

肝属平野低平地泥炭土の土質に関する研究

I. 理工学的性質

難 波 直 彦

(昭和50年 8月30日 受理)

Study on the Geotechnical Properties of "Kimotsuki" Peat

I. On the Physical and Mechanical Properties

Naohiko NANBA

(Laboratory of Farmland Engineering)

緒 言

鹿児島県の大隅半島南部にある肝属平野に泥炭土があることは、かなり以前から知られていたようであるが、これに科学的調査が行われたのは、1953~1954年の鹿児島県農業試験場による土壌調査が最初であろう^{1,2)}。その後阪口³⁾は、その中の一部分の地区で深さ4.5 mまでの層序と分布とを調べている。

1974年初頭に、同地域の串良町の水田および水路の一部に顕著な亀裂と波状起伏の沈下が発生し、その面積は串良町役場の調査によれば36 haにおよんだ。沈下現象の実態やその原因については鹿児島県が調査を行っているので、筆者は南九州地域に存在する泥炭土の特性を知り、この地区の問題検討の一助とするために、沈下現象の起きた地域の泥炭土の物理的・力学的性質を調べた。

現地調査に便宜をはかって頂いた串良町役場の方々に、また室内試験の労をとられた恵利勝、釈田野公一の両氏に謝意を表す。

肝属平野における泥炭土の分布

鹿児島県農業試験場は、1953~1954年に実施した調査結果に基づいて、肝属平野における深さ1 mまでの泥炭を含む土層を2つに大別し、さらにこれを細かく5~6種の土壌区に区分している。両年度で表現に多少の差異があるので、これを筆者なりに整理し次の4種に分類しておく。

(1) 上層が黒色ないし灰黒色で、深さ20~50 cm程度で泥炭層が現われるもの(泥炭土I)。

(2) 上層が灰色ないし灰褐色で、深さ30~50 cm程度で泥炭層が現われるもの(泥炭土II)。

(3) 上層は灰褐色で、深さ20~30 cm以下が暗灰色ないし黒色の黒泥層。50~90 cm以下に泥炭層が現われるもの(黒泥土)。

(4) 上層は灰褐色で、深さ80 cm以下に泥炭層が出るもの(低湿地土)。

以上の分類による各土壌区の分布面積を、同試験場の報告書に基づいて測定した結果はTable 1のようである。

また経済企画庁総合開発局がまとめた土地分類図付属資料⁴⁾によれば、肝属平野周辺の市町別の泥炭土、黒泥土の分布面積はTable 2のように、約22 km²に及んでいる。Table 1と比べると、土壌区分の基準はやや異なるにしても、泥炭土、黒泥土は大部分

Table 2. Areas of peat-soils at Kimotsuki region (km²).

Town	Lowland peat soil	Muck soil	(Total)
Kanoya	0.8	0	0.8
Osaki	2.6	1.1	3.7
Kushira	2.3	2.3	4.6
Higashikushira	2.0	5.5	7.5
Koyama	2.3	1.3	3.6
Aira	1.7	0	1.7
(Total)	11.7	10.2	21.9

Table 1. Areas of peat-soils at Kimotsuki lowland (km²).

Soil	Peat soil I	Peat soil II	Muck soil	Meadow soil	(Total)
Area	6.2	2.6	4.3	6.2	19.3

が平野部の低平地に分布していることがわかる。

以上の資料はどちらも深さ 1 m までに泥炭層が現われる土地についてのものであり、深さ 1 m 以上ではじめて泥炭が現われる土地を含めると、分布面積はさらに広がることも考えられる。阪口はこの観点から、肝属川右岸の高山町で約 300 ha の地区において、深さ 4.5 m までの土層を調べている³⁾。その結果泥炭層はほとんどが厚さ 20~80 cm の暗褐色砂質粘土層でおおわれており、また泥炭層底面はかなり起伏があるが、泥炭層の厚さは 3 m に及ぶ部分もあった。さらにこの泥炭はよく分解の進んだものであることも述べている。

調査地点の泥炭土層

肝属泥炭土の土質を調べるために、1974年の沈下現象が最も顕著であった串良町岡崎地区の水田において試料土を採取した。この場所は、鹿児島県農業試験場の土壌区分で黒泥土壌区とされているところである (Fig. 1)。調査時期は 1974 年 8 月末で早期作水稲収穫後の非耕作期であったが、土地の乾燥による亀裂、沈下の再発生を防止する目的でかんがい用水がたん水してあり、地表面上約 10 cm の水深を有する状態であった。

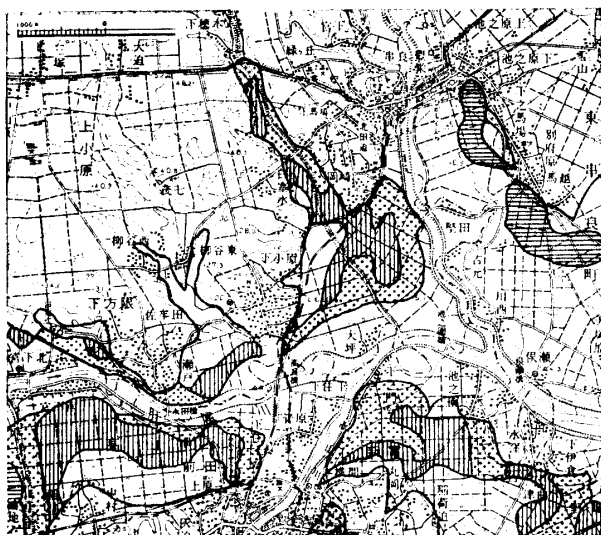


Fig. 1 Peat-soil map of Kimotsuki region.

