The Japanese Geotechnical Society

我が国高有機質土の物理化学的性質

Physico-Chemical Properties of Highly Organic Soil in Japan

及川　洋（おいかわ　ひろし）
秋田大学助教授　鉱山学部土木環境工学科

1. はじめに

北海道における高有機質土はそれが主要な都市の周辺部に広くまとまって分布していることもあって，その工学的性質は古くから研究されてきている。一方，北海道以外の地域におけるこの種の地盤は主に水田として利用されてきたため，工学的研究は必ずしも多くはない。そのため，各種の建設工事でこの種の地盤に遭遇した場合，北海道での研究例を引用することも少なくない。しかし，北海道の高有機質土は他の地域のそれに比べて未分解なものが多いといわれており，視覚的にもかなり異なるようである。このことは多くの研究者の間でも古くから話題にされてきたことではあるが，それを定量的に検討した例は無いようである。

本文は，我が国に分布する高有機質土全体を対象にして，その物理化学的性質を明らかにするとともに，その性状に地域差があるか否かを検討したものである。また，測定が比較的簡単な自然含水比から他の物理化学的諸量を推定する手法についても若干の検討を行っている。なお，本文の内容は著者らによって既に報告[1]されたものに，その後の成果を加えて取りまとめたものである。

2. 検討方法

我が国でこれまでに出版された各種印刷物の中から，高有機質土の物理化学的性質を数量的に記載した文献を収集し，検討に用いた。各種出版物とは，地盤工学会（旧土質工学会），土木学会，農業土木学会等における論文報告集，年次研究発表会講演集，各種シンポジウム論文集，単行本等に加え，各大学からの刊行物，公的研究機関や民間の研究機関からの研究報告書なども対象とした。それらの文献のほとんどは文献2),3)にリストされている。なお，当研究室で所有している未発表資料も検討の対象として使用した。

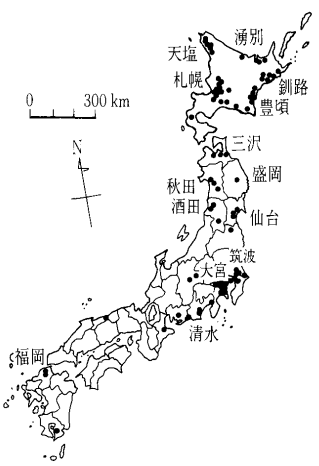
物理化学的性質としては，素地状態の高有機質土を対象にして測定された自然含水比，自然間隙比，有機物含有量（強熱減量），飽和度，比重，分解度（水洗法），湿潤密度，乾燥密度などであるが，幅をもって示されたデータ（例えば自然含水比500%～700%等）は検討から除外している。

図—1にデータの分布状況を示した。本文ではこれらのデータを，北海道地方，東北地方，関東・東海地方およびその他の地方の四つの地域に分類し，比較検討している。**表—1**に各地域ごとのデータ数を示したが，何らかの物理化学的性質が測定された供試体数は総計1 093個である。

表—1　地域別データ数

	北海道	東　北	関東・東海	その他	合　計
供試体数	241	700 (496)	124	28	1 093
自然含水比　w_n	101	540	46	14	701
自然間隙比　e_n	215	671	80	26	992
強熱減量　L_i	224	309	84	10	627
分解度　H	166	173	6	2	347
飽和度　S_r	85	476	25	4	590
湿潤密度　ρ_t	127	241	21	14	403
乾燥密度　ρ_d	140	479	1	3	623

カッコ内の数は秋田大学資料数（未発表）で内数。



図—1　データの分布状況

3. 検討結果と考察

3.1 固体部分の密度

高有機質土の固体部分はいろいろな分解過程にある植物遺体と各種鉱物土粒子の集合体であるとみてよい。このうち，植物遺体の密度は遺体の腐朽・分解の程度によって様々な値をもつものと思われ，また，鉱物土粒子の密度も構成する鉱物の種類によって単一のものではないものと考えられる。もちろん，それぞれを個別に測定することは実際上不可能なので，いま，ρ_0：植物遺体の平均密度，ρ_i：鉱物土粒子の平均密度，ρ_s：試料全体としての平均密度，L_i：有機物含有量（強熱減量）とし，高有機質土の固体部分が単純にρ_0, ρ_iの密度をもつ二つの物質の混合体であるとするならば

