

III-28 圧密特性に及ぼす粘土構造の影響

日本大学 理工 正 ○ 浅川 美利

， ， ， 宮 森 建 樹

， ， 学 丸 山 誠

まえがき

土の変形や圧縮特性は、粘土の初期構造の違いによって異った挙動を示すことが考えられる。

粘土の初期構造を変える一つの方法として、締固めの時の含水量を調節することによって、綿毛構造のものや、分散した構造のものが得られる。浅川は昨年度の講演会において、乾燥密度が一定になるような最適含水比前後の含水比を選び、一定のエネルギーで締固めた土から構造の異なる二種の供試体を作って、それぞれの圧縮特性をしらべ報告した。

今回は、粘土構造を変える要因として含水量の調節の他にエネルギーをも変え、初期構造の異なる六種類の供試体を作り、圧縮性の比較、粒子配向の度合や結合力の違いによって表われる圧縮量の変化とその傾向、および圧密過程に現われる土粒子配向の変化などについてしらべた。

I. 供試体作製と圧密試験

I-1 試料および液：試料は市販のカオリン質粘土 ($G_s = 2.657$, $w_L = 50.2\%$, $I_p = 12.6\%$) を使用し、粘土に加える液分は $1 \times 10^3 \text{ mol/l}$ の NaCl 水溶液とした。

I-2 供試体作製のための締固めの条件

(i) 締固めの試験は CBR モールドを用い、ランマー重量 4.5 kg、落下高 300 mm の自動突固めの装置で行なった。突固め層数は三層とし、突固めエネルギーを変えるために打撃回数を各層 90 回、115 回および 130 回の三段階に変えて締固めた。その結果を図-1 に示す。

(ii) それぞれの締固め曲線、図-1 において、それぞれの乾燥密度 γ_d が 1.550 g/cm^3 となるような含水量を決定し、突固めエネルギーに応じた含水量で突固めを行なった。モールド内の平均密度が $\gamma_d = 1.550 \pm 0.010 \text{ g/cm}^3$ 以内になるよう管理した。

I-3 供試体密度：締固めた試料から圧密成形リングを用いて、圧密供試体を成形した。この供試体の乾燥密度は、試料の上中下層でかなりのバラツキのあることがわかった。(図-2 参照) また、CBR モールド内では、 $\gamma_d = 1.550 \pm 0.010 \text{ g/cm}^3$ であったが、成形後の圧密供試体の密度はそれを上まっていたので、予定乾燥密度の水準を上げ、 $\gamma_d = 1.595 \pm 0.010 \text{ g/cm}^3$ になるようなものを選んで試験用供試体とした。

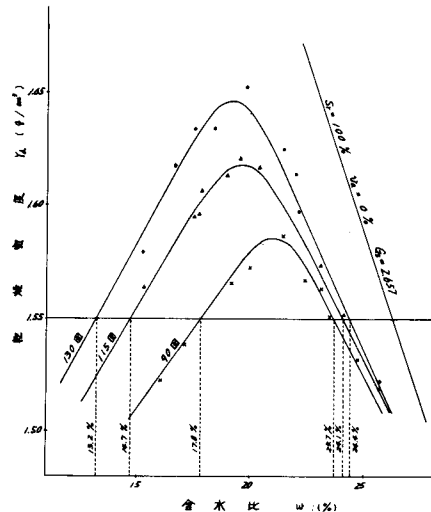


図-1

I-4 供試体の水浸・飽和：許容範囲にはいった供試体について飽和させるために水浸を行ない、そのときに起こる膨張を規制するために次のような手順を採り出した。まず圧密箱にセットした供試体を圧密試験機に備えつけ、膨張を規制するのに十分な荷重 (0.8 kg/cm^2) を載せ、載荷レバーをストッパーで荷重がかからない様に上部で停めておく。そして、ダイヤルゲージを見ながら、ストッパーをゆるめて載荷レバーを降ろし、目盛がふれたときにストッパーを停める。最後に、水浸箱に水を満たし、再調整を行う。なお、飽和期間には供試体が飽和するのに十分な4日間とした。飽和が終了してから最初の荷重を載せるとき、すでに膨張規制のために載荷している $0.8 (\text{kg/cm}^2)$ の荷重の代わりに $0.1 (\text{kg/cm}^2)$ なり $0.2 (\text{kg/cm}^2)$ あるいは $0.4 (\text{kg/cm}^2)$ などを載せてみて膨張が認められないならばその荷重から圧密を開始した。

