

凝集沈殿における沈降特性

早稻田大学理工学部 正員 遠藤郁夫
学生員 ○吉川敏孝

1. 緒言

河川表流水を用いて、ジャーテスターおよび沈降分析実験筒による薬品凝集沈殿を行なった。凝集剤として硫酸バンドを用い、添加量と沈降特性、沈降特性とセーター電位、および沈降速度などについて検討し、表面負荷率(越流率)との関係を明らかにした。

従来、微粒子の単粒子沈殿に対して、*Stokes*, *Allan*, *Kimden* および *Newton* などがあるが、浄水場の自然沈殿池や下水処理場の最初沈殿池に流入する微粒子などの沈降速度の算定には、*Stokes* の公式を用いられる場合が多い。しかしながら、薬品凝集沈殿におけるフロックの沈降特性から、沈殿池におけるフロックの性質或は沈降速度の算定に、ある状態のフロックをとうえて、*Stokes* などの沈降速度式を吟味したり、沈降速度式の簡易化を目的とした鷗見公式の様な考え方は極めて困難であることを指摘した。

沈降促進剤としての数種の高分子補助凝集剤について硫酸バンドとの併用実験を行ない、フロックの沈降特性について硫酸バンド単独の場合と比較した。また、補助剤の添加時期と表面負荷率との関係についても検討を加えた。

2. 實驗方法

実験装置は水深301 cmの実験筒を用い、採水栓の位置は図-1に示した通りである。また、河川表流水の性質を表-1に示した。

硫酸バンドが水酸化アルミニウムのフロックを生成するためには、原水中に必要量のアルカリ度が存在していなければならぬ。自然水は多くのアルカリ度を含有しているが、もし不足の場合にはアルカリ度成分を適当量添加する必要がある。硫酸バンドによるフロックを生成させるための理論的アルカリ度必要量はバンド 1 ppm に対してアルカリ度は 0.45 ppm (CaCO_3 として) である。しかし実際にはバンド水水中の他の不純物にも消費されることを考えると、アルカリ度の必要量はこの量よりも少ない。一般には原水中のアルカリ度が 20 ppm 以下の場合には添加した硫酸

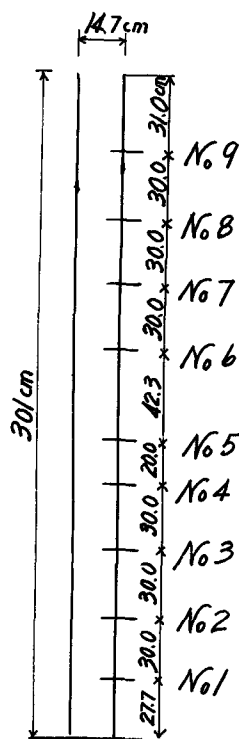


圖-1 實驗筒

表-1 水质分析

浊度 (PPM)	PH	総カルシウム (PPM)	カルシウム (PPM)	遊マンガン 酸イオン (PPM)	COD (PPM)	総硬度 (PPM)	Ca硬度 (PPM)	Mg硬度 (PPM)	重炭酸塩濃度 (PPM)	塩度 (PPM)	蒸留水濃度 (PPM)	溶解性物質 (PPM)	浮遊物 (PPM)
30.0	7.4	31.5	0	5.09	1.29	63.6	56.0	7.6	166.0	9.1	226	122	104

バンドと反応すべきアルカリ度を添加する必要水あるといわれる。実験に使用した原水のアルカリ度の変化の一例を示すと、原水の総アルカリ度 38.1 ppm, 硫酸バンド 20 ppm を添加した場合のアルカリ度は 28.0 ppm, 結局消費したアルカリ度は硫酸バンド 20 ppm に対してアルカリ度 10.1 ppm で、理論量にはほぼ一致していることを認められる。従って、実験で使用した原水の総アルカリ度 30~40 ppm であり、硫酸バンド 10~20 ppm に対しては十分であることから、特にアルカリ度成分の添加は行なわなかった。また、実験に使用した原水の濃度範囲は 21~153.6 ppm であった。

