

東北地方の中部域に分布する泥炭の 生成環境と土質工学的性質

本庄充・小泉国土・木村正吾

Environmental Factors and Engineering Properties of Peat Layers in the Central Tohoku Region

Mitsuru HONJO, Kunio KOIZUMI and Shogo KIMURA

Abstract

As new developments in construction engineering have been made in recent years, it has become clear that layers of peat are widely distributed in the back marshes, drowned valleys and inland basins used as agricultural land along the coastal plains of the Tohoku region. More and more, these peat layers have become an obstacle to construction engineering projects.

According to Higashiyama, et al. (1983), peat bog ground comprises approximately 9% of the alluvial lowlands of the Tohoku region. This compares to 6% for Hokkaido. Greater research from the standpoint of construction engineering on peat ground is indicated.

This paper is concerned with four sites (Fig. 1 and Table 1) containing peat selected from a region that has become the object of construction engineering investigation. Located in the central Tohoku region, the peat layers at each site have different sedimentary environments. The ecological, physical, strength properties, and compression properties of peat at the sites are identified as follows:

- (1) From C^{14} analysis of the peat layers, it was determined that the layers have growth rates of 0.62~0.71 mm/year. From the growth rate data, the periods of occurrence of the peat layers were estimated. It was found that area No. 4, where layer thickness is 6m, was formed approximately 10,800 years ago. Both area No. 1 and No. 3 have layer thicknesses of 3m; the former appears to have been formed approximately 4,500 years ago, and the latter, approximately 4,200 years ago. The growth process of the peat layers may therefore be considered to have been subject to the geological conditions that have prevailed present from the end of the Pleistocene to the early Holocene era.
- (2) The representative physical properties of peat are natural water content, ignition loss and depth distribution of decomposition. These properties can be taken as universal, broadly reflecting the circumstances prevailing under ancient climates, and surpassing regional differences. However, when examined in detail for different depths, radical changes in these physical value do appear in some places. Low natural water content and ignition loss

values exist where there are inflows of flood deposits of soil and sand. Decomposition values show major changes with different vegetation content. In this way, the physical values are strongly influenced by circumstances prevailing in certain limited areas (Figs. 2~5).

- (3) Taking natural water content values of 300% and ignition loss values of 20~30% of peat layers in the central Tohoku region as borderlines, lower physical values show properties close to clay. Figs. 7~9 identify the physical characteristics of peat falling above this borderline. Although no direct relationship can be seen between ignition loss and decomposition, if composition vegetation is taken as a parameter, there does appear to be a constant relationship (Figs. 10~11). It may therefore be possible to distinguish differences in vegetation composition by investigating the ignition~decomposition relationship.
- (4) In the same way, concerning the physical properties of strength characteristics, beyond natural water content of 300% and ignition loss values of 20~30% for peat, since a certain amount of drainage accompanies shearing, there is a strong possibility of strength obtained by the equation $C_u = q_u/2$ (where C_u : cohesion of undrained conditions, q_u : unconfined compressive strength) being underestimated.
- (5) As previous research has indicated, it was possible to adjust the e -log P curve, which concerns settlement of the ground, by taking the natural water content of peat in the central Tohoku region as a parameter. The result of theoretical calculation considering fine natural water content by depth corresponded extremely well with actual measured settlement (Figs. 15~17). Coefficient of settlement relating time of settlement was arranged quantities of natural water content, ignition loss and decomposition (Figs. 18~20). A certain amount of correlation between coefficient of settlement and these quantities could be seen. However, it was not possible to obtain any average curve like the e -log P curve. But it can be inferred that low decomposition peat containing a large amount of bog moss should show more clear correlation between decomposition and coefficient of settlement.

Peat has been regarded as generally an inhomogeneous soil in both the depth and horizontal directions. However, at least in certain limited areas, changes in physical values with depth do reflect geological conditions. Similarly, in certain areas, significant continuity is shown in the horizontal direction.

This paper shows that such physical properties as natural water content ignition loss and decomposition, obtained by a comparatively simple procedure are important indices for the evaluation of peat.

It is therefore concluded that more accurate ground models can be achieved by conducting detailed measurements of these physical values and using them as parameters.

1 はじめに

東北地方の泥炭地は、その大部分が農地として利用されており、いわゆる「死んだ泥炭地」と称されているものである。このために、北海道の釧路湿原やサロベツ原野などのように自然科学の分野から注目されることも少なく、また、石狩低地のように比較的早くから建設工事の対象となることも少なかった。したがって、北海道の泥炭に比べると、その研究は余り進んでおらず、分布面

積も過少評価されてきた。

しかしながら、近年、建設工事による開発が進むにしたがって、東北地方においても海岸平野の後背湿地やおぼれ谷あるいは内陸盆地などで、農地として利用されている沖積低地のかなり広い範囲に、泥炭の厚い層が分布していることが明らかになってきた。そして、この泥炭層の存在が建設工事の障害となるケースも増えてきたことから、東北地方においても、泥炭が工学研究の対象として注目されるようになった。

東山, 他 (1983) によれば, 東北地方の泥炭地は, 従来考えられていたような狭い範囲に分布しているのではなく, 沖積低地において泥炭地が占める面積比率は約 9% で, 北海道のそれが約 6% であるのに比べると, これを上回る比率を示している。また, 東北地方の沖積低地に分布する泥炭は, 一部を除いてその大部分は, ヨシを主体とする低位泥炭で分解もかなり進んでいる。したがって, 北海道の泥炭に比べると, 一般的に, 圧縮性はやや低いが, 圧密に要する時間は長くなる傾向にある。さらに, 東北地方の泥炭は, 河川の氾濫による影響を強く受けているために, 泥炭地に無機物質が流入し, 鉛直方向の層相変化が著しいなどのように, 建設工事に当たって注意すべきいくつかの特徴を有していることが指摘されている。

このような東北地方の泥炭の特徴に着目して, 中部地域において建設工事の対象となった堆積環境の異なる 4 箇所の泥炭地を選定し, それらの生成環境と物理特性, 強度特性, 圧密特性の検討を行った。

2 泥炭地の概要

検討の対象とした泥炭地は,

- ① No. 1 地区——秋田県横手市 (雄物川流域)
- ② No. 2 地区——山形県酒田市 (新井田川流域)
- ③ No. 3 地区——宮城県利府町 (加瀬沼周辺)
- ④ No. 4 地区——山形県南陽市 (白竜湖周辺)

の 4 箇所で, その位置は図-1 に示す通りである。

各地区の主要構成植物および形態, 水理上から見た分類としては, いずれの地区もヨシ泥炭を主体とする低位泥炭地として位置付けられる。地形的には, No. 1 地区は内陸盆地内の後背湿地, No. 2 地区は海岸平野内の後背湿地, No. 3 地区は海岸平野に連続する丘陵間のおぼれ谷, No. 4 地区は内陸盆地内の湖沼周辺湿地であって, それぞれ異なる形態となっている。

また, 発生論的分類によると, 一般的に「沼沢化型泥炭地」と「陸化型泥炭地」に分けられる(坂口, 1974)。前者は, 主として河川の氾濫などによって後背湿地が形成され, 湿原植物の発生とともに泥炭が生成されたもので, No. 1 地区および No. 2 地区がこの型に該当している。後者は, おぼれ谷の陸化や盆地の埋積による陸化に伴って湿地が形成され, 泥炭が生成されたもので, 泥炭層の下位に腐植泥などの湖成堆積物を伴うことが多い。さらに, 同一地域内であっても陸化の時期が異なると, 泥炭層の厚さが著しく変化するのが特徴である。わが国の泥炭地の大部分は沼沢化型泥炭地であり, 陸化型泥炭地は

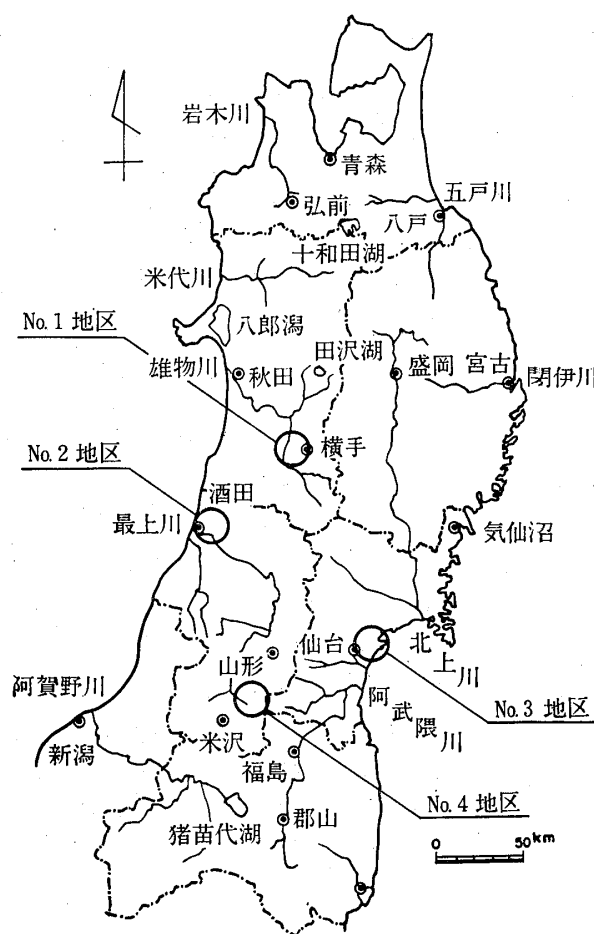


図-1 調査した泥炭地区の位置
Fig.1 Locations of peat areas

少ないといわれているが, No. 4 地区は陸化型泥炭地の典型的なものである。また, No. 3 地区は, 関東地方の平野の洪積台地に刻まれているおぼれ谷と同じように, 縄文海進後の海退に伴う陸化によって形成された陸化型泥炭地である。

