

# 締固めたカオリンの水浸に伴う膨潤特性

亀井健史<sup>1</sup>・榎本雅夫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 島根大学助教授 理学部地質学科 (〒690 松江市西川津町 1060)

<sup>2</sup>正会員 工修 基礎地盤コンサルタンツ(株) 地盤物性研究室 研究員 (〒145 大田区石川町 2-14-1)

締固めた粘土(カオリン)の水浸に伴う膨潤特性を膨潤変形量および膨潤圧の両面から定量的に把握するため、異なる初期飽和度と初期乾燥密度を有する供試体に対して、水浸膨潤試験を行った。その結果、水浸に伴う膨潤量比と膨潤圧および飽和度の経時変化を計測することにより、吸水前の初期飽和度、初期乾燥密度がカオリンの膨潤特性(膨潤量比・膨潤圧)に及ぼす影響を検討し、シルト質土の試験結果との比較を行っている。

**Key Words** : compaction, degree of saturation, Kaolin, partially saturated soil, silt, swelling

## 1. はじめに

一般的に不飽和状態の粘性土が水の浸透を受けると土は膨潤を生じる。特に Expansive Soils (膨潤性土) と呼ばれる膨潤性の高い土が存在する地域では、このような土の膨潤現象は建設物の破壊等工学的に大きな問題となって表れている。膨潤性土は主にアメリカ、カナダ、南アフリカ、イスラエル、イラク、インド等の地域に見られ、例えばアメリカ合衆国では、1973年に膨潤により道路や建設物をはじめとする構造物等に膨大な被害が生じているという報告例がある<sup>1)</sup>。また、南アフリカでは降雨により5年間で地盤が20cm程度膨潤した例があり、これらの現象は建物に重大な被害をもたらしている<sup>2)</sup>。さらに、エクアドルで膨潤性土地盤への製油所の建設に際して、膨潤性土の工学的特性を考慮して設計・施工を行った事例が報告されている<sup>3)</sup>。一方、我が国においてもトンネル掘削に伴う地山の膨潤の問題や膨潤により斜面の強度が低下し、斜面崩壊や地すべりの原因となると言われている<sup>4)</sup>。

土の膨潤は、電気二重層に基づく反発力が大きく関与しており、膨潤特性に影響を与える主要因としては、粒子の表面電荷、比表面積、間隙水のイオン濃度、イオン交換容量、交換性イオンの種類等土の物理化学的性質が挙げられている<sup>5)</sup>。このほかに土の乾燥密度、含水比および土に作用する載荷重は膨潤特性に大きな影響を及ぼすことが示されており、土の膨潤特性がその地盤が有している内的条件(飽和度、乾燥密度)とその地盤が受けている外的条件(上載圧)によっても大きな影響を受けることが指摘されている<sup>5)</sup>。

このようなことから、亀井・榎本<sup>6)</sup>は土の膨潤現象とコ

ラプス沈下現象の両面から工学的問題となる材料であるシルト質土を対象に、水浸に伴う膨潤特性の検討を行っている。さらにここでは膨潤性が高い試料である粘土(カオリン)を対象に、水浸に伴う膨潤特性を膨潤変形量および膨潤圧の両面から定量的に把握することを試み、さらにシルト質土の試験結果<sup>6)</sup>との比較を行った。

## 2. 試料および試験方法

試料としては、主に粘土成分からなる市販のカオリンを用いた。カオリンと試験結果の比較を行うシルト質土<sup>6)</sup>の物理的性質を表-1に示す。シルト質土は、カオリンの原石を粉砕したものから0.01mm以下の細粒分を極力除去した主にシルト成分からなる土である。なお、両試料の化学成分を表-2に示す。また、膨潤性を評価する一つの指標として、建造物に関する統一基準(Uniform Building Code (UBC)<sup>7)</sup>)を用いると、今回使用したカオリンではExpansion Index (EI)が250程度となり、膨潤性が最も高い土に分類される。なお、EIは定められた締固め方法で締固めた試料を、鉛直圧6.89kPaの条件下で膨潤試験を行い、得られた膨潤量比を1000倍したものである。同様にシルト質土ではEI=60程度であり膨潤性は中程度となる。膨潤性は粘土鉱物の比表面積に支配されており、モンモリロナイトの最大比表面積が800m<sup>2</sup>/gであるに対し、カオリンは15m<sup>2</sup>/gと小さく、その膨潤性もモンモリロナイトに比べ小さいとされている<sup>8)</sup>。また、Seed et al.<sup>9)</sup>は、カオリナイトのEIは1~24と小さく、膨潤性はそれほど高くないことを示している。しかしながら、そこで用いているカオリナイトの $I_p$ が5.5、16.2であるのに対し、

表-1 試料の物理的特性

Soil Sample	Silty Soil	Kaolin
$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.650	2.679
$w_L$	NP	73.1
$w_p$	NP	36.7
$I_p$	NP	36.4
Sand (%)	0	0
Silt (%)	89.6	3.2
Clay (%)	10.4	96.8

表-2 試料の化学成分

Soil Sample	Silty Soil	Kaolin
SiO <sub>2</sub>	53.6 %	95.2 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.2 %	2.1 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4 %	0.5 %
MgO	0.4 %	—
TiO <sub>2</sub>	—	0.4 %
K <sub>2</sub> O	—	0.3 %

本研究で用いたカオリンは  $I_p=36.4$  と高い値を有している。  $I_p$  が大きいほど膨潤性が卓越することから<sup>9),10)</sup>、今回用いたカオリンは高い膨潤性を示しているものと考えられる。