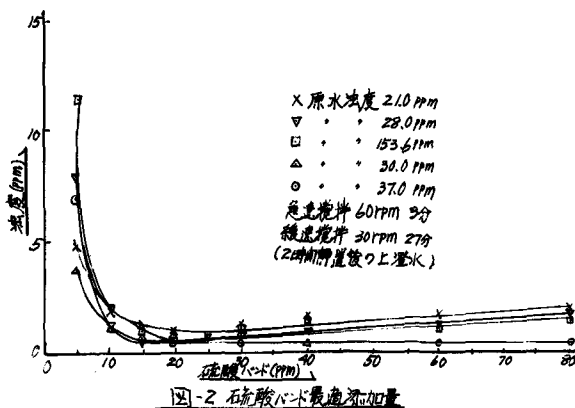


図-2 硫酸バンド最適添加量

3 実験結果および考察

3.1 硫酸バンド単独による凝集沈殿

原水について、ジャーテストによる実験を行ない、硫酸バンドの最適添加量を求めた。図-2に見られるように、原水濃度 21~153.6 ppm の範囲では最適添加量は 15~20 ppm, 特に 15 ppm と考えられる。また、フロックのゼータ電位を測定し図-3に示した。毎電気における硫酸バンドの添加量は 35~45 ppm であった。硫酸バンドの最適添加量 15 ppm の場合のゼータ電位は -11~-17 mV であった。一般に凝集沈殿はゼータ電位水士 20~30 mV 以下になると起るといわれているが、本実験で使用した河川表流水では -11~-17 mV で極めて良好な凝集沈殿を得ることができた。

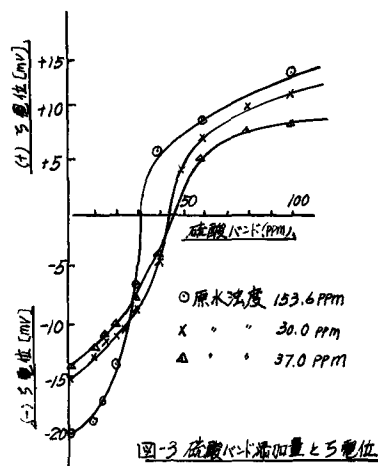


図-3 硫酸バンド添加量と電位

実際問題からすれば、凝集沈殿の良否は沈殿水の水質のみならず、フロックの沈降特性も加味して考慮する必要がある。図-4~11は硫酸バンド 5~80 ppm 添加した場合の沈降特性を示したものである。図-4および図-5では、沈降曲線群は直線である。このことは、硫酸バンド 5~10 ppm の範囲では、添加量が多く、フロックが成長出来ず、マイクロフロックのまま浮遊しているためと考えられる。マイクロフロックの状態としては2つの理由を考えられる。すなわち、ゼータ電位が臨界電位以下にならないう場合、図-4に見られるように微粒子濃度が小さく衝突会合の頻度が小さくなる場合とある。特に後者の場合はゼータ電位が臨界電位以下でも当然良好な凝集沈殿を得られないことになる。図-4および図-5の場合のマイクロフロックのゼータ電位はそれぞれ -14 mV, -13 mV であり、いずれも臨界電位以下と考えられるから、11式の $n \cdot n'$ すなわち、粒子濃度が小さいことに起因するものと考えられる。従ってこの範囲のマイクロフロックはお互いに可成り自由に沈降できる単粒子沈殿で、Stokes の公式に従うものと考えられる。

$$N = n \cdot n' \cdot \frac{\pi g (5-1)}{72 \nu} (d' + d'') (d' - d'') \quad \text{--- (1)}$$

