

乾燥による底泥の性質変化

滝澤倫顕*, 西村伸一**, 村上 章***

Characteristics of Dredged Sludges by Desiccation

Tomoaki TAKISAWA*, Shin-ichi NISHIMURA** and Akira MURAKAMI***

(Received November 30, 2005)

To examine the possible reuse of dredged sludge in view of construction material, physico-chemical properties and geotechnical characteristics of desiccated sludge are investigated through laboratory experiments. The consistency test, the pH test, the XRF test and the X-ray diffraction analysis are carried out for physico-chemical properties, and the consolidation test and the permeability test are made for geotechnical characteristics. It is concluded that the history of desiccation changes the consistency of sludge and affects its permeability and consolidation behavior.

Key words: *Dredged sludges, consolidation, permeability, solidification material, XRF*

1. はじめに

現在、湖やため池などの水質悪化にともなう、それらの水質改善のための浚渫事業や、ため池などの改修にともなう泥土が大量に発生している。しかし処理方法としては盛土材、路盤材などに用途が限定されており、十分に再利用されていないのが現状である。これらの原因としては泥土は高含水比で、また地域によって性質の差が大きいため、統一した方法による処理が可能でないことがある。浚渫底泥の利用についての研究としては、石炭灰及び石膏を浚渫土や泥土に混合して最適な配合を調べている研究(松尾ら, 1998)、石膏系固化材を用いて固化材ペーストの水固化材比W/Pを用いることによって実験を行わずに配合を決定する研究(石原ら, 2005)、セメント系固化材にフライアッシュおよび製紙焼却灰の固化助材として用いて、それらの有効性について評価を行った研究(澤ら, 1997)、底泥土の堤体盛土材への適用性を固化したものに砕・転圧を行って粒子を調整することで所定の強度透水性が確保することができることを明らかにした研究(福島ら, 2001)などがある。

このように泥土に固化材などを添加することで高強度の材料を作成する研究が盛んに行われているが、泥土に固化材を添加する場合でも泥土の水分状態によって基本的な性質が大きく変わることが明らかにされている。しかし、水

分状態による強度変化の研究は行われているが、底泥自体の乾燥によって起こる変化については十分には行われていない。本研究は、乾燥によって泥土の性質変化がどのように起こるかを解明することを目的としている。その結果として泥土の性質や、それぞれの泥土にあった処理方法を知ることができると考えている。

本研究では、岡山県児島湖浚渫底泥や香川県ため池底泥という6つの異なった性質の土を用いて、その物理・化学特性や粘土鉱物や元素量や強度、透水性との関係について調べた。また乾燥によって固化材投入時の強度や透水性にどのような影響があるかについても検討した。

2. 乾燥による底泥の基本的性質の変化

乾燥が底泥の基本的な性質にも変化をもたらしていることを調べるために物理・化学特性の試験を行った。一度乾燥を行った試料の含水比を、水を加えて乾燥前の状態に戻しても、底泥には乾燥前の粘性がなくなる。このため、乾燥によって、底泥は異なった性質になると推測される。また、コンシステンシーの変化については、乾燥前後に実験を行った。土の物理的性質による変化の可能性も考慮するため、有機分含有量、粒度分布試験、土粒子密度、pH、ECもあわせて調べた。それぞれの結果については表1に示した。試料としては香川県のため池底泥試料(A~E池)と、児

* 岡山大学自然科学研究科

** 岡山大学保健環境センター

*** 岡山大学環境学研究科

表1 物理・化学特性

	W_L (%)	W_p (%)	Li (%)	pH	EC (mS/cm)	r_s g/cm ³
A-w	190.0	58.4	18.1	5.8	1.24	2.74
A-d	76.6	59.7				
B-w	271.7	99.5	26.6	4.1	2.69	2.70
B-d	NP	64.8				
C-w	53.1	36.7	9.6	6.1	0.42	2.50
C-d	39.1	32.4				
D-w	121.2	44.2	10.9	6.0	0.85	2.77
D-d	61.3	45.4				
E-w	132.5	44.1	11.6	6.0	1.09	2.51
E-d	55.8	45.4				
K-w	103.2	44.0	10.1	6.6		2.67
K-d	54.7	38.3				

