

汚泥貯溜槽機構と設計に関する考察

正員 川 島 普*

MECHANISM AND DESIGN THEORY OF SLUDGE POOL

(JSCE June 1955)

Hiroshi Kawashima, C.E. Assoc. Member

Synopsis In sludge pool, settling and digestion tanks where sewage sludges are stored and separated, the sludges finally deposit on the tank bottom form a continuous body due to their mutual binding effect after being introduced initially to suspended state, then to coagulated hindered settling. The final state of consolidation caused by their own weight were theoretically considered, flowing condition, sludge behavior analysed. Consequently, several new ideas were proposed upon (1) controlling procedures of sludge concentration at influent, sludge quality and continuous settling period for better efficiency of storing operation and (2) choosing principle of Height-Depth Ratio for more reasonable design of the tank.

要旨 下水汚泥を貯溜分離する型式の貯溜、沈澱、消化などの諸槽中に流入した汚泥は、懸濁状態、凝集干渉沈降を経て底部に堆積し、一つの連がり合つた塊を形成し、自重による圧密状態となる。これを圧密理論で考察し、槽内の流動状況と汚泥挙動について検討し、(1) 操作上の貯溜効果向上に必要な流入濃度、汚泥性状、連続操作時間等の調整方式、(2) 設計上の高さ一直径比の合理的選定方針などについて二、三の提案を行った。

1. 活性汚泥沈降特性

floc 系物質の一般沈降特性は定速期間と減速期間とからなるといわれるが、下水における高濃度の処理過程での活性汚泥の沈降特性は減速期間に相当するものと思われる。著者は減速期間を2期に分けて凝集干渉沈降期間と自重圧密沈降期間とした。後者については圧密理論を適用してすでに解析を発表したが¹⁾、前者については solid fraction S_0 の変化に注目して考察を行うことにした。この S_0 とは、濡れた状態での汚泥最小容積に対して、任意時間において汚泥の占める容積の比を示す数値で¹⁾、始めの均一分布状態を S_{00} で示す。圧密を始めたときを S_{0c} とすると、昭和28年初夏における京都市の活性汚泥の実験の結果、 $S_{0c}=0.175$ 程度であつた。後述のようにこのときに生ずる間隙水の上向流れの速度 $v_c' = (k/r_w)(\partial w/\partial z)_{z=0}$ は、圧密時間 $t=0$ において $v_c' = k r_s/r_w = k \rho_s/\rho_w$ となる。ここで k は浸透係数、 w は過剰圧力、 $r_s = \rho_s g$ は水中の汚泥密度、 $r_w = \rho_w g$ は水の密度、 z は汚泥層表面より下向きにとつた座標である。圧密沈降速度 v_c は一般に圧密変形量を ΔV 、圧密高 S_t 、断面積 A とすると、 $\int_0^t v_c dt = \Delta V/A = S_t$ で、 $t=0$ から1分間

の平均 v_c は、 $\text{mean } v_c = \Delta V/(60 A)$ となる。さらに圧密中の汚泥の porosity を λ とすると、 $A \int_0^t \lambda v_c' dt = \Delta V$ で

$$v_c = \lambda v_c' = (1 - S_0) v_c' \dots \dots \dots (1)$$

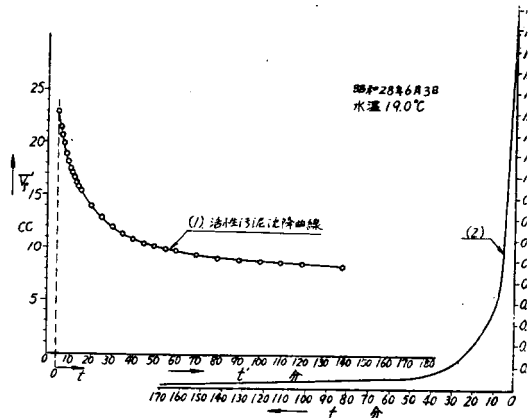
の関係が成立する。

$t=0$ における v_c は式 (1) で $S_0 = S_{0c} = 0.175$ を用い

$$v_c = 0.825 v_c' = 0.825 k \rho_s/\rho_w \dots \dots \dots (1')$$

となる。この関係を小実験で求めておくと、実際池へ応用できる。100 cc メスシリンダー内での活性汚泥沈降実験、及び解析の一例を 図-1 (1)、(2)、表-1 に示す。 ν : 動粘性係数、 t' : 測定時間、 t : 圧密時間とする。

