

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄

同 同 松井 保

建設省九州地建 同 〇長瀬 恵一郎

1. まえがき

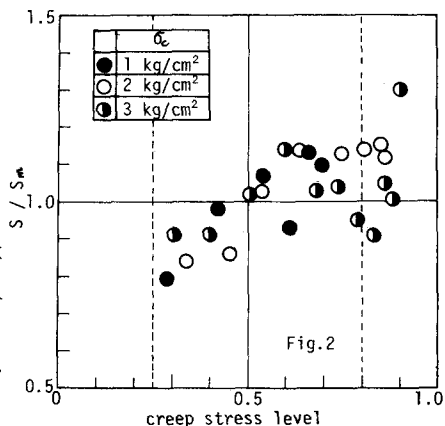
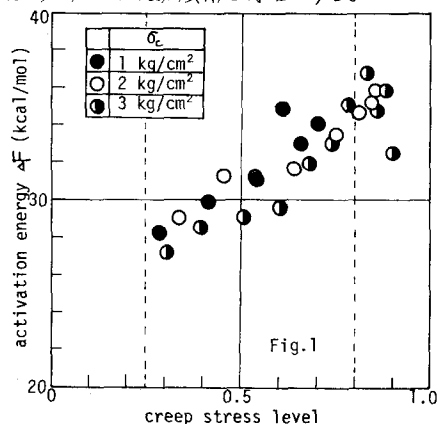
著者らは粘土・水系、多様な流動現象を統一的に取扱うことを目的として、粘土サスペンション、粘土ペーストおよび正規圧密粘土の流動現象を取り上げ、rate process理論を適用し、これらの代表的な粘土・水系、本質的な流動機構を明らかにしてきた。⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ とくに、改良の一歩結合のhomogeneous processで表わしうる粘土・水系において、せん断強さと結合数(流動単位数)がほぼ同一の比例関係にあることが明らかになった。しかしこのとき、正規圧密粘土においてせん断強さと対応させている結合数は破壊時のものではなく、破壊に至らない三軸クリープ試験によって求められたものである。したがって、異なるせん断状態において得られた値を比較していることになり、若干の不統一臭が見られる。また、活性化エネルギーの応力レベルによる影響も明らかにされていない。そこで、本報告においては、正規圧密粘土を対象として広範囲の応力レベルに対する活性化エネルギーおよび結合数の変化を調べ、上記の不統一臭を説明するとともに正規圧密粘土の流動機構を明確にする。

2. 実験方法

試料として、カオリン(L.L.:52.8%, F値(メナスパー):52.1%, I_p :20.1%, G_s :2.69, 粘土分(2 μ):60%)および千里粘土A(L.L.:92.6%, F値:78.7%, I_p :54.9%, G_s :2.68, 粘土分:43%)を用いた。クリープ試験の方法はAndersland⁴⁾が行なった方法と同様で、三軸試験機を用いて行なった。すなわち、初期クリープ荷重を載荷し、ほぼ定常クリープに移行したのち一定荷重増分を付加する。普通、初期クリープ荷重を載荷しそののち1段階の荷重増分を載荷する実験を行なうが、応力レベルの影響を検討するため応力レベルの小さい初期クリープ荷重を載荷しそののち何段階にもわたって荷重増分を載荷する実験も行なった。前者は圧密終了後2回荷重を増加させるのでDouble Increment試験(DI-Test)、後者は数回荷重を増加させるのでMulti-Increment試験(MI-Test)と称する。千里粘土Aに対して等方圧密 $\sigma_c = 1, 2, 3 \text{ kg/cm}^2$ のDIおよびMI-Testの両方を行ない、カオリンに対して $\sigma_c = 2, 3 \text{ kg/cm}^2$ のDI-Testのみを行なった。

3. 実験結果および考察

各荷重段階において、ひずみ速度の対数とひずみの間に直線関係があるので、この直線性を利用して応力増分載荷前後のひずみ速度が外挿され、この値を用いて活性化エネルギー ΔF および結合数 S が得られる。MI-Testの結果から得られたクリープ応力レベルと活性化エネルギーおよび結合数の関係をそれぞれ図-1および図-2



