

日本大学理工学部 正員 工博 浅川美利

セントラルコンサルタント 正員 工修 仲村 誠

はじめ

リーチングのプロセスあるいはメカニズムについては、別に浅川が「リーチングのメカニズムと類似的方法によるその再現」と題して論述した。また電解透析法によるリーチングが、自然界におけるリーチングを再現する方法となりうることを、その原理と二三の実験結果から論証した。

本文では、従来提唱されているリーチングを受けた粘土の工学的特性(コンシステンシの変化、鋭敏比の増大、圧縮性の増加および非排水せん断強さの低下)の傾向と変化の程度をしらべることと、リーチングの進行中 それの程度が粘土の性質にどのような影響を与えるかをしらべてみることを目標とした。

工学的性質のうち、今回は特に圧縮性とコンシステンシの変化を問題にし、あわせて粘土の構造の変化が圧縮特性と透水性に影響するとして、「リーチングを受けた粘土の構造の変化」ということも取り上げてみた。

### I. 実験概要

装置と実験のあらましを別載の報告で説明した。ここでは試料の選択、試料の調製、供試体の取り扱い、などについて補足する。

(A)試料の選択: 電解透析によってどの種の粘土もリーチングさせることはできるが、粘土の種類(特に鉱物組成)によって、リーチングを受けた粘土の工学的性質の変化の度合(リーチングの影響度)は異なる。そこで、試料の選択にあたり、粘土鉱物的に違ったものと、自然土であるということも条件にして(特に純粘土を用いないで現実の問題となりそうな土)三つの試料(チュウ積粘土、関東ロームのシルト粘土分、カオリン+20%バントナイト)を用いた。

(B)試料の調製: 上限粒径の規制、在来塩類の除去、ナリウムイオンによる飽和ということに留意した。74 $\mu$ フルイを通過する細粒土分を湿式法で採取し、RI-120(H<sup>+</sup>交換用樹脂;アムライト)でケン濁液となっている粘土から塩類を交換除去し、濾過後の粘土に1/2N NaClを繰り返し浸透させてNa<sup>+</sup>-粘土を作った。

(註) 在来塩類の除去とNa-粘土の作成という点で、処理の完全を期し得なかったが、初期条件を一定にしたということで一応目的は満たした。

(C)供試体の作製: 通常の圧密試験機を用い(径6cm、高さ2cmの圧密リング)、最大圧密応力1.2kg/cm<sup>2</sup>で7日間圧密した。これは供試体の完全飽和、初期の土粒子配列の規制ということも考慮して選んだ処置である。

(D)電解透析: 供試体を装置の中室にセットし、両側のチャンバーに蒸留水を満してから、ロッドを通じて、0.6kg/cm<sup>2</sup>の圧密荷重を(透析中の膨張の防止と、一定の応力下でのリーチングを考え)加え、定電圧装置を用いて200 Volt(一定)のD.C.を課電する。透析中両側チャンバーの水は常に清純な水となるよう連続的に蒸留水が送られている。電解透析時間を4, 8, 24, 48 および96hrの5段階にわけ、課電時間をリーチングの程度を目安とした。透析中、電流の変化、供試体の圧縮あるいは膨張量、および両チャンバー内の排液のPHなどを測定した。

(E)工学的性質の試験: 指定時間のリーチングを終えた供試体について、圧密試験、収縮試験(乾燥収縮)、コンシステンシー試験を行ない、同時にFlame photometerでNa<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>Oを定量し、またPHの測定も行なった。透水係数の測定は圧密試験結果から求めた。乾燥収縮は、2cm立方の供試体(成形)について測定した。

## II. 実験結果とその考察

### II-1 コンシステンシの変化とリーチング粘土の安定性

ナトリウムイオンの低減率を関数として リーチングの進行に伴う土のコンシステンシの変化を示したのが図-1である(一例としてフェウ積粘土の場合を示した)。

前載の論文でも触れたところであるが、リーチングを通じて含水量および向ゲキ量の変化はほとんどない( $w$ において、低減率0から65%までで2%ほどの減少)。一ほう $LL$ と $PL$ とはリーチングの進行に伴って減少し、 $SL$ は増加する傾向がみられる。たとえば $LL$ の変化は、もとの $w_L = 57\%$ からイオン低減率65%における $w_L = 45\%$ までの12%の減少をみる。関東ロームでもその傾向は同じで、 $w_L = 132\%$ から $w_L = 122\%$ と10%ほどの $LL$ 減少があった。