上に述べた各泥炭地の概要をまとめると, 表-1 に示すようになる。

これらの各泥炭地の代表的な土質柱状図, 物性値および C^{14} による年代測定の結果を図-2 ~ 図-5 に示す。図中の分解度 h は水洗法 (洗泥法) によって求めた。

(1) No. 1 地区 (横手盆地, 雄物川流域)

図-2 に示すように, 泥炭層の厚さは約 3 m で, 暗褐色を呈する。構成植物はヨシを主体とし, スゲ, ヌマガヤを含んでいる。分解度 h は 80 ~ 100 % と全体的に分解は進んでいるが, 深度 2 m 以浅はやや低い。また, 自然含水比 w_n および強熱減量 L_{500} も全体的には, それぞれ 500 ~ 800 % および 50 ~ 80 % であるが, 深度 1.55 ~ 2.00 m 間においては約 60 % ほど小さい値となっている。なお, この深度区間には直径が数 cm ~ 50 cm 程度の流木が多量

表-1 泥炭地の概要
Table 1 Outlines of 4 peat areas

地区	所在地	地形	分類		
			形態・水理的分類	構成植物による分類	成因別分類
No. 1	秋田県横手市 (雄物川流域)	内陸盆地内の後背湿地	低位泥炭	ヨシ泥炭	沼沢化型泥炭
No. 2	山形県酒田市 (新井田川流域)	海岸平野内の後背湿地	低位泥炭	ヨシ泥炭	沼沢化型泥炭
No. 3	宮城県利府町 (加瀬沼周辺)	海岸平野に連続する丘陵間のおぼれ谷	低位泥炭	ヨシ泥炭	陸化型泥炭
No. 4	山形県南陽市 (白竜湖周辺)	内陸盆地内の湖沼周辺湿地	低位泥炭	上部: ミズゴケ泥炭 下部: ヨシ泥炭	陸化型泥炭

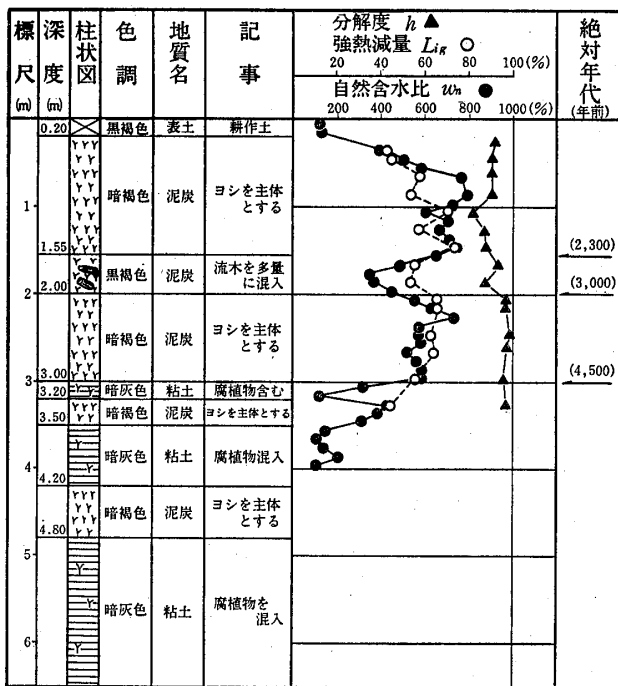


図-2 No.1 地区 (横手盆地, 雄物川流域) における泥炭の代表的柱状図
Fig.2 Typical geologic column of peats in No.1 area (Yokote Basin)

に含まれており、このような状態は数kmにわたって認められる。

この泥炭層の下位は暗灰色の有機質粘土を主体とし、暗褐色の泥炭の薄層を互層状に挟んでいる。

(2) No. 2 地区 (庄内平野, 新井田川流域)

図-3 に示すように、地表から深度1.50mまでは氾濫原堆積物である有機質シルトおよび粘土質シルトで、そ

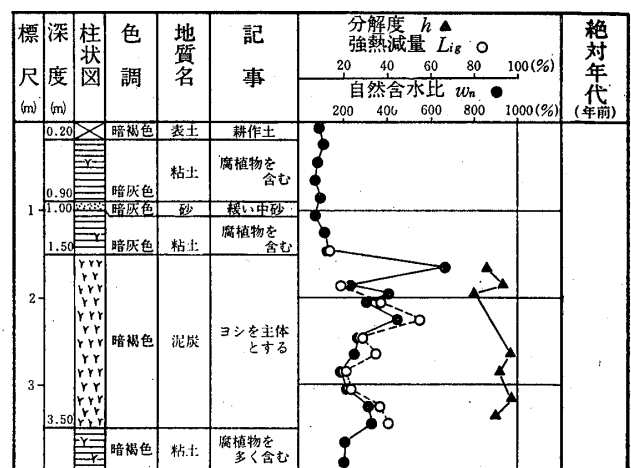


図-3 No.2 地区 (庄内平野, 新井田川流域) における泥炭の代表的柱状図
Fig.3 Typical geologic column of peats in No.2 area (Shonai Plain)

の下位に暗褐色を呈する厚さが約2mの泥炭層が見られる。この泥炭層の構成植物はヨシを主体とし、分解度 h は80~100%で全体的に分解は進んでいる。また、粘土を多く含む、自然含水比 w_n および強熱減量 L_{ig} は、それぞれ200~700%および20~55%と比較的低い値となっている。

泥炭層の下位には暗褐色ないし灰褐色の有機質粘土が分布している。

(3) No. 3 地区 (仙台平野, 加瀬沼周辺)

図-4 に示すように、泥炭層の厚さは約3mで、暗褐色を呈する。構成植物はヨシを主体とし、スゲ、カヤを含んでいる。分解度 h は70~90%で全体的にやや低い値

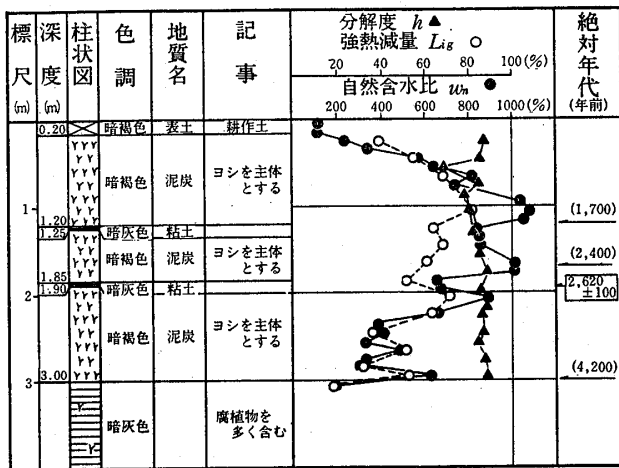


図-4 No.3 地区 (仙台平野, 加瀬沼周辺) における泥炭の代表的柱状図
Fig.4 Typical geologic column of peats in No.3 area (Sendai Plain)

となっている。自然含水比 w_n および強熱減量 L_{ig} は、それぞれ 600~1000% および 20~80% である。泥炭層中には 2 枚の薄い有機質粘土層が挟まれており、この粘土層の付近では、自然含水比および強熱減量ともにその値が小さくなっている。

泥炭層の下位は暗褐色ないし暗青灰色の有機質粘土からなっている。

(4) No.4 地区 (米沢盆地, 白竜湖周辺)

図-5 に示すように、暗褐色を呈する約 5.6m の厚さの泥炭層が深度 0.40~6.00m 間に分布している。構成植物はヨシを主体とし、スゲ、ミズゴケ、ツルコケモモを含んでいる。分解度は下部ほど大きくなっており、深度 1.60m 付近と 3.60m 付近に変化点が見られる。そして、深度 1.60m 以浅はミズゴケを主体とする泥炭で、分解度 h は 55~85% と小さい値を示し、深度 1.60~3.60m の間は 85~95%、深度 3.60m 以深では 95% 以上となっている。この上部のミズゴケ泥炭は、白竜湖周辺数百m にわたって分布している。また、自然含水比 w_n および強熱減量 L_{ig} は、それぞれ、400~1100% および 30~80% であり、分解度の場合と同様に両者ともに深度 1.60m および 3.60m に変化点が見られる。

この地区の特徴としては、深度 2.00~2.40m 間に黒泥層が存在することである。この層は自然含水比が 400~500%、強熱減量が 45~55% で、分解度が 85~95% とかなり分解が進んだものである。そして、この黒泥層直下の泥炭層中からは縄文前期 (5500~4500 年前) の土器が出土している。また、この黒泥層は数 km の範囲にわたって存在することが確認されており、考古学上の重要な鍵層となっている。

