

R I 検層による下総・大宮台地の関東ローム層の層序区分

およびロームの物理・工学的性質

金井 孝夫\*

**Stratigraphic Succession and the Physico-mechanic Nature  
of "Kwantō Loam" Detected by means of R. I Logging**

By

Takao KANAI

Abstract

The author carried out radioisotope prospecting, using  $\gamma$ -ray and neutron at the several spots on the hilly land Shimōsa and Ōmiya districts. Inspecting a columnar chart of measurement, he could distinguish easily a detailed accumulating state of "Kwantō loam beds". As a special topic, he succeeded to decide stratigraphic division between Tachikawa loam and Musashino loam, formerly a boundary remained uncertain with naked eyes at an outcrop. Calculating statistically, median values of *void ratio*( $e$ ) of "Kwantō loam beds", i. e. weathered volcanic ashes and "Narita bed", i. e. a sediment of shallow sea are represented as follows:

Horizon	Name of stratum	Median of void ratio( $e$ )
upper	Kwantō loam beds	Tachikawa loam 3.2
middle		Musashino loam 2.8
lower		Shimo-sueyoshi loam 1.6
lowest	Narita bed	0.8

It is substantiated that *compression index*( $C_c$ ) as the indicator of soil-mechanic nature of each stratum of "Kwantō loam" depends upon the *void ratio*( $e$ ) of the respective stratum, as follows:

Tachikawa loam and Musashino loam:  $C_c = 0.6(1.11e - 1.46)$

Shimo-sueyoshi loam and Narita bed:  $C_c = 0.6(1.03e - 0.513)$

Grounds consisting of both "Tachikawa" and "Musashino loam", are stable, because combining forces of soil particles show greater values; namely *yield stress of consolidation* varies 1.5 ~ 2.7 kg/cm<sup>2</sup>, whereas *angle of friction* remains 17~18°. But it would possibly be sure that unusual destruction takes place with grounds, if external forces act beyond the limit of *yield stress of consolidation*.

1. 関東ローム地盤に中性子水分計,  $\gamma$ 線密度計を利用した意義

島あるいは、林で覆われていた丘陵または台地の関東ローム層は、最近の産業開発に伴う工場建設、宅地造成工事、空港建設等により急速に大きくクローズアップされてきた。いままでの関東ローム層の研究は、丘陵・台地の露頭調査が主として行なわれており、台地の中心な

どでは、どのような堆積状態を示しているかは、あまり研究されていなかった。

複雑な土質工学的性質をもつこれらローム層を、構造物の基礎の支持地盤として、考察する場合、とくに土の工学的性質をありのままに把握することが重要視される。すなわち主として乱されない状態(自然状態)における土の剪断特性と圧縮特性が問題となりうる。

いままで地盤調査に際し、ボーリングならびにスウェーデン式サウンディングの両者により地質・地耐力調査が

\* 昭和46年11月11日生田試験地において地入り実験中殉職

行なわれてきたものの、その性能の現状では、関東ローム層について例えば立川・武蔵野(東京軽石層)・下末吉(チョコレート粘土または常総粘土)の各ロームの層別区分をするには、はなはだ困難な状況にある。またボーリングによって採取された土質試料を主体にして、各地点の土質工学的性質を、室内実験による土質試験によって測定することは、時間ならびに金額の点からのみならず、さらに層厚が薄いために(土質力学的試験を行なうには、同じ資料が約50cm以上なければならない)、はなはだ困難である。

そこで新しい試みとして現位置測定法を採用することとし、RIを利用して関東ローム層の層序区分を行なった上、次いで含水比・密度・間隙比・圧密など、地層の物理的性質を究明する地盤調査を進めてみた。ガンマー線密度計ならびに中性子水分計による密度と含水量の測定は、測定が迅速で、自然状態のまま測定ができ、測定結果に個人誤差が入らず、現場測定にはこれまでの測定器に比較して、きわめて有利な特徴を持っている。

## 2. RI利用による調査地域

〔調査地域〕 下総台地(43年2月調査)と大宮台地(43年9月調査)との2地域に発達する関東ローム層

について、次のような試験研究を実施した。

### 2.1 下総台地

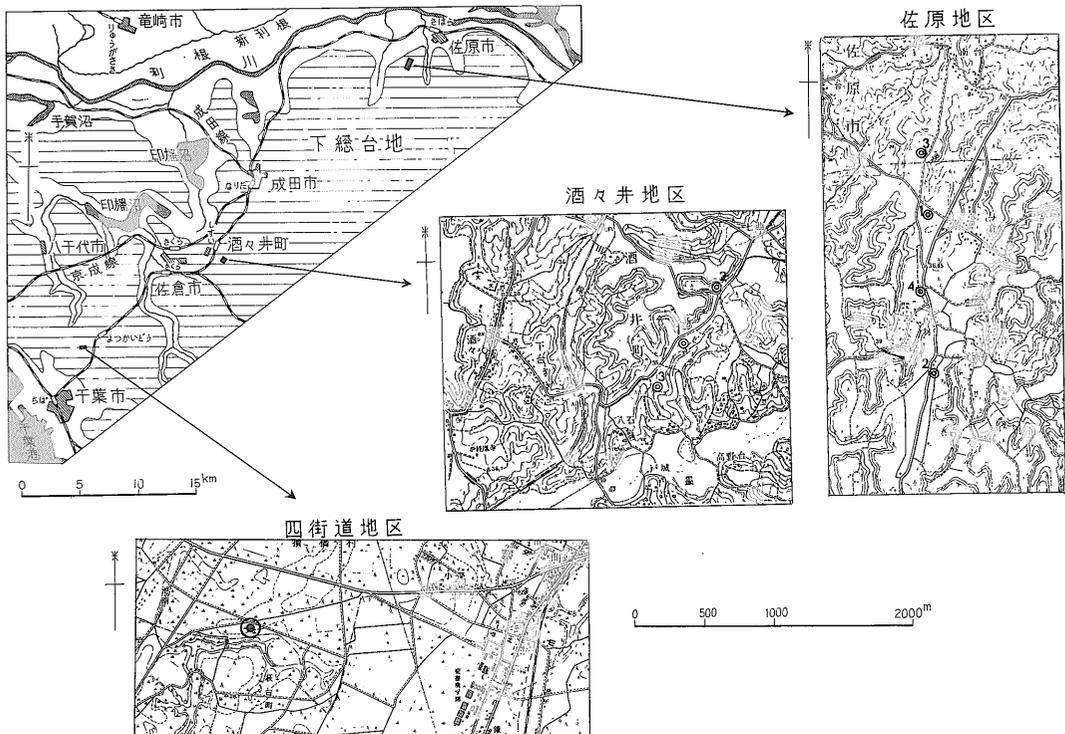
千葉県北部に広く発達する下総台地は、関東ローム層と成田層からできている。これらを大きく把握するために、下総台地を南西-北東方向に横断する測線を設け、この測線上に適宜に測定点を決めた。すなわち東京湾に近い千葉市北西部四街道町の千葉県職業訓練所敷地に1地点、中央部の酒々井地区に3地点、北東端の佐原地区に4地点、計8地点を設け、RIによる関東ローム層と成田層上部について計測を実施した(第1図参照)。

### 2.2 大宮台地

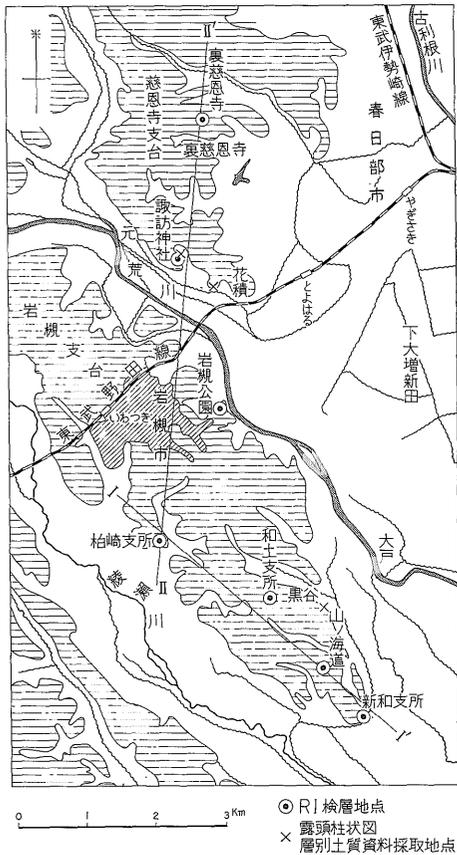
埼玉県南東部の大宮台地のうち、綾瀬川・元荒川・中川に囲まれた岩槻支台と慈恩寺支台にまたがり、岩槻を中心とした標高10~17mの台地につき、地質断面を描く都合上、北西-南東方向に岩槻支台の柏崎支所・和土支所・山之海・新和支所の各地点を結ぶ線を、また南北方向に柏崎支所・岩槻公園・諏訪神社・裏慈恩寺地点を結ぶ線を引き、これら岩槻支台・慈恩寺支台を通ずる2断面を設定し、7地点について計測を行なった(第2図参照)。

## 3. 中性子水分計・γ線密度計による測定法

水分計・密度計は日立製を使用した。その放射線源に



第1図 下総台地におけるRI検層位置図



第2図 大宮台地における RI 検層位置図

は、

水分計  $A_m-B_c$  30 mC  
 密度計  $C_c^{187}$  10 mC

を使用し、計測にはカウント式デカトン5桁表示型を用いた。

### 3.1 地層の水分量および密度の測定方法

地層の水分量と密度を測定するのに“導管打込方式”を適用した。測定用導管はAXケーシングパイプ(外径 57.15 mm, 内径 50.8 mm)を使用し、打込みには標準貫入試験にて用いているノッキングヘッドおよび錘り(63.5 kg)を利用した。下総台地では導管打込みを人力で行なったが、これには限界があるので、大宮台地からは動力付ウインチを使用して打込みができるように改良したところ効率よく行なわれるようになった。

打込み完了後、この導管を通じて密度プローブおよび水分プローブを導管底部まで挿入し、順次 20 cm あるいは 10 cm のピッチで引き上げて測定した。その各点の放射線計測時間は 1 分づつとした。

### 3.2 導管打込みに伴う含水量・密度の修正

打込方式による地層の密度・含水量測定値は、導管を打込む際に攪乱破壊された導管周辺土層の密度と含水量を測定していることになる。したがって導管打込み後に測定された値を、打込み前における自然状態の地層の含水量・密度に換算しなおさなければならない。そこで導管を打込んだために起きた歪んだ密度・含水量が、その破壊域の範囲(一般にゆるい砂層などでは 4 B を適用する。ここで B は導管の外径とする)内で消去されると仮定すれば、計測された密度・含水量に対する修正率は、次のようになる。

$$\text{破壊領域: } 4B = 4 \times 57.15 \text{ mm} \approx 230 \text{ mm}$$

$$\text{密度修正率: } \frac{(23^2 \times 0.785) - 5.715^2 \times 0.785}{23^2 \times 0.785} = 0.938$$

$$\text{含水量修正率: } \frac{23^2 \times 0.785}{(23^2 \times 0.785) - (5.715^2 \times 0.785)} = 1.065$$

なおこれは砂質層の破壊領域であり、当地区では成田層に適用される。

関東ローム層は間隙比が大きく、かつその土粒子間の結合が他の地層と異なるため、その破壊領域が縮小される。いま仮に破壊領域が 3.5 B (B は導管の外径) ぐらいになると仮定すると、

$$\text{破壊領域 } 3.5B = 3.5 \times 57.15 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

$$\text{密度修正率 } \frac{(20^2 \times 0.785) - (5.715^2 \times 0.785)}{20^2 \times 0.785} = 0.917$$