ν : 粒子の衝突頻度

n : 単位体積の懸濁液中に含まれている直径 d' の粒子の数

n' : 単位体積の懸濁液中に含まれている直径 d'' の粒子の数

g : 粒子の比重

ν : 液体の動粘性係数

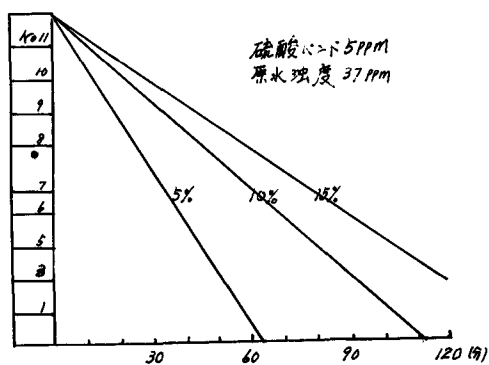


図-4 沈降曲線

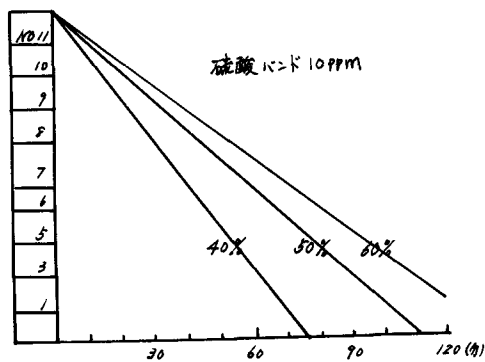


図-5 沈降曲線

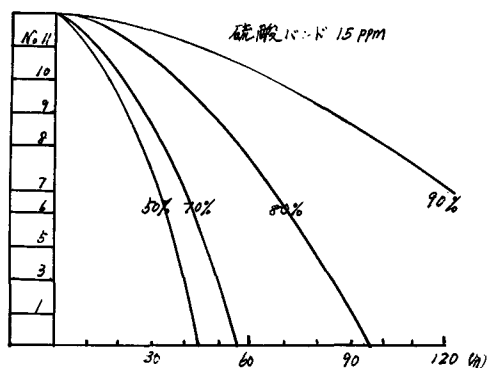


図-6 沈降曲線

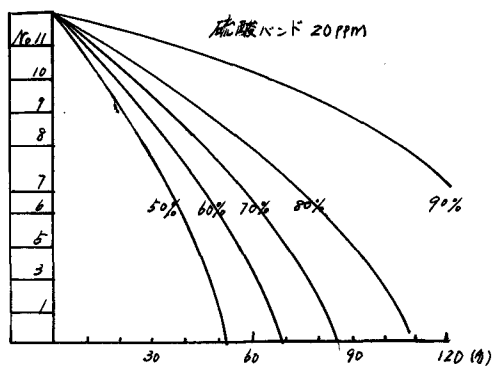


図-7 沈降曲線

しかしながら、添加量が 15, 20, 30, 40, 60 ppm では、明らかに曲線群は次第に曲線となり、曲線半径が小さくなっている。この範囲は明らかに凝集沈殿の特性を示している。一方、硫酸バンド添加量が 80 ppm では微粒子のゼータ電位は +7 mV で明らかに臨界電位以下であるが、曲線群は直線状を示している。これは硫酸バンドの過剰添加により、マイクロフロク大量に発生し、フロクの成長若しくは阻害されたためと考えられる。この範囲は、沈降特性の性質から、非凝集性多粒子沈殿であろうと考えられる。

