

霞ヶ浦底泥の理工学的性質について

ON THE PHYSICAL AND ENGINEERING PROPERTIES OF BOTTOM MUD OF THE LAKE KASUMIGAURA

かる べ じゅう た ろう
軽 部 重 太 郎*

1. まえがき

霞ヶ浦では、近年水質汚濁（富栄養化）が著しく、このため上水道など各方面で好ましくない影響が出ている。この水質汚濁における一つの汚濁システムとして、一度底泥に蓄積された有機物などが、ある条件のもとで再び湖水中に溶出するということが指摘されている¹⁾。また、面積が大で水深が浅いという湖の性質上、波浪によって底泥が舞い上がりやすいということも水質汚濁の一つの原因になっている。底泥中の有機物は水質汚濁のそもそもの原因ではなく、むしろその結果であるのだが、水質保全という点から見れば、やはり何らかの対策あるいは考え方が必要になっているといえよう。

すでに建設省では、有機物、水分、粘土含有率の特に高い底泥を「ヘドロ」と定義し、これをシュンセツする計画を立てている。その量は西浦だけで約4千万³⁾といわれている²⁾。シュンセツに関しては、施工の際の二次汚濁の防止法や、シュンセツした「ヘドロ」の処理または利用法などが問題点としてあげられている。

そこで霞ヶ浦の底泥を自然物として、また環境保全対策の対象物として、あるいは材料としてながめつつ、その基礎的な諸性質を調べてみた。

2. 底泥のタイ積

2.1 底泥の分布

全体として湖の周辺部は砂質で、沖に出るに従って細粒になり、岸から数百メートル離れるとほとんどのところは泥質になる。この様子を図-1に示す。泥質の部分が湖面積の7割を占めて大きく、残りの3割が周辺の砂質部分になる²⁾。砂質から泥質が変わるときは水深は三ツ又に面する湖岸で4~5m、八木や木原入では3m程度であり、入江の奥になるほど浅い。湖岸の浅いところが砂質であるのは、そこが波浪のかく乱作用を強く受ける場所であるために、泥が浮遊してタイ積しにくいからである。

2.2 底泥のタイ積速度

底泥のタイ積速度を見積もるのにボーリングによる土質調査は貴重な資料となる。運輸省の土質調査³⁾(1965)によれば、霞ヶ浦のチュウ積土の厚さは湖心で約40mとなっ

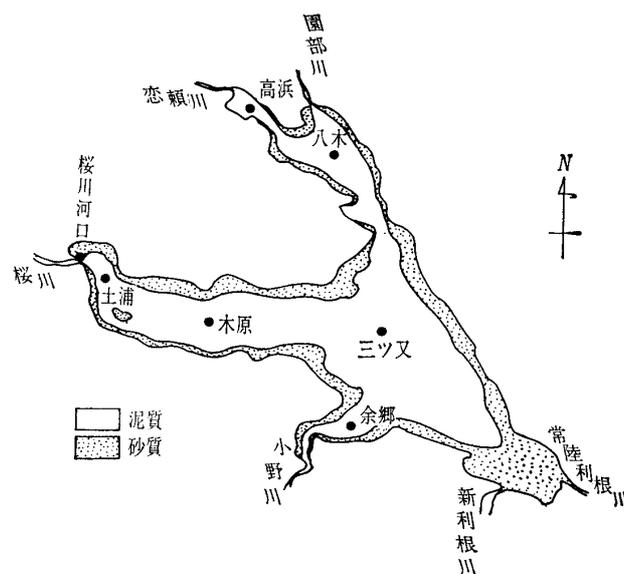


図-1 底泥の分布と試料採取位置

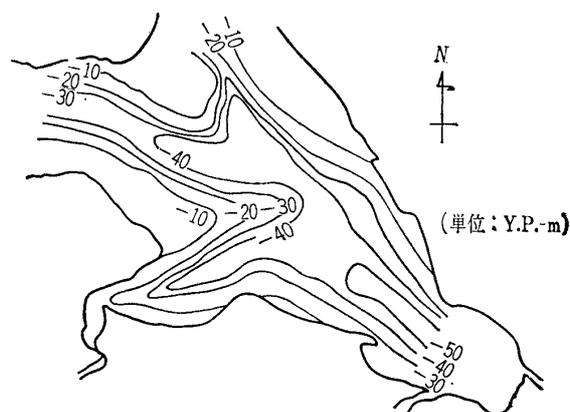


図-2 チュウ積層下限の深さ²⁾
(水位: Y.P. 1m, 湖心の水深: 6m)

ている(図-2)。これを単純にウルム氷期以後の2万年で割ると、年に約2mmのタイ積があったということになる。深い層は相対的に密に詰まっているから、表層では年に2mm以上のタイ積があると推定される。

また外岡⁴⁾は底泥中の銅と塩素量の変動に着目し、利根川の河川工事史と対応させて検討を進め、年に2~11mmという数字を出している。

さらに浅見⁵⁾は底泥の水銀含有量(図-6)に着目し

* 茨城大学助手 農学部

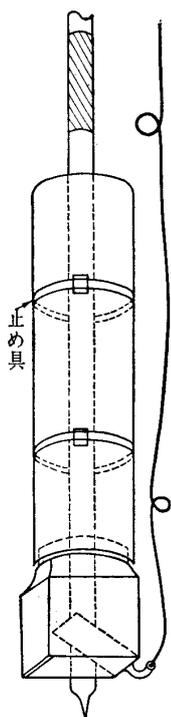


図-3 試作した採泥器

て、これを水銀の使用量と対応させ、タイ積速度を年に 5~15 mm と推定している。

これらは場所による変動を含み、年代をどこまでさかのぼったかによっても異なるが、霞ヶ浦の底泥が年に 2 mm 以上の速度でタイ積しているということでは一致している。

