

関東平野における腐植土層の分布と土質工学的特性

小黒 譲司・菅原 紀明・佐藤 勝英

Distribution and Soil Engineering Properties of Peat in Kanto Plain Strata

Joji OGURO
Noriaki SUGAWARA
Katsuhide SATO

Abstract

Peat, which is a component of the top portion of the Kanto Plain dilluvial layer, is weak, highly compressive and presents various problems in filling operations for residential building, etc..

Peat is a principal component of dendritic valleys that etch dilluvial terraces. It also accumulates in the back marshes of major river flood plains.

Peat accumulations in dendritic valleys are irregular in distribution. There is a tendency for the thickest accumulations with the highest water content to form in an area somewhere between 2 and 4 km towards the center of the valley as measured from the outlet. Furthermore, peat accumulations that are the thickest and the highest in water content are found not in the central portions of straight line valleys, but in open basins found in vegetated terraces.

It was found that the two regions in the Kanto area whose valleys contain the thickest peat with the highest moisture content were the Shimofusa and Omiya terraces.

The classification of peat according to its natural water content provides as accurate gauge of its soil engineering properties. When building on peat layers, it is desirable to adopt a compressive stress with a strain of from 3% to 5%. When peat with a water content of 400% to 500% or more is at peak strength or is under a stress of 15%, the water content value is reduced by about half.

We may classify peat by using consolidation constants and natural water content ratios. The following formula gives the correlation of these with the M_v value:

$$M_v = (0.2445 \log W_n - 0.3655) \bar{P}^{-\left(0.8875 + \frac{W_n - 100}{16.265 W_n - 304.4}\right)}$$

Generally, C_v values tend to be quite varied, but because this value falls into a very narrow range with peat whose natural water content is above 400%, it is possible to give a typical C_v value.

When residential construction is carried out in areas in which peat is widely distributed, it is important to take into account these special characteristics of the soil in order to plan effective surveys.

1 まえがき

過去25年間にわたり関東地方で我々は無数と言っていくらいのボーリングによる地質調査を行ない、ある時点ではそれらを取りまとめて関東地方の地盤図を作成したり、各プロジェクトに関連して数多くの地質断面図作成に従事してきた。これらの資料を地質学的観点および土質工学的観点から取りまとめて全体的に評価できる資料とすることは非常に重要な意義をもっていることと考えている。

最近の東京周辺の宅地造成事業は、従来、利用度の低かった台地間の谷地がおもな対象地となってきた。このような谷地には腐植土層が厚く堆積しており、造成工事完了後の不等沈下や盛土法面のりり破壊等の事故がしばしば発生し、各種の障害の原因となっている。

このような点から考えて、腐植土層の分布と性質について取りまとめることは緊急を要することであると判断から、腐植土問題をとりあげることにした。

盛土造成に関する腐植土対策は、極端に言えばプレロード工法しかない和我々は考えているが、この問題についてもいずれ稿をあらためて報告する予定である。

腐植土層は沖積層、洪積層いずれにも分布するが、洪積層および沖積層と洪積層の境界面に発達する腐植土層は、通常圧縮されて、硬質となっており、層厚も薄いことからあまり土質工学的な問題はない。しかしながら、現在の沖積面の表層部に厚く分布する腐植土層は大部分軟弱・高圧縮性であり、土質工学的に充分な配慮を必要とする。この軟弱な腐植土層は主として完新世後期（今から3,000～5,000年前）より現在に至る比較的新しい時代の推積物であると推定される。

本報告においては、関東平野全域でどのような所どのような厚さで軟弱な腐植土層が分布するかを整理し、また腐植土層の土質工学的な性質の相関性を明らかにし、最も有効なパラメーターの一つとして自然含水比が考えられることを述べた。

2 関東平野の腐植土層の分布

2-1 腐植土層分布の概要

関東平野の表層部を占める軟弱な腐植土層の分布する箇所を既存ボーリング柱状図を基に図-1に示した。この図の作成にあたっては、地形的な特徴を考慮して類推した所もある。関東平野において腐植土層の分布する地形的特徴は洪積台地に刻まれた樹枝状谷の出口がせきとめられた湖沼地、沼沢地、湿地などの埋積地で水田や湿地となっている所が大部分である。谷の出口がせきとめ

られた原因は、土砂供給の多い河川の影響によるものと海岸砂州、砂丘の影響によるものの二つに大別される。その他に利根川、荒川、相模川の氾濫原に形成された後背湿地にも腐植土の堆積がみとめられる。

図-2には、腐植土層の層厚をメートル単位で四捨五入し数字で表わした。これによると、大略次の特徴が明らかである。

- ① 氾濫原後背湿地に分布する腐植土層の層厚は1～2 m程度であり、層厚が薄いことが一般的である。
- ② 1つの谷の中の腐植土層の層厚は極めてバラツキが大きく、谷全体で一様な厚さを示すことはほとんどなく、総じて直線的な谷の中央よりも、屈曲した枝谷部で厚い分布を示す傾向がある。
- ③ 腐植土層の特に厚く分布する地域は鶴見川三角州、養老川三角州の後背地と、荒川と接する側の大宮台地に刻まれた谷部、利根川と接する下総台地の谷部があげられる。
- ④ 直線状の谷の下流では腐植土層が欠如している所が多い。

図-3には、腐植土層の平均含水比を100%の単位で四捨五入して、整数で表わした。腐植土層の含水比は100～900%の範囲にあり、一つの谷の中にあってもバラツキが著しい。

腐植土層の自然含水比は後述するように明瞭にその圧縮性と相関性がある。また圧縮量は層厚に比例することから、自然含水比 W_n 、層厚 H の単純な積 $W_n \cdot H$ を腐植土の産状指数と呼び図示したのが図-4である。産状指数 $W_n \cdot H$ は、平均含水比200%、層厚5 mの場合、 $W_n \cdot H = 2 \times 5 = 10$ と表わし、平均含水比 $W_n = 300\%$ 、層厚 $H = 6$ mの場合は $W_n \cdot H = 18$ と表わした。図-4には $W_n \cdot H$ が20以上のものについて○で印したが、その○の多い所は含水比の高い腐植土層が厚く分布するところを意味する。○印の多い所は図-4から、大宮台地および下総台地に刻まれた谷地であり、他所では非常に少ない。

2-2 谷地における腐植土層の変化

前節で一つの谷の中の腐植土層の分布が一様ではないことを述べたが、2～3の谷地においてこの状況を詳細にみてみると次の通りである。

1) 下総台地における腐植土層の分布

図-5は印旛沼に連なる支谷の腐植土層の層厚と自然含水比の分布を調べたものである。横軸の料程は支谷が印旛沼に出る出口を0 kmとして谷奥方向に距離をとったものである。

