

# 講座



## 土質力学 I

### 土の工学的性質とその試験 (1)

正員 齋藤 迪孝\*

土を構造物の対象として考える時には、土の工学的性質を知らなければならない。それがどの範囲のものを指すかは人によつて意見が違ふが、今回は主として土の應力と歪との関係、剪断抵抗、突固メ特性、透水性等について記述することにする。

#### 1. 土の壓縮と壓密

##### a. 圧密試験装置及び試験方法

側方変形を抑圧した場合の壓縮試験を圧密試験と呼ばれているが、この試験装置は試料を入れる円筒、試料を上下より挟む2枚の多孔板、これに荷重を傳達するピストン、載荷装置、試料の厚サの減少を測定するダイヤルゲージ、水の溢流路等より成つている。円筒は装置に固定した固定型と固定しない遊離型とあり、ピストンには中空円筒型と軸付円板型、載荷装置としてはジャッキ、スプリング、重錘とテコ等によるものがある。試料の大キサは径 6.5~12cm. 厚サ 1~4cm のものが多い。

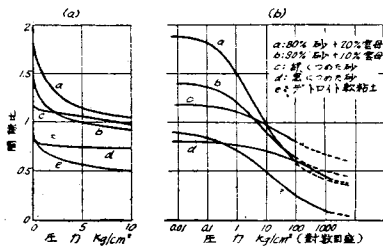
試料に荷重を加えると、厚サは減少し、余分の水はしぼり出される。この時の荷重に相應した圧密が完全に終る迄、即ちダイヤルゲージが廻らなくなる迄、次の段階の荷重をかけてはならない。このようにして荷重に相應する沈下を記録し、所定の最後の荷重に達した後、荷重を徐々に減少させてその膨脹を測定する。

試験結果は間隙比  $e$  と圧力  $p$  との関係であらわす。それには  $e-p$  曲線と  $e-\log p$  曲線との2通りあつて、双方共利点があり使用される。

##### b. 土の種類及び状態による圧密特性

砂と亂された土との  $e-p$  関係はよく似ている。(圖一参照)即ち  $e-\log p$  曲線について見ると、最

圖一 砂及び亂された土の  
間隙比—壓力關係曲線

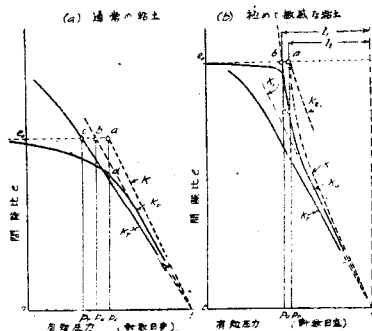


初と最後とは水平に近く、中間は傾いた直線をなす。砂ではその中間の直線部分は  $10\sim 100\text{kg/cm}^2$  の圧力から始まり、この圧力で粒子が破碎し始め、傾斜が増すと考えられる。天然状態の砂は層状になつていたり若干固結していたり、密度が実験室のものとは比べて著しく大きいものや小さいものがあつたりして、実験室の砂とは大分違つているが、砂に関する限りは間隙比が同じならば壓縮性は殆んど等しくなることが多い。

亂されない粘土の場合は、次の2点を考慮する必要がある。先ず、現在地中で受けている荷重より大きい荷重を過去に受けたことのない場合を正常荷重を受けた (normally loaded) と云い、それより大きい荷重を受けたことのあるのを先行荷重をうけた (pre-compressed) と云うが、両者を區別して取扱わなければならない。次に通常の粘土の外に、極めて敏感なものがある。前者を ordinary clay と云い、後者を extra-sensitive clay と云う。後者の例は割合に少いが、液性限界が 100% 以上や、地下 10m 以上の深サの粘土の天然含水量が液性限界より大であつたり、多量の有機物を含んでいるものは、これになる可現性がある。

正常荷重をうけた通常の粘土の場合は圖二 (a) の如くなる。地中で  $p_0$  の荷重をうけ、間隙比が  $e_0$  であるとすれば、図中の a 点に相應する。試料を地上に取り出して間隙比は殆んど変わらないから、a より  $e_0$  の方へ移る。この試料について圧密試験を行うと  $K_u$  線が得られる。これは地中の粘土の  $e-\log p$  曲線たる  $K$  線とは一致しないが、両者の延長は間隙比 0 の線上の同じ点 f で交る。亂された同じ粘土について

圖二 通常の粘土と極めて敏感な  
粘土との間隙比—壓力關係曲線



\* 鉄道技術研究所土質研究室

試験をすれば  $K_v$  線が得られ、この延長も  $f$  点を通る。それ故試験から  $f$  点を求めれば現場圧密線 (field consolidation line)  $K$  が求められる。図中で  $p_u/p_0$  は試料の構造の乱された程度を示すもので、通常 0.3 ~ 0.7 平均 0.5 である。

極めて敏感な粘土の  $e-\log p$  曲線の  $K_u$  は圖-2 (b) の如くであつて、この場合には  $K_u$  に図中の  $l_2$  と  $l_1$  との比を乗じて  $K$  線を求めればよい。