3. 底泥の基本的性質

霞ヶ浦の底泥を採取する目的で、図-3に示すような簡易柱状採泥器を試作した⁶⁾。ステンレス製継ぎポールの先に直径 5 cm の透明アクリルパイプを固定し、下端に弁をとりつけたもので、小船の上から直接ポールとひもで操作する簡単なものである。これで水深 7 m、採泥深 1 m くらいまで、割合に能率よくしかも深さ別に採取することができた。以下の試料はこの採泥器を用いて採取したものである。

試料の主な採取位置を図-1に、基本的性質を表-1に示す。なお、採取位置の地名に()をつけて試料を呼ぶことにする。

3.1 粒径組成および比重

水中では粒径による分離が生じやすいので、粒径組成をまず調べた。粒径組成の測定は、ヘキサメタリン酸ソーダを分散剤としてピペット法で行なった。後で述べるように、粘土鉱物は湖の全域で比較的均質であるから、底泥の場所による性質の違いはこの粒径組成によって決まるといっても過言ではない。それは表-1で 0.002 mm 以下の粘土分が、有機物含有量や沈降体積などと高い相関を示すことからいえる。

粒径組成の場所による違いを見ると、八木、三ツ又、木原のような沖合いでは粘土が 50~70% を占めて HC (Heavy Clay) に分類され、高浜、余郷、土浦のような入江では粘土が 30~50% で LC (Light Clay) または HC となる。さらに桜川河口では粘土が 20~30% で LC または CL (Clay Loam) に分類される。分布のところで述べたように、粒径の細かいものほどより深い、安定した場所にたまる傾向が認められる。層別による違いは特に決まった傾向は見られないが、桜川河口や木原では上層の方がやや粘土分が多いようである。

B.E.T. 水分吸着法による比表面積は 50~100 m²/g であ

表-1 霞ヶ浦底泥の基本的性質

採泥地点	水深 (m)	採泥深 (cm)	粒径組成 (%)				土性 (国際法)	真比重	比表面積 (m ² /g)		有機物含有率 (%)	沈降体積	
			2~0.2mm	~0.02mm	~0.002mm	0.002mm 以下			H ₂ O ₂ 処理	H ₂ O ₂ 未処理		生土	風乾土
高浜	2.0	0~10	0.6	17.6	38.5	43.3	LC	2.531	80	109	8.03	5.5	2.3
		20~30	0.8	9.6	44.8	44.8	LC	2.530	—	—	7.67	5.6	3.0
		40~50	0.4	8.0	37.3	54.3	HC	2.524	95	115	7.12	6.5	2.7
八木	3.9	0~10	0.3	6.1	33.5	60.1	HC	2.411	84	133	9.55	8.8	2.8
		20~30	1.1	6.0	34.6	58.3	HC	2.465	—	91	6.64	7.6	2.6
三ツ又	6.0	0~10	2.1	7.1	33.1	57.7	HC	2.399	83	110	7.93	9.7	3.1
		20~30	0.4	8.6	36.5	54.5	HC	2.543	—	—	5.60	8.5	2.9
		40~50	0.6	5.3	34.0	60.1	HC	2.574	—	104	5.21	8.4	2.6
木原	5.0	0~10	0.8	5.0	28.1	66.1	HC	2.460	—	92	8.84	9.5	3.1
		20~30	2.7	9.0	35.9	52.4	HC	2.482	—	—	5.33	8.8	2.4
		40~50	2.8	9.6	34.7	52.9	HC	2.536	—	84	5.40	7.8	2.4
余郷	4.2	0~10	2.4	36.7	18.8	42.1	LC	2.527	68	102	7.71	7.2	2.4
		20~30	5.3	41.4	20.2	33.1	LC	2.569	—	—	4.21	5.0	2.4
		40~50	2.2	38.7	10.5	48.6	HC	2.573	64	82	5.15	6.1	2.4
桜川河口	3.0	0~10	3.8	25.9	36.9	33.4	LC	2.598	59	75	5.14	3.9	2.2
		20~30	6.3	33.1	34.2	26.4	LC	2.684	—	59	5.24	4.5	1.8
		40~50	5.4	41.7	34.3	18.6	CL	2.676	84	83	3.52	3.7	1.9
土浦	3.2	0~50	0.2	33.0	31.1	35.7	LC	2.681	—	—	(4.94)	—	—

り、有機物を含んだままで測るとこれよりやや大きい値が得られる。有機物を含んだ場合は比表面積というよりも、水分に対する活性度といった方がよいかも知れない。

底泥の自然含水比は200~300%で、したがって間ゲキ率では85~90%、単位体積重量では1.2 g/cm³前後というのがおよその数字である。これらは表面付近ではとくにゆるく、採取したときに指を差し込んでほとんど抵抗を感じないほどである。また真比重は2.4~2.7の間に分布し、表層の方が小さい傾向をもっている。そして有機物含有量とは高い負の相関を示す。回帰直線から有機物ゼロの場合を推定すると、鉱物質の平均的な真比重は2.755となる。