このような沈降特性からの分類のうち、水処理工学の立場からは良質の沈殿水を得られるのみならず、

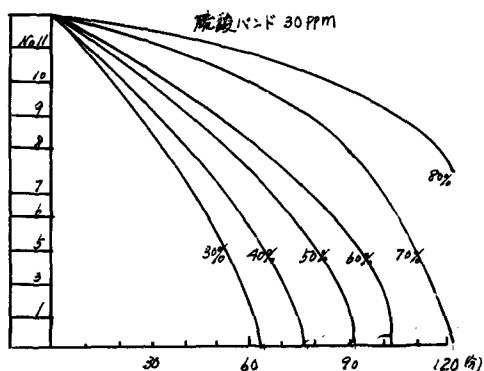


図-8 沈降曲線

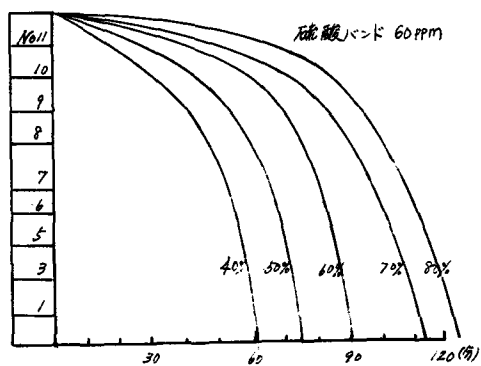


図-10 沈降曲線

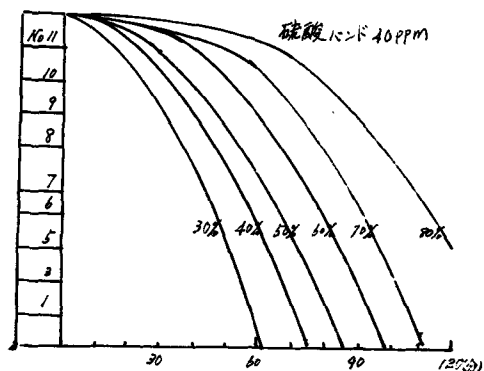


図-9 沈降曲線

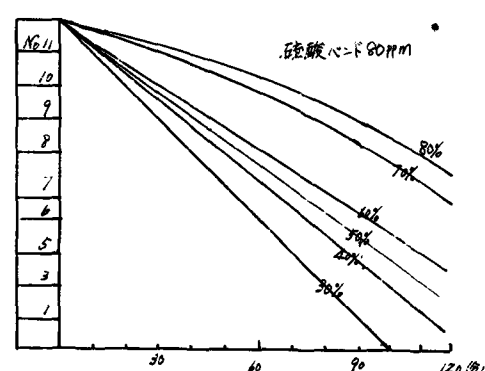


図-11 沈降曲線

優れた沈降速度をもつ凝集沈殿水最も重要視されることは勿論である。図-12は浊度除去率70および80%の場合のフロックの沈降速度を示したものである。フロックの沈降速度には最大値が存在すること認められる。本実験では15ppmの場合が最大となっている。この場合は1)式の n/n_0 を代入して N が大きくなり、遂に凝集沈殿水起った硫酸バンドの添加量でもある。沈降特性から見れば単粒子沈殿から凝集沈殿に移った点とも考えられ、硫酸バンド20~60ppmに比較すれば凝集したフロックが最も自由に沈降できる点でもある。厳密な立場からすれば、実験に使用した河川表流水の最大沈降速度をもつ点は硫酸バンド添加量10~20ppmの範囲にあるものと考えられ、またこの点は最もきれいな沈殿水を得られる硫酸バンドの添加量とも一致する。

凝集沈殿におけるフロックは沈殿とともに次第に

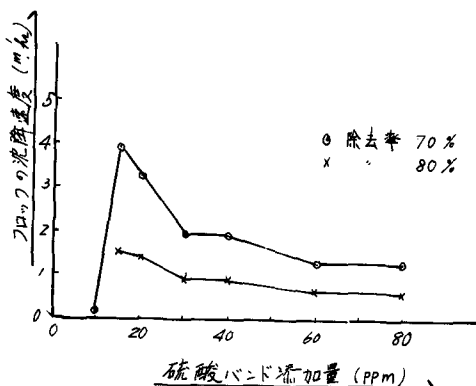
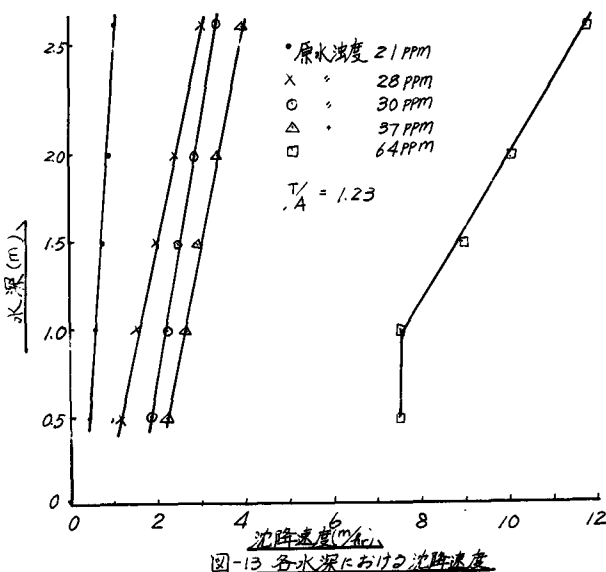