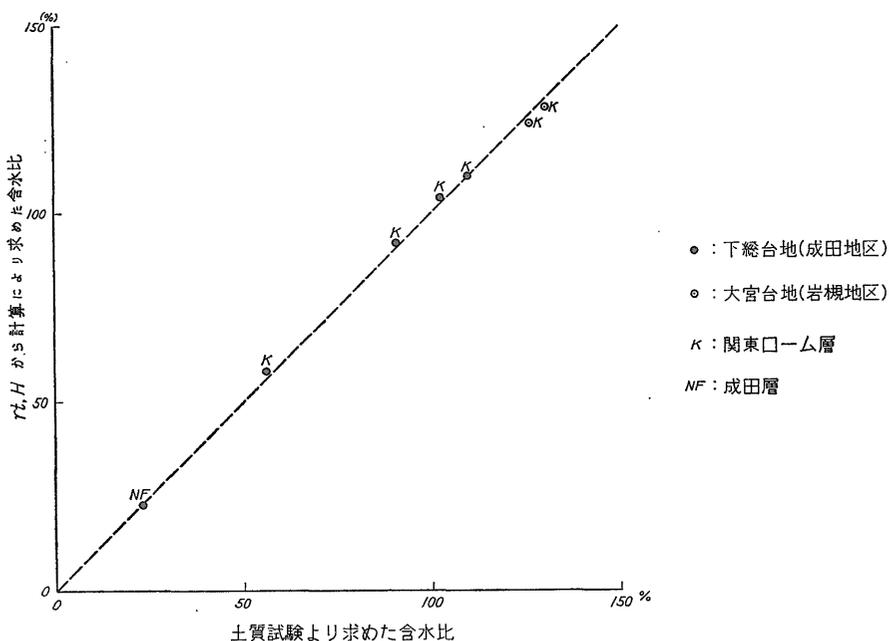
$$\text{含水量修正率 } \frac{20^2 \times 0.785}{(20^2 \times 0.785) - (5.715^2 \times 0.785)} = 1.089$$

になる。

この2つの修正率(成田層…密度0.938, 含水量1.065; 関東ローム層…密度0.917, 含水量1.089)を用いて、後で述べる方法にて、地層の含水比を計算した結果と、同地点で採取したシンオールサンプラーの土質資料から、土質試験によって求められた含水比とを比較するために、密度  $\gamma_t$  および含水量  $H$  から計算により求めた含水比を縦軸に、土質試験より求めた含水比を横軸にとり、各地点の含水比をプロットすると(第3図参照)、原点を通る 45° の線上にほぼ乗ることが判明した。すなわち前述した修正率が、関東ローム層・成田層に対して妥当な値であったことになる。

### 4. RI 検層による含水量・湿潤密度から考察した関東ローム層の層序区分

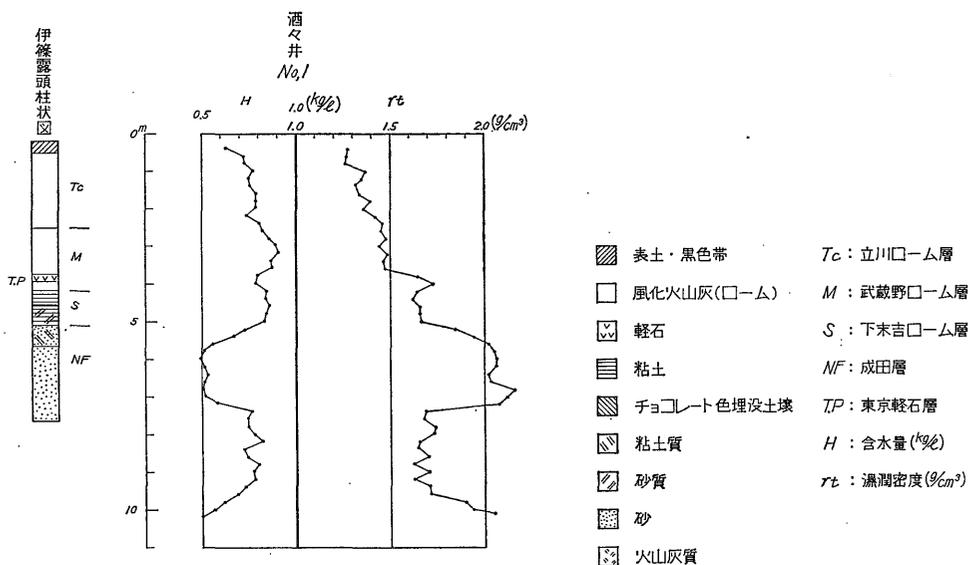
下総台地・大宮台地とも、台地を構成している主要な地層は成田層であって、その成田層の堆積面の上位に



第 3 図 RI 検層 (破壊領域修正済) より算定した含水比と土質試験から求めた含水比との関係

は、火山灰質の粘土層 (下末吉ローム層, 江戸川以東では常総粘土とも呼ばれている) がのり, さらに風成の火山灰の風化物である武蔵野ローム層・立川ローム層がかさなっている。台地の端の露頭面でもそれらの堆積状態がよく見られるが, ただ立川・武蔵野ロームの境はあまりはっきりした区分が見られないのが実状である。とく

に台地内で一般に実施されている地質ボーリングなどでは, 各個別のローム層の層厚が 0.2~2.0m と薄い所もあり, 露頭ですらこの判別はわかりにくく, 主としてローム層全体の厚さが漸くわかる程度である。そこで今回  $\gamma$  線による密度と中性子による水分量を検層することにより, 各地層個有の密度・含水量から, これらの細かい層



第 4 図 下総台地の酒々井 No. 1 RI 検層図と伊篠露頭柱状図の比較

序区分を試してみることにした。

#### 4.1 露頭柱状図と検層図の比較

代表的なものを各台地ごとに1点ずつ選び、その付近を代表する露頭柱状と比較検討した。

**下総台地の酒々井 No. 1 地点** 深度11mまで検層できた酒々井 No. 1 地点を、伊篠地点の露頭と比較すると、第4図ようになる。

下総台地における武蔵野ローム層は暗赤褐色粘土質火山灰層で、立川ローム層よりやや締っている。この事実は密度( $\gamma_t$ )・水分(H)検層にもあらわれ、立川・武蔵野ローム層の境にはそれらの変換点が見られ、露頭面でみた深度とほぼ一致していることから、これらの所で境界を決定することができる。

武蔵野ローム層の層底近くに堆積している東京軽石層は、露頭調査において層序区分の最も有力な鍵層になっているが、このRI検層においても、密度は重くなり、水分量は少なくなる特徴を持っており、鍵層として大いに利用できる。

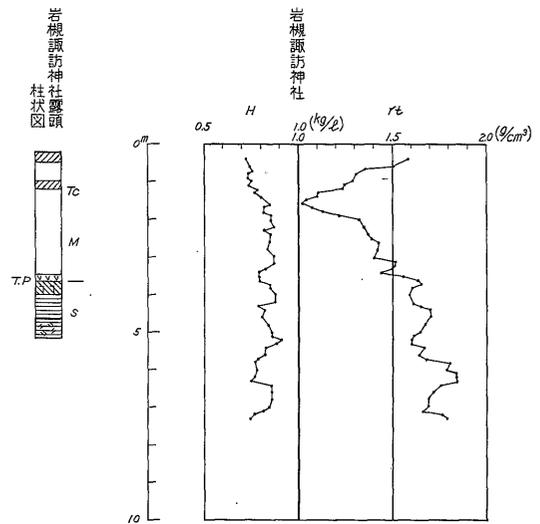
下末吉ローム層（常総粘土層）に入ると、含水量はほぼ武蔵野ローム層と同じかあるいはそれ以上で、軟弱化している所もある。

成田層の砂質層に入ると、含水量は極度に減少し、密度は増大する。

**大宮台地の岩槻諏訪神社地点** 岩槻諏訪神社地点では、露頭柱状断面と対比する目的で、その露頭面より約10m内側に入った所で、RI検層を実施した。

露頭での層序は表土の下に立川ローム層および武蔵野ローム層があるが、その境は明瞭でなく、地表下2mぐらいの所にあると推定される。武蔵野ローム層の底部には薄い東京軽石層が約15cm堆積している。この東京軽石層の下には、乾燥すると非常に固くなり、かつクラックが発達するチョコレート色の粘土層（埋没土壌）が厚さ35cmに亘り発達し、その下に水中堆積物の粘土層0.75m、うぐいす色粘土（火山灰質）0.5mとで構成される、いわゆる下末吉ローム層が、約2m堆積している。これらの層序を示した地質柱状図とRI検層結果を対比させたのが第5図である。

露頭では立川・武蔵野ローム層の区分は不明瞭であるが、密度・含水量検層結果によると、立川ローム層の下部には比較的密度の低い部分があるのが特徴となっている。他の岩槻支台・慈恩寺支台の6地点の測定箇所においても、この密度変化現象が明瞭にあらわれている。武蔵野ローム層を象徴する東京軽石層は、上部の武蔵野ローム層より多少水分量が減少し、密度が増大して、明確にその存在位置を表わしている。東京軽石層下の下末吉



第5図 大宮台地の岩槻諏訪神社 RI 検層図と露頭柱状図の比較

ローム層のチョコレート粘土・粘土・ウグイス粘土などの区分は、あまり顕著でないが、ある程度区分することができる。成田層に入ると、密度も急激に増大し、しかも含水量が低下している。

#### 4.2 $\gamma$ 線・中性子検層による地層判別の一般的傾向

**立川ローム** 密度・含水量とも武蔵野層より少なく、下部には密度が急激に低くなる場所がある。

**武蔵野ローム** 密度・含水量とも立川ローム層より大きく、かつ層底近くには、一段と密度が増大( $\gamma_t = 1.5\text{g/cm}^3$ 以上)し、かつ含水量減少を示す東京軽石層が顕著にあらわれている。

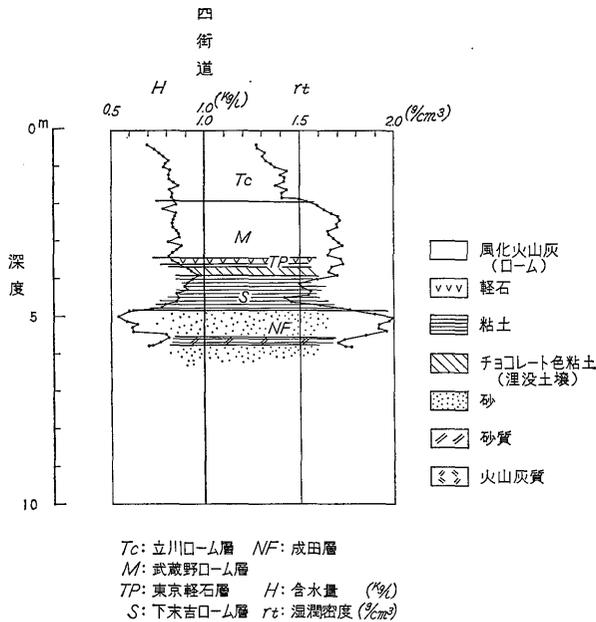
**下末吉ローム** チョコレート粘土・海成粘土（常総粘土）、ウグイス粘土等があるが、これらをあえて細分するならば、