3.2 有機物含有量

有機物含有量は、土壌中の有機炭素に一定の換算係数を乗じて求められる。重クロム酸法はこの有機炭素を求める簡易滴定法の一つであるが、有機物の分解率に仮定が含まれているなどの問題もある。そこで、より信頼性の高いC-Nコーダーによる全炭素の測定結果⁹⁾を用いて、これに換算係数1.72(土壌有機物の平均炭素率の逆数)を乗じたものを有機物含有量として表-1に示す。この場合全炭素を有機炭素と見なすことにはほとんど問題はないと思われる。その結果は強熱減量、重クロム酸法との相関がきわめて高く、全炭素から求めたものをH、強熱減量をI、重クロム酸法の結果をPとすれば、それぞれつぎの関係が認められた。

$$H=0.482 \times I + 0.25 \quad (r=0.881; n=28)$$

$$H=0.745 \times P - 0.32 \quad (r=0.921; n=28)$$

なお、表-1で(土浦)の有機物含有量は、強熱減量からこの式で求めたものである。

表-1によれば、底泥中の有機物含有量は5~10%であり、表層に近いほど有機物に富んでいることがわかる。

つぎに湖水の懸濁物(SS)と、その全炭素⁷⁾から推定した懸濁物の有機物含有量を図-4に示す。湖水中の有機物は年間を通じて3~7 ppm程度であるが、懸濁物中に占める割合は三ツ又で30~50%、土浦付近で10~30%となる。このような有機質に富んだ懸濁物が沈降することによって、底泥に有機物が蓄積されていくのであろう。

3.3 粘土鉱物

まずX線回折(粉末法, Mg, Kイオン飽和粘土の定方位法, 熱処理などを用いた)によって底泥の粘土鉱物を同定した。この結果、カオリン鉱物(ハロイサイト)および複雑な混合層鉱物(雲母/モンモリロナイト/パーミキュライト/クロライト)が多く含まれていることがわかった。全体に均一であり、わずかに違いがあるとすれば、土浦入と高浜入にカオリン鉱物がやや多い傾向が見られる程度で、調べた範囲では深さ方向にも違いは認められない。

ハロイサイトが霞ヶ浦底泥の主要な粘土鉱物であることは、電子顕微鏡によっても確かめられた⁹⁾。

つぎに、流域の台地をおおう関東ロームの主要な粘土鉱

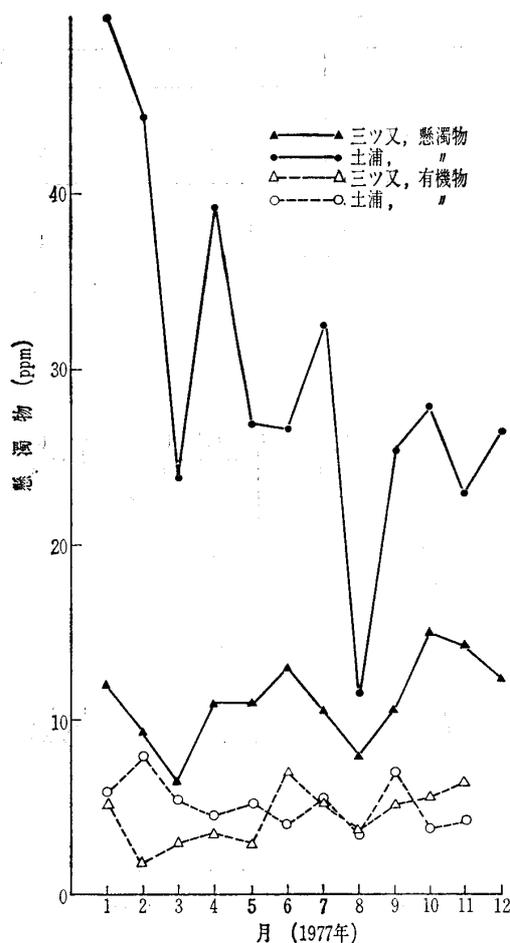


図-4 湖水中の懸濁物とそれに含まれる有機物の年間変化

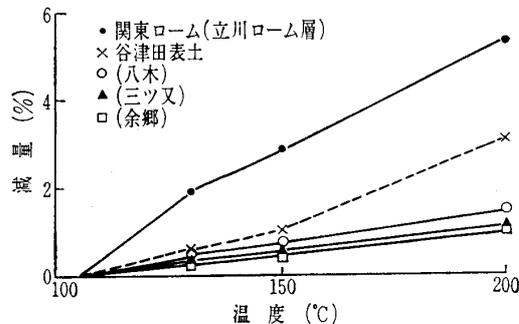


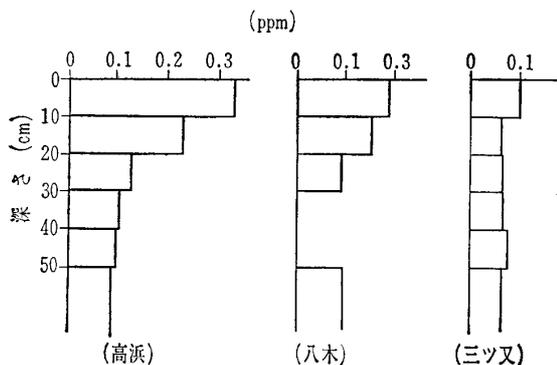
図-5 加熱による重量減少

物がアロフェンであることを考えて、アロフェンの同定を試みた。同定は示差熱分析も行なったが、加熱による重量減少を測定する方法^{9),10)}がむしろ有効であった。これは200°C程度にまで加熱させたときに見られる、アロフェンに特有な重量減少を測定するもので、簡単でしかも信頼性の高い判定法であると思われる。この結果を図-5に示す。アロフェンを主とする関東ロームの重量減少が5.3%であるのに比べて、底泥は1~1.5%と小さい。ハロイサイトのそれは0.9%程度⁹⁾であるから、底泥中にはアロフェンはほとんど含まれていないか、あってもきわめてわずかなものであるということが出来る。