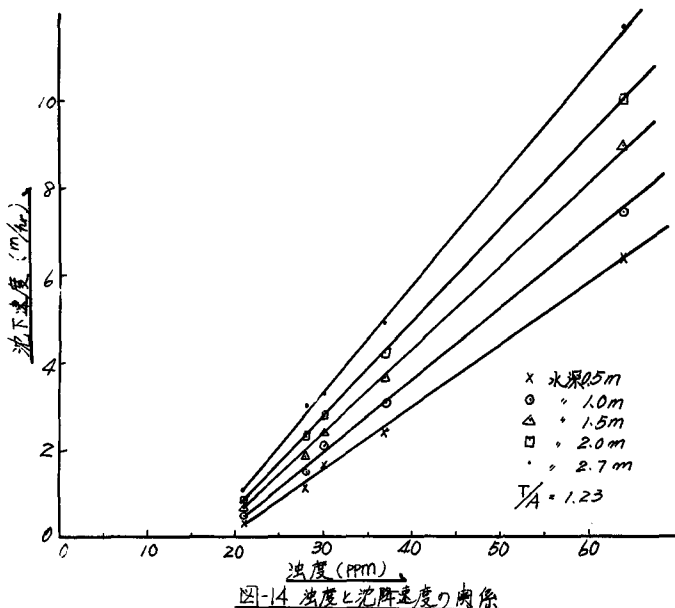
図-12 硫酸バンド添加量とフロックの沈降速度

成長して、沈降速度を著して行くのが特徴である。図-13は各水深における沈降速度の変化状況を示したものである。また図-14は水深を一定にした場合の沈降速度と濃度の関係を示したものである。これらの関係から、沈殿池におけるフロックは水深の増加と共に成長し、沈降速度は水深に比例して増大する。又同一原水で $T/A = \text{一定}$ でも (T : 除去した濃度 PPM, A : 沈殿池にド添加量) 初期濃度を増大すれば、沈降速度も増加する。新様な複雑なフロックの沈降特性からすれば、フロック形成池から沈殿池に流入する、ある状態のフロックを取り出して Stokes の適用範囲で各種の測定を行なってもある特定の条件のもとでの値ということになる。



また、簡易公式の様な考え方で、沈降速度の簡易式を作ることは甚だ無理であるのではないかと考えられる。

図-15は原水濃度 21~64 PPM の範囲で、15 PPM の沈殿池に水を添加し、沈殿水を 3 PPM, 6 PPM, および 10 PPM 以下になる際の最小のフロックの沈降速度の変化を示したものである。この速度 $v_{1/2}$ は水深との間に次の様な関係が得られた。すなわち、



沈殿水を 3 PPM とは

$$v_{1/2} = \frac{1}{3.1} (H + 0.96) \quad (2)$$

$v_{1/2}$ 沈殿水が 1~3 PPM になる際の最小のフロックの沈降速度 (m/hr)

H 水深 (m)

沈殿水を 6 PPM とは

$$v_{1/2} = \frac{1}{2} (H + 1.16) \quad (3)$$

v_{20} : 沈殿水が 6 ppm 以下になる際の最小のフロックの沈降速度 (m/hr)

同様に、10 ppm では、

$$v_{20} = \frac{2}{3} (H + 1.46)$$

v_{20} : 沈殿水が 10 ppm 以下になる際の最小フロックの沈降速度 (m/hr)

図-16 は表面負荷率を一定にした場合の濁度除去率である。いずれの場合も硫酸バンド添加量 15 ppm の時水最大値を示している。図-17 は沈殿水が 5 ppm および 10 ppm の場合の表面負荷率を示している。硫酸バンドの添加量 15 ppm の時、表面負荷率は $50 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ となる。普通用いられている表面負荷率が $25 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ であることを考えると、実際上薬品凝集沈殿池の運転管理に際して、表面負荷率の安全率は約 2 であることと念頭にお

