

III-216

土の不安定構造からの圧縮挙動について

東海大学 福江正治
 埼玉大学 風間秀彦
 (株)フジタ 大西淳文

1. まえがき 粘土粒子の微視的特性から考えると、粒子相互作用の形態は構造と圧力レベルに関して少なくとも4つのエネルギー状態に区別され得る。すなわち、高圧域から考えて、(1)粒子クリープ(塑性変形)域、電気2重層理論における(2)固着層域、(3)水分子やイオンの吸着層域また(4)これらの範囲を越える粒子間距離における微弱な相互作用域である。実際にはこれらに加えて、無荷重から極めて低い圧力範囲で粒子の再配列が起こる過程が考えられる。そこで、本研究では上記の仮説を基に、スラリーからの圧縮過程について仮説的に検討を行う。

2. 圧密(圧縮)過程 均質で初期間隙比 e_0 をもつスラリーを考える。スラリーをそのまま容器内に放置すると、時間の経過とともに圧力に対応して圧密が進むが、 e - p 関係は非線形形であるので間隙比は深さ依存となる。このとき、自重圧密において表面($p=0$)では e_0 で安定とすると、最終的な間隙比の深さ分布や土柱内の e - $\log p$ 関係は表-1の3つの式で表せる^{1,2)}。ただし、深さを半無限とする場合、パラメータ β を一定として考えるためには上述の各エネルギー系に分けて考える必要がある。これらの式が供試体の圧縮過程をも表し、またいかなるエネルギー系にも成立すると仮定すれば、それぞれの定数および変数は表-1のように広義に解釈される。

3. 結果および考察 図-1、2は同じ土試料(スラリー)について、温度を変えて、自重圧密-再圧密を行ったときの圧縮曲線である。それぞれの圧縮曲線はいくつかの段階から成り、各段階の曲線は e_0 , e_{min} , β を与えて表1を計算することによって得られる。またそれぞれの図において Δ 印は自重圧密における平均圧力に対してほぼ最終的な平均間隙比をプロットしたものである。しかし、この圧力までの範囲において、供試体の間隙比は深さ方向に一樣ではないので、 e - $\log p$ 関係として考えるには補正する必要がある²⁾。圧密圧力が大きくなるに連れて供試体の間隙比は深さに対して余り変化しなくなるので再圧密域では補正の必要がない。なお、曲線を得るために用いた条件を図中に示す。

図-1に示す 20°C の場合において、全圧縮過程は5つの段階に分けられる。一方、図-2に示す 70°C の場合には、4つの段階から成る。なお、 45°C の場合には図1および2の中間的な曲線となることを記しておく。また、異なる土を用いても同じ傾向となる。以上について、次の仮説を立てることができる。

粒子再配列段階 粒子構造が緩いとき無荷重状態から負荷状態に移る条件で起こる粒子再配列過程。この過程は β が 10^{-1}cm^{-1} のオーダーで³⁾、 p の範囲は極めて小さい。ここでは $\beta=0.4\text{cm}^{-1}$ と仮定しているが、これより小さいことも考えられる。その場合、この範囲の e - $\log p$ 関係は右へ平行移動することになる²⁾。

第1段階 粒子構造は緩く、圧密は低応力下で粒子相互作用力が弱い吸着層の外側ですべりが起こる。

第2段階 第1段階より粒子間距離が小さくなると、粒子相互の吸着層(二重層)の接触が始まる。圧密が起こるためには吸着層の水分子やイオンを動かす力が必要となるので、第1段階より高い応力レベルでの圧密過程となる。温度が高くなるほどこの段階の幅が狭くなる。また、この段階までの圧密は従来あまり検討されていない。

第3段階 吸着層の変形が十分に起こり、構造が密になるにつれ固着層面の接触が起こり、そこでのすべり(結果として圧密)が起こる。この場合吸着層を変形させる力は依然必要である。このように考えると、温度が高いと、第2段階の幅は狭くなることから吸着層は薄くなければならない。このことは拡散2重層理論と矛盾するが、水分子の運動エネルギーが温度依存であることを考えれば、有り得ないことではない。従来、土の圧密とはこの段階を指す。

第4段階 図1および2では第3段階の圧密までしか扱っていないが、第3段階の後においても圧密が起こる⁴⁾。間隙比が0.5程度以下になると、もはや粒子相互のすべりは起こらなくなり⁵⁾、高応力下では