表一 2 化学性

	生土(土浦)	風乾土(土浦)
pH (H ₂ O)	8.1	7.7
pH (KCl)	7.0	7.0

	(八木)	(三ツ又)	(余郷)
CEC (me/100g)	30.0	29.6	25.9



図一 6 霞ヶ浦底泥の層別水銀含有率

さらに霞ヶ浦周辺の谷津田の土壌の場合を図一 5 に破線で示す。霞ヶ浦周辺の谷津田は成田層群を深く刻んでいるので、関東ロームと成田層群の土が混じり、水田の段階ですでにアロフェンの量が半減している様子が見られる。

3.4 化学性

pH, 陽イオン交換容量(CEC)について表一 2 に示す。湖水の pH が 7.6~9.2 ぐらいの範囲で変動している⁵⁾から、生土の pH (H₂O) はその平均的な値に近い。風乾によっても pH の低下がほとんど見られないのは、硫化物などの影響が現われるのに時間がかかるためかもしれない。

CEC は有機物を含んだ状態で測ったもので、有機物の CEC が高いこと、有機物含有量が高いことから、粘土だけの CEC はこれより小さいものと考えられる。

底泥中の重金属は、水銀やカドミウム、鉛、亜鉛などの場合、高浜、八木、土浦などの入江で含有率が高く、また表層ほど高いことが確かめられている⁵⁾(図一 6)。しかし他と比べれば、霞ヶ浦底泥の重金属による汚染はまだ少ない方である。

3.5 沈降特性

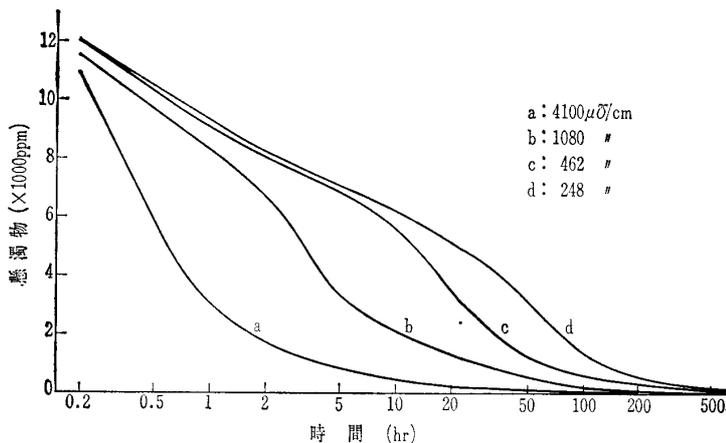
底泥が湖の中でかくはんされて水中に懸濁した場合、懸濁物がどのように減少するかと

いう問題がある。これを室内実験により、1 l の広口びんに 20 g の試料と蒸留水を入れてかくはんし、一定時間ごとに一定深さからピペットで吸い上げるという方法で測定した。この結果を図一 7 に示す。湖水が海水の影響を受けていたことを考慮して、食塩を加えて塩分濃度を変えてみた。これは電気伝導度で表示してある。

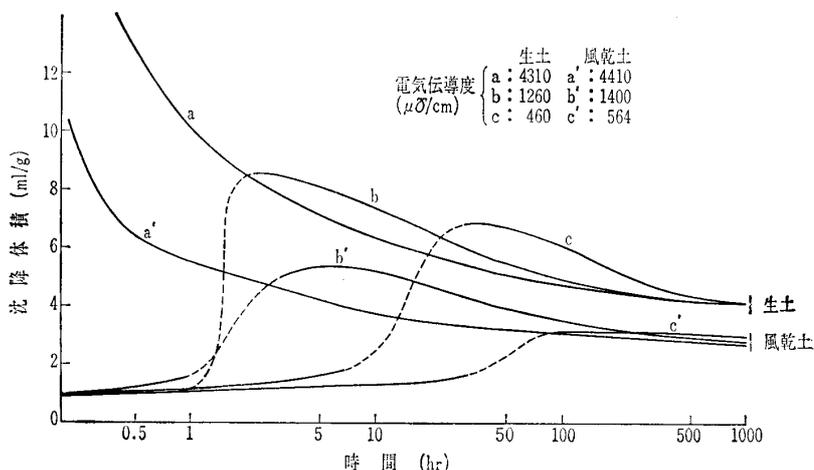
電気伝導度の高いものほど凝集しやすく、この結果懸濁物が速やかに沈降する様子が図から読み取れる。曲線 b, c, d には一定時間の後に傾斜が急になる時期がある。これは、わずかに反対の荷電を持ちながら最初分散していた粒子が、衝突などによって次第に集合し、不明りような沈降面をつくったときにできるものと考えられる。

この実験によれば、曲線 c, d の場合、かくはん後 1 か月近く経過しても懸濁物が 100 ppm を越えている。霞ヶ浦の湖水が数年前まで 1,000 μS/cm 程度を示すことがまればはなかったのに対し、最近では 200 μS/cm 前後になっていることを考えれば、湖水は淡水化によって濁りやすくなっているといえよう。