チョコレート粘土……東京軽石層より密度・含水量とも少なく、立川・武蔵野ローム層より密度が大きい。

海成粘土……上部チョコレート粘土より含水量が少なく、密度は多少増大する。

ウグイス粘土……チョコレート粘土のように含水量・密度とも少なくなる傾向を示す。全般的にみると、下末吉ローム層の含水量はほぼ武蔵野ロームの含水量値を前後するが、密度は特殊な場合を除いて、1~2割重くなる傾向がある。

**成田層(砂質層)** 砂質になるため、密度は急激に増大し、それに伴い、含水量が急激に減少する傾向がみられる。



第6図 下総台地の四街道地区断面図

5. 各地域の関東ローム層の堆積状態

5.1 下総台地

四街道地区 (第6図) 立川ローム層は層厚1.8mで、湿潤密度 (以下密度) 1.27~1.44 g/cm<sup>3</sup>, 含水量0.70~0.85 kg/lを示し、武蔵野ローム層に入ると、密度が急に増大し、1.54~1.73 g/cm<sup>3</sup>, 含水量0.77~0.87 kg/lと立川ローム層より締め、層厚2.0m、となっている。下末吉ローム層は密度1.4~1.7 g/cm<sup>3</sup>, 含水量0.96~0.80 kg/lで、層厚0.9mと薄くなっている。本地区付近の関東ローム層は総厚4.8mぐらいであろう。砂質の成田層に入ると、密度1.76~2.0 g/cm<sup>3</sup>に増大し、含水量は0.55~0.63 kg/lに減少している。深度5.45~5.75mの所には密度1.7 g/cm<sup>3</sup>に減少しているところが見られ、砂質粘土層が存在するようである。

酒々井地区 標高35~37mの台地で3地点の検層を行なった結果を、南西-北東断面図 (第7図) に示す。

立川ローム層は密度1.3~1.4 g/cm<sup>3</sup>, 含水量0.6~0.8 kg/lを示し、層厚1.5~2.0mとなっている。

武蔵野ローム層は暗赤褐色粘土質火山灰層で、立川ローム層よりやや締め、密度1.4~1.55 g/cm<sup>3</sup>, 含水量は立川層より多くて0.8~0.9 kg/lを示している。層底には黄橙色の薄い東京軽石層が見られ、成田層上限面に平行にやや南西側へ傾いている。

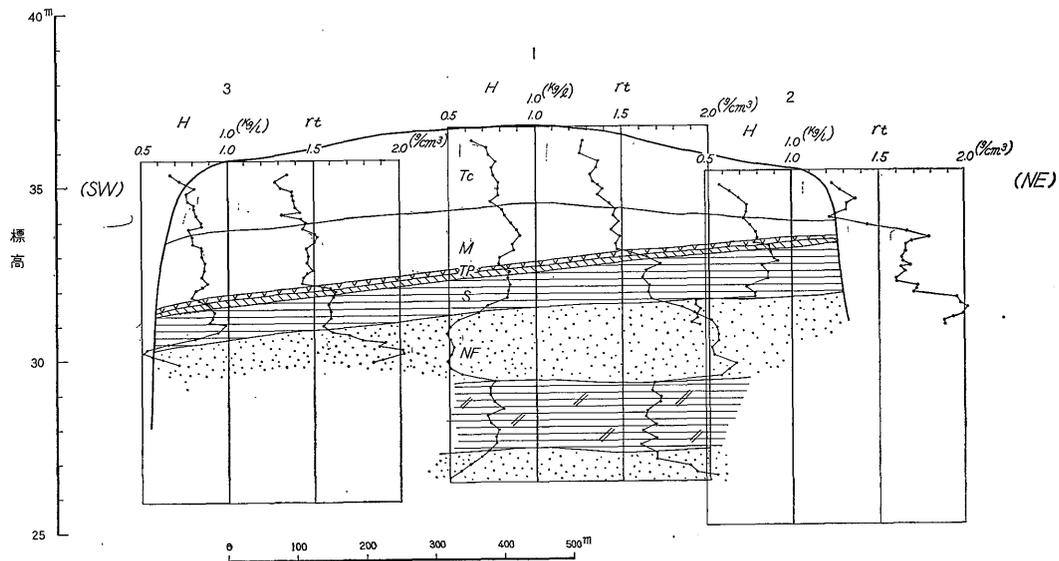
東京軽石層と成田層との間には、主として密度1.6~1.7 g/cm<sup>3</sup>, 含水量0.85~0.95 kg/lの常総粘土が層厚1.0~1.5mばかり堆積している。

成田層の上限面には地表下3.5~5mで到達し、南西側にわずかに傾いている。成田層上限には、密度1.8~2.1 g/cm<sup>3</sup>, 含水量0.5~0.7 kg/lからなる砂質層が約2m堆積し、No.1での検層結果では、この砂質層の下に約2mの砂質粘土層が堆積していることが判明した。

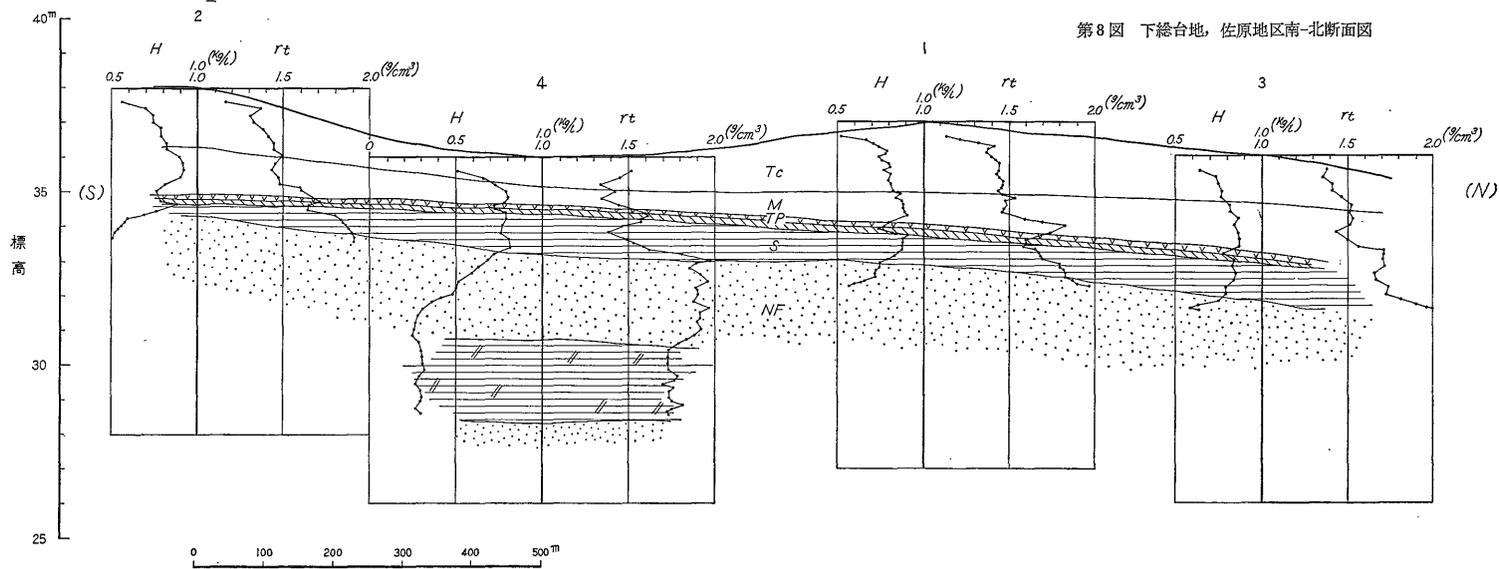
佐原地区 標高36~38mの与倉団地で南北測線を設け、R I計測を行ない、断面図を描いてみた。酒々井地区より北西約25km離れるため、関東ローム層の層厚は約1m薄くなり、3~4mの堆積を示している (第8図参照)。

立川ローム層は密度1.3~1.5 g/cm<sup>3</sup>, 含水量0.5~0.8 kg/lで、層厚1.0~2.0m、とくに標高36mのNo.4地点のように多少凹地になった所では、立川・武蔵野両ロームがすでに削られていると見られる。武蔵野ローム層の層厚も1.0~1.5mと全般的に薄く、わずかに北側に傾斜している。層底に堆積する東京軽石層は、各地点とも明瞭にR I検層に現われ、密度1.6~1.7 g/cm<sup>3</sup>, 含水量0.7~0.75 kg/lを示している。

密度1.35~1.8 g/cm<sup>3</sup>, 含水量0.7~0.9 kg/lからなる常総粘土 (下末吉ローム層) も全般的に薄くなり、層厚0.5~1.3mにとどまっている。



第7図 下総台地, 酒々井地区南西-北東断面図



第8図 下総台地, 佐原地区南-北断面図

成田層に入ると、地盤が締ってくるので、導入管打込みが阻止されて、わずかに No. 4 地点だけしか検層できなかったが、これによると、酒々井地区と同様に上限部に砂質層2.5m、その下に砂質粘土層が約2.5m堆積している。なおこの地層で含水量が 0.25 ~ 0.3 kg/l と異常に減少しているのは、当 No. 4 地点が、深度17mの井戸(直径約1m、地下水位は地表から -11.67m) から約5mぐらい離れた所で測定を行なった関係上、砂質粘土、砂層ともすでに幾分脱水が進捗している形跡と見受けられる。

5.2 大宮台地

岩槻地区…北西-南東断面 (I-I') 岩槻支台を北西-南東に縦断する断面である。計測地点は、台地の端の新和地点を除いて、標高13m内外に点在している(第9図参照)。

立川ローム層は密度 1.1 ~ 1.48 g/cm<sup>3</sup>、含水量 0.8 ~ 0.9 kg/l からなり、平坦な台地では層厚 2m の堆積をなしている。武蔵野ロームの層厚もほぼ立川ローム層と同じ 2 ~ 2.5m であるが、密度が増大し 1.4 ~ 1.6 g/cm<sup>3</sup>、含水量 0.8 ~ 0.95 kg/l に変化する。東京軽石層は層厚 0.1 ~ 0.2m ときわめて薄く、密度 1.5 ~ 1.8 g/cm<sup>3</sup>、含水量 0.8 kg/l 内外を示している。

下末吉ローム層は層厚 1.5 ~ 2.0m で、チョコレート粘土・海成粘土・ウグイス粘土と 3層に区分することができる。とくに柏崎地点のウグイス粘土層に相当する部分で、含水量 1.0 kg/l と大きく、密度 1.1 g/cm<sup>3</sup> と急激に低下しているのは、R I 検層を行なった当日雨であったことと、計測地点が先に地質資料採取のために GR 式オーガードリルで掘さくされた孔から約 1m 離れた所で実

施したため、降雨量水がこの孔に流れ込み、とくにウグイス粘土の所に浸透したものとみられる。

成田層に入ると、密度 1.8 ~ 2.2 g/cm<sup>3</sup>、含水量 0.55 ~ 0.7 kg/l となり、その砂層上限面は標高 5 ~ 7m で、幾分南東側へ下っている。下総台地と同様に成田上部の砂層には薄い砂質粘土を挟んでおり、柏崎支所地点でも標高 4m の所に層厚 0.5m の砂質粘土が見られる。

