

“沖積層”の土質工学的性質

—— とくに東京港地区を例として ——

清水 恵 助*

(1972. 9. 28 受理)

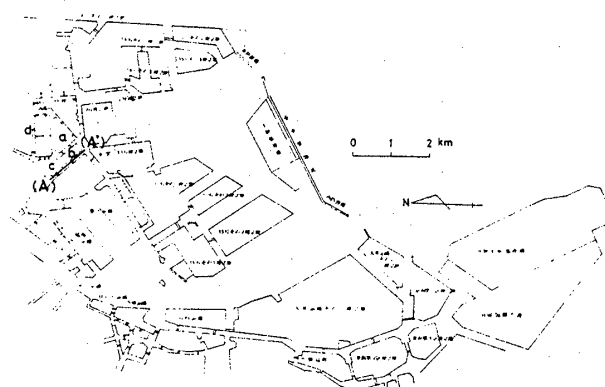
まえがき

最近、建設工事に伴うボーリングによる地質調査が数多く実施され、いわゆる軟弱地盤を構成する沖積平野における土質工学的資料はおびただしい数に昇っている。しかし、それらの資料は、土あるいは地層を「材料（素材）」としてのみ見る単なる土質工学的立場に立ったものがほとんどで、地質学的観点を加味することにより、一層の有効性を発揮すると思われるような総合的な見地からの報告例はあまり多くない。

沖積層の研究において、総合的調査が実施されたのは、有明海研究グループ（1965）による有明・不知火海の軟弱粘土の調査である。その後各地で多くの同様の調査が行なわれ、かなりの実績を上げている。また、それらの研究の中で多くの第四紀学的に重要な課題、とくに「後氷期における海面変動」や「沖積層」***の細分の問題は盛んに論じられてきたが、それらの問題と土質工学資料との関連性は応用面から見て興味ある課題となっている。とくに“沖積層”の層相細分問題はこの点でも重要である。

本文では、“沖積層”の土質工学的な性質を表す諸指数を網羅することによって、土質工学的性質と地質学的性質との関連をその基礎から説明することは省き、海面変動と“沖積層”細分という地質学的に重要な二問題に関係深い資料を上げて考察することにした。しかし、ここで使用する大部分の資料は、東京港地区、その中でも江東区枝川町付近（第1図）のみ、という限られた場所におけるものであるため、一般性という点で多くの問題が残ることになる。以下特にことわらない限り同地区の資料を使用している。

東京下町低地における“沖積層”の細分については、青木・柴崎（1966）がその層相からⅠ・Ⅱ・Ⅲに区分し、また、青木（1969）は有楽町層と七号地層に二分した。それらをもとに、清水ら（1969）は東京港地区の“沖積層”をⅠ・Ⅱとして、Ⅱについては上部と下部に分け（1972）、Ⅰを有楽町層（Ys, Yc）、Ⅱaを七号地層上部（Nau）、Ⅱbを同下部（Nal）とした。YcとNauは



第1図 東京港全体図

（記号）	（地名）	（埋立造成年代）
a ;	江東区枝川2・3丁目	1915~1928
b ;	〃 枝川1丁目	1915~1928
c ;	〃 塩浜1丁目	1910~1921
d ;	〃 東陽町	1886~1887
(A)-(A') ; 地質断面線		

いわゆる軟弱粘土層にあたり、両者は、標準貫入試験によるN値および層相・色調などによって区別される。また清水（1970）は、その違いを土質工学的な特性を表す各指数によって考察したが、本文はそれに一部加筆を行ない整理したものである。

なお、この論文をまとめるにあたり、終始有益な助言をいただき、あわせて校閲をたまわった新潟大青木助教授ならびに当地の調査にあたって、微化石分析結果とその他のまとめなどで一かどならぬお世話を下さった柴崎達雄・桑野幸夫両博士に、深甚なる御礼を申し上げます。また、微化石分析を直接担当された高田平野団体研究グループの方々にも厚く御礼を申し上げます。

1. 地質学的考察手段としての土質指数

1.1 考察手段としての有効性について

a) 土質試験の種類と土の工学的性質

現在、土質試験法は工学的体系の中で組み立てられ、「土質工学（土質力学）」という一つの分野を背景としている。そして、それは日本工業規格（JIS）として定められている。