つぎに沈降体積の時間変化を図一 8 に示す。乾土量にして 2.5 g を 50 ml のメスシリンダーに懸濁させ、食塩を加えて電気伝導度を変え、1 日放置後再びかくはんしてから



図一 7 塩分濃度によるにごりの経時変化(土浦)



図一 8 沈降曲線(土浦)

測定を始めた。

一般に沈降の様子は、比較的粒径の大きいものが先に沈積して懸濁液の下の方に沈積面を作り、その後粘土分が沈降して上の方から沈降面を形成する¹¹⁾。そしてこの二つは次第に一致する。最初から凝集するものは沈降面が明りようであるが、分散するものはしばらくの間不明りようであり、一時沈積面も不明りようになることがある。図中の破線はどちらも不明りような場合であり、破線前の実線は沈積面、後の実線は沈降面を意味している。ただし後の時点では沈積面と沈降面とは一致している。破線で示される不明りような部分は、図-7の傾斜が急になる現象に対応するものと思われる。

通常、凝集沈降する系の沈降体積は大きく、分散沈降する系のそれは小さいといわれる。しかし図-8の場合は1か月以上経過しても生土の場合はほぼ同じ、風乾土の場合は逆の順序になっている。この理由としてはつぎのようなことが考えられる。分散沈降をする系では、粒径別に分離してタイ積するので下層の砂の充てんは疎になり、粘土は上にあって圧密を受けない。一方凝集沈降をする系では混合状態でタイ積するから、下層に入った粘土粒子が圧密を受けやすいということである。

沈降体積の風乾による変化は図-8でも明らかであるが、表-1によれば、風乾された底泥の沈降体積は生の場合の $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ に減少する。ただし図-8とは測定条件が同じではないので比較できない。表-1の測定は青峰法¹²⁾に従ったものである。ところで表-1によれば、風乾土の沈降体積は有機物含有量とよい相関を示す($r=0.578$; $n=28$)のに対して、生土の場合はそれほどよくない($r=0.356$; $n=28$)。このことは後に述べる塑性図による土の分類と関係があるように思われる。

なお、沈降体積は測定条件の影響を敏感に受けやすいので、さらに検討を要するものと思われる。

4. 工学的性質

4.1 アッターベルグ限界

測定結果を塑性図を用いて図-9に示す。いずれも生土と風乾土を直線で結んだもので、風乾土の場合はほとんどのものがA線の下に来る。したがってASTMの土質分類によればOH(塑性の中ぐらいないし高い有機質粘土)に分類することができる。しかし生土の場合にはA線の上に出ることがあり、実態に合わない。先の沈降体積で生土よりも風乾土の方が有機物含有量と相関が高いことと関連して、土のコンシステンシーに及ぼす有機物の影響は風乾土の方が高いといえる。

これに関して、生土に有機物分解など、いくつかの処理をした試料の塑性図を図-10に示す。ここで加熱というのは、過酸化水素水の代わりに水だけを加えて湯せん上に置いたものである。これによれば、生土の場合加熱や有機物

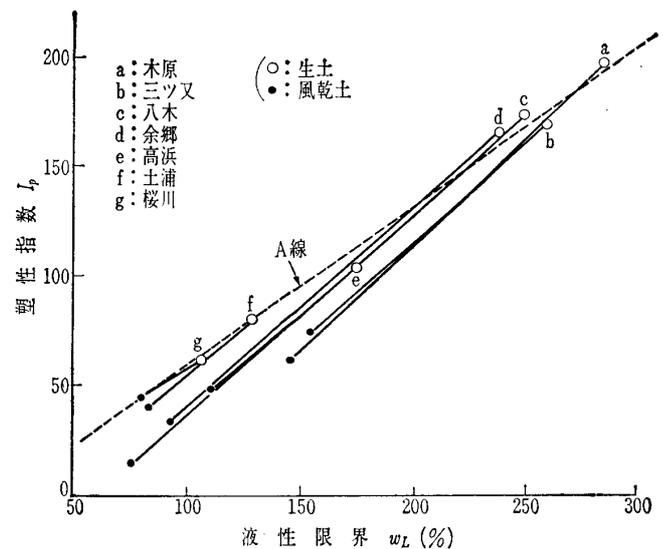


図-9 塑性図

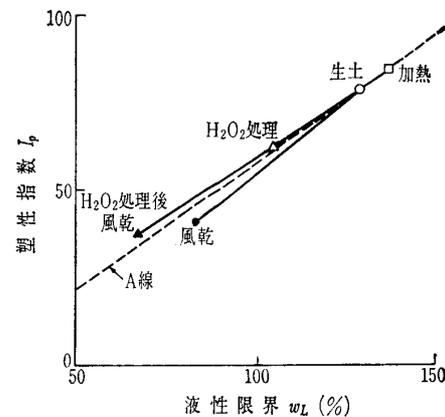


図-10 試料の前処理と塑性図上の位置(土浦)

分解の処理をしてもほぼA線上に載っているのに対し、風乾したものはA線の両側に明りように区分されて、有機物の有無が明らかになる。

4.2 収縮特性

底泥の収縮による体積変化を、土粒子の体積を基準にとった体積変化係数¹³⁾ ($C_{vc} = \frac{\text{供試体の体積}}{\text{土粒子の体積}}$)を用いて図-11に示す。この表示法は土の三相の状態が一目でわかるから、異なった種類の土を比較するのに便利である。ここでは同じ土が、風乾、練返しの結果どのように変わるかを調べたもので、測定は水銀置換法によった。