腐植土層と言っても組成は均一ではないので、各種のインデックスにバラツキが生ずるのはやむをえないことで

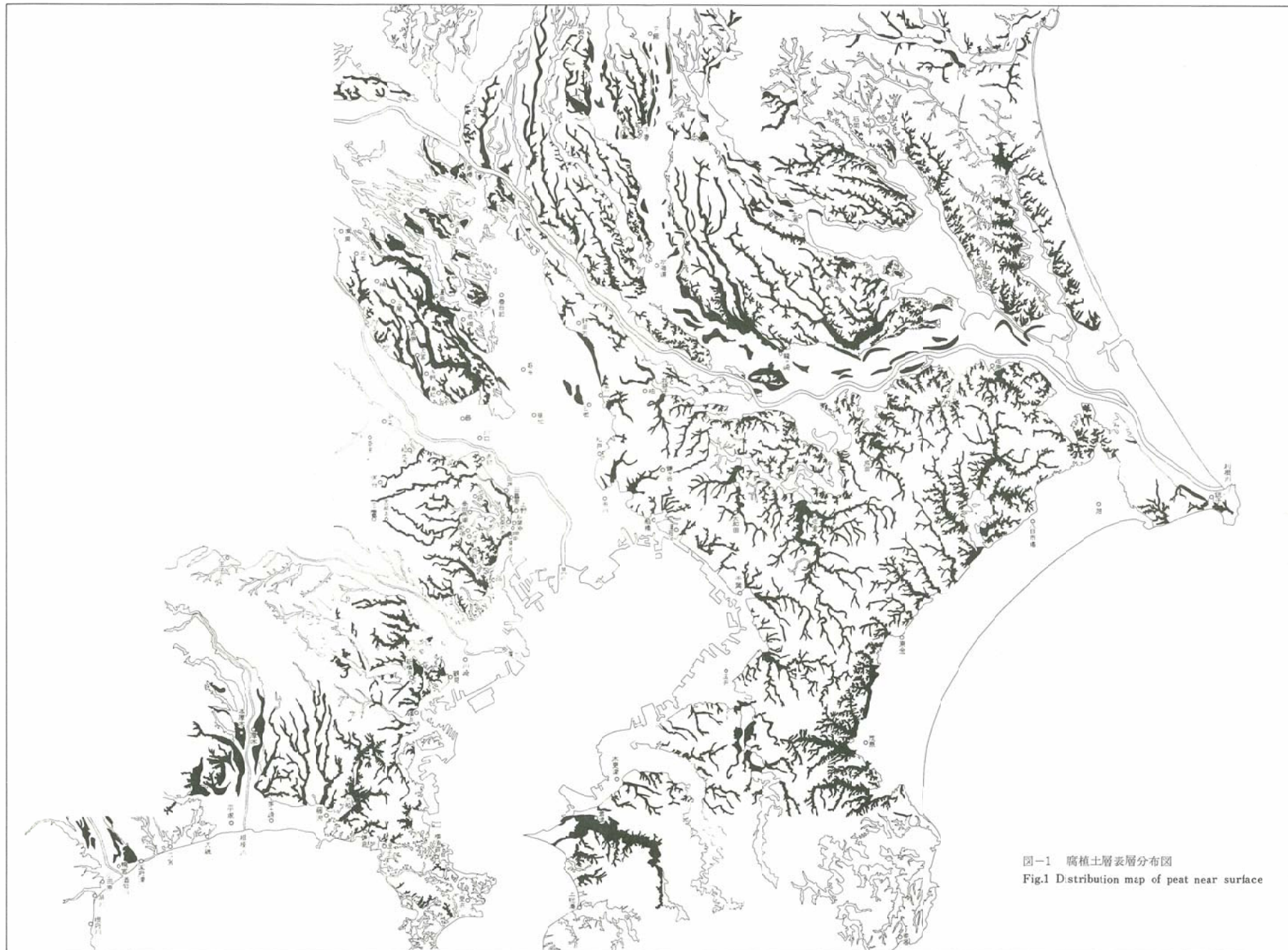


图-1 腐植土層表層分布图
Fig.1 Distribution map of peat near surface

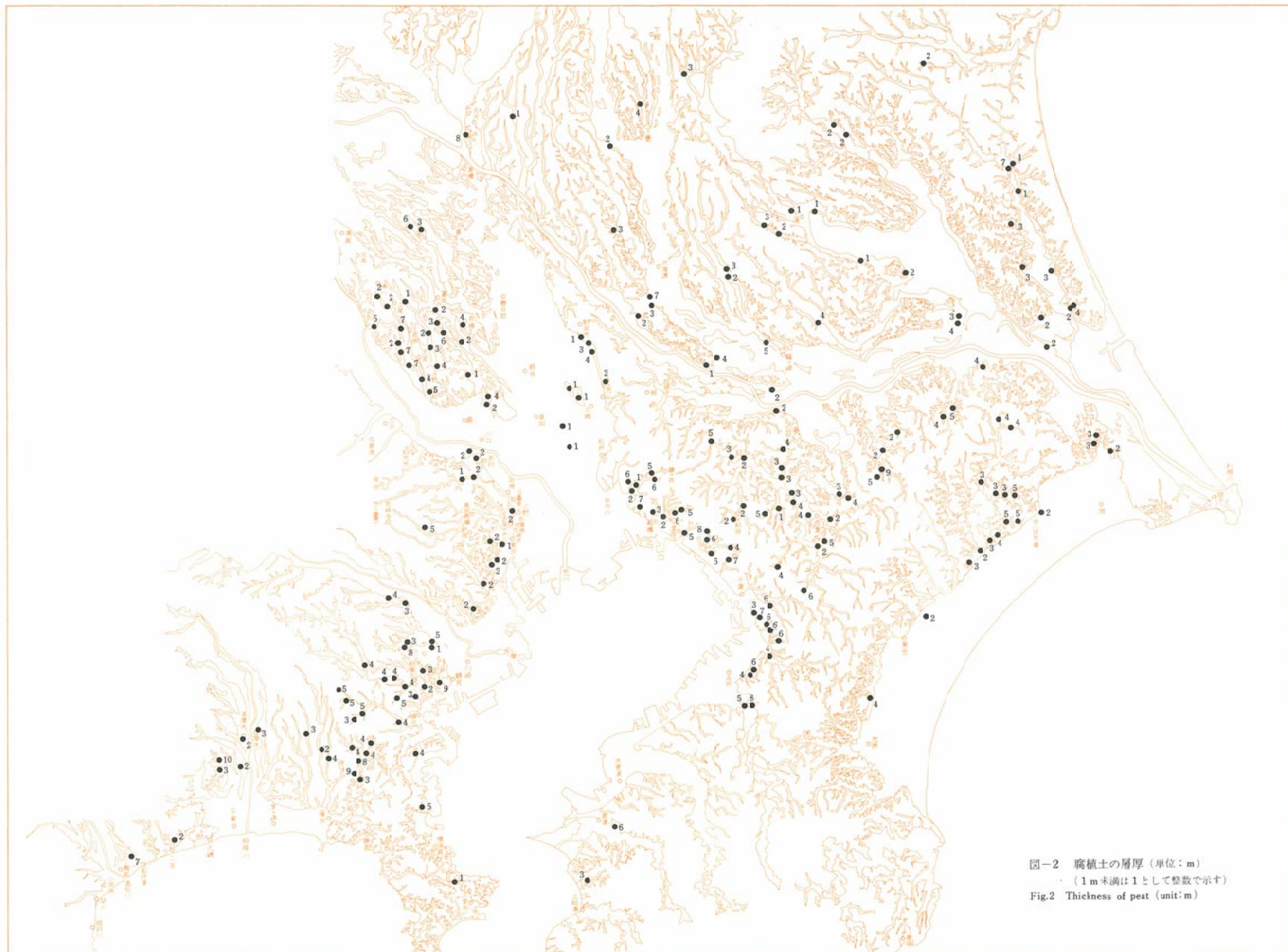


図-2 腐植土の層厚 (単位:m)
 (1m未満は1として整数で示す)
 Fig.2 Thickness of peat (unit:m)

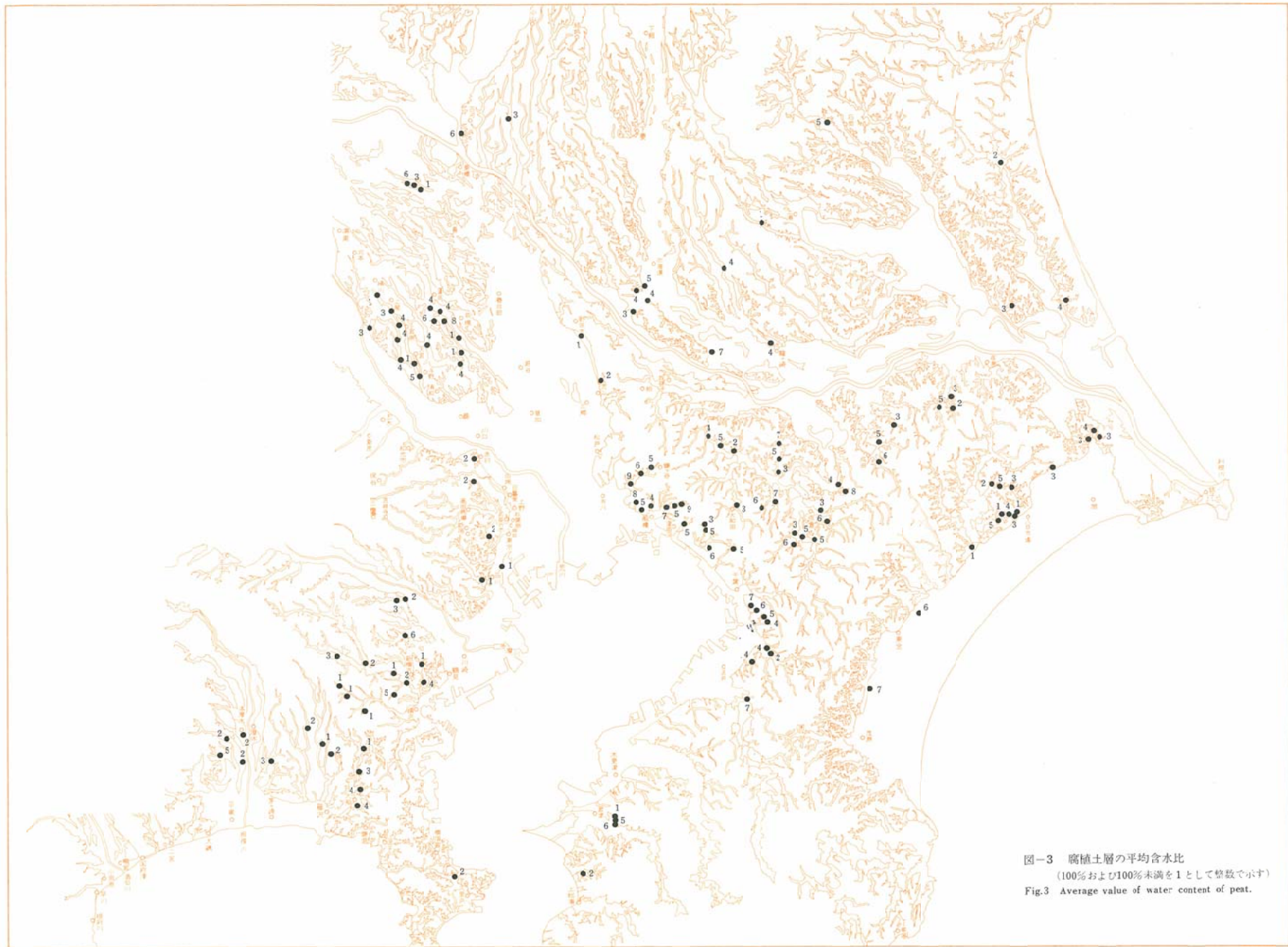


図-3 腐植土層の平均含水比
 (100%および100%未満を1として整数で示す)
 Fig.3 Average value of water content of peat.