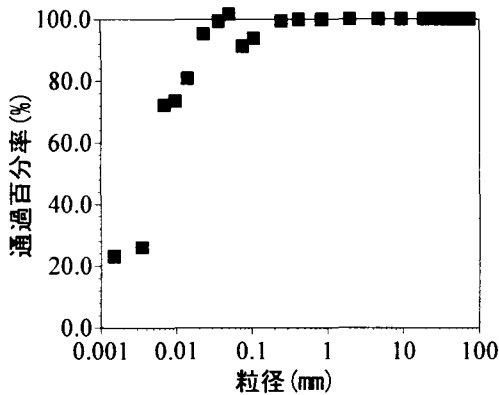


図1 A池における粒度曲線

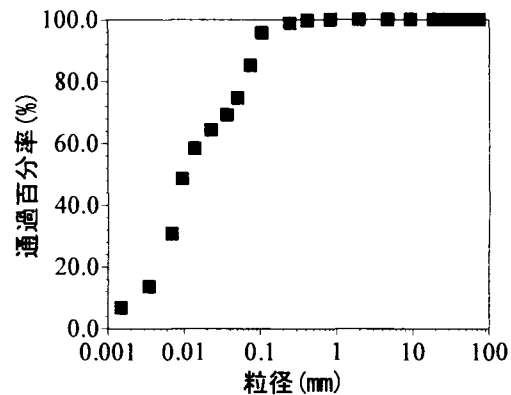


図2 D池における粒度曲線

島湖の脱水ケーキを試料(K池)を使用した。表中のA-wとはA池の試料の乾燥を行う前の湿潤状態、A-dとは乾燥を行った状態の試料を示している。

各試料の特徴としては、A, B池の試料は含水比が高く有気分含有量も多くなっており、ECは他の試料に比べて高くpHは酸性側にあることが挙げられる。またC池ではD, E池と比べて W_L , W_p が低くなっている。これは、C池の試料が砂質土であり、ECも他の試料に比べて低くなっていることによる。D, E, K池の試料においては W_L , W_p がそれぞれ近い値になっており、物理・化学特性より互いに近い性質を持った試料ということができる。これらの試料の粒度分布を見ると、D池の試料ではA池のそれに比べて粒子が細かくなっている。有機量ではA池の方が多いが、粒子ではD池の方が

シルト・粘土分を多く含んでいる。

乾燥によるこれらの試料の W_L , W_p における変化は、すべてにおいて乾燥前の W_L の値は乾燥後の値と比べて減少していた。ため池底泥は乾燥によってコンシステンシーを大きく減少させることが判明した。

3. 乾燥による土の構造の変化

表1において、ため池底泥の乾燥によるコンシステンシーの変化が明らかになった。この原因について調査を実施した。その過程で粘土鉱物としてのハロイサイトの同定方法が炉乾燥を行うと、X線回折試験結果においてピーク値が減少することが既往の研究から明らかである。これが

表2 底泥の主要粘土鉱物

A池	B池	C池	D池	E池	笠岡粘土	児島底泥
石英	石英	石英	石英	石英	石英	石英
緑泥石	緑泥石	緑泥石	緑泥石	緑泥石	緑泥石	緑泥石
イライト	カオリナイト	イライト	イライト	イライト	イライト	イライト
カオリナイト	ハロイサイト	カオリナイト	カオリナイト	カオリナイト	カオリナイト	カオリナイト
ハロイサイト		パーミキュライト	ハロイサイト	パーミキュライト	ハロイサイト	ハロイサイト
			スメクタイト		スメクタイト	スメクタイト
					パーミキュライト	パーミキュライト

