

Title	落球法による高含水比粘土の流動特性の一考察
Author(s)	庄子, 徹
Editor(s)	
Citation	大阪府立工業高等専門学校研究紀要, 1968, 1, p.65-71
Issue Date	1969-02-28
URL	http://hdl.handle.net/10466/12949
Rights	

落球法による高含水比粘土の流動特性の一考察

庄 子 徹*

(昭和42年9月30日 受理)

A study of flow properties of the clay with high-water-content by the falling-sphere method

The equation derived by Casson $P^{1/2} = K_0 + K_1 V^{1/2}$ fits the flow curves of the clay very well. The relationship between the intercept on the P -axis $Y (=K_0^2)$ and the water content $w(\%)$ is given by the expression $Y = a \cdot w^m$ ($m < 0$), where a and m are constants. At 200% of water content, the apparent viscosity of the clay decreases with increasing temperature.

1. はしがき

軟弱粘土地盤に盛土などによりある荷重がかかった場合、粘土の圧密および側方への流動などのために、盛土は沈下する。粘土の圧密については、すでに多くの研究がなされ、成果をあげている。粘土の側方流動についても、レオロジーの立場からいくつかの研究がなされている。

この研究もレオロジーの立場から落球法によって、非常に含水比の高い粘土の流動特性を調べたものである。粘土中を落下する球の表面におけるせん断力 P およびせん断ひずみ速度 V を求め、ストークスの法則を使って流動曲線を求めた。つぎに温度による粘土の粘度の変化の様子をしらべた。

2. 実験方法

実験に用いた試料は、図-1のような粒径加積曲線を示し、三角座標による分類では、粘土に相当する。なお、土粒子の比重は2.71、液性限界90.5、塑性限界35.5、塑性指数55.0である。

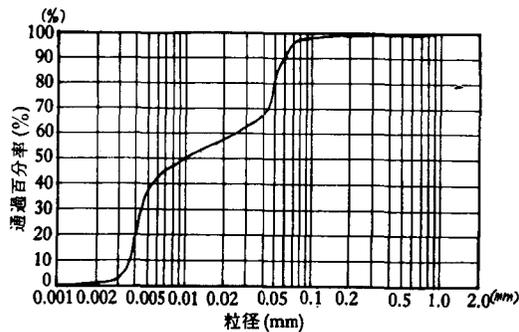


図-1 粒径加積曲線

* 土木工学科

この粘土をミキサーに入れ、水と15分間混合し、直径20 cm、高さ70 cmの円筒状容器に、空気になるべくまじらないように注意して入れ、5分間放置する。ついで図-2のよう

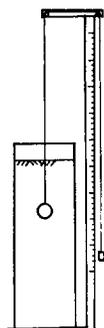


図-2 試験装置

に、鋼球を落下させる。この鋼球には図-2のように細いテグスを付け、counter weight によって鋼球の見掛けの密度を調節できるようにする。鋼球が落下し始めてから一定の終端速度に達するまでに多少の時間を要し、また容器の底に近づくと、end effect を受けて速度が変化するので、一定速度を保つと思われる中間部分で落下速度を求める。鋼球のみかけの密度、粘土の密度、鋼球の半径、落下速度から粘性率変数を計算し、流動曲線を求める。鋼球を一回落とすと粘土は乱されて、初めの状態と異なってくるから、そのたびに粘土をミキサーにもどし混合する。

このような実験を、14°Cにおいて含水比を190%から600%まで変化させ、鋼球の直径も50.00 mm, 39.85 mm, 30.05 mmと変化させて、流動曲線を求めた。

つぎに、温度による粘度の変化の様子を調べるために、含水比約200%において、直径50.00 mmの鋼球に、210 gのcounter weightをつけて落下させた。その際、粘土の温度を約14°Cから約25°Cまで変化させた。

落球式粘度計は、粘性流体中の球の運動に関するストークスの法則を利用したものである。半径 a (cm) の球を粘度 η (poise) の液体中に落とすと、重力と粘性抵抗がつりあったとき定常速度に達する。この落下速度を計れば、つぎの式により液体の粘度を求めることができる。

$$\eta = \frac{2g a^2 (D - \rho) t}{9L}$$

ここに、 g は重力の加速度 (cm/sec^2)、 D は球の密度 (g/cm^3)、 ρ は液体の密度 (g/cm^3)、 L は落下距離 (cm)、 t は L (cm) を落下するに要した時間 (sec) である。流体力学の理論によると、球面におけるせん断応力 P_t 、せん断ひずみ速度は \dot{e}_t それぞれ

$$\begin{cases} P_t = \frac{3}{2} \eta \frac{v_0}{a} = \frac{ag(D-\rho)}{3} \text{ (dyne/cm}^2\text{)} \\ \dot{e}_t = \frac{P_t}{\eta} = \frac{v_0}{2a} \text{ (sec}^{-1}\text{)} \end{cases}$$