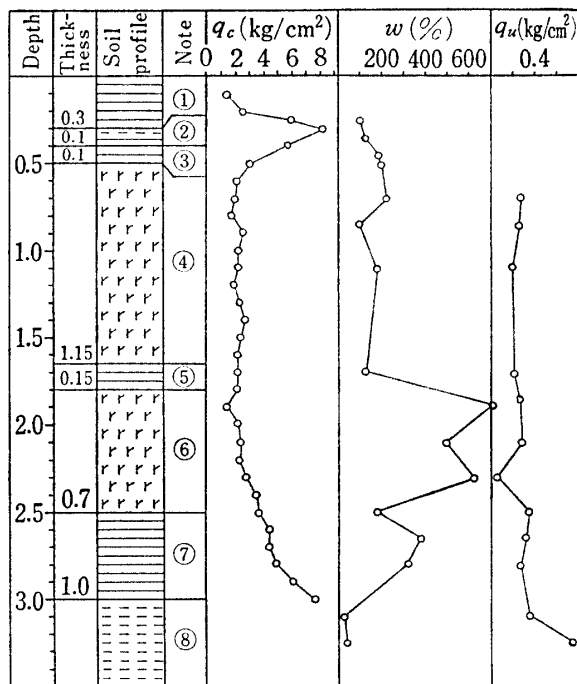
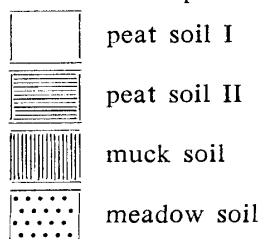


Fig. 2. Soil profile of the investigated site.

q_c penetrating resistance of cone penetration test

w water content

q_u unconfined compression strength

① surface soil, dark brown

② sandy clay, stiff

③ clay, dark brown, with peat

④ peat, black

⑤ clay, dark brown, with humus

⑥ peat, black

⑦ peaty varved clay, dark brown and grayish black

⑧ silt, bluish gray, stiff, with pumice

円スイ貫入試験機 (円スイの頂角 30°, 底面積 6.45 cm²) で探査した後、固定ピストン式薄肉サンプラーを用いて深さ 3.5 m までほぼ連続的に乱さない試料を採取して、土層断面を調べた。その結果を、実験室で測定した含水比 w 、一軸圧縮強さ q_u の値と共に、Fig. 2 に示す。

上部約 0.5 m は暗褐色の粘土質表土層であり、深さ 0.3~0.4 m に砂質の固い耕盤層をはさんでいる。含水比 w は 100~200% で、貫入抵抗 q_c は 1.5~3.0 kg/cm²、耕盤層では q_c が 6.0~8.4 kg/cm² である。

深さ約 0.5 m から 2.5 m までは灰黒色ないし黒色の泥炭層である。この中間の深さ約 1.7 m 付近に厚さ 15 cm の褐色粘土層がはさまっており、この粘土層を境にして上部泥炭層と、下部泥炭層とに分けられる。Fig. 2 に見るように、上下の泥炭層で共に q_c は約 2 kg/cm²、 q_u は 0.2~0.3 kg/cm² で差異がない

が、含水比 w は上部層が 100~200% であるのに対して、下部層は 500~700% ときわめて高く、取り扱った手ざわりも異なっている。上部層はかなりのセシイ質が認められるが、砂や粘土などの鉱物粒子もかなり多く、どちらかというとな泥炭質粘土といった感じである。これに対して下部泥炭層はセシイ質が多く、全体の構造もセシイを骨格にした圧縮性の高いものである。

深さ 2.5 m から 3.0 m までの下部粘土層は、暗褐色層と灰黒色層が交互に混ったシマ状の模様を呈し、粘土と泥炭の互層である。

深さ 3.0 m 以下のシルト層は淡い青灰色を呈し、かなり締った状態にある。

結局、深さ 0.3~0.4 m にある耕盤層を除いて深さ 3 m までは軟弱土層から成っており、そのうちの主体をなす泥炭層は実質厚さが約 1.8 m あるが、上部の約 1.1 m 厚さの部分は泥炭としてはやや密な状態になっている。

肝属泥炭土の理学的性質とその相互関係

前述のように、串良町岡崎地区における調査地点の泥炭層は深さ 0.5 m から 2.5 m の間に存在し、深さ約 1.7 m にある薄い粘土層を境に上下 2 層に分けることができる。

調査地点における各土層の試料に対する土質試験結果を Table 3 に示し、この中で上下の両泥炭層の結果について述べることにする。

(1) 土粒子比重：泥炭の場合は土粒子比重という表現は必ずしも適当でない。それはセシイ分、腐植有機質、無機鉱物粒子を含めた混合物質の平均比重を表

わすものであり、泥炭の真比重というのがより適切であろうが、ここでは土質工学における用語である土粒子比重を用いる。

北海道を中心とした泥炭の試験結果から、上記のような混合物質の真比重という性質上測定値のちらばりが大きいことが明らかにされている。また試験の方法にもいろいろと工夫がなされてきた。ここではピクノメーターに入れた湿潤試料に蒸留水を加えて 1 時間煮沸したものを、冷却後真空ポンプで 1 時間吸引脱気して秤量し、その後 100°C で乾燥して試料重量を求めた。泥炭についてはこれを各層ごとに 20 個測定している。粘土層、シルト層では 10 個、表土層では 5 個、それぞれ JIS の規定にしたがって測定した。その結果は Table 4 のようになった。測定方法、測定回数異なるのでその精度を同列に論じることができないにしても、この泥炭では測定値のちらばりは特別にはなほだしいものではないといえよう。むしろ泥炭を含んでいる上下の粘土層の方がちらばりが大きい。シラスや石英質川砂の試験結果に比べて、泥炭での変動係数は 1.1~1.5 倍程度である。したがってシラスや川砂と同程度の精度で肝属泥炭の土粒子比重を求めるには、2 倍ないしそれ以上すなわち 6~10 くらいの測定個数をとることが望ましいといえよう。

泥炭が有機質物体と無機鉱物の混合体であるとするならば、その土粒子比重は両物質の混合割合の一つの表現と見ることが出来る。セシイ分が多く含水比の高い下部泥炭層の土粒子比重が最も小さく、また粘土と泥炭の互層になっている下部粘土層の値も比較的小さいことから、このことはうかがわれる。この点については後で諸性質の相互関係の項で検討する。

Table 3. Properties of Kimotsuki peat-soil.