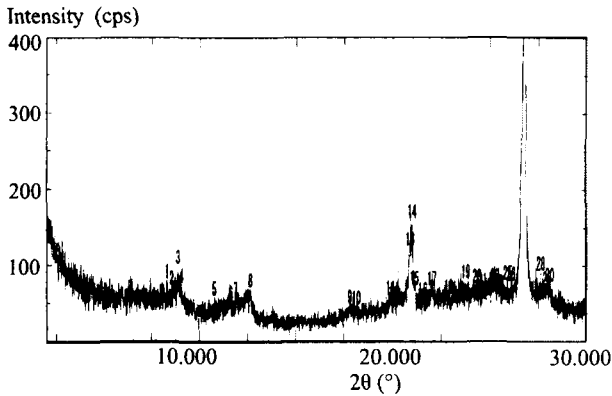


図3 A池のX線回折結果(湿潤試料)

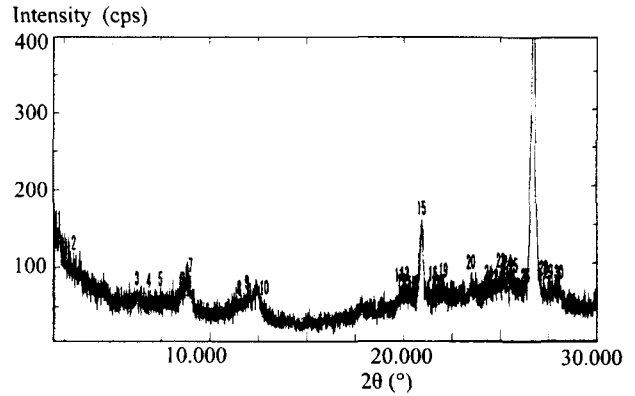


図4 A池のX線回折結果(炉乾試料)

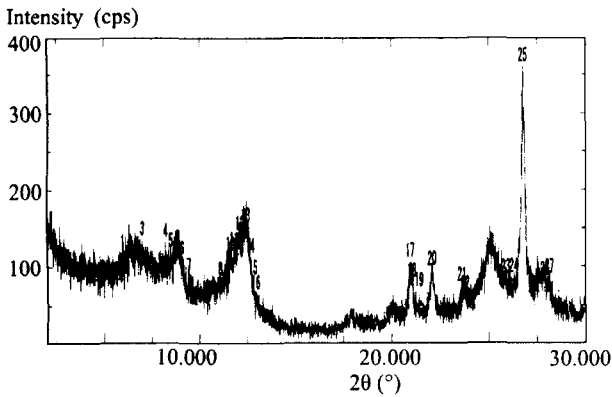


図5 D池のX線回折結果(湿潤試料)

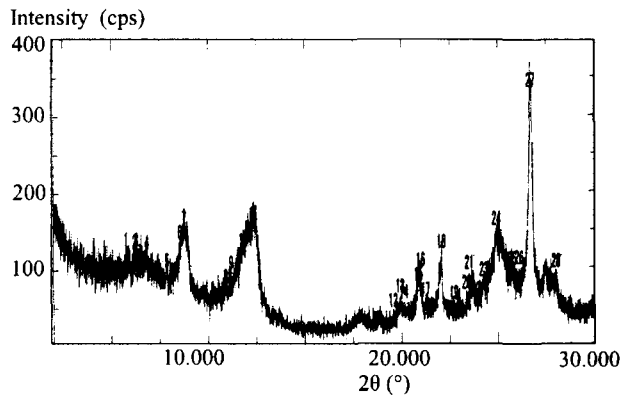


図6 D池のX線回折結果(炉乾試料)

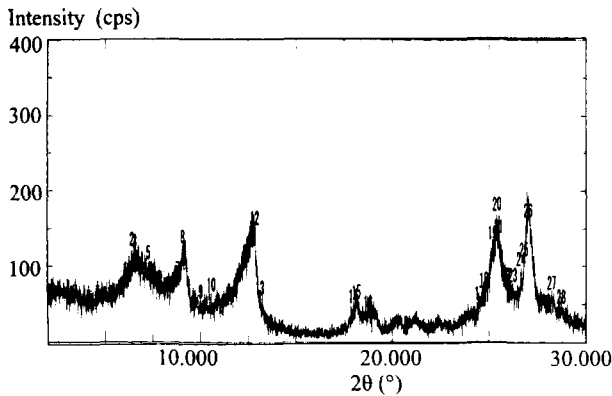


図7 K池のX線回折結果(湿潤試料)

