

泥炭の物理的性質について

Study on Physical Properties of Peat

松尾 啓* (Kei Matsuo)

大平至徳** (Yoshinori Ohira)

吉國 洋*** (Hiroshi Yoshikuni)

キーワード：高有機質土／統計的解析／物理化学的性質 (IGC:D-2)

1. まえがき

泥炭は、植物遺体が低温・多湿の環境下で多年にわたり分解不十分のまま堆積して形成されたもので、その相構成は、有機物と無機物（土粒子）からなる固体部分と水および気体の3相から構成されている。また、有機物は、植物遺体とその腐植からなり、植物遺体は互いにかみ合った複雑な海綿状の繊維性構造を形成する。このように、泥炭の相構成および構造は、無機質粘土と比較し極めて特異である¹⁾。

土の物理的性質の値は、その土の相構成および構造を反映する指標であり、土の相構成および構造はその土の圧縮・圧密特性と密接に関連する。²⁾³⁾⁴⁾したがって、泥炭の物理的性質の値を検討することは、泥炭の圧縮・圧密特性を知る上からも重要である。有機質土の相構成および構造は、その中に含まれる有機物量により規則正しく変化する。⁵⁾⁶⁾したがって、有機質土の物理的性質の値は、有機物含有量 (lig) を尺度として統一的に表示できるものと予想されるが、このことにつき検討した研究は少ないようである。

本論文は、北海道岩見沢市郊外の泥炭地盤から採取した泥炭および有機質粘性土に関する81個の試料を用い、同試料の物理的性質の値を有機物含有量 (lig) との関連で整理するとともに、同結果を泥炭に関する大平らの構造モデル⁵⁾⁶⁾に基づく計算値と比較し、有機質土の物理的性質の値を有機物含有量 (lig) を尺度として統一的に表示しうる可能性について検討したものである。なお、本論文では、有機物含有量 (lig) 20% を境界として、有機物含有量20%以上の土を泥炭、20%未満の土を有機質粘性土と定義する。

2. 試料

本研究に用いた試料は、北海道岩見沢市郊外の泥炭地盤から、外径75mm、長さ1000mmの固定ピストン式シンワールサンプラーを用いて採取した不攪乱試料であり、図-1に、同地盤の土層構成と物理的性質の深さ方向の分布を示す。³⁾

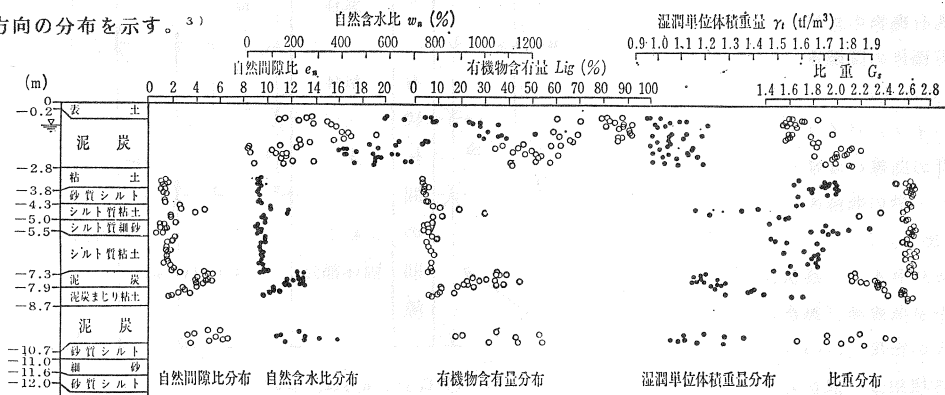


図-1 岩見沢泥炭地盤の土層構成と物理的性質の値の深さ方向の分布

* 陸上自衛隊13師団司令部施設課 3等陸佐, ** 防衛大学校土木工学教室 教授

*** 広島大学工学部第四類建設構造 教授

図-1に示すように、同地盤の地下水面は、深さ0.8mに位置し、地表面下0.2~2.8m、7.3~7.9mおよび8.7~10.7mに泥炭層が、また、7.9~8.7mに有機質粘性土層が存在する。

本研究に用いた試料81個は、上記泥炭層3層と有機質粘性土層から採取したもので、いずれの層の有機物も腐植過程の植物遺体から構成され、海綿状の繊維性構造を形成していた。

