

水産庁 水産工学研究所 正員 大植 正 紀

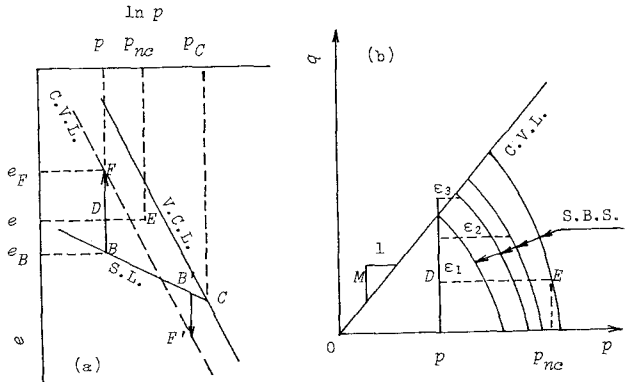
要 旨 本文は、三軸圧縮下での過圧密粘性土の変形特性を表わす応力～ひずみ関係式を示したものである。すなわち、 (e, p, q) 空間において、等間隙比面内の過圧密領域においては、等せん断ひずみ線は p 軸に平行になると仮定する。この仮定及び過圧密領域における間隙比とせん断ひずみの関係を適当に与えることにより、正規圧密粘性土の応力～ひずみ関係より、過圧密粘性土の応力～ひずみ関係を求めている。

平均主応力一定経路上での変形特性 いま、図1(a)に示したように、処女圧縮線 (V.C.L.) に沿って点 C までは等方圧密した後、点 B までは等方膨潤する。この点より、平均主応力 p を一定としてせん断したとき、最終的に間隙比は限界間隙比線 (C.V.L.) 上の点 F に至るものとする。ここで、処女圧縮線 (V.C.L.)、限界間隙比線 (C.V.L.) 及び等方膨潤線 (S.L.) をそれぞれ

式(1)～(3)のように表わす。二に、 e_a, Γ は定数、図1 p 一定試験における (a) $e \sim \ln p$ 関係、(b) $q \sim p$ 関係

数、 λ, κ は $e \sim \ln p$ 図上での圧縮指数及び膨潤指数である。また、 $n (= p_c/p)$ は過圧密比である。図1(b)は、せん断時の応力経路を $q \sim p$ 図上に示している。せん断中の応力状態点 D の間隙比、平均主応力、軸差応力をそれぞれ e, p, q とする。また、点 D と同じ間隙比 e 、軸差応力 q をもつ状態境界曲面 (S.B.S.) 上の点 E の平均主応力を p_{nc} とする。このとき、状態境界曲面は式(4)で表わされる。ここで、 $\Delta e_f = e_a - \Gamma$ は応力比 ($= q/p$)、 M は残留時の応力比 n である。

いま、点 D と点 E の偏差ひずみが同じとする。このとき、平均主応力一定下でせん断中の過圧密土の偏差ひずみ e は、正規圧密土の応力～ひずみ関係式⁽¹⁾を使って式(5)で表わされる。式中、 A は定数である。このときの間隙比 e 、図1(a)を参照して式(6)のように表わす。ここで、 e_0, e_f はそれぞれ点 B, F の間隙比である。図1(a)を参照すると、 $e_0 = e_a - (\lambda - \kappa) \cdot \ln p_c - \kappa \cdot \ln p$ 、 $e_f = \Gamma - \lambda \cdot \ln p$ であるから、二つを式(6)に代入して、式(7)を得る。式(4)、(5)、(7)より、 e, n を消去して、式(8)を得る。式(8)を式(5)に代入すると式(9)を得る。式(7)、(9)を用いると、ある e に対して、 e, n が計算できる。式(9)において、 $\partial n / \partial e = 0$ で n の極値をもつ。この条件は、式(10)で表わされる。ただし、 $0 \leq \exp(-A \cdot e) \leq 1$ であるから、式(9)から極値をもつ条件は $n > \exp\{\lambda / (\lambda - \kappa)\}$ である。式(7)、(9)を用いた過圧密粘性土の応力～ひずみ関係の計算例を図2に示



