

日本大学理工学部○正員 浅川美利

同上 大学院 学生員 長野光王

同上 学生員 平野晴雄

まえがき

粘土層が滞積後地下水によってリーチング(塩類溶脱作用)を受けると、もとの滞積条件下にあったものとは著しく性質を異にしていくことはよく知られている。リーチングとそれによる土性変化に関してごく一般的に考えてみると、土中を浸透する地下水の移動によって、滞積初期には高い塩類濃度にあったものがだんだんに溶脱され、ついには液相の塩類がもとの条件とはまったく変わってしまう。その過程において重要なことは、土粒子界面に吸着されているカチオンの量と質が変化していくことである。その結果は土の粒子間力の変化をきたし、またそれに伴って土塊構造も変化することとなる。

土性を支配する基本因子は、固相となす土粒子の性状がきまった土にあっては、その土の表面の性質、土塊構造のあり方、および含水の量などである。したがってリーチングを受けるといふことは、上述の基本因子が、その作用を受けて変わっていくということである。

リーチングされた自然滞積粘土の圧縮特性とコンシステンシー特性をしらべ、その種の土がきわめて鋭敏化していくこと、また状態として過圧密化されていること、や一般粘土とは圧縮性とコンシステンシーをしらべることで容易に区別できることなどについては従来の研究でわかってきている。しかし対象となるものが自然界にあって再現性が少なく、またその過程が長期にわたっていることおよびその種の粘土は一般的でないなどの理由もあって、リーチングの程度、リーチングを受ける土の種類、などによる変化の一定した傾向はまだよくわかっていない。

筆者らは、リーチングの機構とその作用を受けた粘土の性質の変化の様相を知らうとして、本研究に着手した。実験室で短時間に強制リーチングを起させる方法として電解透析法を用いた。これは自然界での現象が吸着カチオンも含めた溶脱作用であり、これを人為的に電場を与えて行なっても全く類似するものであると考え、溶脱作用を電気的な方法に置換えてみたものである。対象となる土の種類として粘土鉱物的に異なる3種を選び、おのおのについてリーチングの程度を透析時間によって変え、リーチング中およびリーチング後の圧縮性の変化やコンシステンシー等の変化をしらべた。

今回の実験研究は一連の研究の最初の段階であるので、量的に一定した関係を示すまでにはいたっていないが、リーチングを受けた土がどのような特殊性をもってくるかという傾向を知ることができた。

1. リーチングとそれに伴う土性変化の考え方

1-1 リーチングに類似する電解透析の原理

高い塩類濃度をもった環境(たとえば海水)に土が沈積した場合を考えると、滞積粘土の間隙中には、自由水の形で高い塩類濃度の水を含有すると同時に、土粒子表面にはその水に含まれる電解質からある種のカチオンが選択的に吸着されている。このような状態にある土に新鮮な

水が浸透していると、自由水部分の塩類はもちろん、土粒子表面に固着しているカチオンも長い時間を経てだんだん溶脱されていき、粒子表面は不飽和なカチオン状態となってくる（H-粘土化する）。リーチングはこのような飽和状態にあったカチオンが水の洗礼を受けて経時的に不飽和状態へと変遷していく過程であるという見方もできる。この機構を電解透析の原理に置き換えて考えてみると次のようである。考え方をやさしくするために、いま単一電解質（ B^+ と A^- とが中和した塩）を想定し、その塩が土中においてそれに電場を与えた場合、電離したイオンが強制移動し、カチオンが置換えられていく状況を説明する。図-1(a)に示すように中室部に土をおき、

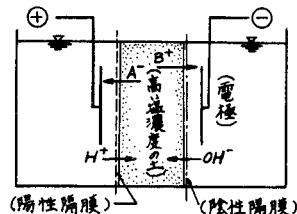


図-1 (a)

電解隔膜を介して両ソウに純水があり、それぞれの極性にに応じて移動して、隔膜外に放出される。一ぱう両ソウの水は H^+ と OH^- に電離し、陽極からは H^+ イオンが陰極からは OH^- イオンが土中に侵入してくる。このことは、陽極側では酸が、陰極側では塩基が生成され、中室部では電解質が放出され OH^- と H^+ とが集まり、それが中和して、土中水は中性化していくことを意味する。この場合両側のソウの液を循環してたえず純水を送ってやると早く、確実に電解透析ができる。このメカニズムは、土粒子表面のカチオンの移動を考える場合にも適用できる。この場合には、アニオンの移動はなくカチオンだけが移動すると考える。これを模式的に示したのが図-1(b)である。

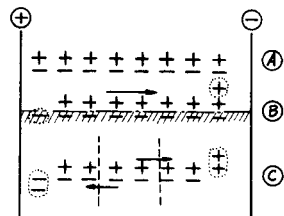


図-1 (b)

以上のように電解透析は、電気浸透圧の影響、二次的に生成される不溶性金属水酸化物の影響が一切ないと仮定すると、自然界におけるリーチングの機構と全く類似のものであると考えられる。