現場圧密線  $K$  は沈下計算をする時の基準となる。即ち  $C_c: K$  tangent

$H$ : 粘土層の厚サ  
とすれば沈下量  $S$  は

$$S = H \cdot \frac{C_c}{1 + e_0} \log_{10} \frac{p_0 + \Delta p}{p_0}$$

で計算される。A. W. Skempton の研究によれば、 $L_w$  を液性限界として

$$C_c = 0.009 (L_w - 10\%)$$

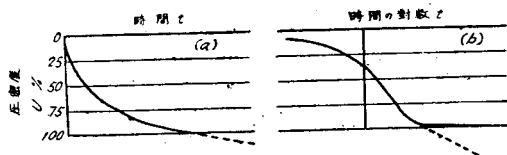
であらわされる。それ故正常荷重をうけた通常の粘土では、液性限界のみを測定することによつて沈下量が計算される。

先行荷重を受けた粘土と云つても 2 種類あつて、それより上の堆積層が浸蝕によつて除去された場合と、地下水の低下によつて乾燥した場合とがある。これらの場合には乱されない試料について試験を行つて、現場圧密線を求めなければならない。先行荷重の大キサは地質学的に正しい値の得られる場合があるが、氷層の荷重が加わつている。それが何の痕跡も残していない場合などは、不正確となるから、実験室で求めた結果から判断する外はない。何れにしても、先行荷重の大キサ迄は沈下は極めて小さいが、それ以上になると急に大きくなることを留意すべきである。

c. 圧密の時間的経過

圧密の時間的経過はスプリングとピストンの模型で説明出来る。この数式的取扱いは熱傳導の式と同じ型式であらわされ、よく知られているものであるから省略する。圧密度が約 80% 迄は時間-圧密曲線は模型例と非常によく似ているが、これ以上になるとこの曲線は水平漸近線に近づかないで、ゆるい傾斜のまま続いて行く (圖-3)。この垂直距離は二次的時間効果と云われ、應力を受けて土粒子が再配列する場合に、粒子間の空りに対して吸着層の粘性によつて起る抵抗があらわれて来たものであると考えられる。

圖-3 時間-圧密曲線



d. 土の單純壓縮

試料の周辺を自由にして圧縮試験を行うと、圧密とは異つた下に凹の應力-歪曲線を得る (圖-4 参照)。この場合には弾性体のように單一の係数で弾性係数をあらわすことは出来ないから、次の 3 つの中の 1 つを用いる。

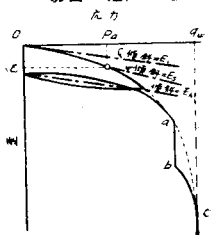
初期正切係数 (initial tangent modulus) :  $E_i$

正割係数 (secant modulus) :  $E_s$   
履歴係数 (hysteresis modulus) :  $E_h$

$E_s$  は平均の勾配をあらわすもので、通常單純壓縮度の  $1/3$  に相應するものをとる。

通常の地盤の圧縮は完全な側方抑制でもなく、又周辺自由でもない。丁度その中間に近いものであつて、従つて荷重-沈下曲線も両方を合せたような形が得られる。

圖-4 土の單純壓縮の場合の應力-歪曲線



2. 土の剪斷抵抗

a. 試験装置及び試験方法

土の剪斷試験装置としては次の事項を測定し得ることが必要である。

最大剪斷抵抗、即ち破壊又は急速な塑性変形を生ずる剪斷應力

破壊前の緩慢な塑性変形の数値

最終剪斷抵抗

應力-歪関係及び剪斷應力による容積変化特性

又試料を次のような條件の下に置き得ることが必要である。

完全に圧密するか又は水分を全然失わせないようにする

剪斷速度は緩速何れにもなし得ること。

一様に剪斷し得ること

最初に作られた剪斷試験機は箱剪斷 (box shear) と称する型式のものであつて、一面剪斷又は二面剪斷はこれに属する。これは剪斷面積が減少するので、一様に剪斷し難い爲に正しい剪斷抵抗が求められない。しかし機構及び操作が簡単なこと、試料の準備が容易なこと、排水が容易なこと等の利点があるので、広く使われている。剪斷を一様に行う爲には、試料の厚サを薄くし、箱枠の側面で押すよりは上下の載荷面で保持して剪斷するように改良の方向が向けられている。又これの最も簡単な装置として、側面が無く、2枚の板で試料を押えて剪斷する平板剪斷 (plate shear) 試験機がある。

剪斷面積の減少を防ぐ爲に円筒面で剪斷する回轉剪斷 (rotary shear) 試験機が考案されたが、垂直荷重のかけ方がむづかしいので成功しなかつた。

次に同じく剪斷面積の減少を防ぐ爲に、円筒形の軸に垂直な面で剪斷する振り剪斷 (torsion shear) 試験機が考案された。これは載荷機構が容易であるが、剪斷面に於て一様に剪斷する爲に中空としているので、試料の準備が困難で、専ら乱された土の試験に使われている。

以上とは別の考案で既知の主應力から Mohr の円を画いて、剪斷抵抗を求める 3 軸圧縮試験機が考案された。これは今迄の中で應力関係が最もはつきりして居り、又その大キサを自由に変えることが出来る。又その機構上、水分の保持は完全に行われるが、排水は困難である。應力状態を一様にする爲に長い試料を要すること及び破壊後の最終剪斷強サの求められないのは不利である。

以上の如く数多くの剪斷試験機が考案されたが、現在の処最も完成した試験機としては、最大剪斷抵抗を求めるには三軸圧縮、最終剪斷抵抗を求めるには振り (29 頁へ)