また液性指数 $I_L$ は、図にみられるようにリーチングに伴って直線的な増加を示しており、フェウ積粘土の場合、0.35から1.15まで増加している。

リーチングを受けることによって含水量の変化があまりないことに対して、 $LL$ 、 $PL$ の減少が相対的に大きいことからして当然の結果といえよう。

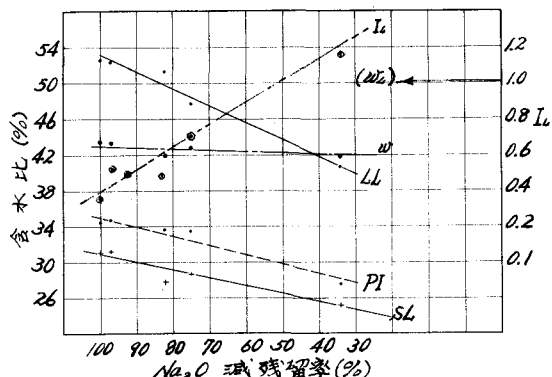


図-1 リーチングに伴うコンシステンシの変化

$I_L$ の増加は、その粘土の保水しうる能力に対して過剰な水分が含まれていることを意味する。

この傾向は リーチングを受けた粘土の特性を反映するものである。

### II-2 収縮挙動

土の構造をしらべる間接的な方法として、その土の収縮挙動を観測するということが行なわれている。

リーチングの進行に伴って粘土の構造(土粒子の配列と粒子間力)がどのように変わるかを問題として、リーチング後の立方供試体の収縮挙動(縦、横の線収縮率と体積変化率)を示したのが図-2である。

フェウ積粘土の場合では、リーチングが進むに従って縦収縮(圧密荷重方向)がだんだんに増していく。

リーチングが十分に進行したところでは、縦・横の収縮率がほぼ同じになる。(再成されたもとの粘土では、縦方向にくらべて横収縮が先行している)

これらの挙動は、土の種類によっても違うし、また最初の土粒子配列のあり方によっても違ってくるだろうが、いづれにしてもリーチングの過程を通じて土粒子の配列がかなり変化することは事実である。

このことは、リーチングを受けた粘土の力学特性、特に圧縮特性に重要な関係をもつこととなる。

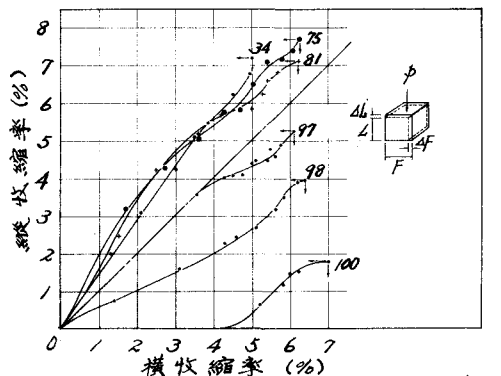


図-2 リーチングを受けた粘土の収縮挙動

(備考) 縦・横 いづれかの収縮が優先する場合、土粒子配列はセミオリエンタした状態(収縮方向に対し直角な方向)であることが考えられるし、収縮割合が同じ場合はフロキュレイト(edge-to-face)構造であることが考えられる。

粘土の構造の変化に関して、後での透水性および圧縮性のところでも触れる。

### II-3 透水性の変化と構造の変化

図-3は 圧密試験結果から求めた透水係数 $K$ と固ゲキ比 $e$ との関係を示したものである。また図-4は 細粒土の透水係数も表す Kozeny-Carman の式( $K = \frac{1}{K_0 \cdot S^2} \cdot \frac{e^3}{1+e}$ )を変形して、その土の構造項と考えられる  $\sqrt{K_0} \cdot S$  を求め、 $e - \sqrt{K_0} \cdot S$  の関係を示したものである。

