

III-148 不飽和カオリンの応力・ひずみ式の基本的性質について

神戸大学大学院 学 勝山 潤一
建設技術研究所 正 丹羽 尚人
神戸大学工学部 正 輕部 大蔵

〔使用する記号と応力、ひずみの単位〕 U_a : 間隙空気圧, U_w : 間隙水圧, $S = (U_a - U_w)$: マトリックスサクシジョン, σ_1 と σ_3 : 三軸圧縮試験における最大主応力と最小主応力, $P = \frac{1}{3}(\sigma_1 + 2\sigma_3) - U_a$, $\delta = \sigma_1 - \sigma_3$, 以上の応力の単位は kgf/cm^2 . $\eta = (\delta/P)$, $\alpha = P/[P + f(S)]$ ただし, $f(S)$ は本文中で定義.
 V : 体積圧縮ひずみ, ε : セン断ひずみ, w : 含水比, これらは「ひずみ等」と呼ばれ, %表示. e : 間隙比. はじめに「前年」に, 筆者らは, 締固め不飽和カオリンの三軸排水排気（サクシジョン制御）圧縮試験の結果を若干の解析とともに報告した. 解析にあたって, 応力成分 $(\sigma - U_a)$ に飽和土における $(\sigma - U_w)$ と同等の働きを期待し, また, S は含水比を支配するほか, 土質定数の因子となると仮定した. 解析結果をお録すると;

破壊線の式: $\delta'_f = [P + f(S)] M' = (M'/\alpha) P$ (1)

ただし, δ'_f : ダイレイタンスー補正後の破壊時主応力差, M' は破壊線の勾配, $f(S)$ は, 破壊線の横軸切片の絶対値である.

一方, ビショッアの有効応力による破壊条件式は;

$$\tau_f = [(\sigma - U_a) + \chi(U_a - U_w)] \tan \phi' + C' \quad (2)$$

であるから, 両式を比較すると, $f(S)$ は $\chi(U_a - U_w)$ に相当し, S を P に換算する関数であることがわかる。($C' = 0$ とする) 軸圧縮過程の応力・ひずみ関係; S, P を一定に保った軸圧縮過程からつぎの実験式が得られた;

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon - \varepsilon_c &= \alpha^2 \cdot G_1(\alpha \eta) \\ V - V_c &= \alpha^2 \cdot G_2(\alpha \eta) \\ w - w_c &= \alpha^2 \cdot H(S) \cdot G_3(\alpha \eta) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし, 添字 C は, 等方圧密終了時のひずみ等を表わす. また, G_i は $(\alpha \eta)$ のみの関数, $H(S)$ は S のみの関数である.

式(3)が, $(\alpha \eta)$ だけでなく, α^2 の関数でもあることから, S 一定時にもビショッアの有効応力が適用できないことがわかる.

つぎに, 等方応力下における含水比変化は, 弾性的であった. 体積ひずみについては, 弾性状態と弾塑性状態に分けて実験式が示されたが, 降伏関数は明らかにされなかった. 今回の報告は上述の結果を, 新たな実験と考察により検討するものである.

今回の実験 前報と同様であるが, 供試体の初期値 (w, e) に大きなばらつきが出てしまった. 三軸圧縮試験は, $S = 0.5, 1.5, 2.5$ について行なったが, $S = 2.5$ のものは, 前回の唯一の結果と大差が見られたので保留した.

$S \sim f(S)$ 関係 図1 a は, 前報も含めた破壊応力図である. b 図は, a 図から読みとった S と $f(S)$ の関係を表わしているが $S = 1.5$ と 2.0 の間に差がありすぎるようである.

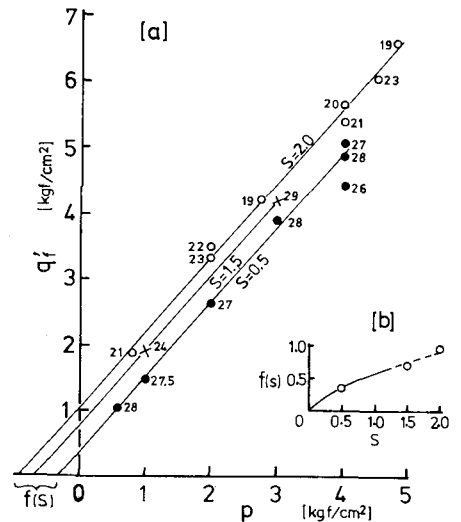


図-1 破壊応力 (添字は破壊時含水比)

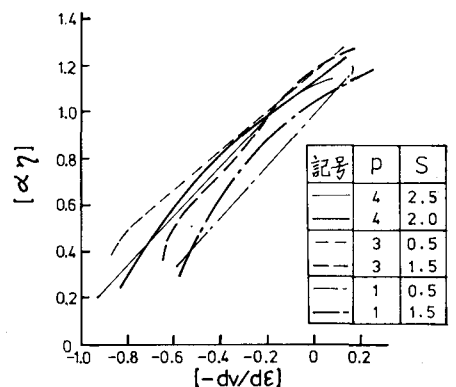


図-2 ストレス・ダイレイタンスー関係

タイルテンション特性 式(3)より、ストレス・タイルテンション式は

$$\frac{dV}{d\varepsilon} = \frac{2G_i(\alpha\eta) + (\alpha\eta) \cdot G_i'(\alpha\eta)}{2G_i(\alpha\eta) + (\alpha\eta) \cdot G_i'(\alpha\eta)} \quad (4)$$