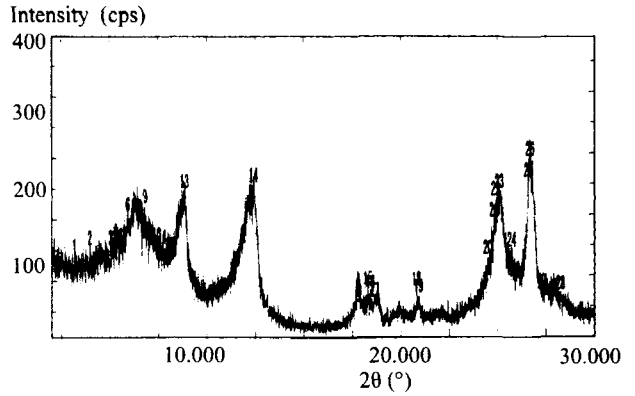


図8 K池のX線回折結果(炉乾試料)

乾燥による性質変化に影響を与えている可能性を考慮し、X線回折試験を実施した。試験は、定方位によって実施した。試料中の主要な粘土鉱物については表2に示した。またX線回折結果を図3～8にそれぞれ示した。

香川県の5地域のため池底泥、児島湖底泥のすべての試料で石英と緑泥石の含有量が支配的であった。またカオリナイトもすべての試料で存在していた。図3では石英の強度が突出しており、イライト、カオリナイト、ハロイサイトなどは少量含まれているが、図7の児島湖底泥では図3では少量であったイライト、カオリナイト、ハロイサイトやスメクタイト、パーミキュライトなどの粘土鉱物が多く存在していることが明らかとなった。また図5のD池の試料では図7ほどではないが図1の試料よりは石英以外の粘土鉱物が多くみられた。また乾燥による違いを図4, 6, 8に

示したが、乾燥によるグラフには違いを見ることができなかった。これは、ハロイサイトの含有量は少量であるためと考えられる。よって、粘土鉱物は乾燥では変化しないこととなる。

またX線回折試験では知ることのできない底泥の元素量を調べるためにXRF法全岩化学分析を行った。結果は表3に示した。香川県のため池の底泥であるA, B, C, D, Eでは各底泥で元素が類似している。児島湖の試料のKではAl, Fe, Ca, Mgなどが他の試料に比べて多く含まれていることが表3より明らかになった。これはX線回折結果とも一致しており、児島湖の底泥には多様な粘土鉱物が含まれていることを物語っている。またA, B池の試料では他の試料よりも K_2 が低い値になっている。

また写真1, 2では、乾燥による土の構造自体の変化を調

表3 XRF分析結果

SAMPLE	A	B	C	D	E	K
SiO ₂ (%)	59.76	43.04	66.23	57.71	66.19	55.06
Al ₂ O ₃ (%)	12.96	18.37	14.99	18.16	13.19	18.50
Fe ₂ O ₃ (%)	3.00	6.30	3.29	5.56	3.55	5.99
CaO (%)	1.25	1.14	0.58	1.11	0.70	1.81
MgO (%)	0.55	0.67	0.54	0.72	0.48	1.90
Na ₂ O (%)	0.59	0.73	1.17	1.66	0.75	1.56
K ₂ O (%)	1.66	1.56	2.84	2.07	2.29	2.20
Cr ₂ O ₃ (%)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
TiO ₂ (%)	0.55	0.76	0.49	0.74	0.66	0.69
MnO (%)	0.02	0.07	0.07	0.07	0.03	0.16
P ₂ O ₅ (%)	0.27	0.18	0.09	0.27	0.27	0.28
SrO (%)	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
BaO (%)	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05
LOI (%)	19.30	27.00	9.61	11.80	11.75	11.50

べるために電子顕微鏡を用いて構造を観察した。写真1では、土の構造だけでなく植物もみることができた。写真1.2において、乾燥による構造の大きな変化は見られなかった。