図-1



V_{p30} : 沈澱時間 30 分の汚泥容積 (cc), w_m : 汚泥乾燥重量 (g), ν_{15}, ν_t : 水温 15°C 及び t °C (測定時の動粘性係数 (cm²/sec) とすると、汚泥性状係数 β (cc/g) は²⁾,

* 大阪工業大学助教授 土木工学教室

表-1 (A=6.21 cm², S₀₀=0.040)

t (分)	0	0~1	5	10	16	21	26	36	
S ₀	0.175	0.186	0.219	0.251	0.285	0.308	0.330	0.363	
(kρ _s /ρ _w)×10 ⁻² (cm/sec)		0.466	0.303	0.235	0.200	0.177	0.164	0.136	
(νkρ _s /ρ _w)×10 ⁻⁴ (cm ³ /sec ²)		0.481	0.312	0.243	0.206	0.183	0.169	0.140	
46	56	66	76	86	96	116	136	24 hr	48 hr
0.392	0.408	0.425	0.439	0.444	0.448	0.465	0.495	0.571	0.571
0.120	0.103	0.0931	0.085	0.0765	0.0713	0.0594	0.0558	0.00615	0.00307
0.124	0.106	0.0961	0.0877	0.0789	0.0736	0.0613	0.0576	0.00634	0.00317

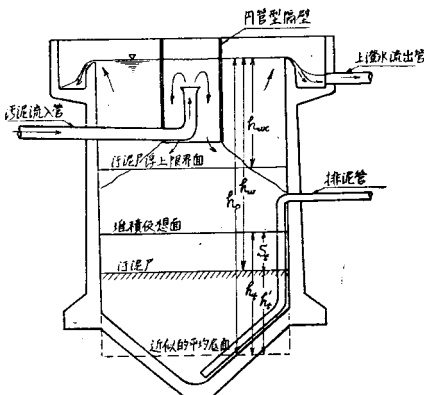
$$\beta_{15} = (V\rho_{s0}/w_m)(v_{15}/v_t)$$

であるが、活性汚泥については $\beta_{15} = 60(\text{cc/g})$ 程度である。Kalinske³⁾ は他から流入のない一定量の静置沈降中の懸濁物質について、濃度は均一で下部から逐次層状に沈降堆積すると考え、定速期間の沈降速度を v_s' として

$$v_s' = v' - k'S_{00}$$

ここに k' : 懸濁質の型による常数, v' : 自由沈降速度, S_{00} : 初期濃度 = const. として表わした。これは干渉沈降のみを考慮したもので、さらに凝集沈降の影響が加わると一定ではなくなり変化するはずである。著者の観測によれば高濃度の活性汚泥の blanket の沈降速度は S_0 の増加につれて減少する。これらの観測、解析の結果、著者は凝集物の一般沈降特性を三段階に考え、第一段階は粒子的性格の強い干渉沈降期間、第二段階は blanket を生じた凝集干渉沈降期間、第三段階は圧密沈降期間から成るものと考えた。いま問題としている貯溜槽の活性汚泥の場合の多くは第二段階の場合で、高濃度の汚泥は槽内流入攪乱後しばらくして完全な blanket を形成し第三段階に入り沈降するものと考えられる。結局活性汚泥の第二段階の沈降速度 v_s' は、 S_0 を時間の函数、 c' を活性汚泥性状によつてきまる常数として、式 (1)' の v_c を基準に