Item Soil layer	Specific gravity G_s	Mean water-content $w(\%)$	Wet density $r_t(g/cm^3)$	Dry density $r_d(g/cm^3)$	Void ratio e	Saturation degree $S_r(\%)$	Consistency limit (%)	pH (H ₂ O) (KCl)	Content of organic matter (%)	Loss on ignition (%)
Surface soil	2.300	107	1.28	0.62				4.55 4.39		
Plowsole		138								
Upper peat	2.220	179	1.14	0.42	4.30	92	$\begin{cases} W_s=91.1 \\ W_L=136.0 \\ W_P=61.3 \\ I_P=74.7 \end{cases}$	4.58 4.29	20.3	21.9
Upper clay	2.495	133	1.28	0.54	3.62	92				
Lower peat	1.805	615	1.00	0.14	11.9	93		4.48 4.10	$\begin{cases} 36.1 \sim \\ 44.0 \\ \text{Mean} \\ 40.0 \end{cases}$	$\begin{cases} 51.4 \sim \\ 66.7 \\ \text{Mean} \\ 58.7 \end{cases}$
Lower clay	2.302	301	1.17	0.29	6.95	100				
Silt	2.603	44	1.61	1.12	1.34	85				

Table 4. Measured values of specific gravity.

Soil	Upper peat	Upper clay	Lower peat	Lower clay	Surface soil	Silt
Mean value	2.220	2.495	1.805	2.302	2.300	2.603
Standard deviation	0.024	0.080	0.025	0.068	0.025	0.053

(2) 有機物含有量, 強熱減量: 土に含まれている有機物の含有量の測定は, 土壤肥科学の分野で開発されてきた. 一方土中の有機物は土の工学的諸性質に影響することが明らかにされ, さらには泥炭のような高有機質土も取り扱おう上から, 土質工学の分野でも有機物含有量の測定を取り入れるようになった. その場合有機物含有量が 50% 以上の土および泥炭に対しては強熱減量法を, また泥炭以外の有機物含有量 50% 以下の土には重クロム酸法を用いることが提案されている⁵⁾.

重クロム酸カリウムで酸化されるのは主に腐植有機物であり, 泥炭のように未分解のセニ質部分は完全には酸化されない. 一方 650~900°C の温度を加えた後に測定される強熱減量中には, 有機物のほかに土の鉱物の化合物, 結晶水が含まれ, さらには炭酸塩類やアンモニア化合物の分解による減量も含まれる場合がある. しかし泥炭に含まれる無機鉱物粒子は主として砂粒子であるので, その強熱減量はほとんど有機物量に等しいと考えられている.

Table 3 では, 上部泥炭層は重クロム酸法により求めた有機物含有量と, 強熱減量とは近似しているのに対して, 下部泥炭層では両者の値にややへだたりがある. これは上部層では比較的分解が進んでいることと, 含まれる鉱物粒子が主として砂粒分であるためであり, 下部層では未分解のセニ分が多いことによるものと考えられる.

(3) 分解度: 泥炭は主として植物遺体から構成され, ときには動物遺体, 火山灰, 粘土, シルト, 砂などが混入している. 植物遺体はほとんど未分解の植物組織から, 完全に分解された腐植に至るまでの各段階の状態に含まれている.

泥炭を構成する有機物の総量に対して, このうちの分解されて腐植となった分の量の比をとって分解度と呼ぶわけだが, 上述のように植物の分解過程における程度の違い, あるいは分解度測定方法上の問題もあって, 泥炭の分解度の定義はむづかしいようである. 阪口⁶⁾ は分解の程度を表わす言葉ならびにその内容が研究者によって違っていることを指摘している. 渡辺⁷⁾ は分解度試験法についての研究の結果から「含有有

機物全量に対する非セニ質有機物量の割合」と定義している.

ここでは, 握り法 (von Post 法), 水洗法, 比色法の 3 種の試験法により分解度を求めた. 水洗法では 105 μ フルイを用いており, 比色法では波長の調節可能な光電比色計を用いて 3 段階に波長を変えて測定してみた. 試験の結果を Table 5 に示す.

Table 5. Test results on degree of decomposition.

Test Method	Peat	Upper peat	Lower peat
	color residue squeezed material summary	H ₆ H ₅ H ₄ H ₅	H ₆ H ₅ H ₄ H ₅
Washing method (%)	1	78	69
	2	76	68
	mean	77	68
Colorimetric method (%)	(wave length)		
	430 mμ	55	42
	530 mμ	49	41
	620 mμ	56	45
	mean	53	43

下部泥炭層に比べて上部泥炭層の方がやや分解が進んでいるようである. 水洗法, 比色法はどちらも上部層が約 10% 大きな値を示している. 肉眼的には上部層でも明らかにセニ分が認められるが, 同時に無機鉱物粒子が多く含まれている. このことは強熱減量, 重クロム酸法による有機物含有量が共に 21% 程度であることのほかに, 土粒子比重が比較的大きいこと, 水洗法における水洗い後の残量における強熱減量が 10% しかないことから明らかである. 下部層は上部層よりもかなりセニ分が多く, セニを骨格にした構造を呈しているのに有機物含有量は 60%, 水洗い後の残量での強熱減量は 74% で, これもある程度の無機鉱物粒子を含んでいる. この無機鉱物粒子をかなり含んでいることが水洗法や比色法の結果の解釈をむづかしくしている⁷⁾. いまここでいくつかの仮定の下で試算をしてみることにする.

Table 6. Calculation table of degree of decomposition based on the assumption.

	Formula	Upper peat (%)	Lower peat (%)
Washing method value	W	77	68
Loss on ignition at residue of washing method	C	10	74
Humus content (Colorimetric method)	H	53	43
Fibre content	$(100-W) \times \frac{C}{100}$	2.3	23.7
Content of mineral particle (<105 μ)	W-H	24	25
Content of mineral particle (>105 μ)	$(100-W) \times \left(1 - \frac{C}{100}\right)$	20.7	8.3
Content of organic matter	$H + (100-W) \times \frac{C}{100}$	55.3	66.7
Degree of decomposition	$\frac{H}{H + (100-W) \times \frac{C}{100}} \times 100$	96	64

