

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄
同 正員 〇松井 保
同 大学院 学生員 伴野 勝則

1 まえがき

土質力学の体系をより統一的に整えるため、ミクロな立場からアプローチされることが多い。その際、ミクロな立場で得られた成果がマクロな立場での成果あるいは現象にただちに関連づけられない場合も多い。しかし、ミクロなアプローチの究極の目的はマクロな現象をより統一的に説明することである。以上の観点から、ミクロな立場に立つがぎり、ミクロおよびマクロな立場で得られた成果を互に関連づけ一体化する努力を怠ってはならないと思われる。筆者らは、いままでミクロな立場に立って、rate process理論にもとづき粘土・水素の流動機構を統一的に明らかにしてきた。¹⁾²⁾ その際の微視的機構として分子オーダーの流動単位が考えられ、その結合力と結合数が粘土・水素のせん断抵抗力発生の基本的な機構であることを明らかにしてきた。このようなミクロな機構の妥当性をさらに確実なものにするためには、すでに明らかにされているマクロなせん断特性と関連づけることが重要で不可欠であると考えられる。本報告は、以上のようなミクロとマクロの成果を互に関連づけ一体化するための一考察である。

2 圧密粘土の強度定数の微視的意味

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現されるという概念にもとづき、BowdenとTaborによる摩擦の凝着理論を粘土粒子接合部に適用して、有効応力規準による強度定数 ϕ' および c' の意味が以下のように微視的に明らかにされた。²⁾ すなわち、単位面積当りの粘土粒子接合数 S_s 、粘土粒子1接合に作用する垂直力を P_t 、粘土要素に外的に作用する力によるそれを P 、粘土粒子間の相互作用による内的な力によるそれを P_0 、粘土粒子1接合の接触面積を A_c 、外的な力が作用しない場合のそれを A_0 、粘土の降伏応力を ϕ_y 、破壊時に流動単位に作用するせん断力 f_t 、単位面積当りの流動単位数(結合数) S と接触面積の比例係数を X として、次式が仮定される。

$$P = P_t - P_0 = \phi_y (A_c - A_0), \quad P = \phi' / S_s, \quad S = X \cdot S_s \cdot A_c \quad (1)$$

$$\text{式(1)の3式より,} \quad \phi' = \phi_y \cdot S / X - \phi_y \cdot S_s \cdot A_0 \quad (2)$$

実験的に明らかにされるように、せん断強さ f_t と結合数 S は比例関係にある。²⁾ すなわち、

$$f_t = f_s \cdot S \quad (3)$$

式(2)および式(3)より f_t と ϕ' の関係を求めれば、 ϕ' および c' の微視的意味が次式のように明らかにされる。

$$\left. \begin{aligned} \phi' &= \tan^{-1} (X \cdot f_s / \phi_y) \\ c' &= X \cdot f_s \cdot S_s \cdot A_0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで、正規圧密粘土の場合は A_0 がほとんどなく、 c' は0となる。

一方、最も合理的な強度定数はHvorslev規準の有効摩擦角 ϕ_e および有効粘着力 c_e である。これらの強度定数は式(4)と同様にして次式のように微視的に表現できる。

$$\left. \begin{aligned} \phi_e &= \tan^{-1} (X_e \cdot f_s / \phi_y) \\ c_e &= X_e \cdot f_s \cdot S_s \cdot A_0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに、 X_e はHvorslev規準の場合の結合数と接触面積の比例係数である。

3 実験結果による微視的意味の検討

まず、有効応力規準の場合を検討する。正規圧密および過圧密の千里粘土に対して行った三軸圧縮試験およびDouble-Incrementのクリープ試験の結果を図-1および図-2に示す。図-1より、正規圧密粘土に対して $\phi' = 27.0^\circ$

過圧密粘土に対し $\phi' = 19.1^\circ$, $C' = 0.167 \text{ kg/cm}^2$ が得られた。一方、図-2より N.C. および O.C. に対してそれぞれ σ'_m と S の線形関係が得られている。これは、式(2)の関係が成立することを示しており、式(1)の仮定の妥当性を証明している。ただし、N.C. の場合には A_0 がほとんどなく、 σ'_m と S が近似的に比例するようになる。粘土粒子の降伏応力を直接求めることは困難であるが、泥岩、粘板岩、頁岩などの強度から推測すると、 10^3 kg/cm^2 程度である。また、破壊時に流動単位に作用するせん断力は約 10^7 g である。これらの値を用いれば、 χ および $S_s A_0$ が決定できる。 ϕ' あるいは $S \sim \sigma'_m$ 関係の勾配から得られる χ の値、および C' あるいは $S \sim \sigma'_m$ 関係の切片から得られる $S_s A_0$ の値を表-1 に示す。