図-2



とり、 $S_0 \leq S_{0c}$ の範囲に対して、

$$v_s' = v_c + c'(S_{0c} - S_0) \dots \dots \dots (2)$$

とおく方が便利である。

2. 堆積速度 v_s , 仮想堆積厚 h_t

図-2 の貯溜槽において、始めに槽内には下水上澄水のみが満水してお

り、貯溜濃縮の目的で排汚弁は閉じたまま、連続流入時間 T の間、流入口から上向きに一定の割合で単位時間に Q の流入量があり、上澄水は周壁から越流するものとする。流入及び流出流線の影響は、槽上部付近で大きく、流入懸濁中の汚泥は槽内 η 領域に拡散分布され、自重によりこの状態から沈降を始める。流入の S_0 を S_{0r} , 槽の初期水深を h_0 , 時間 t における仮想堆積厚を h_t , 実際堆積厚を h_t' , 汚泥上水深を h_w , 初期懸濁部分と槽容積の比を $\eta = V_\eta/V_0$, ただし $S_{00} = V_s/V_\eta$ とすると、 η は実験できることが出来る。時間 t における懸濁中の汚泥量は、

$$QS_{0r}t - S_{0c}A \int_0^t v_s dt = \eta S_{00}Ah_0t - S_{0c}Ah_t$$

Solid fraction は、

$$S_0 = (\eta S_{00}h_0t - S_{0c}h_t) / (\eta h_0 - h_t') \dots \dots \dots (3)$$

v_s' で沈降した汚泥は v_s で堆積するから、

$$A \int_0^t S_0 v_s' dt = S_{0c}A \int_0^t v_s dt \dots \dots \dots (4)$$

式 (2), (3) を式 (4) へ代入して、

$$v_s = \left(\frac{v_c}{S_{0c}} + c' \right) \left(\frac{\eta S_{00}h_0t - S_{0c}h_t}{\eta h_0 - h_t'} \right) - \frac{c'}{S_{0c}} \left(\frac{\eta S_{00}h_0t - S_{0c}h_t}{\eta h_0 - h_t'} \right)^2 = aS_0 - bS_0^2 \dots \dots \dots (5)$$

式 (5) より、 $S_0 = a/2b = (v_c + c'S_{0c}) / (2c')$ で v_s は最大値となり

$$\max v_s = a^2/4b = (v_c + c'S_{0c})^2 / (4c'S_{0c}) \dots \dots \dots (6)$$

$$h_t' = \left(\int_0^t v_s dt - S_t \right) = (h_t - S_t) = h_0 - h_w \dots \dots \dots (7)$$

$v_s = f(S_0)$, $S_0 = \varphi(t)$ であるから、 $dS_0 = \varphi'(t)dt$

$$\therefore h_t = \int_0^t v_s dt = \int_0^t f(\varphi(t)) dt = \int_0^t (aS_0 - bS_0^2) dt \dots \dots \dots (8)$$

間歇方式の場合は、越流しないので空の貯溜槽に $S_{0r}V_0$ だけ流入攪乱した汚泥の静置沈降の問題となり、均一

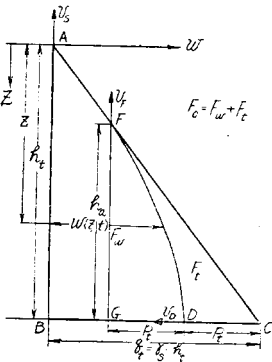
分布の状態から一定の割合で層状に堆積するものと考えると、式(2)で $\eta=1$, $S_{00}=V_s/V_0$ として、 $QS_{00}t = S_{00}Ah_0t = S_{0c}h_tA$ の関係から次式をうる。

$$h_t = (Q/A)(S_{0r}/S_{0c})t = (S_{00}h_0/S_{0c})t \dots\dots (9)$$

3. 圧密沈下高 S_t

貯溜槽における汚泥層の圧密は、厚さが時間の函数として変化する場合の圧密となるが、その進行状況を近似解⁹⁾で考察してみよう。

図-3



堆積した汚泥層の荷重面は図-3のような自重による三角荷重面となるが、その圧力線は放物線とし、底面は不浸透層、圧力は初期で $q_t = \gamma_s \cdot h_t$, t だけ時間を経た後では、汚泥層実質が p_t だけの圧力を受持つとすれば、圧密伝導度 c を用いて