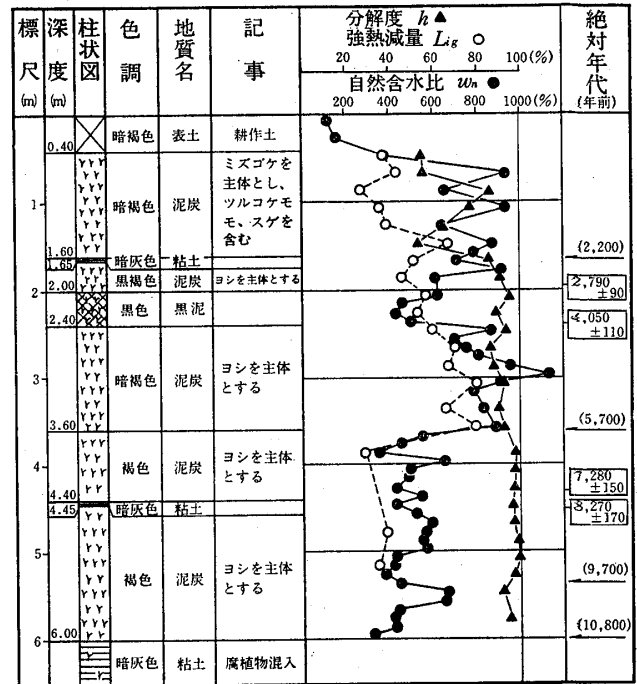


図-5 No.4 地区 (米沢盆地, 白竜湖周辺) における泥炭の代表的柱状図
Fig.5 Typical geologic column of peats in No.4 area (Yonezawa Basin)

また、泥炭層中には 2 枚の薄い暗灰色の粘土層が挟まれている。

3 各地区における泥炭の生成環境について

泥炭は、植物生産量が細菌類などのような土壌微生物による分解量を上回る場合に生成されるもので、地下水位が高く、比較的冷涼で微生物の活動が不活発であることが必要条件である。また、分解の過程において生成した腐植酸や腐植コロイドの吸着によって、泥炭地は一般的に酸性の環境にあり、このことも微生物の活動を抑制する条件となる。したがって、泥炭が分解する条件としては、

- 1) 気候が温暖で、微生物の活動が増大すること。
- 2) 気候が乾燥し、地下水位が低下すること。
- 3) 粘土や砂などのような無機物の混入によって酸性が弱められ、富栄養化するとともに通気性が良くなること。

などが考えられ、現在の泥炭の性状はこのような生成環境を反映したものと見える。

また、泥炭の分解度は構成植物によっても大きく異なり、特にミズゴケはヨシ、スゲ、ゼンマイなどに比べると分解しにくいといわれている。

一般に、世界各地の地表付近に分布する泥炭の層厚は10m以内で、更新世末期～完新世初頭（約10,000年前）以降に生成されたものである。したがって、これらの泥炭の生成環境を考察する場合、更新世末期以降の気候変化を考慮することが必要である。

(1) 泥炭の生成年代と生成速度について

泥炭の生成年代および生成速度を求めるために、No.3地区においては1深度、また、No.4地区においては4深度において、 C^{14} による年代測定を実施した。測定結果によれば、No.3地区においては、深度1.25～1.85mの暗褐色の泥炭の下部で $2,620 \pm 100$ 年となっている。また、No.4地区においては、深度1.65～2.00mの黒褐色の泥炭の下部で $2,790 \pm 90$ 年、深度2.00～2.40mの黒泥層の下部で $4,050 \pm 110$ 年、深度3.60～4.40mの褐色の泥炭の下部で $7,280 \pm 150$ 年、さらに、その下にある深度4.45～6.00mの褐色の泥炭の上部では $8,270 \pm 170$ 年となっている（これらの年代は、図一4および図一5の絶対年代の欄に四角な枠を付けて記入してある）。

これらの地区は、1600年代後半の藩政時代初期の新田開発に伴って水田となったところであり、この時点で泥炭の生成は終了している。したがって、上記の年代測定の結果に基づいて泥炭の生成速度を推定するに当たって、各地区とも泥炭層の最上部を300年前と仮定した。No.3地区においては、深度1.85m以浅の泥炭において、 $0.71\text{mm}/\text{年} (=1,650\text{mm}/2,320\text{年})$ となる。一方、No.4地区においては、深度2.00～2.40mの黒泥層以浅の泥炭においては、 $0.64\text{mm}/\text{年} (=1,600\text{mm}/2,490\text{年})$ であり、この層以深の深度2.40～4.40mの泥炭においては、 $0.62\text{mm}/\text{年} (=2,000\text{mm}/3,230\text{年})$ となる。なお、黒泥層そのものの生成速度は、 $0.32\text{mm}/\text{年} (=400\text{mm}/1,260\text{年})$ で、泥炭の速度の半分程度となっている。

以上に示したように、年代測定から推定される泥炭の生成速度は $0.62 \sim 0.71\text{mm}/\text{年}$ の範囲にあり、その平均は $0.66\text{mm}/\text{年}$ となる。なお、同様な方法によって推定される北海道の泥炭の平均的な生成速度は、 $0.9 \sim 1.0\text{mm}/\text{年}$ であるといわれており、これに比べると東北地方の泥炭の生成速度は比較的遅いことになる。

図一4および図一5の絶対年代の欄には、泥炭中の特徴的な挟み層や分解度の変化点などについて、これらの生成速度から推定される年代を括弧を付して記入してある。なお、図一2（No.1地区）の絶対年代の欄には、生成速度の平均値 $0.66\text{mm}/\text{年}$ を用いて推定した年代を記入してある。

(2) 泥炭の生成過程

さきに述べたように、泥炭の生成については温度や湿

度の影響が大きい。藤（1967）によれば、表一2に示すように、泥炭の生成が始まったと考えられている更新世以降の古気候には、温暖と冷温あるいは乾燥と湿潤の繰り返しが見られる。したがって、これらの変化が泥炭の生成の進展・停滞に関係しているものと考えられる。

図一2～図一5および表一2の記載事項によって泥炭の生成過程を推定すると、つぎのように考えることができる。

内陸盆地にあるNo.4地区（米沢盆地）においては、約10,000年前の先ボレアル期（図一5の深度6.00mのところ）から泥炭の生成が始まったものと考えられる。ついで、ボレアル期に入り（約9,000年前）、冷温・乾燥が進むにしたがって、無機物の混入も多くなり、泥炭の分解度は増加した。そして、ボレアル期の後期からアトラント期の前期にかけての約8,300～7,300年前の間の泥炭生成の休止期間を挟んで、同じような状態がアトラント期中頃まで続いたが、その後の温暖・湿潤の気候は一段と進み、約5,700年前を境として無機物の混入は減少し、泥炭の分解度は若干低下した。なお、アトラント期後半に生成されたと推定される深度2.40～3.60mの暗褐色の泥炭中から縄文前期（約5,500～4,500年前）の土器が出土しており、この地区では縄文人の活動があったことがわかっている。

約4,000年前、亜ボレアル期に入り、縄文海進後の海退に伴って河川の営力が増加するにしたがって、自然堤防や後背湿地が形成された。そして、この地区には多量の氾濫物質の流入があり、人類の活動の場とはなり得なくなった。一方、泥炭の分解が急速に進み、約2,800年前頃までの間に、図一5の深度2.00～2.40m黒泥層が生成された。その後泥炭の生成は再開されたが、約2,200～2,700年前頃になると亜アトラント期の冷涼・湿潤化が進み、無機物の混入は相対的に減少し、泥炭の分解度も低下して現在に至っている。この亜アトラント期における泥炭の分解度の低下は、汎世界的な現象として知られているものである。

また、仙台平野の北端にあるNo.3地区においては、図一4に示すように、約4,200年前の亜ボレアル期の初めに河川の営力が増加することによって、この地区に河川からの氾濫物質が流入し、泥炭の生成が始まったことが推定される。また、深度1.20mおよび深度1.90m付近に粘土層が存在し、これらの深度付近においては、強熱減量、自然含水比ともに相対的に低くなっている。これは、それぞれ、約1,700年前および約2,600年前に、河川の氾濫による無機物の流入があったためと考えられる。松本（1984）によれば、仙台湾における海水準変動とし

表-2 更新世～完新世の編年
Table 2 Geological chronology from the Pleistocene to the Holocene

絶対年代 (前年)	森林植物変遷(気候) による時代区分(北歐)		花粉による区分(日本) 藤(1967)	古気候 藤(1967)
- 1,000	第 完	亜アトランド期 (Subatlantikum)	<i>Cyptomeria</i> (スギ) 優勢	冷涼・湿潤
- 2,000				
- 3,000	四 新	亜ボレアル期 (Subboreal)	<i>Quarcus</i> (コナラ) 漸減 <i>Alnus</i> (カン) 漸増 <i>Picea</i> (トウヒ) 漸増 <i>Cryptomeria</i> (スギ) 漸増	冷温・乾燥
- 4,000				
- 5,000				
- 6,000	紀 世	アトランド期 (Atlantikum)	<i>Quarcus</i> (コナラ) 優勢 <i>Alnus</i> (カン) 優勢 <i>Cryptomeria</i> (スギ) 優勢	温暖・湿潤
- 7,000				
- 8,000	更新世	ボレアル期 (Boreal)	<i>Quarcus</i> (コナラ) 優勢 <i>Pinus</i> (マツ) 優勢	冷温・乾燥
- 9,000				
- 10,000	更新世	先ボレアル期 (Präboreal)	<i>Fagus</i> (ブナ) 優勢 <i>Abies</i> (モミ) 優勢 <i>Larix</i> (カラマツ) 優勢	冷 涼
- 11,000				