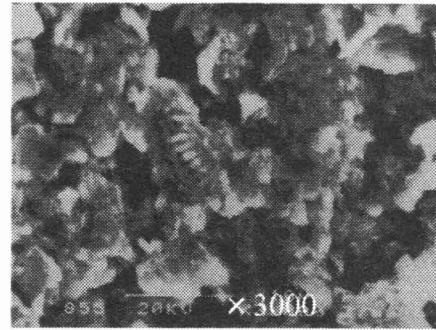


写真1 湿潤試料のSEM写真



写真2 炉乾試料のSEM写真

4. 圧密試験

乾燥による底泥の変化が圧縮性に与えている影響について圧密試験を行った。本研究で用いている試料の種類としては、採取された試料をそのまま用いるもの（以下：湿潤試料）、試料を乾燥炉に入れて24時間炉乾したもの（以下：炉乾試料）を用いている。各試料は不均質であるため、試料の均質性を高めるために、一旦水に溶かしてペースト状にした後、大型圧密試験機を用いて児島湖の試料は160kPaで、香川県のため池底泥は60kPaの圧密圧力でそれぞれ再圧密し、ケーキ状に再構成した。児島湖の試料を160kPaとしているのはこの試験に用いた脱水ケーキ生成時の圧力と同じにするためである。

浚渫事業によって発生する底泥をそのまま使用せず、脱水ケーキとして処理したものを使用する場合が考えられる。この場合には底泥をそのまま利用する場合と比較して

どのような変化があるのか調べるため、作成されたケーキ状の供試体を1辺が約1cmの直方体に切り、それをモールド内で3層に分けて25回ずつランマーを用いて突き固めたものを用いて実験を行った。この試料については、締め固め試料と呼ぶことにする。表では、突き固めを行わない試料を標準試料はとしてrで表し、締め固め試料はcとして示した。

図9, 10, 11では間隙比と圧密圧力の関係を示している、乾燥によって間隙比の減少が湿潤試料よりも早くから起こっていることがわかる。また間隙比は児島湖の試料とAの試料では同様の値に収束しているが、Dの試料では初期間隙比が湿潤試料で高すぎるために収束にはいたらなかったと考えられる。また表3よりIpがD池に比べてA池では大きくなっているため、Aの試料では初期間隙比が高く

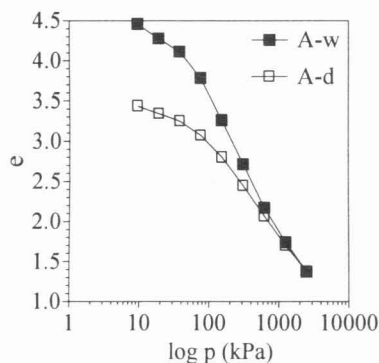


図9 e-log p 曲線 (A池試料)

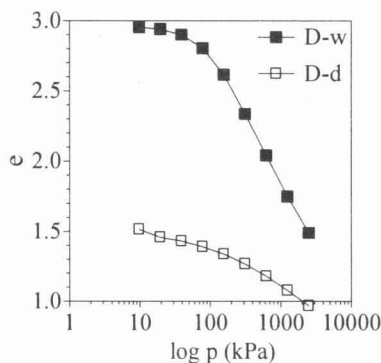


図10 e-log p 曲線 (D池試料)

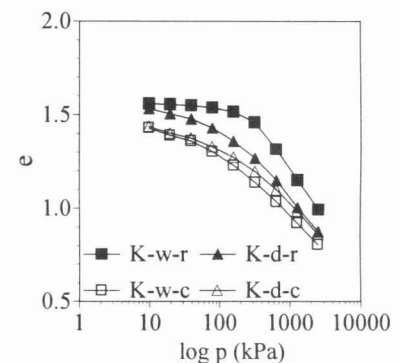


図11 e-log p 曲線 (K池試料)

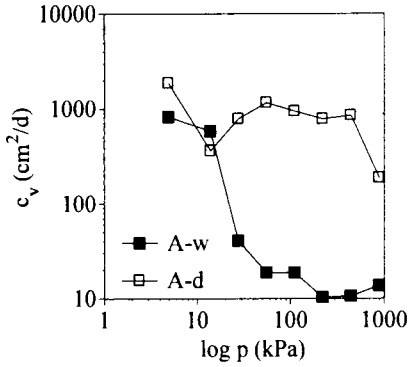


図12 c_v - p 曲線 (A池試料)

