

沈降過程におけるネットワーク転位

Effects of Network Formation on Sedimentation in Clay-floc Suspensions

○齋藤 拓也* 大井 節男** 中石 克也*** 水野 孝太郎*** 小林 幹佳****
(Saito Takuya) (Ooi Setsuo) (Nakaishi Katsuya) (Mizuno Kotaro) (Kobayashi Motoyoshi)

1. はじめに 凝集沈降現象は自然界で広汎に見られ、水処理においても固液分離の基礎となっている。しかし、凝集フロックの沈降は定量的に扱うのが難しく、その要因のひとつにフロックのネットワーク形成が挙げられる。本報告はこのネットワーク形成の効果を透水変化の側面から明らかにする。

[研究の背景] フロック懸濁液の界面沈降では、固体濃度が少し高くなると緩速沈降が長い時間続き、その後突如急速沈降となる(図1)。この奇妙な現象は良く知られているが、原因不明であった。筆者等は、これがネットワーク形成とその応力伝搬にあるとして管径効果から壁面剪断応力の存在を、初高効果から圧縮応力の存在を示してきた(図2)。

2. 実験 ①試料: 粒径3μm以下のNaカオリナイト、赤土 ②沈降測定: 初高を12,15,20,25,30cmに変化させて沈降を1/100mm精度の読み取り顕微鏡で測定 ③試料の攪拌: 振とう機で静かに10分

3. 自己相似フロック懸濁液の透水速度式

[剛体球懸濁液の透水速度式] 界面沈降速度(U)を単一粒子の沈降速度(U₀₀)と固体体積分率(φ)とで表す。(Richardson-Zakiの実験式)

$$U = U_{00} (1 - \phi)^{4.65} \quad \dots(1)$$

透水速度式に変換する。透水係数kは粒径d₀を用いて $k\phi = (d_0^2/18) (1 - \phi)^{4.65} \quad \dots(2)$

[フロック懸濁液の透水速度式] フロックの膨潤比α(=フロックの有効体積φ_f/固体体積φ)を用いて(2)式をフロックへと拡張する。即ち、体積分率をφ→αφ、粒径をd₀→フロック径d_f=d₀α^{1/(3-D)}とする。ただし、フロックの自己相似構造から次元Dは(フロック内部の粒子数)=(d_f/d₀)^Dで定義する。

最終的な透水速度式は、粒径d₀と構造次元Dをパラメータとし、次式の関係となった。

$$k = (d_0^2/18) \alpha^{2/(3-D)} (1 - \phi_f)^{4.65} / \phi_f \quad \dots(3)$$

4. ネットワーク転位と透水

4-1 ネットワークの無いときの透水(沈降)

ネットワーク応力の効果を避けるため沈降を透水現象として解析した。即ち、初高を無限大に外挿した時の、沈降速度と沈降水積とを用いた。透水速度式((3)式)は、一般透水係数k□=k/[(d₀²/18) α^{2/(3-D)}]を導出し、k□とフロック体積分率φ_fとの関係で正否を調べた。パラメーターの粒径d₀と構造次元Dとを適切に与えた時、測定値との一致は非常に良かった(図3)。

4-2 透水に及ぼすネットワーク転位の効果

固体濃度が高くなると透水速度式より透水が良くなった(図3)。この現象を詳細に見るため別の一般透水係数k*=kφ^{2/(3-D)}を導出した。k*とフロック体積分率φ_fとの関係は、体積分率φ_f≒0.2で転位が生じ、速度が非常に遅くなる緩速沈降と急速沈降の分離を示した(図4)。但し、この時の急速沈降は割れ目が発達したため生じた亀裂透水が原因であった。

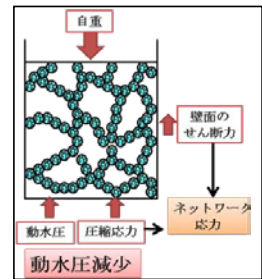
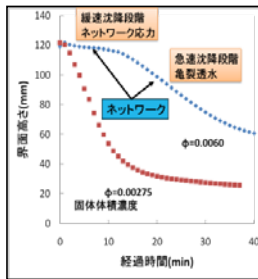


図1 緩速沈降の発生

図2 ネットワーク応力

*水資源機構**農村工学研究所***茨城大学****岩手大学
キーワード: 界面沈降、粘土フロック、ネットワーク転位、透水構造

5. 転位過程における膨潤比と透水係数

5-1 膨潤比と固体濃度

固体濃度 ϕ が増加すると膨潤比 α が減少する。これを定量的に調べた結果、体積分率 $\phi_f = \alpha \phi = 0.2$ の近傍に全ての測定点が位置した (図5)。この体積分率は透水構造の変わる転位点であった。