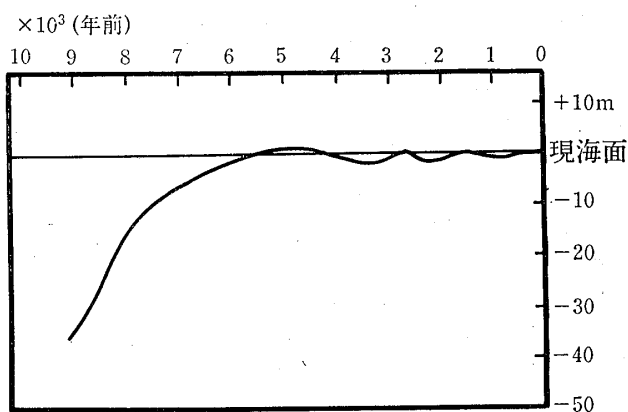


図-6 仙台湾の海面変化曲線 (松本, 1984)
Fig. 6 Sealevel change in Sendai Bay and neighborhood (after Matsumoto, 1984)

ては、図-6に示すように、約5,000年前の縄文海進以後、約2,700年前と約1,600年前の2度にわたって小海進があったことが推定されており、これらは上記の無機物の流入の推定年代と一致する。すなわち、この時期の河川の営力の増加が無機物の流入の原因であったことが考えられる。

他の地区について、このような対比を行って見ると、No.1地区の深度1.55~2.00mの黒褐色の泥炭(約3,000

年前以降と推定される)には、多量の流木が含まれており、また、強熱減量および自然含水比が相対的に低くなっている。さらに、No.4地区の深度1.60m(約2,200年前)付近には暗灰色の薄い粘土層が存在し、ここでも強熱減量および自然含水比が相対的に低くなっている。これらの現象は河川の氾濫による影響を受けたためと考えられ、河川の氾濫時期には地域的な差異があったようである。

以上に述べたように、泥炭の分解度、強熱減量および自然含水比の変化は、大きくは汎世界的な気候によって規制されるというものの、深さ方向における分解度の極端な変化は構成植物の種類に起因し、また、強熱減量および自然含水比については河川の氾濫に起因するものと考えられる。したがって、泥炭は、一般に考えられているように、水平方向にも垂直方向にも不均質な土ではなく、垂直方向の変化は著しいが、水平方向には一定の広がりをもった土として扱うことができるものと考えられる。

4 泥炭の工学的性質

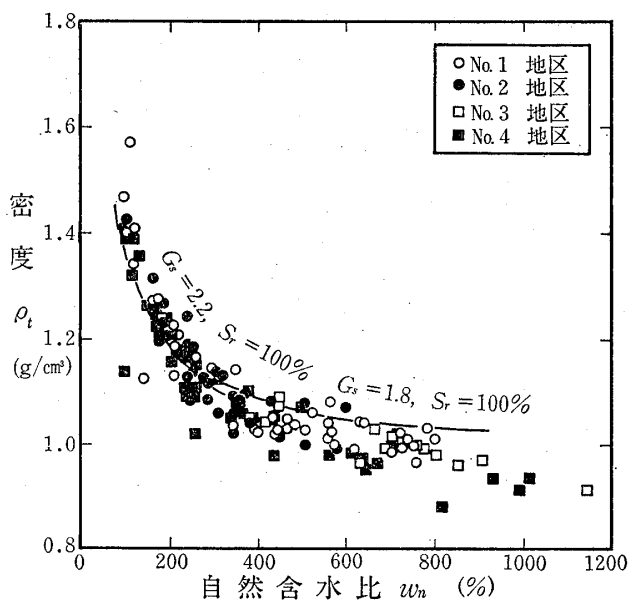
4・1 物理特性

土質工学的には有機物含有量が20%以上の有機質土を泥炭として定義することが多い。また、宮川(1959)は、北海道の泥炭について、自然含水比 w_n と強熱減量 L_{ig} との間に、 $w_n=10 \times L_{ig}$ の関係があると述べている。したがって、自然含水比を指標にすると、自然含水比が200%程度以上であることを泥炭の一応の目安にすることができる。しかし、ここでは泥炭の特性を明確に把握するために、自然含水比が100~200%の有機質粘土をも含めて、土質試験のデータを整理した。

(1) 自然含水比と密度および比重の関係

図一七に自然含水比 w_n と密度 ρ_t との関係を示す。この図によって自然含水比 w_n の分布を見ると、No.1地区では100~800%、No.2地区では100~600%、No.3地区では400~900%、No.4地区では100~1200%の範囲に分布しており、地区によって分布範囲には若干の相異が認められるが、自然含水比 w_n と密度 ρ_t との関係には地区による差はほとんど認められない。

一方、図一八に示す自然含水比 w_n と比重 G_s との関係においては、各地区ともばらつきは著しいが、包絡線の形から見ると、自然含水比が100~300%の範囲においては、自然含水比が増加するにしたがって比重の値は急激に減少している。しかしながら、自然含水比が300%以上においては、緩やかな減少となっている。そこで、図中の太い実線で示すような関係があるものとするれば、自然含水比が100~300%の範囲における比重の中央値を2.2、300%以上における中央値を1.8とみなすことができる。

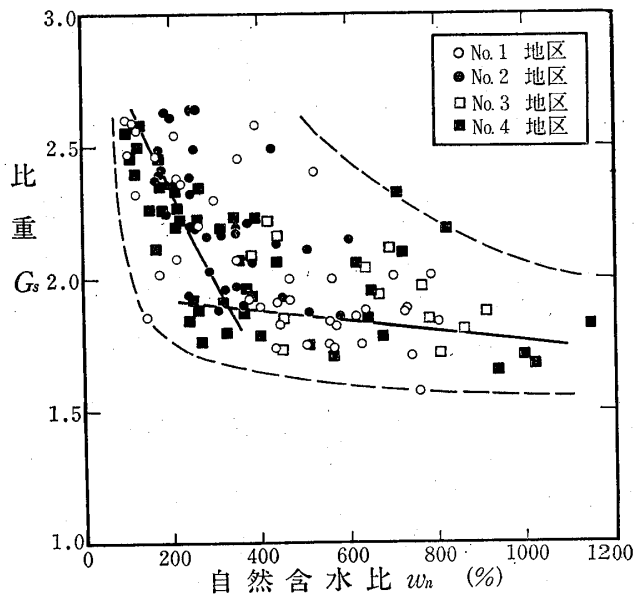


図一七 自然含水比と密度との関係
Fig. 7 Relationship between natural water content and density

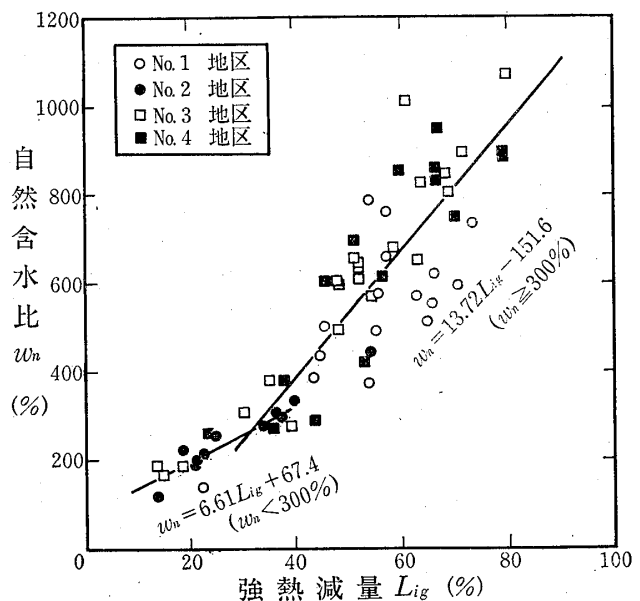
これらの中央値を用いて、飽和度100%としたときの自然含水比 w_n と密度 ρ_t との関係の求めると、図一七に示す実線のようになり、実測値と比較的良好一致を示している。

(2) 強熱減量と自然含水比との関係

図一九は強熱減量 L_{ig} と自然含水比 w_n との関係を示したものである。この結果によれば、強熱減量が増加するにしたがって自然含水比も増加しているが、自然含水比が約300% (強熱減量が約30%) 以上になると、強熱減



図一八 自然含水比と比重との関係
Fig. 8 Relationship between natural water content and specific gravity



図一九 強熱減量と自然含水比との関係
Fig. 9 Relationship between ignition loss and natural water content

量の増加に対する自然含水比の増加の割合が急に大きくなっている。すなわち、自然含水比 $w_n=300\%$ を境にして、強度減量 L_{ig} と自然含水比 w_n との関係は、つぎのように表すことができる。

$$w_n < 300\% \quad w_n = 6.61 L_{ig} + 67.4 \quad (r = 0.615)$$

$$w_n \geq 300\% \quad w_n = 13.72 L_{ig} - 151.6 \quad (r = 0.824)$$

ここに、 r は相関係数である。

これらの関係は、宮川 (1959) が北海道の泥炭について示した関係

$$w_n = 10L_{ig}$$

とは異なっている。これは、北海道の泥炭が比較的分解度が低く繊維質であるのに対して、今回の試験の対象となった東北地方の4地区の泥炭は、分解度が高く粘土質の部分を含んでいる。このような相異によって、東北地方と北海道の強熱減量と自然含水比との関係に相異をもたらしたものと考えられる。

(3) 分解度と自然含水比との関係

分解度 h と自然含水比 w_n との関係を図-10に示す。この図の示すように、No. 4地区のミズゴケ泥炭を除くと、分解度 h は80~100%の範囲であるのに対して、自然含水比 w_n は200~1100%の範囲にあり、そのばらつきは極めて著しい。たとえば、分解度 h が90~92%では自然含水比 w_n は、ここに示すほとんど全範囲に分布しており、有意な関係は認められない。しかしながら、各分解度に対する自然含水比の分布の上限および下限から、自然含

