Ⅱ-120 汚泥の濃縮，脱水過程における有効応力と変形仕事量

大阪工業大学土木工学教室　正員　工博　川島　普

1. はしがき　沈降濃縮，真空ろ過，フィルタープレス，遠心濃縮，遠心脱水による汚泥の濃縮，脱水機構を圧密理論で解析し，汚泥内の平均有効応力とひずみの関係から変形仕事量を算定し比較考察を行った。

2. 平均有効応力　(a)自重圧密[1]：平均有効応力$\bar{\sigma}_s=\bar{P}_s$，γ_s'＝水中の浮力を差引いた汚泥の単位重量，l_0＝初期汚泥厚，μ_a＝圧密度，τ＝時間係数＝$C_v t/l_0^2$，C_v＝圧密係数，t＝圧密時間とし，三角形荷重面について

$$\mu_a = 1-\frac{32}{\pi^3}\sum_{m=1,2,\cdots}^{\infty}\frac{(-1)^{m+1}}{(2m-1)^3}\exp\left\{-(2m-1)^2\frac{\pi^2}{4}\tau\right\} \qquad (1)$$

$$\bar{\sigma}_s=(\gamma_s' l_0/2)\,\mu_a \qquad (2)$$

(b)定圧ろ過，フィルタープレス[2)3)]：P＝吸引圧力（加圧力），P_d＝ろ材（ろ布）の透水抵抗による圧力損失，$P-P_d$＝一定として，上面不透水，下面透水性（両面透水性）の矩形荷重面として解析し

$$\mu_b = 1-\frac{8}{\pi^2}\sum_{m=1,3,5,\cdots}^{\infty}\frac{1}{m^2}\exp(-m^2\pi^2\tau) \qquad (3)$$

$$\bar{\sigma}_s=(P-P_d)\,\mu_b\,,\quad \tau=C_v t/l_0^2 \qquad (4)$$

(c)遠心分離機[4)5)]：ρ_s＝汚泥密度，ω＝回転角速度，l_0＝初期汚泥厚とし，圧密による汚泥層の変位が遠心力に及ぼす影響を無視して解析すると

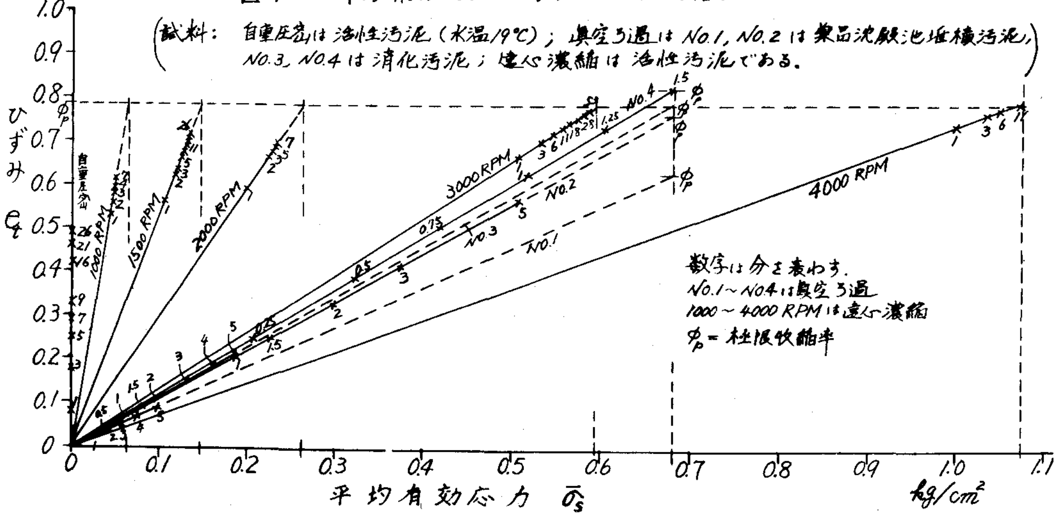
$$\mu_c = 1-\frac{96}{\pi^4}\sum_{n=1,2,\cdots}^{\infty}\frac{1}{(2n-1)^4}\exp\left\{-(2n-1)^2\pi^2\tau\right\} \qquad (5)$$

$$\bar{\sigma}_s=\frac{\rho_s\omega^2 l_0^2}{12}\mu_c\,,\quad \tau=C_v t/l_0^2 \qquad (6)$$

(d)遠心脱水機：R＝回転軸中心から汚泥層初期表面までの半径，l_0＝初期汚泥厚とおき，(c)と全じ仮定で解析して

$$\mu_d = 1-\frac{12}{(3R+l_0)\pi^2}\left[(2R+l_0)\sum_{n=1,2,\cdots}^{\infty}\frac{1}{(2n-1)^2}-\frac{4l_0}{\pi^2}\sum_{n=1,2,\cdots}^{\infty}\frac{1}{(2n-1)^4}\right]\exp\left\{-(2n-1)^2\pi^2\tau\right\} \qquad (7)$$

図-1　平均有効応力とひずみの関係総括図



$\overline{\sigma_s} = (\rho_s \omega^2 l_0 (3R + l_0)/6)\mu_d$, $\tau = C_v t/l_0^2$ (8)

3. 平均有効応力とひずみの関係

(a)~(d)について，汚泥に負荷される外力は異ってもそれぞれの場合の平均有効応力 $\overline{\sigma_s}$ とひずみ e_t の関係は直線関係を示す。(a), (b), (c)につき，$\overline{\sigma_s}$ と e_t の実測例による計算値を図－1に総括して示した。