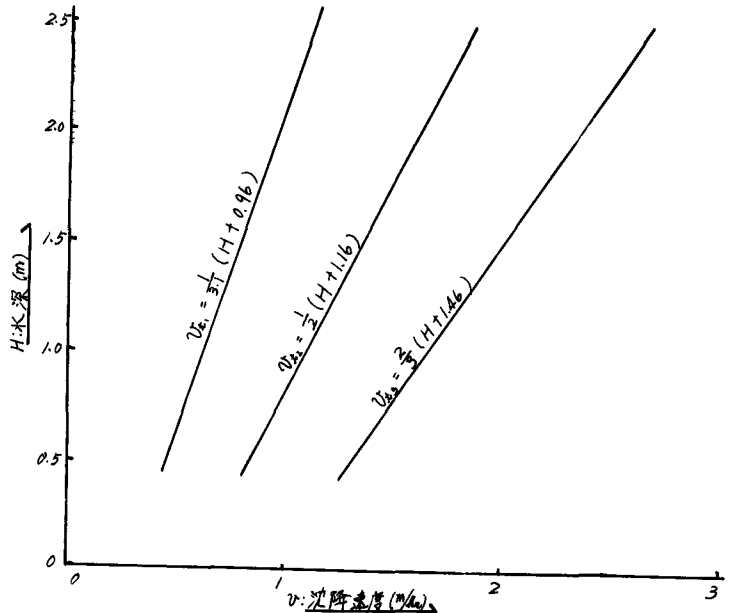


図-15 各水深における沈降速度

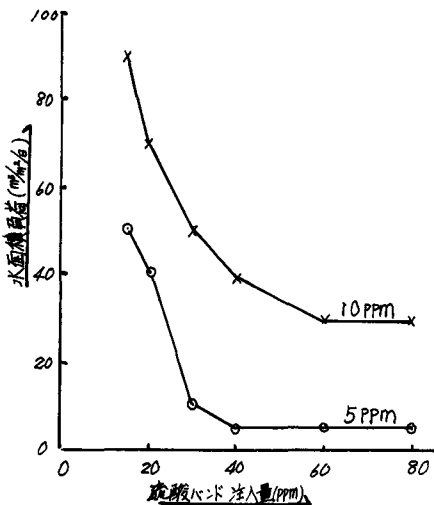


図-17 硫酸バンドと水面積負荷

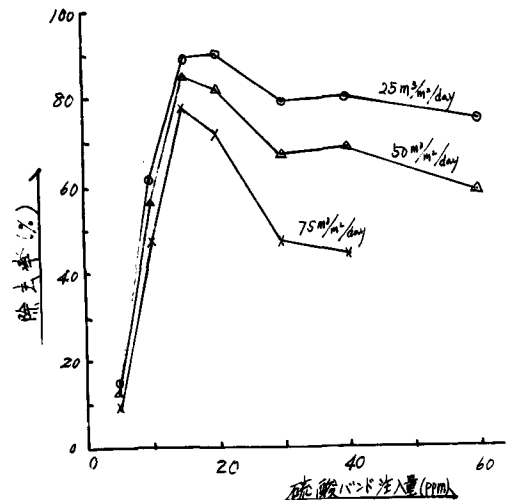


図-16 硫酸バンド注入量と除去率

くことは必要なことであろう。

3.2 高分子凝集補助剤との併用

最近、合成有機高分子化合物の凝集補助剤が沈降促進剤として数多く市販されているが、これら市販されている合成有機高分子化合物が凝集促進剤にどのような影響をもたすのかについて検討を加えたものである。

市販されている高分子凝集補助剤として5種類について硫酸バンドと併用して硫酸バンド単独の場合と比較した。表-2は高分子凝集補助剤の一般的性質である。又凝集剤Aについても実験的検討を加えた。図-18よりアルギン酸ソーダ、B、C、Eはそれぞれ0.2ppm、Dは0.5ppm、Aは図-19より2ppmが適当な添加量であることがわかった。

硫酸バンド15ppmにそれぞれ補助剤を注入した際の水质分析では、沈降促進剤としての高分子補助凝集剤を硫酸バンド注入直後に添加したのでは少なうとも水质に關するおぼり改善されていない。そこで補助剤どりの時期に添加すべきかを検討したのが図-20である。ジャージストである水次のことといえる。すなわち、最適時期は浊度から判断すると、僅少の差であるが、硫酸バンドを添加して、ジャージスト開始後10分、つまり急速攪拌3分後急速攪拌開始後7分の時である。

次に実験筒を用いて沈降特性の検討を加

えた。まず硫酸バンドの添加直後、補助剤を添加する時期に關する実験を行なった。図-21は表面負荷率と浊度との関係であるが、越流率100%以下では硫酸バンド単独の場合が最もよい結果を示している。つまり同じ表面負荷率なら、硫酸バンド単独の場合が最もまれに泥殿水を得ることになることになる。これは、硫酸バンド添加直後に補助剤を添加されると、水酸化アルミニウムのマイクログロブが十分成長する前に補助剤の絮状化作用により、比較的安定した凝集状態となってしまうため、フロックの成長段階に行なわれるコロイドの吸着、除去作用が著しく阻害され、結果的には硫酸バンド単独の方が浄水作用は優れていることになる。

