

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄
同 同 ○松井 保

1. まえがき

広範なコンシステンシーをもつ粘土・水系においては多様な流動現象がみられる。筆者らは現在までこれらの現象の本質的な機構を rate process 理論を適用して微視的な観点から解明してきた。その結果、粘土・水系の流動機構は本質的には homogeneous process としてではなく、heterogeneous process として表現でき、この考えにもとづいて粘土・水系の流動機構モデルを提案し、とくに heterogeneous process として挙動すると思われる高含水量の粘土ペーストを対象として検証してきた。本報告はこれまで得られた成果をもとにして、heterogeneous process としての粘土・水系の統一な流動機構を明らかにするとともに、粘土・水系の一時的な変形時における粘土粒子間の物理化学的な相互作用について検討を加えたものである。

2. 代表的な粘土・水系に対する実験結果

圧密粘土のクリープ、粘土ペーストの定常流動、粘土サスペンションの粘性流動の実験を行ない、rate process 理論を適用することにより得られた活性化エネルギーおよび結合数、含水量による変化をそれぞれ Fig. 1~3 および Fig. 4, 5 に示す。ただし、正規圧密粘土については本概要集にある文献(4)を参照されたい。

まず、活性化エネルギーについては、正規圧密粘土に対して 30 kcal/mol 前後の値がほぼ一定と考えられる。このことは、種々の圧密粘土に対して Mitchell⁽⁵⁾ および Andersland⁽⁶⁾ によつて確認された値とも一致している。Fig. 1 は w/F が 1~2 程度の粘土ペーストに対して得られた活性化エネルギーである。 w/F が 1.4 付近までは約 30 kcal/mol 前後であるが、 $w/F > 1.4$ になると次第に減少する傾向がある。Fig. 2 は w/F が 1.4 以上の含水比をもつ粘土ペーストに対する活性化エネルギーを示す。明らかに活性化エネルギー ΔF が w/F の増加とともに減少し、 ΔF と $\log(w/F)$ の関係は粘土の種類によつて多少差があるが近似的に直線関係にあることが分かる。図中の直線、下端は実験により得られたニュートン流動の限界の濃度からプロットしたものである。Fig. 3 はニュートン流動を示す粘土サスペンションの ΔF であるが、ほぼ一定(約 4 kcal/mol)であることが分かる。一方、結合数については、正規圧密粘土に対して w/F の増加とともに $\log S$ が直線的に減少する。Fig. 4 は粘土ペーストに対して得られた $\log S \sim w/F$ 関係である。 w/F が 1~2 の範囲では $\log S$ と w/F の間に直線関係があるが、 $w/F > 2$ においては $\log S$ と w/F の直線関係は認められなくなる。すなわち、含水比の増加とともに結合数が減少する傾向には変わりがないが、含水比の増加に比して結合数の減少の割合が小さい。この定性的な傾向はカオリン、千里粘土 A とも同じであるが、定量的にはやや異なる。以上のことは、 w/F が 2 程度以下においてのみ w/F を指標に選ぶことによつて種々の粘土に対する結合数と含水量の関係を一義的に表現できることを意味する。

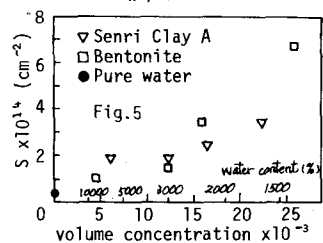
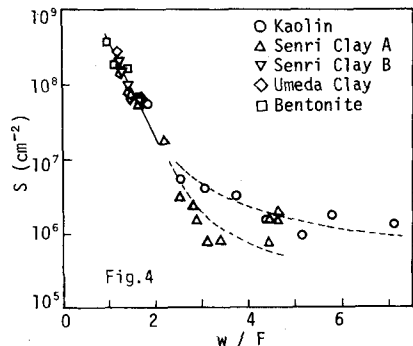
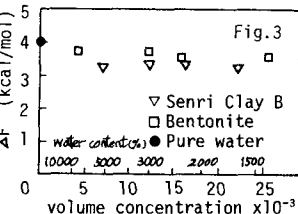
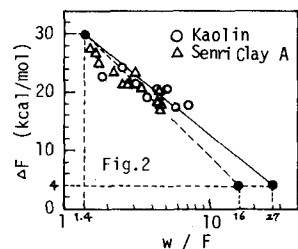
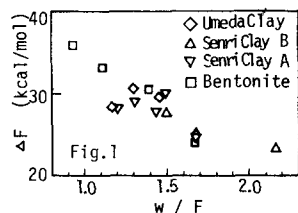