$$p_t = \sqrt{\frac{3}{2}} ct \gamma_s \dots\dots (a)$$

さらに、図-3で

$$v_D = dp_t/dt = (\gamma_s/2)\sqrt{3c/(2t)} \dots\dots (b)$$

$$v_F = dh_a/dt = \sqrt{3c/(2t)} \dots\dots (c)$$

$h_a = h_t$ となる時間 t_c は、

$$h_a = \int_0^{t_c} v_F dt = \int_0^{t_c} \sqrt{3c/(2t)} dt = \sqrt{6ct_c} \dots\dots (d)$$

$$\therefore t_c = h_t^2/(6c) \dots\dots (e)$$

t_c を大きくすると、圧密は堆積厚さの影響をうけないうで、汚泥の c に相当した時間の函数として進行する。 T における S_T は、 ϵ_0, ϵ_e を圧密の始めと終りにおける汚泥の空隙比、圧密度 $\mu = F_T/F_0$ とすると、

$$S_T = \left. \begin{aligned} & \frac{\epsilon_0 - \epsilon_e}{1 + \epsilon_0} \frac{1}{2} h_T^2 \gamma_s - \frac{2}{3} h_T w_{T, h_T} \\ & \frac{1}{2} h_T^2 \gamma_s \end{aligned} \right\} h_T \quad (f)$$

$$0 \leq T \leq h_T^2/6c,$$

$$w_{T, h_T} = \gamma_s \cdot h_T \left(1 - \frac{1}{h_T} \sqrt{3cT/2} \right)$$

4. 流出速度 u

越流点において、これを simple sink とし、IV象限内で近似的に source がこの象限内で無限遠にある場合と考えることができる。流入点強さを ($-m$) とし、流入点の奥行単位長さについての流入総量 q は weir loading であつて、 $q = -\pi m/2 = -Q/\pi D$, \therefore

$$m = (2/\pi)(Q/\pi D), \text{ 速度ポテンシャルを } \varphi \text{ とすると,}$$

$$\text{半径 } r \text{ 方向の流入速度は } \partial\varphi/\partial r \text{ であるから } -\pi m/2$$

$$= (\pi/2)(\partial\varphi/\partial r)r, \therefore \partial\varphi/\partial r = -m/r, \varphi = -m \log_e r$$

$$u = \partial\varphi/\partial r = -(2/\pi)(Q/\pi D)(1/r)$$

$$= -2/(\pi^2 D h_w) \dots\dots (10)$$

$|q| = (Q/\pi D)$ を小さくすれば越流効果は向上する⁹⁾。weir loading q は blanket を生ずる下水タンク設計に重要な一因子であるし、下水沈澱池においても考慮を要する。

5. 越流部における汚泥挙動と浮上限界

越流点に原点、水面を x 軸、壁面にそつて鉛直に y 軸をとり、 y 軸から角度 θ をとつて極座標とする。 (x, y) における汚泥が一定の終速度 v_s' で沈降し、越流点から u の吸引力をうけてその合力の方向に運動する場合について、

$$\left. \begin{aligned} -dx/dt &= u \sin \theta \\ dy/dt &= v_s' - u \cos \theta \\ u &= 2Q/(\pi^2 D r), \quad x = r \sin \theta, \quad y = r \cos \theta \end{aligned} \right\} (11)$$

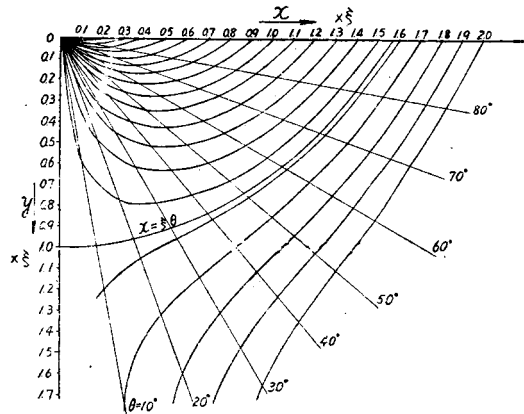
これを解くと、 $r \sin \theta = (2Q/\pi^2 D v_s')\theta + C$, $\theta = \theta_0$, $r \sin \theta = x_0$ とおいて C を求めると、

$$x = x_0 - (2Q/\pi^2 D v_s')(\theta_0 - \theta) \dots\dots (12)$$

$\theta_0 = \pi/2$ として式(12)を計算すると図-4が画ける。 $x_0 = (\pi/2)\xi$ の軌跡は $\theta = 0$ で $x = 0$, $y = (2Q/\pi^2 D v_s') = \xi$ となり、これが浮上限界線(3次元的には面)となるが、その方程式は次式で示される。

$$x = \xi \theta \dots\dots (13)$$

図-4



浮上限界線は、1個の v_s' に対して1個決定され、 ξ 値を定めさえすれば、図-4は基本図として利用できる。別に越流効果を考慮した代表的 v_s' 値に対する浮上限界面外の領域を η' 領域とし、後で論ずる。