表-2 高分子凝集補助剤の性質

アルギン酸ソーダ	B	C	D	E
1=オン	1=オン	1=オン	カチオン	弱カチオン

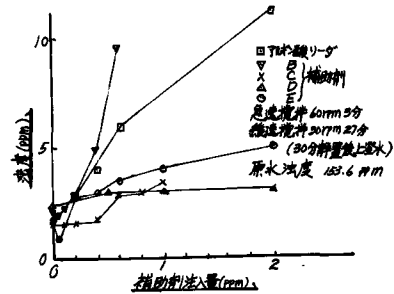


図-18 最適補助剤添加量

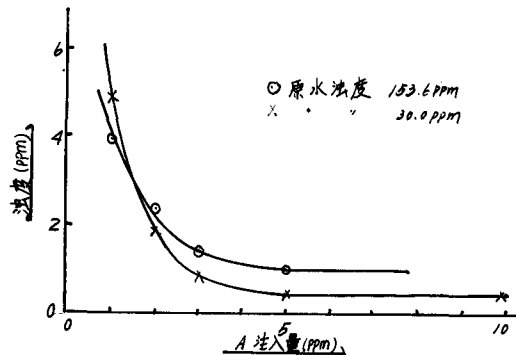


図-19 凝集剤Aの最適注入量

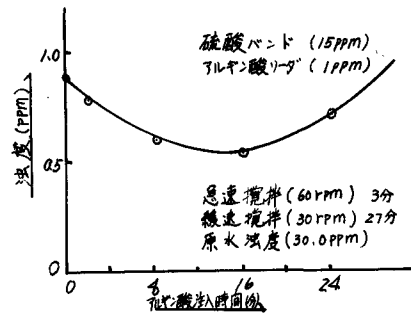


図-20 アルギン酸ソーダの最適注入時期

従って、沈降促進剤として補助剤を効果的に使用するためには、マイクロフロクからフロクに成長する過程で充分コロイドの吸着除去作用を発揮した直後、つまり吸着作用が完了して更に効果的沈降のために、フロクの成長が必要とされる段階で補助剤を添加して助剤の絮状化によりフロクを速やかに沈殿させるべきである。図-22は硫酸バンド15ppm添加して、各時期に補助剤を添加した場合の結果である。これらの関係から、急速攪拌3分、緩速攪拌7分の時(攪拌開始後10分)に補助剤を添加すると、補助剤の特性が最もよくいかされることが認められた。

図-23は攪拌開始後10分で補助剤を添加した場合、補助剤添加後何分攪拌すればよいかというための実験結果である。これより補助剤添加後5~10分攪拌すればよいことが認められる。

