

(Ⅱ-5) 横流式沈砂池の沈砂の有機物含有率と沈降速度および限界流速について

国士舘大学工学部 正会員 ○山田慎吾
国士舘大学工学部 正会員 金成英夫

1. はじめに 下水に含まれている砂は、ポンプ場や下水処理場において、施設を損傷させるばかりでなく、沈殿池、汚泥輸送管および消化槽で堆積し、施設の効率を低下させる原因となる。このため、これらの施設では、沈砂池を設け砂を除去している。下水道の汚水沈砂池に流入する砂には、有機物がからみ付いているため、沈砂の比重は1.5～2.0の範囲であり、沈降速度は砂のみの場合に比べて小さいとされている。

そこで、本研究は、広く用いられている横流式沈砂池の沈砂の有機物含有率と沈降速度および限界流速について検討を加え、横流式沈砂池の特性を明らかにしようとするものである。

2. 沈砂の有機物含有率と比重 有機物の重量を m_v および沈砂の重量(有機物+砂)を m とすると、沈砂の有機物含有率は、 $p = m_v / m$ で表わせる。沈砂の比重 s は、砂および有機物の比重を、それぞれ s_s および s_v で表わすと、次式となる。

$$\frac{1}{s} = \frac{1}{s_s} \cdot \frac{m_s}{m} + \frac{1}{s_v} \cdot \frac{m_v}{m} \quad (1)$$

この式の m_s/m および m_v/m は、それぞれ、砂および有機物の含有率(1-p)およびpであるので、

$$s = \frac{s_s \cdot s_v}{s_v(1-p) + p \cdot s_s} \quad (2)$$

となる。したがって、沈砂の比重は、砂の比重、有機物の比重および有機物含有率の影響を受ける。ここで有機物の比重は、余剰汚泥の密度とほぼ等しいと考えられる。水中における有機物の含水率を90～95%($C = 5 \times 10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ mg/l}$)、有機物の p_v を80%とすると、余剰汚泥の密度は1.016～1.033 g/cm³となる¹⁾。したがって、 $s_v = 1.03$ 、 $s_s = 2.65$ とすると、(2)式は(3)式となる。

$$s = 2.73 / (1.62p + 1.03) \quad (3)$$

図-1は、有機物含有率pと沈砂の比重sとの関係を示したものである。有機物含有率が20%でも、沈砂の比重は2.0に減少しており、有機物含有率が沈砂の比重に及ぼす影響の大きいことがわかる。

3. 沈砂の沈降速度 沈降速度は、粒径0.2mm～2mmの範囲の砂粒子に適用できるAllenの式を用いて計算する。

$$v = \left\{ \frac{4}{225} \cdot \frac{(\rho_s - \rho_f)^2 g^2}{\rho_f \mu} \right\}^{1/3} d \quad (4)$$

v : 沈降速度, ρ_s : 粒子の密度,

ρ_f : 流体の密度, μ : 流体の粘性係数, d : 粒子の直径

ここで、有機物を含有した沈砂の粒径を d_s' 、密度を ρ_s' 、一方、砂粒子の粒径を d_s とし、これらの粒子の沈降速度が等しくなる粒子径の比は、(4)式から次のようになる。

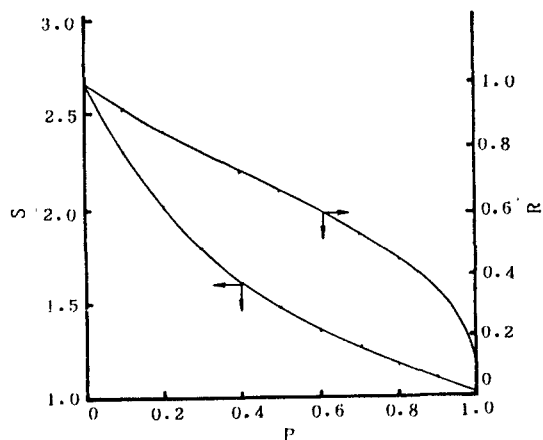


図1 沈砂の有機物含有率と比重および沈砂と砂の粒径比

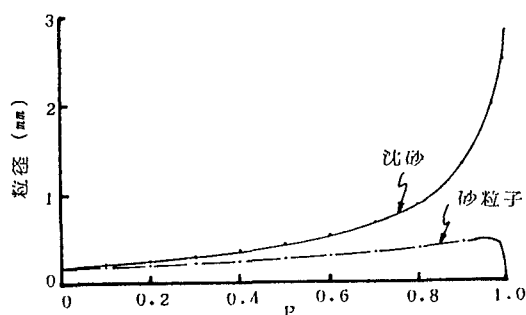


図2 粒径0.2mmの砂粒子と同じ沈降速度をもつ沈砂およびそれに含まれる砂粒子径

$$\frac{ds'}{ds} = \left(\frac{\rho_s - \rho_F}{\rho_s' - \rho_F} \right)^{2/3} \quad (5)$$