3. 結果および考察

3.1 泥炭の構造モデル

大平らは、泥炭に関する構造モデルとして、

図-2に示すような無限に長い有機体の中空パイプが堆積するモデルを提案している。⁵⁾⁵⁾

ここで、中空パイプの殻は有機体の実質部分

(純有機物：固体部分)であり、中空部分には有機体中に含まれる水と気体を表す。

また、土粒子は、パイプとパイプの間の間隙に堆積し、パイプ内部の中空部分には入らないものとする。

上述した関係を相構成模式図で示すと図-3となり、⁵⁾⁶⁾

同図を参照すれば土の物理的性質等の値は

式(1)から式(6)で算定される。

ただし、以下の考察で間隙率など比で示される量は無次元で表している。

ここで、

G_p ：泥炭の比重

n ：間隙率（無次元）

e ：間隙比

w ：含水比（%）

ρ_t ：湿潤密度（ g/cm^3 ）

ρ_d ：乾燥密度（ g/cm^3 ）

lig ：有機物含有量（%）

G_s ：土粒子自身の比重

G_o ：純有機物の比重

n_o ：有機体の間隙率（無次元）

n_s ：パイプとパイプの間の間隙に堆積した土砂の間隙率（無次元）

n_w ：体積含水率（無次元）

n_a ：空気間隙率（無次元）

ρ_w ：水の密度（ g/cm^3 ）

C_d ：堆積指数（無次元）

泥炭全体積に対する
中空パイプ（有機体）
の体積割合。

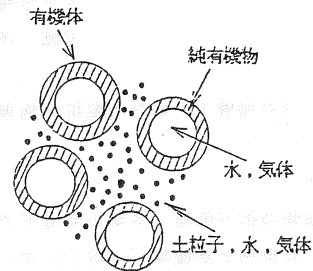


図-2 泥炭に関する構造モデル

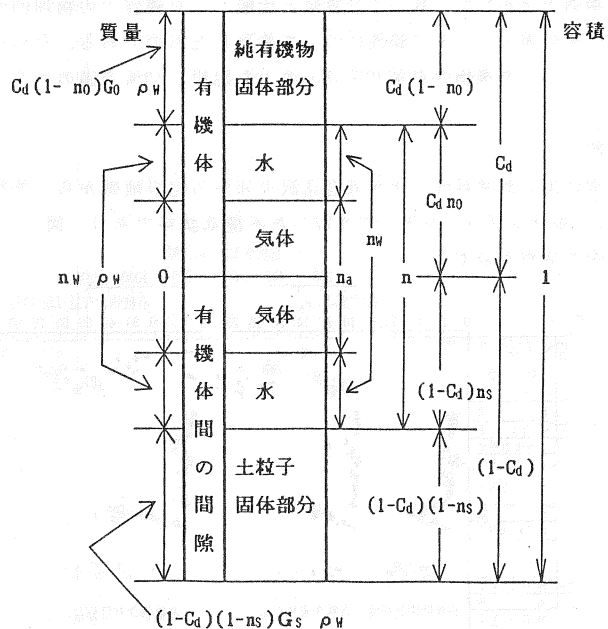


図-3 泥炭の相構成模式図

$$G_p = \frac{(1-C_d)(1-n_s)G_s + C_d(1-n_o)G_o}{(1-C_d)(1-n_s) + C_d(1-n_o)} \quad (1)$$

$$n = C_d \cdot n_o + (1-C_d)n_s \quad (2)$$

$$w = \frac{n_w}{(1-C_d)(1-n_s)G_s + C_d(1-n_o)G_o} * 100 (\%) \quad (3)$$

$$\rho_t = \rho_w((1-C_d)(1-n_s)G_s + n_w + C_d(1-n_o)G_o) \quad (4)$$

$$\rho_d = \rho_w((1-C_d)(1-n_s)G_s + C_d(1-n_o)G_o) \quad (5)$$

$$lig = \frac{C_d(1-n_o)G_o}{(1-C_d)(1-n_s)G_s + C_d(1-n_o)G_o} * 100 (\%) \quad (6)$$

また、式(1)と式(6)から G_p と C_d は lig 値の関数としてそれぞれ式(7)および式(8)で表せる。

$$G_p = \frac{100G_o}{lig + (G_o/G_s) * (100-lig)} \quad (7)$$

$$C_d = \frac{1-n_s}{\frac{100(1-n_o)G_o}{lig \cdot G_p} - n_s + n_o} \quad (8)$$