Fig. 5 は粘土サスペンションに対して得られた結合数と含水比(濃度)の関係である。含水比が増加とともに結合数が減少する。

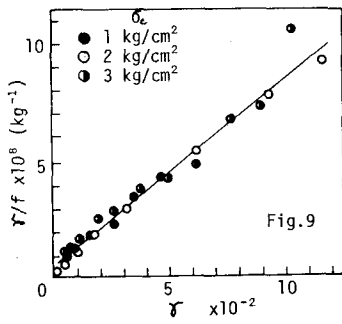
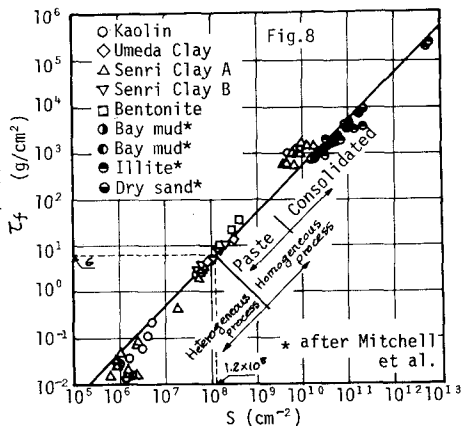
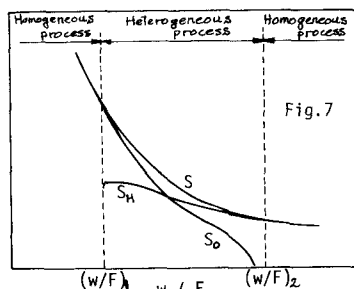
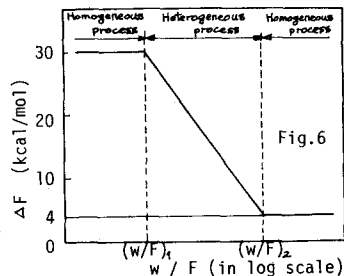
3. Heterogeneous process としての統一した流動機構

2. において得られた結果を統合して、粘土・水素における活性化エネルギー ΔF および結合数 S を統一的に表示すれば、Fig. 6 および Fig. 7 のごとくなる。すなわち、 $(w/f)_1$ と $(w/f)_2$ の間に2種の流動単位系に支配される heterogeneous process が存在し、その両側ではそれぞれ異なる単一の流動単位系に支配される homogeneous process が存在する。 ΔF は $(w/f) < (w/f)_1$ および $(w/f) > (w/f)_2$ の homogeneous process に対してそれぞれ約 30 kcal/mol および 4 kcal/mol のほぼ一定値をとり、その間の heterogeneous process における ΔF は $\log(w/f)$ と直線関係にあって両 homogeneous process に接続する。全結合数 S は homogeneous および heterogeneous process 全体を通して w/f の増加とともに減少していく。この傾向は粘土の種類、たけやばね、ひずみ速度など種々の条件が同じであれば十分に満足されるが、これらの条件が異なる場合は必ずしも満足されるとはかぎらない。

ただし、 $(w/f)_1$ 付近における全結合数 S を w/f を指標にとることによって粘土の種類にかかわらず一般的に表現できる。懸濁液一次結合数 S_0 および水素結合数 S_H の分布状態は Fig. 7 のようになると考えられる。 $(w/f)_1$ は粘土ペースト状の粘土・水素に対して粘土の種類にかかわらず1.4程度で、このときに粘土粒子接合点の機構に変化が生ずることを意味している点で重要である。 $(w/f)_2$ は粘土サスペンション状の粘土・水素に対して10~30程度で粘土の種類によって異なる。これは、粘土サスペンションのニュートン流動を示す限界含水比(濃度)を意味する。

4. 流動単位に作用するせん断力

Fig. 8 はせん断強さ τ と結合数 S の関係を示している。homogeneous process における $\tau \sim S$ 間の比例関係が確認できる。これは、破壊時の流動単位1個当りに作用するせん断力 $\tau_0 (= \tau/S)$ が種々の土に対してほぼ一定であることを意味する。つぎに、流動単位に作用するせん断力とせん断ひずみ γ の関係について検討する。Fig. 9 は正規圧縮粘土の Multi-Increment 試験による $\tau \sim \gamma$ 関係を示す。縦軸に τ/γ 、横軸に γ をとると圧縮圧力によらず近似的に同一の直線関係があり、 τ/γ と双曲線関係にあることが分かる。Kondner による粘土の巨視的なたけやばね関係は双曲線関係であることおよび τ/γ 関係が粘土の状態量によらず同一であることから、 τ/γ が粘土・水素のダイラクションに起因しないせん断力の本質的な発生機構となりうることを意味している。したがって、rate process 理論にもとづいた微視的機構が、粘土・水素の定常的な流動状態における粘土粒子接合点の微視的機構のみならず、粘土・水素の一般的な変形時における粘土粒子間の物理化学的な相互作用に関する一般的な概念となりうることが示唆される。



- 参考文献
- 1) 伊藤・松井・阿倍 「粘土の流動機構について」 第7回土質工学研究会報告 (1972)
 - 2) 伊藤・松井・阿倍 「粘土の流動機構に関する研究」 第27回土学会 (1972)
 - 3) 伊藤・松井・阿倍 「粘土の流動機構に関する研究」 第28回土学会 (1973)
 - 4) 伊藤・松井・阿倍 「正規圧縮粘土の流動機構について」 第29回土学会 (1974)
 - 5) Mitchell et al. 「Bonding, effective stress and strength of soils」 ASCE Vol. 95 (1969)
 - 6) Andersland et al. 「Soil deformation and activation energy」 Geotechn. 20 (1970)
 - 7) Kondner 「Hyperbolic stress-strain response: cohesive soils」 ASCE Vol. 89 (1963)