I-5 圧密試験：圧密試験は、JIS規格の通常の試験を固定リング型の圧密箱を用いて行なった。なお荷重は、標準的な載荷方法で ($0.1 \sim 12.8 \text{ kg/cm}^2$)、一つの荷重段階で24時間圧密したのち次の荷重段階に移り、最終段階で圧密が終了後、一段階づつ荷重を取り除き除荷試験を行なった。

II 実験結果と考察

II-1 変形特性にみられる粘土構造の特徴：変形特性として体積圧縮係数 m_v と、段階荷重での圧縮量 (Δe) とを選び、 $m_v \cdot \Delta e - P$ の関係を初期構造の違う各粘土について示すと、図-3 (模式図) のような傾向が得られる。図中④は、粒子配向が *edge-to-face* で、しかもリンク結合力がきわめて大きい場合の仮想曲線である。また⑤は、リンク結合力が発揮されないようなよく分散した構造の場合の仮想曲線である。土の種類が一定し、間隙水量、密度、飽和度等の状態量がほぼ一定している土で、構造だけが異なる場合、 $m_v - P$ 関係は④～⑤の範囲にあり、初期構造の条件によって④の特性を示すか、⑤の特性を示すかが決まってくる。圧密降伏応力を超え、粒子の再配列が起って完全定向配列に

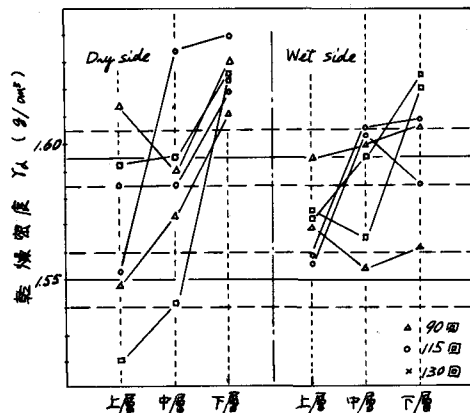


図-2

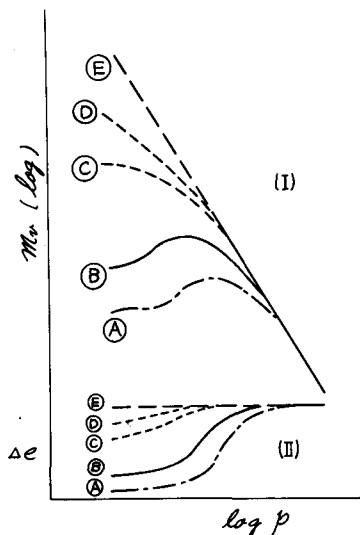


図-3

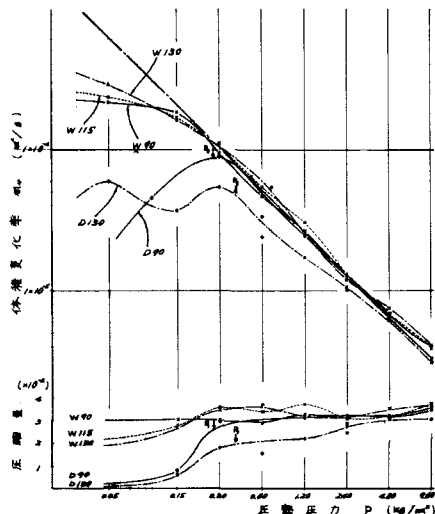


図-4

ると、初期構造に関係なく ②曲線へと漸近していく。たとえば ⑤は、edge-to-face 配列を示す構造であるが、リンク結合力は④のように強力ではないと評価される。また ⑥あるいは⑦は、系全体としては分散した構造であるが、部分的には edge-to-face の影響があると評価される。同様のことが $\Delta e-P$ 関係の表示によってもみられる。