(注) 式中  $K_0$  は毛管の形状とわい曲度によてきまる要素、 $S$  は土粒子の比表面積である。

リーチングを受けた粘土の透水性の変因ということも考えてみると、透水性に関して主要なファクターである固ゲキ量は、リーチングによってあまり関係がないことが前述したことからわかっている。それにもかかわらず透水性に変化が生ずるとすると、別の変因として：(a)土の構造の変化(毛管のわい曲と形状に關係)、(b)吸着水膜の厚さの変化(有効透水面の大きさに關係) の二つの場合が考えられる。

上記いづれの変因が主であるかは区別できないが、透水性の変化という点に關し次のようなことが知られた。

同じ固ゲキ比に対して  $K$  は リーチングの進むに従って高くなる傾向がある。この変化の度合は土の種類によって異なる。

先行圧密応力に対応する固ゲキ比( $e_i$ )を境にして  $e - K$  関係の傾向は明に異なる。

$e_i$  よりも小さい固ゲキ比になると、 $K$  に關するリーチングの影響は小さくなっていく。

構造項  $\sqrt{K_0} \cdot S$  も リーチングによる影響が明に表われ、 $e_i$  を境にして変化の傾向を異にする。チュウ積粘土の場合、リーチングの程度による  $\sqrt{K_0} \cdot S$  の差はあるが、 $e_i$  以下の固ゲキ比では、 $e$  の減少による  $\sqrt{K_0} \cdot S$  の変化はほとんどない(リーチングの程度の違いについて)。これらの傾向は粘土の種類によって違ってくる。たとえば関東ロームの場合、 $e_i$  以下の固ゲキ比においても、 $\sqrt{K_0} \cdot S$  が  $e$  の減少に応じて増す傾向がみられている。

#### II-4 リーチングを受けた粘土の圧縮特性

(A)  $e - \log p$  および  $I_L - \log p$  曲線：リーチングの進行に伴って圧縮性が増す。しかし土の種類によって圧縮量の増加程度に差がある。たとえばチュウ積粘土では、リーチング度による影響があまり大き表われな(図-6参照)に対し、カオリン+20%ベントナイトの場合には、リーチング度によって圧縮量が大きく増していく。

固ゲキ比  $e$  の代わりに液性指数  $I_L$  を縦軸にとり、 $I_L - \log p$  曲線で表わしてみると、リーチングの進行に伴ってその曲線が上方へと移動し、リーチングプロセスの特性をよく表わす(図-5参照)。 $e - \log p$  曲線では、ほとんど変化のみられなかったチュウ積粘土の場合も  $I_L - \log p$  曲線ではリーチングによる圧縮性の変化が顕著に表われる。これはリーチングによるコンシステンシの変化が相対的に大きいことによる。

(B) 体積変化率( $m_v$ )の増減傾向： $m_v$  は荷重増加に伴って減少していく。先行圧密応力に相当する

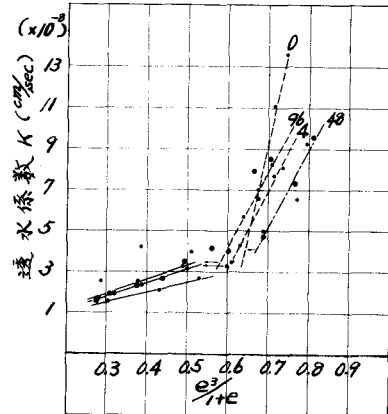


図-3 透水係数の変化

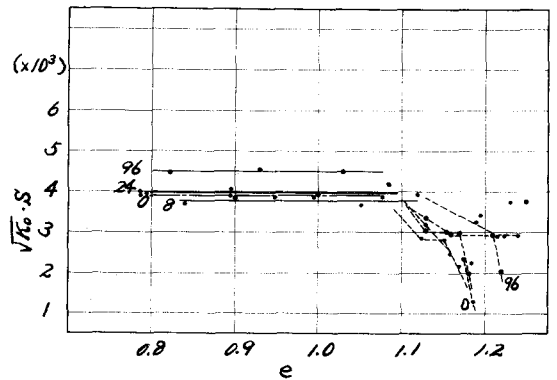


図-4  $e - \sqrt{K_0} \cdot S$  関係

圧密荷重( $p_0$ )を境にして $m_v$ の減少傾向が変わる。 $p_0$ 以下の荷重下では、 $m_v$ に関してリーチングの影響が顕著に表われるが $p_0$ 以上の荷重下ではその影響がほとんどなくなる。この傾向はどの種類の土でも同じく表われている。この傾向は前述した透水