水比 w_n のおおよその中央値を求めると実線のようにになる。分解度 h と自然含水比 w_n との間に上記の実線で示すような傾向があるとすれば、分解度 h が100%において自然含水比 w_n は200~400%であることになる。

また、この試験の水洗法で使用したふるいは $74\mu\text{m}$ であるので、自然含水比 w_n が300%以下の泥炭は、ほとんどシルト、粘土、コロイドなどの細粒分で構成されていることになる。

なお、ミズゴケを多く含む試料 (No. 4地区の深度1.60m以浅の試料) は、それ以外のヨシを主体とする試料に比べると、同一自然含水比 w_n に対する分解度 h は低くなっている。

(4) 分解度と強度減量との関係

分解度 h と強度減量 L_{ig} との関係を図-11に示すようになる。この図から明らかのように、ヨシを主体とする泥炭の場合、分解度 h の範囲が80~100%であるのに対して、強熱減量 L_{ig} は20~80%の範囲にあり、ばらつきが極めて大きく有意な関係は認められない。しかしながら、さきの分解度と自然含水比との場合と同様に、分解度 h に対する強熱減量 L_{ig} の中央値によれば、分解度 h が100%に近いときには、強熱減量 L_{ig} が20~30%あるいはそれ以下であると考えることができる。また、強熱減量の増加すなわち無機物含有量の減少とともに分解度が低くなる傾向が見られ、その低下率は、ヨシを主体とする泥炭に比べ、ミズゴケを多く含む泥炭の方がかなり高くなっている。これは、ヨシに比べて、ミズゴケの方が分解し難いことを意味している。

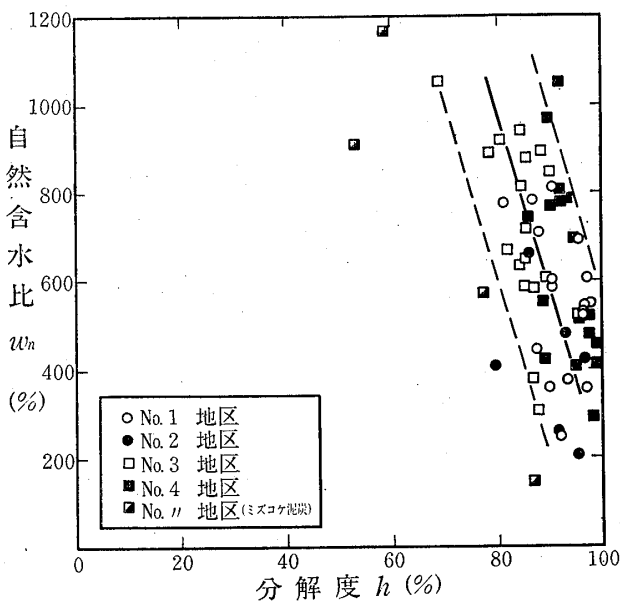


図-10 分解度と自然含水比との関係
Fig. 10 Relationship between decomposition of peat and natural water content

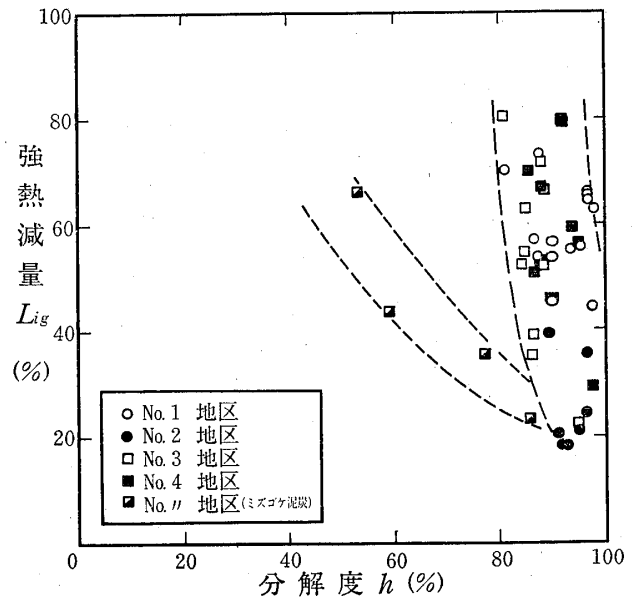


図-11 分解度と強熱減量との関係
Fig. 11 Relationship between decomposition of peat and ignition loss

以上に述べた土質試験の結果を総合すると、つぎのようにまとめることができる。

自然含水比が300%程度より小さく、強熱減量が20~30%あるいはそれ以下の泥炭においては、分解度は100%に近い値を示し、粒径的には「細粒土」に該当する。また、自然含水比が減少するとともに比重は急速に増加し、有機質粘土の領域に連続する。

一方、自然含水比が300%程度より大きく、強熱減量が30%以上の泥炭においては、強熱減量の増加すなわち無機物含有量の減少とともに分解度も減少し、未分解の植物繊維が増加するが、その割合は構成植物によって異なっている。また、無機物含有量および比重が減少するとともに自然含水比は増加しているが、さきに示した自然含水比が300%程度より小さく、強熱減量が20~30%あるいはそれ以下の泥炭に比較すると、その増加の割合は大きくなっている。これは、分解度が減少するとともに未分解の植物繊維が増加し、含水量が増大するためと考えられる。

4・2 強度特性

自然含水が300%程度（強熱減量が20~30%程度）を境にして泥炭の物理特性が異なるとすれば、強度特性にもその傾向が現われることが予想される。

図-12は、4地区の泥炭について得られた自然含水比 w_n と一軸圧縮試験における破壊ひずみ ϵ との関係を示したものである。この図によれば、全体としては、自然含水比 w_n が大きくなると破壊ひずみ ϵ も大きくなる傾向があることがうかがえる。しかしながら、一軸圧縮試験における応力~ひずみ曲線において明瞭なピークが現れ

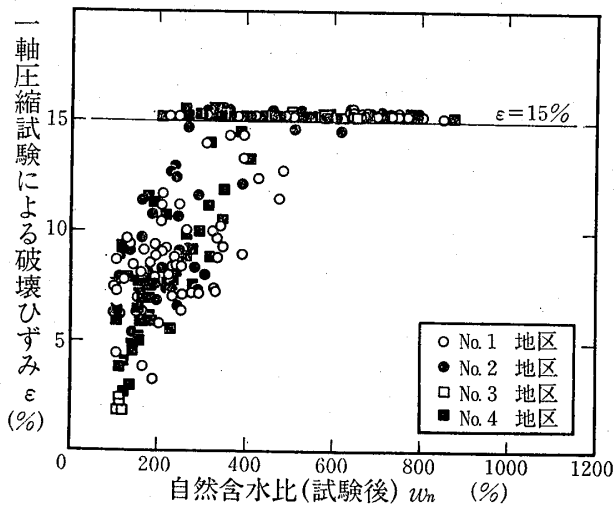


図-12 自然含水比と破壊ひずみとの関係
Fig.12 Relationship between natural water content and strain at failure

ない試料は、自然含水比の値によらず存在しているが、自然含水比 w_n が500%程度以上になると、試験を行ったすべての試料においてピークが現れていない。この原因としては、サンプリング時や整形時の乱れによることが考えられるとしても、自然含水比が大きくなることは植物繊維の増加を意味しており、一軸圧縮試験時に排水せん断が生じるという泥炭特有の強度特性を反映したものと考えられる。

図-13は、No.4地区における泥炭について、2ton型ダッチコーンおよびピエゾコーンを用いて実施した試験から得られたコーン指数 q_c と一軸圧縮強度 q_u との関係を示す。

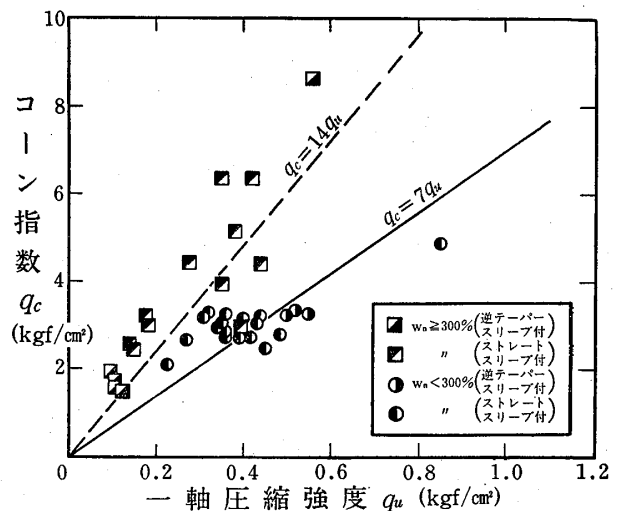


図-13 一軸圧縮強度とコーン指数との関係
Fig.13 Relationship between unconfined compressive strength and cone resistance