間隙比と間隙率との間には式(9)が成立する。

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (9)$$

したがって、飽和土の場合、 $n_w = n$ であり、物理的性質 G_p 、 e 、 w 、 ρ_t 、 ρ_d の値は、5個のパラメータ n_o 、 n_s 、 lig 、 G_o 、 G_s を用いて算定できる。大平らは、⁶⁾多くの実験結果から $n_o = 0.88 \sim 0.96$ 、 $n_s = 0.41 \sim 0.70$ を得ている。また、石狩地域の土に関し $G_s = 2.6 \sim 2.8^{7)}$ 、 $G_o = 1.5 \sim 1.8^{8)}$ が測定されている。

3. 2 泥炭の物理的性質

(1) 有機質土の比重

土の比重とは、土塊の骨格を形成する固体部分の平均比重であり、固体部分の質量と同体積の 15°C の蒸留水の質量との比として定義されている。⁹⁾表-1に、有機質土の比重(G_p)と有機物含有量(lig)との実測値を、それぞれ普通紙上、片対数紙上および両対数紙上にプロットし直線近似した際の相関係数(r)を示す。例えば、表-1中の記号G-2は、有機質土の比重(G_p)の対数値と有機物含有量(lig)の実測値とを用いプロットした点の相関係数(r)が -0.81 であることを示している。

表-1 有機質土の比重と有機物含有量との相関関係

記号	G-1	G-2	G-3	G-4
有機質土の比重	G_p	$\log G_p$	G_p	$\log G_p$
有機物含有量	lig	lig	$\log lig$	$\log lig$
相関係数	-0.82	-0.81	-0.79	-0.77

表-1 から、G-1 の場合、すなわち普通紙上にプロットした場合に最も相関が高く、相関係数 (r) は -0.82 である。図-4 にこの場合の散布図を示す。

図-4 では、プロットした点が回帰直線全域にわたり均等に分布しており、有機質土の比重 (G_p) と有機物含有量 (lig) との間に相関関係が認められ、回帰直線は式 (10) で表せる。

$$G_p = -0.00945 \text{ lig} + 2.61 \quad (10)$$

また、この回帰直線は、図-4 に示すように、 $G_o=1.7$ 、 $G_s=2.7$ と仮定した泥炭の構造モデルに基づく式 (7) の計算値と良く一致する。

したがって、本研究に用いた試料に関しては、有機質粘性土および泥炭とも、その比重は有機物含有量を尺度として同一の関係式、式 (10) で表せ、 $G_o=1.7$ 、 $G_s=2.7$ と仮定した泥炭の構造モデルに基づく式 (7) で、実測値から得られた有機質土の比重～有機物含有量の関係を極めて良く推定できる。

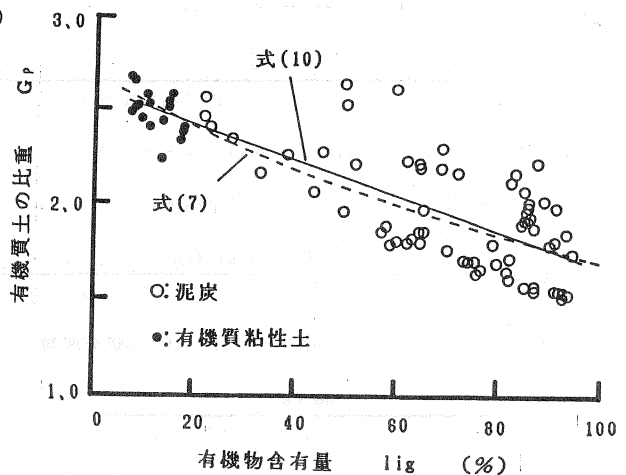


図-4 有機質土の比重と有機物含有量との関係

(2) 自然間隙比

間隙比とは、土中の間隙の体積と土の固体部分の体積との比で定義され、土中の間隙の大小を示す指標である。

表-2 に、自然間隙比 (e_n) と有機物含有量 (lig) との実測値を、それぞれ普通紙上、片対数紙上および両対数紙上にプロットし直線近似した際の相関係数 (r) を示す。

表-2 自然間隙比と有機物含有量との相関関係

記号	E-1	E-2	E-3	E-4
自然間隙比	e_n	$\log e_n$	e_n	$\log e_n$
有機物含有量	lig	lig	$\log lig$	$\log lig$
相関係数	0.88	0.88	0.87	0.91