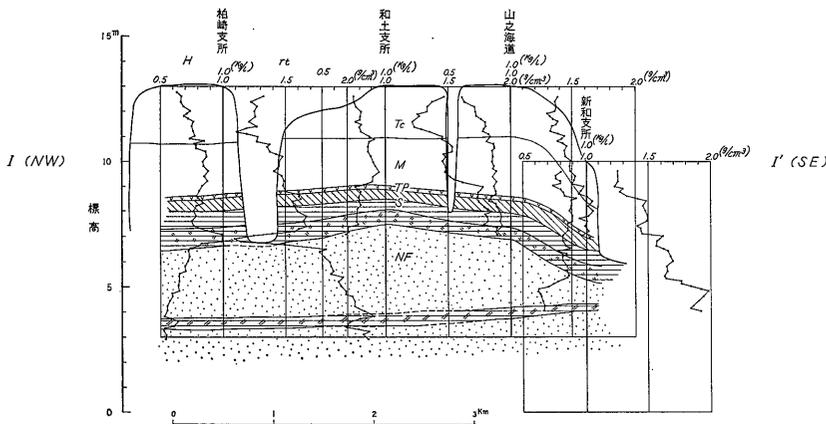
岩槻地区…南-北断面 (II-II') 岩槻支台と慈恩寺支台を横断する断面である(第10図参照)。

立川ローム層は密度 1.0 ~ 1.6 g/cm<sup>3</sup>、含水量 0.6 ~ 0.8 kg/l、層厚 1.5 ~ 2m で、南側に行くにしたがい、幾分厚くなる傾向を示す。

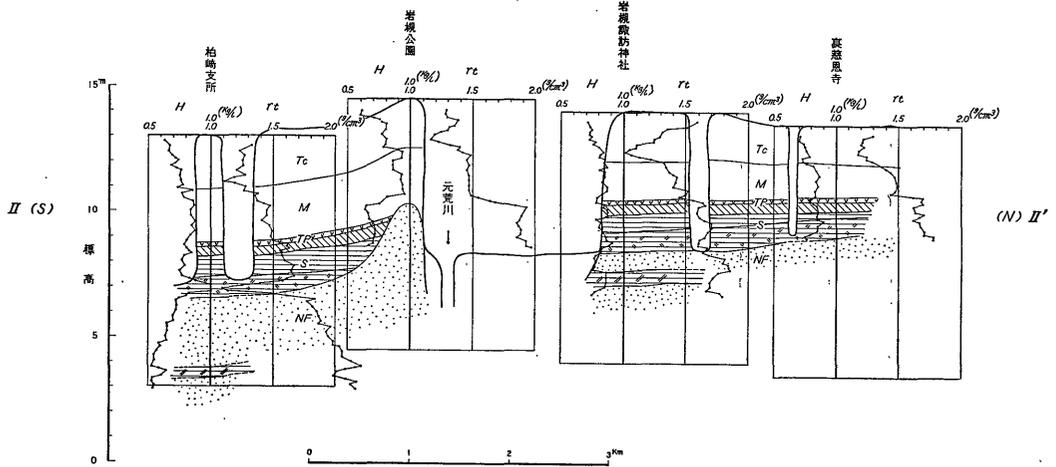
武蔵野ローム層は密度 1.4 ~ 1.7 g/cm<sup>3</sup>、含水量 0.8 ~ 0.9 kg/l が卓越し、その上限面は標高 11 ~ 12m で、2 ~ 2.5m の堆積を示している。東京軽石層は、成田層上限面の標高が高い(10m) 岩槻公園地点を除き、他の地点で層厚 0.1 ~ 0.2m の薄い堆積がみられる。

下末吉ロームはチョコレート粘土・海成粘土・ウグイス粘土(火山灰質)等を含む地層で、密度 1.55 ~ 1.7 g/cm<sup>3</sup>、含水量 0.8 ~ 0.95 kg/l (柏崎支所地点を除く)を示し、層厚は裏慈恩寺地点で 1.5m、南端の柏崎支所地点で 2m と全般的に南側へ幾分厚くなる傾向がみられる。

成田層は密度 1.7 ~ 2.2 g/cm<sup>3</sup>、含水量 0.53 ~ 0.88 kg/l、上限面は標高 7 ~ 9m で、南側へ多少低くなる傾向が見られる。ただ岩槻公園付近は、成田層上限面が標高 10m まで上っているために、武蔵野ローム層の東京軽石層および下末吉ローム層が欠如している。したがって成田層の上には不整合に、上部の武蔵野ローム層が堆積している特殊地帯になっている。



第9図 大宮台地(岩槻支台)岩槻地区北西-南東 (I-I') 断面図



第10図 大宮台地 (岩槻支台, 慈恩寺支台) 岩槻地区南-北 (II-II') 断面図

6. RI 検層からの間隙比・含水比の算定法

$\gamma$ 線密度計および中性子水分計によって求めた密度 ( $\gamma_t$ ), 含水量(H)から, 地層の間隙率  $n$ , 間隙比  $e$ , および含水比  $w$  は次の式により求められる。

$$n = \frac{\alpha(\gamma_s - \gamma_i) + H - h\gamma_s}{(\alpha - h)\gamma_s} \dots\dots\dots (1)$$

$$e = \frac{n}{1 - n} \dots\dots\dots (2)$$

$$w = \frac{\alpha(H - h\gamma_i)}{(\alpha - h)\gamma_i - \alpha(H - h\gamma_i)} \dots\dots\dots (3)$$

ここで

$n$  : 間隙率

$\alpha$  : 土中水に含まれる純水の含水率 (= 1)

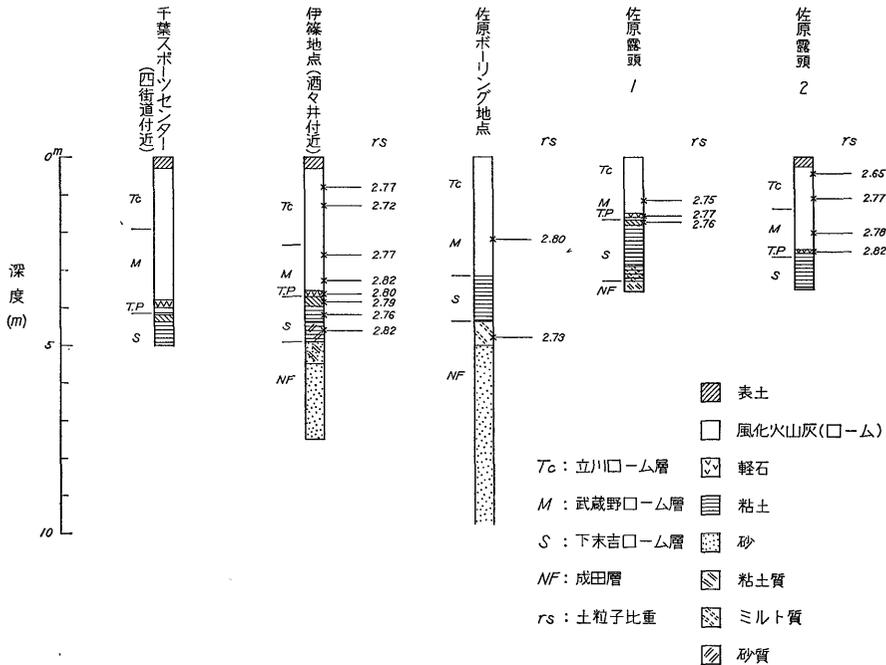
$\gamma_s$  : 土の粒子密度  $g/cm^3$

$\gamma_i$  : 地盤のかさ密度  $g/cm^3$

H: 単位含水量  $kg/l$

$h$  : 地盤中の乾燥試料中に含まれる結晶水の重量比

したがって(1)と(2)式によって間隙率を求めるためには, 乾いた土粒子の単位質量中に含まれている水素原子の水当量, または結晶水の含水率  $h$  をあらかじめ知って



第11図 下総台地 (成田地区) 露頭柱状図および土粒子の比重

おこななければならない。なお  $h$  は次の式から求められる。

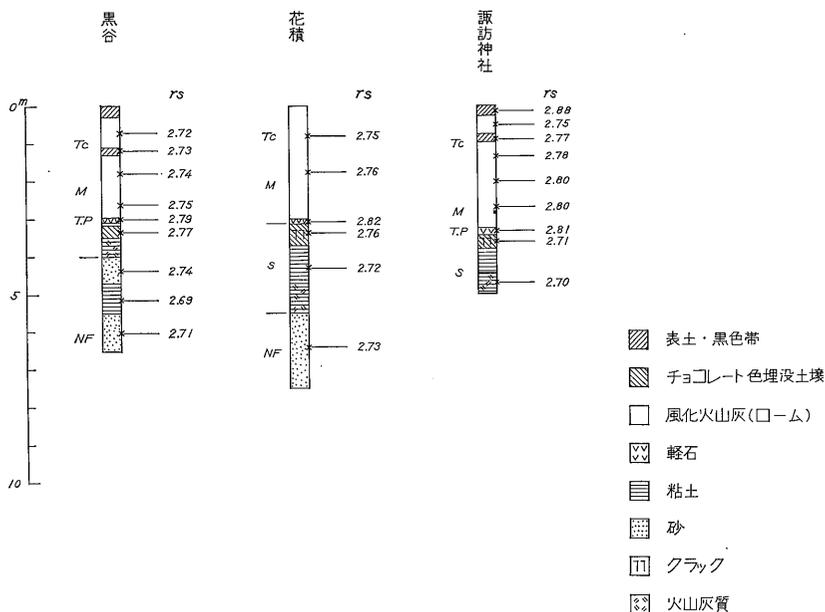
$$\gamma_s = \frac{\gamma_t - H}{1 - H + h(\gamma_t - 1)} \text{ から}$$

$$h = \frac{1}{\gamma_t - 1} \left\{ \frac{\gamma_t - H}{\gamma_s} + H - 1 \right\} \dots\dots\dots(4)$$

これから  $h$  を求めるには、土の粒子密度  $\gamma_s$  g/cm<sup>3</sup> が大きく影響するので、下総台地 (成田地区)・大宮台地 (岩槻地区) の各層別の土粒子比重を求めなければならない。

7. 層別土粒子の平均比重

下総台地では酒々井地区に近い伊篠地点露頭、佐原 No. 1 ボーリング地点の標準貫入試験のとき採取した資料、その他佐原地区 2カ所の露頭地点から採取した資料をもとに、また大宮台地では、黒谷・花積・諏訪神社の 3 地点の露頭から採取した試料について、JIS で定める土粒子の比重試験を実施した。その結果を露頭柱状図の横へ記入したのが、第11図 (下総台地)、第12図 (大宮台



第12図 大宮台地 (岩槻地区) 露頭柱状図および土粒子の比重

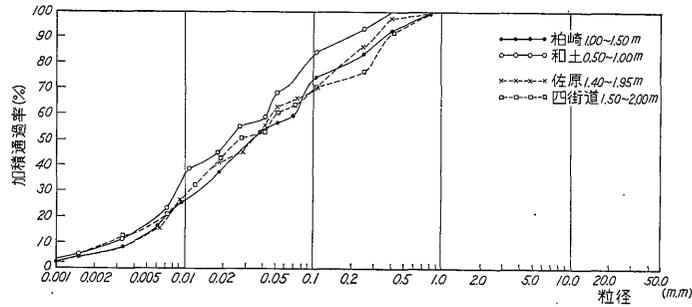
下総台地 (成田地区)

大宮台地 (岩槻地区)

