

低有機質土の流動特性

徳山工業高等専門学校 正員 ○藤原 東雄
同上 正員 上 俊二

1. まえがき

筆者たちは、¹⁾ *Spring* によって提案された *rate process* 理論を用いて、種々の粘性土の流動特性を解析している。流動特性に影響を与える要因としては、a) 土の種類および間ゲキ比、b) 土の構造、c) 応力履歴、d) 排水条件、e) その他...と考えられる。ここで報告するのは、低有機質土（黒ぼく）および、黒ぼくから有機物を除去した土の2種類でバーン試験と三軸フリーフ試験を行ない、有機物がせん断強度および流動特性に与える影響を調べた。

2. 実験概要

(A) 試料 鳥取県大山町に分布する黒ぼくを用いた。処理前

(自然状態)と処理後の物理的性質を表-1に示す。(B) 実験方法 (1) バーン試験 液性限界付近の含水比あるいはそれ以上の含水比にしてよく練り返し、ケキソトロビーの影響

表-1. 試料の物理的性質

	処理前	処理後
比 重	2.26	2.55
液性限界 (%)	70.0	N.P
塑性限界 (%)	N.P	N.P
有機物含有量 (%)	26.83	7.64

を除くため一定時間（1時間）後に試験を開始した。バーン羽根の寸法は直径 $D = 2.0$ cm, 高さ $H = 4.0$ cmで4枚羽根のものを使用した。(2) 三軸フリーフ試験 試料を液性限界以上の含水比でよく練り返し、大型三軸圧密装置で予圧密を行ない、直径 $D = 3.5$ cm, 高さ $H = 8.5$ cmの供試体を作成し、圧密を促進するためパーバードレイン法とした。側圧を1.0, 3.0, 5.0 kg/cm²で圧密し、フリーフ荷重は初期フリーフ荷重（降伏応力の35%）を載荷し、定常フリーフに移行後、一定増分荷重（降伏応力の10%）を付加した。荷重増分は、1.0時間の間隔で5段階とした。

せん断時は非排水とし、せん断強度との関連を調べるため標準三

3. rate process 理論

軸圧縮試験も行なった。

rate process 理論においてせん断力が作用した場合、活性化確率 $\bar{v}$ は、

$$\bar{v} = 2 \frac{kT}{h} \exp\left(-\frac{\Delta F}{RT}\right) \sinh\left(\frac{\lambda \tau}{2kT}\right) \quad (1)$$

で表わされる。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大きいと考えられる場合、活性化確率 $\bar{v}$ と回転速度 ω とひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ を関係づけるパラメーターを X_1, X_2 とし、複数の結合が同時に破壊しないとすれば、

$$\omega = X_1 \frac{kT}{h} \exp\left(-\frac{\Delta F}{RT}\right) \exp\left(\frac{\lambda \tau}{2kT}\right) \quad (2)$$

$$\dot{\epsilon} = X_2 \frac{kT}{h} \exp\left(-\frac{\Delta F}{RT}\right) \exp\left(\frac{\lambda \tau}{2kT}\right) \quad (3)$$

で表わされる。ここで、 h ボルツマン定数 (1.35×10^{-16} erg/deg·mol)
 T : 絶対温度、 k : プランク定数 (6.624×10^{-27} erg·sec), ΔF : 活性化エネルギー、 R : ガス定数 (1.987 cal/deg·mol), λ : 流動単位の平衡位置間の距離、 τ : せん断力、 S : 微視的すべり面単位面積あたりの結合数である。

4. 実験結果と考察

表-2. 結合数および活性化エネルギー

(A) バーン試験 せん断力 τ の算定はトルク M とすば次式で

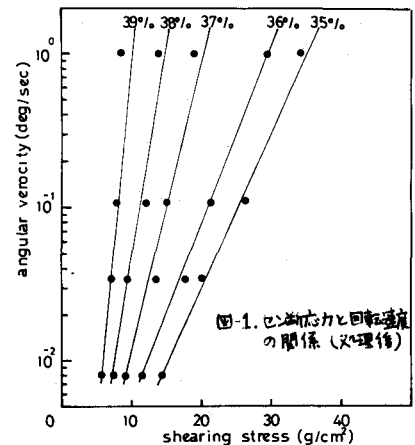


図-1. せん断力と回転速度の関係 (X処理後)

	含水比 w (%)	結合数 $S \times 10^5$ cm ²	活性化エネルギー ΔF kcal/mol	せん断強度 τ g/cm ²
処理前	87	1.09	21.45	26.00
	90	0.83	21.71	19.00
	97	0.60	21.25	12.25
	105	0.23	21.17	4.50
処理後	35	1.43	20.64	24.80
	36	1.17	20.75	21.00
	37	0.75	21.14	14.90
	38	0.51	21.52	11.10
	39	0.28	22.64	7.80

表わされる。

$$\tau = M / \pi D^2 \left(\frac{H}{2} + \frac{D}{6} \right) \quad (4)$$

今、式(2)の両辺を対数にとり、常用対数に換算すると、

$$\log W = \left(\lambda / 4.606 kST \right) \tau - \left[\Delta F / 2.303 RT - \log \left(X \frac{kT}{h} \right) \right] \quad (5)$$