表示された $mo-\log P$ 曲線の形状、それが ④に近づくか ⑤に近づくか、また曲線のピークの位置および ⑤曲線への漸近点などが知られると、土の初期構造のあり方や対象土の乱れの状態などが予測されよう。図-4は、今回の実験から得られたものを上述の方針で整理したものを示す。乾燥側で突固められた粘土は上述の④あるいは⑤の形状を示し、またエネルギーの大きいほどリンク結合力を大きくする傾向のあることがわかる。一方、湿润側のもものは⑥⑦の形状を示し、またエネルギーが大きくなるほどこね返しの影響を受けて⑤へと接近している。ところで圧縮特性と構造の関係は、具体的には次のような問題を考えるときに有意義である。

- (1) 土の乱れの状態およびその程度をしらべる場合。
- (2) 突固めによってこね返しの起るような粘土の特性をしらべる場合。
- (3) 対象としている粘土の初期構造がいかにようであるかを予測する場合。

II-2 edge-to-face 構造におけるリンク結合力：

海成粘土が生成されていく過程での綿毛構造と乾燥側で突固められた粘土が形成する綿毛構造とは、構造生成の過程において全く違った原因によっている。

しかし、違った生成機構であっても、結果として土粒子相互は edge-to-face 配列をなしているという点で類似性をもつ。edge-to-face 配列における結合力は、土粒子が特別な結合材によって結合されていない場合、Van der Waals あるいは Coulomb 力に依存している。その力は粒子間の接近力であるので、土粒子相互を接近させる条件によって変化する。edge-to-face 構造をもった粘土の圧密降伏応力は、単位面積内のリンク結合力の合計に相当すると考えてよいと思う。このことは、図-5に示す圧縮過程での粒子配向の変化の傾向からも知られる。この実験の場合、含水量

