

干拓粘土の乾燥履歴とスレーキングについて (I)

長 堀 金 造・佐 藤 晃 一

On the Slaking Behavior of the Sea Bottom Clayey Soil after Receiving Repeated Drying and Wetting (I)

Kinzo NAGAHORI and Koichi SATO

The slaking characteristic of the clayey soil when soaked is a very important physical property of soil structure, and is also the fundamental property to make use of in the improvement of clayey soils. In this report, the behavior of clayey soil on reclaimed land in the water area was studied in various drying stages and also on the repeated action of drying and wetting. Namely, the clayey soil (muddy soil) sampled from the sea bottom destined for reclamation was prepared by kneading and moulding with water content of about the liquid limit, and was preliminarily dried to a given pF of the soil moisture, and observations were made on their slaking properties when soaked in the 20°C distilled water. The slaking percentages after leaving the soil for 24 hours on the 5 mm sieve in the water were calculated. And then, the slaking percentages after receiving repeated actions of drying and wetting or the effect of salt concentration in the sample were also tested under the same experimental conditions.

The experimental results are as follows :

1. The slaking percentages of clayey soil of the sea bottom differs considerably depending on whether the drying stages is below or above pF₄ of the soil moisture. When below pF₄ of the soil moisture, the drying brings decrease in the amount of slaking soil. And when drying becomes over pF₄ of the soil moisture, rewetting brings in very loose soil structure and the great amount of slaking soil.

2. After receiving repeated actions of drying and wetting, the slaking behavior of the sample seemed to receive the influences of the soil bonding materials. The slaking percentages of the air dried sample which had 36% in the first rewetting cycle increased to about 40% when soaked after the 3rd to 4th repeated cycle. While the oven dried sample with only 0.4% slaking at first gets finally about 33% slaking after receiving 6th cycle of the repeated actions of drying and wetting.

3. Of the sample which receive the repeated actions of air drying and wetting, when the salt from the sample soil prevented to dissolve to the surrounded water in the rewetting stage, the slaking percentage in the second cycle became 25%. This was a rather higher percentage than in the other cases.

I. 緒

言

粘質土壌がひとたび乾燥作用を受けるとその物理特性を著しく変化するが、収縮あるいはスレーキング特性の変化が、その受けた乾燥の程度と履歴によって異なった挙動を示すことについては、WARKENTIN¹⁾あるいは筆者²⁾らが明らかにしたところである。このような特性の変化は、特に干拓地などの粘質土壌水田において問題となる土壌の乾燥に対するキ裂の作用を考える際に、土壌の乾湿の変化とキ裂の消長(ないし崩壊)との関係において重要と考えられる。

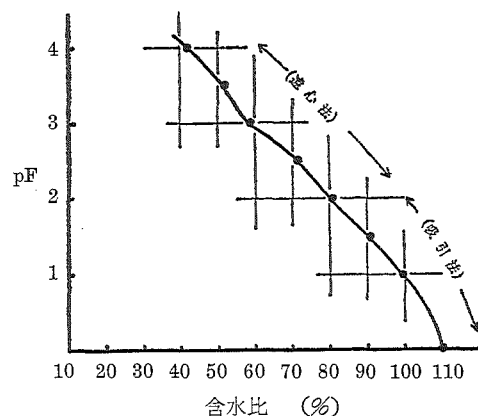
そこで、本報においては干拓粘土（ヘドロ）について、これが乾燥と湿潤の繰返し作用を受けた場合に、そのスレーキング特性がどのように変化するかについて試験を行なった。

II. 試料ならびに試験方法

供試した試料は、笠岡湾干拓予定地の海底から採取したヘドロで、その物理性ならびに粒度は第1表に、 pF ～含水比関係は第1図に示す通りである。

第1表 試料の物理性ならびに粒度

	生 土	風 乾 土	粒 度 (国際土壌学会法)	
真 比 重	2.689	—	粗 砂 (2~0.2 mm)	0.86%
液 性 限 界	120.90%	75.63%	細 砂 (0.2~0.02 mm)	19.24%
塑 性 限 界	33.32%	30.13%	微 砂 (0.02~0.002 mm)	38.80%
塑 性 指 数	87.58	45.50	粘 土 (0.002mm~)	41.47%
収 縮 限 界	28.75%	14.38%		
自然含水比	124.21%		分 類	Light Clay