で表わされる。一方、ベン試験の結果は図-1で示されるように、

$$\log W = a\tau - b \quad (a, b: \text{定数}) \quad (6)$$

で表わされるので、式(5)、(6)より結合数 λ および活性

化エネルギー ΔF が求められる。結果は、表

-2に示すとおりである。(B) 標準三軸圧

縮試験および三軸クリープ試験 標準三軸

圧縮試験結果を図-2に示す。有機物を処理

すると内部摩擦角が 15° 大きくなった。

これは、黒ぼくはイオン交換量が大きく、

多量の有機物と結合しており土粒子と土粒

子の結合を防げ、活性度が大きくなったも

のと考えられる。三軸クリープ試験結果の一例を図-3に示す。

式(3)の両辺を対数にとると

$$\ln \dot{\epsilon} = \ln \left(X \frac{kT}{h} \right) - \frac{\Delta F}{RT} + \frac{\lambda \tau}{2kST} \quad (7)$$

で表わされ、応力増加によりひずみ速度が変化するならば、

$$\ln \left(\frac{\dot{\epsilon}_1}{\dot{\epsilon}_2} \right) = \left(\tau_1 - \tau_2 \right) \cdot \frac{\lambda}{2kST} \quad (8)$$

となる。ここで、 $\dot{\epsilon}_1$ 、 $\dot{\epsilon}_2$ および τ_1 、 τ_2 は応力増加前後のひず

み速度およびせん断速度である。これより結合数 λ 、活性化エネ

ルギー ΔF を求める。一連の三軸クリープ試験結果を図-4に示す。

活性化エネルギー ΔF は全体として $28 \sim 33 \text{ kcal/mol}$ であり、側圧 1.0

$\sim 5.0 \text{ kg/cm}^2$ 内では顕著な差は出ないが、処理後の方が処理前と比

較するとわずかに大きくなるようである。一方、結合数 λ は有機

物処理前後とも側圧 σ_3 に比例して増大する。結合数 λ の増大傾向

は、破壊包絡線とよく似た傾向にあり、せん断強度に大きく影響

を与えていることが理解される。

5. あとがき

今回の実験では、次のことが明らかになった。(1) 有機物は土粒子と土粒子の接触を防げ、活性度を大きくするとともにせん断強度を低下させる。(2) 含水比の範囲が小さい時は、活性化エネルギーより結合数がせん断強度に影響を与える。(3) 結合数の増大傾向は破壊包絡線とよく似た傾向にある。(4) 結合数は有機物を処理することにより大きくなる。今後、有機物含有量と結合数の関係、結合数とせん断強度との関係を定量的に調べる。

6. 参考文献

- (1) 佐々木、中川・神戸：“レオロジー”みずき書房
- (2) R.J. Kraisek: "directional creep response of anisotropic clay" Geotech.
- (3) O.B. Andersland: "Soil deformation rates and activation energies" Geotech.
- (4) 伊藤・松井：“粘土の流動機構に関する研究”土木学会論文集
- (5) 松井・伊藤：“粘土-水系の統一的な流動機構に関する研究”土木学会論文集
- (6) 藤原・上：“低有機質土の流動特性の評価法”有機質土の試験法シンポジウムテキスト(1979年11月)

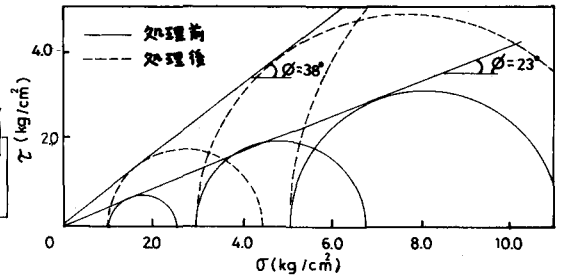


図-2. 標準三軸圧縮試験結果

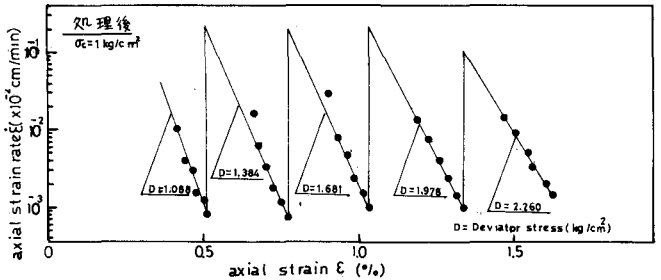


図-3. 三軸クリープ試験結果

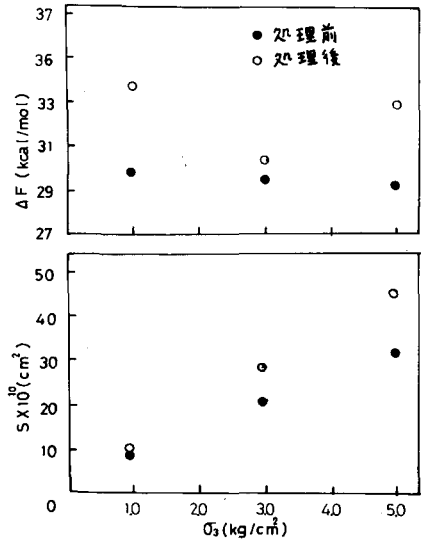


図-4. 側圧 σ_3 と結合数 λ および活性化エネルギー ΔF の関係