に示す。ただし結合数はクリープ応力レベルの0.25~0.80間の平均の結合数 S_m で除した結合数レベルとして示している。これらの図から ΔF および S/S_m がともに応力レベルの増加につれて増加する傾向が認められるが、この増加は急激なものではない。Mitchell⁵⁾によれば、応力レベルの小さい領域および大きい領域では ΔF および S/S_m の算定に用いたrate processの基本式が成立しないといわれているので、応力レベルが0.25~0.80の範

1.14の範囲にあり、近似的に一定と見なすことができる。したがって、近似的に破壊に至らない試験によって得られる結合数と破壊時の応力すなわちせん断強さと対応させてもよいと思われる。以上のごとく、 ΔF および S/S_m がクリープ応力レベルによりあまり影響を受けないことが分かった。以下の議論はMI-Testの応力レベル0.25~0.80の平均値およびDI-Testの結果に対して行なう。結果をまとめて表-1に示す。この表から分かるように、正規圧密粘土の劣性化エテ

Table 1

	圧縮力 σ_c (kg/cm^2)	試験 の種類	含水比 W(%)	W/F	切断強さ T_g (kg/cm^2)	活性化熱 ΔF (kcal/mol)	結合数 S (cm^2)
千里粘土 A	1	DI	61.3	0.80	0.485	31.2	4.32×10^3
		MI	63.9	0.83		28.8	6.27×10^3
		MI	62.9	0.82		31.9	4.21×10^3
	2	DI	56.5	0.72	0.869	29.6	6.72×10^3
		MI	55.9	0.73		33.2	9.28×10^3
		MI	56.1	0.73		31.4	8.00×10^3
3	DI	51.0	0.67	1.290	29.0	1.01×10^{10}	
	DI	52.9	0.69		28.3	1.77×10^{10}	
	MI	52.5	0.68		30.7	1.38×10^{10}	
丸リソ	2	DI	39.1	0.75	0.919	32.4	4.99×10^3
			38.1	0.73		29.5	9.16×10^3
	3	MI	37.4	0.72	1.150	29.2	9.64×10^3

ルギーは粘土の種類、圧密圧力などによらず約 28~33 kcal/mol の範囲でほぼ一定(平均値 30.6 kcal/mol)である。また、結合数と含水比の関係は図-3 に示されている。ただし、含水比は F 値で表した値 W/F で示されている。図から分かるように $\log S$ と W/F の間にはほぼ直線関係が認められ、また粘土の種類はすなわち含水比のパラメーターとして W/F をとることにより、正規圧密粘土の $\log S \sim W/F$ 関係を一般的に表現することはできると考えられる。図-5 は結合数 S およびせん断強さ τ_f と圧密圧力 σ_c の関係を示す。ともにほぼ直線関係があり、Mitchell らによって得られた結果がさらに裏づけられている。図-6 は、ここで得られた正規圧密粘土のせん断強さ τ_f と結合数 S の関係をここで得られている結果と同時に示している。図中の実線は酸素一次結合の homogeneous process における $\sigma \sim \tau_f$ の比例関係である。散点に議論すれば、前述の議論からクリープ試験で得られた結合数は破壊時の結合数より多少小さい値をとることになるので、今回正規圧密粘土に対して得られた図-6 のプロットは破壊時の結合数を用いれば少し右に移動することになり、図中の直線に近づくようになる。以上の結果、図-6 における結合数とせん断強さの比例関係が成立すると考えても大きな誤りはなく、破壊時の流動単位 1 個当りに作用するせん断力 τ_f ($= \tau_f / S$) は酸素一次結合の homogeneous process で表わされる粘土・水素においてほぼ一定であると結論することはできる。これは、微視的な機構の結合力が一定であり、その集合によって巨視的な粘土・水素のせん断強さが発揮されるという概念を明確に証明していることになる。

参考文献

- 1) 伊藤・松井・阿部「粘土流動破壊機構について」第7回土工学会研究発表会 (1972)
- 2) 伊藤・松井・阿部「粘土流動破壊機構に関する考察」第27回土木学会(1972)
- 3) 伊藤・松井・長捲「粘土流動破壊機構の研究」第28回土木学会(1973)
- 4) Andersland et al. "Soil deformation and activation energy" *Geotech.* 20 (1970)
- 5) Mitchell et al. "Bonding, effective stress and strength of soils" *A.S.C.E.* Vol. 95. (1969)