表-2 から、E-4 の場合、すなわち両対数紙上にプロットした場合に最も相関が高く、相関係数 (r) は 0.91 である。図-5 に、この場合の散布図を示す。

図-5 では、プロットした点が回帰直線全域にわたり均等に分布しており、自然間隙比 (e_n) と有機物含有量 (lig) との間に相関関係が認められ、回帰直線は式 (11) で表せる。

$$\log e_n = 0.817 \log(lig) - 0.433 \quad (11)$$

また、この回帰直線は、図-5 に示すように $G_o=1.7$ 、 $G_s=2.7$ 、 $n_o=0.936$ 、 $n_s=0.4$ と仮定し、泥炭の構造モデルに基づく式 (2)、(7)、(8) を利用して計算した式 (9) の値と良く一致する。

したがって、本研究に用いた試料に関しては、有機質粘性土および泥炭ともその自然間隙比は有機物含有量を尺度として、同一の関係式、式(11)で表せ、 $G_o=1.7$ 、 $G_s=2.7$ 、 $n_o=0.936$ 、 $n_s=0.4$ と仮定した泥炭の構造モデルに基づく式(9)で、実測値から得られた自然間隙比～有機物含有量関係を極めて良く推定出来る。

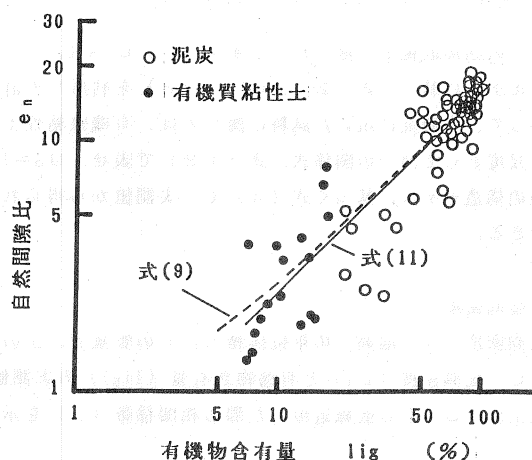


図-5 自然間隙比と有機物含有量との関係

(3) 自然含水比

含水比とは、土中に含まれている水量とその土の乾燥質量との比を百分率で表したもので、土中に含まれる水量を示す指標である。⁹⁾

表-3に、自然含水比(w_n)と有機物含有量(lig)との実測値を、それぞれ普通紙上、片対数紙上および両対数紙上にプロットし直線近似した際の相関係数(r)を示す。

表-3 自然含水比と有機物含有量との相関関係

記号	W-1	W-2	W-3	W-4
自然含水比	w_n	$\log w_n$	w_n	$\log w_n$
有機物含有量	lig	lig	$\log lig$	$\log lig$
相関係数	0.93	0.93	0.89	0.94

表-3から、W-4の場合すなわち両対数紙上にプロットした場合に最も相関が高く、その相関係数(r)は0.94である。図-6に、この場合の散布図を示す。

図-6では、プロットした点が回帰直線全域にわたり均等に分布しており、自然含水比(w_n)と有機物含有量(lig)との間に相関関係が認められ、回帰直線は式(12)で表せる。

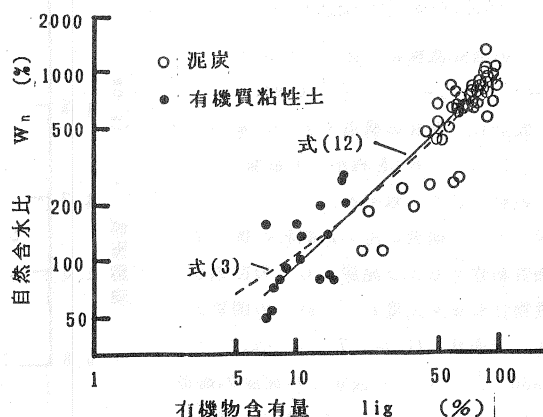


図-6 自然含水比と有機物含有量との関係

$$\log w_n = 1.01 \log(lig) + 0.946 \quad (12)$$

また、この回帰直線は、図-6に示すように、 $G_o=1.7$ 、 $G_s=2.7$ 、 $n_o=0.936$ 、 $n_s=0.4$ と仮定し、泥炭の構造モデルに基づく式(2)、(7)、(8)を利用して計算した式(3)の値と良く一致する。