6. 汚泥 blanket 上の許容限界水深 h_{wc} , 連続流入時間 T

操作中の槽内では、 v_s, v_s' のほかに、汚泥 blanket 表面から上部へ逸脱する間隙水の上向流による速度 v_c' 、流入速度 v が考えられる。これら相互の影響は操作末期では考慮せねばならない。また、懸濁沈降中の汚泥及び圧密中の汚泥層を攪乱しないで速やかに沈降堆積圧密することが必要で、このために次の条件を満たすことが望ましい。

(周壁部において), $v_s' > u + v_c'$ (14)

(中心部において), $V_c > v_s' + v$ (14)'

V_c は汚泥 blanket が洗掘攪乱をおこさないための限界流入速度で、 h_w が小さくなれば V_c も小さくなる。 V_c の値は実験的に求められる。Vertical flow tank では下水の上向の速度は、除去される懸濁物質の hydraulic subsiding value より小さく、0.03in/sec₂ の限界値または 9 ft/h が一般に用いられているようである⁹⁾。

三角荷重面、底面不浸透層の過剰圧力 w は¹¹⁾,

$$w(z, t) = \frac{8}{\pi^2} q t \sum_{m=1,2,3,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^{m+1}}{(2m-1)^2} \exp \left[- (2m-1)^2 \frac{\pi^2}{4} \frac{c}{h_t^2} t \right] \sin \frac{(2m-1)\pi}{2} \frac{z}{h_t}$$

$$(\partial w / \partial z)_{z=0} = (4/\pi) r_s \sum_{m=1,2,3,\dots}^{\infty} (-1)^{m+1} / (2m-1) = r_s$$

$$\therefore v_c' = (k/\tau_w) (\partial w / \partial z)_{z=0} = k r_s / \tau_w = k \rho_s / \rho_w \dots \dots \dots (15)$$

$t=T$ で $h_w = h_{wc}$ とすると、周壁部において、 $u = 2Q/(\pi^2 D h_{wc})$ である。式 (14) から、

$$h_{wc} > \frac{2Q/\pi^2 D}{v_s' - k \rho_s / \rho_w} \dots \dots \dots (16)$$

式 (3) から、

$$S_{OT} = (\eta S_{O0} h_0 T - S_{Oc} h_T) / (\eta h_0 - h_T')$$

$$= \{ \eta S_{O0} h_0 T - S_{Oc} (h_{wc} - S_T) \} / \{ \eta h_0 - (h_0 - h_{wc}) \} = \{ \eta S_{O0} h_0 T - S_{Oc} (h_{wc} - S_T) \} / \{ h_{wc} - h_0 (1 - \eta) \} \dots \dots \dots (3)'$$

$$T = \frac{\{ h_{wc} - h_0 (1 - \eta) \} S_{OT} + S_{Oc} (h_{wc} - S_T)}{\eta S_{O0} h_0} \dots \dots \dots (17)$$

7. 貯溜数 \bar{S} と操作法

連続流入時間後の槽内堆積汚泥重量に対する槽内に満水した重量の比を貯溜数と定義する。

$$\bar{S} = A h_T r_s / A h_0 r_w = h_T \rho_s / h_0 \rho_w = h_T' \rho_s' / h_0 \rho_w \dots \dots \dots (18)$$

T において \bar{S} の値を大きくするように操作すればよいが、予備実験で c, η, c', v_c 等がわかつており、 $S_0 = \phi(t)$ が実験的に求まっていると、

(A) Q, S_{Or}, h_0, D が既知で T を求めるには、 h_{wc}

をきめ、 T を仮定して式 (8) から h_T を計算し、式 (f) から S_T を求めて式 (3)' で求めた S_{OT} 値とともに式 (17) に代入して T を求める。