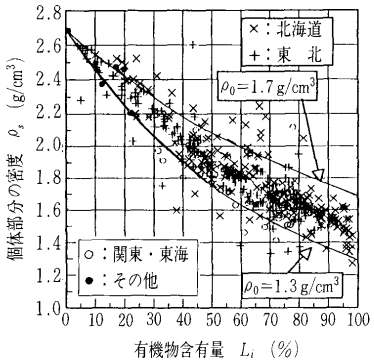
$$\rho_s=\frac{\rho_i\rho_0}{(\rho_i-\rho_0)L_i+\rho_0} \quad \cdots\cdots(1)$$

と表すことができる。

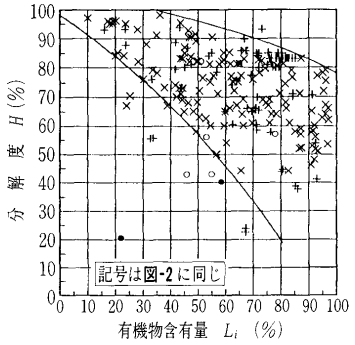
収集されたデータからρ_sとL_iの関係を示すと**図—2**のようになる。なお，収集されたデータのほとんどはρ_sを水の密度ρ_wで割った比重の値として報告されているものであるが，ここではそれを単に密度と読み替えて（g/cm^{3}の単位を付加して）使用している。

NII-Electronic Library Service

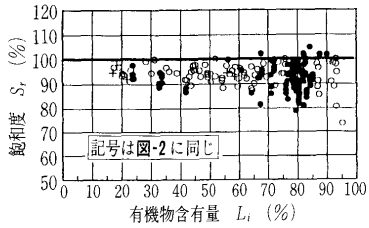
The Japanese Geotechnical Society



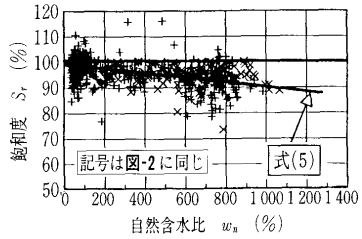
図—2　有機物含有量と固体部分の密度の関係



図—3　有機物含有量と分解度の関係



図—4　有機物含有量と飽和度の関係



図—5　自然含水比と飽和度の関係

いま，鉱物土粒子の平均密度を ρ_i=2.7 g/cm³ と仮定し，ρ_0 の 2, 3 の値に対して式(1)の関係を描くと図に併示したようになる。図に見られるように，各地の高有機質土とも植物遺体の平均密度には地域差はなく，おおよそ ρ_0=1.3～1.7 g/cm³ の範囲（平均的には ρ_0=1.5 g/cm³）にあるとみてよさそうである。

3.2　分解度

105 μm ふるいを用いた水洗法による分解度 H を有機物含有量 L_i に対して**図—3** に示した。水洗法による分解度は含有する鉱物土粒子が粘土鉱物のような場合には必ずしも有機質部分の腐朽・分解の程度を表すものではないが，ここでは一応，105 μm ふるいを通過する物質を分解物質として議論を進めることにする。

図—3 によれば，両者の関係はかなりの幅を持っており，同一有機物含有量でも分解の進んだものから未分解のものまで多様であることが分かる。しかし，各地の高有機質土とも有機物含有量の増加に伴って分解度は低くなる傾向にあり，その性状には地域差は認められない。すなわち，図を見る限り，北海道の高有機質土が他の地域のそれに比べて未分解であるという傾向は認められない。

3.3　飽和度と自然含水比

飽和度 S_r を有機物含有量 L_i に対して**図—4** に，自然含水比 w_n に対して**図—5** に示した。興味深いことに，有機物含有量あるいは自然含水比の増大に伴って飽和度は明らかに減少する傾向を示している。高有機質土は植物遺体の分解過程で発生するガスのため，地下水中にあっても飽和されていない可能性は十分考えられる。しかし，そのことが図に示したような飽和度の低下の主な原因であるとすることには多少の疑問が残る。すなわち，飽和度 S_r は一般には次式を用いて算出される。

$$S_r=\frac{w_n\rho_s}{e_n\rho_w}=\frac{w_n m_s}{V_0\rho_s-m_s}\cdot\frac{\rho_s}{\rho_w} \quad \cdots\cdots(2)$$

V_0：供試体の体積，m_s：固体部分の質量。

式(2)中の V_0, m_s, ρ_s の各値にも測定精度上の問題はあるが，高有機質土の場合，サンプリングから供試体作成に至る過程でかなりの脱水を伴うのが普通である。したがって，式(2)中の自然含水比は過小に評価されていることには疑う余地がなく，その結果として飽和度が過小に算出されることも図に示したような飽和度の低下の大きな一因になっているものと判断してよいであろう。