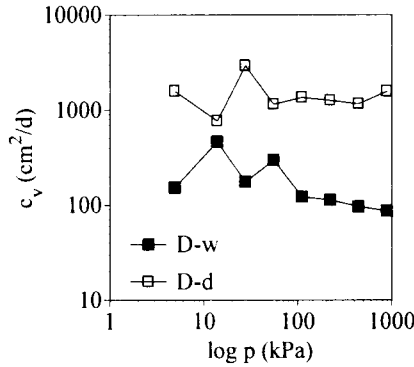


図13 c_v - p 曲線 (D池試料)

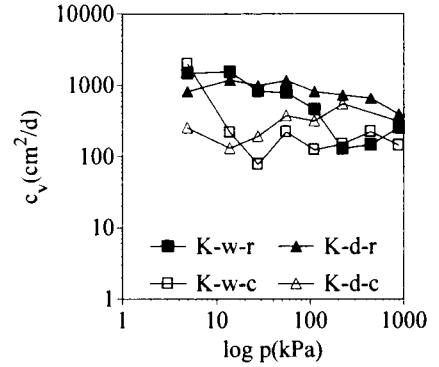


図14 c_v - p 曲線 (K池試料)

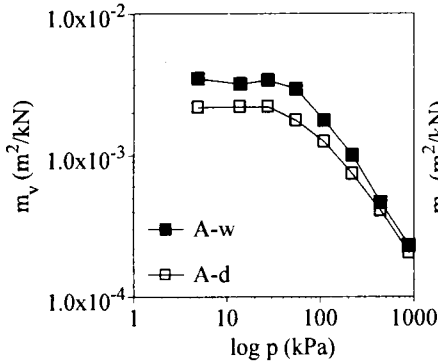


図15 m_v - p 曲線 (A池試料)

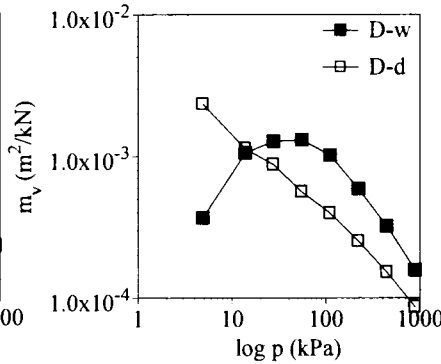


図16 m_v - p 曲線 (D池試料)

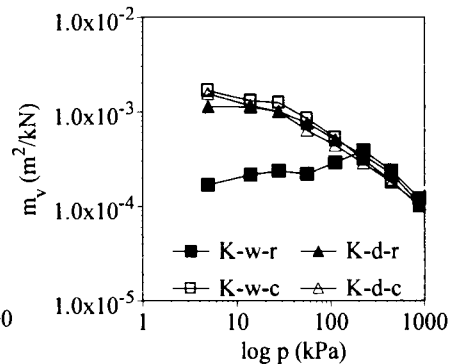


図17 m_v - p 曲線 (K池試料)

なっている。児島湖の試料の初期間隙比が低いのは試料作成時の予備圧密時の圧力が160kPaと高いことが原因と考察される。またA池の試料は、児島湖の試料やD池の試料に比べて粘土鉱物が少ないが圧縮性が大きくなっている。これは表1より有機分含有量が多いことが影響していると推測される。図12, 13, 14は c_v と圧密圧力の関係を示している。ここでは炉乾試料が湿潤試料よりも高い値になっている。図15, 16, 17では m_v と圧密圧力の関係を示しており、児島湖の試料では炉乾試料の方が圧縮性が高くなっているが、香川県のため池底泥では湿潤試料の方が圧縮性が高くなっている。これは児島湖の試料では予備圧密の値が他のものよりも大きいことによる。