いずれの場合にも構造収縮は認められず、正規収縮および残留収縮が見られる^{注)}。そしてこの境界に当たる不飽和点は、ほぼ塑性限界に相当する。残留収縮はわずかながらではあるが最後まで見られ、最終的な間ゲキ比は0.8~1.0

注) 飽和した粘性土を乾燥させていくと、あるところまでは脱水量に等しい量の体積減少が見られる(正規収縮)。その後空気が侵入して、体積減少量は脱水量を下回るようになる(残留収縮)。なお、団粒のような構造をもった土では、構造が強さをもっているために、はじめ、体積減少がほとんど起こらずに脱水が進むことがある(構造収縮)。

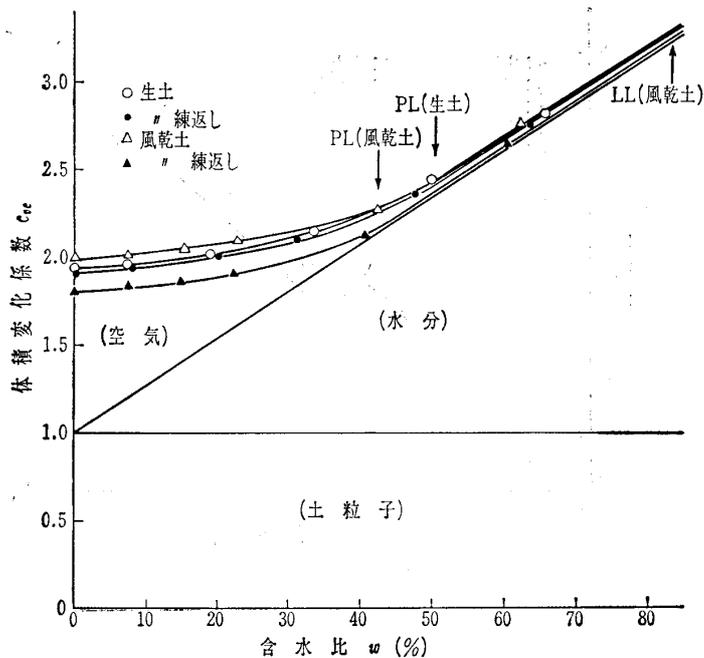


図-11 収縮による三相の変化 (土浦)

となった。

定義¹⁴⁾によれば、収縮限界とは含水量をある量以下に減じてもその土の体積が減少しない含水量であるから、これを厳密に理解すれば、底泥の収縮限界は含水比がゼロの点ということになる。しかし、普通は炉乾後の体積と正規収縮の延長線とが交わる点の含水比を収縮限界としている。図-11によればこの収縮限界は、風乾土練返し<生土練返し<生土<風乾土、の順になるが、すべて30~35%の範囲にありその差は小さい。このことは底泥の構造がきわめて弱いものであることを意味している。

生土の場合、自然含水比を250%と仮定して体積変化を求めると約300%となり、底泥が十分乾燥すれば体積が約1/3に減少することになる。

4.3 流動特性

回転粘度計(マクミケール)を用いて測定した結果を流動曲線で示す。粘性(η)は、ズリ速度(V)およびズリ応力(P)との間に $\eta = P/V$ の関係をもつ。

沈降体積状態の底泥の場合、図-12に示すようにシキソトロピー的性質を持ち、その程度は含水比と凝集状態(電気伝導度)に依存している。含水比がもう少し低く、自然含水比程度になると、シキソトロピー的性質はさらに顕著になる。この様子を図-13に示す。最初、ゲル化した部分は固体のようになって流動せず、ある一つの面だけが破壊して流動を始める。ズリ速度が大きくなるにつれて構造が破壊され、流動に関与する部分が広がり、また粘土粒子の配向が起こる。この結果、みかけの粘性が急激に減少するものと考えられる。特にハロイサイトは引張り方向と平行な配向をとる¹⁵⁾から、最初のうちはこの影響が大きいものと考えられる。

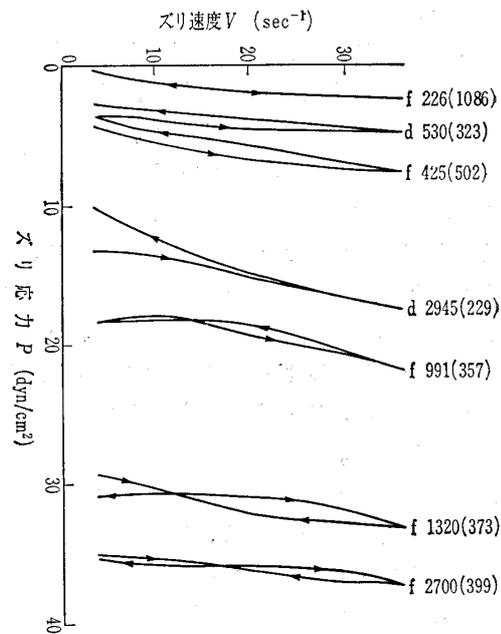


図-12 流動曲線 (土浦)