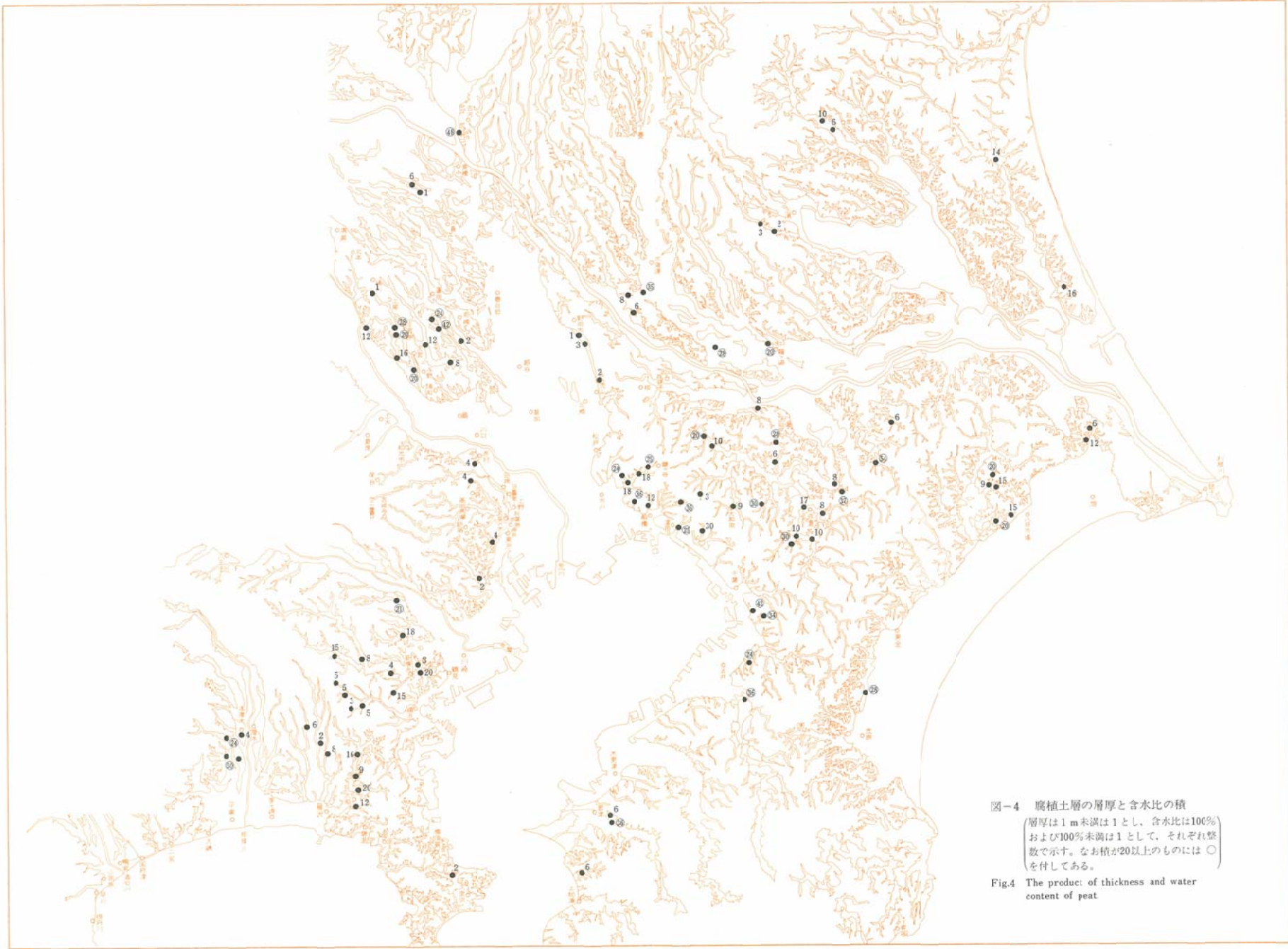


図-4 腐植土層の層厚と含水比の積
 (層厚は1m未満は1とし、含水比は100%
 および100%未満は1として、それぞれ整
 数で示す。なお積が20以上のものには○
 を付してある。

Fig.4 The product of thickness and water
 content of peat.

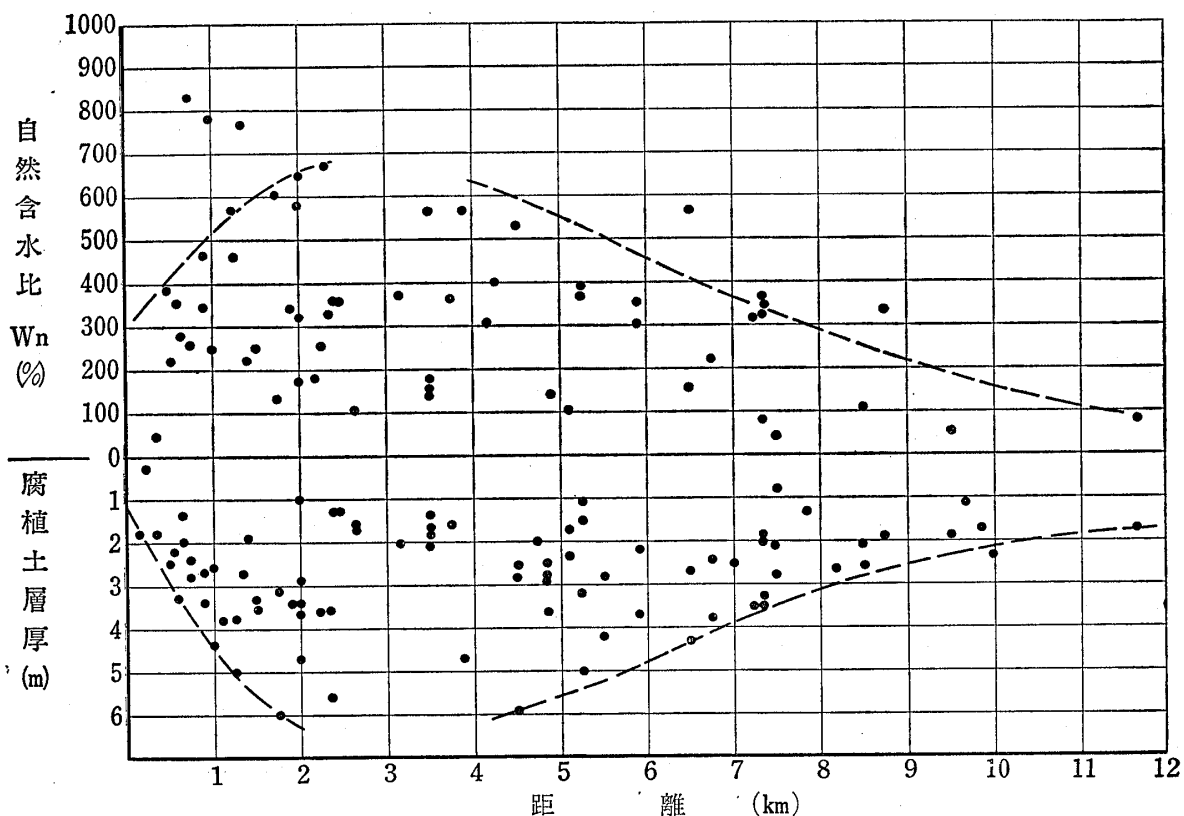


図-5 千葉県印旛沼に連なる支谷の腐植土の層厚と含水比 (印旛沼を基点として距離を示す)

Fig. 5 The thickness and water content of peat developed in the tributary alluvial plain corresponded to Inbanuma in Chiba prefecture