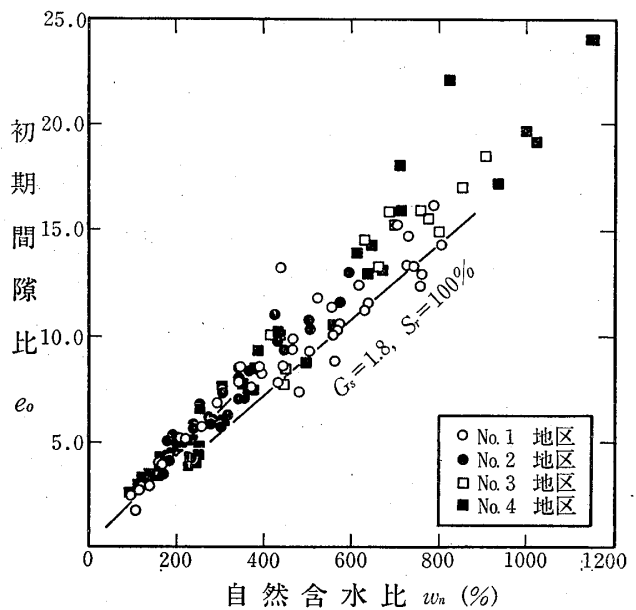
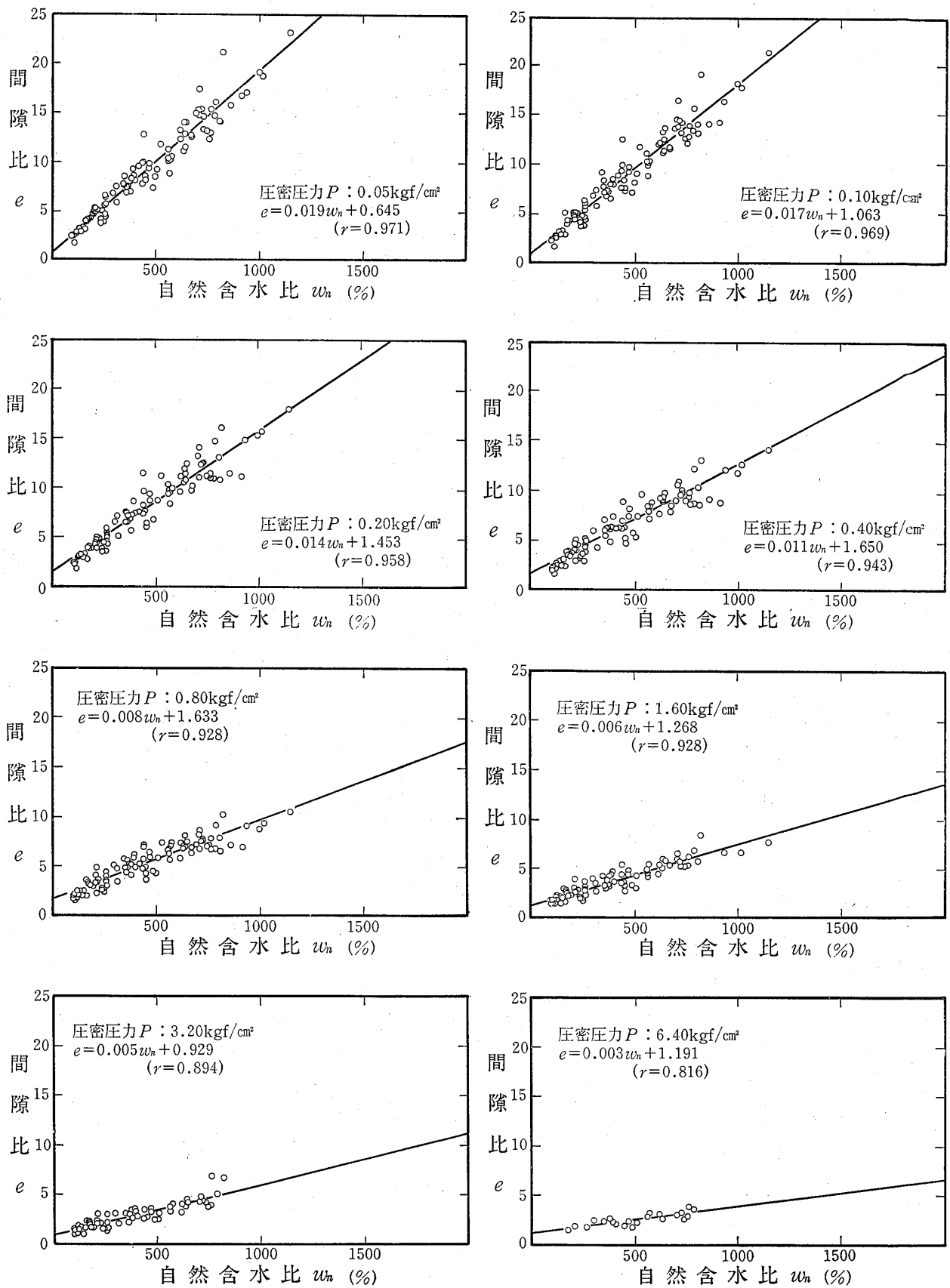


図-14 自然含水比と初期間隙比との関係
Fig.14 Relationship between natural water content and initial void ratio



図一五 各圧密圧力段階における自然含水比と間隙比との関係
 Fig. 15 Relationship between natural water content and void ratio at each consolidation pressure

自然含水比 w_n が300%以上と以下に分けて示したものである。

一般に、粘土の場合、ダッチコーンやピエゾコーンのようなマントルコーンにおいては、コーン指数 q_c と非排水条件下の粘着力 C_u との間には、

$$q_c = 14C_u$$

に近い関係があるとされている。また、さきに述べたように、泥炭に対しては、一軸圧縮試験において排水せん断が生じるような問題はありますが、通常の飽和粘土の場合と同様に、

$$C_u = q_u / 2$$

の関係が成り立つものとすれば、

$$q_c = 7q_u$$

となる。このコーン指数と一軸圧縮強度の関係を図-13 に記入すると、自然含水比 w_n が300%以下の泥炭においては、おおむね上記の関係が成り立っていることがわかる。これに対して、自然含水比 w_n が300%以上の泥炭においては、 $q_c = 14q_u$ に近い関係となる。

一般に、単純コーンに比べてマントルコーンにおいては、マントル部の摩擦抵抗分だけ摩擦抵抗が増加するため、 $q_c \sim C_u$ 関係の係数の値は増加し、 $\phi = 3 \sim 10^\circ$ の土の場合には、

$$q_c = (14 \sim 20)C_u$$

になるといわれている。

実際に、自然含水比が300%以上の泥炭においては、植物繊維が多いためにコーン貫入時に排水せん断が行われ、若干の ϕ が現われるために係数値が大きくなるものと考えられる。このことは、自然含水比 w_n が300%以下の泥炭に比べて300%以上の泥炭の方が、ピエゾコーン貫入時の過剰間隙水圧が低いことから裏付けられる。

4・3 圧密特性

さきに示したように、泥炭の物理特性や強度特性は、普通の粘性土とは異なり、有機物含有量や分解度などに強く依存しており、また、垂直方向の層相変化が著しいために、少ない圧密試験のデータに基づいて沈下量や沈下時間を予測しても、実際に予測通りに沈下が進行することはほとんどない。そのために、従来から自然含水比をパラメータとして圧密定数を整理することが試みられている。小黒、他(1979)は、 $e-\log P$ 曲線が自然含水比によって区分することができること示しており、また、

佐々木(1980)は、圧密沈下に関する定数である圧密指数 C_c 、体積圧縮係数 m_v 、 $e-\log P$ 曲線などが自然含水比 w_n によって比較的明瞭に区分され、これらによって行

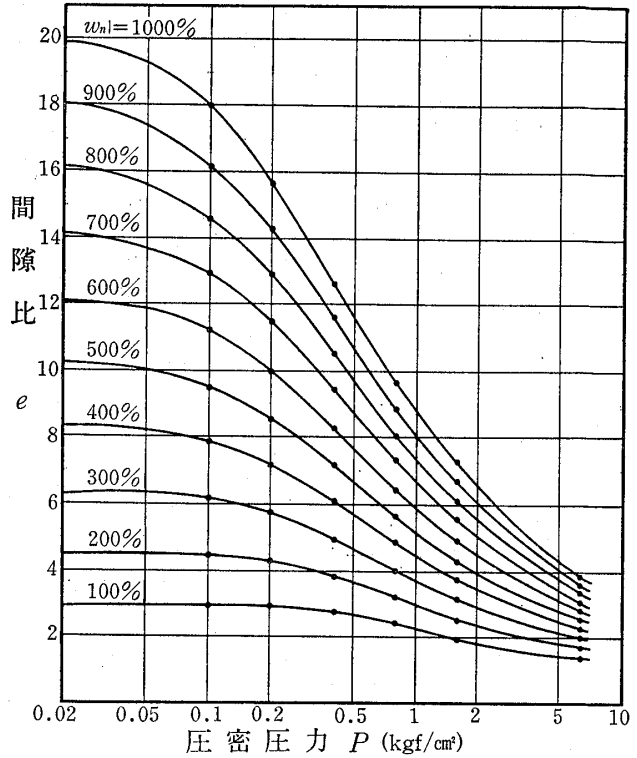


図-16 自然含水比をパラメータとした標準的な $e-\log P$ 曲線
Fig. 16 Average curve of $e-\log P$

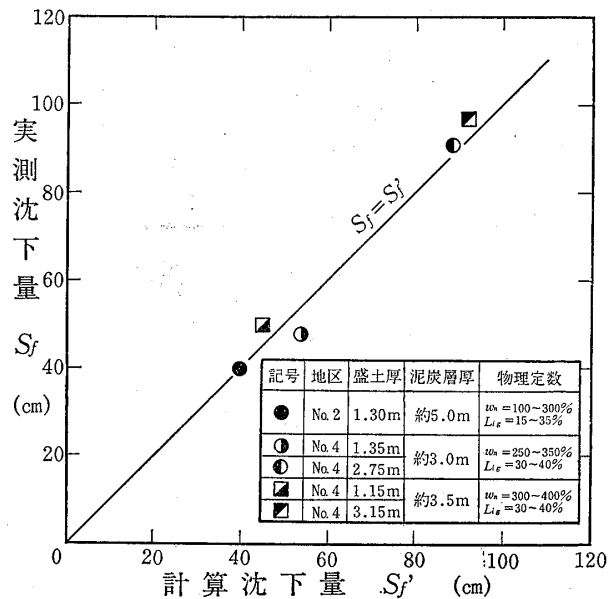


図-17 最終沈下量の実測値と計算値との比較
Fig. 17 Comparison of actual measured values and calculated values of the final settlement