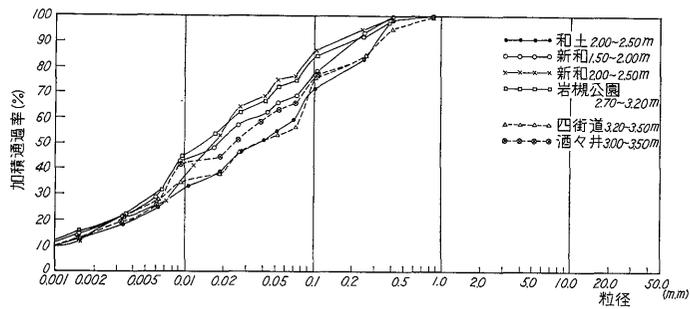
層別	比重				各層の平均比重
	26	27	28	29	
関東 □-ム	立川□-ム				2.71
	武蔵野□-ム				2.77
	東京 軽石層				2.80
	下総 チョコレート 粘土				2.75
	下総 常総 粘土				2.76
成田層					2.70
関東 □-ム	立川□-ム				2.75
	武蔵野□-ム				2.78
	東京 軽石層				2.81
	下総 チョコレート 粘土				2.74
	下総 常総 粘土				2.71
成田層					2.70

第13図 下総台地・大宮台地の層別土粒子の平均比重

立川ローム層

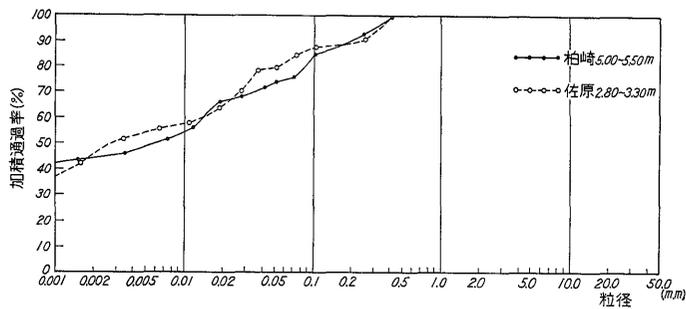


武蔵野ローム層

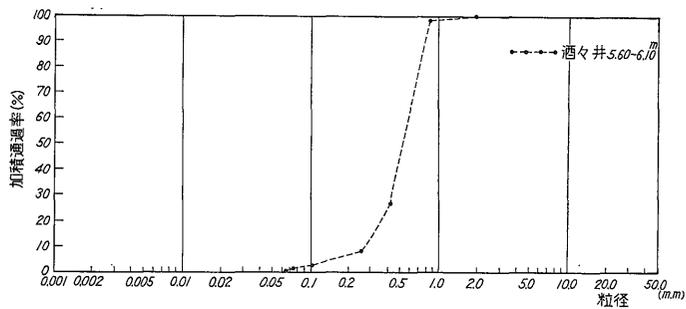


第14図 a 層序別土粒子の粒度試験結果 (粒径加積曲線)

下未吉ローム (常総粘土) 層



成田層



第14図 b 層序別土粒子の粒度試験結果

地)である。

各層序別の平均比重を求めるため、立川ローム・武蔵野ローム・下末吉ローム・成田の各層に分け、求めた土粒子比重を該当する地層にプロットし、その平均値を求めた図表が第13図である。

関東ローム層は塩基性の火山活動による降下堆積物であるため、その土粒子比重は一般の沖積層(堆積土)の土粒子比重(2.6~2.7)に比較して重くなる特徴がある。

立川ローム層はカンラン石を多く含む関係もあって、その平均比重が、下総台地 2.71、大宮台地 2.75と、ローム層内では軽い値を示している。

武蔵野ローム層は立川ローム層よりも、輝石(輝石族の比重 3.0~3.5)・長石(長石族の比重 2.5~3.0)の重鉱物を多く含んでいるために、土粒子の平均比重も重くなり、下総台地 2.77、大宮台地 2.78を示している。武蔵野ローム層の層底にある東京軽石層になると、カンラン石は含まれず、シソ輝石・輝石が約 50~60% 含まれ、かつ磁鉄鉱(比重 5.2)が含まれているため、ローム層内では最も重い比重を示し、下総台地 2.80、大宮台地 2.81である。

下末吉ローム層に入ると、長石が多く含まれるようになるため、上部武蔵野ローム層より軽くなる。チョコレート粘土層の平均比重が下総台地で 2.75、大宮台地で 2.74、また海成の常総粘土では下総台地 2.76、大宮台地 2.71を示している。

台地を形成する砂質の成田層では、両地区とも、平均比重2.70と関東ローム層より低い値を示す。

### 8. 層序別土粒子の粒度

下総台地と大宮台地で採取した不攪乱試料について、粒度試験を行なった結果を、RI 検層によって判定された立川・武蔵野・下末吉層および成田層の4種類の層序ごとにプロットしてみると第14図(a)・(b)のように、各地層とも特徴ある粒度分布ダイアグラムを示していることが判明した。

立川ローム層に相当する地点は、下総台地2点(佐原地点深度1.40~1.95m、四街道地点1.50~2.00m)、大宮台地2点(柏崎地点深度1.00~1.50m、和土地点0.5~1.00m)で、4地点ともほぼ一致した粒径加積曲線を描いている。それらの平均粒度組成は最大粒径が0.84 mm、60%粒径は0.045 mm、10%粒径は0.003 mmをなし、粒径0.001 mm以下のコロイド分が約3%と少ないのが特徴である。

武蔵野ロームに相当する地点は、下総台地2点(四街

道地点深度3.20~3.50m、酒々井地点3.00~3.50m)、大宮台地5点(和土地点深度2.00~2.50m、新和地点1.50~2.00m、および2.00~2.50m、岩槻公園地点2.70~3.20m)の7地点であるが、ほぼ一致した粒径加積曲線を描いている。平均した粒度組成は、最大粒径が0.84 mm、60%粒径は0.035 mm、10%粒径は0.001 mmで、コロイド分が10%含まれているところに特徴がある。

下末吉ローム層に相当する地点は、下総台地1点(佐原地点深度2.80~3.30m)、大宮台地1点(柏崎地点5.00~5.50m)の2点に過ぎないが、粒径加積曲線は一致し、最大粒径は0.42 mm、60%粒径は0.013 mmで、粒径0.001 mm以下のコロイド分が40%も含まれている。

成田層は下総台地の酒々井地点深度5.60~6.10mの1点だけで試験したが、最大粒径は2.0 mmで、60%粒径は0.57m、10%粒径は0.27 mmという分布状況であり、砂質分が98%も占めるという特徴を示した。

### 9. 関東ローム・成田層の含水比と間隙比

#### 9.1 各地層における結晶水の重量比(h)

下総台地・大宮台地における土粒子の平均比重(第13図参照)を用いて、式(4)より算定したh(結晶水の重量比)の平均値は次のようになる。

層		下総台地	大宮台地	
関東 ローム	立川ローム層	0.09	0.07	
	武蔵野ローム層	0.19	0.19	
	東京軽石層	0.17	0.16	
	下末吉 ローム 層	チョコレート粘土	0.21	0.21
		常総粘土	0.21	0.23
成田層		0.08	0.14	

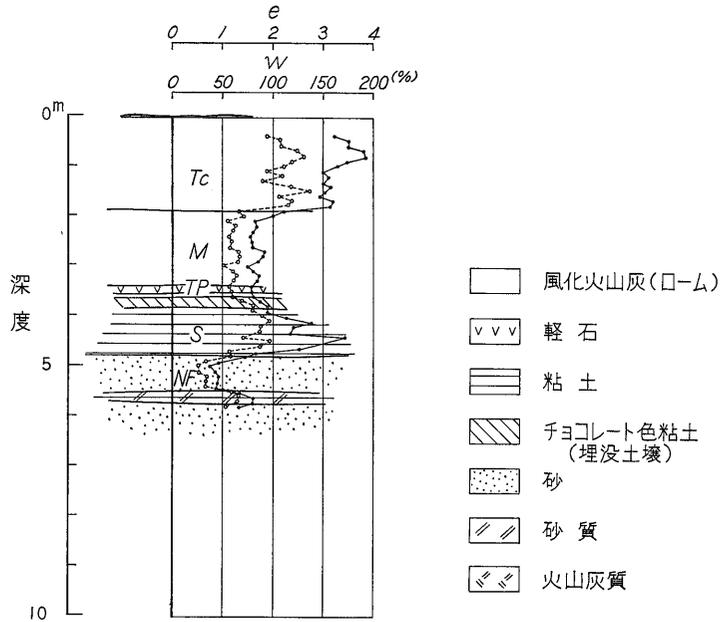
#### 9.2 関東ローム・成田層の含水比wおよび間隙比e

先に求めた比重 $\gamma_s$ 、結晶水の重量比h、および各地点で計測した湿潤密度 $\gamma_t$ 、含水量Hを、前述の式(1)、(2)、(3)に代入して、全地点における関東ローム・成田層の含水比・間隙比を算定した。算定結果は含水比w・間隙比eの断面図として第15~19図にプロットした。

層序区分はRI 検層で行なったのと同じであるので、断面の説明は省略する。ここでは各地層(立川・武蔵野ローム層等)固有の含水比・間隙比を統計的に求めてみる。

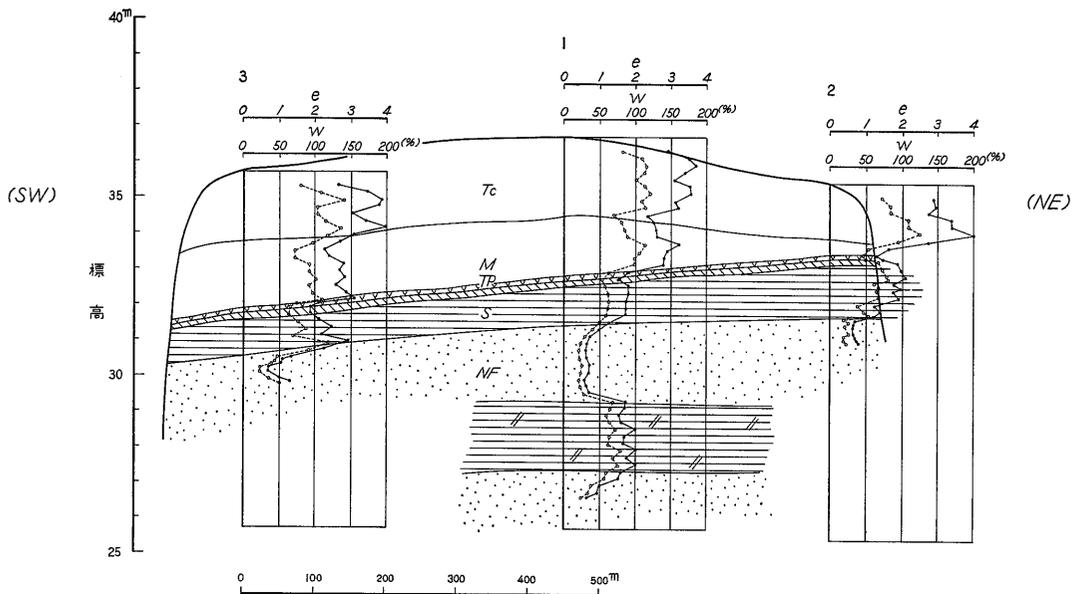
#### 9.3 層別による含水比wの頻度分布

下総台地・大宮台地における各層別の含水比を比較検討するために、第20図のように、各層別による含水比w

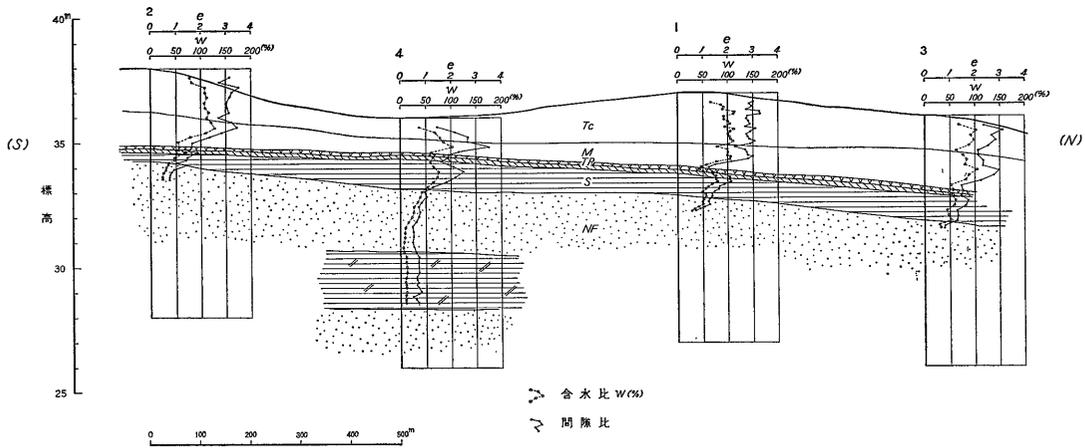


$T_c$ : 立川ローム層       $e$ : 間隙比  
 $M$ : 武蔵野ローム層       $W$ : 含水比  
 $TP$ : 東京軽石層  
 $S$ : 下末吉ローム層  
 $NF$ : 成田層