ただし、 $G_i' = dG_i/d(\alpha\eta)$ 。上式は、 $dV/d\varepsilon$ が $\alpha\eta$ のみの関数となることを示している。図2は、これを実験結果のいくつかと照合したものであるが、

$P=1$ のものがややずれており、式(3)の形式に疑いを持たせる。

等方応力状態における降伏関数 降伏曲線として図1bを利用すると、

$$\left. \begin{array}{l} P_i \leq f(S_i) \text{ のとき、降伏関数； } P = f(S) \\ P_i > f(S_i) \text{ のとき、降伏関数； } P = f(S) + [P_i - f(S_i)] \end{array} \right\} \quad (5)$$

ただし、 (P_i, S_i) は、現在の応力状態である。式(5)は、図3のようになり、コラアスが表現できる。

「弾性域」におけるひずみの重ね合わせ 供試体が、等方応力下で図4Aの点Aから $B \rightarrow C$ と載荷され、続いて $\rightarrow 1 \rightarrow C \rightarrow 2 \rightarrow C \rightarrow 3 \rightarrow C$ と応力変化を受けた。図B、Cは、点C以後の含水比変化と体積ひずみを表わしている。含水比変化は弾性的である。体積ひずみも、 $2 \rightarrow C$ の乱れを除けば、弾性的と見做してよいであろう。図5の実線は、 $C \rightarrow 1$ 、 $C \rightarrow 2$ 、 $C \rightarrow 3$ に伴う体積ひずみと応力経路の長さ($\Delta\sigma$)の関係を表わしている。一方、破線は、 $C \rightarrow 1$ と $C \rightarrow 3$ の実測値から、 $C \rightarrow 2$ 方向のひずみを重ね合わせ計算で求めたものである。

等方応力下の塑性ひずみ増分式 降伏状態にある不飽和土にビショップの有効応力が適用できるとすると、その体積圧縮率 m_v は、正規圧密粘土のそれから類推して、

$$m_v = \frac{0.434 C_c}{1+e} \frac{\alpha}{P} \quad (6)$$

と式示されるであろう。この不飽和土が弾塑性体であり、塑性ひずみポテンシャル関数 F を持つとすると、 F はつぎようになる；

$$F = \left[\frac{C_c - C_s}{1+e} \log \frac{\alpha}{P} \right] - Q(S) \quad (\text{ただし、} Q(S) \text{ は } S \text{ の関数}) \quad (7)$$

式(7)で、コラアス現象を説明するには、 dQ/dS が正でなければならぬ。著者らは、先述のように S を「土質定数の因子」と位置付けたいわけであるが、式(7)のように $Q(S)$ が P と独立した項となるならば、もはや S は独立な独立変数である。著者らの希望が叶うためには、少なくとも、 F を「 S の関数と P の関数の積」の形で得る必要があろう。

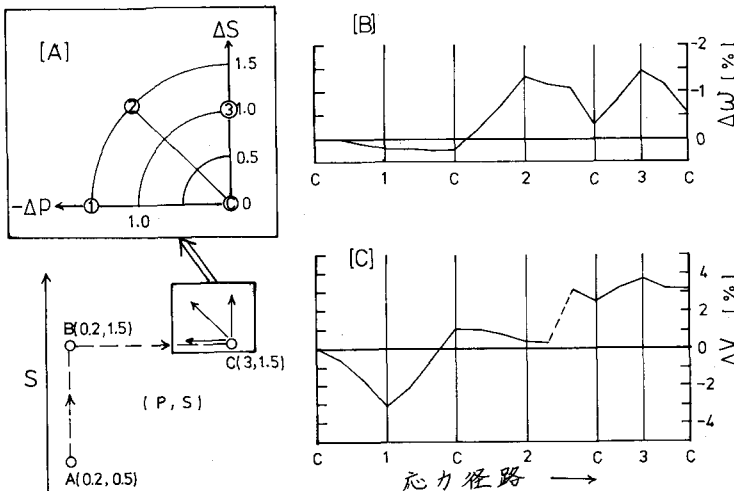


図-4 [A] 応力経路 [B] 含水比変化 [C] 体積ひずみ増加

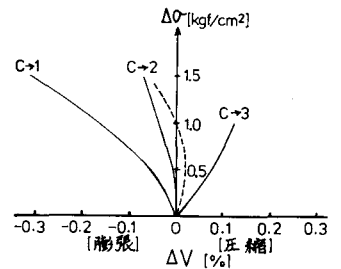


図-5 図4の応力変化に伴う体積ひずみの実測値（実線）と重ね合わせ値（破線）

参考文献

- 1) 加藤・勝山・軽部, 第20回土質工学研究発表会 No.172, 1985.