(B) $Q S_{Or} = \text{const.}$ として任意の値をとりうる場合は $T \leq h_T^2 / 6c$ の条件を満足させるか、人工的に ρ_s を大きくし、 v_s' ならびに c を大きくして^{7), 8)}、 $T \leq h_T^2 / 6c$ を満足させる。

(C) Q か S_{Or} を変化させる場合は式 (6) から常に S_0 が $\max v_s = \text{const.}$ となるよう持続すればよい。

$$(v_c + c' S_{Oc}) / 2c' = \left(\int_0^t Q S_{Or} dt - S_{Oc} A h_t \right) / (\eta A h_0 - h_t' A) \dots \dots \dots (19)$$

$\alpha = (v_c + c' S_{Oc}) / 2c'$ 、 $\beta = (v_c + c' S_{Oc})^2 / 4c' S_{Oc}$ とともに常数。

$$h_t = \max v_s t = \beta t, \quad h_t' = \max v_s t - S_T = \beta t (1 - \mu \Phi),$$

$$\Phi = (\epsilon_0 - \epsilon_e) / (1 + \epsilon_0)$$

式 (19) から

$$\int_0^t Q S_{Or} dt = \alpha \eta A h_0 - \alpha \beta t (1 - \Phi \mu) A + S_{Oc} A \beta t,$$

$$\therefore Q S_{Or} = A \beta \{ S_{Oc} - \alpha + \alpha \Phi \mu + \alpha \Phi (d \mu / dt) t \} \dots \dots \dots (20)$$

$$T = (h_0 - h_{wc}) / \beta (1 - \mu T \Phi) \dots \dots \dots (21)$$

一般に、 $\mu = F_t / F_0 = (1/\beta) \sqrt{8c/\beta^3 t} - 1/3$

$$d \mu / dt = (-1/2 \beta) \sqrt{8c/(3 t^3)}$$

式 (20) は

$$Q S_{Or} = A \beta \left[S_{Oc} - \alpha - \frac{\alpha}{3} \Phi + \frac{\alpha \Phi}{2 \beta} \sqrt{\frac{8c}{3 t}} \right] \dots \dots \dots (22)$$

$h_t^2 / 6c \leq t$ では、

$$\mu_t = 1 - (2/3) \exp \left[- \left(\frac{3c}{\beta^2 t} - 0.5 \right) \right],$$

$$d \mu_t / dt = (-2c/\beta^2) \frac{1}{t^2} \exp \left[- \left(\frac{3c}{\beta^2 t} - 0.5 \right) \right]$$

$$Q S_{Or} = A \beta \left[S_{Oc} - \alpha + \alpha \Phi \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{3c}{\beta^2 t} - 0.5 \right) \right] \right\} (2/3 + 2c/\beta^2 t) \right] \dots \dots \dots (23)$$

すなわち、 $t \geq 6c/\beta^2$ の範囲では $Q \cdot S_{Or}$ は式 (22)、 $t \leq 6c/\beta^2$ では式 (23) となり、ともに時間の函数となる。

8. 合理的設計法

圧密の面からは、槽が深いほど有利であるが、一方 weir loading の点で考慮を要する。また前記 η と η' については $\eta = \eta'$ として均一拡散沈降させることが望ましい。代表的沈降速度 v_s' に対して h_{wc} を求め、槽半径 $r = (\pi/2) h_{wc}$ とすれば槽断面積 $A = 7.747 h_{wc}^2$ となり、流入部をこの円の中心に設けると合理的

設計となる。A.A. Kalinske は、 $r < 2\varepsilon$ を合理的としている³⁾。上の A の式を用いると h_0 及び h_0/D は次のようになる。

$$A = (S_{or}/S_{oo})(Q/h_0\eta),$$

$$V_0 = \left(\int_0^T v_s dt - S_T + h_{wc} \right) A$$

$$\therefore h_0 = (S_{or}/S_{oo})Q / (7.747 \eta h_{wc}^2) \dots \dots (24)$$

$$\begin{aligned} h_0/D &= (S_{or}/S_{oo})Q / (24.42 \eta h_{wc}^3) \\ &= V_0 / (24.42 h_{wc}^3) = \left(\int_0^T v_s dt \right. \\ &\quad \left. - S_T + h_{wc} \right) / (3.15 h_{wc}) \dots \dots (25) \end{aligned}$$

