

粘性土の流動特性について

徳山工業高等専門学校

正員 藤原 東雄

1 はじめに

粘性土の流動特性を解明するために種々の方法・理論が検討されている。今回ここで述べるのは、rate process 理論を用いた検討である。本来 rate process 理論は液体構造の模型として、空孔理論と採用し、これに基づいて粘性理論として導かれたものである。したがって、粘土と水の微視的構造の立場から、高含水比の状態から低含水比の状態まで、流動特性を表わすのに便利である。流動特性に影響を与える因子としては、粘土の種類、粘土の構造、応力履歴、排水条件、荷重条件 etc. があると思われるが、ここでは三軸クリープ試験を行なった応力履歴が流動特性に与える影響、およびせん断強度との関係について調べた。

2 実験装置

試料は徳山管内の沖積粘土を用いた。その物理定数を表-1に示す。試料は液性限界からこの含水状態まで繰返し、三軸圧密装置(試料径30^{mm}, 高さ40^{mm})で圧縮20^{kg/cm²}まで圧縮し、圧縮終了後、シリンダーチューブでぬき取り、供試体と製した。供試体は径50^{mm}, 高さ12.5^{mm}で圧密を促進するに供試体とシリンドラの間に紙を挿入した。

表-1 試料の物理定数

比 重	2.688
液性限界 %	88.5
塑性限界 %	30.5

三軸クリープ試験は、各10, 5.0, 5.0^{kg/cm²}の側圧で3日間圧密したものと、圧密終了後 各々の側圧に除荷しにちつと種類ごに行ない、初期クリープ荷重と載荷し定常クリープに移行したのち、一定増分荷重をばらした。荷重増分は10時間の間隔で載荷し試験中は排水条件とした。

一方、強度との関係を見るに、同じ荷重条件で三軸圧縮試験を行なった。

3 実験結果と考察

三軸圧縮試験の結果は図-1に示す。正規圧密粘土では粘着力 $c=0.0\text{ kg/cm}^2$, 内部摩擦角 $\phi=19^\circ$ であり、5.0^{kg/cm²}で圧密した粘土は $c=0.75\text{ kg/cm}^2$, $\phi=12.5^\circ$ で、3.0^{kg/cm²}で圧密した粘土は $c=0.5\text{ kg/cm}^2$, $\phi=12.5^\circ$ であった。

rate process 理論において、せん断力の作用によって供給されるエネルギーが熱エネルギーよりも大きいと考えられる場合³⁾

$$\dot{\gamma} = \frac{kT}{h} \exp\left(-\frac{\Delta F}{RT}\right) \exp\left(\frac{\lambda \tau}{2kST}\right) \quad (1)$$

が得られる。ここで、 $\dot{\gamma}$: ヒズミ速度,

k : ボルツマン定数 ($1.375 \times 10^{-16} \text{ erg/deg} \cdot \text{mol}$) T : 絶対温度, h : プランク定数 ($6.624 \times 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{sec}$), ΔF : 活性化エネルギー, R : ガス定数 ($1.987 \text{ cal/deg} \cdot \text{mol}$), λ : 流動単位の平衡位置間の距離, τ : 粘土に作用するせん断力, S : 微視的すべり面単位面積当たりの流動単位数(結合数)である。

$$\ln \dot{\gamma} = \ln\left(\frac{kT}{h}\right) - \frac{\Delta F}{RT} + \frac{\lambda \tau}{2kST} \quad (2)$$

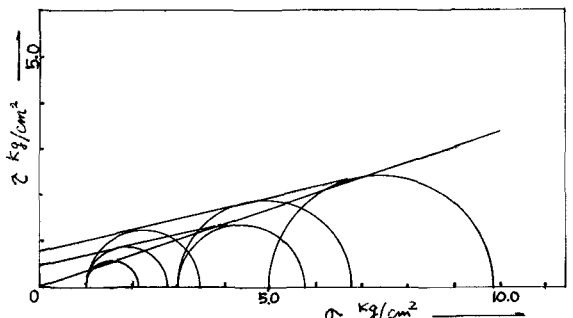


図-1 三軸圧縮試験結果(圧密排水条件)

式(2)は式(1)の両辺の対数をとったものである。応力増加によりヒズミ速度が変化すれば、

$$\ln\left(\frac{\dot{\epsilon}_1}{\dot{\epsilon}_2}\right) = (\tau_1 - \tau_2) \cdot \frac{\lambda}{2kST} \tag{3}$$