供試体作製に際しては、静的締固めによる方法は動的締固めによる方法と比較して粒子破碎が生じにくく、より均一な供試体を作製しやすいことを考慮して、供試体はその全断面を静的に締固めることにより作製した<sup>6)</sup>。本実験では、供試体の内的条件として、初期飽和度  $S_{ri}=20, 40, 60\%$  と初期乾燥密度  $\rho_{di}=1.10, 1.20, 1.25$  g/cm<sup>3</sup> を変化させた。なお、供試体の  $\rho_{di}$  が大きい供試体は締固め作製直後に僅かに膨張する傾向があるものの、その後供試体の変形はほとんど生じないため、次の実験過程に移った。

試験装置は、標準圧密試験装置を改良したものを用いており、Komine and Ogata<sup>11)</sup>が行った試験と同様に、側方と下部を拘束して上部の膨潤を可能な条件下で膨潤変形量および膨潤圧の測定を行った。本試験装置では、より厳密な吸水量の把握を可能とするためポーラストーンの代わりにセラミックディスクをペダスタルに接着している。また、膨潤変形量の試験時には、上載圧が極力作用しないように薄いアクリル製のキャップを用いた。さらに、膨潤圧の試験時にはキャップに荷重計を剛結し、鉛直荷重を測定している。このような膨潤圧の試

験では、装置の剛性が実験精度に大きな影響を与えるが、今回は膨潤圧 5 MPa まで測定可能な載荷枠を用いており、本試験の圧力範囲で装置自体の変形が生じないようにした。

実験は、圧密リング内の締固めた供試体に下面からセラミックディスクを介して水を徐々に吸水させ、この時の供試体の膨潤変形量（膨潤量比）～吸水量（飽和度）および膨潤圧～吸水量（飽和度）の経時変化を測定し、その変化特性を求めた。膨潤量比は上載圧  $p \approx 0$  ( $p=0.05$  kPa) の状態で、供試体の鉛直方向の膨潤変形量をダイヤルゲージを用いて計測して求めた。また、膨潤圧は圧密リング内の供試体が鉛直方向に変形しないように拘束し、そのときに発生している軸荷重の値を高精度の荷重計により計測した<sup>6)</sup>。

### 3. 実験結果および考察

図-1 (a)～(c) は、異なる初期飽和度 ( $S_{ri}=20, 40, 60\%$ ) の供試体における、吸水に伴う膨潤量比 ( $\Delta H/H_i$ ) の経時変化に及ぼす供試体の初期乾燥密度  $\rho_{di}$  の影響を示している。図より、膨潤挙動は  $S_{ri}$ 、 $\rho_{di}$  に依存しているが、全体的には時間の経過とともに膨潤量が増加する傾向にあり、1000分程度に達すると  $\Delta H/H_i$  がほぼ一定値に達していることが認められる。また、膨潤量に及ぼす供試体の  $\rho_{di}$  の違いに着目すると、供試体の  $S_{ri}$  によらず  $\rho_{di}$  の増加に伴い  $\Delta H/H_i$  が増大している。このような傾向は、締固めエネルギーを変化させて作製した供試体を対象に行った実験結果<sup>6)</sup>およびシルト質土に対する今回と同様の実験結果<sup>6)</sup>と一致している。今回の実験により、カオリンにおいても同様の傾向が種々の  $S_{ri}$  を有する供試体においても認められることが明らかとなった。なお、以下で比較検討を行っているシルト質土の試験結果も同様に亀井・榎本<sup>9)</sup>により示されたものを対象としている。

次に、異なる初期飽和度  $S_{ri}$  を有する供試体に対して、吸水に伴って変化する供試体の膨潤量比と飽和度の関係に及ぼす初期乾燥密度  $\rho_{di}$  の影響を図-2 (a)～(c) に示す。図より、各々の供試体において、吸水後供試体の飽和度が 80% 程度に達するまでは顕著な膨潤変形は生じていないが、その後供試体の飽和度が 84～87% 程度に達すると急激に大きな膨潤が発生し始めていることが認められる。このような傾向はシルト質土の膨潤試験結果においても認められている。

図-3 は、初期乾燥密度  $\rho_{di}$  の異なる供試体の膨潤変形発生時間  $t_{si}$  と初期飽和度  $S_{ri}$  の関係を示している。なお、 $t_{si}$  は図-1の膨潤初期の直線部と、膨潤が卓越している中央の直線部の交点としている。 $t_{si}$  は供試体の  $\rho_{di}$  の違いによりある程度の幅を持つが、全体的に供試