(f: 生土 d: 風乾土 数字は電気伝導度($\mu\sigma/cm$))
()内の数字は含水比を表わす

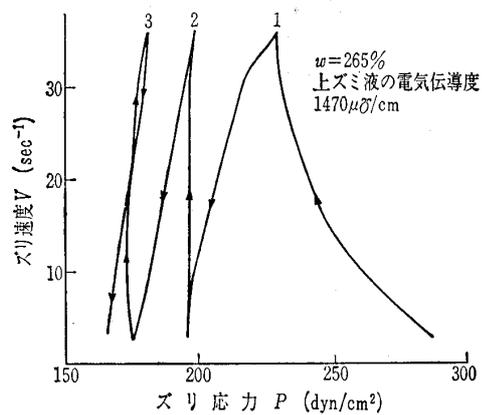


図-13 流動曲線 (土浦)

4.4 透水性

底泥の透水性はきわめて小さいので、通常の測定法では必ずしも満足には測れない。そこで圧密試験によって透水係数を求めたのが図-14である。試料は生の底泥を徐々に乾燥させ、成形できる固さになったとき、できるだけ乱さないように成形して圧密リングに詰めたものである。図には各圧密荷重段階の間ゲキ比から換算した平均含水比と透水係数との関係を示してある。

この図から、透水係数は含水比の低下に伴って急激に低下することがわかる。しかし含水比が塑性限界以下になれば、前述の収縮特性により間ゲキの変化が少なくなるから、透水係数の低下はゆるやかになるものと思われる。逆に含水比が非常に高い場合は、土粒子そのものが移動してしまっ測定が困難である。

底泥を大量に乾燥させる場合、地表面やドレーンに接する部分だけが早く乾燥し、不透水層ができて全体の乾燥が

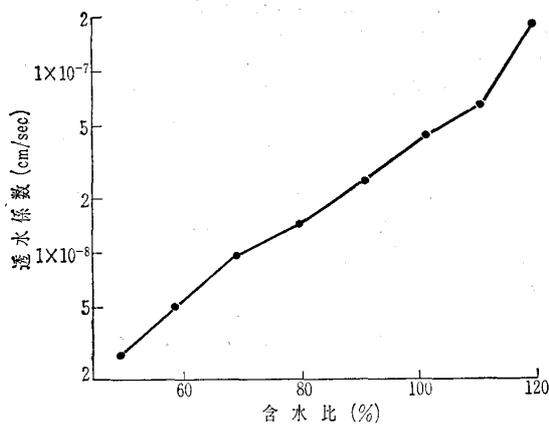


図-14 含水比と透水係数の関係 (土浦)

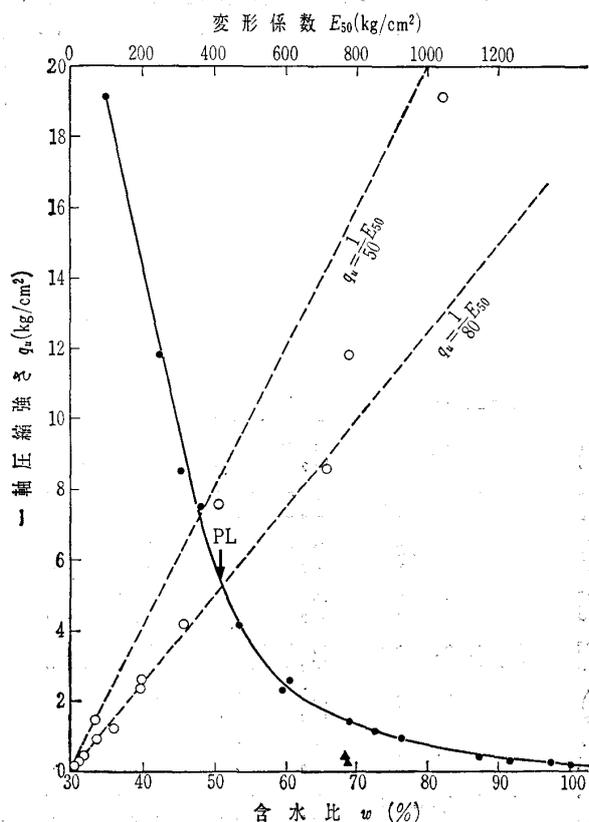


図-15 含水比と一軸圧縮強さおよび変形係数の関係 (土浦)

妨げられることがある。また表面乾燥の場合には、ハロイサイト粒子が水平に配向して、鉛直方向の透水性が妨げられることも考えられる。

4.5 強度

含水比低下に伴う強度の増加を、一軸圧縮試験結果を用いて図-15に示す。試料の作成は、き裂が入らないように注意して徐々に乾燥させ、それを成形するという方法で行なった。供試体の直径は 3.5 cm、高さはその 2 倍、圧縮速さは 1%/min とした。

一軸圧縮強さは、含水比の低下に伴って最初は徐々に増加し、次第にコウ配が大きくなり、塑性限界付近からは直線的に急激な増加を示す。この変化は収縮曲線に対応させることができる。収縮曲線 (図-11) によれば、塑性限界

は不飽和点付近に相当するから、水-土粒子系はここで一つの緊張状態に到達するわけであり、これが力学的にも一つの変化点になるものと考えることができる。

(土浦)の試料の場合、変形係数 (E_{50}) は一軸圧縮強さ (q_u) に比例し、 E_{50}/q_u が 50~80 であり、鋭敏比は含水比が約 70% のとき 4.5~6.0 であった。

霞ヶ浦底泥の場合、一度乾燥した試料を水中に浸すと明らかに膨軟化するが、崩落 (スレーキング) はほとんど生じない。有機物分解後に乾燥したものでは崩落するので、この理由は主に底泥中の有機物がのりの役目をして、土粒子をごくゆるやかに接着しているためと思われる。