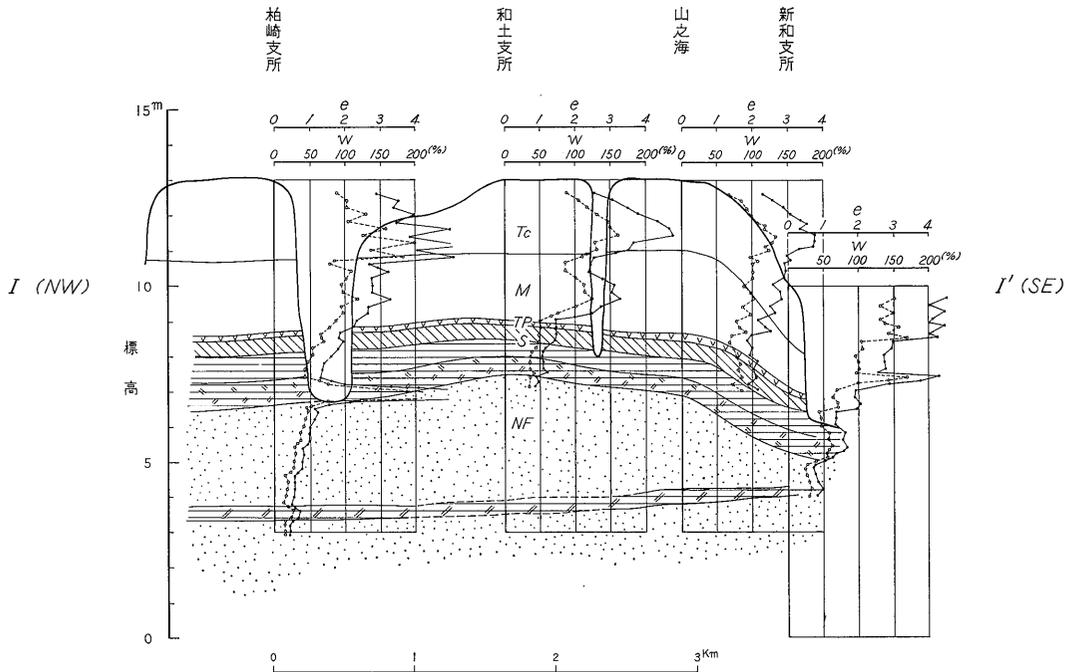
第15図 下総台地，四街道地区含水比および間隙比断面図



第16図 下総台地，酒々井地区含水比および間隙比南西-北東断面図



第17図 下総台地，佐原地区含水比および間隙比南-北断面図



第18図 大宮台地 (岩槻支台)，岩槻地区含水比および間隙比北西-南東 (I-I') 断面図

の頻度図を作成した。

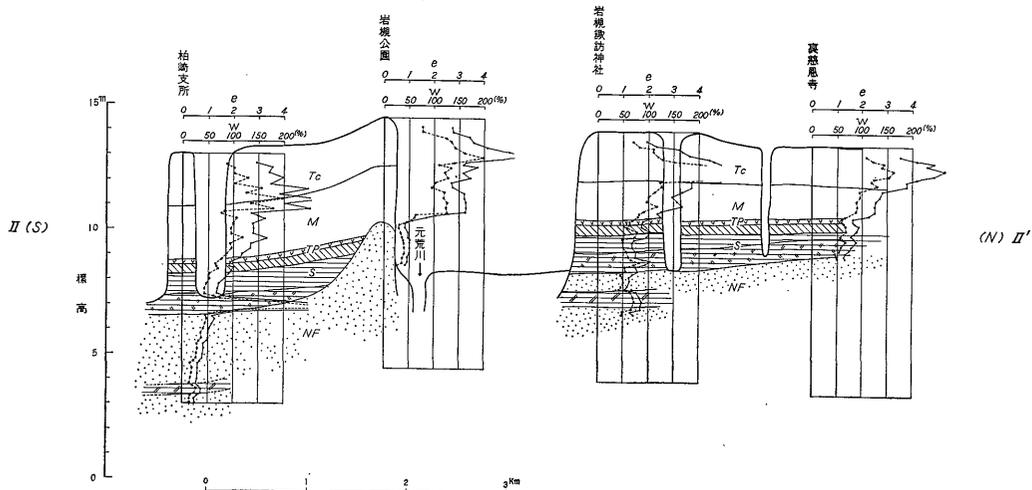
**立川ローム層** 下総台地では60~150%に分布し、そのうち100~110%が最も頻度の高い所で、28%を示している。大宮台地になると、分布範囲が60~250%と散布度が最も大きくなり、含水比の中央値も120~130%と下総台地より約20%含水比が増大している。

**武蔵野ローム層 (東京軽石層を除く)** 下総台地では40~140%の範囲に分布し、上部立川ローム層の含水比

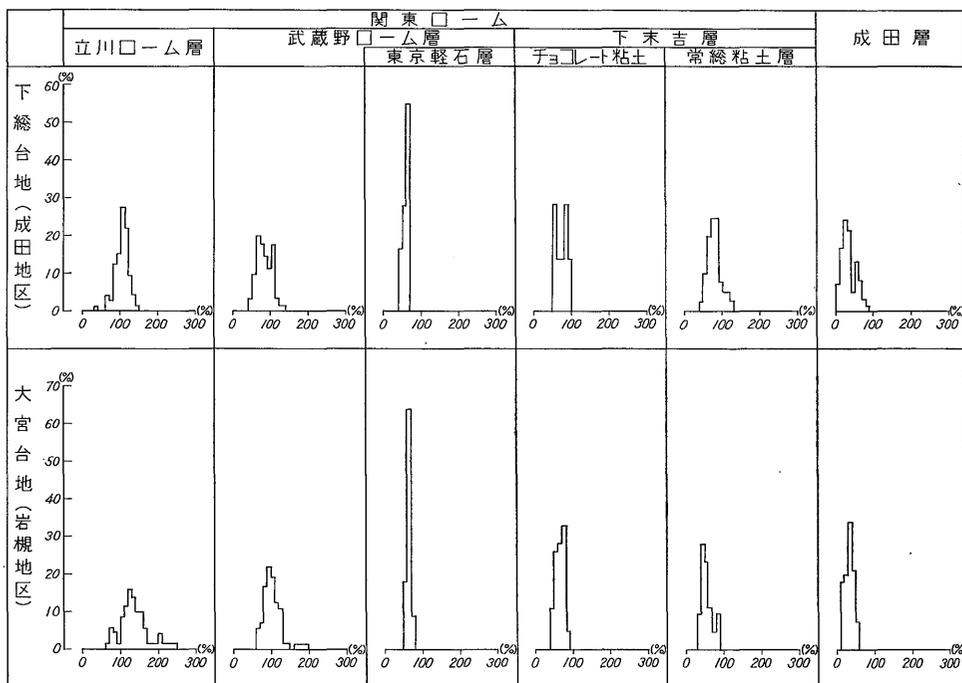
より全般的に30~40%減少し、中央値60~70%を示す。大宮台地では上部立川ローム層と同じく、60~200%と分布範囲が広いが、中央値は90~100%で立川ローム層より30%減少する。

**東京軽石層** 両台地ともよく収斂され、下総台地40~70%、大宮台地50~80%で、含水比60~70%が全体の半数以上を占めている。

**下末吉ローム層** クラックの入るチョコレート粘土



第19図 大宮台地 (岩槻支台, 慈恩寺支台) 岩槻地区含水比および間隙比南-北 (II-II') 断面図



第20図 下総台地 (成田地区)・大宮台地 (岩槻地区) の各層別含水比頻度図

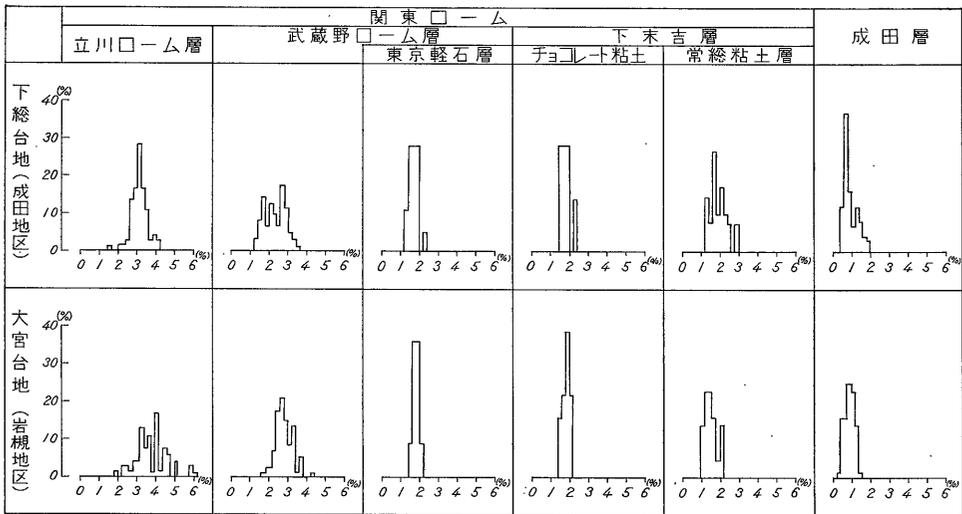
と常総粘土に別けてプロットを行なっている。

チョコレート粘土は、下総台地で50~100%に分布し、平均70~80%である。大宮台地では、40~90%に分布し、中央値70~80%と両台地とも同じ含水比を示している。

常総粘土は、下総台地で40~130%に分布し、中央値

70~80%、大宮台地では下総台地より減少し、30~90%範囲に分布し、中央値40~50%である。

成田層 砂質層になるための急激に含水比が減少するが、一部成田層内に砂質粘土層を挟む関係で分布度が広がっている。下総台地では5~90%の範囲にあり、中央値20~30%を示している。大宮台地では10~60%と下



第21図 下総台地(成田地区)・大宮台地(岩槻地区)の各層別間隙比頻度図

総台地より収斂されており、中央値30~40%をなす。

両台地における含水比分布状態を全般的に見ると、立川・武蔵野両ローム層にあつては、一般的に大宮台地の方が、約20~30%程度含水比が多い地層になっている。下末吉ローム層に入ると、逆に下総台地の方が、大宮台地より20~30%含水比が増加している。成田層の砂層では、両台地とも、ほぼ同じ含水比を示している。