1-2 リーチングに伴う粒子間引力の変化

土粒子間に働く力として電気的なポテンシャルエネルギーが考えられ、その量を支配するものとして吸着カチオンの種類と濃度が、また粒子間距離が考えられている。この基本概念をベースとしてリーチングに伴う粒子間力の変化を考えていってみよう。

図-2は、上述のカチオン濃度と粒子間距離をポテンシャルエネルギー変量の条件にとって示した仮想モデルである。図-2(a)には、高い塩類濃度をもった液相の場合と純水と液相とする場合の電気的ポテンシャルの差違を示している。いま高い塩類濃度の環境下に滞積した粘土を考えてみると、その当初は、曲線④に相当するポテンシャルが考えられる。その後リーチングによってそのポテンシャルは増し、だんだんと曲線②へ変わっていくことが想像できる。

また一方ポテンシャル増加に伴って可動性をもった粒子は引き寄せられ、その距離を縮めていく。そのように距離が短縮されてくると、さらに大きいポテンシャルが粒子間に働いてくる。

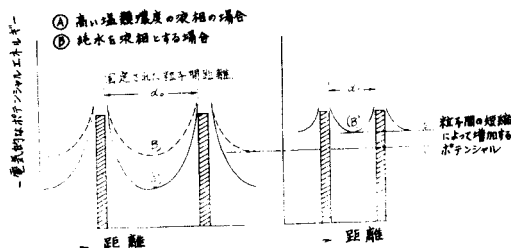


図-2 (a)



図-2 (b)

以上のように吸着カチオンの変化と粒子間距離が交互に作用して、大きい粒子間引カを示してくることが予想できる。(備考) 粒子間距離の短縮に関してはさらに土被り圧力のような外力が作用している。

1-3 リーチングに伴う土の構造の変化

高い種類濃度をもった環境に滞積した粘土は、図-3 (A) に示すように粒子端と粒子の面とが交互に連続した配列をなし、全体として隔壁構造と形成するということが定説となっている。一ほう純水中に滞積した粘土粒子は、定行配列に近い構造をもっていて、しかも粘土の活性によって粒子の接合の度合が違ってくる、ということも定説になっている(図-3 (B) 参照)。この滞積環境の違う場合の土粒子配列と土の構造を考えてみると、これもリーチングに伴う土の構造変化を考えていくのに役立つ。リーチングされた土の構造は、もとのフロキュレイト構造から定行配列へと変わっていくことは想像される。

以上は、リーチングの類似機構、リーチングを受けた土の界面性状の変化およびそれに伴う土塊構造の変化ということをも単純な理想化したモデルで説明した。これだけのことでリーチング作用を論じたことにはならないけれども、系統的に考えたということと現象を整理していくのには役立つと思われる。

II 実験概要

II-1 試料及び供試体の作製

(A) 試料の種類と採掘

次のような粘土鉱物の異なる3種の土を選んで試料とした。

- (1) カオリン：市販カオリン(岡山産)
- (2) チュウ積粘土：東京木場(-8mの地点)
- (3) 関東ローム：習志野(立川ローム)

(B) 供試体の作製

上記の粘土を3% NaCl 溶液で、2% 相当の液を加えて練り、その試料を圧密リングに詰め、 $0.4 \frac{kg}{cm^2}$ (段階的に載荷) までの圧密荷重を加えて再成して、供試体を得た。

II-2 電解透析を兼ねた圧密試験装置

図-4 に示すような装置を試作した。この装置は供試体の圧密と電解透析とが兼ねられるよう工夫したものである。中堅部は、通常の固定式圧密リングと諸元を同じくしてある。また本体の材料はすべてアクリル樹脂系のプラスチックである。

リーチング後、圧密リングだけを取り出し通常の圧密試験機にセットできるようにしてある。供試体面端と加圧板との間に陽・陰性の電解用隔膜をそれぞれをはさんでいる。リングの外側には、常に蒸留水が交換できるようなコック付のソウを固定した。またそれらのソウには、白金電極を一定の距離において設置している。リーチング中あるいはリーチング後の圧密荷重は、図に示すように水平方向から載荷できる。

II-3 リーチングとその後の試験

(A) リーチング

供試体作成時の圧密荷重($0.4 \frac{kg}{cm^2}$)を加えたあとで、電解透析を行なった。その際の加電圧は、100 V (一定) とし、電圧を制御した。透析中は、圧密変形量と電流変化を一応記録しておく。

リーチングの時間をあらかじめ、1, 2, 4, 8, 12, 24 および48時間と決めておき、所定時間ごとに処理した供試体をリングごとに取り出し、別の圧密試験機にセットして、リーチング後の圧密試験を行なった。