で表わされる。ここで、 $\dot{\epsilon}_1, \dot{\epsilon}_2$ はそれぞれの応力増加前後のヒズミ速度、 τ_1, τ_2 はそれぞれの応力増加前後のせん断力である。図-2にヒズミ速度とヒズミの関係の1例の図を示す。図-2において得た応力増加前後のヒズミ速度を式(3)に代入すれば、結合数Sが得られる。ここで、 λ の値は松井ら⁴⁾⁵⁾が用いた2.8Åを採用した。結合数Sを式(2)に代入すれば、活性化エネルギーが決定される。表-2に圧密圧力と結合数S、活性化エネルギーとの関係を示す。

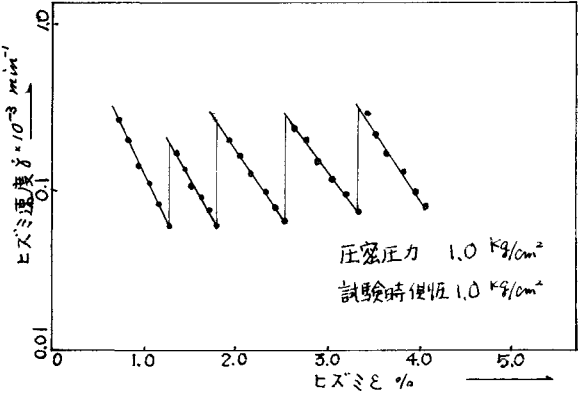


図-2 ヒズミ速度とヒズミの関係

以上の結果を考察すると、正規圧密粘土では、活性化エネルギーΔFは圧密圧力に無関係で28~30 Kcal/mol の範囲にあると考えられるが、結合数Sは圧密圧力に比例した値になっている。一方、過圧密粘土は少しバラツキがあるが、活性化エネルギーΔFは正規圧密粘土より大きくなる傾向にあり、結合数Sは過圧密比に逆比例している。したがって、図-1と比較して、せん断力は活性化エネルギーΔFよりも結合数Sにより大きく影響されることが解る。しかし、粘着力C、内部摩擦角φ中にどの様に影響を与えるかは、もっと数多くの土で、定量的に実験を行なう必要がある。

4. あとがき

今回の実験でせん断力Cに影響を与えるのは、活性化エネルギーΔFより結合数Sであることが明らかになった。しかし、高い過圧密比および高圧下での活性化エネルギーΔFの影響については、今後の研究課題である。また、せん断力の中で、粘着力Cおよび内部摩擦角φ中に与える影響まで明らかにできないので、今後、粘着力C=0の砂質土とか、内部摩擦角φ=0の粘性土等で、定量的に実験を行なう必要がある。そして、流動特性に影響を与える他の因子についても、統一的に実験を行なう予定である。

5. 参考文献

1) 土佐 中川 神戸: "レオロジー" みすず書房
 2) R. J. Kreizek 他: "Directional creep response of anisotropic clays" Geotechnique 27 no.1, 1977
 3) O. B. Andersland 他: "Soil deformation rates and activation energies" Geotechnique 20 no.1, 1970
 4) 伊藤・松井: "粘土の流動機構に関する研究" 工学会論文報告集 236号 1975年 4月
 5) 松井 伊藤: "粘土 水系の統一的な流動に関する基礎的研究" 工学会論文報告集 242号 1975年 10月
 6) A. Singh: "General stress-strain-time function for soils" A.S.C.E. January, 1968年

表-2 結合数および活性化エネルギー

圧密圧力 kg/cm ²	試験時 便圧 kg/cm ²	平均せん断力 kg/cm ²	結合数 cm ² × 10 ¹⁰	活性化エネルギー Kcal/mol
1.0	1.0	0.496	1.41	28.42
		0.581	1.45	29.42
		0.660	1.42	30.61
		0.751	1.40	32.13
		平均	1.42	30.14
3.0	1.0	0.574	1.13	32.43
		0.672	1.30	32.68
		0.770	1.42	33.05
		0.868	1.47	33.80
		平均	1.31	32.99
	3.0	0.522	2.20	27.74
		0.612	1.97	29.08
		0.701	2.39	28.77
		0.792	2.46	29.24
		平均	2.25	28.71
5.0	1.0	0.571	1.49	30.27
		0.668	1.11	34.07
		0.766	1.31	33.87
		0.863	1.43	34.29
		平均	1.32	33.13
	3.0	0.553	1.97	29.92
		0.648	1.63	31.13
		0.738	1.67	31.92
		0.832	2.10	31.15
		平均	1.74	31.03
	5.0	0.567	2.90	27.11
		0.664	2.57	28.37
		0.761	2.32	29.02
		0.858	2.54	29.96
		平均	2.57	28.79