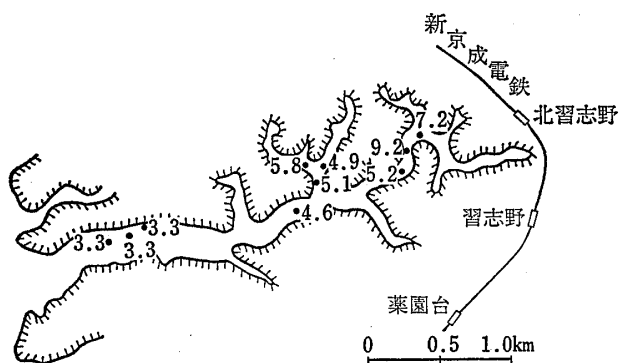


図-6 下総台地における腐植土層の層厚の一例 (単位: m)

Fig. 6 An example of thickness of peat in Shimofusa terrace

ある。しかし、概して言えば、腐植土層の層厚の厚い箇所では高い含水比を示し、宅地造成等の場合に最も条件の悪いのは支谷の出口より 2~4 km 程度入った所であるといえる。

同様な傾向は下総台地の東京湾側の谷地においても認められ、図-6 にその一例を示した。

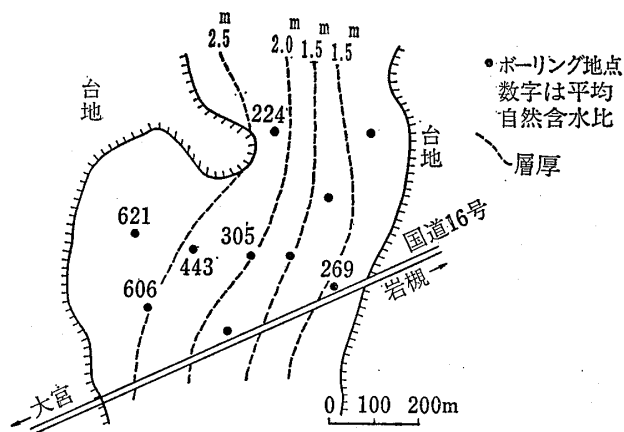


図-7 埼玉県大宮市芝川中流の層厚と平均含水比
Fig. 7 Thickness and average water content at Shibakawa alluvial plain in Omiya city, Saitama prefecture

2) 大宮台地における腐植土層の分布

下総台地における腐植土層の分布の傾向は一般的にいて大宮台地においても認められる。

図-7は芝川上流の大宮市域における腐植土層の分布の状態を図示したものである。

芝川は埼玉県上尾市に端を発し、大宮台地をけずって谷を形成し、川口市の北側で台地を離れ沖積氾濫原に流入する河川である。上尾市から浦和市にかけて北々西方向にはほぼ直線状に台地を開折しており、図-7に示した箇所は芝川の中流部に当たるものと考えてよい。図-7の台地の表面はほぼ平坦であるにもかかわらず、谷の中央部では腐植土層は薄く、かつ含水比も低くなっている。

芝川の支谷ともいえない、僅かな凹地形の箇所では、河川の中心部よりもはるかに高含水比で、しかも厚い腐植土層が堆積している。

3 土質工学的性質の相関性

3-1 物理的性質

腐植土は通常は無機質土と比較して含水比の幅が著しく、有機物含有量の差によって工学的性質が著しく変化する土である。

腐植土の自然含水比 (Wn) と強熱減量 (Lig) の関係について宮川(1959)は $Wn=10Lig$ の関係があるとしているが、この関係は北海道の腐植土についての関係であり、関東では図-8に示すように地域別に相関性が異なるようである。図-9は土粒子比重 (Gs) と強熱減量の関係を示したものである。当然のことではあるが、Gsは

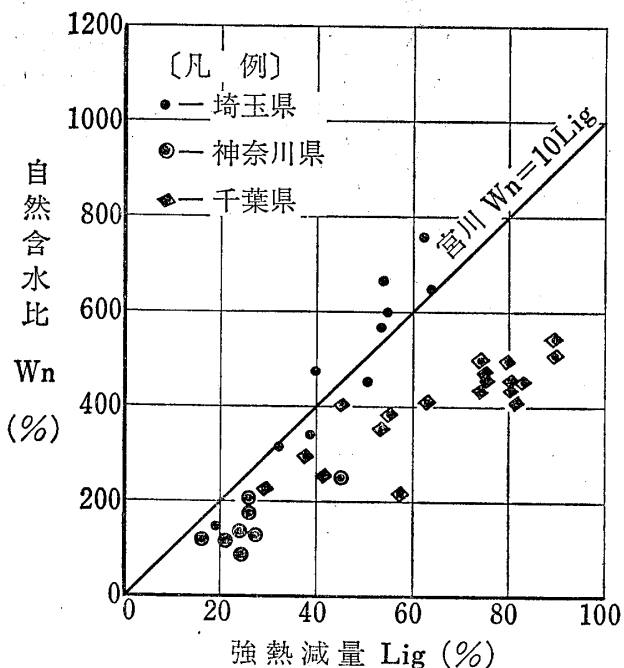


図-8 Wn と Lig の関係
Fig. 8 Relationship between Wn and Lig

Ligの増加に伴って小さくなる傾向にある。無機質粒子の比重を2.70、有機物の比重を1.5と仮定すれば、

$$G_s = \frac{4.05}{1.2Lig + 1.5} \quad (G_s = 2.70, G_p = 1.5)$$

の曲線に近似した分布を示している。

図-10, 11に自然含水比 (Wn) と比重 (Gs)、乾燥密度 (γd) の関係を図示した。また図-12は自然含水比 (Wn) と間隙比 (e) の関係をプロットしたものであるが、これも当然のことではあるが良好な相関性を示している。

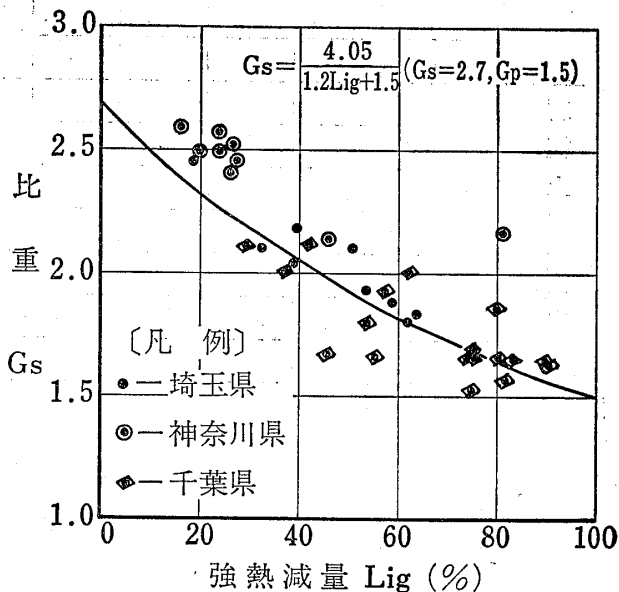


図-9 Gs と Lig の関係
Fig. 9 Relationship between Gs and Lig

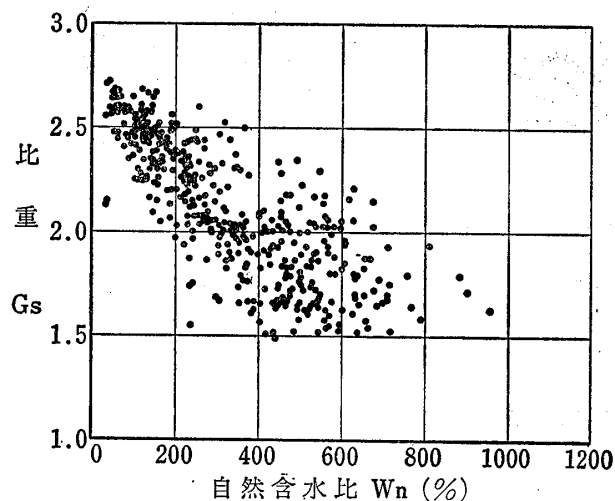


図-10 Wn と Gs の関係
Fig. 10 Relationship between Wn and Gs

3-2 強度特性

腐植土の一軸圧縮試験における応力(σ)~歪(ϵ)曲線は、繊維の分解度によって図-13に示す四つのタイプに分けることができる。分解度が進めばより粘土に近い性質を有し、④のような曲線となる。分解度が低く含水比が高ければせん断中の排水が著しく、強度が増大しながらせん断する傾向を示し、①のような曲線となる。このような多様な変化を示す応力~歪曲線から設計強度をどのように定めるかが問題となる。

