

大阪大学工学部 正会員 ○橋本 奨
大阪大学工学部 植村康成

1. はじめに

近年の下水道整備に伴い、大量に発生する下水汚泥の処理処分問題を汚泥の粘性流動学的な性質をベースにして見直そうとする試みがなされるようになってきた。しかし、従来より汚泥の流動特性はずり応力とずり速度の関係式で表され、チクソトロピー性等、時々刻々変化する汚泥への適応は困難であった。ここでは下水汚泥の流動特性を表すのにCasson流動方程式を取り上げ、さらにこの式にチクソトロピー性挙動をも組み込んだ“修正Casson流動方程式”を提案して、様々な性状を持つ下水汚泥について、本式の成立条件を種々検討した。

2. 流動特性理論

○ 流動方程式： 一般の流体の流動方程式は次式で示される。

$$\tau = \tau_y + \eta' G^n \quad \text{----- (1)}$$

τ : ずり応力 (dyne/cm²) η' : 粘性係数
 G : ずり速度 (1/sec) n : 粘性指数
 τ_y : 降伏値 (dyne/cm²)

既往文献によると、下水汚泥はこれまでビンガム流体（(1)式で $n=1$ ）、或いは構造粘性流体（(1)式で $\tau_y=0$, $0 < n < 1$ ）として取り扱われてきた。しかし実際の下水汚泥は、この両特性を合わせ持っているので、従ってここでは、この様な幅広く多様な流動特性に対してうまく説明でき且つ解析も極めて容易な次式で示したCassonの流動方程式¹⁾を取り上げることにした。

$$\tau^{(1/2)} = \tau_y^{(1/2)} + \eta_{\infty}^{(1/2)} G^{(1/2)} \quad \text{----- (2)}$$

η_{∞} : ずり速度無限大でのみかけ粘度 (g/cm · sec)

○ チクソトロピー性について： Nutting²⁾は時間とともに流動する物質に注目し、時間項 t を組み込んだ、より一般的な粘弾性方程式を実験的に導いた。この式を流体に適用すると次式が得られる。

$$\tau = \eta'' G^m t^a \quad \text{----- (3)}$$

η'' : 粘性係数 t : 時間 (sec)
 m : 定数 a : 定数

この(3)式は(1)式で $\tau_y=0$ の場合の流動方程式に時間項 t^a を組み込んだ流動方程式であることが判る。そこで(1)式と(3)式を比較すると、時間 t の付加された項の位置に着目でき、これを上述のCasson流動方程式に適用して時間項を考慮すると、次式の導出が推測される。

$$\tau^{(1/2)} = \tau_y^{(1/2)} + \eta_{\infty}^{(1/2)} G^{(1/2)} t^{\alpha} \quad \text{----- (4)}$$

α : 定数
 η_{∞}' : ずり速度無限大での粘性係数

以下この(4)式を修正Casson流動方程式と呼ぶことにする。(4)式は α の値が負の場合にはチクソトロピー性を、正の場合にはレオベキシー性を表すので、チクソトロピー性とレオベキシー性を合わせてチクレオ性と呼ぶことにすると、 α はチクレオ指数と呼ぶことができる。

3. 流動特性の測定方法

流動特性測定に用いたBL型粘度計（東京計器製）では、ずり応力 τ と粘度計指数 θ 、ずり速度 G とロータ回転数 N がそれぞれ比例関係にあるため、(4)式にこれらの関係を代入すると、次式が得られる。

$$\theta^{(1/2)} = \theta_y^{(1/2)} + K^{(1/2)} \eta_{\infty}^{(1/2)} N^{(1/2)} t^{\alpha} \quad \text{----- (5)}$$

θ : 粘度計指数 (deg) N : ロータ回転数 (rpm)
 K : 計器定数（測定に用いた2号ロータでは1/3） θ_y : 降伏値相当指数 (deg)

(5)式を用いると、後述の方法で t と α を求め、 $N^{(1/2)} t^{\alpha}$ を横軸に、 $\theta^{(1/2)}$ を縦軸にとり、デー

タをプロットすると、最小自乗法により傾きから η' が、切片から θ_y がそれぞれ求まる。

流動特性の測定は、第1図に示したように、時間とともにロータ回転数を変化させ、図中の○印の所で、その時のロータ回転数Nに対する粘度計指数 θ_N を読み取った。指数読み取り点は、6rpm/20secで上昇或いは下降するように定めた。又、これらの測定は $20^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ で行った。

○ α の算出：(5)式のチクレオ指数 α は、種々のチクレオ性を持つ汚泥の流動特性測定の結果、チクレオ性の他のパラメータである履歴面積を用いて、(6)式で求められることが判った。但しこの履歴面積は、第1図の方法で測定した流動曲線より(7)式で計算したものである。

$$\alpha = -S/A_r \quad (\text{第2図参照}) \quad \cdots (6)$$

$$S = \int_0^{G_{\max}} (\tau_1 - \tau_2) dG \quad (\text{第2図参照}) \quad \cdots (7)$$