つぎに、Hvorslev 規準の場合を検討する。Gibson⁴⁾ によれば、図-3に示すように、 ϕ_e は1つの土に対して含水比の増加とともにやや減少する傾向にあるが、ほぼ一定値になることが実験的に確認されている。 χ_e , f_f および ϕ_g は1つの土に対してほぼ一定であると思われるので、式(5)の ϕ_e の表現は実験結果を定性的に満足している。ただし、実験結果から判断すれば、 χ_e は含水比の増加とともにやや減少するものと思われる。一方、Hvorslev⁵⁾ によれば、図-4に示すように、 C_e は等価圧縮圧力 σ'_e に比例することが実験的に確認されている。式(5)の C_e の表現において $\chi_e \cdot f_f$ はほぼ一定になるので、 $S_s \cdot A_0$ すなわち内的な力に起因する単位面積当りの粘土粒子接触面積が等価圧縮圧力に比例することになる。等価圧縮圧力が大になれば、 $S_s \cdot A_0$ も大になることは首肯できる。図-4の結果より χ_e および $S_s \cdot A_0 / \sigma'_e$ も求めれば、それぞれ表-2のよう

に得られる。 χ あるいは χ_e は表-1、表-2より 10^{12} cm^2 のオーダーで得られている。しかるに、 χ あるいは χ_e の物理的意味は土粒子接触面単位面積当りの結合数(流動単位数)である。流動単位平衡位置間の距離は $2.8 \text{ \AA}$ 程度と考えられている。このような流動単位を密に詰めた場合、最大流動単位数は単位面積当り 10^{15} cm^2 のオーダーになる。計算で得られた χ あるいは χ_e がこの最大値に近い値で、数オーダー小さい値として得られているので、これらの χ あるいは χ_e の値は十分物理的意味をもつ値であると考えられる。

一方、外的な応力 σ' による接触面積は、 $S_s(A_c - A_0) / \sigma' = 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{g}$ 程度である。表-1、表-2より、内的な力による接触面積 $S_s A_0 / \sigma'_e$ は $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{g}$ 程度である。この程度の有効圧縮圧力の状態では外的な力による接触面積の方が内的な力によるそれよりやや大きくなっている。

参考文献

- 1) 伊藤・松井: 粘土流動機構に関する研究, 土木学会論文報告集, 236号 (1973)
- 2) 伊藤・松井: rate process 理論にもとづく粘土粒子間結合について, 第10回土壌工学研究発表会 (1975)
- 3) 松井・伊藤: 粘土・水素の統一した流動機構に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集 (投稿中)
- 4) Gibson: Proc. 3rd ICSMFE, pp. 126~130 (1953)
- 5) Hvorslev: Proc. Res. Conf. on Shear Strength of Cohesive Soils, p. 204 (1960)

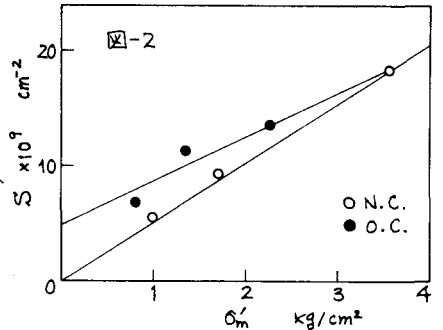
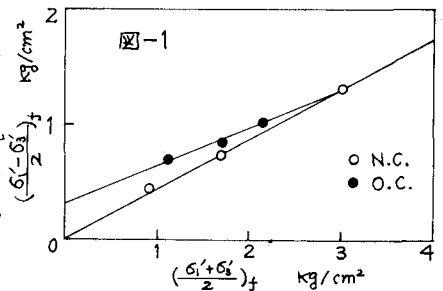


表-1

		ϕ' or C' より	$S \sim \sigma'_m$ 関係より
χ	N.C.	5.1×10^{12}	5.3×10^{12}
	O.C.	3.5×10^{12}	3.7×10^{12}
$S_s A_0$	O.C.	4.8×10^{-6}	1.4×10^{-3}

	VIENNA CLAY V	LITTLE BELT CLAY
χ_e	6.3×10^{12}	3.5×10^{12}
$S_s A_0 / \sigma'_e$	3.2×10^{-7}	8.2×10^{-7}