サンプリングから供試体作成に至る過程でどれほどの脱水を伴うかを的確に算出する方法はないが，いま仮に，試料は本来飽和しているものとし，測定される間隙比と固体部分の質量は正確なものであるとするならば，その自然含水比（w_n' と記す）は，

$$w_n'=e_n\rho_w/\rho_s \quad \cdots\cdots(3)$$

とならなければならない。そこで，収集したデータから w_n' を計算し，実測の自然含水比 w_n と比較すると**図—6** および下式(4)のようになる。サンプリングから供試体作成に至る過程で含水比にして約 1 割程度の脱水が生じている可能性が示唆される。

$$w_n'=1.1w_n \quad \cdots\cdots(4)$$

したがって，測定される自然含水比は必要に応じて式(4)を用いて補正することも一案とは考えられる。しかし，その利用に当たってはなお検討の余地が残されている。そこで，この問題は今後の検討課題とし，本文では差し当たり実測の含水比をもって自然含水比とみなし議論を進めることにする。また，S_r と w_n の関係は**図—5** から得られる下式(5)で表されるものとして議論を進める。

$$S_r=1-0.01w_n \quad \cdots\cdots(5)$$

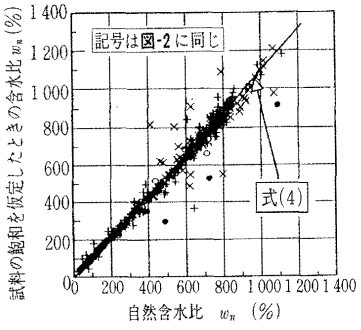
3.4　有機物含有量と自然含水比

有機物含有量 L_i に対する自然含水比 w_n の値を**図—7** に示した。両者の関係はかなりばらつき，同一有機物含有量のもとでも比較的少ない含水状態のものから多量の含水状態のものまで多様であることが分かる。しかし，そのばらつきの範囲と程度には地域的な差違は認められない。

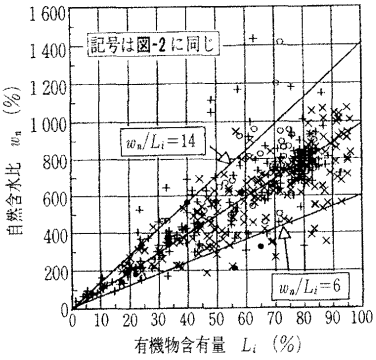
図—7 における各測点と原点を結ぶ直線の勾配，すなわち，(w_n/L_i) 値は一般に含水・強熱減量比と呼ばれ，試料中に有機物 1 g 当たり何 g の水が含まれているかを表している。北海道の高有機質土におけるその値はおおよそ10を示すことが多いといわれているが[4]，図によれば，北海道の高有機質土も含めた我が国高有機質土の含水・強熱減量比はおおよそ 6～14の範囲（平均的には

NII-Electronic Library Service

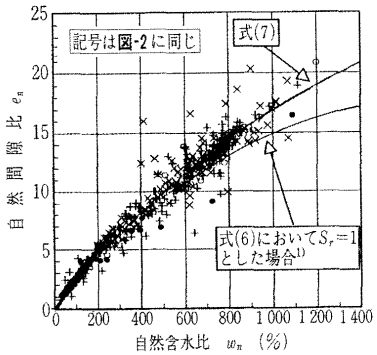
The Japanese Geotechnical Society



図—6　試料の飽和を仮定した場合の自然含水比



図—7　有機物含有量と自然含水比の関係



図—8　自然含水比と自然間隙比の関係

$w_n/L_i=10$）に分布すると見てよいであろう。なお，カナダにおける測定例では，L_i が80数%程度までは w_n と L_i は直線関係にあるが，L_i が80数%以上になると w_n は指数的に増加するデータが示されており[5]，我が国のそれとは性状が多少異なるようである。

3.5　自然間隙比と自然含水比

自然間隙比 e_n を自然含水比 w_n に対してプロットすると**図—8**のようになる。多少のばらつきは見られるものの，各地域のデータは狭い帯状に分布し，やはり地域的な差違は認められない。

e_n と w_n の関係は

$$e_n=\frac{w_n\rho_s}{S_r\rho_w}=\frac{\rho_i\rho_0 w_n}{\{(\rho_i-\rho_0)L_i+\rho_0\}S_r\cdot\rho_w} \quad \cdots\cdots(6)$$