水洗法と比色法とは原理的に異なった試験法であるが、その具体的な方法を考慮して次のように仮定する。すなわち比色法による値は腐植の含有率(H)を表わすものであり、水洗法の値(W)は腐植と105μ以下の微細無機粒子の含有率を表わすものとする。したがって水洗法での残さい(100-W)はセンチと105μ以上の無機鉱物粒子の含有率を、またその強熱減量(C)は残さい中のセンチ含有率をそれぞれ表わすものとする。そうするとTable 6の左欄のような計算式が導かれる。この諸式に上下両泥炭層についての測定値を入れて計算すると、Table 6の右欄のような値が得られる。上部層の有機物含有量、分解度がかなり大きな値になったが、上下両泥炭層共にセンチ分含有量、分解度の値は、観察で認められる状態に近いものである。とはいえこれはいくつもの仮定に基づく計算であるから、Table 5に示した測定値をも考慮して、この泥炭土の分解度は上部層で85%程度、下部層で65~70%程度と推定する。

(4) 含水比・間ゲキ比・密度：含水比は前述のように上部泥炭層で100~200%で平均179%、下部泥炭層で500~700%で平均615%と極めて高い。これに相応して密度は非常に小さく、間ゲキ比は極めて大きい値を示している。下部層では湿潤密度でも1.0g/cm³と水の密度に等しく、乾燥密度にいたってはわずか0.14g/cm³しかない。しかしこれらの値は泥炭としては珍しいものではない⁸⁾。泥炭層、粘土層共に飽和度が90%を越えているので、大平ら⁹⁾が飽和度の高い泥炭、海成チュウ積粘土、黒ボクについてまとめた、含水比と乾燥密度との関係を表わす図中に、この調査地点での値を入れるとFig. 3のようになり、

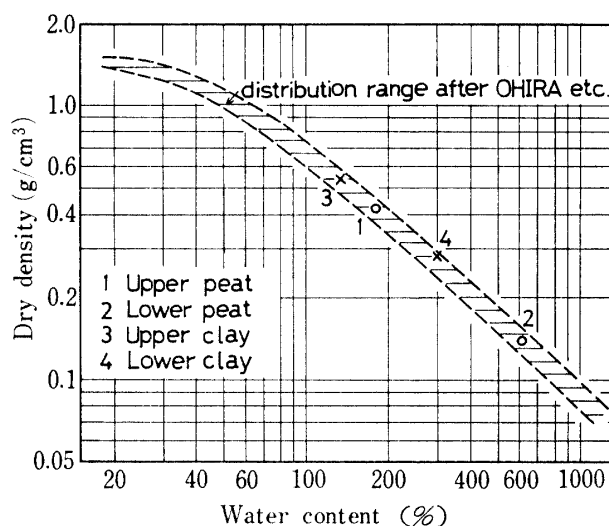


Fig. 3. Relationship between dry density and water content.⁹⁾

ほとんど一致した関係を示すことがわかる。

(5) 土粒子比重と有機物含有量との関係：北海道、東北あるいは北九州の泥炭についてその諸性質相互間の関係がいろいろと検討されてきているが、泥炭の特性からいって、有機物含有量ないしは強熱減量と他の諸性質との関係が最も注目される。強熱減量が大きくなるほど土粒子比重が小さくなることは多くの研究者が各地の泥炭について明らかにしている。しかもその相互関係はある程度のちらばりはあるものの、地域的なちらばりは少ない。

泥炭は有機物と無機鉱物との混合体であり、したがってその土粒子比重は無機鉱物粒子の比重(2.60~2.70)と植物センチ質の比重(1.5~1.6)との中間の値がその混合割合に応じて測定されよう。有機物の比重をG_o、無機鉱物の比重をG_i、有機物含有量(含有

率)を α とすると、混合物としての泥炭の比重 G_s は次式で表わされる。

$$\frac{100}{G_s} = \frac{100-\alpha}{G_i} + \frac{\alpha}{G_o} \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 $G_i = 2.60$, $G_o = 1.50$ とすると、上式に代入してつぎのように書き換えられる。

$$G_s = \frac{1}{0.00282\alpha + 0.385} \quad \dots\dots (2)$$

これに Table 3 における泥炭層の強熱減量 21.9%と 58.7%とを代入すると、上部泥炭の比重として 2.238, 下部泥炭で 1.816 という値が得られ、Table 3 の実測値にほぼ近いものとなる。どちらの値も計算値がやや大きいのは、 G_i と G_o の仮定に誤差があると考えられる。また一方では強熱減量が実際の有機物含有量よりも低目の値となっているとも考えられるので、上式を α について書き直して実測比重値を代入

$$\alpha = 354.5 \left(\frac{1}{G_s} - 0.385 \right) \quad \dots\dots (3)$$

すると、有機物含有量として上部泥炭層で 23%, 下部泥炭層で 59.9%という値が得られる。

いずれにしても本項のはじめに述べたように、この両者の値の間には一般的な関係が成り立つものと考えてよい。

(6) 含水比と有機物含有量との関係：ほとんど水で飽和された状態にある土では、含水比はその密度の指標として取り扱かうことができる。宮川¹⁰⁾ は泥炭

では有機物含有量(強熱減量)が大きいほど含水比も大きくなり、(含水比/強熱減量)という比を考えると、北海道石狩地域の圧縮されていない自然泥炭ではこの比が10付近にあることを見出している。そしてこの比は泥炭層の状態の変化過程を推定する手掛りとなりそうであると述べてもいる。Table 3 の値からこの比を求めると、上部泥炭層で 8.2, 下部泥炭層で 10.5 となり、石狩泥炭とはほぼ等しい値を示す。この値そのものにそれ程大きな意味を持たせることはできないようであるが、泥炭が圧縮されるとこの比の値は低下する傾向にあるとされているので、含水比の低い上部層は有機物含有量が低いだけでなく、それ以上に圧縮が進んでいると見ることもできよう。

圧密特性

(1) 標準圧密試験の結果：

肝属平野の泥炭地(串良町)で1974年初頭に起こった沈下現象は、地下水位の低下に伴う圧密沈下と、上層部の乾燥収縮による沈下が併合したものと推察される。したがって圧密特性を知るのみではこの沈下現象を解析できるものではないと考えられるが、沈下に関する基本的性質の一つとして圧密特性を調べた。圧密試験は、直径6cm、高さ2cmの固定環式試料容器による標準的な試験である。サンプラーチューブより取り出して成形した、乱さない泥炭試料を用いている。代表的な試験結果を Table 7 に示す。

Table 7. Result of consolidation test.