要するに、凝集剤を併用する場合は、添加時期が非常に重要となる。添加時期を無視すれば、例えば硫酸バンドと同時に或は直後に補助剤

の添加を行なうと、10ppm以下の沈殿水を得るにはかえってバンド単独より悪い結果となる。しかしながら、補助剤の添加時期を充分考慮すると図-24に見られるように、

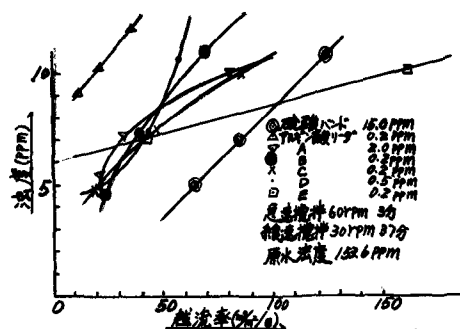


図-21 実験値による沈降率と濃度の関係

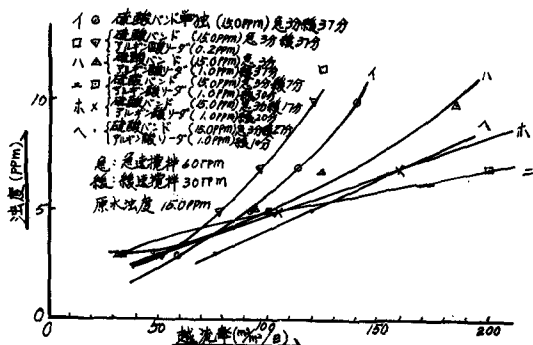


図-22 攪拌時期による沈降率と濃度の関係

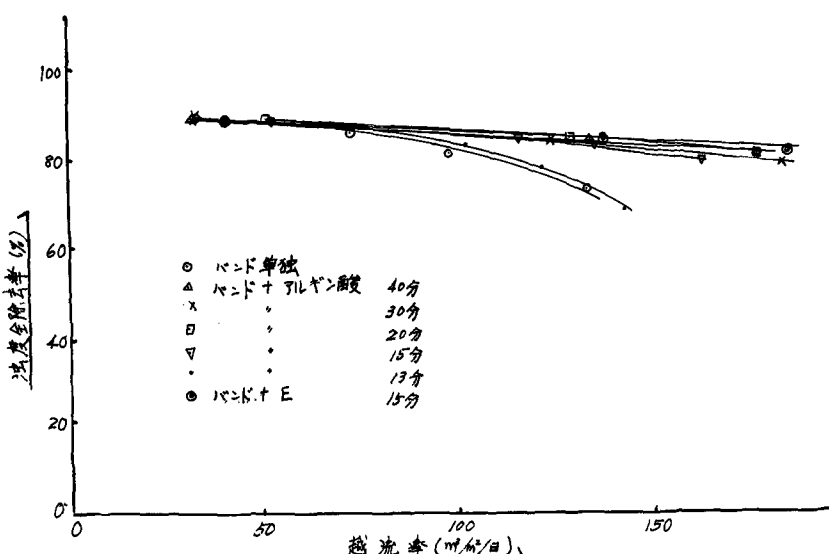


図-23 攪拌時期による沈降率と濃度の関係

表面負荷率は硫酸バンド単独の場合よりも著しく改善される。沈殿水が3~10 ppm の範囲では、硫酸バンド単独の場合の2~3 倍の表面負荷率を維持することは容易である。

実験から得た諸条件は実際上の問題からすれば、薬品添加ホニ系統となり管理が複雑となるとか、或は補助剤の添加の場所がフロック形成池になるとか、種々困難な問題が多いとも考えられ、それらを装置化して1つのフローシートの中に加えるには同一層の検討と工夫が必要であろう。

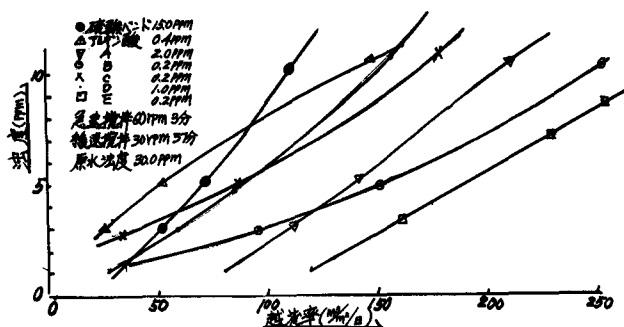


図-24 実験値による沈降率と濃度との関係

4. 総括および結論

本実験は硫酸バンド単独の場合と高分子補助凝集剤を併用した場合のフロックの沈降特性について、種々比較検討したものである。これらの実験的検討から次のような結論を得られた。

(1) 硫酸バンド添加量とフロックの沈降速度との間には最大値が存在する。この値は単粒子沈殿から凝集沈殿に移る点で起り、一般に上水の水源に使用される様な河川表流水ではバンド添加量は10~20 ppm の範囲である。しかも5 ppm 以下の沈殿水を得られる表面負荷率は50%程度で、実際上からは安全率は約2と行うことになる。

(2) 硫酸バンドのフロックの沈降速度は水深と共に直線的に増加する。

(3) フロックの沈降速度は大小様々で、例えば同一の粒子でも水深および形状などで異なる。従って或る状態のフロックを取り出して Stokes の式からフロックの諸性質を吟味したり、観測公式のような考えより簡略式を提案することは極めて困難であるように考えられる。

(4) 硫酸バンドと高分子補助剤を併用する際は、補助剤の添加時期が重要である。実験から得られた条件は迅速攪拌3分、緩速攪拌7分後に高分子補助剤を注入したものである。この条件を無視すると、5 ppm の程度以下の沈殿水を得るには、バンド単独の場合よりかえって困難となる。

(5) 高分子補助剤の添加時期を慎重に考慮すれば、硫酸バンド単独の場合に比べて表面負荷率を著しく改善することになる。(2~3倍) 従って沈殿水の濃度も数 ppm 以下の極めて安定したものが得られるといえる。