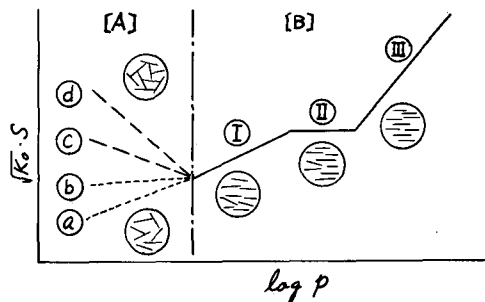


図-5

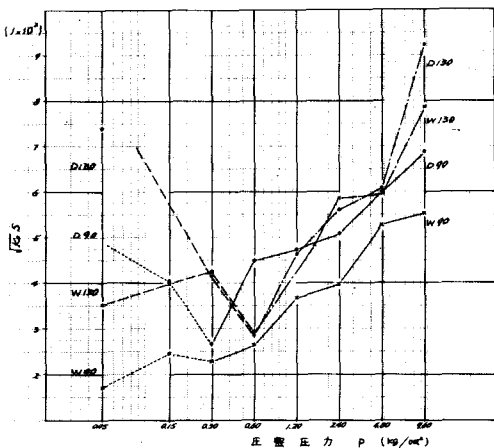


図-6

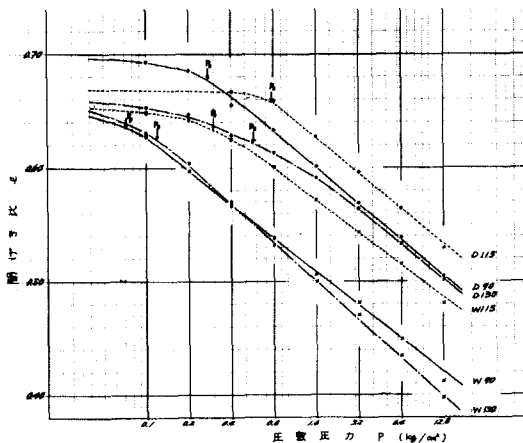


図-7

と突固めエネルギーが、edge-to-faceの構成原因となっているわけであるが、リンク結合力の強さを決めるファクターともなっている。図-7でみられるように、乾燥側で締固めた粘土は突固めエネルギーに応じてその圧密降伏応力が増加する。同じ先行圧密応力を受けている粘土であっても、土粒子配列の異なる場合、たとえばedge-to-faceの場合とface-to-faceの場合の圧密降伏応力の意味合いは、本質的に違ったものである。降伏後の圧縮過程は、高い圧力レベルに達すると初期構造の影響はなく、同じ粒子間隔をもった完全定向配列となるが、それ以下の応力下では変形のプロセスも異なる。

Ⅱ-3 圧密過程中的構造変化：段階的に圧密応力が増加していく時の圧密過程に起る粘土構造の変化は図-5の模式図に示すように圧密降伏応力を境にして、[A]の領域と[B]の領域にわけられる。[A]の領域では、初期構造のあり方によってよく分散した構造の②と③、綿毛構造の④と⑤のような傾向を示す。[B]の領域では、粒子の再配列、定向配列状態での粒子の接近、完全定向配列化が行なわれる圧縮過程である。この領域では、粒子再配列あるいは定向配列化が急速に進む、①の段階、ほぼ完全定向配列となって粒子間距離だけが縮められる、②段階、および完全定向配列でしかも粒子間けん引力が増大し始める、③段階に区分される。粘土構造の初期条件によって各段階の位置や傾向に若干の違いはあるが、土粒子-水系の物性が一定するとほぼ同じような構造変化の傾向がみられる。図-6は、実験結果を $\sqrt{k_0}S - p$ の関係で示したものである。ここでいう構造項 $\sqrt{k_0}S$ は、Carmanの透水に関する理論式を、 $\sqrt{k_0}S = (1/k_0 \cdot e^3 / 1+e)^{1/2}$ で表わしたものである。この結果を図-3(Ⅳ)の $\Delta e - p$ 関係と比較してみると、土粒子配列の変化と変形過程の関係がすぐわかる。

まとめ

土の e 、 γ_d 、 S_r を規制し、粘土の初期構造だけを変えるような条件を与え、構造の違いによって生ずる圧縮性の変化をしらべた。まとめとして次のようなことが挙げられよう。

- (1) 圧密試験結果の整理としてごく普通に用いられている $mv - \log p$ 表示は、圧密量の算出のために用いるだけでなく、サンプリングされた試料状態の評価や初期構造の予測にも役立てられる。
- (2) edge-to-face 構造における圧密降伏応力は、リンク結合力に相当するものと考えて可からう。
- (3) 圧密過程における粘土の構造変化と圧縮量との間には、有意義な関係がみられる。
- (4) 粘土の変形挙動をしらべるために実験室内で試料を再製し、供試体の一様性を表示するのに状態量だけによっていることが多い。このような問題を論ずるには、再製された試料の初期構造の条件を管理するようになければならない。

以上、現象を定性的に説明したに過ぎないが、定量的説明ができるよう準備している。なお実験に協力してくれた落合正水(当時大学院、戸田建設)、水本彰雄(大林組)、渋谷寛俊(大豊建設)、石原伸郎(東急電鉄)の四君に感謝する。

参考文献：浅川：“土質工学における粘土構造の問題”，表面，Vol. 8, No. 12, pp. 12~26, 1970

浅川：“圧密に及ぼす粘土構造の影響”，第25回土学会年次講演会，1970