となる。ここに、 v_0 は落下速度である。この P_t, e_t を粘性率変数 P, V として使うと、

$$\frac{P}{V} = \eta = \frac{P_t}{\dot{e}_t}$$

である。

横軸に V 、縦軸に P をとり、おのおのの測定から得られたデータにより、 V, P の値を計算し、グラフ上に点 (V, P) を求めれば、流動曲線を得る。

3. 実験結果の考察

図-3, 4, 5に、温度14°Cにおいて、それぞれ直径50.00 mm, 39.85 mm, 30.35 mmの鋼球を落下させた場合の流動曲線が示されている。どの図においても V の値が大きい範囲では、流動曲線は図示されている直線に近いものになるが、小さい V の値に対しては、 P 軸に漸近する曲線になる。どの曲線も原点を通らないから、これは塑性流動であることを

落球法による高含水比粘土の流動特性の一考察

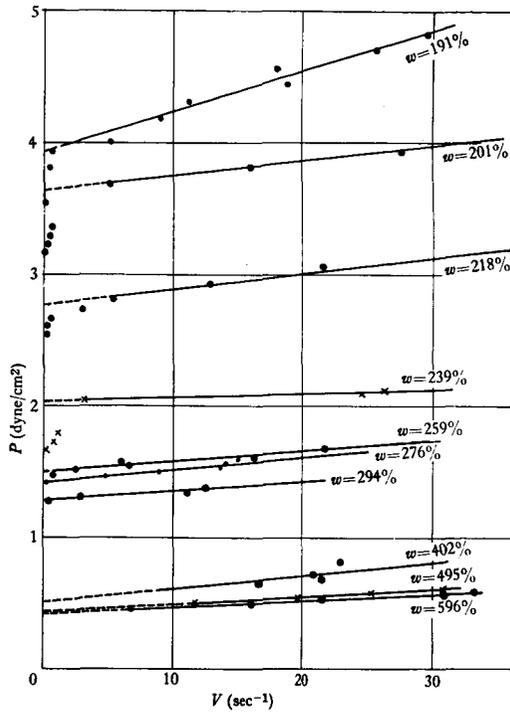


図-3 $2a=50.00$ mm の場合 (14°C)

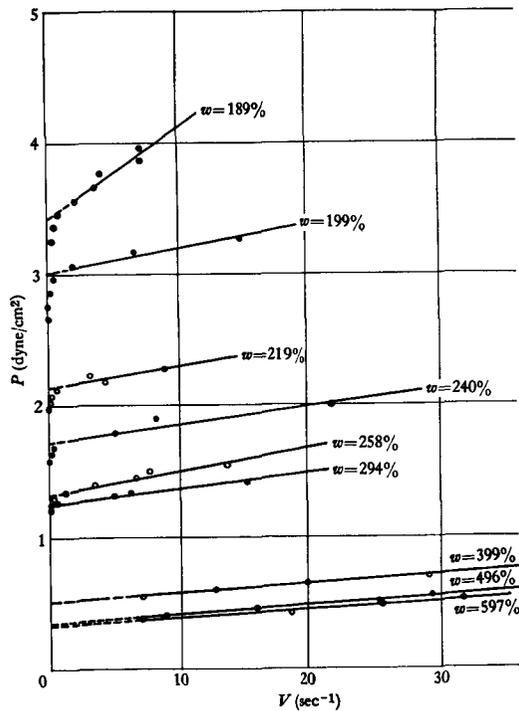


図-4 $2a=39.85$ mm の場合 (14°C)

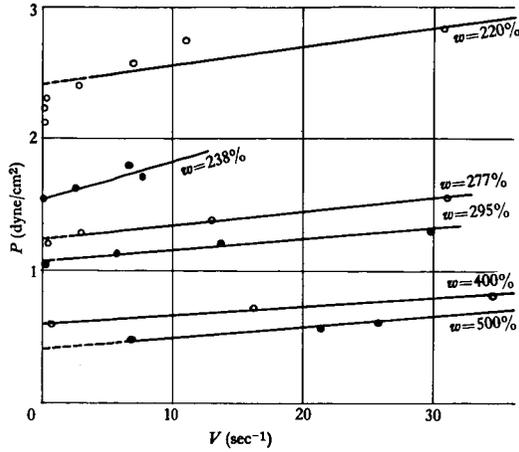


図-5 $2a=30.35$ mm の場合 (14°C)