粒子の塑性変形が起こる。
この過程は地質学における
後期続成過程に対応する。

4. あとがき 本報告で述べたことは今のところ仮説であるが、土の一生という観点から土を本質的に理解するためには、現在まで余り検討されていない低密度・低応力レベルおよび高密度・高応力レベルの圧密機構についての議論が必要であろう。これらについて今後詳細に検討していきたいと考えている。

表-1 仮想粒子の概念から得られる基本式¹⁾

$\frac{e - e_{min}}{e_0 - e_{min}} = 0.119 + 0.881(1 - \beta z) \exp(-\beta z)$	(1)
$e = d(\bar{e}z)/dz$	(2)
$p = \frac{(Gs-1)\gamma_w}{1+e} z$ (3) ただし $\frac{\bar{e} - e_{min}}{e_0 - e_{min}} = 0.119 + 0.881 \exp(-\beta z)$	
e_0 : 初期間隙比 (そのエネルギー系で $p=0$ のとき、任意)	
$\bar{e}$: $z=0$ から $z=z$ までの平均間隙比 (z を必ずしも深さとする必要はない)	
e : 従来の考え方による間隙比	
e_{min} : そのエネルギー系の最終間隙比	
β : エネルギー (粒子相互作用力) に関するパラメーター	
z : 深さまたは任意の変数	
G_s : 土粒子比重	
γ_w : 水の単位体積重量	

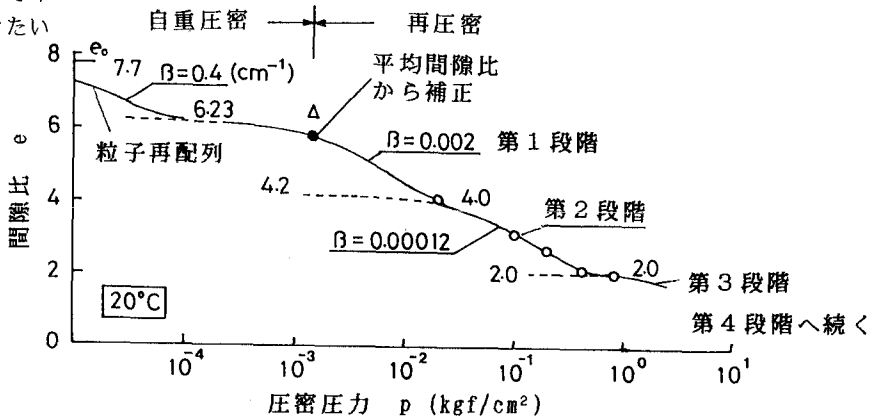


図-1, 20°Cにおけるスラリーからの圧縮曲線(台場粘土)

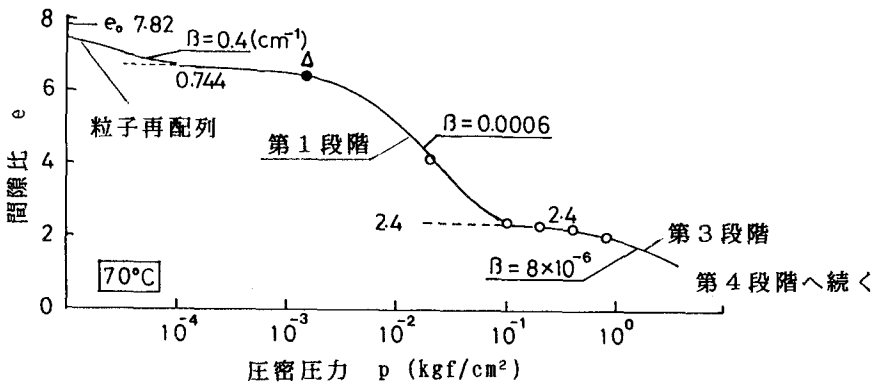


図-2, 70°Cにおけるスラリーからの圧縮曲線(台場粘土)

参考文献 1) 福江・大草(1988)仮想粒子の概念について、第23回土質工学研究発表会、343-346。
2) Fukue and Okusa(1987)Compression law of soil, Soils and Foundations, 27-1, 23-24. 3) Fukue et al(1987)General characteristics of upper soil sediments, Marine Geotechnology, 7, 15-36。
4) 青柳(1978)海成泥質堆積物の続成作用、地質学論集、15, 3-14。 5) 福江ほか(1992)海成土の続成過程について、第27回土質工学研究発表会。