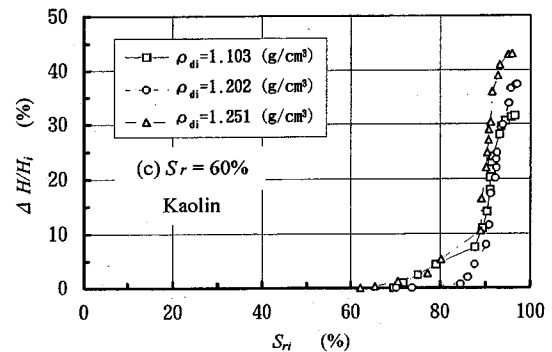
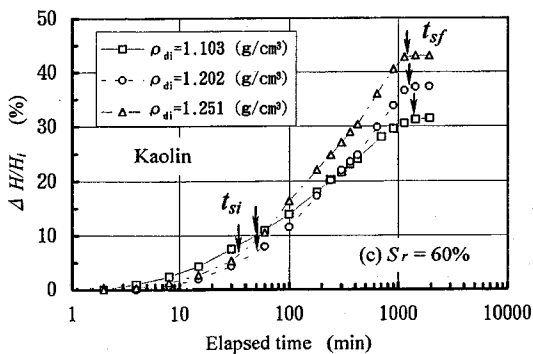
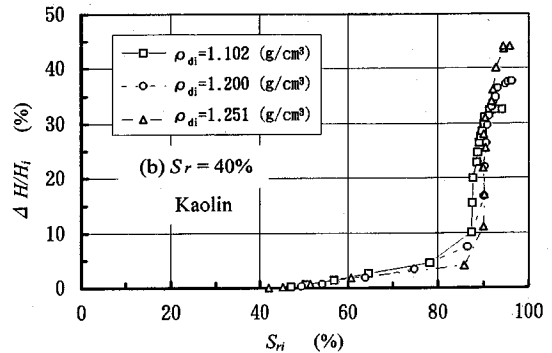
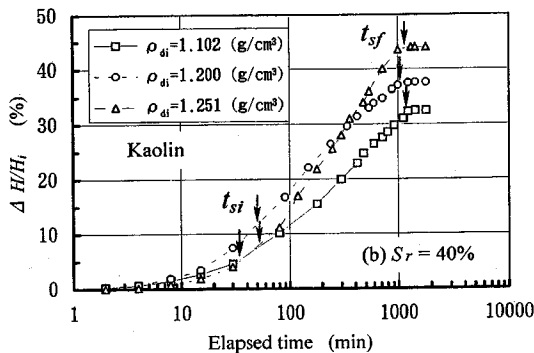
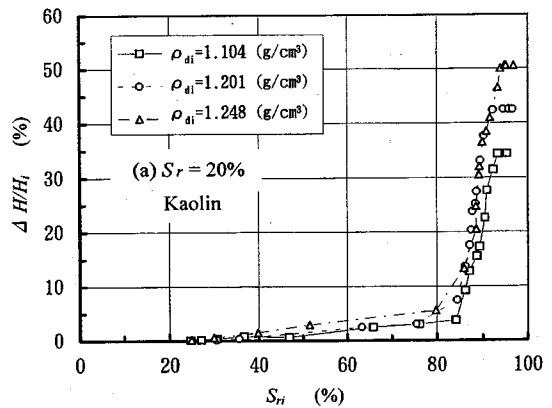
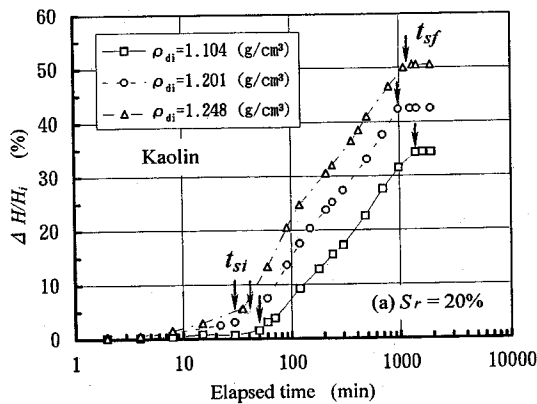


図-1 膨潤量比 ( $\Delta H/H_i$ ) の経時変化に及ぼす初期乾燥密度  $\rho_{di}$  の影響

図-2 膨潤量比 ( $\Delta H/H_i$ ) と飽和度の変化関係に及ぼす初期乾燥密度  $\rho_{di}$  の影響

体の  $S_{ri}$  によらず  $t_{si}$  は 30~50 分程度になっている。このことは、図-2 においても述べたように  $S_{ri}$  によらず、全供試体において飽和度 84~87% 程度で膨潤変形が発生し始めることから、低い  $S_{ri}$  を有する土に比べて高い  $S_{ri}$  の供試体ではゆっくりと吸水されているものと考えられる。これに対してシルト質土では、高い飽和度ほど  $t_{si}$  が小さくなっており、 $S_{ri}$  の違いによる吸水速度の相違はそれ程大きくないものと考えられる。このように、試料の粒径の違いにより、 $S_{ri}$  が吸水速度に与える影響が異なるものと推察される。また、同じ  $S_{ri}$  を有する供試体の  $t_{si}$  に関しては、 $\rho_{di} = 1.10, 1.20 \text{ g/cm}^3$  の供試体

に比べ、 $\rho_{di} = 1.25 \text{ g/cm}^3$  の場合には  $t_{si} = 30$  分程度と早い時間に膨潤が発生する。

一方、初期乾燥密度  $\rho_{di}$  の異なる供試体における膨潤変形終了時間  $t_{sf}$  と初期飽和度  $S_{ri}$  の関係を図-4 に示す。 $t_{sf}$  は図-1 で膨潤が大きい中央部の直線部と膨潤が終了した後の直線部の交点より求めた。図より、供試体の  $S_{ri}$  によらず  $t_{sf}$  はおよそ 1000~1250 分程度の値を示している。また、シルト質土と同様、カオリンにおいても  $\rho_{di}$  の膨潤変形終了時間に及ぼす影響は明瞭には認められず、締め固め時の乾燥密度が小さいほど膨潤の終了時間が早いとする報告<sup>12)</sup>とは異なった結果を示してい