示すものであると思われる。

含水比 w が大きくなるにつれて曲線部分は少なくなり、 P 切片が次第に小さくなり、原点に近づくことから、ニュートン液体である水に近づくものと推測される。非常に高い含水比においては、小さい V の値に対する P の値を求めることはできなかった。これは、鋼球のみかけの密度がある値に達するまでは落下せず、ある値を越えると急に早い速度で落下するためである。

1957年に Bantoft は顔料と可塑剤の混合物の流動特性を、Cone and plate viscometer を使って調べた。その結果、横軸にせん断ひずみ速度 (sec^{-1}) をとり、縦軸にせん断応力 (dyne/cm^2) をとってえがいた流動曲線に三つの型があることを見出した。第一の型は、横軸に平行な対称軸を有し縦軸に接する放物線の上半分に似た曲線である。Bantoft はこの第一の型の流動曲線が、Casson によって導入された方程式 $\tau^{1/2} = k_0 + k_1 D^{1/2}$ (ここに、 τ はせん断応力、 D はせん断ひずみ速度) に非常によく適合することを発見した。

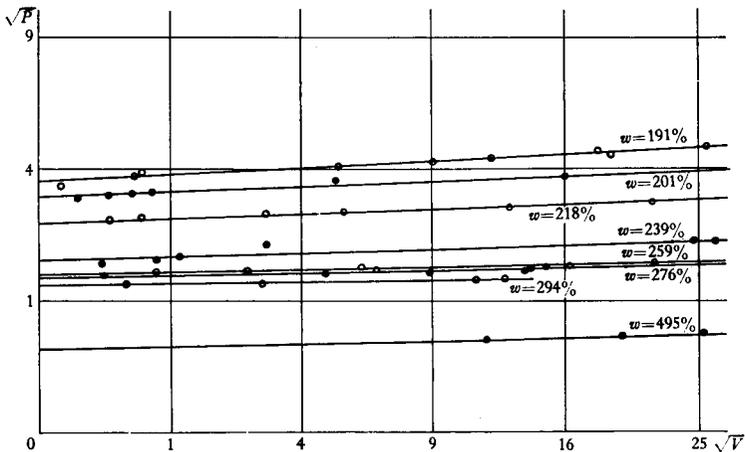


図-6 $2a=50.00$ mm の場合 (14°C)

落球法による高含水比粘土の流動特性の一考察

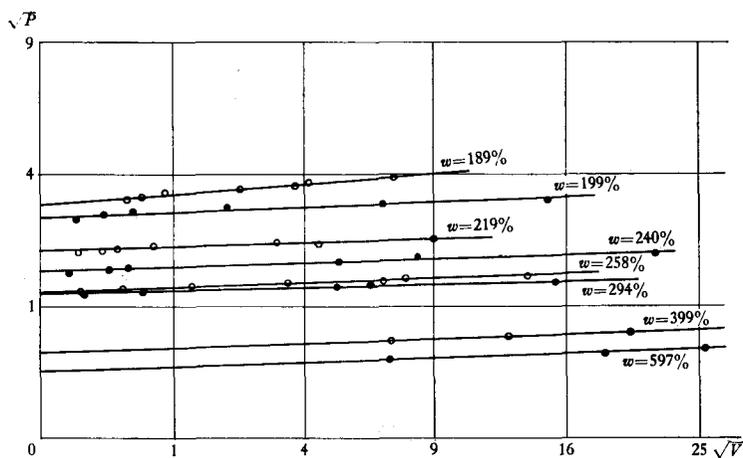


図-7 $2a=39.85$ mm の場合 (14°C)

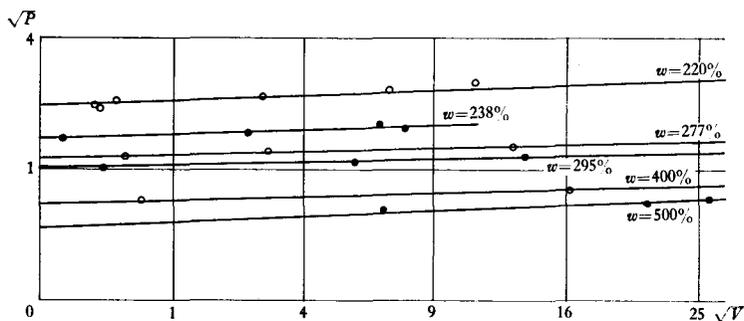


図-8 $2a=30.35$ mm の場合 (14°C)