5-2 膨潤比からみた転位のメカニズム

膨潤比の変化から転位を調べるため、膨潤比とフロックの体積分率との関係をプロットした (図6)。転位過程で膨潤比は急激に低下したが、これは、試料調整段階でネットワークによる強い剪断力でフロックが破壊されたためである (理論的にも説明)。

5-3 転位過程における透水係数の激減

転位過程において透水係数は激減する (緩速沈降、図4)。これを膨潤比減少との関係で見ると (図7) 透水速度式 (3) 式) にかかなり近い。即ち、フロックの体積分率が一定でフロック径 (膨潤比) のみが小さくなるため透水が激減する。これは、動水圧低下 (図2) による透水低下を凌ぐ。

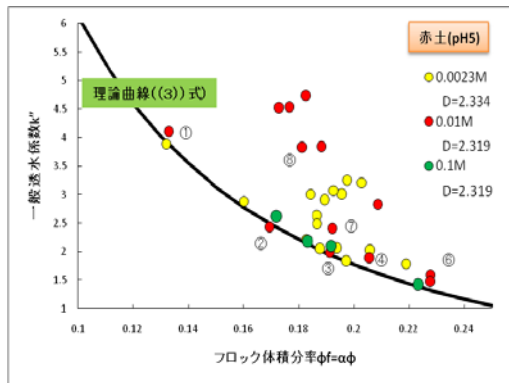


図3 一般透水係数 k'' とフロック体積分率 ϕ_f

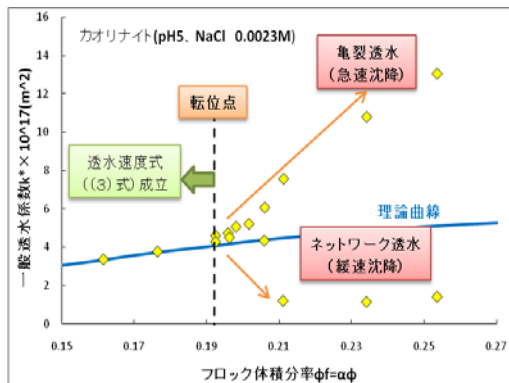


図4 透水に及ぼすネットワーク転位の効果

6. 転位点近傍での透水 (沈降) の特性

① pH 変化により膨潤比 α をゆっくり変化させて転位点 ϕ_{fc} を求めた (カオリナイト)。 ϕ_{fc} は固体濃度を变化させた時とほぼ同じであり、転位は pH7~8 で生じた。又、この時の沈降速度は極小であった。

② 超音波でフロックを破壊し膨潤比 α を小さくして転位点を調べた。しかし、転位点は曖昧であり、構造次元 D の増加が示された。

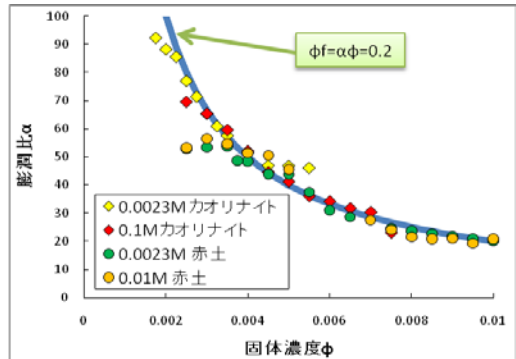


図5 固体濃度 ϕ の増加による膨潤比 α の減少

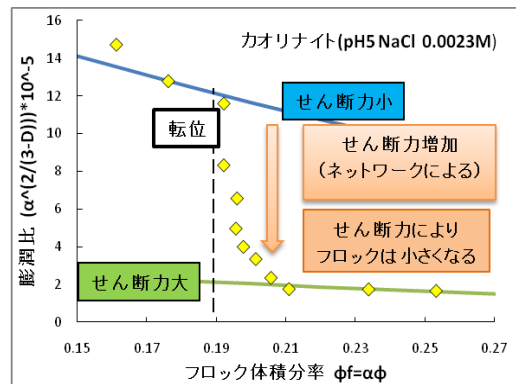


図6 膨潤比 α とフロック体積分率 ϕ_f

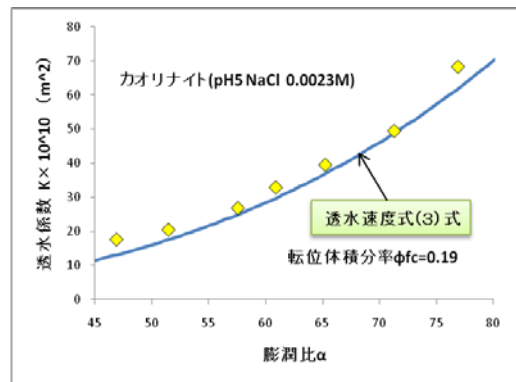


図7 転位過程における透水係数 k の急減