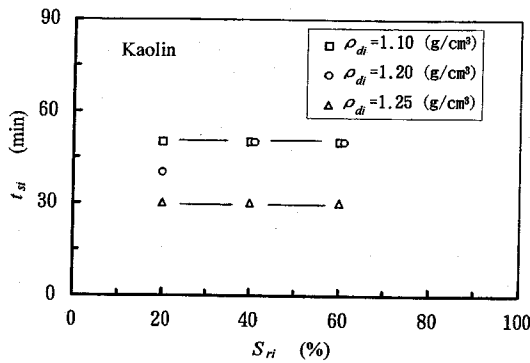


図-3 膨潤変形発生時間  $t_{si}$  と初期飽和度  $S_{ri}$  の関係

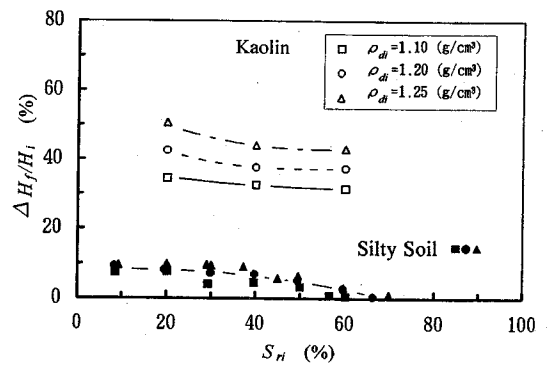


図-6 試験終了時の膨潤量比 ( $\Delta H_f/H_i$ ) と初期飽和度  $S_{ri}$  の関係

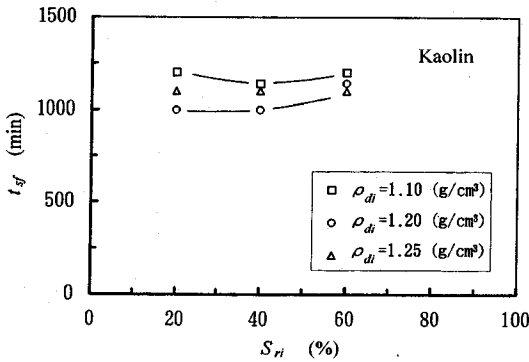


図-4 膨潤変形終了時間  $t_{sf}$  と初期飽和度  $S_{ri}$  の関係

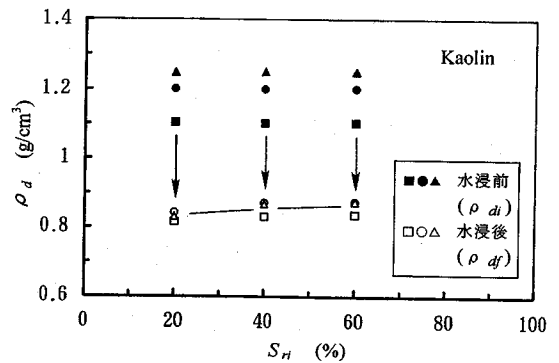


図-7 試験開始時の乾燥密度  $\rho_{di}$ 、試験終了時の乾燥密度  $\rho_{df}$  と初期飽和度  $S_{ri}$  の関係

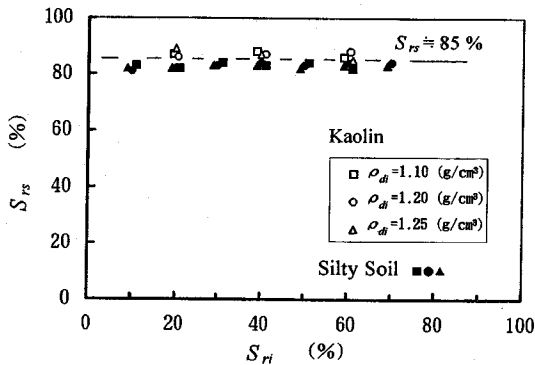


図-5 膨潤変形発生時の飽和度  $S_{rs}$  と初期飽和度  $S_{ri}$  の関係

る。さらに、斉藤・箭内<sup>10)</sup>は土の密度が高いほど透水性が悪くなり、膨潤量の増加は緩慢になるとしている。このようなことから、カオリンでは、今回対象とした  $\rho_{di}$  の範囲では、土の透水性に与える  $\rho_{di}$  の影響が小さいものと推察される。

膨潤変形発生時の飽和度  $S_{rs}$  に着目し、図-5に  $S_{rs}$  と初期飽和度  $t_{si}$  の関係を示す。なお、 $S_{rs}$  は図-2より、 $t_{si}$  と同様の方法で求めている。図より、 $S_{rs}$  は試料の違い、供試体の内的条件 ( $S_{ri}$ ,  $\rho_{di}$ ) によらず 85% 程度で

あることがわかる。この現象を土構造の観点からみると、吸水による飽和度の上昇は、飽和度 80% 程度までは、土構造の間隙を水が満たしていくのみで、土構造には飽和度の上昇がほとんど影響を与えていないものと考えられる。しかしながら、その後飽和度が 84~87% 程度に上昇すると、吸水現象は急激に土構造に影響を与えることとなり、その結果として土粒子間の結合力が減少し<sup>10)</sup>、膨潤変形が発生しているものと推察される。