締固めによる影響としては、間隙比は湿潤試料と乾燥された試料の両方において初期間隙比の減少がある。また、湿潤試料では間隙比に、大きな変化が生じた。しかし、炉乾試料ではあまり変化を見ることができなかった。これはコンシステンシーの違いから明らかで、乾燥によって粘性が失われているためと思われる。体積圧縮係数では両方の試料で、締固め試料に比べて圧縮性が大きくなっている。

5. 透水試験

底泥の透水特性を見るために透水試験を行った。試験方法は圧密試験と同様に大型圧密試験機を用いて作成した試料を三軸セルを使用し、直径5cm、高さ5cmになるように作成した供試体を用いて、拘束圧200kPa、背圧100kPaで

定水位透水試験を行った。

図18では、湿潤試料と比べて炉乾試料では高い透水係数となっている。これは液性限界の変化から、乾燥により粘性土の化学特性が変化したことによると推測される。また締固めによって透水係数が減少したと考えられる。

6. まとめ

本研究で得られた結果について以下に示す。

(1) 底泥の乾燥による性質変化の原因としては、コンシステンシーの変化が考えられる。特に液性限界を大きく減少させることが明らかになった。塑性限界は乾燥によって、

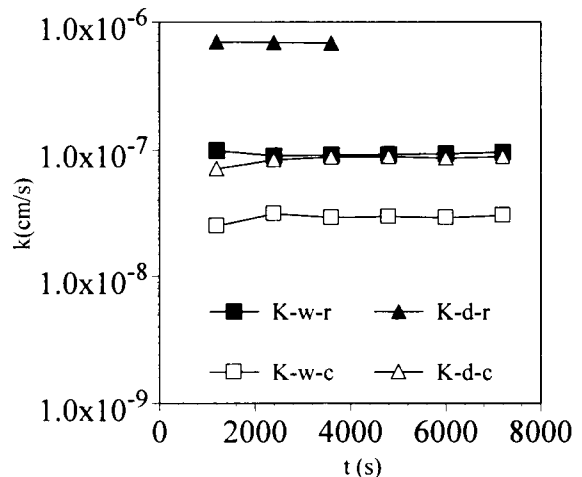


図18 透水係数と時間関係

ほとんど変化しなかった。

(2) 力学特性において、乾燥によって過圧密領域が短くなっており、弾性的挙動をあまり行わなかった。乾燥によって圧縮性が減少する。各地域のため池底泥で粘土鉱物の種類と量が異なっていたが、これらと圧縮性には直接の因果関係がなく、圧縮性では有機分含有量が支配的であることが明らかとなった。

(3) 締固めによって乾燥試料では初期間隙比の減少をみることができたが、傾向はあまり変化していなかった。これはコンシステンシーの減少により泥土の粘性が失われたことが影響している。体積圧縮係数では、締固め試料に比べて圧縮性が大きくなっている。

(4) 透水特性では、乾燥によって透水性が減少する。これは底泥の化学特性の変化に起因するためと考察される。締固めによって透水係数が減少することを示した。

これらより底泥は乾燥によってその力学特性、化学的特性を大きく変化させることが明らかになった。これらの影響としては有機物が影響しているためと考えられる。

謝辞: 本研究中、X線回折の実験手法および結果の解釈に関しては、岡山大学大学院自然科学研究科・鈴木茂之博士と松田敏彦博士にご指導を賜った。記して謝意を表す。

参考文献

- 松尾 稔, 木村 稔, 近藤寛通, 堤 博恭(1998): 石炭灰の土質改良材への適用に関する実験的研究, 土木学会論文集 (603), pp. 77-88.
- 石原慎太郎, 池畑伸一, 小林 学(2005): 石こう系固化材による土質改良の配合設計に関する実験的研究, 第40回地盤工学研究発表会, pp. 777-778.
- 澤 孝平, 友久誠司, 稲積真哉(1997): 産業廃棄物を利用した泥土の固化処理, 第2回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp. 207-212.
- 福島伸二, 石黒和男, 北島 明, 谷 茂, 池田康博, 酒巻克之(2001): 中性固化剤を用いた粗粒材改良土の強度特性に与える水分量の影響, 土木学会論文集 (680), pp. 269-284.