

大阪工業大学 正員 木 原 敏

急速3過層の逆洗浄のメカニズムについては、Faiv 他最近では巽教授の理論式がある。砂層膨脹の因子として、巽教授の指摘のように砂粒直径と洗浄速度とによつて把えられる。流動化現象としての逆洗浄としては、流動粒子の比重と媒体との相対的關係から考慮をばうねばならぬであらう。

とくに近年、複層3過、3過速度増大等の影響を受けて、3層材料の粒子構成や、比重密度は、単に天然砂を用いるばかりでなく、多様化してゆく傾向にある。

本研究では砂層を粒子、密度の2因子より把えて、これのパラメーターを含む解を求めようとするものである。

特に砂の浮遊条件と、平衡に浮遊媒体の比重補正を加えた。また流動層中の粒子の抵抗係数 C_D を、砂の密度、および $Re_1 = dV/\nu$, $Re_2 = lV/\nu$ の関数として整理を試みた。

1. 逆洗時、流動層媒体見掛密度

逆洗時の膨脹相の媒体の見掛密度 ρ_x は

$$\rho_x = (\rho_w V_w + \rho_s V_s) / (V_w + V_s) = \rho_w \lambda + \rho_s (1 - \lambda)$$

ここに $V_w = \lambda V$, $V_s = (1 - \lambda)V$, ρ_w : 水の密度 [g/cm^3] ρ_s : 砂の密度 [g/cm^3]

λ : 逆洗膨脹時の空隙率, V : 膨脹相の全体的積 [cm^3] V_w : 膨脹相の全体的積のうち水が占める体積 [cm^3]

V_s : 膨脹相の全体的積のうち砂が占める体積 [cm^3]

逆洗時の膨脹相の砂層厚 l は、

$$l(1 - \lambda) = l_0(1 - \lambda_0) \quad \text{ここに } l_0: \text{初期膨脹前の砂層厚} [cm], \lambda_0: \text{膨脹前の砂層空隙率}$$

空隙中の洗浄速度を g^* とす。 $g^* = \frac{Q}{A} \cdot \frac{1}{\lambda_0} = \frac{g}{\lambda_0^2}$ ここに g : 見かけ上の洗浄速度 $= \frac{Q}{A}$ 。

$\lambda_A = \lambda^{\frac{2}{3}}$ 面積空隙率。

以上を整理すると

$$\sqrt{\frac{3}{4} \frac{d(\rho_s - \rho_w)(1 - l_0(1 - \lambda_0))}{C_D l_0(1 - \lambda_0)(\rho_s - \rho_w) + l \rho_w}} g = \frac{g}{\lambda^{\frac{2}{3}}}$$

$$l = l_0(1 - \lambda_0) \left(\frac{3}{4} \frac{d}{C_D} g \cdot \frac{g^2}{\lambda^{\frac{2}{3}}} + 1 \right) \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s - \rho_w} \cdot \frac{3}{4} \frac{d}{C_D} g \cdot \frac{g^2}{\lambda^{\frac{2}{3}}} \right)$$

C_D は、洗浄速度、砂粒子に対するレイノルズ数の関数として、これを実験によって求める。

$$C_D = \sum_{g^2} \frac{4d\sqrt{\rho_w} g(\rho_s - \rho_w)(1 - l_0(1 - \lambda_0))}{3l_0(1 - \lambda_0)(\rho_s - \rho_w) + l \rho_w}, \quad Re_1 = \frac{d\sqrt{\rho_w} V}{\nu}, \quad Re_2 = \frac{V}{\nu} \sqrt{d\sqrt{\rho_w} \gamma} \quad (\text{粒子間距離} \gamma)$$

ここに V : 膨脹時の砂粒子間距離 [cm], ϕ_0 : 体積形状係数

損失水頭より C_D の算出

$$C_D = \sum_{g^2} \frac{4d\sqrt{\rho_w} g(\rho_s - \rho_w)(1 - l_0(1 - \lambda_0))}{3l_0(1 - \lambda_0)(\rho_s - \rho_w) + l \rho_w} \quad \left. \vphantom{\sum_{g^2}} \right\} \text{より}$$

$$H_f / H_e = (\rho_s - \rho_w)(1 - \lambda) / \rho_w$$

$$l_0(1 - \lambda_0) = l(1 - \lambda)$$

$$C_D = 4d\sqrt{\rho_w} g H_f \lambda^{\frac{2}{3}} / g^2 (1 - \lambda) (3H_f + H_e)$$

H_f : 膨脹、流動化による損失水頭 [cm], H_e : 水頭差を α とする膨脹厚 l [cm]

C_0 と Re , d , ρ_s について整理すると、次の式を用いる。

$$C_0 = (\alpha d + \beta) Re^{(\delta d + \pi)(\epsilon \rho_s + \pi)}$$

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \pi$ は実験値より求めた定数。

	α	β	γ	δ	ϵ	π
流動層より粗い場合	4.59×10^8	-3.35×10^3	-6.89	-0.60	1.47×10^{-2}	0.961
損失水頭、流動層、 粗い場合	4.74×10^8	-3.66×10^3	-0.945	-1.36	2.59×10^{-2}	0.936
平均	4.85×10^8	-3.51×10^3	-3.92	-0.98	2.03×10^{-2}	0.948

通過砂の構成は一定粒度で構成されている、という。ある分布をもつて、流動化して砂層は全層を均一化して考えたことは無理がある。ある Re の範囲では流動は安定しているが、ある範囲を越すとそれは不安定となる。砂粒子が送洋によってマクロ的には沈降速度により、分類されていくとすれば、砂層の粒度構成は流動層として膨脹砂層を幾つかのゾーンに分けらるであろう。この研究で、実験の規模からすると、流動化に伴う二次流れを認めざるを得ない。比較的小さい粒子が存在する限り、砂層上層より、逸脱する粒子を無理し得ない。それはトラフへの流出と関連した。今回は単一砂を計算として検討をいふことに。以上の問題点から砂の粒度を平均化したのみ、考察は不足である。検討を続けた予定である。尚、この研究の実験に岡田拓治、長江文男、(いずれも、本年3月まで大阪工業大学学生)の諸君の協力を得た。

砂の ρ_s , λ_0

粒径 [mm]	ρ_s [g/cm ³]	λ_0
2.00	2.53	0.500
1.68	2.56	0.489
1.19	2.58	0.479
0.84	2.57	0.501
0.59	2.59	0.507
0.42	2.64	0.484
0.297	2.55	0.481

活性炭の ρ_s , λ_0

粒径 [mm]	ρ_s [g/cm ³]	λ_0
2.00	1.46	0.540
1.68	1.36	0.487
1.19	1.41	0.540
0.84	1.28	0.533
0.59	1.56	0.516

砂・活性炭(粒状) 粒子の形状係数

	ϕ_0	$\sqrt[3]{\phi_0}$
砂	1.176	1.055
活性炭	1.181	1.057

実験砂の - 181.

層厚 [cm]	λ_0	ρ_s	ϕ_0	ϕ_0	U_0	ϕ_0
砂 A 51.6	0.494	2.58	0.084	0.059	1.51	1.176
砂 B 65.8	0.491	2.58	0.120	0.084	1.52	1.176
活性炭 A 43.4	0.530	1.41	0.120	0.078	1.67	1.181