

逆洗流動層下における砂粒子表層汚泥の剥離モデルについて(オ=報)

大阪工業大学 正員 木原 敏

急速ろ過法の逆洗によって排出されるろ層捕留の汚泥を、①表面ろ過膜、②砂層内間隙の架橋ブロック ③ろ砂表面に膠着している汚泥の3タイプに分類する。そのうち、③の砂表面膠着汚泥の流出は、砂粒子相互の衝突による表膜剥離による。

今回はこの表膜剥離現象についてモデル化し、若干の演算を行ったので報告する。

1. 流動層内の砂粒の衝突

流動層内での剪断摩擦流れによって系内の粒子の衝突は、藤田¹⁾によれば、

$$Nu = (1/3) n_i^2 \phi_i^3 \bar{G}_f \quad \dots\dots (1), \quad Nu: \text{流動層単位体積、時間当り衝突回数} \quad (1/cm^3s)$$

n_i : 単位体積内粒子数 ($1/cm^3$), ϕ_i : 系内粒子直径 (cm), $\bar{G}_f$: 流動化での速度勾配 ($1/Sec$)

$$n_i = (1 - \epsilon_0) / \{ \alpha \cdot \phi_i^3 \cdot (1 + e) \} \quad \dots\dots (2), \quad \alpha = \psi_b \cdot \pi / 6 \quad \dots\dots (2')$$

$$\bar{G}_f = \sqrt{U_b \cdot \rho_0 \cdot h_b (1 - \epsilon_0) g / \mu \cdot L_0 (1 - \epsilon_0)} \quad \dots\dots (3), \quad U_b: \text{流動層内平衡状態での上昇流速 (cm/s)}$$

$$h_b = (L_0 / \rho_0) (1 - \epsilon_0) (\rho_s - \rho_0) \quad \dots\dots (4), \quad \epsilon_e = (\epsilon_0 + e) / (1 + e) \quad \dots\dots (5)$$

$$\text{単粒子当りの衝突回数 } N_p \text{ は } N_p = Nu / n_i = (1/3) n_i \cdot \phi_i^3 \cdot \bar{G}_f \quad \dots\dots (6)$$

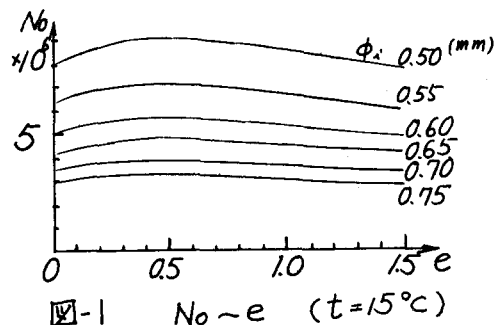


図-1 $N_o \sim e$ ($t = 15^\circ C$)

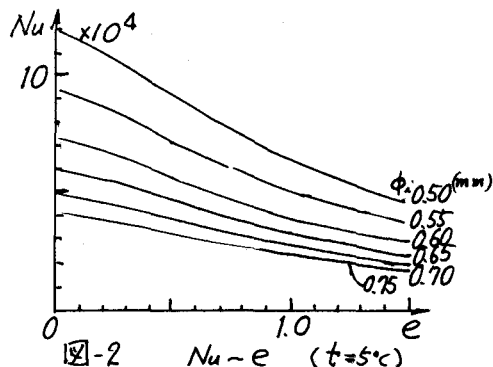


図-2 $Nu \sim e$ ($t = 5^\circ C$)

2. 流動化中の衝突、または擦り合せによる砂表面膠着汚泥の剥離

流動化中の砂が相互に衝突または擦り合う現象は確率的に生じる。最初の衝突によってすなわち、処女状態での剥離はどの部分に衝突しても同様に生じるが、一度衝突によって剥離した履歴をもつ粒子は2回目の衝突によって、剥離した部分に当たった場合と、そうでない部分とでは状況が異なる。

