III－8　　飽和粘土の応力・ヒズミ・時間関係誘導の試み

西日本工業大学　正員　○安原一哉
九州大学工学部　正員　山内豊聡

1. まえがき　筆者ら[1)]は飽和粘土地盤の多次元圧密沈下計算法のために，応力・ヒズミ・時間関係式の提案を行っている。その基本は，圧密とセン断の重ね合わせという従来の考え方に，時間に依存するクリープ項を重ね合わせて構成式にするという単純なものではあるが，現在のところ飽和粘土の三軸的異方圧密試験における変形挙動の説明にまずまず成功している。以下はこれまでの研究結果を実際地盤の解析に適用するに当って，構成式の整理を試みたものである。

2. 飽和粘土の異方圧密解析のための応力・ヒズミ・時間関係　(1) 応力・ヒズミ・時間関係のモデル化；まず，外力をうける土要素のヒズミ ε_{ij} を時間に依存しないもの $\varepsilon_{ij}^{(o)}$ と依存するもの $\varepsilon_{ij}^{(t)}$ に分けて考えることとし，これを次式で表現することにする。

$$d\varepsilon_{ij} = d\varepsilon_{ij}^{(o)} + d\varepsilon_{ij}^{(t)} \tag{1}$$

ここで例えば，ε_{ij} は周知のように偏差成分と等方成分との重ね合わせによって

$$\varepsilon_{ij} = e_{ij} + \delta_{ij}\varepsilon_m \tag{2}$$

のように表わせる。なお，ε_m は平均主ヒズミで $\varepsilon_m = (\varepsilon_{11}+\varepsilon_{22}+\varepsilon_{33})/3$ であることも周知である。したがって，$d\varepsilon_{ij}^{(o)}$，$d\varepsilon_{ij}^{(t)}$ についても同様に

$$\varepsilon_{ij}^{(o)} = e_{ij}^{(o)} + \delta_{ij}\varepsilon_m^{(o)},\quad \varepsilon_{ij}^{(t)} = e_{ij}^{(t)} + \delta_{ij}\varepsilon_m^{(t)} \tag{3}$$

と表わせることは当然である。また，$\varepsilon_{ij}^{(o)}$ は回復性のヒズミ $\varepsilon_{ij}^{e(o)}$ と非回復性のヒズミ $\varepsilon_{ij}^{p(o)}$ から成るとして，

$$d\varepsilon_{ij}^{(o)} = d\varepsilon_{ij}^{e(o)} + d\varepsilon_{ij}^{p(o)} \tag{4}$$

と仮定しうるものとする。

(2) 応力比・ヒズミ増分比の関係；まず，時間に依存しないヒズミ成分 $\varepsilon_{ij}^{(o)}$ の間に成り立つ関係を調べてみよう。以下は軸対称条件のもとでの議論である。土の変形学に塑性力学の知識を取り入れた Cambrigde 学派の Cam-Clay モデル[2)]の基礎式は

$$p' \cdot dv^p + q \cdot d\varepsilon = Mp' \cdot d\varepsilon \quad \text{（但し，Compression 領域）} \tag{5}$$

であるが，上式のエネルギー式誘導過程でどうしても認められないのはセン断ヒズミの回復成分を無視するという仮定である。いまこれを修正して体積ヒズミとともに式(4)を認めて

$$dv_p = dv^{e(o)} + dv^{p(o)} \equiv dv_p^e + dv_p^p \quad,\qquad d\varepsilon_p = d\varepsilon^{e(o)} + d\varepsilon^{p(o)} \equiv d\varepsilon_p^e + d\varepsilon_p^p \tag{6}$$

と表わし，これを式(5)へ代入して整理すると次式が得られる。

$$dv_p/d\varepsilon_p = M_p - N_p(q/p') \tag{7}$$

ここで，

$$M_p = M + (dv_p^e/d\varepsilon_p),\quad N_p = 1 - (d\varepsilon_p^e/d\varepsilon_p) \tag{8}$$

である。

(3) 体積変化とセン断変形；飽和粘土の異方圧密における体積ヒズミのうちクリープ効果を除去した v_p が圧密 v_{cp} とダイレイタンシーによる v_{dp} とから成るとして

$$v_p = v_{cp} + v_{dp},\quad dv_p = dv_{cp} + dv_{dp} \tag{9}$$

と表わす。このうち，圧密による体積ヒズミは平均有効主応力 p' によって，ダイレイタンシーによる体積ヒズミは応力比 (q/p') に支配されることが一般に認められているので，この事実をもとにして

$$v_{cp} = f_1(p'),\qquad v_{dp} = f_2(q/p') \tag{10}$$

を仮定することにすると，体積ヒズミ増分はそれぞれ次のようになる。

$$dv_{cp} = f_1'(p')dp',\quad dv_{dp} = f_2'(q/p')d(q/p') \tag{11}$$

式(11)を式(7)へ代入するとクリープ項を除去したセン断ヒズミとして次式が得られる。

$$d\varepsilon_p = \frac{f_1'(p')dp' + f_2'(q/p')d(q/p')}{M_p - N_p(q/p')} \qquad (12)$$

(4) クリープ効果 ; 式(1)のうちクリープ効果を表わす $d\varepsilon_{ij}^{(t)}$ は時間を変数として

$$d\varepsilon_{ij}^{(t)} = (\partial\varepsilon_{ij}^{(t)}/\partial t\ )dt \qquad (13)$$

と書きかえられるものとすれば、$v^{(t)}$ を v_s , $\varepsilon^{(t)}$ を ε_s と置きかえて

$$dv^{(t)} = dv_s = (\partial v_s/\partial t\ )dt = (\partial v_{cs}/\partial t) + (\partial v_{ds}/\partial t)dt \qquad (14\text{-a})$$

$$d\varepsilon^{(t)} = d\varepsilon_s = (\partial\varepsilon_s/\partial t)dt \qquad (14\text{-b})$$

と表わすことができる。これらの関数形はいずれも実験式による以外に現在のところ方法は見当らない。このうち(14-a)の右辺第一項は等方圧密試験によって、また、(14-a)の右辺第二項と(14-b)の右辺は p' 一定排水クリープ試験によって求めるのが理想的であろう。等方圧密試験による粘性土の体積クリープは多くの場合，$dv_{cs}/d\log t$ と $\log p'$ の間の線形関係から

$$dv_{cs}/dt = \alpha_{cs}\log p'(\frac{1}{t}) \qquad (15)$$

が成り立つ。ここで、α_{cs} ;$dv_{cs}/d\log t$ と $\log p'$ の直線勾配である。また、p' 一定排水クリープにおけるダイレタンシークリープ速度とセン断クリープ速度をそれぞれ Singh and Mitchell[3] によるクリープ関数を修正した

$$dv_{ds} = (\ 1 - m_d\ )A_d\exp(\beta_d\ \eta)(\ t_o/t\ )^{m_d}dt \qquad (16\text{-a})$$

$$d\varepsilon_s = (\ 1 - m_s\ )A_s\exp(\beta_s\ \eta)(\ t_o/t\ )^{m_s}dt \qquad (16\text{-b})$$

によって表わしうることが筆者の[1)4)]これまでの実験で明らかになっている。ここで，m_d, A_d, β_d はダイレイタンシークリープに関する，m_s, A_s, β_s はセン断クリープに関する実験定数である。

(5) 飽和粘土の応力・ヒズミ・時間関係式 ; 以上から飽和粘土の異方圧密試験解析のための応力・ヒズミ・時間関係は，次式のようになることがわかる。

$$dv = dv_p + dv_s = (\ dv_c + dv_d\ )_p + (\ dv_c + dv_d\ )_s$$
$$= f_1'(p')dp' + f_2'(q/p')d(q/p') + \alpha_{cs}\log p'(\ dt/t\ ) + (\ 1-m_d\ )A_d\exp(\beta_d\eta)(t_o/t)^{m_d}dt \qquad (17\text{-a})$$

$$d\varepsilon = d\varepsilon_p + d\varepsilon_s$$
$$= \frac{f_1'(p')dp'+f_2'(q/p')d(q/p')}{M_p - N_p(q/p')} + (1 - m_s)A_s\exp(\beta_s\ \eta)(t_o/t)dt \qquad (17\text{-b})$$

3. 排水クリープ試験および異方圧密試験解析上の問題点

上記構成式を用いて室内における飽和粘土供試体の時間依存挙動を解析するに当っては次のような問題点を解決しなければならない。

(1) 関数 f_1, f_2 の具体的な形をきめること，(2) 式(16)における実験定数をきめるための簡便な方法を開発すること，(3) Extension 領域の挙動を説明しうるよう修正すること

4. あとがき

飽和粘土の三次元圧密沈下計算法を提案するための First step として室内の異方圧密試験や排水クリープ試験における飽和粘土の変形挙動を説明するための構成式を提案した。現在，いくつかの現位置における計測データと室内モデル実験による観測データを集めつつあり，ここで提案した方法の適応性に関する議論が次の step で可能になりつつある。その結果は機会をみて稿を改めたいと考えている。

引用文献　1) 山内豊聡・安原一哉(1976) ; 異方圧密粘土の応力・ヒズミ・時間関係，九大工学集報，Vol.49, No.6, pp.713-721. 2) Schofield, A.N. & M.A.Wroth (1968);Critical State Soil Mechanics, McGraw Hill, London. 3) Singh, A. & J.K. Mitchell (1968); General Stress Strain Time Function for Soils,Proc., ASCE, Vol.94, SM1, pp.21-46. 4) Yamanouchi, T. & K. Yasuhara ; Deformation of Saturated Soft Clay under Repeated Loadings, International Symp. on Soft Clay (to be published).