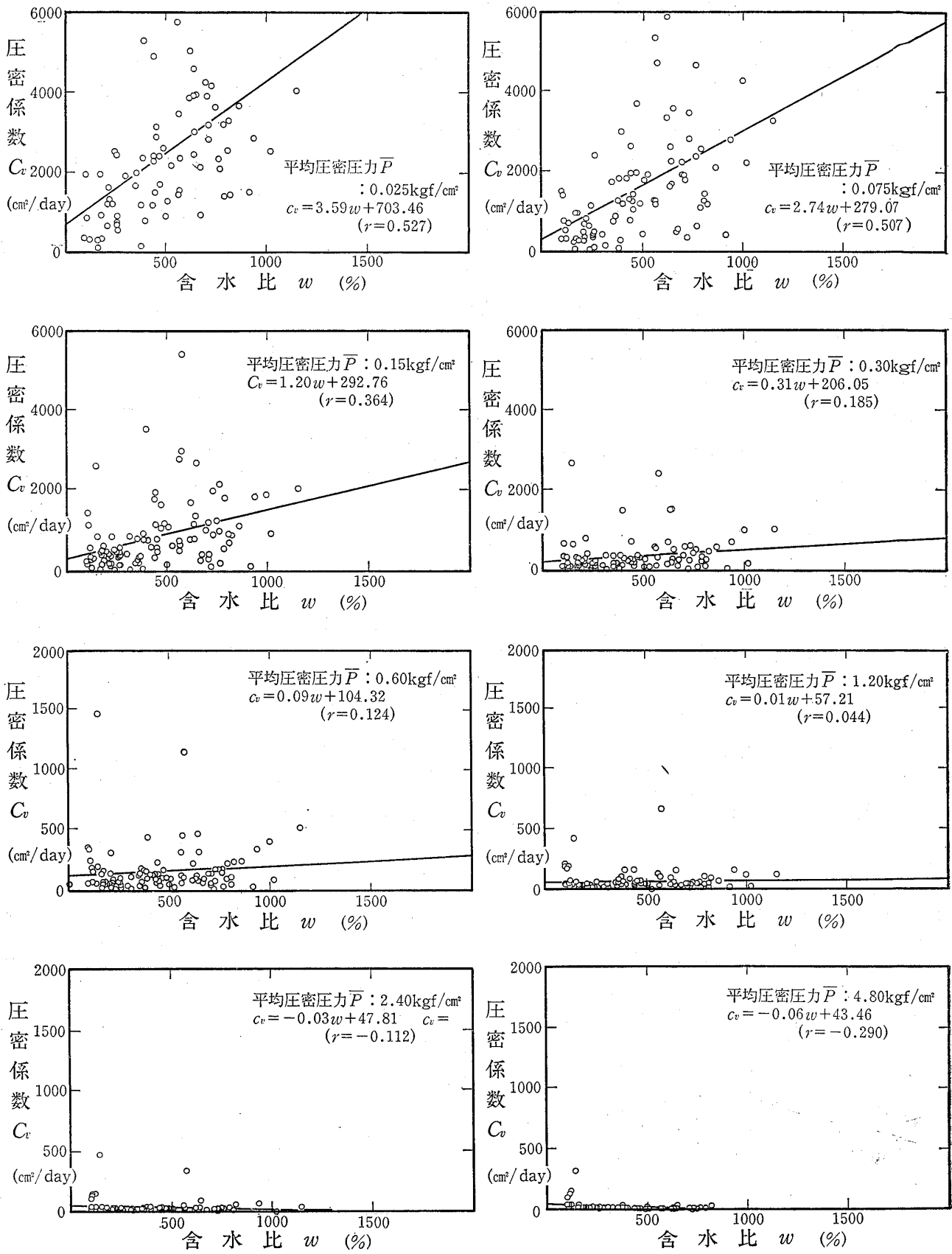
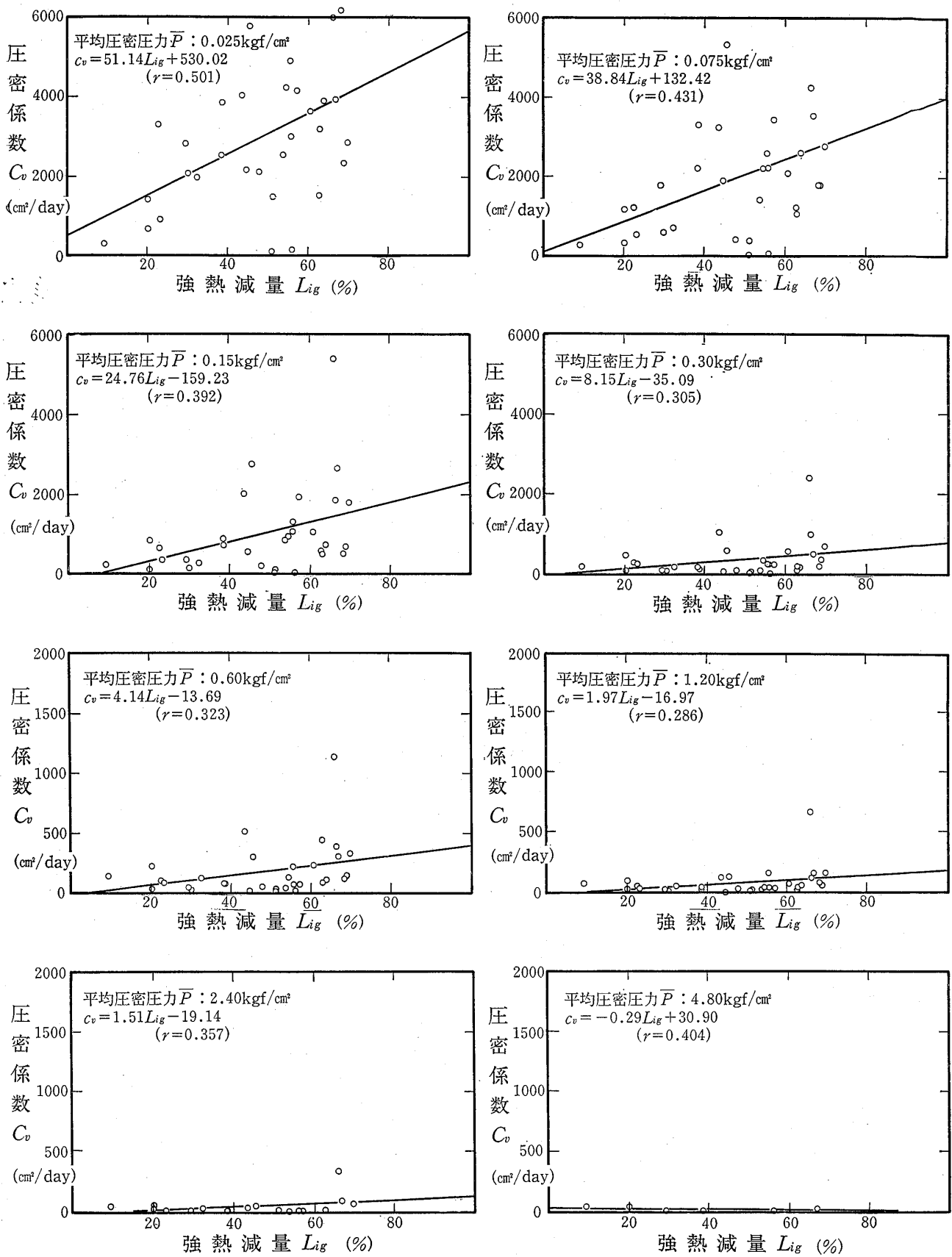


図-18 各平均圧密圧力における含水比と圧密係数との関係
 Fig.18 Relationship between water content and coefficient of consolidation at each average consolidation pressure



図一十九 各平均圧密圧力における強熱減量と圧密係数との関係
 Fig.19 Relationship between ignition loss and coefficient of consolidation at each average consolidation pressure

