

I. 一般的考察 急速砂ろ過槽の洗浄効果についてはフロック汚泥の除去が根本問題であるが、その考察において砂粒の附着汚泥を“1次汚泥”(砂粒表面に吸着されている汚泥と、その上のある厚さと比較的高い強さを持っていると思われる汚泥部分)と“2次汚泥”(砂面にたい積し、砂戸間げきをみなし、ならびに砂粒の被覆汚泥中一次汚泥を除く部分で前者よりも強さが低いと考えられる汚泥部分)から成ると考え、砂戸の汚泥の除去過程もこの2部分の除去に区別して各“1次除去”、“2次除去”と呼ぶこととする。2次除去では洗浄水流のせん断作用が主で砂粒の衝突磨耗は従、1次除去ではその反対と考えられる。洗浄強度～洗浄時間曲線は通常①初期高強度が急速に減衰し、②以後の減衰は緩慢で低強度が長時間持続するのが特徴であるが、①、②の段階はそれぞれ2次及び1次除去中の強度変化の様相を示すものである。流体の平均せん断応力(τ)は戸流、乱流とも平均速度の勾配値(G)に比例し、また流体の単位体積、単位時間当り砂粒の総衝突数(N)も同様と考えると、1次、2次両除去し、したがって洗浄効果は G によって評価することができる。以下 G 、 τ と諸因子との関係について述べる。

II. G と諸因子との関係 今、 G : 平均速度の勾配、 ν : 水の動粘性係数、 S_s : 砂粒の比重、 f_e : 膨脹砂戸の間げき率、 v_s : 砂粒の沈降速度、 g : 重力の加速度とすると、逆洗浄では

$$G = \sqrt{\frac{g}{\nu} \cdot (S_s - 1)(1 - f_e) v_s} \quad \text{----- (1)}$$

一方、砂戸膨脹理論における $f_e = \frac{v_s}{v_0}$ ($v_s > v_0 \geq 0$) と (1) 式に代入し、 $G = \sqrt{\frac{g}{\nu} (S_s - 1)(v_s - v_0)}$ ----- (2)
(2) 式中、 v_s 、 v_0 は e (膨脹率) の、 ν は t (水温) の関数だから G の主要因子とに e 、 v_0 、 t のほか粒径 (d) をも考える。

(i) 膨脹率 (e) との関係 ---- (1) 式で g 、 S_s 、 t 、 d を一定として f_e 、 v_s は e の関数で表わし、これを (1) に代入して

$$G = \frac{1}{e} (e + f) \frac{n}{2(2-n)} (1 + e)^{-\frac{1}{2-n}}, \quad \text{ここに } 1e = \sqrt{\frac{g}{\nu} \cdot (S_s - 1) \beta (1 - f)} = \text{const.} > 0, \quad \left. \begin{array}{l} \text{上式中 } \beta = \left\{ \frac{4g(S_s - 1)d}{3\alpha(d/\varphi)^{-n}} \right\}^{\frac{1}{2-n}} = \text{const.} > 0 \\ \alpha, n \text{ は } d \text{ の関数だがここでは一定} \end{array} \right\} \quad \text{----- (3)}$$

$$(3) \text{ 式から } \frac{dG}{de} = \frac{1e}{2-n} (e + f) \frac{3n-4}{2(2-n)} (1 + e)^{-\frac{1}{2-n}} \left\{ \frac{n}{2} (1 + e) - (e + f) \right\} \quad \text{----- (4)}$$

通常の3砂では $n < 2$ だから $\frac{dG}{de}$ の正負は右辺最終項 $\left\{ \frac{n}{2} (1 + e) - (e + f) \right\}$ の正負で定まる。この e ~ G 関係は 図-1 (略図) のように、 $\max G$ は相当高い e で起っており、実際の場合の $e = 15 \sim 30\%$ の程度では G は e に同調して増減する。 $\max G$ に対応する限界膨脹率 e^* は

$$e^* = (n - 2f) / (2 - n) \quad \text{----- (5)}$$

この式による計算値は 図-1 の実験値に近似する。図の反曲点に
対応する e の値が大粒径 ($2-12^{mm}$) の 0.3 より小粒径 ($0.4-0.3^{mm}$) の
0.6 の間に変化することは、膨脹率の変化に応ずる洗浄効果の
変化状態が粒径によって異なることを意味する。