Sample	Pressure $p(\text{kg/cm}^2)$	Void ratio e	Coef. of volume compressibility $m_v(\text{cm}^2/\text{kg})$	Coef. of Consolidation $c_v(\text{cm}^2/\text{min})$	Coef. of permeability $k(\text{cm}/\text{min})$	Ratio of primary Consolidation $r(\%)$	Compression index C_c Yield load $p_y(\text{kg/cm}^2)$
Upper peat	0	4.18			($\times 10^{-5}$)		$C_c=2.1$ $p_y=0.58$
	0.05	4.16	0.08	0.61	4.8	18	
	0.10	4.09	0.26	0.81	21.4	20	
	0.20	4.05	0.08	2.33	18.6	57	
	0.40	3.88	0.17	0.22	3.8	31	
	0.80	3.53	0.19	1.00	18.8	36	
	1.60	2.87	0.20	0.63	12.3	48	
	0.05	3.06	0.03				
Lower peat	0	12.55			($\times 10^{-5}$)		$C_c=6.5$ $p_y=0.16$
	0.05	11.85	1.06	1.36	144	59	
	0.10	11.60	0.40	1.77	70.1	36	
	0.20	10.56	0.86	0.48	41.3	40	
	0.40	8.55	0.95	0.33	31.2	51	
	0.80	6.63	0.56	0.08	4.5	47	
	1.60	5.39	0.22	0.07	1.5	35	
	0.05	6.98	0.14				

泥炭は土としての構造が複雑なためにその圧密現象も複雑であると考えられている。したがって圧密試験で得られる標準的な諸数値については、圧縮指数 C_c を除いてはあまり発表されていない。それでここでは筆者がかって調査した佐賀県の有明海周辺部の海成チュウ積粘土についての結果¹¹⁾とも比較して考察することにする。

圧密降伏圧力以上の荷重段階について、体積圧縮係数 m_v の対数をとって間ゲキ比 e との関係を示すと、直線に近い比例関係が得られる。本試験での上部泥炭層の結果は、有明チュウ積粘土とはほぼ同様な e - $\log m_v$ の関係が得られるが、下部泥炭層は間ゲキ比 e の値の範囲が異なっているにしても、同じ e の値に対して m_v の値は $1/4 \sim 1/5$ ほど小さい (Fig. 4)。この泥炭土ではチュウ積粘土に比べて圧密による圧縮量は大きいから、それは間ゲキ比が大きいからであり、間ゲキ比の割には圧縮性はやや小さいこ

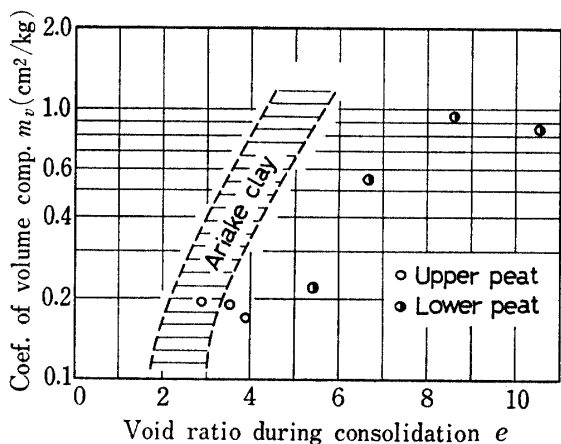


Fig. 4. Relationship between coefficient of volume compressibility and void ratio.

とになる。

同様に圧密係数 c_v の対数をとって e との関係を表すために両者を半対数紙上に描くと、ほぼ直線状の反比例的な関係を示す (Fig. 5)。この肝属泥炭土では、上部層、下部層共に同じ間ゲキ比に対して有明粘土よりも 10 倍程度大きな c_v の値を示す傾向にある。これは透水係数 k が $1 \times 10^{-4} \text{cm/min}$ 前後の値であって、有明粘土の $1 \times 10^{-5} \text{cm/min}$ に比べて 1 ケタ高いことに対応しており、一次圧密領域での圧密速さがかなり大きいことを意味する。この場合 c_v の値を求めるのは \sqrt{t} 法によっている (Fig. 6)。log-log 曲線法でも \sqrt{t} 法でも計算操作上にも結果にもそれ程違いは起らなかった。むしろ低荷重域では \sqrt{t} 法の方が曲線形をはっきりさせやすい傾向がある。この点は試験した泥炭の分解度が 60% 以上と高く、粘土に近い性

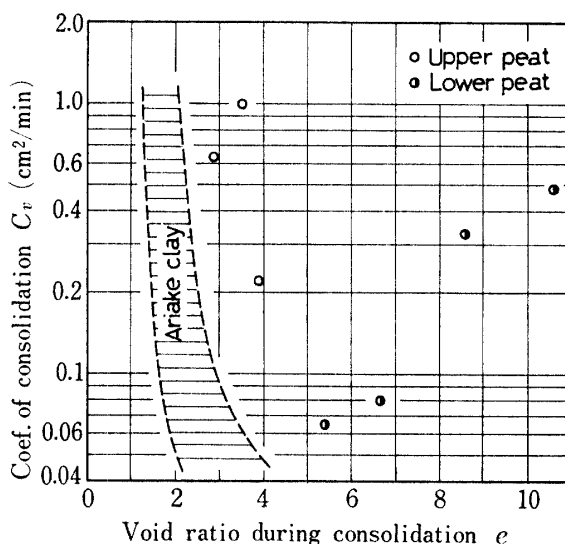


Fig. 5. Relationship between coefficient of consolidation and void ratio.