水の比重を1.0および砂粒子を2.65とし、沈砂の比重に(2)式を用いると、

$$\frac{ds'}{ds} = 1.396 \times \left(\frac{2.73}{1.62p + 1.03} - 1 \right)^{-2/3} \quad (6)$$

となる。ここで、沈砂および砂粒子を球体と仮定すると、

$$d_s'^3 \cdot s = d_s^3 \cdot s_s + (d_s'^3 - d_s^3) s_v \quad (7)$$

$R = d_s / d_s'$ とおき、沈砂の比重に(3)式を代入すると、有機物含有率とRとの関係は、次式となる。

$$R = \left(\frac{1.685}{1.62p + 1.03} - 0.636 \right)^{1/3} \quad (8)$$

砂粒子を含まない有機性粒子は、粒径2.8mmで0.2mmの砂粒子と同じ沈降速度を持っている。さらに、図-2には(8)式の関係を用いて、粒径0.2mmの砂粒子と同一沈降速度をもつ沈砂に含まれる砂粒子の粒径を示した。沈砂に含まれる砂粒子の粒径は、最大でも0.5mm程度である。

4. 限界流速 限界流速 V_c は次の式で計算できる。

$$V_c = \left\{ \frac{8\beta}{f} g d (s - 1) \right\}^{1/2} \quad (9)$$

β : 定数 (=0.06), f : 摩擦係数 (=0.03)

ここで、流速 V (cm/sec)において移動を開始する沈砂粒子の粒径 d_{sc}' (cm)は、沈砂の比重に(4)式を用いて

$$d_{sc}' = \frac{V^2}{125^2 \times \left(\frac{2.73}{1.62p + 1.03} - 1 \right)} \quad (10)$$

と書き表せる。図-3は、沈砂の有機物含有率と掃流される沈砂粒子との関係を示したものである。また、この図の破線は直径0.2mmの砂粒子と同じ沈降速度をもつ沈砂の有機物含有率と粒径との関係である。沈降速度が直径0.2mmの砂と同じ沈砂は、沈砂池内の平均流速が30cm/secの場合、掃流力により全

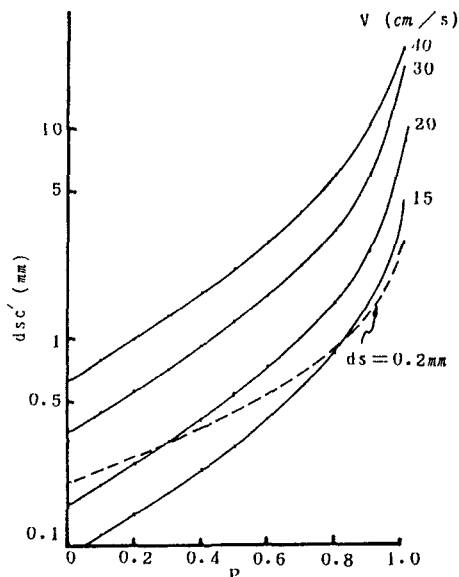


図3 有機物含有率と掃流される沈砂径

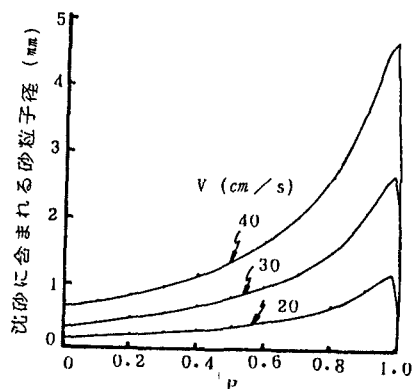


図4 掃流された沈砂に含まれる砂粒子径

て再浮上し、20cm/secでは、有機物含有率が30%以下の場合にのみ再浮上せず、沈砂池内に留まることになる。以上の検討結果から、二次処理施設に流れ込む砂は、沈砂池の掃流力で再浮上する沈砂に含まれている砂であると考えられる。そこで、この再浮上する沈砂に含まれている砂粒子の粒径を(9)式を用いて計算し、図-4に示した。この図から、特に、有機物含有率の高い沈砂の場合、池内流速を設計指針に示されている30cm/secとしても、粒径1mm程度の砂が、除去されずに沈砂池を通過することがわかる。池内の流速が若干大きくなり、40cm/secとなると、粒径2mm程度の粒子も通過する可能性のあることを示している。

5. まとめ 横流式沈砂池で、下水中の砂と有機物との沈降速度の差を利用して分離することは不可能である。粒径0.2mmの砂粒子を横流式沈砂池で除去するには、池内流速を20cm/sec以下にする必要があり、この場合、砂と共に有機性粒子が多量に沈殿するため、砂と有機物とを分離する装置が必要となる。このような問題を解決するには、横流式以外の方法を考案する必要があると考える。

[参考文献] 1) 遠藤郁夫、金成英夫：下水污泥の摩擦損失係数に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，No. 301, 1980