4. 変形仕事量

Terzaghi の圧密理論の基本仮定であるバネ構造で示される完全弾性体としての取扱いのもとで，つながった組織の汚泥層の濃縮，脱水によるひずみは可逆的ではないが，特有の比例常数によって平均有効応力に比例するので，変形仕事に関する Castigliano 氏定理[6]を汚泥の場合に拡張して，ΔV＝変形量，P＝外力，W＝変形仕事量，V＝初期汚泥体積とおくと，直圧力による変形仕事量は $W = (\overline{\sigma_s}^2/2E_s)V$，$E_s$＝比例常数であるので

$$\Delta V = \partial W/\partial \overline{\sigma_s} \qquad (9)$$

が成立することが証明できる。

5. 変形仕事量とひずみの関係

(a)~(d)につき W/V を求めると

$$\left.\begin{aligned}
&(a)\ W/V = \left(\frac{\overline{\sigma_s} l_0}{2}\mu_a\right)(e_t/2) = \overline{\sigma_s}(e_t/2)\\
&(b)\ W/V = \{(P-P_a)\mu_b\}(e_t/2) = \overline{\sigma_s}(e_t/2)\\
&(c)\ W/V = \{\rho_s\omega^2 l_0^2 \mu_c/12\}(e_t/2) = \overline{\sigma_s}(e_t/2)\\
&(d)\ W/V = \{\rho_s\omega^2 l_0(3R+l_0)\mu_d/6\}(e_t/2) = \overline{\sigma_s}(e_t/2)
\end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

となり，いずれの場合も

$$W/V = \overline{\sigma_s}(e_t/2) \qquad (11)$$

の関係が成立する。

6. 変形仕事量とひずみ計算例

(a),(b),(c)について上記理論による計算例を示すと図－2, 3, 4 となる。

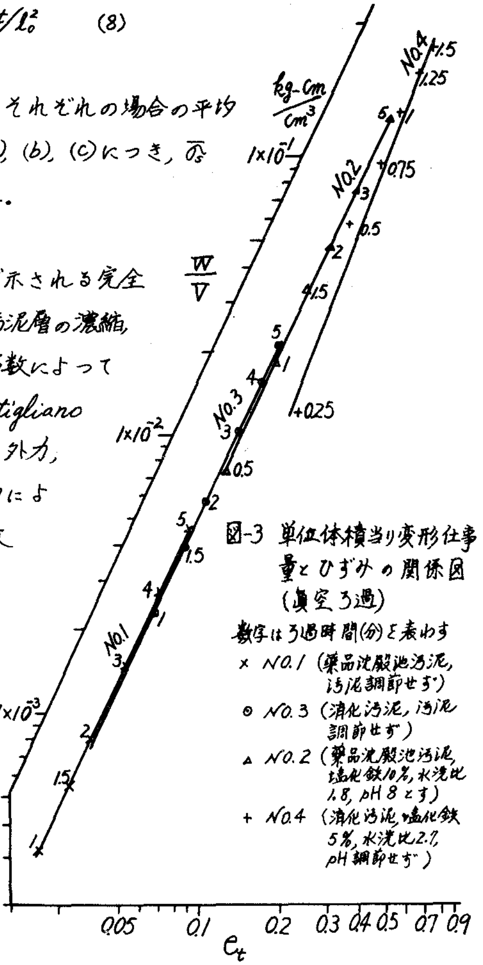


図-3 単位体積当り変形仕事量とひずみの関係図(真空ろ過)

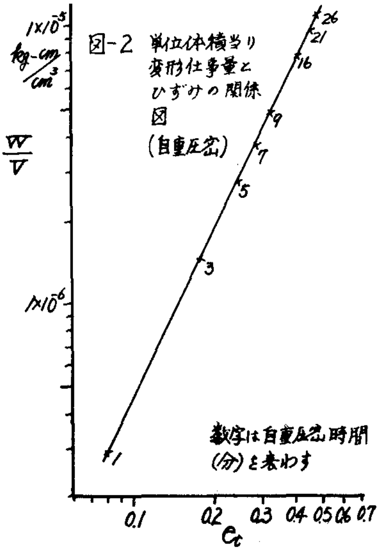


図-2 単位体積当り変形仕事量とひずみの関係図(自重圧密)

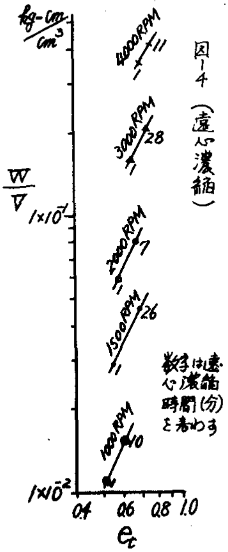


図-4 (遠心濃縮)

参考文献

1)川島普：水道協会雑誌，226号，pp.39~44，昭28-8； 2)川島普：水処理技術，Vol.1，No.3，pp.33~40，昭35-8； 3)川島普：水処理技術，Vol.3，No.7，pp.29~40，昭37-7； 4)川島普：水道協会雑誌，254号，pp.31~43，昭30-12； 5)川島普：水処理技術，Vol.2，No.2，pp.33~38，昭36-2； 6)鷲部屋福平：不静定應力理論と其應用，p.29，アルス，昭18-11