(ii) 洗浄速度 (v_0) との関係 ---- (2) 式を

$$G = K (\beta v_0^{\frac{n}{2}} - v_0)^{\frac{1}{2}}, \quad K = \sqrt{\frac{g}{\nu} (S_s - 1)} > 0 \quad \text{----- (6)}$$

と書きかえ、 d 、 S_s 、 t を一定とすると β 、 K は const. となるから

$$\frac{dG}{dv_0} = \frac{K}{2} (\beta v_0^{\frac{n}{2}} - v_0)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{n}{2} \beta v_0^{\frac{n}{2}-1} - 1 \right) \quad \text{----- (7)}$$

式中、 $\frac{K}{2} (\beta v_0^{\frac{n}{2}} - v_0)^{-\frac{1}{2}} > 0$ 、(何故か) $\beta v_0^{\frac{n}{2}} = v_s$ 、 $v_s - v_0 > 0$ であるから $\frac{dG}{dv_0}$ の正負は v_0 のみにかゝる。

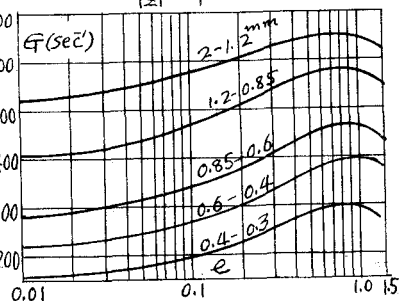
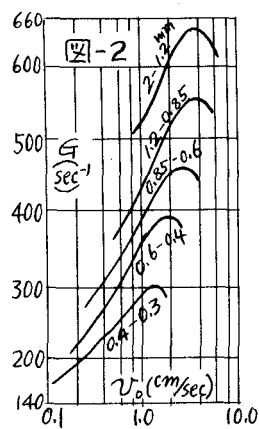


図-2 によると $\max G$ に対応する限界洗浄速度 v_0^* は

$$v_0^* = \left(\frac{2}{n\beta} \right)^{\frac{2}{n-2}} \dots\dots\dots (8)$$

となる。 n が d の関数だから v_0^* は d によって変化する。 v_0^* の理論値と実験値は近似し、小粒径ほど v_0^* が小さく、通常の v_0 の範囲では G は v_0 に同調するが、 v_0^* を超えると G が減少することは $v_0 \sim e$ 関係から考えて $e \sim G$ 関係と類似している。図-2 (略図) から大粒径の砂戸ほど $\frac{dG}{d\tau}$ が大きく、したがって v_0 の変化が洗浄効果に及ぼす影響は大粒子ほど大きいことがわかる。



(iii) 水温(τ)との関係 $\dots\dots d, S_s, v_0$ を一定として (2) 式の因子中 v_0 を τ の関数で表わすと、 $G = \kappa (1 + a\tau + b\tau^2)^{\frac{1}{2}} \left\{ \lambda' (1 + a\tau + b\tau^2)^{\frac{n}{2}} - v_0 \right\}^{\frac{1}{2}}$

式中、 $\kappa = \left\{ \frac{\gamma_0 g}{c} (S_s - 1) \right\}^{\frac{1}{2}} = \text{const} > 0$, (γ_0 : 水の密度, 温度変化無視)

$$\lambda' = \left\{ \frac{4}{3} g (S_s - 1) \right\}^{\frac{1}{2}} \alpha^{-\frac{1}{2}} v_0^{\frac{n}{2}} d^{\frac{n+1}{2}} \left(\frac{c}{\gamma_0} \right)^{-\frac{n}{2}} = \text{const} > 0$$

α, b, c はそれぞれ τ における常数

$$\therefore \text{これより, } \frac{dG}{d\tau} = \frac{\kappa}{2} (1 + a\tau + b\tau^2)^{\frac{1}{2}} \left\{ \lambda' (1 + a\tau + b\tau^2)^{\frac{n}{2}} - v_0 \right\}^{-\frac{1}{2}} \left[\frac{n\lambda'}{2} (1 + a\tau + b\tau^2)^{\frac{n}{2}-1} + (1 + a\tau + b\tau^2)^{-1} \cdot \left\{ \lambda' (1 + a\tau + b\tau^2)^{\frac{n}{2}} - v_0 \right\} \right] \dots\dots\dots (9)$$