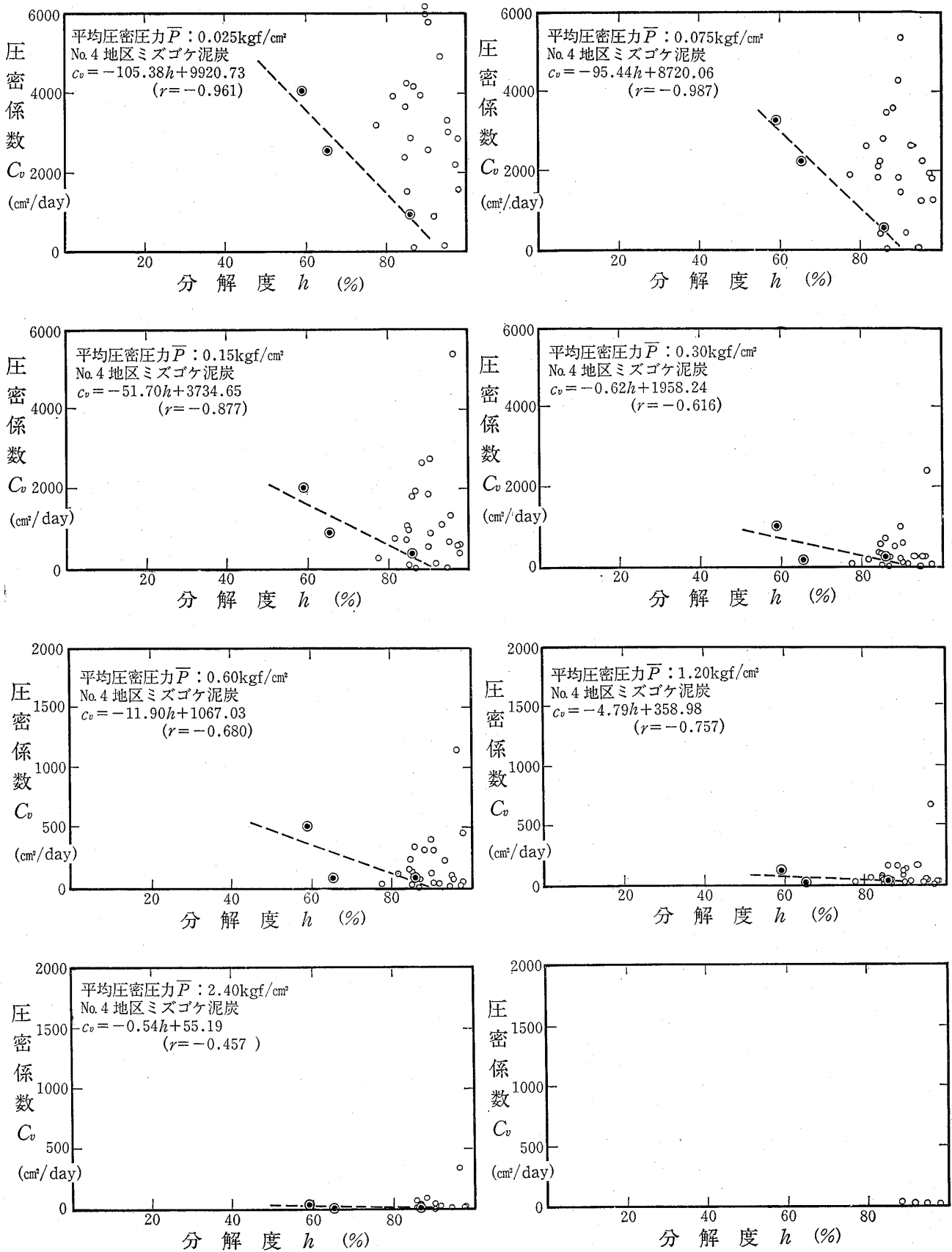


図-20 各平均圧密圧力における分解度と圧密係数との関係
 Fig. 20 Relationship between decomposition and coefficient of consolidation at each average consolidation pressure

った理論計算結果が、おおむね実測の最終沈下量に近い値を示したことを報告している。

(1) e - $\log P$ 曲線

図-14は、自然含水比 w_n と初期間隙比 e_0 との関係を図別示したものである。この図から明らかなように、地区による相異は認められない。なお、自然含水比と密度および比重との関係(図-7および図-8)を検討したときには、自然含水比が約300%を境にして比重の減少率が大きく変化していたために、それぞれについて比重を2.2および1.8、飽和度を100%としたときの曲線を求め、これと実測値との比較を行った。ここでもこれらの値を用いて、自然含水比 w_n と初期間隙比 e_0 との関係を求め実線で記入した。これらの実線と実測値とを比較するとき、自然含水比の範囲によって区分するほどの相異は認められない。したがって、自然含水比の全領域にわたって、自然含水比 w_n と初期間隙比 e_0 との関係を一次関数で表すと、

$$e_0 = 0.019w_n + 0.65 (r = 0.969)$$

となり、極めて良好な関係がある。

図-15は、自然含水比 w_n と間隙比 e との関係を圧密圧力段階別にプロットしたもので、それぞれの圧密圧力段階別に求めた自然含水比 w_n と間隙比 e との関係式および相関係数は下記の通りである。

$$\begin{aligned} e &= 0.019w_n + 0.65 (r = 0.971) & (P = 0.05 \text{ kgf/cm}^2) \\ e &= 0.017w_n + 1.06 (r = 0.969) & (P = 0.10 \text{ kgf/cm}^2) \\ e &= 0.014w_n + 1.45 (r = 0.958) & (P = 0.20 \text{ kgf/cm}^2) \\ e &= 0.011w_n + 1.65 (r = 0.943) & (P = 0.40 \text{ kgf/cm}^2) \\ e &= 0.008w_n + 1.63 (r = 0.928) & (P = 0.80 \text{ kgf/cm}^2) \\ e &= 0.006w_n + 1.27 (r = 0.928) & (P = 1.60 \text{ kgf/cm}^2) \\ e &= 0.005w_n + 0.93 (r = 0.894) & (P = 3.20 \text{ kgf/cm}^2) \\ e &= 0.003w_n + 1.19 (r = 0.816) & (P = 6.40 \text{ kgf/cm}^2) \end{aligned}$$

相関係数は、圧密圧力が大きくなるにしたがって小さくなっているが、0.971~0.816の範囲の高い値を示しており、いずれの段階においても比較的良好的な関係にあることが判明した。図-15に示した一次式で表される自然含水比 w_n と間隙比 e との関係をj用いて作成した標準的な e - $\log P$ 曲線を図-16に示す。

つぎに、図-16に示した曲線に基づいて、自然含水比の深度分布から e - $\log P$ 曲線を設定して計算した道路盛土の沈下予測値と実測した沈下量との比較を行った結果は、図-17に示す通りである。この図に示す沈下量は、計算値および実測値ともに、泥炭層のみの値である。なお、予測のための計算の条件はつぎの通りである。

- ① 盛土の荷重はオスターバークの提案式を用いて、応力分散を考慮する。
 - ② 地下水位は地表面とし、浮力を考慮した試行錯誤計算を行う。
 - ③ 計算には即時沈下や二次圧密は考慮しない。
- 一方、実測による最終沈下量は、圧密度70~80%において双曲線法によって求めた。

図-17に示すように、計算値と実測値とは極めて良く一致しており、図-16に示す e - $\log P$ 曲線は、東北地方の泥炭層に対する適用性が極めて高く、実用に供することができるものである。

(2) 圧密係数

沈下時間に関する圧密係数 c_v についても、間隙比の場合と同じように、自然含水比 w_n との関係を求めると、図-18のようになる。これらの図から明らかなように、ばらつきが大きく、一次関数で表した場合の相関係数の値は、0.527~-0.290の範囲で実用性はない。

同様に、強熱減量 L_{ig} および分解度 h との関係を求めたが、いずれも相関係数は小さく実用性はない(図-19および図-20)。ただし、図-20の分解度 h と圧密係数 c_v との関係において、ミズゴケを多く含む泥炭のみについて見ると、試料数は少ないとはいえ、いずれの平均圧密圧力段階においても、分解度 h が高くなると圧密係数 c_v がおおむね直線的に低くなる傾向が認められ、一次関数で表したときの相関係数は-0.987~-0.457の範囲にある。

いずれにしても、圧密係数 c_v に関しては、現在のところ物理量との関係は全く明らかでないといわざるをえない。この意味において、図-18~20をあえてここに提示した。

5 あとがき

東北地方における代表的な泥炭地域と考えられる4地区における泥炭について、建設工事との関連において、その特性の検討を行い、東北地方に分布する泥炭層の沈下量予測に最適な e - $\log P$ 曲線を求めた。

しかしながら、実施工における設計強度を評価する場合には、実際の現場における泥炭の破壊限界などを求めて、これらと強度定数との対比を行い、信頼性のある関係を把握することが必要である。このために、今後は、東北地方の泥炭上の盛土の破壊あるいは変形と泥炭の強度、特に連続的な強度が得られるコーン指数などとの関連を求め、泥炭強度に対する有効な評価手法を検討する予定である。また、今回の試験では、試料数が少なかつ

たために明確なことはわからなかったが、ミズゴケを多く含む分解度の低い泥炭については、分解度をパラメータとすることによって、圧密係数の値を評価することができる可能性があると考えられ、今後の課題として検討するつもりである。

参 考 文 献

- 東山勇, 月館光三, 及川洋, 対馬雅己, 矢橋晨吾, 吉田力(1983): 東北地方における泥炭の分布と理工学的性 土と基礎 Vol. 31, No.1, pp.71~75.
- 宮川勇(1959): 泥炭地の土質工学的調査研究 第1報~第4報 北海道開発局土木試験所報告 No.20, No.21.
- 松本秀明(1984): 海岸平野に見られる浜堤列と完新世後期の海水準微変動 地理学評論 No.57, pp.720~738.
- 佐々木晴美, 能登繁幸, 東海林邦夫(1980): 泥炭の圧密試験データの統計的処理結果と沈下予測について 北海道開発局土木試験所報告 No.322, pp.1~7.
- 小黒讓司, 菅原紀明, 佐藤勝英(1979): 関東平野における腐植土層の分布と土質工学的性質 応用地質調査事務所年報 No.1, pp.105~131.