図-6は初期飽和度  $\rho_{di}$  の異なる供試体における試験終了時の膨潤量比 ( $\Delta H_f/H_i$ ) と初期飽和度  $S_{ri}$  の関係を示している。図より、 $\Delta H_f/H_i$  は  $\rho_{di}$  が同程度の供試体では  $S_{ri}$  の増加に伴い僅かに減少する傾向がある。また、 $\rho_{di}$  が大きくなるほど供試体の  $\Delta H_f/H_i$  は増加しており、 $S_{ri}$  が同じ供試体では  $\rho_{di} = 1.10 \text{ g/cm}^3$  の供試体に比べ  $\rho_{di} = 1.20 \text{ g/cm}^3$  の場合に約 1.2 倍、 $\rho_{di} = 1.25 \text{ g/cm}^3$  の場合に約 1.4 倍  $\Delta H_f/H_i$  が大きくなっている。このように  $\Delta H_f/H_i$  は、供試体の  $S_{ri}$  に比べ  $\rho_{di}$  の影響を大きく受けている。さらに、シルト質土では  $S_{ri}$  および  $\rho_{di}$  の変化に対して  $\Delta H_f/H_i$  が同程度の影響を受けていたが、カオリンにおいては  $\rho_{di}$  と比較して  $S_{ri}$  が膨潤

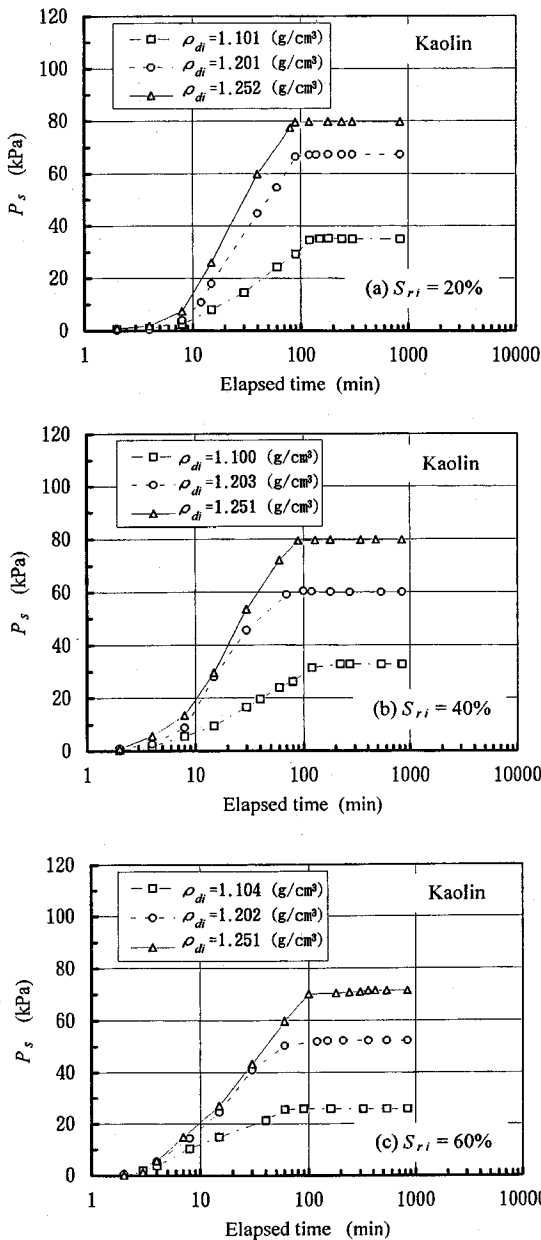


図-8 膨潤圧  $P_s$  の経時変化に及ぼす初期乾燥密度  $\rho_{di}$  の影響

量に及ぼす影響は小さい。

供試体の初期乾燥密度  $\rho_{di}$ 、試験終了時の乾燥密度  $\rho_{df}$  と初期飽和度、 $S_{ri}$  の関係を図-7 に示す。図より、供試体の  $\rho_{df}$  は、供試体の  $\rho_{di}$ 、 $S_{ri}$  の影響を受けず  $\rho_{df} = 0.8 \sim 0.9 \text{ g/cm}^3$  の範囲内でほぼ同程度の値に収束している。このように、カオリンでは供試体の内的条件によらず水浸後はほぼ同じ乾燥密度となる。

