

VII-185 鉄塩凝集剤と乳製カゼインを併用した凝集-泡沫分離法に関する基礎的研究 -カゼインのフロックへの吸着特性-

宮崎大学工学部 正員 鈴木祥広

宮崎大学工学部 正員 丸山俊朗

1. はじめに

適切なpH領域において、アルミニウム塩や鉄塩を凝集剤として用いて懸濁物を凝集させ、これに適量の乳製カゼイン（以降、カゼインとする）を添加・混合してから空気を送気すると、水面上に懸濁物を吸着した安定泡沫が生成される。この泡沫を回収することによって極めて効率的に懸濁物を除去できる^{1,2)}。これは、添加したカゼインの一部がフロックに吸着してフロック界面を疎水化する捕集剤として働き、また、溶液に残留したカゼインは水面に泡沫を生成させる起泡剤としても働くためであると考えられる。そこで、本研究では、カオリン懸濁液を実験用原水とし、凝集剤として第二塩化鉄を用いてフロックを形成させ、このフロックへのカゼインの吸着特性を調べた。そして、カゼイン吸着量および残留カゼイン濃度と泡沫分離処理における除去率との関係について検討し、本泡沫分離法における適切なpH、注薬量などの処理条件に関する基礎的知見を得ることを目的とした。

2. 実験方法

2.1 実験-1：pH変化とカゼイン吸着および濁度除去の関係

カオリン懸濁液（カオリン200mg/ℓ）500mℓを500mℓビーカーに取り、急速撹拌（150rpm）を行いながらpH調整剤（0.1～1N HClまたはNaOH溶液）でpHを所定値となるように変化させ、所定量の凝集剤（10mg-Fe/ℓ）を加えた。3分間の急速撹拌後、カゼインを20mg/ℓとなるように加えてさらに30分間急速撹拌した。30分間は吸着平衡に達するに十分な時間である。撹拌後、直ちに懸濁液をガラス繊維ろ紙（Whatman社製、GF/F型、孔径0.7μm）で吸引ろ過し、このろ液について、pH、およびカゼイン濃度（全有機炭素測定法）を測定した。同様に、凝集処理後、カゼインを加えて急速撹拌し、pH測定後、回分式泡沫分離実験を行った。試料200mℓ、送気量は0.3ℓ/min（気液比4.5）、処理時間は3分とした。泡沫分離処理終了後、ドレンより気液接触塔内の処理水を採水して濁度（積分球式濁度計）を測定した。また、回収した泡沫分離水量を測定した。

2.2 実験-2：フロックの疎水化に必要なカゼイン吸着量

カゼインを捕集剤としてのみ働かせ、起泡剤には陰イオン界面活性剤のLASを用いることによって、捕集剤としてのカゼイン必要量を見積もることを試みた。フロック（10mg-Fe/ℓ）を形成させ、これにカゼインの添加量を変化（0～20mg/ℓ）させて、30分間撹拌してカゼインを完全にフロックに吸着させた。このとき溶液側にはカゼインは残留しない。カゼインの吸着が完了した後、LAS（3mg/ℓ）を添加して泡沫分離処理を行った。

2.3 実験-3：フロックへのカゼインの吸着速度

原水1ℓを1ℓ容ビーカーに取り、急速撹拌を行いながら凝集剤添加後のpHが7となるように調整し、凝集剤を10mg-Fe/ℓ（または20mg-Fe/ℓ）となるように加えた後、3分間急速撹拌してフロックを形成させた。所定量（5～50mg/ℓ）のカゼインを加えた直後から30分にわたって、所定時間の経過毎に撹拌している試水を約60mℓ分取し、直ちに吸引ろ過し、ろ液をポリエチレン容器に回収した。このろ液のカゼイン濃度を測定した。

2.4 実験-4：カゼイン添加後の撹拌時間と除去率の関係

原水500mℓを500mℓ容ビーカーに取り、急速撹拌を行いながら凝集剤添加後のpHがpH7となるように調整し、凝集剤を10mg-Fe/ℓ（または20mg-Fe/ℓ）となるように加えた後、3分間急速撹拌してフロックを形成させた。続いてカゼインを所定量（10、20、50mg/ℓ）添加後、所定時間（0.5、2、5、10分）撹拌を行ってから直ちに泡沫分離処理を行った。

3. 結果と考察

3.1 捕集剤と起泡剤としてのカゼインの役割

実験-1における残留カゼイン濃度、フロックへのカゼイン吸着量、および濁度除去率の関係を図-1に示した。カゼイン吸着量は、溶液側から除かれたカゼイン量で表した。なお、凝集沈殿の至適pH領域は6.5～8である。90%以上の濁度除去率を示したpH6.8～7.6の領域は、カゼインの50～70%がフロックに吸着し、溶液側にも3～7mg/ℓのカゼインが残留していた。カゼインがフロックの疎水化と泡沫生成としての機能を同時に発揮できたために高い除去率が得られたと考えられる。吸着するカゼインと溶液側に残留するカゼインが同時に存在し得るpH領域で泡沫分離処理を行

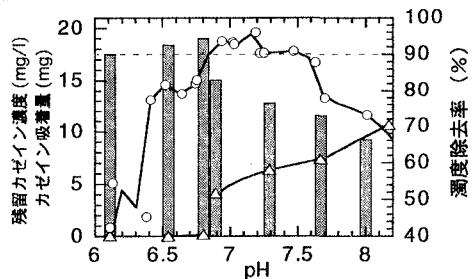


図-1 残留カゼイン濃度 (Δ)、カゼイン吸着量 (棒)、および濁度除去率 (○) の関係。

キーワード：泡沫分離、カゼイン、吸着、濁質除去

〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1 宮崎大学工学部土木環境工学科 Tel. 0985-58-7339, Fax. 0985-58-1673