$$e = e_a - \lambda \cdot \ln p \quad (1)$$

$$e = \Gamma - \lambda \cdot \ln p \quad (2)$$

$$e = e_a - (\lambda - \kappa) \cdot \ln n - \lambda \cdot \ln p \quad (3)$$

$$n = \frac{M}{\Delta e_f} \frac{p_{nc}}{p} (e_a - e - \lambda \cdot \ln p_{nc}) \quad (4)$$

$$n = M \frac{p_{nc}}{p} \{1 - \exp(-A \cdot e)\} \quad (5)$$

$$e - e_0 = (e_f - e_0) \{1 - \exp(-A \cdot e)\} \quad (6)$$

$$e = e_a - (\lambda - \kappa) \cdot \ln n - \lambda \cdot \ln p - \{ \Delta e_f - (\lambda - \kappa) \cdot \ln n \} \cdot \{1 - \exp(-A \cdot e)\} \quad (7)$$

$$p_{nc} = p \cdot n^{\frac{\lambda - \kappa}{\lambda} \exp(-A \cdot e)} \quad (8)$$

$$n = M \cdot n^{\frac{\lambda - \kappa}{\lambda} \exp(-A \cdot e)} \cdot \{1 - \exp(-A \cdot e)\} \quad (9)$$

$$\exp(-A \cdot e) = 1 - \frac{\lambda}{(\lambda - \kappa) \ln n} \quad (10)$$

す。ただし、計算には $e_a = 1.0373$ 、 $\Gamma = 0.9838$ 、 $\lambda = 0.123$ 、 $\kappa = 0.0161$ 、 $A = 50$ 、 $M = 1.36$ の各値を用いている。計算結果は実験結果²⁾を定性的に説明している。

一般応力経路上での変形特性 ニンで、平均主応力とせん断応力が同時に変化する一般的な応力経路上での過圧密粘性土の変形特性について考える。図3に示したように、微小な応力変化 AC (dp , dn) を応力比一定経路 AB (dp , 0) と平均主応力一定経路 BC (0 , dn) に分ける。ニンで、微小経路 AC により生じる間隙比変化、偏差ひずみ増分、微小経路 AB 及び BC により生じるものと和で表わされると仮定する。ニンで、微小経路 AB により生じる間隙比変化 de_p を式(11)で表わす。ニンで、 κ (λ) は応力状態、状態境界曲面内 ($p < p_{nc}$) のときは κ をその曲面上 ($p = p_{nc}$) のときは λ をとるものとする。つぎに、微小経路 AB により生じる偏差ひずみ増分 $d\epsilon_p$ は、応力状態 A (e , p , q) に対応した状態境界曲面上の点、(e , p_{nc} , q) の応力を用いて式(12)のように表わされるものとする。ニンに、 κ (λ , 0) は、 $p < p_{nc}$ の $dp > 0$ のときは κ を、 $p < p_{nc}$ の $dp \leq 0$ のときはゼロを³⁾、 $p = p_{nc}$ のときは λ をとるものとする。

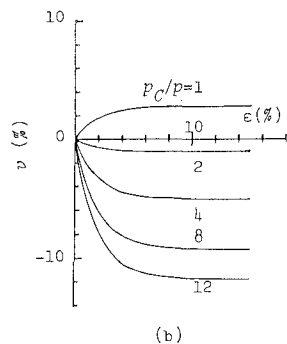
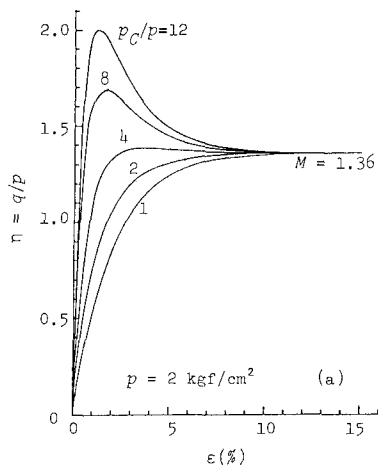