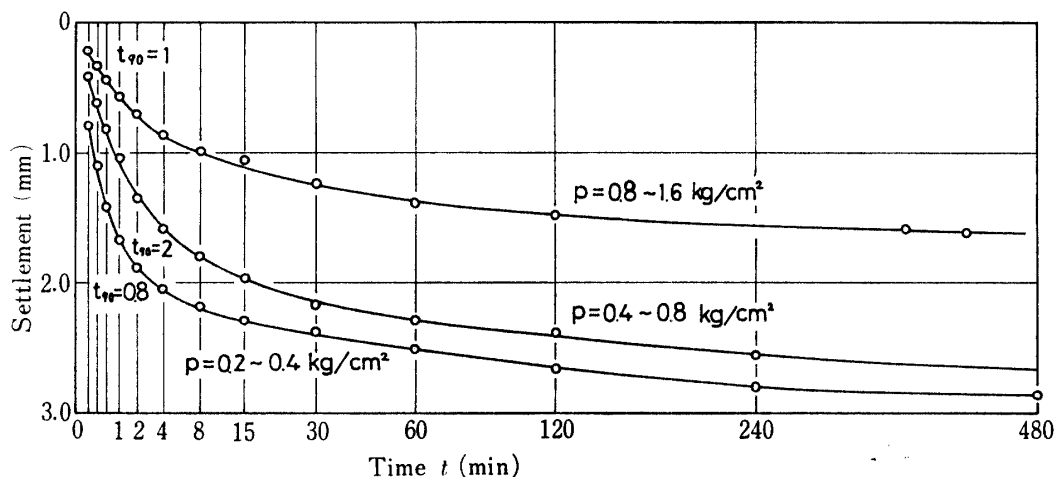


Fig. 6. Time-Settlement curve by \sqrt{t} method (lower peat).

質をこの面を持っているとも考えられる。

しかし一方で泥炭の圧密現象では、一般に二次圧密量が大きく、圧密理論の適用がむつかしいとされ、一次圧密比について大平ら¹²⁾は粘土で $51 \pm 10\%$ 、泥炭で $41 \pm 8\%$ という値を得ている。本試験でも圧密降伏圧力以上の荷重段階において、一次圧密比は上部泥炭層で $36 \sim 48\%$ 、下部層で $35 \sim 51\%$ と、ほぼ上記の泥炭の範囲に入る値を示した。

本試験の結果で目立つのは、圧密降伏圧力の値である。上部泥炭層では 0.58 kg/cm^2 と深さの割に大きな値であるのに対して、その下にある下部泥炭層では 0.16 kg/cm^2 である。これらの値は $e-\log p$ 曲線からでも、 $\log e-\log p$ 曲線図からでもほぼ一致した値が得られる。上部層はもともと耕作に伴う人為的な荷重を受けている上に、地下水位低下による荷重増と乾燥収縮とを同時に受け、土粒子間に存在する内在応力が大きいのに対して、下部泥炭層は地下水位下において圧密現象の影響が及んでいないことによるものと考えられる。

圧縮指数 C_c については前述のように多くの研究者の報告があり、主に含水比 w 、間ゲキ比 e あるいは液性限界 w_L との関係について検討されている。北海道の泥炭に関して、 $C_c = 0.0075 w$ という関係式¹³⁾が示されているが、本地区の結果はこの式で表わされるものに比べて同一含水比での C_c が $1 \sim 2$ 大きな値となっている。間ゲキ比との関係では、北海道の泥炭について自然間ゲキ比 e_0 の値が 1.0 から 12.0 の範囲で $C_c = 0.5(e_0 - 1)$ あるいは $C_c = 0.5446(e_0 - 0.766)$ といった式が示されている¹⁴⁾。筆者が行った有明粘土に関する実験では、 e_0 が 1.5 から 5.0 までの範囲で C_c は e_0 との相関性を考えるのが最もちらばりが少なかった。本試験の場合は後者の式で表わされる関係に非常に近い。そして後式によれば間ゲキ比 e_0 が 0.766 になってはじめて C_c がゼロになることを示しており、かなり密な状態でも泥炭は圧密圧縮を起こすことを表わしている。

(2) 圧密速さの変化：Terzaghi の圧密理論に従う一次圧密領域が少ない泥炭の圧密沈下の解析にはこの圧密理論をそのまま適用することがむつかしいため、いろいろな考え方が提案されてきている。N. E. Wilson ら¹⁵⁾は、圧密速さ de/dt の時間的変化を $\log(de/dt) - \log t$ グラフに表わすと Fig. 7 のような2つの直線で示されることから、圧密速さの変化が急変する点を境にして圧密を前段階と後段階とに分け、つぎの2つの式で表わせるとした。

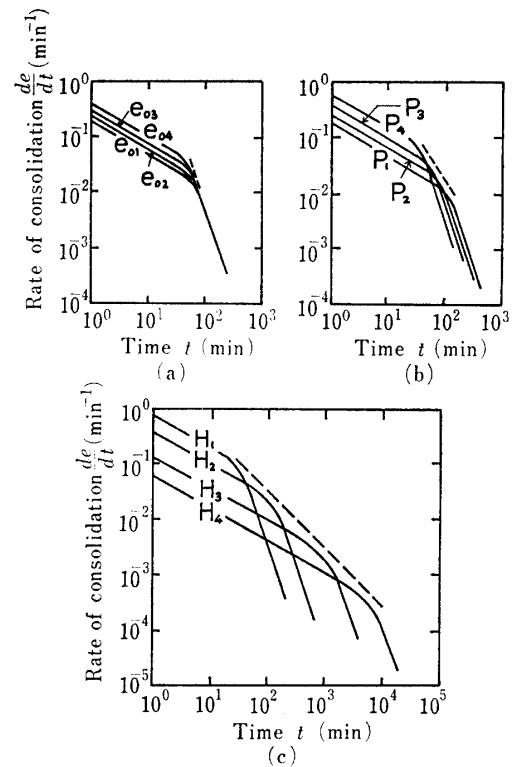


Fig. 7. $\log (de/dt) - \log t$ graphs for individual variation H , p and e_0 after 15 min.

$$\log (de/dt) = k_1 \log t + \log C_1$$

$$\log (de/dt) = k_2 \log t + \log C_2$$

この圧密速さの変化は基本的な3つのパラメーター：試料高さ H 、圧力 p 、初期間ゲキ比 e_0 に左右され、それぞれ Fig. 7 の (a), (b), (c) のような関係を示すことから、圧密試験で k , C を求めてノモグラフを作り、経時的な間ゲキ比の変化、ひいては圧密沈下量を求めることを提案している。