と表されるので，いま，$\rho_i=2.7$ g/cm^3，$\rho_0=1.5$ g/cm^3，$\rho_w=1.0$ g/cm^3，$L_i=w_n/10$，$S_r=1-0.01w_n$ を仮定すると

$$e_n=\frac{w_n}{(0.03w_n+0.37)(1-0.01w_n)} \quad \cdots\cdots(7)$$

となり，式(7)は図に併示したように実測の関係をほどよく説明している。したがって，式(7)を用いれば自然含水比から概略の自然間隙比を予測できる。なお，図には，式(6)において $S_r=1$ とした時の関係曲線[1]も併示しているが，式(7)の方の適合性が良いようである。

3.6　湿潤密度および乾燥密度と自然含水比

湿潤密度 ρ_t および乾燥密度 ρ_d を自然含水比 w_n に対して**図—9**にプロットした。ρ_t および ρ_d と w_n の間にも地域には無関係な一義的な関係が認められる。

乾燥密度 ρ_d は

$$\rho_d=\frac{\rho_s}{1+e_n}=\frac{\rho_i\rho_0\rho_w S_r}{\{(\rho_i-\rho_0)L_i+\rho_0\}\rho_w S_r+\rho_i\rho_0 w_n} \quad \cdots\cdots(8)$$

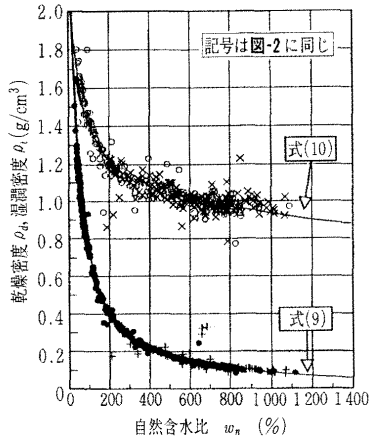
と表されるから，やはり，$\rho_i=2.7$ g/cm^3，$\rho_0=1.5$ g/cm^3，$\rho_w=1.0$ g/cm^3，$L_i=w_n/10$，$S_r=1-0.01w_n$ を仮定すると

$$\rho_d=\frac{(1-0.01w_n)}{(0.03w_n+0.37)(1-0.01w_n)+w_n} \quad \cdots\cdots(9)$$

したがって，湿潤密度 ρ_t は

$$\rho_t=(1+w_n)\rho_d=\frac{(1+w_n)(1-0.01w_n)}{(0.03w_n+0.38)(1-0.01w_n)+w_n} \quad \cdots\cdots(10)$$

と表すことができる。式(9)，(10)は多少複雑な形をしているが，図に示したように，自然含水比 w_n から湿潤密度 ρ_t あるいは乾燥密度 ρ_d を予測する式として十分耐えうるものと判断される。



図—9　自然含水比と湿潤密度，乾燥密度の関係

ところで，**図—9**において，自然含水比が約600%以上になると湿潤密度は水のそれ（1 g/cm^3）に等しいかそれ以下の値を示す傾向にあることが注目される。これが試料の不飽和に起因するものか，あるいはサンプリングから供試体作成に至る過程で生ずる脱水による供試体質量の過小評価に起因するのか，今後の検討課題である。

4.　ま　と　め

我が国に分布する高有機質土の物理化学的性質を調べた結果，その性状には地域的差違は認められないことが判明した。高有機質土の物理化学的性質の測定は比較的面倒であり，測定結果の妥当性について多少の不安を伴う場合も多いが，測定値を本文中に示した各種の図面と照らし合わせることによって，測定結果のある程度のチェックが可能と思われる。

参　考　文　献

1)　及川　洋・石川　剛：泥炭の物理化学的性質に関する一考察，高有機質土の諸問題に関するシンポジウム発表論文集，土質工学会，pp. 97～100, 1993.
2)　土質工学会有機質土研究委員会：有機質土に関する文献目録，第1集，1976.
3)　土質工学会高有機質土の力学的性質および試験方法に関する研究委員会：高有機質土に関する文献抄録集，1988.
4)　宮川　勇：泥炭地の土質工学的調査研究（第3報），北海道開発局土木試験所報告，第20号，pp. 68～71, 1958.
5)　MacFarlane, I. C.: Muskeg Engineering Handbook, The Muskeg Subcommittee of the National Reserch of Canada, p. 118, 1969.

（原稿受理　1996.7.22）自由投稿原稿

NII-Electronic Library Service