からわかるように丹保らの実験

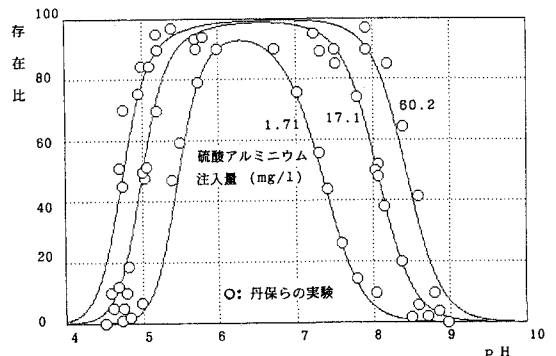


図-1 丹保⁵⁾らの結果との比較

値⁵⁾をよく再現しているといえる。図-1に示した硫酸アルミニウム濃度に対して、たとえば Q_3 は3つの値を有するので、それをアルミニウム濃度との関係で整理したのが図-2である。この結果、 $Q = b C^a$ の関係があることがわかり、 $Q_1 \sim Q_5$ について回帰分析し、結果を表 (r: 相関係数) にまとめた。

この関係式を利用すると、任意のアルミニウム濃度に対する一時的平衡定数を算定することができる。それ

を利用して計算した水酸化アルミニウムの存在比のpHによる変化状況を図-3に示した。

この図-3から水酸化アルミニウムの存在するpH領域と、硫酸アルミニウム量の違いによる領域の拡大傾向がわかる。一例としてpHが6から7における存在比の状況を示したのが、図-4

である。この結果によると、水酸化アルミニウムが最も生成されるpH値は、硫酸アルミニウム濃度が5mg/ℓでは、pH=6.4であるのが、硫酸アルミニウムの増加にしたがって、pH値は大きく（アルカリ側に）なり、100mg/ℓでは、pHが6.8程度となることがわかる。別な観点からみると、原水のpHが、このピーク値からはずれるほど、溶解性アルミニウムが増加し、ひいてはろ水中にアルミニウムの流出する割合が多くなることを示している。

4. おわりに

ろ過池からのアルミニウム量流出の実測データと比較するとこれらの存在比はそのままでは一致しない。すなわち次のような点、(1)溶解性アルミニウムのろ過砂や濁質への吸着 (2)水酸化アルミニウムのろ過砂や濁質への付着の程度などを考慮する必要があり、また各pHにおけるアルミニウムイオンの砂や濁質への吸着の能力に差があることは十分予想されるが、この検討結果は、アルミニウムをできるだけ流出させないためには、pHを6から6.5程度が最適であるという従来の結果を説明する一つの論拠になると考えられる。

参考文献

- 1) 今野：針型珪藻の沈降性と凝集性、土木学会第46回年次講演概要集, pp. 408-409, 1991.
- 2) Driscoll, C.T. and R.D. Letterman: Chemistry and Fate of Al (III) in Treated Drinking Water, Journal of E. E., ASCE Vol. 114, No. 1, Feb., pp. 21-36, 1988.
- 3) Letterman, R.D. and C.T. Driscoll: Survey of Residual Aluminum in Filtered Water, Journal of AWWA, Apr., pp. 154-158, 1988.
- 4) Sullivan J.H. Jr. and J.E. Singley : Reaction of Metal Ion in Dilute Aqueous Solution ; Hydrolysis of Aluminum, p. 1280-1287, Jour. of AWWA, Nov. 1968.
- 5) 丹保、伊藤：天然有機着色水の凝集に関する電気泳動的研究、水道協会雑誌, No. 508, pp. 38-50, 1977.
- 6) 海老江 他：直接砂濾過池からのアルミニウムの流出挙動、第42回全国水道研究発表会, pp. 214~216, 1992.

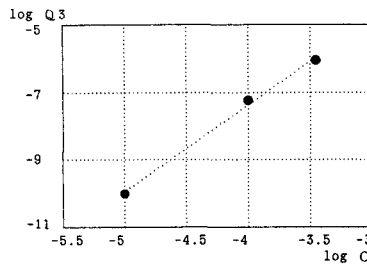


図-2 $\log Q_3$ と $\log C$ との関係

表 Q と C の関係の回帰式

Q	b	a	r
Q1	962	2.59	1.00
Q2	1.98×10^{-7}	0.96	1.00
Q3	7.35×10^{-10}	1.44	1.00
Q4	1.60×10^{-23}	0.26	0.99
Q5	2.25×10^{-31}	0.10	1.00

$Q = b C^a$ Q : 一時的平衡定数
 C : Al (mol/ℓ)

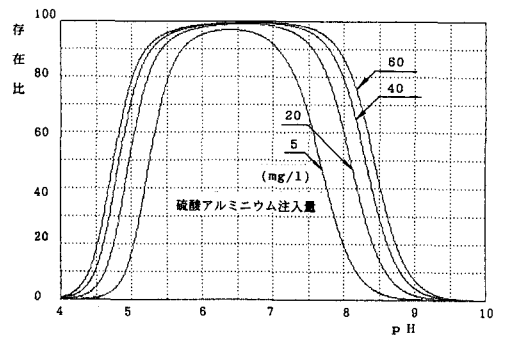


図-3 $Al_2(SO_4)_3$ 濃度による違い

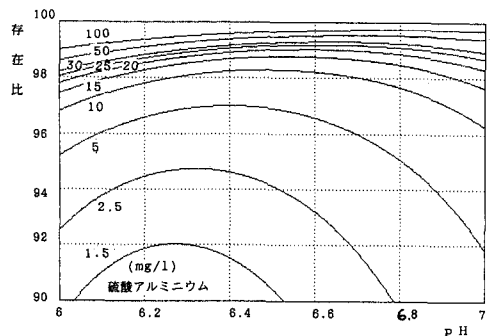


図-4 pH: 6~7 での存在比