なければならないことが明らかであった。この条件を満たす適切なpH領域は7付近であった。また、溶液に残留したカゼイン濃度(x)と泡沫分離水量(y)の関係をみると、pH6~10の領域において、両者間には正の相関 ($y=1.92x$, $r=0.932$) が認められた。また、実験-2の結果から、捕集剤としてのカゼイン必要量は10mg-Fe/ℓにおいてカゼイン5mg/ℓであった。フロック量をFe量で表した場合、10mg-Feに対してカゼイン5mg、すなわち、 $\{0.5\text{g (カゼイン吸着量)} / \{\text{フロック量-Fe}\} = 0.5\text{gカゼイン/g-Fe}$ でフロックは疎水化されることがわかった。

3.2 カゼインの吸着速度

カゼイン添加後の攪拌時間と残留カゼイン濃度の関係を図-2aに示した。いずれのカゼイン濃度の場合においても、残留カゼイン濃度は時間の経過とともに減少する傾向を示した。これは、カゼインのフロックへの吸着反応が進行したためである。カゼイン5mg/ℓと10mg/ℓでは急激に残留カゼイン濃度が減少し、15~30分以内にほぼゼロとなった。20mg/ℓでは5分間で10mg/ℓ以下となった。カゼインはpH7では溶解成分として存在することから、カゼインの減少量はすべてフロックに吸着したとみなして、攪拌時間に対するカゼイン吸着量を図-2bに示した。吸着速度はカゼイン濃度に依存し、5~20mg/ℓでは時間の経過とともに吸着量が指数関数的に増加し、時間の対数値と吸着量は直線性を示し、良い相関関係にあった。

3.3 カゼイン添加量と攪拌時間が除去率に及ぼす影響

凝集剤添加量10mg-Fe/ℓにおける攪拌時間と除去率および泡沫分離水量の関係を図-3に示した。カゼイン10mg/ℓの場合、0.5分では泡沫は生成されたものの、処理水にはフロックが残留し、除去率は $78.0 \pm 1.3\%$ (n=3) であった。これはカゼイン吸着量が不足したためと考えられる。攪拌時間を長くすると除去率は低下し、10分では $60.8 \pm 3.0\%$ であった。泡沫分離水量は攪拌時間が長くなると減少し、10分ではほとんど泡沫は生成されなかった。残留カゼイン濃度が不足したと考えられる。一方、カゼイン20mg/ℓと50mg/ℓでは0.5~10分のいずれの攪拌時間においても高い濁度除去率が得られ、それぞれ93%と98%以上となった。高い除去率が得られた条件では、いずれの場合もカゼイン吸着量は疎水化の条件の0.5g/g-Fe以上であり（図-2b）、かつ残留カゼイン濃度も7mg/ℓ以上（図-2a）と泡沫を生成するに十分な濃度であったと推定される。

4. まとめ

- 1) 凝集・泡沫分離法の適切なpH条件は、凝集pH領域内において、吸着するカゼインと溶液側に残留するカゼインが同時に存在し得るpHでなければならない。カオリン懸濁液の場合、適切なpH領域は7付近である。
- 2) 溶液中に残留するカゼイン濃度とフロックへのカゼイン吸着量は、カゼイン添加量とカゼイン添加量後の攪拌時間によって支配される。
- 3) カゼイン添加量と攪拌時間を適切に設定し、カゼイン吸着量と残留カゼイン濃度を制御することによって高い濁度除去が得られる。FeCl₃添加濃度10mg-Fe/ℓ、カゼイン添加濃度20mg/ℓで処理する場合、カゼイン添加後の攪拌時間は0.5分で93%の濁度除去率が得られる。

文献 1) 丸山ら（1997）全国水道協会研究発表会講演集，78-79. 2) 丸山ら（1998）水環境学会誌，Vol.21，310-317.

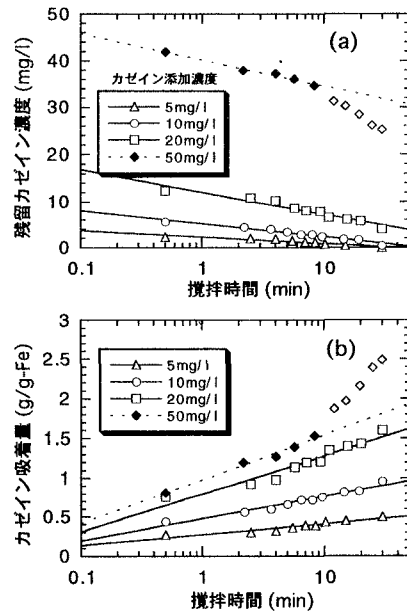


図-2 攪拌時間と残留カゼイン濃度およびカゼイン吸着量の変化。

(a) 残留カゼイン濃度，(b) カゼイン吸着量。

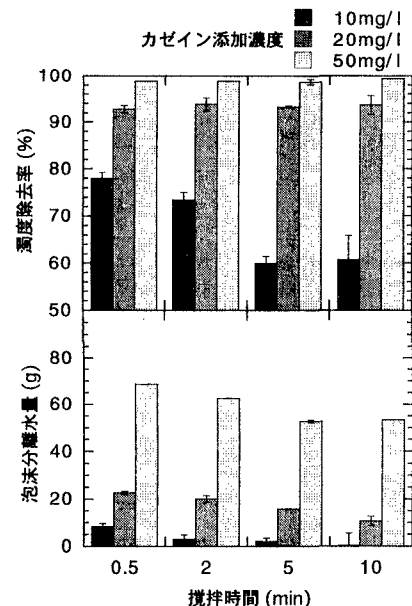


図-3 カゼイン添加量および攪拌時間が濁度除去率に及ぼす影響。(n=3)