したがって、本研究に用いた試料に関しては、有機質粘性土および泥炭とも、その自然含水比は、有機物含有量を尺度として同一の関係式、式(12)で表せ、 $G_o=1.7$ 、 $G_s=2.7$ 、 $n_o=0.936$ 、 $n_s=0.4$ と仮定した泥炭の構造モデルに基づく式(3)で、実測値から得られた自然含水比～有機物含有量関係を極めて良く推定できる。

(4) 湿潤密度

湿潤密度とは、湿潤土の単位体積当たりの質量で、土の粗密の程度を表す指標である。⁹⁾

表-4に、湿潤密度(ρ_t)と有機物含有量(lig)との実測値を、それぞれ普通紙上、片対数紙上および両対数紙上にプロットし直線近似した際の相関係数(r)を示す。

表-4 湿潤密度と有機物含有量との相関関係

記号	WD-1	WD-2	WD-3	WD-4
湿潤密度	ρ_t	$\log \rho_t$	ρ_t	$\log \rho_t$
有機物含有量	lig	lig	$\log \text{lig}$	$\log \text{lig}$
相関係数	-0.86	-0.87	-0.90	-0.91

表-4から、WD-4の場合すなわち、両対数紙上にプロットした場合に最も相関が高く、相関係数(r)は-0.91である。図-7に、この場合の散布図を示す。

図-7では、プロットした点が回帰直線全域にわたり均等に分布しており、湿潤密度(ρ_t)と有機物含有量(lig)との間に相関関係が認められ、回帰直線は式(13)で表せる。

$$\log \rho_t = -0.197 \log(\text{lig}) + 0.357 \quad (13)$$

また、この回帰直線は、図-7に示すように、 $G_o=1.7$ 、 $G_s=2.7$ 、 $n_o=0.936$ 、 $n_s=0.4$ と仮定し、泥炭の構造モデルに基づく式(2)、(7)、(8)を利用して計算した式(4)の値と良く一致する。

したがって、本研究に用いた試料に関しては、有機質粘性土および泥炭ともその湿潤密度は有機物含有量を尺度として同一の関係式、式(13)で表せ、 $G_o=1.7$ 、 $G_s=2.7$ 、 $n_o=0.936$ 、 $n_s=0.4$ と仮定した泥炭の構造モデルに基づく式(4)で、実測値から得られた湿潤密度～有機物含有量関係を極めて良く推定できる。

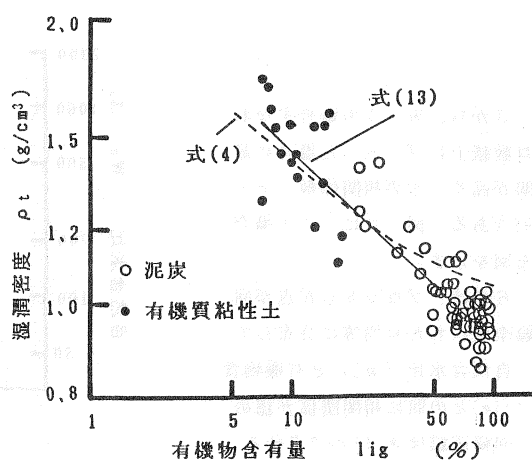


図-7 湿潤密度と有機物含有量との関係

(5) 乾燥密度

乾燥密度とは、土の単位体積当りに含まれる固体部分の質量である。⁹⁾

表-5に、乾燥密度 (ρ_d) と有機物含有量 (lig) との実測値を普通紙上、片対数紙上および両対数紙上にプロットし直線近似した際の相関係数 (r) を示す。

表-5 乾燥密度と有機物含有量との相関関係

記号	DD-1	DD-2	DD-3	DD-4
乾燥密度	ρ_d	$\log \rho_d$	ρ_d	$\log \rho_d$
有機物含有量	lig	lig	$\log \text{lig}$	$\log \text{lig}$
相関係数	-0.86	-0.93	-0.91	-0.94

表-5から、DD-4の場合すなわち、両対数紙上にプロットした場合に最も相関が高く、相関係数 (r) は-0.94である。図-8に、この場合の散布図を示す。

図-8では、プロットした点が回帰直線全域にわたり均等に分布しており、乾燥密度 (ρ_d) と有機物含有量 (lig) との間に相関関係が認められ、回帰直線は式 (14) で表せる。

$$\log \rho_d = -0.924 \log(\text{lig}) + 0.815 \quad (14)$$

また、この回帰直線は、図-8に示すように $G_o=1.7$ 、 $G_s=2.7$ 、 $n_o=0.936$ 、 $n_s=0.4$ と仮定し、泥炭の構造モデルに基づく式 (7)、(8) を利用して計算した式 (5) の値と良く一致している。