図-8 (a)~(c) は、異なる初期飽和度 ( $S_{ri} = 20, 40, 60\%$ ) の供試体における、吸水に伴う膨潤圧  $P_s$  の

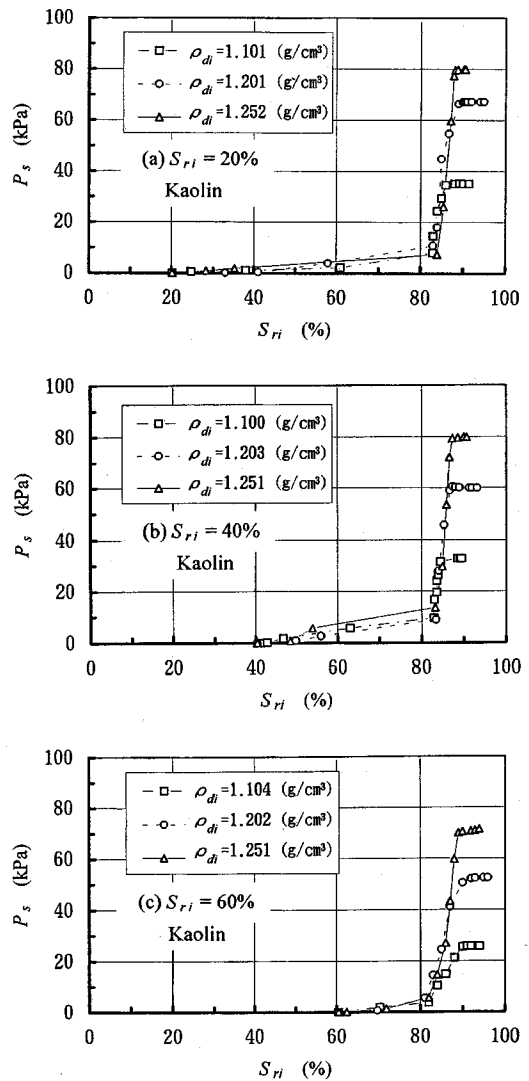


図-9 膨潤圧  $P_s$  と飽和度の変化関係に及ぼす初期乾燥密度  $\rho_{di}$  の影響

経時変化に及ぼす初期乾燥密度  $\rho_{di}$  の影響を示している。図より、供試体の内的条件 ( $\rho_{di}$ 、 $S_{ri}$ ) によらず  $P_s$  は時間経過とともに増大し、およそ 100 分程度で一定値に落ちついている。 $P_s$  は 4~100 分程度の間で発生しており、図-1 で示した膨潤量に比べ  $P_s$  は早い時間に短時間の間に生じている。また、最大膨潤圧  $P_{smax}$  に及ぼす供試体の初期乾燥密度  $\rho_{di}$  の違いに着目すると、 $S_{ri}$  によらず  $\rho_{di}$  の大きい供試体ほど  $P_{smax}$  が大きい値を示している。さらに、同じ  $\rho_{di}$  の供試体においては、 $S_{ri}$  の増加に伴い  $P_{smax}$  は僅かに減少しているが、 $\rho_{di}$  が  $P_{smax}$  に与える影響に比べて小さい。

吸水に伴う膨潤圧  $P_s$  の経時変化に関してカオリンとシルト土質の試験結果と比較すると、シルト質土では

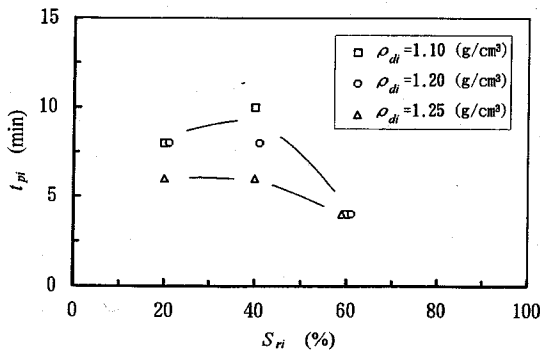


図-10 膨潤圧発生時間  $t_{pi}$  と初期飽和度  $S_{ri}$  の関係

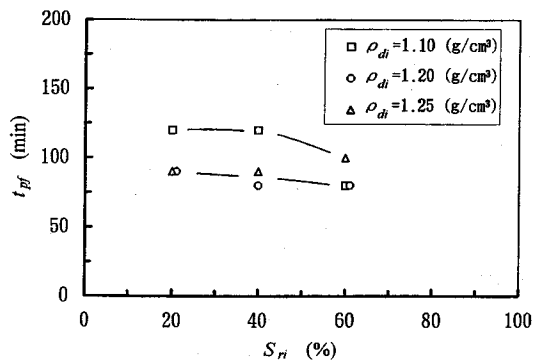


図-12 膨潤圧終了時間  $t_{pf}$  と初期飽和度  $S_{ri}$  の関係

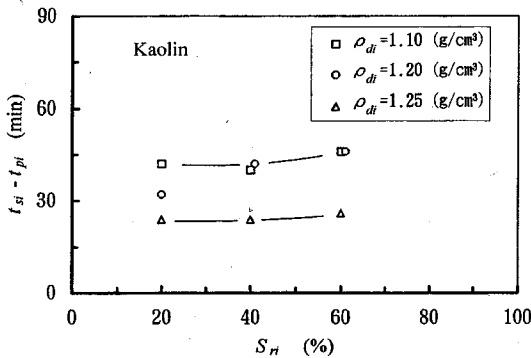


図-11  $t_{si} - t_{pi}$  と初期飽和度  $S_{ri}$  の関係

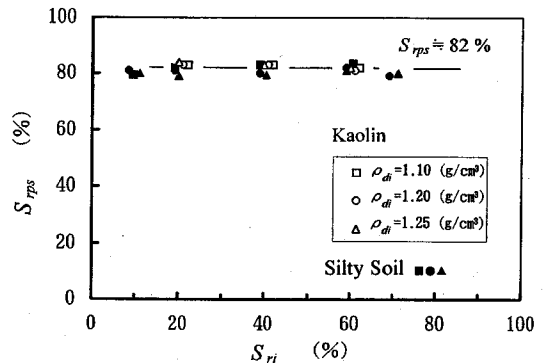


図-13 膨潤圧発生時の飽和度  $S_{rps}$  と初期飽和度  $S_{ri}$  の関係

$P_s$ が最大膨潤圧付近に達すると小さな変動を生じながら  $P_s$ の最終的な残留膨潤圧の状態に到達しているのに対し、カオリンでは  $P_s$ の挙動は最大膨潤圧  $P_{smax}$  付近に達するとほぼ一定値を示している。このことより、カオリンはシルト質土とは異なり粒子の再配列が生じず、 $P_{smax}$ に至ってもその圧力が保持されているものと考えられる。