第1図 試料の pF ～含水比関係曲線
(笠岡生土, 再成型試料)

この場合、コンシステンシについては採取したままの含水状態（生土）で試験した場合と、いったん風乾してから粉碎して調整した試料（風乾土）について行なった結果を示した。表の結果からも明らかなように、風乾による生土からの吸着水の除去が、ヘドロの物理性を著しく変化させることがわかる。

そこで試験に当っては生土を用いることとし、ほぼ液性限界の含水比でよく混練してから供試体を作成した。供試体は直径 50 mm、高さ 10 mm の真鍮製リングをガラス板上に置き、大きな気泡を生じないようにしながら、密度が一様になる

ように試料をリング中に詰めた。この場合、リングおよびガラス板にはグリスを薄く塗布して乾燥する際の試料の付着を防いだ。そして次のような各種試験を行なって比較した。

i) 水浸前に異なった乾燥前歴を与えた場合のスレーキング特性。この場合、乾燥は約 20°C (以下同じ) で pF 1, 2, 3, 4, 5, 5.5, 6, 絶乾の各段階とし、乾燥前歴を与えなかった場合のスレーキングと比較したが、 pF 5～6 の水分状態については第1図から推定した含水比である。

ii) 風乾ないし絶乾状態と水浸による飽和との繰返し作用を与えた場合の、各履歴回数ごとのスレーキング特性。この場合、各履歴回数ごとに2個の供試体について残存する塩素イオン量を測定した。

iii) 粘土の収縮あるいは膨脹の挙動は、含有する塩類ないしイオンによって影響を受けるので、風乾供試体について吸水の際に、セロハン紙で包んで塩類の溶出を防ぐようにして飽和さ

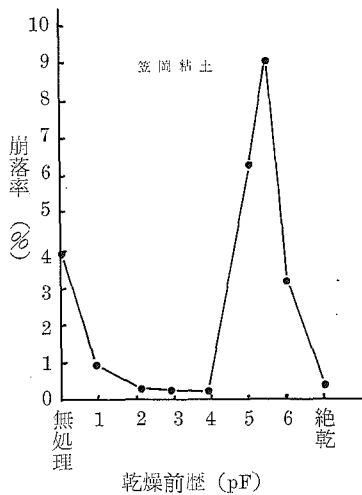
せて乾湿の履歴を与えた後のスレーキング特性。

各種試験に当っては、約 20°C の静水（イオン交換水）中の深さ 2～3 cm の所に網目間隔 5 mm^{注1} の金網を置き、供試体をその上に静置して24時間水浸後の崩落率を次式から算定した。

$$\text{崩落率} = \frac{\text{金網からスレークダウンした土の乾燥重量}}{\text{供試土の乾燥重量}} \times 100(\%)$$

Ⅲ. 試験結果ならびに考察

各種試験の結果は第2図ならびに第4図～第7図および写真1, 2に示す通りである。



第2図 乾燥前歴とスレーキング特性
(所定乾燥処理後水浸)

第2図は各段階の乾燥前歴を与えた場合のスレーキング特性で、24時間水浸後の供試体の状態は写真1および2に示してある。

図から明らかなように乾燥前歴が pF 4 までの場合には崩落率は減少するが、これは乾燥収縮に伴う空隙の減少ならびに粒子の接近によって粒子間吸引力が増大し、しかも供試体はほぼ飽和状態を保つために吸水膨脹や沸化が発生し