9.4 層別による間隙比eの頻度分布

下総・大宮台地の各地層がどのような間隙比で堆積しているかを、間隙比頻度図(第21図)より調べてみた。

**立川ローム層** 下総台地での間隙比は、1.4~4.2に分布し、全体の86.4%が間隙比2.6~3.6によって占められている。大宮台地では、1.8~6.2と広い範囲に分布し、かつ間隙比4.5以上の所が全体の21.7%を占めているため、地盤強度も下総台地よりわずかに劣っていることを示している。一般的に見て、立川ローム層の間隙比は下総台地で2.8~3.4、大宮台地で3.2~4.2である。

**武蔵野ローム** 下総台地では、間隙比1.2~3.6の範囲に分布し、全体の46.8%が間隙比2.0~2.8に集中している。大宮台地では間隙比1.6~4.4範囲に分布し、そのうちの75.3%が間隙比2.5~3.4によって占められている。

層底に堆積する東京軽石層の間隙比は、良く収斂されており、下総台地で、間隙比1.2~2.4、大宮台地で1.4~2.2であり、全体の70%以上が間隙比1.7~2.0によって占められている。

全般的に見た武蔵野ローム層の間隙比は、下総台地2.0~2.8、大宮台地2.4~3.4程度と見られ、上部立川

ローム層より約2~3割ほど、間隙比が小さくなり、地盤もそれだけ立川ローム層より締まっていることを示している。

**下末吉ローム層** この地層に入ると、全般的に間隙比は武蔵野ローム層より小さくなる。チョコレート粘土では、両台地ともほぼ間隙比1.4~2.2に分布し、平均値は1.8~2.0である。常総粘土に入ると、頻度の分布は拡がり、下総台地で間隙比1.2~3.0の範囲に分布し、中央値1.6~1.8である。大宮台地は下総台地よりも間隙比が小さくなり、中央値で1.2~1.6を示している。

**成田層** 両台地とも地層内に砂質粘土層を挟むので間隙比1.5あるいは2.0を示す所がある。しかし地層を代表する砂層の間隙比は、主に1.0以下であり、中央値は下総台地で0.6~0.8、大宮台地では0.9~1.0である。

10. ローム層および成田層の地盤強度

10.1 各地層の剪断応力

地盤強度は一般に土の破壊強度を意味している。土の自重あるいは外力の作用によって、土体の内部に剪断応力が生ずると、土体は変形し、さらに剪断応力が増せば、変形も大きくなり、ついに土体は破壊する。今この破壊のり面にはたらく垂直有効応力を $\sigma$ とすれば、剪断応力( $\tau$ )は

$$\tau = C + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots(5)$$

C: 粘着力

$\phi$ : 内部摩擦角

で示される。

下総台地・大宮台地におけるローム層などの内部摩擦

角, 粘着力が, どのような範囲内にあるか。三軸圧縮試験あるいは剪断試験にて求めたものを, 第22図のように層序別にプロットをおこなってみた。

**内部摩擦角 (第22図(a))** 立川ローム層は $13^{\circ}30'$ ~ $21^{\circ}48'$ に分布し, 各台地とも2点にすぎないが, 大宮台地の方が $2\sim 3^{\circ}$ 大きい値を示している。平均値は $17^{\circ}50'$ である。

武蔵野ローム層に入ると,  $14^{\circ}34'$ ~ $18^{\circ}47'$ と比較的各地点とも収斂されており, 平均値 $17^{\circ}00'$ を示している。

下末吉ローム (常総粘土) 層になると, 粘土質的なするために, 内部摩擦角は急激に減少し,  $5^{\circ}09'$ ~ $6^{\circ}17'$ に亘り, 平均 $5^{\circ}40'$ となる。

砂質の成田層では, 内部摩擦角が増大し $36^{\circ}$ 前後を示す。

**粘着力 (第22図(b))** 立川ローム層の粘着力は $0.21\sim 0.51\text{ kg/cm}^2$ と広い範囲に分布しており, 平均値 $0.34$

$\text{kg/cm}^2$ である。

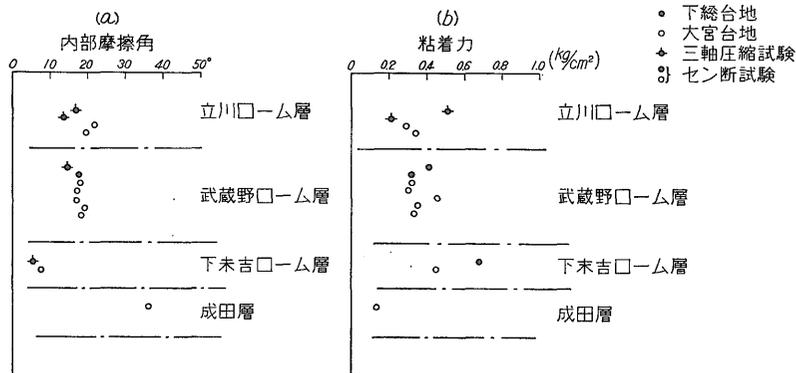
武蔵野ローム層では $0.30\sim 0.46\text{ kg/cm}^2$ と分布範囲がせばまり, 平均値 $0.36\text{ kg/cm}^2$ を示している。

下末吉ローム層では, 粘土化しているために, 粘着力は増大し, 平均値 $0.56\text{ kg/cm}^2$ を示している。

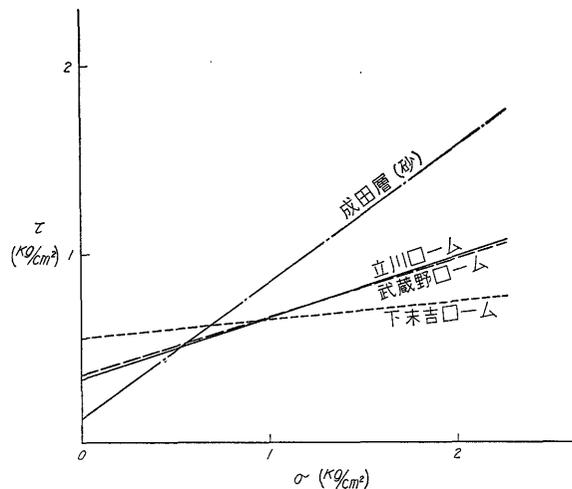
成田層では, 砂質のため粘着力は減退し,  $0.13\text{ kg/cm}^2$ となっている。

各地層における剪断応力を比較検討するために, 今仮に垂直有効応力 $\sigma$ を $0\sim 2\text{ kg/cm}^2$ に仮定し, 各地層の平均内部摩擦角・粘着力に対する剪断応力図を描くと, 第23図ようになる。この図からわかるように, 立川・武蔵野ローム層ではほぼ同じ直線上に乗り, 垂直有効応力 $\sigma = 1\text{ kg/cm}^2$ で,  $\tau \approx 0.66\text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma = 2\text{ kg/cm}^2$ では $\tau \approx 0.98\text{ kg/cm}^2$ である。

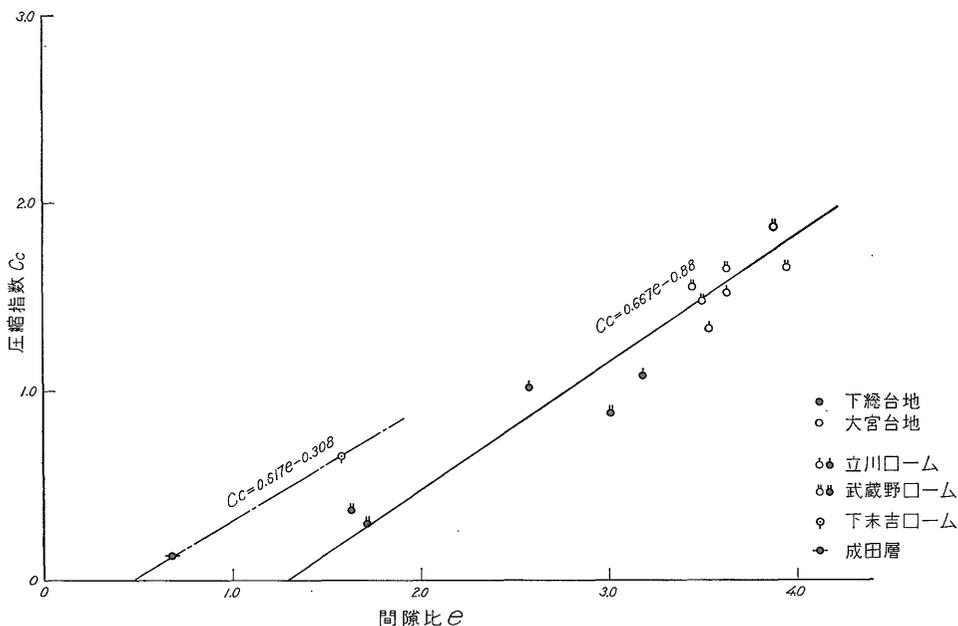
下末吉ロームは, 粘着力が大きい関係から, 有効応力 $\sigma = 0.9\text{ kg/cm}^2$ 以下では, 立川・武蔵野ロームの剪断応



第22図 下総・大宮台地の各層の内部摩擦角と粘着力



第23図 ローム, 成田層 (砂) 各層の剪断応力図 (土の強度)



第24図 圧縮指数  $C_c$  と間隙比  $e$  との関係

力より大きい、 $\sigma = 0.9 \text{ kg/cm}^2$  以上を超えると、内部摩擦角が小さいために、逆に小さくなり、 $\sigma = 2 \text{ kg/cm}^2$  で  $\tau = 0.758 \text{ kg/cm}^2$  と立川・武蔵野ロームより約3割がた地盤強度が弱まる。

成田層は砂質のため、 $\sigma = 0.5 \text{ kg/cm}^2$  以下では、ローム層より破壊強度が小さいが、 $\sigma = 0.5 \text{ kg/cm}^2$  以上になると、内部摩擦角が大きいため、 $\sigma = 2 \text{ kg/cm}^2$  で  $\tau = 1.58 \text{ kg/cm}^2$  とロームより約6割増大する。

以上のように立川・武蔵野ローム層が、一般の沖積土壌にくらべ(沖積層粘土の内部摩擦角は  $\phi = 0^\circ$ )、破壊強度が非常に大きいことを示している。