一般に腐植土においては15%強度、またはピーク強度をもって設計強度としている。参考までに示せば、粘土の破壊歪みは3~5%程度である。実際問題として、15%の歪を許容したとすると、例えば盛土造成地においては盛土に著しい変形が生じ、クラックを発生させることとなる。実用的には腐植土の場合の強度のとり方は通常の場合と同じく3~5%歪における応力を採用すべきであると考えられる。

図-14には腐植土のピーク強度または15%強度を q_0 とし、同一試験で得られた3%、5%歪に対応する強度を

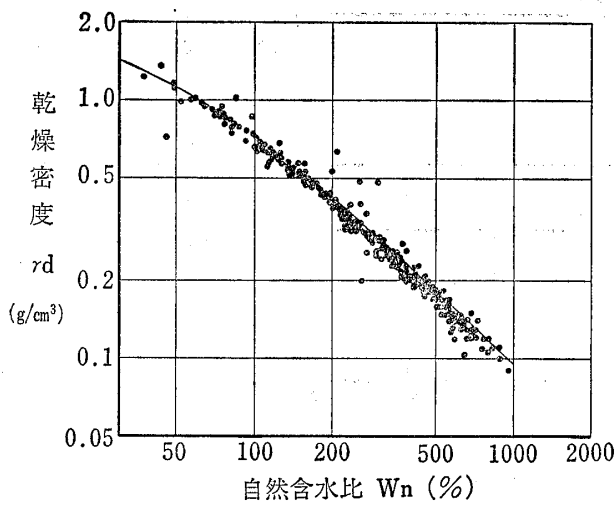


図-11 Wn と γ_d の関係
Fig. 11 Relationship between Wn and γ_d

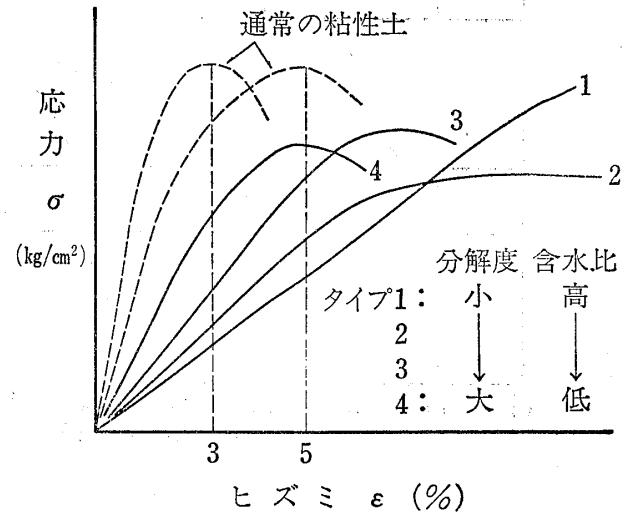


図-13 σ - ϵ 曲線の分類
Fig. 13 Classification of σ - ϵ curve

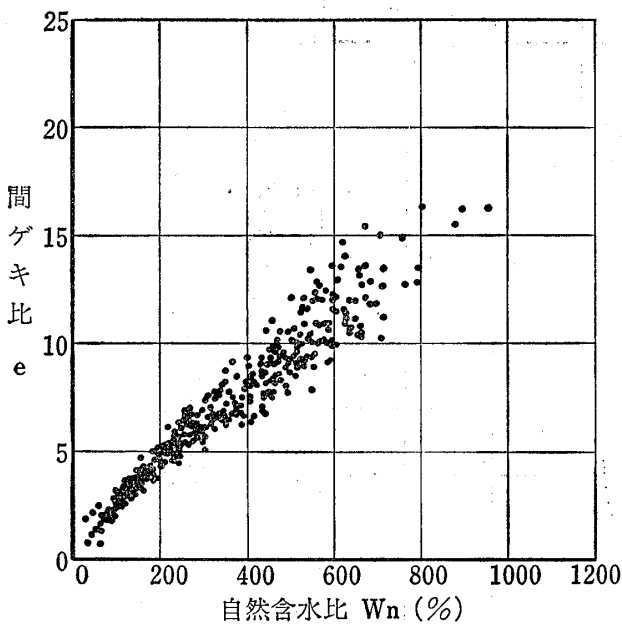


図-12 Wn と e の関係
Fig. 12 Relationship between Wn and e

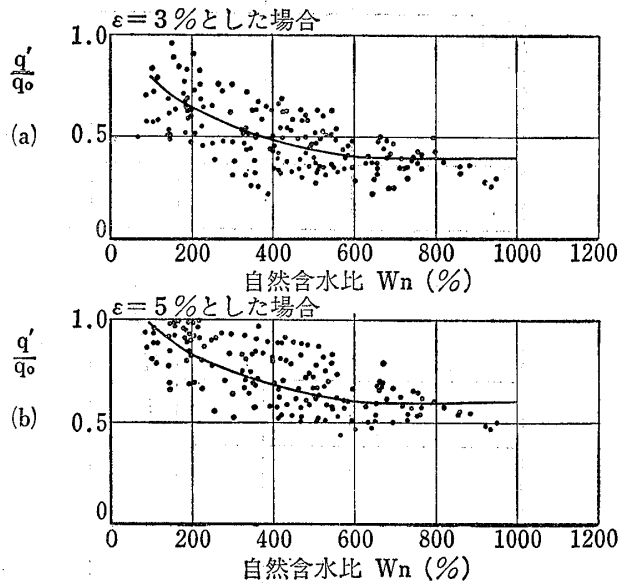


図-14 q'/q_0 と Wn の関係
Fig. 14 Relationship between q'/q_0 and Wn

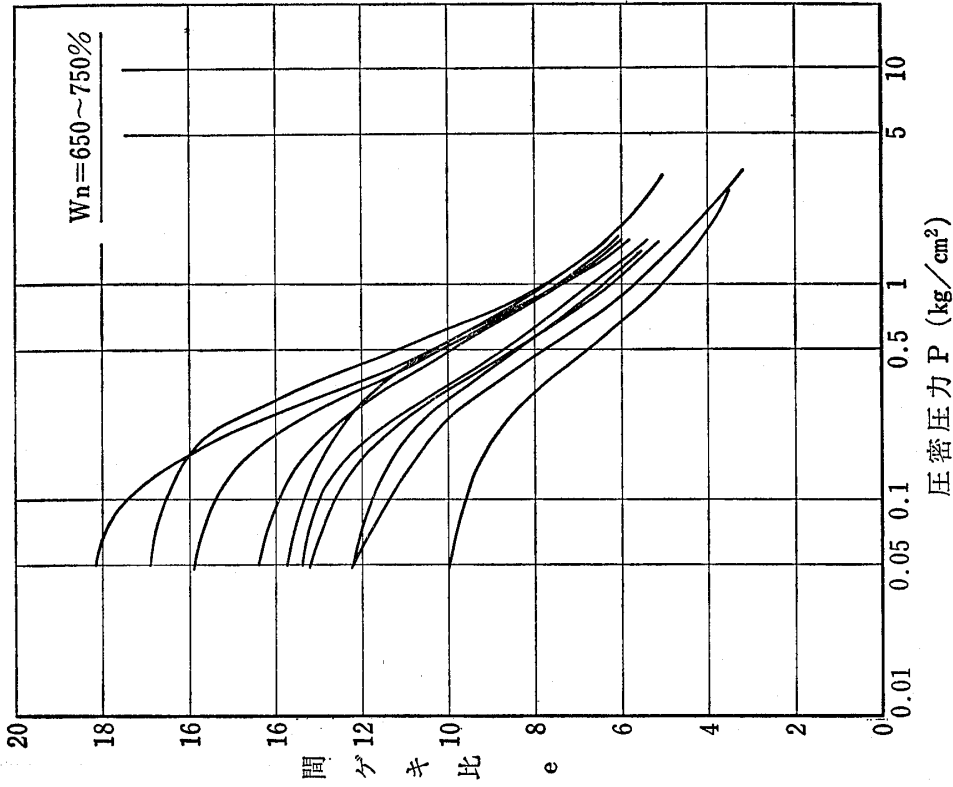


図-16 e -log p 曲線 ($W_n = 650 \sim 750\%$)
 Fig. 16 e -log p curves ($W_n = 650 \sim 750\%$)