したがって、本研究に用いた試料に関しては、有機質粘性土および泥炭ともその乾燥密度は、有機物含有量を尺度として同一の関係式、式 (14) で表せ、 $G_o=1.7$ 、 $G_s=2.7$ 、 $n_o=0.936$ 、 $n_s=0.4$ と仮定した泥炭の構造モデルに基づく式 (5) で、実測値から得られた乾燥密度～有機物含有量関係を極めて良く推定できる。

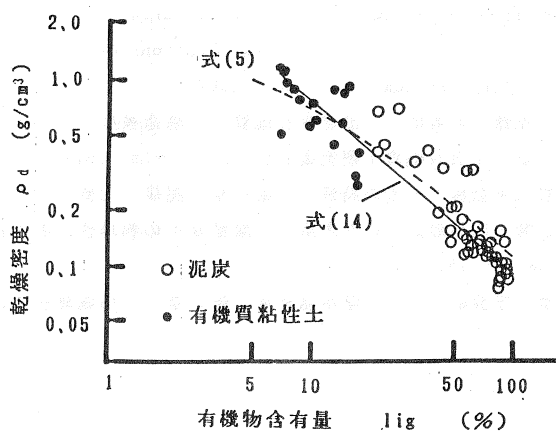


図-8 乾燥密度と有機物含有量との関係

4. あとがき

本論文では、泥炭および有機質粘性土の物理的性質の値を、有機物含有量 (lig) を尺度として系統的に表示しうる可能性について検討した。得られた結果をまとめると次の通りである。

- (1) 泥炭および有機質粘性土の比重、自然間隙比、自然含水比、湿潤密度および乾燥密度は、有機物含有量を尺度として同一関係式で表せる。このことは、有機物含有量を媒介として、有機質粘性土の物理的性質の延長上に泥炭の物理的性質を位置付けうる可能性を示唆するものと考ええる。
- (2) 泥炭の構造モデルにおいて、 $G_o=1.7$ 、 $G_s=2.7$ 、 $n_o=0.936$ 、 $n_s=0.4$ と仮定すれば、泥炭および有機質粘性土の物理的性質の値を極めて良く推定できる。このことは、大平らの泥炭に関する構造モデルの妥当性を示すとともに、有機質粘性土にも同モデルが適用できることを示している。

また、上述した G_o 、 G_s 、 n_o 、 n_s の仮定値は、3.1 泥炭の構造モデルで記述した既存の測定値の範囲内にある。

参考文献

- 1) 大平至徳・佐々木晴美：圧密沈下を考える、6. 泥炭地盤の圧密沈下、土と基礎 Vol.27, No.7 p 81、1979.
- 2) 大平至徳・木暮敬二・松尾 啓：泥炭性軟弱地盤土の圧縮指数の一評価法、防衛大学校理工学研究報告、Vol.15, No.3, pp.371~381, 1977.
- 3) 山口晴幸・松尾 啓・大平至徳・木暮敬二：泥炭および泥炭地盤の物理・化学および力学的性質、土と基礎、Vol.34, No.4, pp.21~28, 1986.
- 4) 山口晴幸・松尾 啓・大平至徳・木暮敬二：泥炭および泥炭地盤の土質工学的性質、土木学会論文集、Ⅲ-5, pp.271~280, 1986.
- 5) Yoshinori Ohira: Some Engineering Researchs on the Experiments of the Physical Properties of the Peat and on the Sounding Explorations of the Peaty Areas in Hokkaido, Japan, Memoirs of the Defense Academy, Vol.2, No.2, 1962.
- 6) 大平至徳・木暮敬二：高含水有機質土の構造模型について、有機質土に関するシンポジウム発表論文集、土質工学会有機質土研究委員会、pp.11~16, 1977.
- 7) 土質工学会編：日本の特殊土—第4章、泥炭、土質工学会、p.159, 1974.
- 8) 前田隆・相馬尅之・佐々木清一：腐植が土の物理性におよぼす影響、農業土木学会論文集、第61号、pp.9~17, 1976.
- 9) 土質工学会編：土質工学用語辞典—第3章、土の物理化学的性質、土質工学会、1985.