(注1) スレーキングに関する特別な規定がないので、肉眼的団粒 (0.2～5 mm) の上限に準拠して 5 mm とした。

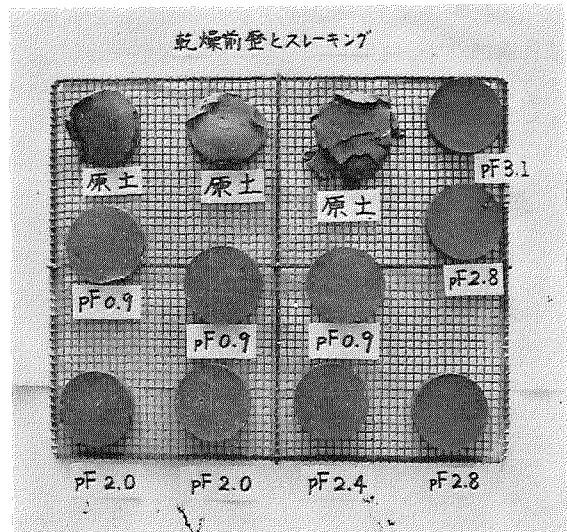


写真 1

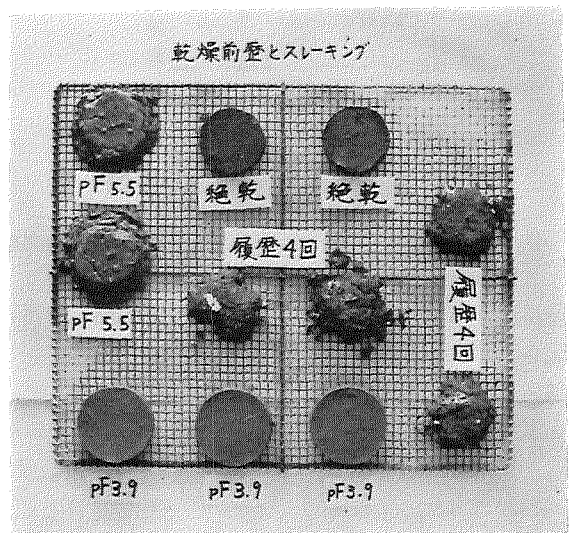
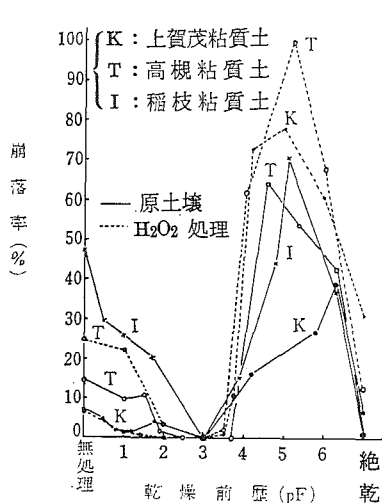
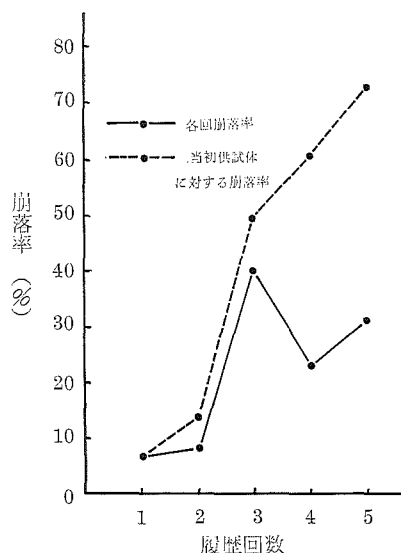