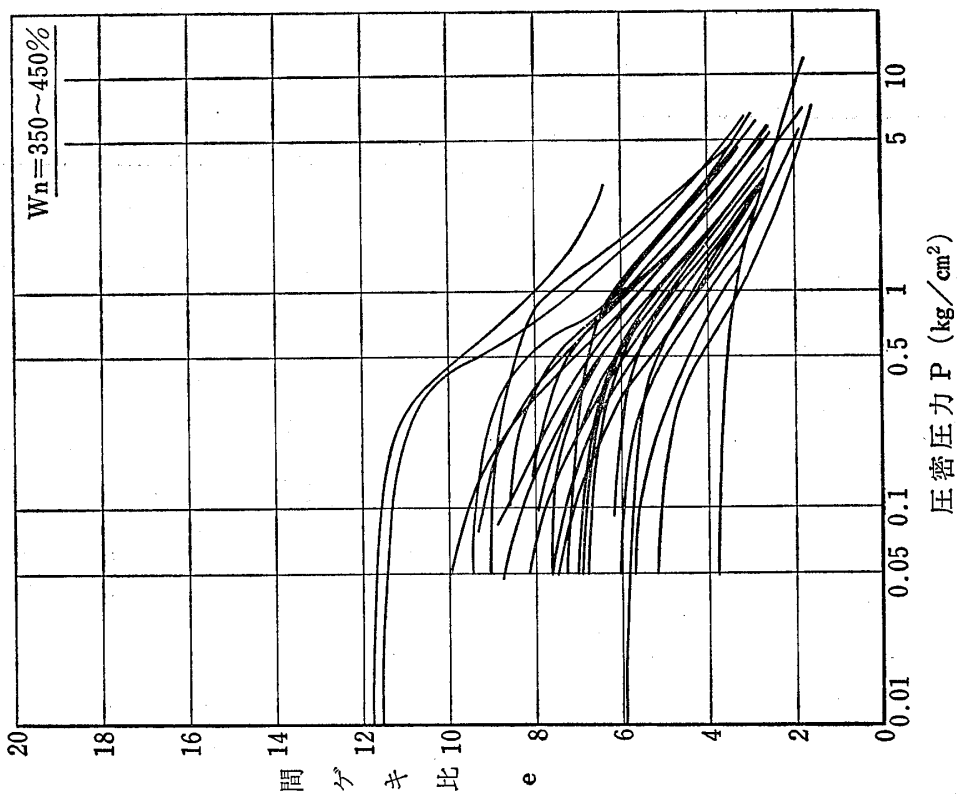


図-15 e -log p 曲線 ($W_n = 350 \sim 450\%$)
 Fig. 15 e -log p curves ($W_n = 350 \sim 450\%$)

q' として、 $q'/q_0 \sim W_n$ の関係をまとめて示した。

q'/q_0 は含水比が増加するにつれて低下する傾向を示し、3%と5%では多少差はあるが、おおよそ400~500%以上の含水比では、

$$q' \approx \frac{1}{2} q_0$$

となっている。

3-3 圧密諸常数

腐植土層は垂直方向、水平方向ともに変化が著しく、現行の調査試験によって全体の様相を把握することは事実上不可能と考えられる。また、現行のJIS試験法で求められる圧密諸常数も現地の実測値と比較すれば必ずしも良い一致が得られている訳ではない。このようなことから、より簡便なパラメーターで全体を把握し、特に腐植土層の圧密による沈下の進行について実態にあった結論が得られるように調査試験を行なうことが必要である。そのパラメーターとして含水比を選び圧密諸常数との関係を求めてみた。

図-15, 16は含水比350~450%と650~750%の範囲に含まれる $e-\log P$ 曲線を示したものである。このようにバラツキのある曲線を平均化して含水比をパラメーターとして平均的 $e-\log P$ 曲線にまとめると図-17に示す通りとなる。図-18は自然含水比と圧縮指数⁽²⁾の関係を示した。北海道の泥炭について整理した宮川の範囲よりも圧縮指数が高い傾向にある。

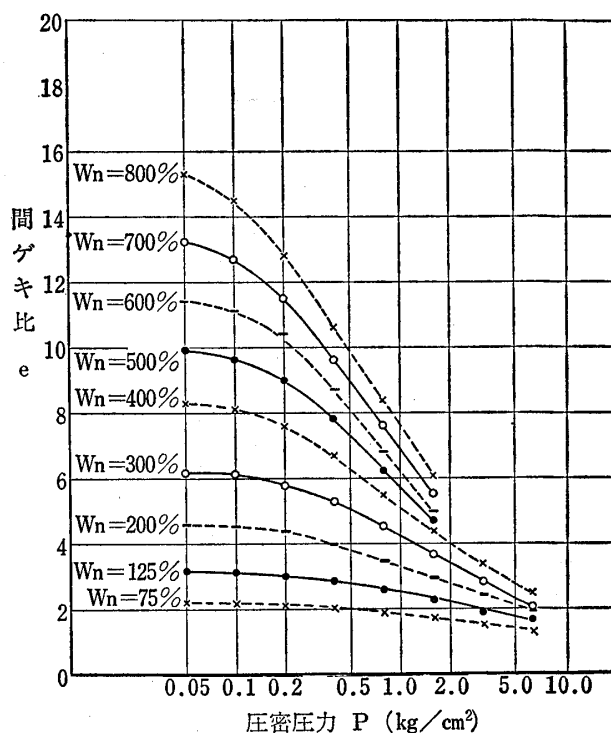


図-17 $e-\log P$ の平均曲線
Fig. 17 Average curve of $e-\log p$

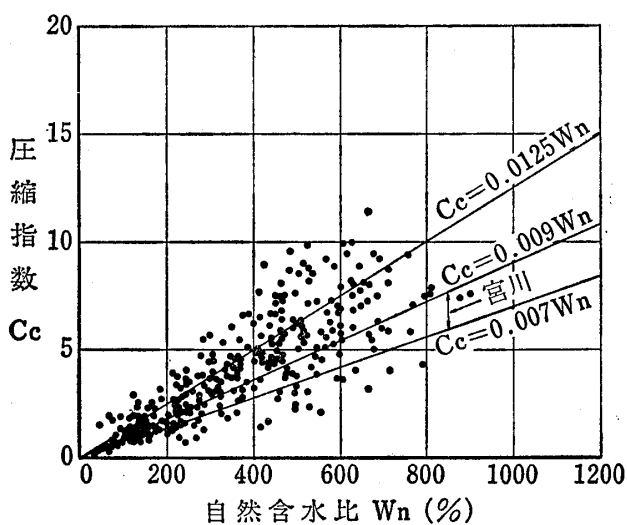


図-18 W_n と C_c の関係
Fig. 18 Relationship between W_n and C_c

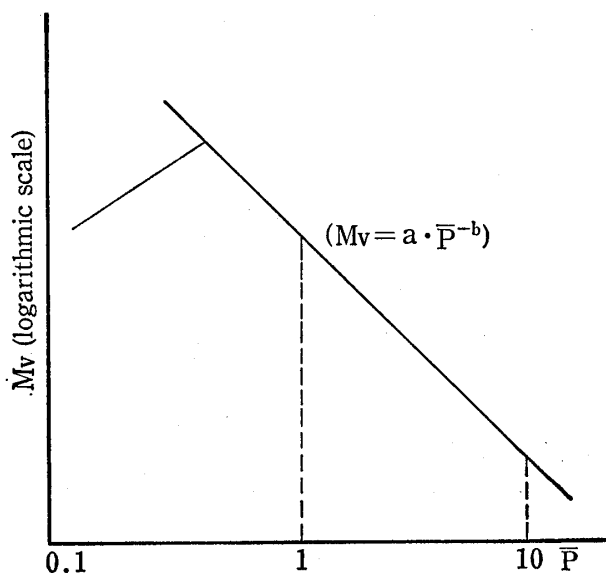


図-19 $\log M_v - \log \bar{P}$ の一般曲線
Fig. 19 General curve of coefficient of volume compressibility

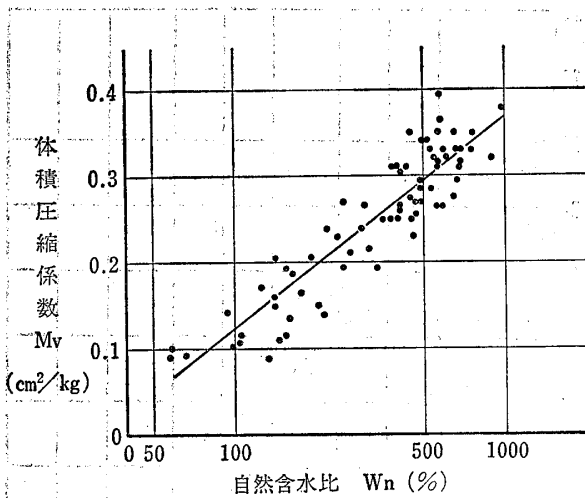


図-20 含水比と体積圧縮係数 ($\bar{P}=1.0\text{kg/cm}^2$)
 Fig. 20 Relationship between water content and coefficient of volume compressibility ($\bar{P}=1.0\text{kg/cm}^2$)