性あるいは構造の変化の傾向と相通するものがある。  
すなわち圧縮特性に粘土の構造の影響が大いに関係するということが、リーチングが粒子表面の物性を

(c) 圧密時間過程

リーチングを受けた粘土と受けていない粘土の圧密特性を比較することと、それが荷重の大きさによってどうかわるかをしらべたのが図-7と図-8である。

$p_0$ 以下の荷重下では、圧密速度には差がないが、圧密量はどの土の場合もリーチングされた粘土のほうが大きい。またリーチングを受けた粘土では、二次圧密に相当する変形量が大きくなる傾向がみられる。

$p_0$ 以上の荷重下では、圧密量には差がないが、初期の圧密速度に関して、リーチングを受けた粘土はそれが大きい。

前者は粘土の構造に、後者は固ゲキ中の過剰水の存在ということに関連性があるように思える。

III むすび

土の工学的な性質に及ぼすリーチングの影響は、土-水系のコンシステンシを変化させるということだけでなく、土粒子の配列、粒子間の力などにも変化を与える。特に後者の要因は、圧縮性、透水性に重要な影響を及ぼす。

リーチング粘土の強さに関する研究とH-clayの解離反応、およびリーチング粘土の安定化などのこともさらに検討してみなければならぬ。

(付記) この研究は、筆者(浅川)が昨年中、Princeton大学のH.F. Winterkorn教授のもとで研究したものの一部である。

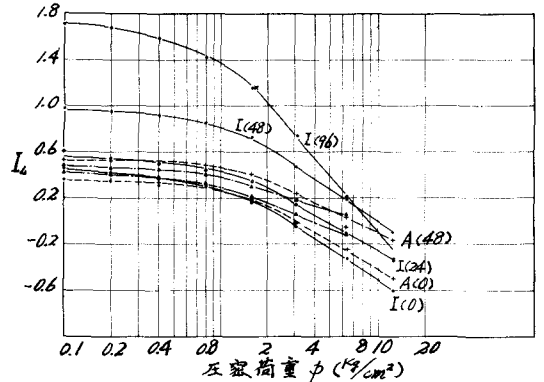


図-5  $I_c - \log p$  関係

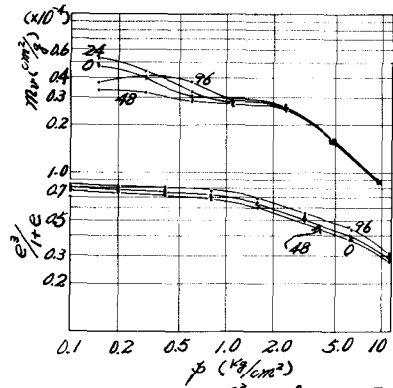


図-6  $m_v$  &  $e - \log p$  関係

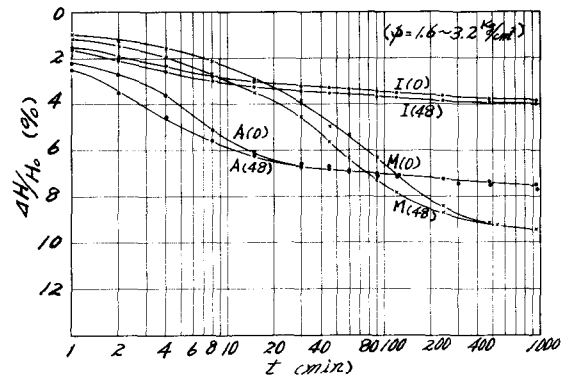


図-8 時間-圧密ヒズミ関係