写真 2

難く、土塊としての耐水性が増大するものと考えられる。一方、乾燥がいったん $pF4$ 以上に及ぶと、崩落率は増大して約 $pF5.5$ の乾燥前歴の時に最大値を示した。これは乾燥が収縮限界を越えて進み、吸着水が脱水されるようになると土粒子間の結合力が減少するためである。すなわち、この場合、外観上は非常に固く、圧碎に対しては強い抵抗性を示すが、これを水中に浸漬した場合には、毛管力によって乾燥した土壌の間隙中に浸入しようとする水のために供試体中に封入された空気が圧力を受けて爆烈し、粒子間結合力が弱いことによって激しい沸化を生じるものと考えられる。 $pF5.5$ をピークとして崩落率が減少し、特に絶乾した場合の崩落率が低いのは、有機物等土壌膠結物質の緊固作用によると考えられるが、²² この点については後述する。しかして第2図に示された結果は、先に実施した3種類の粘質土に関する試験²⁾の結果(第3図参照)とよく一致し、吸着水の除去がスレーキングを増大せしめること、また有機物による膠結作用の影響などがうかがわれる。ただ崩落率は第3図の結果と比較すると全体的に小さな値となっているが、この点については後述するように干拓粘土における塩類あるいはイオン濃度の影響が考えられる。



第3図 乾燥前歴とスレーキング特性(所定乾燥処理後水浸)
(佐藤 1969)

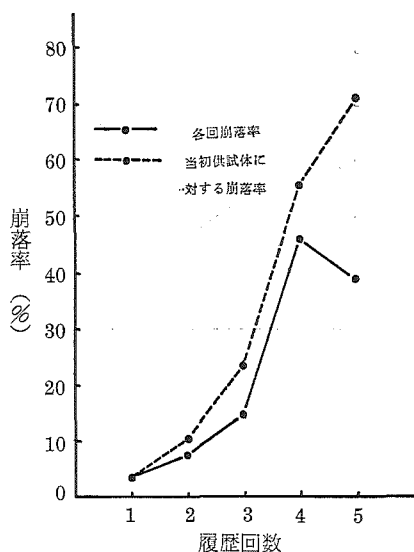


第4図 乾湿の履歴と崩落率
(風乾— $pF5$ —させた場合)

次に風乾と水浸を繰返した場合の崩落率の変化を第4図および第5図に示す。

ここに第4図は最初約 $pF5$ の乾燥を行なった場合であり、第5図は約 $pF6$ の乾燥を与えた場合であるが、第2回目からはともにほぼ $pF6$ の乾燥を繰返したものである。図中実線は各回ごとの崩落率を示しているが、この試験および次の絶乾の場合は、いずれも10個の供試体について連続的に乾燥と水浸を繰返しながら、各回ごとの金網上の残留土と崩落土とから崩落率を算出したものである。したがって乾湿の繰返しとともに試料の重量(乾燥重量、以下同じ)が崩落した分だけ減少し、特に多量の崩落後は供試体重量が非常に少なくなる点で問題があった、なお比較のために最初の供試体重量に対する崩落量の累加率を破線で示してあ

(注2) 本試料の H_2O_2 処理による減量は 2.26 %であった。



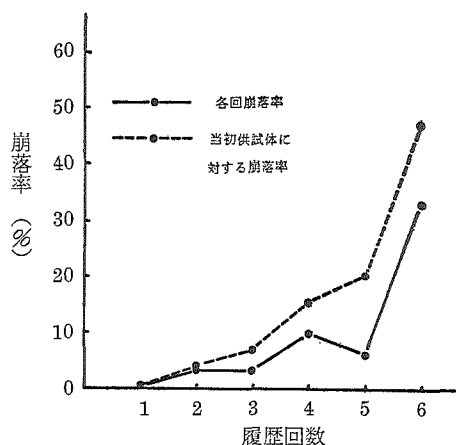
第5図 乾湿の履歴と崩落率
(風乾—pF6—させた場合)

示すように pF6 の乾燥前歴を与えた場合の方が、崩落率が急増するに到る履歴回数が多い (pF5 では3回目に増大したが、pF6 では4回目に著しい増大を示した) のは、第2図で述べたように pF5.5 のピークを境にして土粒子の接近と乾燥による土壌の緊固の度合いが大きいためと考えられるが、この点については次の第6図を対照すると一層明白である。なお第4図および第5図において、大崩落後には崩落率が減少しているが、この点については試料の量が著しく少なくなる点からなお検討の余地があるものと考えられる。また初期供試体重量に対する崩落量の累加率は両図の場合ともに類似の特性を示した。