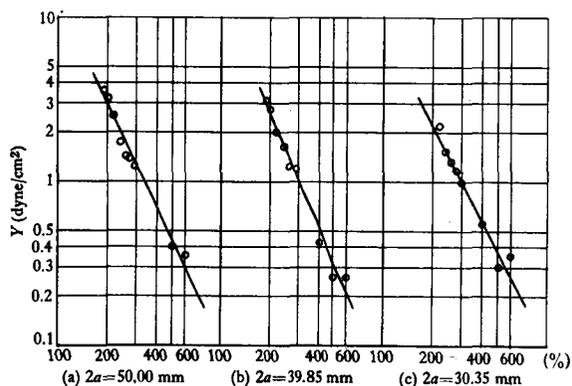


図-9 含水比と P 切片との関係

図-3, 4, 5 の流動曲線は, V の大きな値の範囲では直線に近く, V の値の小さな範囲では, P 軸に接するようにながっていて, Bantoft の第一の型の流動曲線に似ている. そこでこの流動曲線を

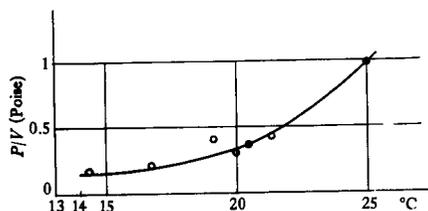
$$P^{1/2} = K_0 + K_1 V^{1/2}$$

の形に直し、横軸に $V^{1/2}$ 、縦軸に $P^{1/2}$ をとり、流動曲線をえがくと、図—6, 7, 8 のようにほとんど直線となり、この場合も Casson の方程式がよく適合することがわかった。図—3, 4, 5 においては、 P 軸の近くで曲線がまがって P 軸に接するような形をしているので、 P 切片が求め難いが、図—6, 7, 8 のように直線になると、 K_0 が縦軸の切片として求まり、 $V=0$ に対応する P の値は K_0^2 である。この K_0^2 値の含水比 w に対する変化の様子を示したのが図—9 である。この図においては、縦軸、横軸ともに対数尺にとり、 (w, K_0^2) をプロットすると、これらの点は大体一直線上に並ぶことがわかる。したがって、 $K_0^2=Y$ とおき、含水比を w とすると、この Y と w との間にはつぎの関係があるものと思われる。

$$Y=aw^m \quad (m<0)$$

ここに、 a, m はある定数。

つぎに、温度変化によるみかけの粘度の変化の様子を示したのが図—10 である。この実験は実験方法の項で述べたように、含水比約 200% において直径 50.00 mm の鋼球に 210 g の counter weight をつけて落下させたものである。図からわかるように、温度が高くなるにつ



図—10 温度とみかけの粘度の関係 ($w=200\%$)

れて、みかけの粘度は大きくなる。これは水などの場合とは反対で、水では温度が高くなるにつれて粘度は小さくなる。Braune と Richter によれば硬化現象の速度は温度が高いほど速くなるということであり、Grodde は、ベントナイト粘土は高い温度において低い温度におけるよりも早く一定の強度に達する、という見解を發表している。また、Wißmann は一定の時間内に凝結する速さは温度が高いほど早いということを確認している。これらの研究から、凝結過程は温度が高いほど早く終るとということが推定される。この実験においては、粘土を15分間混合した後、すぐ容器に移し、5分間放置してから鋼球を落下させるわけであるが、この5分間の放置の間に粘土は硬化を始める。その硬化の速さは温度が高いほど早く、5分後の粘土は温度が高いほど硬くなっていると推測される。したがって、硬い粘土ほど鋼球の落下速度が小さくなり、 V が小さくなる。するとみかけの粘度 P/V が大きくなるものと考えられる。

4. 結 論

高含水比粘土は図—3, 4, 5 からわかるように塑性流動を示し、流動曲線の P 切片 (K_0^2) は含水比の増加と共に減少する。また、図—6, 7, 8 からわかるように Casson の方程式 $P^{1/2}=K_0+K_1V^{1/2}$ によく適合し、 $Y=K_0^2$ とおき含水比を w, a, m ($m<0$) をある定数とすると、

$$Y=aw^{-m} \quad (m<0)$$

という関係が見られた。この関係を示したのが図—9 である。

温度とみかけの粘度との関係を示したのが図—10で、温度の増加と共にみかけの粘度は増

落球法による高含水比粘土の流動特性の一考察

加する。これは温度が高いほど凝結過程が早く進むためであると思われる。

参 考 文 献

- 1) 中川・神戸：“レオロジー”
- 2) “Rheology of Disperse Systems” Proceedings of a conference organised by the British Society of Rheology, Edited by C.C. Mill, 1959.
- 3) H.L. Jessherger, “Die viskosen und thixotropen Eigenschaften von Ton-Wasser-Gemischen”. 1964.