次に、異なる初期飽和度  $S_{ri}$ を有する供試体の吸水時における膨潤圧  $P_s$ と飽和度の変化関係に及ぼす初期乾燥密度  $\rho_{di}$ の影響を図-9 (a)~(c) に示す。図より、供試体の飽和度が80%程度に達するまでは  $P_s$ は僅かな上昇に留まっているが、その後供試体の飽和度が80%程度を越えると急激に  $P_s$ が発生し始めていることがわかる。この様な傾向はシルト質土に対する実験結果においても認められた。また、膨潤圧は飽和度90%程度で収束し最大の圧力を示している。なお、試験終了時の各供試体における飽和度に着目すると、飽和度は92~96%程度までにしかならず、飽和状態には到達していない。

図-10は膨潤圧が発生する時間  $t_{pi}$ と初期飽和度  $S_{ri}$ の関係を示している。 $t_{pi}$ は  $t_{si}$ 同様、図-8の初期直線部と膨潤圧が大きく増加している中央の直線部の交点より求めている。供試体の内的条件によりある程度のばら

つきがあるものの、各供試体ともほぼ4~10分程度の早い時間から膨潤圧が発生していることがわかる。

図-11は、膨潤量発生時間  $t_{si}$ と膨潤圧発生時間  $t_{pi}$ の時間差と初期飽和度  $S_{ri}$ の関係を示している。図より、供試体の  $\rho_{di}$ によりある程度幅を持つが、 $t_{si} - t_{pi}$ は各供試体ともほぼ20~40分程度となっている。このように膨潤量と膨潤圧の時間差は、膨潤量に比べ膨潤圧が早く生じていることを示している。ここで供試体の膨潤挙動に着目すると、吸水により供試体の膨潤圧がある程度増加した時点で膨潤変形が発生するため、 $t_{pi}$ に比べ  $t_{si}$ が大きくになっているものと考えられる。

膨潤圧終了時間  $t_{pf}$ と初期飽和度  $S_{ri}$ の関係を図-12に示す。なお、 $t_{pf}$ は図-8より膨潤圧が増大している中央の直線部と、膨潤圧がほぼ一定値を示す最後の直線部の交点より求めた。図より、供試体の内的条件によりある程度のばらつきがあるものの、膨潤圧はほぼ75~125分の間に一定値に収束している。

図-13はカオリンおよびシルト質土の膨潤発生時の飽和度  $S_{rps}$ と初期飽和度  $S_{ri}$ の関係を示している。 $S_{rps}$ は  $t_{pi}$ 同様の方法で、図-9より求めている。図より、試料の違いおよび供試体の内的条件 ( $S_{ri}$ ,  $\rho_{di}$ )によらず、 $S_{rps} = 82\%$ 程度で  $P_s$ が発生し始めており、前述した膨

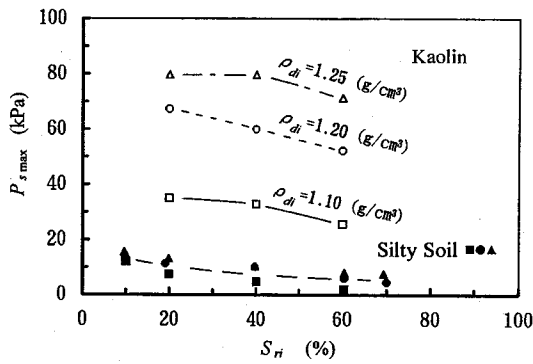


図-14 最大膨潤圧  $P_{smax}$  と初期飽和度  $S_{r1}$  の関係

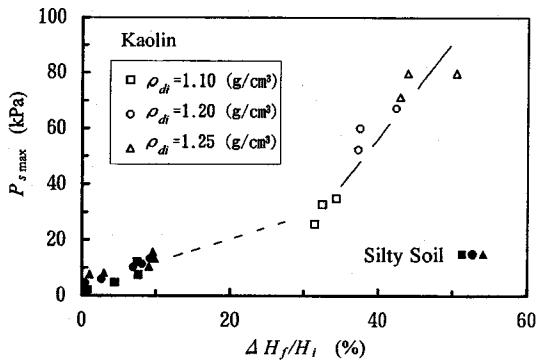


図-15 最大膨潤圧  $P_{smax}$  と膨潤量比 ( $\Delta H_f/H_i$ ) の関係

潤変形が発生し始める飽和度と比較してわずかに早くその発生が認められるが、全体的には両挙動とも飽和度が80%以上に至ると急激にその発生が認められることがわかる。

最大膨潤圧  $P_{smax}$  と初期飽和度  $S_{r1}$  の関係を図-14に示す。図より、水浸による土の  $P_{smax}$  は  $S_{r1}$  の増加に伴い緩やかに減少しており、図-6に示した膨潤量比 ( $\Delta H_f/H_i$ ) と  $S_{r1}$  の関係と定性的には一致しており、両者とも  $S_{r1}$  に受ける影響は小さい。また、 $S_{r1}$  によらず  $P_{smax}$  は供試体の  $\rho_{d1}$  が増加するほど大きな値を示しており、シルト質土で示された結果と同様の傾向を示している。さらに、 $\rho_{d1}$  が及ぼす  $P_{smax}$  への影響はシルト質土に比べカオリンで大きく、 $\rho_{d1}$  が  $1.10 \text{ g/cm}^3$  と  $1.25 \text{ g/cm}^3$  の場合を比較すると  $P_{smax}$  は2.3倍程度増加している。