第6図は絶乾と水浸とを繰返した場合のスレーキング特性であるが、土壌膠結物質の強固な作用によって、水浸の際の沸化が抑制されて崩落率の増大が妨げられることを表わしている。しかしながら乾湿の履歴を受けることによって緊固作用が弱められて、第6回の水浸では著しい崩落を示したものと考えられる。

ところで、粘質土壌の物理特性は存在する塩あるいはイオンの影響を受けるが、特に干拓地ヘドロの場合には脱塩との関係で問題となる。本試料の場合、水溶性成分は乾土 100 g 中 4.73 g 保有されているが、そのうち塩素イオンは 2.24 g 含まれていた。そこで風乾試料について再飽和の際にセロハン紙で包み、塩の溶出

る。第4図および第5図の結果からすると、pF5 ないし pF6 の乾燥履歴を与えた場合のスレーキング特性は、いずれも2～3回の乾湿の繰返しに対して数%の崩落率を保つが、さらに乾湿の繰返し作用が続くと崩落率が著しく増大する。これは風乾作用を受けた供試体が水浸によって激しい沸化作用により崩壊する際、土粒子が薄板状の小さなフロックを形成することによっている。すなわち高含水比で練り返された試料は配向構造となるが、いったん乾燥すると粒子間吸引力あるいは土壌膠結物質の影響を受けて、このような水浸による崩壊の際にも単粒分散せず、行動単位としての薄板状のフロックを形成したものと考えられる。そのために崩落率が2～3回の水浸では増大しないが、乾湿の履歴とともにこのようなフロックが破壊されて、3～4回の水浸では崩落率が著しく増大したものと考えられる。この場合、第5図に

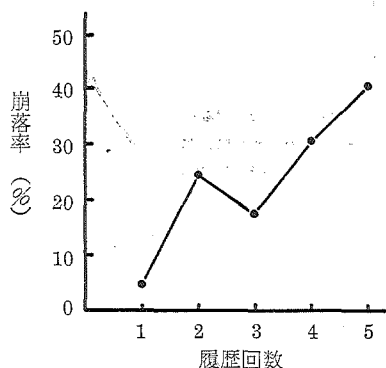


第6図 乾湿の履歴と崩落率
(絶乾させた場合)

を防ぐようにして乾湿の繰返し作用を与え、所定回数ごとに各4個の供試体を用いてスレーキング試験を行ない第7図に示す結果を得た。

図から明らかなように、第2回目の水浸から著しい崩落率の増大がみられる。この結果については、試料数が少なく、かつややバラツキが大きい点でなお今後の究明が必要であるが、得られた結果を検討すれば、次のように考察される。一般に海水中には約2.7%の NaCl、約0.4%の $MgCl_2$ 、およびその他の塩類が含有され、海底粘土は当然これらの陽イオン

を負に帯電した面部に結合している。したがって構造の生成上からは Lambe⁹⁾ のいうように Cation linkage, dipole-cation-dipole linkage, および cation repulsion の作用に対する影響が考えられる。そしてこれらの作用はイオン濃度ならびに土粒子の間隔によって左右されるが、第7図の場合、風乾後の再飽和によって薄板状フロックによるややゆるい結合となった供試体が、第2回以後の水浸の際に過剰の陽イオンによる反発力と相俟って大きな崩落率を示したものと考えられる。一方これを第4図あるいは第5図の結果と対比すると、第2回ないし第3回水浸の際の崩落率に差がみられる。いま第4図および第5図の場合の試料中の塩素イオン量を測定すると、第2回水浸時が0.4~0.5%、第3回水浸時は0.3%で、以後は0.2~0.3%であった。すなわち初期試料の2.2%と比較すると1回の水浸で多量の塩素イオンの溶出が認められるが、当然過剰な陽イオンがあれば水中に取り除かれて、cation linkage 等による作用が崩落率の増大を妨げているものと推察される。このようなことは、また先に述べた第3図の場合に対する第2図における崩落率の全体的な減少にも関連すると考えられるが、なおこの場合に、試料中の塩ないしイオン濃度と、試料数などによって水浸後における周囲の水の塩ないしイオン濃度が変化すること、ならびに有機物等による土粒子の緊固体用の影響などの関係が考えられるので、今後さらに詳細な吟味を加え、これらの点について明らかにしていきたいと考えている。