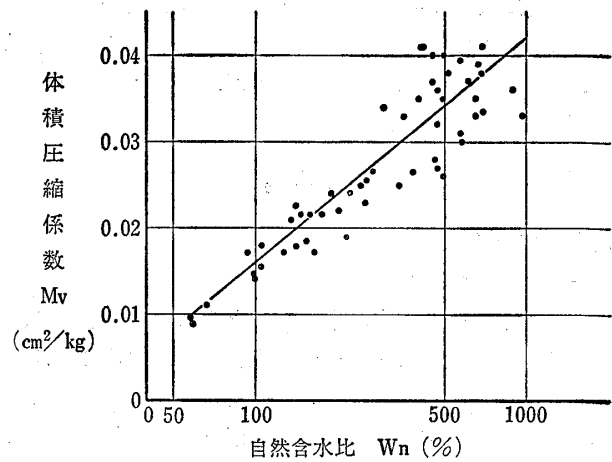


図-21 含水比と体積圧縮係数 ($\bar{P}=10.0\text{kg/cm}^2$)
 Fig. 21 Relationship between water content and coefficient of volume compressibility ($\bar{P}=10.0\text{kg/cm}^2$)

表層よりある厚さをもって分布する腐植土層は、通常地下水位が表層に極めて近い表層より上位にある場合が多く、また腐植土層の湿潤単位体積重量も 1.0g/cm^3 に近いために自然地盤における有効土被り応力が小さいことが多い。このために腐植土層の圧密計算は正規圧密領域で行なわれることが多い。正規圧密領域での $\log M_v \sim \log \bar{P}$ 曲線は図-19に示すように直線に近似し、一般には

$$M_v = a\bar{P}^{-b}$$

で表わされる。

図-20, 21は、 $\bar{P}=1.0, 10.0\text{kg/cm}^2$ におけるそれぞれの自然含水比と M_v の関係を図示したもので、ある程度対数的直線関係を示している。すなわち、

$\bar{P}=1.0\text{kg/cm}^2$ において、

$$M_v = 0.2445 \log W_n - 0.3655$$

$\bar{P}=10.0\text{kg/cm}^2$ において、

$$M_v = 0.0260 \log W_n - 0.0360$$

これより体積圧縮係数 M_v の一般式は、

$$M_v = (0.2445 \log W_n$$

$$- 0.3655) \bar{P}^{-\log \left(\frac{0.0260 \log W_n - 0.0360}{0.2445 \log W_n - 0.3655} \right)}$$

と表わすことができる。上式は少し複雑であることから、双曲線近似として書き換えると

$$M_v = (0.2445 \log W_n$$

$$- 0.3655) \bar{P}^{-\left(0.8875 + \frac{W_n - 100}{16.265 W_n - 304.4} \right)}$$

となる。

腐植土層の圧密係数 C_v は自然含水比と明確な関係を見出し難い。たとえば、自然含水比を $W_n=100\sim 150\%$ 、

$250\sim 350\%$ 、 $450\sim 550\%$ に区切りそれぞれの $\log C_v \sim \log \bar{P}$ 曲線に表わすと図-22, 23, 24に示すように、 C_v の範囲が広い。傾向としては、含水比が大きくなるにつれて C_v のバラツキの範囲がせばまる傾向を示す。自然含水比が 450% 以上を示す $\log C_v \sim \log \bar{P}$ 曲線の平均値は、ほぼ同じ曲線に重なり、自然含水比 450% 以上では1本の $\log C_v \sim \log \bar{P}$ 曲線で代表されるようである。

4 あとがき

今回の報告は関東平野に分布する地層のうち、土質工学的に最も問題の多い腐植土層についてとりまとめを行ない、その分布と分布の特徴および土質工学的性質について整理を行なったものである。

今まで述べたように、腐植土層は層厚ならびに土性の局地的変化が著しく、関東平野の中での地域的特性を区分することは非常に困難であるように思われる。

含水比に着目して各土質試験結果との相関を検討したが、全般により相関が認められた。

宅地造成事業のような広範囲に分布する腐植土層を対象とする場合、腐植土層の層厚、土性の全貌を事前に明らかにしておくことは不可能なことである。このような場合に、今回の報告に述べたように、含水比との相関を利用した簡便な調査法を多用することが望ましい。

また、調査地点の配置については現地での微地形の変化を観察し、地形に表現された堆積環境の変化を推定して選点することが必要である。

腐植土層の層厚を把握し、含水比測定用の試料を採取する簡便な調査機器の開発が望まれるが、従来から軟泥

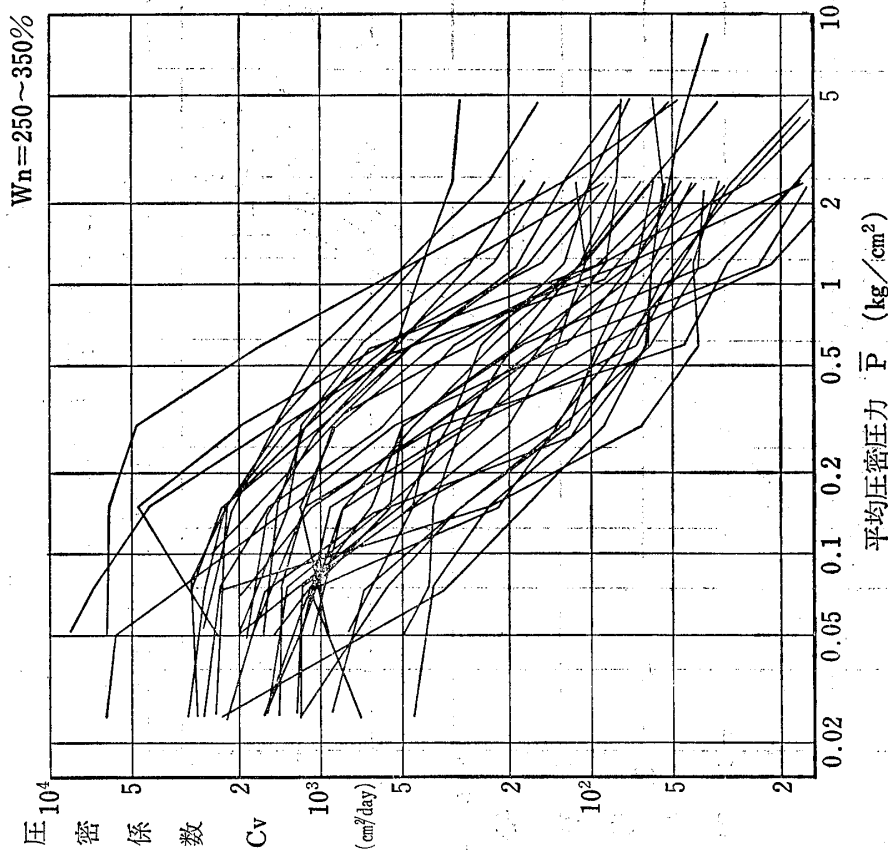


図-23 log Cv-log \bar{P} 曲線 ($W_n=250\sim350\%$)
 Fig. 23 log Cv-log \bar{P} curves ($W_n=250\sim350\%$)

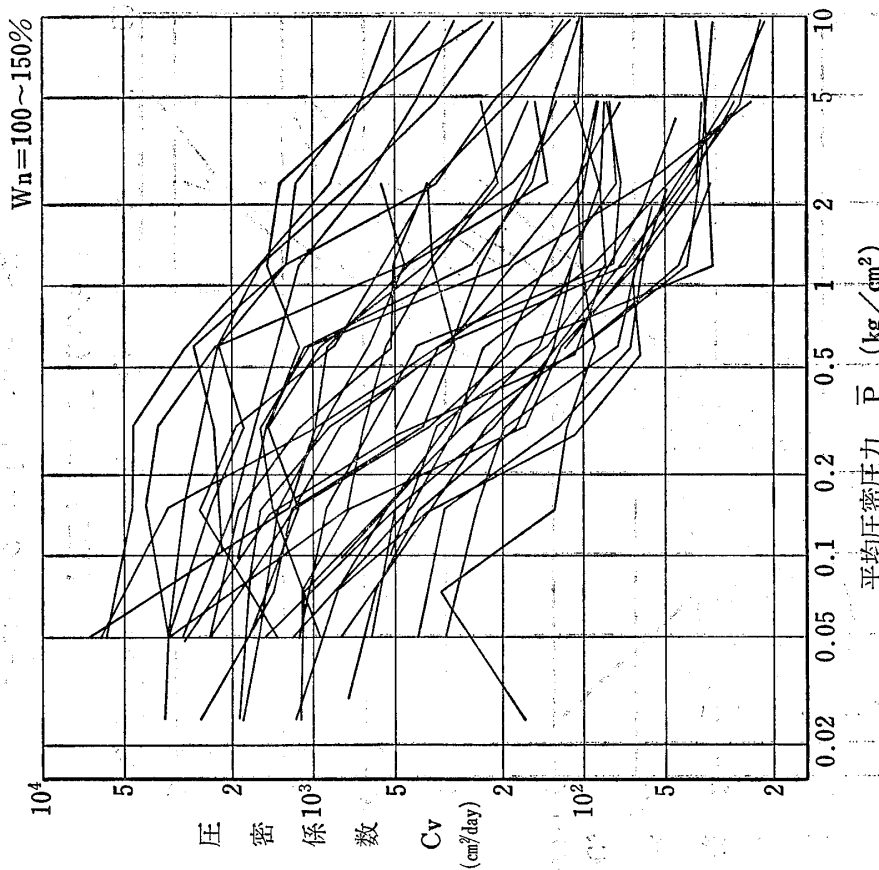


図-22 log Cv-log \bar{P} 曲線 ($W_n=100\sim150\%$)
 Fig. 22 log Cv-log \bar{P} curves ($W_n=100\sim150\%$)