流動化が始まって(逆洗開始後)からの時間 t_w (sec) とすると、 $0 \sim t_w$ までの衝突回数

$$N_p(t) \text{ は } N_p(t) = 2(Nu/n_i) \cdot t_w \quad \dots\dots (7), \quad \text{1回の衝突によって剥離する面積を } \Delta A_0$$

とすると、最初の衝突によって剥離する膠着面は100%, すなわち、 $\Delta A_0 \times 1.00$, オ2回目の衝突による剥離の確率 $\xi_2 = (A_p - \Delta A_0) / A_p$, 剥離面積 $\Delta A_2 = \Delta A_0 \cdot \xi_2$, オ3回目では、 $\xi_3 = (A_p - \Delta A_2) / A_p$, $\Delta A_3 = \Delta A_0 \cdot \xi_3$ であり、 n 回目の衝突による確率 $\xi_n = (A_p - \Delta A_{(n-1)}) / A_p$, $\Delta A_n = \Delta A_0 \cdot \xi_n$

Satoshi KIHARA

$$\Delta a_n = \Delta a_0 \cdot \sum_n = \Delta a_0 - (\Delta a_0^2/a_p) + (\Delta a_0^3/a_p^2) - (\Delta a_0^4/a_p^3) + (\Delta a_0^5/a_p^4) - \dots (-1)^{n-1} \cdot (\Delta a_0^n/a_p^{(n-1)})$$

$$= \sum_{i=1}^n \{ (-1)^{i-1} \cdot \Delta a_0^i / a_p^{(i-1)} \} \quad \dots\dots (8)$$

1 コの粒子が $N_p(t)$ 回目の衝突によって剥離する可能性のある面積 $\Delta a_{N(t)}$ は、式(8)より

$$\Delta a_{N(t)} = \Delta a_0 \cdot \sum_{N_p(0 \sim t)} = \sum_{i=1}^{N_p(0 \sim t)} \{ (-1)^{i-1} \cdot \Delta a_0^i / a_p^{(i-1)} \} \quad \dots\dots (9)$$

粒子表面の同一個処に再衝突する確率は処女衝突では0である。又2回では $\sum_2 = \Delta a_0 / a_p$ 、
又3回では $\sum_3 = \Delta a_2 / a_p$ 、又 n 回では $\sum_n = \frac{1}{a_p} \sum_{i=1}^{n-1} (\Delta a_{n-i})$

$$= \frac{1}{a_p} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^n \{ (-1)^{j-1} \cdot \Delta a_0^j / a_p^{(j-1)} \} \quad \dots\dots (10)$$

$N_p(0 \sim t)$ 回目の衝突によって、同一ヶ処での繰返し回数 $N_r(t)$ は

$$N_r(t) = N_p(0 \sim t) \cdot \sum_n = \frac{N_p(0 \sim t)}{a_p} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^n \{ (-1)^{j-1} \cdot \Delta a_0^j / a_p^{(j-1)} \} \quad \dots\dots (11)$$

$N_r(t)$ は $N_p(0 \sim t)$ によって、逆洗時間 t の関数である。

繰返し衝突によって剥離された J 回目の深さを d_J とすると $d_J = d_0 \exp \{-\beta \cdot N_r(t)\} \quad \dots\dots (12)$

逆洗 t 時間後の剥離率 $\Delta M(t)$ は

$$\Delta a_{N(t)} \cdot d_J = \Delta a_{N(t)} \cdot d_0 \cdot \exp \{-\beta \cdot N_r(t)\} \quad \dots\dots (13)$$

単位時間、体積当りの剥離量 $M_r(t)$ は

$$M_r(t) = N_i \cdot \Delta M(t) \quad \dots\dots (14)$$

d_0 は砂表面の処女膜厚さであるが、長期に亘って使用していると、十分に再生効果のない場合は d_0 の値に変化を生じる。しかも膠着量は砂層深さ、粒径によっても異なってくる。

表面3 過膜、空隙内架橋フロック として粒子膠着による汚泥のそれぞれの配分をどのように考えるかについては実測例が不足しているが、表面3 過膜が卓越しており、全体の40~50%を超えている。しかし有効な洗浄は、膠着汚泥を排出することにかかっていることも事実である。