α ：チクレオ指数（無次元） S ：履歴面積（dyne/cm²/sec）

τ_1 ：ずり速度上昇時の流動方程式 $\tau_1 = f_1(G)$

τ_2 ：ずり速度下降時の流動方程式 $\tau_2 = f_2(G)$

A_r ： $G_{\max} \times \tau_{\max}$ （dyne/cm²/sec）

○ Gt 相当時間 t^* の算出：橋本ら³⁾は、フロック破壊がずり速度 G と時間 t の積 Gt に影響を受けるとしている。ここでは、第1図の或る指数読み取り点までに与えられた Gt の総和をその読み取り点でのずり速度 G で与えるのに必要な時間を、 Gt 相当時間 t^* として、この t^* を用いて(5)式の解析に供した。粘度計では、ずり速度 G とロータ回転数 N が比例関係にあることから、第1図を基に計算した t^* の値を計算式とともに第1表に示した。

4. 実験結果並びに考察

消化汚泥及び葉注汚泥について、横軸に $N^{(1/2)} t^{*\alpha}$ を、縦軸に $\theta^{(1/2)}$ をプロットして(5)式で解析した例を、それぞれ第3図と第4図に示した。種々の下水汚泥について、ずり速度上昇の場合のプロットとずり速度下降の場合のプロットは、一直線上に乗り、修正Casson流動方程式の正当性が確認された。

5. むすび

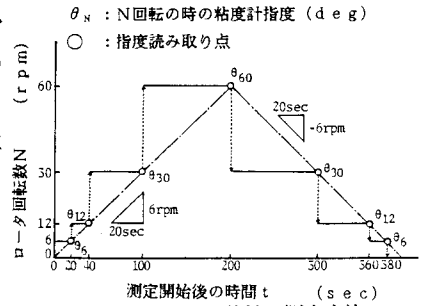
Casson流動方程式に、時間項を考慮し、チクレオ指数 α 及び Gt 相当時間 t^* を導入することにより、修正Casson流動方程式を導きこの式が種々のチクレオ性を持つ下水汚泥について成り立つことを確かめた。

一参考文献一

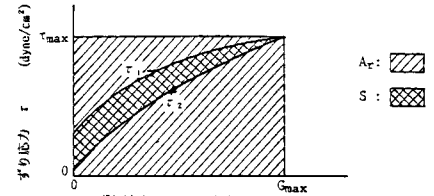
1) Casson, N. : Rheology of Disperse System, C.C.Milt, Pergamon Press, London, (1959)

2) 中川鶴太郎：レオロジー（第2版），岩波書店，pp187, (1978)

3) 橋本ら：活性汚泥のフロック強度試験に関する研究，昭和46年度日本醸酵工学会講演要旨集，(1971)



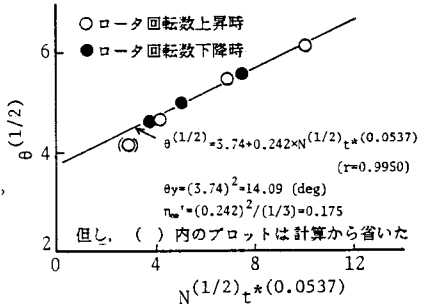
第1図 流動特性の測定方法



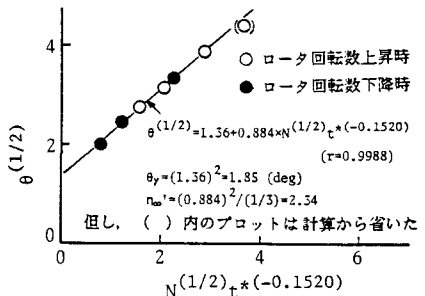
第2図 α の算出

第1表 Gt 相当時間 t^* の計算

t (sec)	N (rpm)	t^* (sec)	計 算 式
20	6	20	$(6 \times 20)/6$
40	12	30	$(6 \times 20 + 12 \times 20)/12$
100	30	72	$(6 \times 20 + 12 \times 20 + 30 \times 60)/30$
200	60	136	$(6 \times 20 + 12 \times 20 + 30 \times 60 + 60 \times 100)/60$
300	30	372	$(6 \times 20 + 12 \times 20 + 30 \times 60 + 60 \times 100 + 30 \times 100)/30$
360	12	990	$(6 \times 20 + 12 \times 20 + 30 \times 60 + 60 \times 100 + 30 \times 100 + 12 \times 60)/12$
380	6	2000	$(6 \times 20 + 12 \times 20 + 30 \times 60 + 60 \times 100 + 30 \times 100 + 12 \times 60 + 6 \times 20)/6$



第3図 消化汚泥の修正Cassonプロット



第4図 葉注汚泥の修正Cassonプロット