肝属泥炭土についても、Wilson らの実験に近い条件での圧密試験を行ない、 $\log (de/dt) - \log t$ 曲線を描くと、Fig. 8 のようになり、圧密速さの変化が一樣な図が得られた。Wilson らは試験の再現性を得るために練返した試料を用いているのに対して、Fig. 8 は乱さない試料を用いている。そこで本研究でも泥炭の分解度の高い部分を練返して間ゲキ比を変えた圧密試験を行ない、Wilson らの結果に似た2つの直線部分を持つ Fig. 9 を得た。結局肝属泥炭土では、乱さない試料の圧密速さの変化は、ふつうの試験時間の範囲では Fig. 8 のようになるといえる。なお、Fig. 9 の $e_0 = 6.8$ の曲線は、 10^5 min すなわち約 70 日間同一荷重の下で沈下を測定したものであるが、 10^4 min 付近で再び変化し、圧密速さの減少割合が少なくなっている。

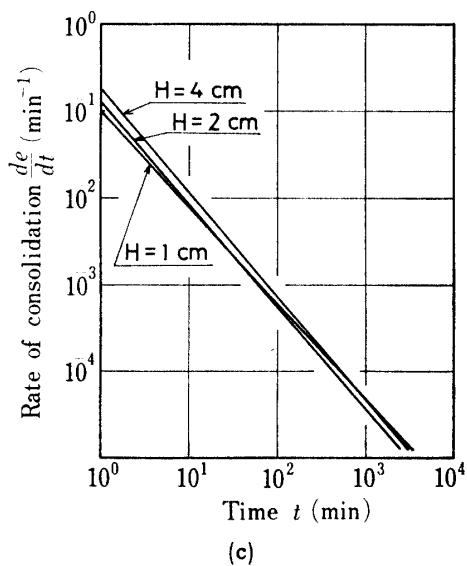
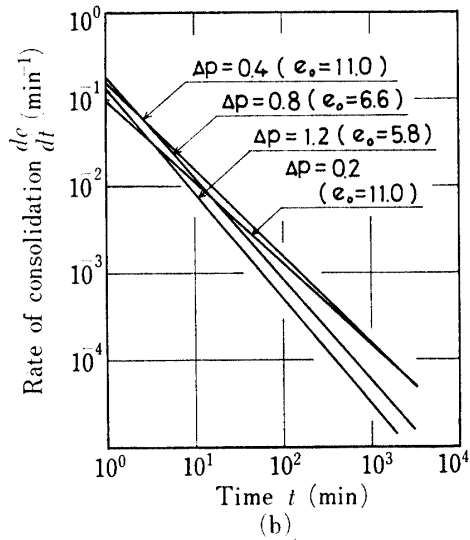
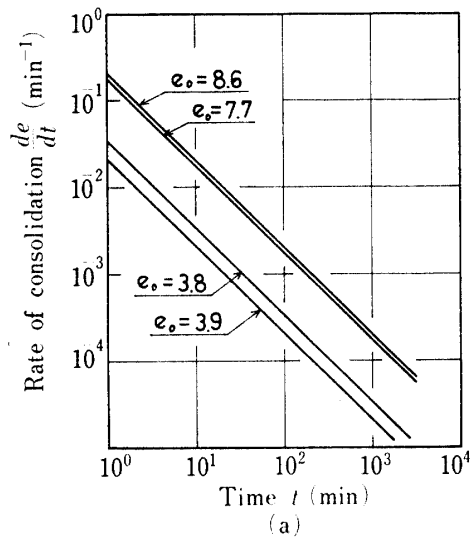


Fig. 8. Log (de/dt) —log t graphs based on test data (undisturbed samples).

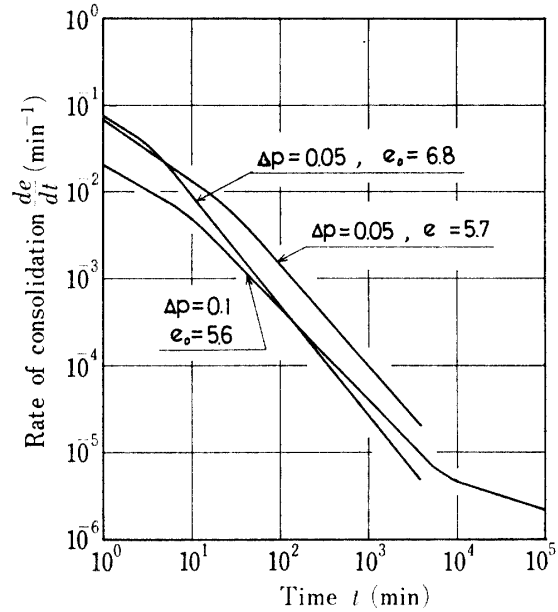


Fig. 9. Log (de/dt) —log t graph based on test data (undisturbed samples).

Fig. 8にもどって、Fig. 7と比較して考察する。Fig. 8(a)では各直線は平行で Fig. 7の圧密前段階に似た形状であるが、傾きを表わす k の値はほぼ1.0で、Fig. 7(a)の前・後段階の中間の値である。係数 C の値が e_0 が小さい程小さい点は Fig. 7と同様である。

Fig. 8(b)では圧密圧力の変化量には、はっきりした関係が見られない。これは乱さない試料であるため e_0 の調節ができず、結果的に e_0 の値をそろえることができなかつたためもある。それで k と C とだけを取り出して Δp に対する関係を Fig. 10, 11に描いた。 k は Δp の増大に対して抛物線的に絶対値が増大し、圧密速さの減少割合が大きくなる傾向を示す。 C は e_0 の小さい上部層では Δp にかかわらずほぼ一定値だが、 e_0 の大きい下部層では Δp の増大に伴い対数関数的に増大する傾向を示している。

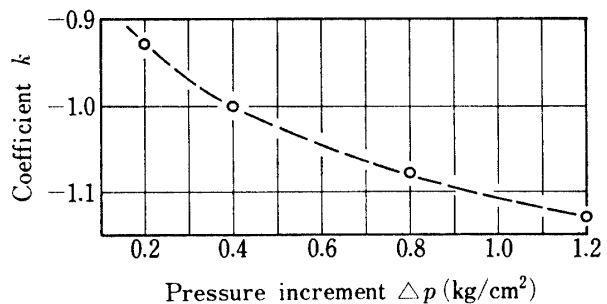


Fig. 10. Relationship between coefficient k and pressure increment Δp (undisturbed samples).