(10) 式右辺各項はすべて正だから、 $\frac{dG}{d\tau} > 0$ である。 $d \sim \frac{dG}{d\tau}$ 関係は (10) 式を變形した

$$\frac{dG}{d\tau} = \frac{\kappa}{2} (a + 2b\tau) \cdot \frac{\frac{n}{2} v_0 + (v_0 - v_0)}{(v_0 - v_0)^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (11)$$

に実験値を入れて比較計算すると大粒径ほど $\frac{dG}{d\tau}$ が大きいことがわかる。これは洗浄効果に対する水温の影響が大粒径の砂戸ほど大きいことを意味するものである。

(iv) 粒径(d)との関係 $\dots\dots \tau, S_s$ が一定の場合、 v_0 が一定なら大粒子は f_e が小、 v_0 が大、小粒子はその反対から (1) 式から大粒子が小粒子よりも G が大、したがって洗浄効果が大きいこととなる。

III. 流体のせん断作用と洗浄効果

(i) τ と e との関係 $\dots\dots$ 簡単のため流体のせん断作用に対しては粘性応力だけを考えると、

$$\tau = \gamma_0 \gamma G = \mu G \dots\dots\dots (12)$$

ここで μ (水の粘性係数)、 G は e の関数だから d, S_s が一定なら v_0 を一定と考えて (12) 式を次のように書きかえる。

$$\tau = k \left\{ \lambda' (1 + a\tau + b\tau^2)^{\frac{n}{2}} - v_0 \right\}^{\frac{1}{2}} (1 + a\tau + b\tau^2)^{\frac{1}{2}}, \text{ 式中 } k = \left\{ c \gamma_0 g (S_s - 1) \right\}^{\frac{1}{2}} = \text{const} > 0 \dots\dots (13)$$

$$(13) \text{ 式で } (1 + a\tau + b\tau^2)^{\frac{1}{2}} = \theta \text{ とおくと, } \frac{d\tau}{d\theta} = k \cdot \frac{(\lambda' \theta^n - v_0)^{\frac{1}{2}}}{\theta^2} \left\{ \frac{n}{2} \lambda' \theta^{n-1} - (\lambda' \theta^n - v_0) \right\} \frac{d\theta}{d\tau} \dots\dots (14)$$

式中、 $\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{1}{2} (1 + a\tau + b\tau^2)^{-\frac{1}{2}} (a + 2b\tau) > 0$, $\lambda' \theta^n - v_0 = v_0 - v_0 > 0$, $\theta > 0$, $k > 0$ であるから $\frac{d\tau}{d\theta}$ の正負は (14) 式の右辺第2項の正負にかかり、結局、 $\left(\frac{n}{2} - 1 \right) v_0 + v_0 \geq 0$, すなわち $\frac{v_0}{v_0} \geq 1 - \frac{n}{2}$ ならば $\frac{d\tau}{d\theta} \geq 0 \dots\dots (15)$

一般の e, τ では $\frac{v_0}{v_0} > 1 - \frac{n}{2}$ の条件を付と考へればよろしく、これに代えて $\frac{d\tau}{d\theta} > 0$ なることは実験上明らかである。

(ii) τ と G, e との関係 $\dots\dots \tau$ が一定なら $G \sim \tau$ 関係は μ を勾配とする直線 $\tau = \mu G$ で示され、実験上が $\frac{dG}{d\tau} > 0$, $\frac{d\tau}{dG} > 0$ が証明されている。 $e \sim \tau$ 関係は α, τ が一定なら $e \sim G$ 関係と比例的なものである。

(iii) 要約 $\dots\dots$ 以上から τ と N , (したがって e にも) つく洗浄効果の特性を要約すると次のようである。(1). τ が一定またはその変化が小または通常の場合、 v_0 よりもかなり高範囲まで (洗浄) 効果は e, v_0 に同調する。(2). 通常の場合、 τ には d に関係せず S_s, v_0 が一定なら効果は τ に同調する。(3). 大粒子ほど τ の上下にともなう効果の増減が大きい。(4). e, v_0, S_s が一定なら大粒子ほど効果は大きい。(5). e, v_0 が常用範囲と大きく超えると、 e, v_0 が大きいほど効果は減ずる。(6). $e \approx 30\%$ (大粒 2~1.2^{mm}) ~ $e \approx 60\%$ (小粒 0.4~0.3^{mm}) 以上では e の増すほど効果の上昇が鈍る。

以上は均等砂戸についての基礎的研究であり、戸化戸ではこれらの効果の総合と考えられる。