### 10.2 ローム層の圧縮指数 $C_c$ と間隙比 $e$ との関係

縦軸に圧縮指数  $C_c$ 、横軸に間隙比  $e$  を採り、土質試験を実施した11点をプロットすると第24図のように、立川・武蔵野ローム層の圧縮指数  $C_c$  と間隙比  $e$  の間には、相関性が見られ

$$C_c = 0.667e - 0.88 \dots\dots\dots(6)$$

$$= 0.6 (1.11e - 1.47)$$

の直線式が得られる。

平野部における沖積層の圧縮指数と間隙比の関係は一般に  $C_c = 0.6 (e - 0.5)$  といわれている。そこで立川・武蔵野ローム層を除いた地層、すなわち常総粘土・成田層の砂質についての圧縮指数と間隙比関係を見ると(ただ地点数が2地点と少ないが、これらを直線で結ぶと)

$$C_c = 0.617e - 0.308$$

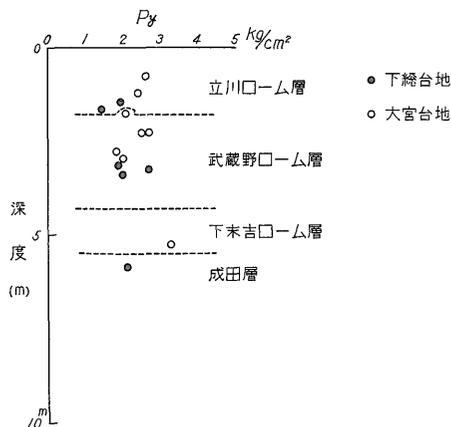
$$= 0.6 (1.03e - 0.513)$$

とほぼ一般的な沖積平野部の関係式と一致している。

これらのことは、関東ローム層内の立川・武蔵野両層のみが、平野部の沖積層あるいは下末吉ローム層、成田層にくらべ特殊な地盤強度を有することを意味している。

### 10.3 ローム層における土粒子の結合力

ローム層における土粒子の結合力<sup>注1)</sup>(圧密降伏応



第25図 下総・大宮台地における圧密降伏応力(土粒子の結合力)と深度との関係

注1) 土粒子の結合力(圧密降伏応力): 圧密における圧力と圧密量の関係が圧力の増加によって弾性域から塑性域に移るときの圧力。いいかえると、現在の土粒子結合がみだされる瞬間の応力。

力)と深度との関係がどのようなものであるか第25図にプロットをおこなってみた。

図に示されるように、立川・武蔵野ローム層の土粒子の結合力は、 $1.5 \sim 2.7 \text{ kg/cm}^2$  に分布し、平野部の沖積層に比べて非常に大きい値を示し、かつ深度との関係はみられない。また土粒子の結合応力以内では、圧縮変形量が小さいことがあげられ、すでにのべたローム層の地盤支持力強度が大きいことを意味している。

## 11. ま と め

1) 下総台地・大宮台地の一部地域において、 $\gamma$ 線密度検層と中性子水分検層を実施した結果、検層図より関東ローム層（立川・武蔵野・下末吉ローム層）および成田層などの詳細な堆積状態、とくに立川・武蔵野ロームの不明確な層序区分を簡易に行なうことができた。

2) これらの層序区分による立川・武蔵野・下末吉ローム各層の土粒子分布状態は、各地層とも特徴ある粒度分布をなしていることが判明した。すなわち立川ローム層は  $D_{10}$ (10% 粒径、以下同じ) が  $0.003 \text{ mm}$  内外で、かつコロイド分(粒径が  $0.001 \text{ mm}$  以下のもの)が3%と少ないもの、武蔵野ローム層は  $D_{10}$  が  $0.001 \text{ mm}$  内外でかつコロイド分約10%を含む。下末吉ローム層になると、コロイド分が全体の40%内外を含む地層をなしている。

3) 関東ローム各層の力学的性質としての縮圧指数( $C_c$ )と間隙比( $e$ )との関係は、立川・武蔵野両ローム層で、間隙比が割合に大きいにもかかわらず、縮圧指数が小さく、一般の沖積土<sup>注2)</sup>とは異なった相関関係

$$C_c = 0.667e - 0.88 = 0.6 (1.11e - 1.46)$$

が得られた。なお下末吉ローム(常総粘土)および成田層においては、一般の沖積土とほぼ同じような関係式

$$C_c = 0.617e - 0.308 = 0.6 (1.03e - 0.513)$$

であった。

4) 関東ローム層・成田層各層の間隙比を統計的に求めた中央値、およびそれより推定した縮圧指数  $C_c$  は

標準層序	間隙比( $e$ ) (中央値)	縮圧指数( $C_c$ ) (推定値)
立川ローム	3.2	1.30
武蔵野ローム	2.8	1.02
下末吉ローム(常総粘土)	1.6	0.68
成田層(砂)	0.8	0.20

である。

5) 立川・武蔵野ローム層は、縮圧指数が大きいた

注2) 沖積土における縮圧指数( $C_c$ )と間隙比( $e$ )との一般的な関係式は  $C_c = 0.6(e - 0.5)$  といわれている。

め、圧密沈下要素を持っている。だがこれらの圧密沈下が起きるには、現在地層内に有する土粒子の結合力(圧密降伏応力)以上の外力が地層に働いて、始めて地盤収縮現象が起こるものである。

しかるに下総・大宮台地における立川・武蔵野ローム層には、沖積平野に堆積する土壌などに見られない圧密降伏応力  $1.50 \sim 2.70 \text{ kg/cm}^2$  が存在し、かつ内部摩擦角が  $17 \sim 18^\circ$  と大きい値を示している。

以上のように関東ローム層の地盤は比較的安定した地盤をなすが、これらに圧密降伏応力以上の外力が働くと、沖積土より縮圧指数が大きいだけに、異状な地盤破壊が起きうる可能性があるため、十分その点に注意する必要がある。

## 参 考 文 献

- 大野博教：ラジオアイソトープの地盤調査への応用、  
応用物理，vol. 33, no. 1, p. 1～8
- 土質工学会編：土質試験法
- 関東ローム研究グループ編：関東ロームその起源と性状
- 堀口満吉：埼玉県の地質をめぐって
- 中瀬明易・他10名：関東ロームおよび成田層砂の土質試験，港湾技研資料，no. 47
- 倉林三郎・他1名：関東ローム中の粘土鉱物について，地質学雑誌，vol. 65, no. 768
- 金井孝夫：中性子水分計， $\gamma$ 線密度計による浅層地盤と圧密沈下の予測についての研究—滋賀県琵琶湖岸野洲川デルタ地盤に関する産業地質学的研究第Ⅶ章，地調月報，vol. 19, no. 1, p. 27～34
- 土質工学会編：土質工学ハンドブック，技報堂
- 建設省近畿地方建設局：びわ湖周辺地帯の土質・地質・地下水の性状に関する研究

地質調査所月報 (第23卷 第1号)

付表 関東ローム層の

供 試 土			粒 度 試 験							稠 度 試 験				
			礫 分 (%)	砂 分 (%)	シル ト 分 (%)	粘 土 分 (%)	最 大 径 (mm)	60 % 径 (mm)	10 % 径 (mm)	均 等 係 数	粒 分 類 に よ る 土 の	液 性 限 界 (%)	塑 性 限 界	塑 性 指 数
関 東 ロ ーム 層	立川 ローム	佐原 1.40~1.95 <sup>m</sup>	0	33	54	130.84	0.048	0.0039	12.3	シルト質 ローム	163.7	82.6	81.1	25.2
		四街道 1.50~2.00	0	36	48	160.84	0.050	0.0025	20.0	ローム	169.6	77.2	92.4	22.8
		柏崎 1.00~1.50	0	40	46	140.84	0.074	0.0038	19.5	ローム	184.5	84.2	100.3	24.8
		和土 0.50~1.00	0	28	55	170.42	0.044	0.0028	15.7	シルト質 ローム	193.6	81.7	111.9	26.2
	武蔵野 ローム	四街道 3.20~3.50 <sup>m</sup>	0	43	32	250.84	0.078	—	—	粘土質 ローム	91.3	38.9	52.4	21.5
		酒々井 3.00~3.50	0	34	43	230.84	0.044	0.0012	36.7	粘土質 ローム	153.2	72.8	79.5	25.7
		和土 2.00~2.50	0	40	37	230.84	0.075	—	—	粘土質 ローム	183.5	78.5	105.0	26.2
		新和 1.50~2.00	0	31	43	260.42	0.036	—	—	粘土質 ローム	176.3	75.1	101.2	24.9
		新和 2.00~2.50	0	24	53	230.84	0.023	0.0014	16.4	シルト質 ローム	179.1	77.3	101.8	21.7
		新和 2.50~3.00	0	17	59	240.42	0.021	0.0012	17.5	シルト質 ローム	169.5	70.9	98.6	20.9
		公園 2.70~3.20	0	25	47	280.84	0.024	—	—	粘土質 ローム	163.2	76.3	86.9	23.2
	下末吉 (常総 粘土)	佐原 2.80~3.30 <sup>m</sup>	0	15	31	540.42	0.013	—	—	粘土	108.1	47.6	60.5	23.9
		柏崎 5.00~5.50	0	24	27	490.42	0.014	—	—	粘土	97.6	50.3	47.3	18.7
成田層	酒々井 5.60~6.10 <sup>m</sup>	0	98	1.2	0	2.0	0.57	0.27	2.1	砂	26.8	—	—	6.0

\* 採取した所が武蔵野ロームと下末吉ロームの境付近であり、圧密試験のみが深度2.8m付近の武蔵野ローム層を試験したようである。

R I 検層による下総・大宮台地の関東ローム層の層序区分およびロームの物理・工学的性質 (金井孝夫)

土 質 試 験 結 果

含水比 (%)	自然状態								一軸圧縮			三軸圧縮		せん断		圧密		収縮限界
	湿润密度 (g/cm <sup>3</sup> )	乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	間隙比	飽和度 (%)	土容積率 (%)	水率部分の容積 (%)	ガス率部分の容積 (%)	水の容積率 (%)	破壊強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	破壊歪 (%)	鋭敏比	粘着力 (kg/cm <sup>2</sup> )	内部摩擦角	粘着力 (kg/cm <sup>2</sup> )	内部摩擦角	圧密降伏応力 (kg)	圧縮指数	
109.7	1.42	0.68	3.18	98	23.9	74.6	1.5	76.1	11.43	4.6	5.3	0.51	16°42'			2.00	1.08	66.7
90.6	1.48	0.78	2.58	98	28.0	70.7	1.3	72.0	0.51	3.8	6.1	0.21	13°30'			1.50	1.02	58.9
118.3	1.35	0.62	3.63	93.5	21.6	73.3	5.1	78.4	0.72	4.6	4.0			0.29	21°48'	2.40	1.52	68.1
114.5	1.35	0.63	3.54	92.5	22.0	72.1	5.9	78.0	0.87	3.6	4.1			0.34	19°17'	2.60	1.33	65.0
56.4	1.65	1.05	1.63	95.5	38.0	59.2	2.8	62.0	1.08	5.0	5.7	0.41	14°34'			2.00	0.357	42.3
102.6	1.44	0.71	3.01	97.1	24.9	72.8	2.3	75.1	0.83	3.8	6.9			0.32	17°13'	2.65	0.88	57.1
126.4	1.34	0.59	3.88	93.8	20.5	74.6	4.9	79.5	0.80	3.4	5.9			0.32	17°45'	2.70	1.87	65.2
120.8	1.36	0.62	3.63	95.5	21.6	74.9	3.5	78.4	0.76	3.7	5.1			0.30	16°10'	2.10	1.65	59.8
114.0	1.37	0.64	3.45	94.2	22.5	73.0	4.5	77.5	1.09	4.0	4.8			0.46	15°39'	2.50	1.56	63.8
130.6	1.34	0.58	3.95	94.9	20.2	75.7	4.1	79.8	0.84	3.4	4.3			0.35	18°47'	1.80	1.66	61.3
117.2	1.39	0.64	3.50	96.4	22.2	75.0	2.8	77.8	0.77	3.8	4.5			0.33	17°13'	2.00	1.48	63.7
61.1	1.63	1.01	1.71	97.9	36.9	61.7	1.4	63.1	1.46	6.3	3.1	0.68	5°09'			1.90*	0.31	44.8
56.3	1.66	1.06	1.58	97.6	38.7	59.7	1.6	61.3	0.97	7.0	4.2			0.45	6°17'	3.30	0.66	47.5
23.2	1.97	1.60	0.68	91.4	59.7	37.1	3.2	40.3	0.59	3.4	1.8			0.13	36°08'	2.10	0.137	—