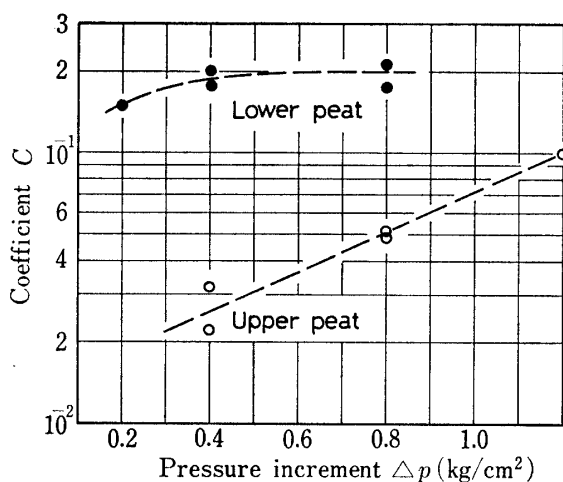


Fig. 11. Relationship between coefficient C and pressure increment (undisturbed samples).

Fig. 8 (c) では、試料高さ H の影響はほとんど見られない。これは Fig. 7 では H を $0.7 \sim 16.4 \text{ cm}$ の範囲にとっているのに対して、Fig. 8 では $1 \sim 4 \text{ cm}$ しかとっていないことにもよるであろう。 k の値は前と同様 Fig. 7 の前・後段の中間の値である。

結局この試験の結果に関する限り、肝属泥炭土の圧密速さの変化は時間の経過に対して対数関数的に減少し、その減少の仕方は k がほぼ -1.0 として表わされる。また $t = 1$ における初期値 C は初期間ゲキ比に比較的影響を受けるほか、圧力増加量 Δp には Fig. 10, 11 に見るようにやや複雑な影響を受け、また試料高さ H の影響はこの試験では見られない。

摘 要

(1) 肝属地方には泥炭を含む土壌が 20 km^2 以上分布しており、そのうち約 19 km^2 は河川沿いの低平地部にある。

(2) 肝属低平地部の泥炭層は平面的・立体的にかなり複雑に分布しているようであるが、その分布深さはおよそ 4 m 程度までと考えられる。

(3) 1974 年に沈下現象が起こった串良町岡崎の水田における調査点では、泥炭は深さ 0.5 m から 2.5 m まであり、深さ約 1.7 m にある約 15 cm 厚さの粘土層を境にして性質の異なる上下 2 層に分けられる。

(4) 上部泥炭層は鉱物粒子の含有量がかかなり多いが、分解度 $80 \sim 90 \%$ と分解が進んでいる。したがって含水比は泥炭としては比較的 low 180% 前後であり、圧縮性も泥炭としてはやや低い上に、比較的大きな圧密降伏圧力を示し、地下水位の低下と乾燥の影響を受けたものと推定される。

(5) 下部泥炭層はセネイ分が多く分解度は $60 \sim 70 \%$ であるが、セネイを骨格とした構造を持っている。含水比は $600 \sim 700 \%$ 、圧縮指数は 6.5 といずれも非常に高く、典型的な泥炭土の性質を示す。

(6) 圧密試験における $\log (de/dt) - \log t$ の関係は、繰返した試料では Wilson らの示したものと同様に傾きの異なる 2 つの直線部分よりなるが、乱さない試料では単一の直線となる。主要な因子が圧密速さの変化に及ぼす影響としては、初期間ゲキ比 e_0 は Wilson らと同様に明瞭な傾向を示すが、圧密圧力の増加量 Δp の影響は複雑であり、試料高さ H の影響はこの試験で見られていない。

文 献

- 1) 鹿児島県農業試験場：施肥改善事業の調査報告, (1954)
- 2) ————: 同上 (1955)
- 3) 阪口 豊: 資源研彙報, **52**・**53**, 93-95 (1960)
- 4) 経済企画庁総合開発局: 土地分類図, 46(1971)
- 5) 土質工学会: 土質試法, 151 (1969)
- 6) 阪口 豊: 泥炭地の地学, 329, 東大出版会 (1974)
- 7) 渡辺 進, 鈴木 豊: 11回土質工学シンポジウム論文集, 25-31 (1966)
- 8) 土質工学会: 日本の特殊土, 156-159 (1974)
- 9) ————: 土質試験法, 477 (1969)
- 10) 宮川 勇: 6回土質工学研究発表会講演集, 97-100 (1971)
- 11) 難波直彦: 鹿大農学術報告, **23**, 283-331(1973)
- 12) 大平至徳, 小谷 章, 加登文士: 土と基礎, **17** (9), 17-23 (1969)
- 13) 宮川 勇: 36年土木学会北海道支部講習会 (1962)
- 14) 渡辺 進, 井元美晴: 土と基礎, **10** (9), 7-11 (1962)
- 15) Wilson, N. E., Radforth, N. W., Macfarlane, I. C. and Lo, M. B.: *Proc. 6th Int. Conf. S.M.F.E.*, **1**, 407-411 (1965)

Summary

At Kimotsuki region of Kagoshima prefecture, there are peat soils extending over about 20 km^2 area. In 1974, settlement of paddy fields occurred at a part of the peat-area. Soil-investigations were made on the site and in the laboratory, the results are given in this report.

It was found that the peat-layer has the thickness about 2 m within down to a depth of 3 m , and that it is separated into two parts; upper and lower. The upper peat-layer has the thickness of 1.2 m , with mean water content of 180% , and its degree of decomposition of organic matter is $80\sim 90 \%$. The lower peat-layer has the thickness of 0.7 m , with mean water content of 600% , and its degree of decomposition is $60\sim 70 \%$.

The time-settlement curves of these peat-specimens can be obtained with \sqrt{t} method. The $\log (de/dt)$ - $\log t$ graph at consolidation tests with disturbed specimens produce curves in the form of two tangents to a short arc. Whereas the graph with undisturbed specimens produces curves consisting of a straight line. The initial void ratio (e_0) affects the rates of consolidation (de/dt) of the undisturbed specimen to some extent, but the effects of the sample-height (H) and the stress increment (Δp) are not definite in this investigation. It is indicated that the structural factors within the peat exert a considerable influence.