カオリンとシルト質土の膨潤圧  $P_{smax}$  を比較すると、シルト質土に比べカオリンの  $P_{smax}$  は約4~10倍程度大きな値を示している。

図-15はカオリンとシルト質土に対して、膨潤変形試験から求めた膨潤量比 ( $\Delta H_f/H_i$ ) と膨潤圧試験より得られた最大膨潤圧  $P_{smax}$  の関係を示している。図より、

$\Delta H_f/H_i$  の増加に伴い  $P_{smax}$  も増加する傾向を示しており、その増加率は  $\Delta H_f/H_i$  が増加するほど大きくなることがわかる。この傾向は、Sikh<sup>13)</sup> が種々の不攪乱粘性土に対して行った実験結果と一致している。彼の実験は任意の一条件に対してのみ実施したものであり、供試体の内的条件の変化に関しては不明であった。しかしながら、今回の実験結果により供試体の内的条件が膨潤量と膨潤圧に及ぼす影響が定量的に明らかとなった。また、 $\Delta H_f/H_i$  の増加に伴う  $P_{smax}$  の増加率は、シルト質土に比べカオリンの場合に大きくなっている。

#### 4. まとめ

本研究より締固めたカオリナイトを主成分とする粘土の水浸時の膨潤特性がある程度明らかとなり、シルト質土の膨潤特性との違いを示した。以下に本研究より得られた主要な結論を列記する。

1) 供試体の初期飽和度、初期乾燥密度によらず、膨潤現象は吸水後供試体の飽和度が80%程度に達するまではほとんど認められず、その後飽和度が84~87%程度に達すると急激に発生する。また、膨潤圧は膨潤変形よりわずかに早く発生する。同様の傾向は、シルト質土においても認められており、このことより地盤が水浸に伴い上記飽和度を有する状態に達したとき、地盤の状態が急激に変化する可能性を示唆している。

2) シルト質土に比べカオリンの水浸に伴う膨潤変形量は大きく、その変形量は、初期乾燥密度に大きな影響を受ける。

3) 供試体の初期乾燥密度、初期飽和度によらず、水浸に伴う膨潤終了時の乾燥密度はほぼ一定値に収束する。

4) 同じ初期飽和度の供試体では、水浸による土の最大膨潤圧は初期乾燥密度が大きな供試体ほど大きな値となる。また、初期乾燥密度に比べ初期飽和度による最大膨潤圧への影響は小さい。

5) カオリンの最大膨潤圧はシルト質土と比較してその値が4~10倍程度大きくなっている。

6) 締固めたカオリンの水浸に伴う最大膨潤圧と膨潤量比の関係は、締固め時の供試体の内的条件によらず膨潤量比が増加するのに伴い最大膨潤圧も増加する傾向が認められた。

#### 参考文献

- 1) Chan, F.H.: *Foundations on Expansive Soils*, Elsevier Scientific Publishing Company, 1975.
- 2) Donaldson, G.W.: *The Occurrence of Problems of Heave and the Factors Affecting its Nature*, *Second International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils*, Texas A & M Press, pp.25-36, 1969.

- 3) 岡林郁夫, 新井邦彦: 膨潤性地盤に建設した製油所における問題点と処置について—エクアドルー, 土と基礎, Vol.27, No.1, pp.47-56, 1979.
- 4) 土壌物理研究会編: 土の物理学, 森北出版, pp.97-120, 1979.
- 5) Gromko, G.J.: Review of Expansive Soils, *Proc. ASCE*, Vol.100, No.GT6, pp.667-687, 1974.
- 6) 亀井健史, 榎本雅夫: 水浸に伴う不飽和シルトの膨潤特性, 土木学会論文集, No.505/III-29, pp.89-96, 1994.
- 7) Day, R.W.: Expansion Potential According to Uniform Building Code, *Proc. ASCE*, Vol.119, No.GT6, pp.1067-1071, 1993.
- 8) Yong, R.N. and Warkentin, B.P. 著, 山崎不二夫・山内豊 監訳: 土質工学の基礎, 鹿島出版会, pp.150-164, 1972.
- 9) Seed, H.B., Woodward, R.J. and Lundgren, R.: Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays, *Proc. ASCE*, Vol.88, No.SM3, pp.53-87, 1962.
- 10) 齊藤孝夫, 箭内寛治: 締固めた土の二, 三の膨潤特性について, 土木学会論文報告集, 第172号, pp.11-18, 1969.
- 11) Komine, H. and Ogata, N.: Experimental Study on Swelling Characteristics of Compacted Bentonite, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.31, No.4, pp.478-490, 1994.
- 12) Day, R.W.: Swell versus Saturation for Compacted Clay, *Proc. ASCE*, Vol.118, No.GT8, pp.1272-1278, 1992.
- 13) Sikh, T.S.: Swelling Soils, *Proc. ASCE*, Vol.119, No.GT4, pp.791-792, 1993.

(1995.4.4 受付)

## SWELLING CHARACTERISTICS OF COMPACTED KAOLIN DUE TO WETTING

Takeshi KAMEI and Masao ENOMOTO

In order to investigate the influences of initial degree of saturation and the initial dry density on the swelling characteristics of compacted Kaolin due to wetting. The observed effects of the initial degree of saturation and the initial dry density are discussed by a detailed look at the variations of the amount of swelling, swelling pressure and the degree of saturation due to wetting with elapsed time.