(B) 試験項目

リーチング後の試験としては、上記の圧密試験のほか、一連のコンステンション試験、およびPHと Na^+ 量の測定を行なった。

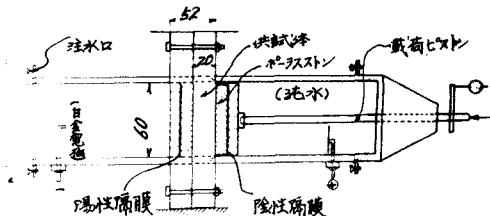


図-4

III 実験結果の考察

III-1 $e - \log p$ 曲線に表われるリーチングを受けた粘土の圧密特性

図-5 は、3種類の土について行なったリーチングの程度(一定電圧で4, 24, 48時)によるその変化を示したものである。また曲線の形状変化をみやすくするために図-5の曲線をEに治してずらし、初期の間がき比Eのある値を基準にして $e - \log p$ の形で表わしたものを図-6に示した。表-1は図-6から得られた圧密降伏荷重 p_0 、 p_0' 以下の曲線の接線傾度 C_0' および p_0' 以上における曲線の接線傾度 C_0 (いわゆる圧縮指数)の値をそれぞれ示した。これらの結果から次のようなことが考察される。

(a) 再成土と同じ条件の先行圧密応力を加えたあとでリーチングを行なったのであるが、リーチング中にかなり大きい圧密が生じたこと(圧密ヒズミで10~15%のもの)。この原因は土粒子の再配列、粒子間力の増加によるものと考えたい。

(注) 実際には透析中に浸透圧はEO圧の影響が入ると思われるが、これは、立川ロームにおいてはEO浸透圧はそれほど低いわけではない。それにもかかわらずリーチング中の圧密がむしろ大きく表われている。このことからEO圧ではなく、上記の考察である。

(b) 活性度の高い粘土のほどリーチングの影響が大きいようである。

(c) リーチングを受けることによって、またその程度によって p_0' が増加する傾向が認められる。 C_0' にリーチング粘土の特長がみられる。リーチングによって C_0 は減少し、またその程度によってその値は小さくなる傾向がある。 C_0 はリーチングの程度によらずほぼ同じ値を示す。通常の圧密曲線にみられるような荷重増加に伴う収れ

の傾向(同じ土の場合)はみられない。

(備考)コンシステンシー特性を加味した液性指数 I_L を e の代りにとてみると大きい圧密荷重下で収束する傾向がみられる。このことは、リーチングされた場合、土は土塊構造の変化だけでなく、別の性質の変化(たとえば粒子表面の性質)が生じてこのような結果を示すことになると思ふ。

Ⅲ-2 コンシステンシー等の変化の傾向

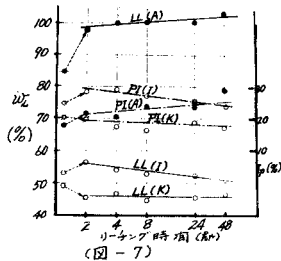
活性の低いカオリンやフェウ積粘土は、リーチングに伴って塑性が低下していく傾向がみられる。一方活性が高く、土粒子の結晶の不完全な直列ロームのようなものでは逆にリーチングによって塑性が増していく傾向がある。(図-7参照)

リーチング後のPHは、土によって値に変化はあるが、リーチングの程度による差はほとんどない。ただしそのPH値にくらべてカオリンや沖積粘土の場合PHは低下(酸性化の傾向)し、一応う関東ロームでは、増加(塩基化)する傾向がある。リーチングを受けた粘土の特性として、 I_L - $lg p$ 関係において I_L の変化に注目してリーチング粘土を考える方法がとられている。その意味で、ここでも I_L - $lg p$ 曲線で示してみた。それが図-8である。フェウ積粘土とカオリンの2種についていえることは、リーチングの程度によって I_L - $lg p$ 曲線は、 I_L を軸として上に移動していく傾向はみられる。従来リーチング粘土は、 $I_L \geq 1.0$ 以上に表われる曲線形状も正規粘土や通常の過圧密粘土とは違ったものとなるといわれているが、ここではリーチング中に生ずる圧密の影響が大きいために、 I_L はリーチングを受けない粘土のそれとくらべて低く表われている。

(備考)実際の自然過積粘土においても、粘土の組成が同じであれば、リーチングを受けた粘土は同ゲキを維持するので、コンシステンシーの変化の影響よりも e の変化による影響の方が大きいはずであるが、 I_L が正規粘土よりも大きくなることは少なく、過圧密化の傾向を示すと考える方が妥当である。

まとめ

自然過積粘土にみられるリーチング現象を電解透析に置き換えて人為的にその現象を再現し、リーチングを受けた粘土の圧密特性をしらべ、一応電解透析で再現しうることがわかった。またリーチングされた粘土がその程度によってどのような傾向を示すかということも一応知られた。



(表-1)

試料		0_F	0_S	2	4	8	24	48
カオリン	P_0	0.360	0.550	0.800	0.700	0.400	0.646	0.600
	C_e	0.271	0.299	0.300	0.275	0.288	0.246	0.240
	C_c	0.099	0.095	0.085	0.078	0.070	0.052	0.050
沖積粘土	P_0	0.270	0.200	0.400	0.320	0.490	0.600	0.500
	C_e	0.274	0.274	0.255	0.260	0.278	0.355	0.295
	C_c	0.042	0.115	0.019	0.035	0.042	0.030	0.025
関東ローム	P_0	0.270	0.310	0.400	0.490	0.600	0.650	0.500
	C_e	0.380	0.425	0.420	0.430	0.435	0.485	0.475
	C_c	0.070	0.069	0.045	0.075	0.030	0.030	0.030