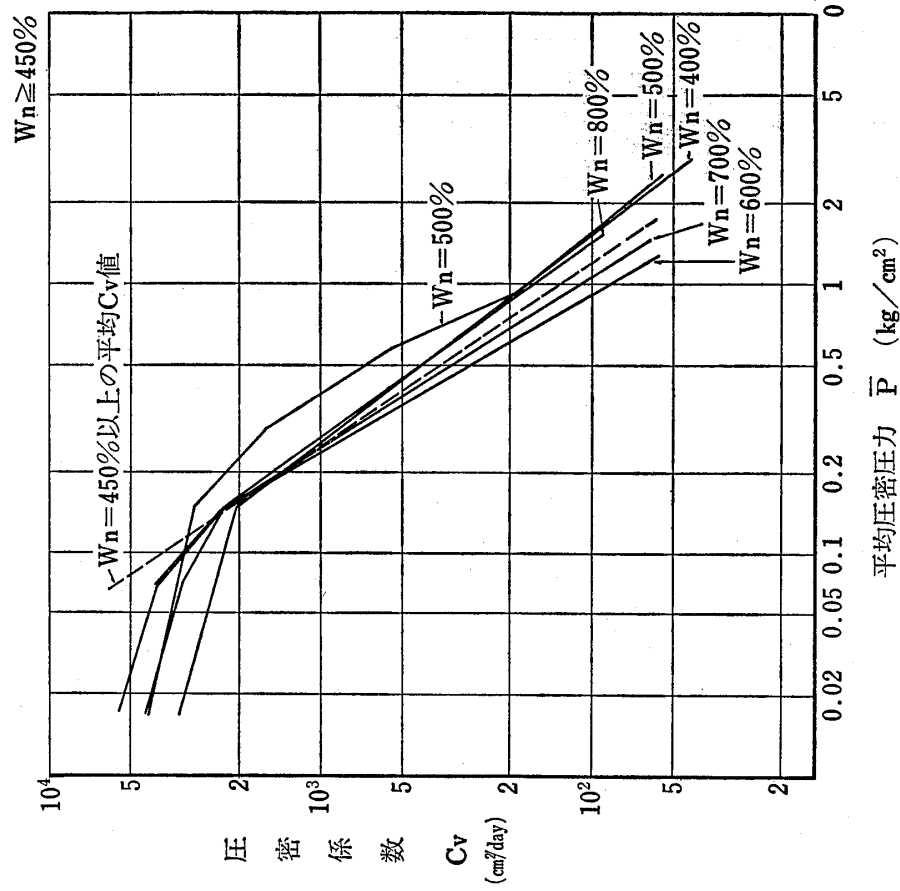


図-25 $W_n \geq 450\%$ のときの $\log C_v - \log \bar{P}$ の平均曲線
 Fig. 25 Average curves of $\log C_v - \log \bar{P}$ when water content is more than 450%

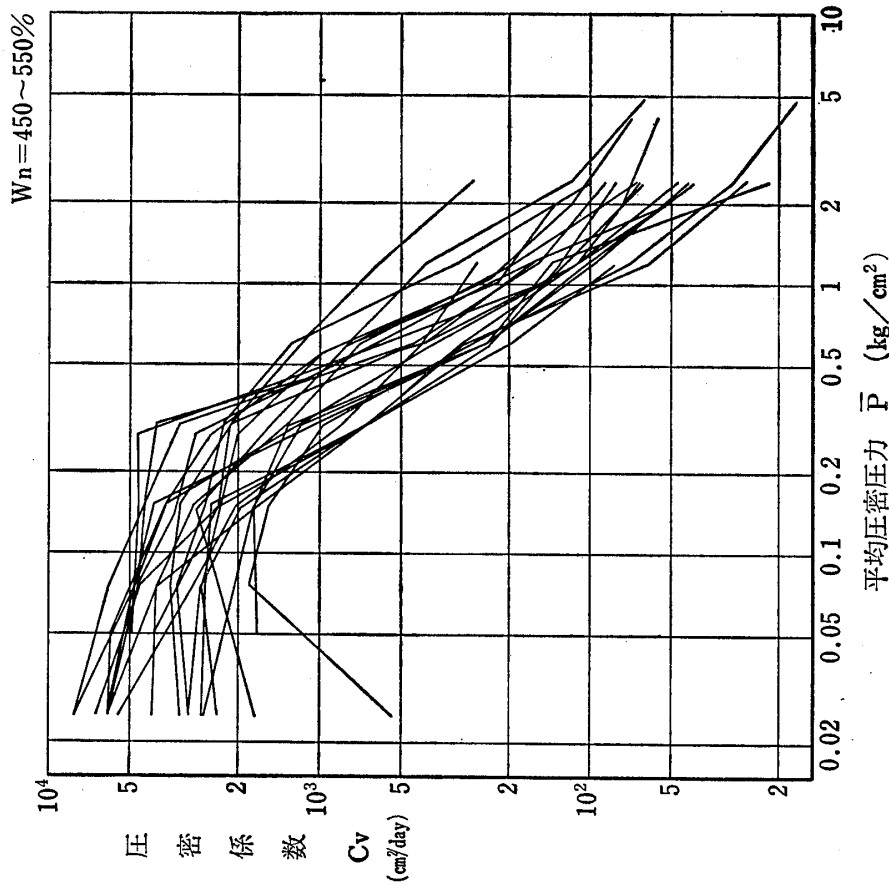


図-24 $\log C_v - \log \bar{P}$ 曲線 ($W_n = 450 \sim 550\%$)
 Fig. 24 $\log C_v - \log \bar{P}$ curves ($W_n = 450 \sim 550\%$)

のサンプリングに使用されていた連続サンプラーの有効性も見直してみなければならない。

今回の報告では触れなかったが、腐植土層の基底レベルは、沿岸地帯で T. P. ± 1.0 m, 内陸部で T. P. $+2.0 \sim 3.5$ m となっている場合が多かったが、地表面の標高から腐植土層の層厚を大まかに類推することも可能である。

まえがきに述べたように、今回の報告は関東平野に分布する地層のごく一部についてとりまとめを行なった。これを継続発展させて、今後逐次他の地層についても問題点を整理していく考えである。

参 考 文 献

- (1) 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, 21
- (2) 宮川 勇(1963)：軟弱地盤と盛土 土と基礎の設計法その 3 技報堂

1. The purpose of this document is to provide a comprehensive overview of the current status of the project and to identify the key areas that require attention. The information presented here is based on the most recent data available and is intended to serve as a guide for decision-making.

2. The project has made significant progress since the last report, with several key milestones achieved. However, there are still a number of challenges that must be addressed in order to ensure the successful completion of the project. The following sections provide a detailed analysis of the current situation and outline the recommended course of action.

3. The first area of concern is the budget. There has been a significant increase in costs over the past few months, which has put the project at risk of exceeding its allocated budget. It is recommended that a thorough review of the budget be conducted to identify areas where costs can be reduced without compromising the quality of the project.

4. The second area of concern is the timeline. The project is currently behind schedule, and it is essential that the reasons for this delay be identified and addressed. It is recommended that a detailed schedule be developed, taking into account the current delays and the need to complete the project on time.

5. The third area of concern is the quality of the work. There have been several instances of errors and omissions, which could have a negative impact on the overall quality of the project. It is recommended that a strict quality control process be implemented to ensure that all work is done to the highest standards.

6. The fourth area of concern is the communication. There has been a lack of clear communication between the different teams involved in the project, which has led to confusion and inefficiency. It is recommended that a regular communication schedule be established to ensure that all team members are kept up-to-date on the progress of the project.

7. The fifth area of concern is the resources. There is a shortage of resources in several key areas, which is likely to impact the project's ability to complete its tasks. It is recommended that a plan be developed to address these resource shortages and ensure that the project has the necessary resources to succeed.

8. In conclusion, the project is currently facing a number of challenges, but it is still possible to achieve the project's objectives if the right actions are taken. The recommended course of action is to conduct a thorough review of the budget, timeline, quality, communication, and resources, and to implement the necessary changes to address the identified issues. It is essential that these actions be taken as a matter of priority to ensure the successful completion of the project.

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION