

土の弾性係数及び降伏値に関するレオロジー的考察

東北大学大学院 正員 小川正二

土の弾性係数、降伏値などを一般に行われている圧縮試験によって求めることは非常にむづかしいが、締固めの土の供試体に任意の大きさの応力を繰返して載荷し、その供試体の圧縮試験の結果をレオロジー的模型に基づいて考察すると弾性係数および降伏値を求めることが出来る。

レオロジー的模型

解析を簡単にするために締固め供試体を図-1に示すような模型によって考える。この模型を $\sigma = \dot{\sigma}t$ なる一定応力速度で圧縮すると応力とヒズミの関係は次式のようになる。

$$\epsilon = \frac{\dot{\sigma}}{E} \left(\frac{\sigma}{\dot{\sigma}} - \frac{\eta_1}{E} \right) + \frac{\eta_1 \dot{\sigma}}{E} e^{-\frac{E}{\eta_1} \frac{\sigma}{\dot{\sigma}}} + \frac{\sigma^2}{2\eta_2 \dot{\sigma}} + \left[\frac{1}{\eta_3 \dot{\sigma}^{n+1}} (\sigma - \sigma_y)^{n+1} \right] \quad (1)$$

(1)式を時間 t で微分すると、 $\sigma = \dot{\sigma}t$ であるから、

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{\dot{\sigma}}{E} \left(1 - e^{-\frac{E}{\eta_1} \frac{\sigma}{\dot{\sigma}}} \right) + \frac{\sigma}{\eta_2} + \left[\frac{1}{\eta_3} (\sigma - \sigma_y)^n \right] \quad (2)$$

となる。(1),(2)式に於いて、 σ_y は降伏応力を表わし、[]内は降伏が生じた後にのみ考えるものとする。

(2)式に、1) $n=2, \eta_2 = \text{一定}$ 2) $n=1, \eta_2 = \text{一定}$ 3) $n=1, \eta_2 = \infty$ を代入すると、各々、図-2に示すような曲線が得られる。

試験結果

試験に用いた2種類の粘土(A,B)、粘土Bと砂を乾燥重量で4:1, 1:1の割合に混合した試料を用いた。

繰返し応力を受ける締固め供試体の一軸圧縮試験よりヒズミ速度 $(d\epsilon/dt)$ と軸応力

(σ)の関係を求めると図-3の如くなり、図-2の $n=1, \eta_2 = \infty$ の曲線と非常に良く類似した型を示している。又、繰返し応力を受ける n が1に近づくこともわかる。従って、この曲線の折点はレオロジー模型に於ける降伏点を示し、降伏点以前の水平部の縦座標は $\dot{\sigma}/E$ を表わすことになる。これらの関係から任意の大きさの繰返し応力を受ける土の降伏応力(σ_y)、弾性係数(E)を求めることができる。

① 繰返し応力度が土の疲労限界以下であるならば、降伏応力は繰返し応力の載荷回数とともに増大する(図-4)。この関係は含水比・密度・試料が異なる場合にもみられ、砂質系の試料ほど降伏値は小さくなる。

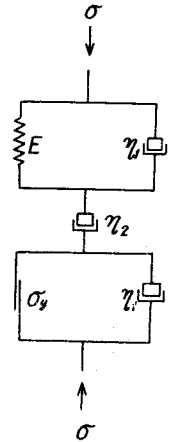


図-1 レオロジー的模型

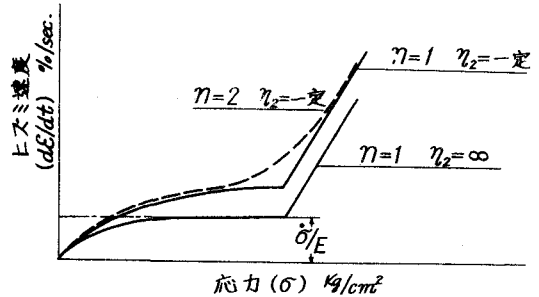


図-2 レオロジー的模型によるヒズミ速度と応力の関係

図-4などの関係より、降伏応力 (σ_y) と載荷回数 (N) の間には

$$\sigma_y = a e^{b(N)} \quad (3)$$

なる関係のあることがわかる。従って、(3)式に $N=0$ を代入すれば繰返し応力を受けないときの降伏応力を推定することも出来る。

② 又、繰返し応力が疲労限界以下の場合には、繰返し応力度の増大とともに降伏応力も高まり、繰返し応力度が疲労限界以上になると試料内部に破壊が生じ、降伏応力は低下することがわかった。

③ 一般に、弾性係数は載荷回数とともに増大するが、その増加の割合は繰返し応力度の小さいほど著しく、10万回載荷すると、弾性係数は繰返し応力度の小さいほど大きくなる。

④ 又、含水比の低いほどその値は大きくなり、一軸圧縮強度の65%の繰返し応力を受けた供試体について比較してみると密度の高いほど大きいことがわかる(図-5)。

⑤ 更に、粘土Bと混合土の試験結果より、弾性係数は砂含有量の多いほど小さいようであるが、その差は非常に少ないものであることがわかった。

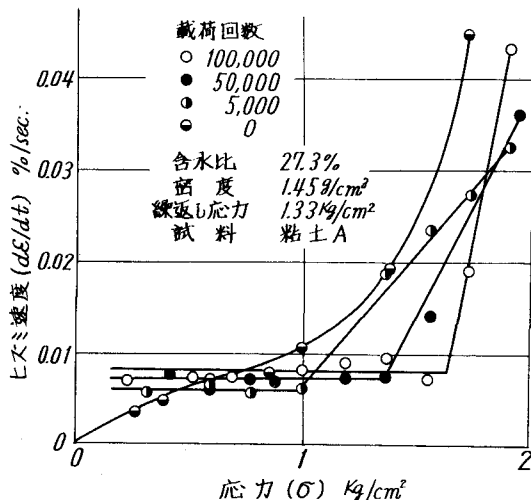


図-3 一軸圧縮試験に於けるヒステリシス率と応力の関係

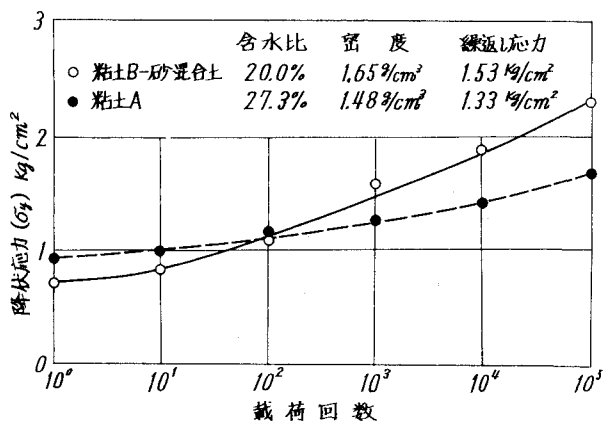


図-4 降伏応力への載荷回数の影響

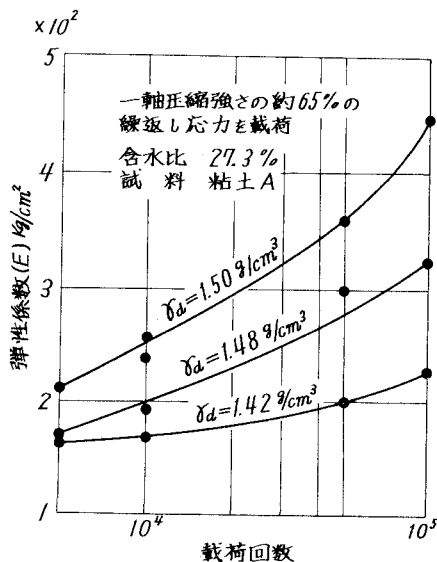


図 5 弾性変位率への載荷回数及び密度の影響