第7図 乾湿の履歴と崩落率
(塩の溶脱を防いだ場合)

IV. 総括

以上明らかにしたように、干拓粘土のスレーキング特性はその乾燥前歴あるいは乾湿の履歴によって変化し、また存在する塩類などの影響を受けるが、ここに得た結果を整理すると次のようなことが言える。

i) 干拓粘土が乾燥前歴を受けた場合、その乾燥の程度によって崩落率が変化する。すなわち無処理において約4%の崩落率であったが、pF1~pF4の乾燥前歴に対して1~0.3%に崩落率が低下した。しかし pF4 より大きな乾燥前歴を受けようになると吸着水の減少に伴って崩落率は増大し、pF5.5の前歴に対して9.2%の崩落最大値を示した。さらに乾燥前歴が大きくなると崩落率は減少する傾向があり、絶乾状態を経ると0.4%まで低下したが、これは土粒子の極端な接近ならびに土壌緊固物質の作用によると考えられる。以上のような干拓

粘土のスレーキング特性は、水田土壌などにおける乾燥前歴と崩落率との関係（第3図参照）とよく一致しているが、崩落率については第3図の場合、最大値が40%ないし約65%を示しているのに対して、干拓粘土の場合の最大値が約9%ときわめて小さく、ここにも干拓粘土のひとつの特性が表わされているものと考えられる。

ii) 上記において、pF 5あるいは pF 6 の乾燥前歴を受けた干拓粘土が、さらに水浸による再飽和と風乾（約 pF 6）との繰返し作用を受けた場合、崩落率が6ないし3%であったものが再度の水浸においては約8%となった。そしてさらに乾湿の履歴を与えると、3～4回の繰返しによって崩落率は約40%に増大した。この場合、前記 i) の崩落率最大値を示す pF, (pF 5.5) 以上の乾燥前歴を与えた供試体の方が崩落率が急増するのに多くの乾湿履歴を必要とした。

iii) いったん絶乾した試料の崩落率は小さく、その後さらに乾湿の繰返し作用を受けても風乾の場合ほど顕著な崩落率の増大はみられず、5回の履歴まではいずれも崩落率が10%以下であった。しかし第6回目の水浸においては約33%の崩落率を示した。

iv) pF 5～pF 6 の乾燥前歴を受けた試料について塩類の溶出を防いで再飽和と風乾を繰返し、所定の乾湿履歴を与えた後のスレーキング特性を試験したところ、崩落率は第2回の水浸から比較的高い値（約25%）を示し、第4、5回において35～43%となった。

ここに表わされた諸特性は、塩類やイオンなど、また土壌膠結物質による影響が考えられるので、これらについては今後さらに pF 4 までの乾燥と水浸との履歴を受けた場合の挙動をも含めて詳細な解明を行ない、その成果を干拓地における土層改良の基礎として活用していきたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) WARKENTIN, B. P. and M. BOZOUK (1961): Shrinking and swelling properties of two Canadian clays. Proc. Intern. Congr. Soil Mech. Found. Eng., Paris. 5th. 3A. 851.
- 2) 佐藤晃一 (1969): 粘質土壌の乾燥前歴と収縮ならびにスレーキング特性について 農土論集, 28, 12～16
- 3) LAMBE, T. W. (1953): The structure of inorganic soil. Proc. ASCE, 79. (315).