

はじめに： 急速ろ過層の抑止現象のモデルとしては、膜の界面電位の電気力学的要素を考慮したものとか、

砂粒周辺に流着付着したフロックを掃流剪断流れによって移動させる形がのべられている。しかし砂層肉差がかなり進行した段階では、フロックの連結による架橋現象があり、これが順次破壊され下り、下流へ掃流されるパターンもある。実際の肉差現象はこの両方の組合せによって成立つと考えることもできる。すなわち、初期の段階では、砂粒周辺への蓄積・沈着から始まり、次第に架橋的に肉差を埋め下り、それぞれの肉差を膜化してゆく。しかし、ろ過膜での抑止が増加すると、フロック膜に蓄積捕留される抑止物質が大きくなり、肉差内の密度が大きくなって、透過抵抗は次第に大きくなり、差圧勾配も増加する。一方ろ過膜も抑止物質を多くし下り、それ自身の強度は大きくなってゆくであろうが、やがてフロックの架橋密度よりも、差圧が優越して膜を破壊され、さらに下流へ搬送される。より深部の下流では、破壊されて搬送されてきたフロックにより、新しくフロック膜が構成され、同様の破壊をくり返す。このように破壊と架橋を順次くり返し下り、抑止物質は次第に深部に到達する。一方破壊されたフロック膜は砂粒の周辺では完全に壊れるのではなく、砂粒の周辺のある部分はそのまま残して次の架橋へ進むゆく。

筆者はさきにろ層肉差内を多形管として、摩擦剪断により掃流されるパターンについて、次元解析を用いて、実験的に抑止率を計算した。¹⁾ さらにろ層が逆洗淨効果によって構成される砂層の水理的要因としての肉差の規模を砂粒度分布との相関から統計的に表示し、これについての摩擦剪断力についても統計的に表示することを示した。²⁾

本報告では、フロック膜が構成され下り、差圧の増加による破壊を主として剪断作用によるとして、そのモデルを示し、これによるフロックの強度の実測値について報告する。

1 ろ層肉差の規模 逆洗淨による水衝効果と、混合効果を受けた砂層の肉差の規模は、ろ過開始時 $t=0$ では、水理的有効肉差 δ_{*0} は³⁾

$$\delta_{*m} = V_a \lambda_0 / A_0 = \frac{1}{6} \frac{t_0}{k'} \frac{\lambda_0}{(1-\lambda_0)} \sqrt{\frac{1}{\pi \sigma_z^2}} \int_0^{\lambda_0} \phi_i \exp \left[-\frac{\{ \log (\phi_i / \phi_m) \}^2}{2 \sigma_z^2} \right] d\phi \quad \dots \dots \dots (1)$$

λ_0 ：初期肉差率、 ϕ_m ：砂層 d 層での水衝、混合状態の平均径、 σ_z ：砂層 z 位置での砂粒度分布の対数正規分布とした場合の標準偏差値、 t_0/k' は、表面積、体積形状係数。

(1)式に示される肉差規模に対してフロック膜が破壊しているものと考える。

2. 肉差内フロック膜に加わる剪断力 δ_{*m} は肉差が開始されていない清浄な砂層の肉差の規模であつて、

砂層中には、抑止物質は填充されていない。(図-1 a) しかしフロック膜が構成されている状態では図-1. b となる。この場合、Darcyの法則は肉差内で成立し、 δ_{*m} に充滿したフロック内では

$$\Delta h = U_0 \delta_{*m} / k_f \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$= (U / \lambda_0) \delta_{*m} / k_f \quad (2')$$

k_f ：フロック内の透水係数、 λ_0 ：初期有効空隙率、 U ：空塔速度。

肉差に加わる剪断力 S_δ は

$$S_\delta = a_\delta \cdot \Delta p / p_\delta = 4 \delta_{*m}^2 \Delta h \rho g \quad \dots \dots \dots (3)$$