5. あとがき

ここに述べた底泥のようなものは、一般には「ヘドロ」とも呼ばれている。しかし「ヘドロ」といった場合、受け取る側のニュアンスは意外とまちまちであるような気がする。一方「底質」という言葉は厳密ではあるが、今回のような場合に使うと焦点がぼける恐れがある。そこで、「湖底土」よりは実態を表現していると思われる「底泥」を使った。

霞ヶ浦の底泥は粘土、有機物に富み、含水比が高いなどの基本的性質を持っている。この底泥を処理または利用するという観点から見れば、含水比をいかに低下させるかということが中心的な問題になるものと思われる。また霞ヶ浦の底泥の場合、重金属による汚染が比較的少ないことから、これを農地への客土として利用することも考えられる。これらはさらに検討を要する問題である。

ところで水質との関係ではシュンセツの評価に関する問題がある。シュンセツの目的は水質対策であるから、施工に当たっては二次汚濁を押さえる方法が是非とも必要になる。また底泥を完全に除去することはとても不可能であって、ほんの表層だけを除去することになるであろうから、それによってどれだけ水質改善を期待できるかということが問題になる。霞ヶ浦の場合、年に 2 mm 以上のタイ積物があるから、シュンセツの効果が何年間持続するかということも検討を要する問題であろう。

新しいタイ積物には有機物はもちろん、重金属などの汚染も次第に多くなってきている。この進行をくい止めることが、水質保全のためにも、底泥を処理・利用するためにも、さし当たって必要な課題と思われる。

この報告の内容は茨城大学農学部霞ヶ浦研究会の共同研究の一環として行なったものである。報告をまとめるに当たり、茨城大学農学部安富六郎助教授、浅見輝男助教授、須藤清次教授ほか霞ヶ浦研究会の会員には多くの助言をいただいた。また粘土鉱物の同定では農技研北川靖夫氏、渡辺裕室長、山本克巳氏のご指導をいただいた。実験には久保田悦子氏の援助を得た。以上の方々には厚く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 建設省霞ヶ浦工事事務所：霞ヶ浦水質保全対策調査報告書（中間報告），pp. 28~104, 1973
- 2) 建設省国土地理院：湖沼図，霞ヶ浦，1960
- 3) 藤下・松本・堀江・小川：霞ヶ浦の土質調査および湖底土の土性について，港湾技研資料，No. 27, pp. 11~40, 1967
- 4) 外岡・熊丸・浜田・津田：霞ヶ浦の富栄養化に関する研究—I，茨城県内水面試験場調査研究報告，No. 13, p. 10, 1976
- 5) 茨城大学農学部霞ヶ浦研究会：霞ヶ浦，pp. 87~110, 1977, 三共出版
- 6) 軽部・浅見・安富：簡易柱状採泥器の試作，日本土壤肥科学雑誌，Vol. 48, pp. 439~440, 1977
- 7) 高村・大槻：未発表
- 8) 安富六郎：未発表
- 9) Kitagawa, Y: Determination of Allophane and amorphous inorganic matter in clay fraction of soils, Soil Sci. Plant Nutr., Vol. 22, No. 2, pp. 137~147, 1976
- 10) 北川靖夫：土壤中のアロフェンおよび非晶質無機成分の迅速測定法，日本土壤肥科学雑誌，Vol. 48, pp. 124~129, 1977
- 11) 妹尾学：土壤粒子の分散と凝集，農業技術，Vol. 17, p. 24, 1962
- 12) 青峰重範：土壤の水中沈定容積に及ぼす風乾処理の影響，日本土壤肥科学雑誌，Vol. 17, pp. 574~575, 1943
- 13) 佐藤晃一：重粘土の物理性に関する研究，農業土木学会論文集，No. 24, p. 35, 1968
- 14) 土質工学会：土質試験法，p. 121, 1969
- 15) 日本粘土学会：粘土ハンドブック，pp. 136~137, 1967, 技報堂

(原稿受理 1977. 10. 24)

土質工学会発行

土質基礎工学ライブラリー

シリーズ既刊 14巻

A 5判 布クロス上製本

送料1冊 240円

	ページ数	会員特価	定価
1 軟弱地盤の調査・設計・施工法	310ページ	3,200円	4,200円
2 軟弱地盤における工事実施例	225ページ	1,700円	2,200円
3 掘削のポイント(第1回改訂版)	399ページ	3,800円	4,900円
4 土質調査試験結果の解釈と適用例	306ページ	2,300円	3,000円
5 建設工事における土質工学の実用例	376ページ	3,700円	4,800円
6 鋼グイ(鋼グイ研究委員会報告)	376ページ	2,800円	3,600円
7 土と基礎実用数試・図表の解説	443ページ	4,100円	5,300円
8 掘削にともなう公害とその対策	305ページ	2,200円	2,900円
9 土と構造物の動的相互作用	567ページ	4,200円	5,500円
10 日本の特 殊 土	356ページ	3,200円	4,200円
11 土留め構造物の設計法	360ページ	3,900円	5,000円
12 切 土 ノ リ 切 面	395ページ	4,000円	5,200円
13 軟弱地盤における工事実施例(その2)	360ページ	4,600円	5,900円
14 実施例に見る構造物基礎	303ページ	3,900円	5,000円

—設計施工上の諸問題—

発売：(社)土質工学会 ☎03-251-7661(代)

〒101 東京都千代田区神田淡路町2-23(菅山ビル4階)