図3 過圧密粘性土の応力～ひずみ関係 (計算結果)

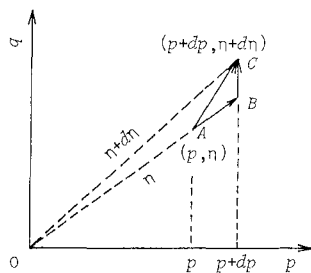


図3 微小応力経路

$$de_p = -\kappa(\lambda) \cdot \frac{dp}{p} \quad (11)$$

$$d\epsilon_p = D \cdot \frac{M \cdot (q/p_{nc})}{M^2 - (q/p_{nc})^2} \cdot dv_p$$

$$= \frac{D \cdot \kappa(\lambda, 0) \cdot M \cdot (q/p_{nc})}{1 + e \cdot M^2 - (q/p_{nc})^2} \cdot \frac{dp}{p} \quad (12)$$

$$de_\eta = -[\Delta e_f - (\lambda - \kappa) \cdot \ln n] \cdot \left[\frac{p}{M \cdot p_{nc}} \cdot d\eta - \{1 - \exp(-A \cdot \epsilon)\} \cdot d \ln p_{nc} \right] \quad (13)$$

$$d\epsilon_\eta = \frac{1}{A \cdot M} \cdot \frac{p}{p_{nc}} \cdot \exp(A \cdot \epsilon) \cdot d\eta - \frac{1}{A} \cdot \exp(A \cdot \epsilon) \cdot \{1 - \exp(-A \cdot \epsilon)\} \cdot d \ln p_{nc} \quad (14)$$

$$de = de_\eta + de_p \quad (15) \quad d\epsilon = d\epsilon_\eta + d\epsilon_p \quad (16)$$

$$[e_a - e - \lambda \cdot (\ln p_{nc} + 1) - \{\Delta e_f - (\lambda - \kappa) \cdot \ln n\} \cdot \{1 - \exp(-A \cdot \epsilon)\}] \cdot d \ln p_{nc}$$

$$= \frac{\lambda - \kappa}{M} \cdot \frac{p}{p_{nc}} \cdot \ln n \cdot d\eta + (e_a - e - \lambda \cdot \ln p_{nc} - \kappa(\lambda)) \cdot d \ln p \quad (17)$$

$$\left. \begin{aligned} de &= A_1 \cdot d\eta + A_2 \cdot d \ln p_{nc} + A_3 \cdot d \ln p \\ de &= B_1 \cdot d\eta + B_2 \cdot d \ln p_{nc} + B_3 \cdot d \ln p \\ 0 &= C_1 \cdot d\eta + C_2 \cdot d \ln p_{nc} + C_3 \cdot d \ln p \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

つぎに、微小経路 BC により生じる間隙比変化 de_η 、偏差ひずみ増分 $d\epsilon_\eta$ は式(7)、(9)を p 一定条件のもとに微分し、整理することにより、式(13)、(14)のように表わされる。したがって、微小経路 AC による全間隙比変化 de 、全偏差ひずみ増分 $d\epsilon$ は、それぞれ式(13)、(14)により計算される。他方、状態境界曲面を表わす式(4)を微分し、式(15)を代入することにより、式(17)を得る。式(11)～(17)を整理すると、式(18)のように書ける。この式を用いると、種々の試験条件のもとに生じる過圧密粘性土の変形挙動が増分的に求められる。

参考文献 1)大槌(1979)、土質工学会論文報告集、Vol.19,no.3,pp.29-44 2)大槌(1979)、Proc. 6th Asian Reg. Conf. SMFE, Vol.1, pp.63-66. 3)大槌(1980)、Proc. 3rd Aust. New Z. Conf. Geomech., Vol.2, pp.127-132.