9. 結 び

以上を総括して次の結論をえた。

(1) 活性汚泥の沈降性は圧密理論を適用した著者の解析法で求められる。(2) 連続操作の場合は、圧密進行を堆積の影響なく迅速にするため、汚泥の圧密伝導度 c を大きくして、しかも堆積速度を大きくし、 $T < h_T^2/6c$ の範囲内とする。(3) 越流部は sink と考えて吸引速度 u を求め、浮上限界線(面)を求めることができる。Weir loading は小さいほど越流効果は向上する。(4) 汚泥層間隙上向流、流出流線を考慮して汚泥層の許容限界水深が求まるし、連続操作時間もきまる。(5) QS_{or} を変化させると、堆積速度 v_c を最大に保つことができる。(6) 流入分布 η と沈降分布 η' とを一致させるように設計するのが望ましく、これで最小槽断面積が求まる。(7) h_0/D の比は v_s, T の函数として表示でき、この値は貯溜数を大きくするようにきめることが望ましい。

以上は下水における貯溜の目的を考えると広範囲に適用可能で、たとえば尿尿のみを貯溜する場合にも適用できるが、上記の物理的現象以外に、活性汚泥の bulking⁹⁾、消化腐敗作用、ガス発生や保温効率等の

諸現象をも考慮する必要があり、われわれはこうした広い意味での研究を、近く大規模な実験装置で開始する予定である。

本論の特徴は Kalinske 理論³⁾ では無視されていた汚泥の流入及び圧密状況を新たに考慮した点にあり、その概要はすでに発表した¹⁰⁾、この研究を進めるに当り終始懇篤な指導を賜つた京大、岩井重久教授に深謝の意を表し、さらに研究費の援助を頂いた文部省、厚生省、其他関係各方面に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 川島普：砂ろ過閉塞に関する考察(第2報), 水道協会雑誌, 226号, 昭28-8
- 2) 川島普：Floc 吸着数と浸透特性の考察, 土木学会第10回年次学術講演会にて講演, 昭.29-5
- 3) A.A. Kalinske: "Settling characteristics of suspensions in water treatment process", Journal of American Water Works Association, 1948, p. 113
- 4) Terzaghi, Frölich: Theorie der Setzung von Tonschichten.
- 5) 岩井重久, 川島普, 堤武：下水沈澱池の Outlet zone における Weir loading に関する実験, 第5回上下水道研究発表会にて講演, 昭.29-10-21
- 6) Metcalf and Eddy: American Sewerage Practice. Vol. III, p.340
- 7) 田中寅男：核心媒材を用ふる促進汚泥沈澱新方法, 水道協会雑誌, 4号 p.21 昭.8-5
- 8) 柴田三郎：促進汚泥の沈澱時間短縮に関する一研究, 水道協会雑誌, 5号, p. 9, 昭.8-7
- 9) 柴田三郎：活性汚泥の「バルキング」, 水道協会雑誌, 64号, p.23, 昭.13-9
- 10) 岩井重久, 川島普：汚泥貯溜槽設計理論(第1報), 第5回上下水道研究発表会にて講演, 昭.29-10-21 (昭.29.11.22)

土 木 工 学 叢 書

岡田信次著	鉄道線路	B・5版 168ページ	350円(〒70円)
杉戸清著	下水道学(前編)	B・5版 258ページ	500円(〒70円)
同	下水道学(後編)	B・5版 238ページ	500円(〒70円)
福田武雄著	木構造学(再版)	B・5版 243ページ	500円(〒70円)
横道英雄著	鉄筋コンクリート橋(三版)	B・5版 469ページ	1300円(〒80円)
岡本舜三著	応用力学	B・5版 130ページ	350円(〒70円)

◀各点とも上質紙使用・堅牢函入豪華本……御申込は土木学会へ▶

東京・千代田区・大手町2-4・・・土木学会 電(20)3945.4078・振替 東京 16828番