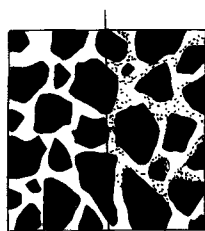


図-1 a b

$$\Delta h = U_0 \delta_{xm} / k_f \text{ とすると.}$$

$$S_f = 4\pi \delta_{xm}^3 U_0 \rho g / k_f \dots\dots\dots (4) \quad \text{フロックの膜厚を } \delta_{xm} \text{ とせず、} Z_f \text{ とすると.}$$

$$\sqrt{S_f} = 4\pi \delta_{xm}^2 Z_f U_0 \rho g / k_f \dots\dots\dots (4')$$

間隙の単一の周辺長を a_m と $4\delta_{xm}$ の円形と仮定すると. $a_m = 4\pi \delta_{xm}$

剪断力 T_f は

$$T_f = S_f / a_m = \delta_{xm}^2 U_0 \rho g / k_f \dots\dots\dots (5)$$

$$= \delta_{xm} \cdot Z_f \rho g U_0 / k_f, \quad U_0 = U / \lambda_0 \text{ として.}$$

$$T_f = \delta_{xm} \cdot Z_f \rho g U / k_f \cdot \lambda_0 \dots\dots\dots (5')$$

k_f は間隙内に充足するフロック物質が多くなると小さくなる。

3. フロックの透水係数 k_f の測定

フロック膜に働く剪断力を計算するに必要の差圧を求めるため.

フロック内の透水係数 k_f を、アルミナ量に対応させて実験により

求めた。実験装置は図-2 である。

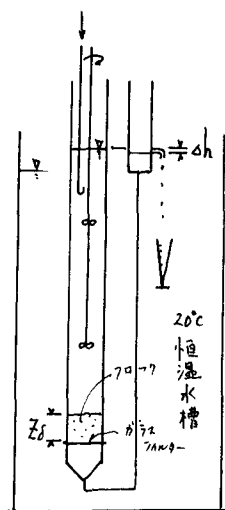


図-2 フロック透水実験装置.

3層にはガラスフィルターを用い、フロック膜を支持させる。用いたガラスフィルターは間隙の規模を変化させるため、No. 1, 2, 3, 4号を用い、ベントナイト、カオリンと墨濁基質銲物とし、それぞれ配合を変化させて用いた。凝集剤には、硫酸アルミニウムを用い、3分間筒内で10分間攪拌し、20分間静置沈淀したのち、 Δh で静かに差圧をよえ、 Z_f , Δh , 水温, g (流量) を測定した。

透過開始後、 Z_f は漸次小さくなり、時間 t で1/2が一定値に達する。

計算に用いた Z_f はこのときの最終値を用いた。

ガラスフィルターの間隙の径 (μ)

No. 1.	No. 2	No. 3	No. 4
100~120	40~50	20~30	5~10

Δh は Z_f の圧密に応じて大きくなる傾向があるが、大きさ変化はない。
 $\partial \Delta h / \partial Z_f$ は急激に大きくなる。

アルミナ量が多くなると $\Delta h / Z_f$ は大きくなる。カオリンとベントナイトではベントナイトの方が k_f は小さくなった。

4. フロックの剪断強度

Δh をさらに大きくして、フロック膜が壊れる限界値を求めた。フロックの破壊

は、肉眼によるほか、差圧マノメーターの急激な回復(破壊時差で差圧が急に小さくなる。フロックの剪断強度は直径が一定値を超えると、急激に小さくなる。これは間隙の規模と、フロック膜を構成しているマイクロフロックの結鎖構造の大きさにかかわるのではあるまいが、カオリンとベントナイトでは、同一のフィルター径でも差異を生じる。アルミナ量の寡多によっても変化する。膜の厚さはこの場合甚程大きな影響はない。膜厚は透水抵抗を支配するが、フロック自体の強度に対しては大きい影響はないようである。

文献 1) 本原、勲道; 急速3過砂層抑止効果について、水道協会全国水道研究発表会, 昭50年。

2) 本原; 急速3過砂層間隙の水理的特徴について、土木学会32回学術講演会, 昭和52年。

本原; 急速3過砂層中の抑止間隙、抑止断面速度の分布の考察、水道協会関西支部研究発表会, 昭和52年。