この土質試験によって得られる数多くの指数は、土の

* 東京都港湾局建設部技術管理課

** 本文中の“沖積層”とは、マキシムウラムの谷を埋積している地層という意味で、年代的な沖積層と異なっている。

工学的な性質を知るためのものではあっても、土の特性とその多くの指数とを適格に関連づけるためには、それらを統一的に把握する必要がある。

TERZAGHI, PECK (1948) は、土の性質を指数的性質 (Index Properties) と力学および水理学的性質 (Mechanical and Hydraulic Properties) との二つに分けて分類した。また、三笠 (1964) は、SPRONCK (1948) による変わらない性質 (permanent character) と変わり得る性質 (non-permanent character) の分け方に、土の力学的性質を決定する諸要因を加え、系統的な分類を行っている。それによれば、その土に固有な性質を一次性質とし、与えられた状態における土の性質を二次性質とした。前者には、粒度試験による諸量・土粒子の比重・コンシステンシー指数などがあり、後者には、単位体積重量・間隙比・含水比・液性指数・力学試験一般による諸量の各指数がある。

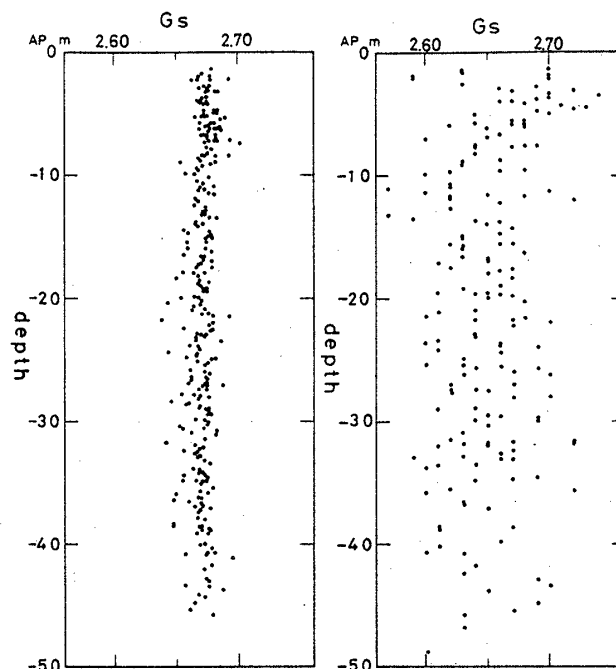
したがって、土質工学的な諸指数に地質学的な解釈を加える場合にも、各指数の意味とその指数間の関連を見た上で判断しなければならない。現在の土質試験法には、一次性質の基本的要素となる(粘土)鉱物組成・有機物含有量・土粒子の形状・表面の粗さ・間隙水の水质・吸着イオンの質と量などを調べる試験法が一部規定されたのみで、またそれらの項目と他の指数との関係における定量的な考察もまだ十分ではない。その問題は、今後、理学とくに地質学の分野でも積極的に取り組まれねばならないだろう。

b) 土質試験の精度について

土質試験の結果を理学的な手段として使用する際の大きな問題として、その精度があげられる。とくに地質学的な具体例としては、“沖積層”の細分問題を検討する場合に重要となる。地質時代に極端な開きがあるものについて検討するときにはあまり問題とならないが、極く新しい“沖積層”内の細分というような比較的微妙な問題については、かなり重みを加えて考慮すべきことと思われる。現在、精度向上への努力が払われているが、たとえ J I S に従って行なっても種々の問題が残る。

土質試験結果に大きなバラツキが生ずる要因としては数多く考えられるが、試験法そのものによるものと、土質の差によるものとが考えられる。試験法そのものとしては、サンプリングから試験までの過程におけるすべての要因を含み、大部分のバラツキはこれによって生ずると考えても過言ではない。この中で、試験者の個人差によるものがかなり大きく、とくにコンシステンシー指数関係では、熟練者と初心者で顕著に差が出てくる(松本

鍊三, 1956)。したがって、人の手があまり加わらない試験や機械化されている試験では、誤差が少なくなりやすい。また、個人差が地質調査業者や研究所といった組織体でもほぼ同様のことがいえる。第2図は、ほぼ同一



第2図 (a) A社試験による土粒子比重 (Gs) の深度分布
(b) B社試験による土粒子比重 (Gs) の深度分布

地区で行なわれたA・B両社による土粒子の比重試験結果である。この試験は、方法も比較的簡単であり、バラツキの少ない試験に属するが、図のように両社でかなりの差が出ている。また、粒度試験における分散剤の種類や攪拌のしかたによって生ずる違い(松尾, 1965)なども、試験法そのものによるものである。

次に、試験の対象となる土質の差によって生ずるバラツキの要因としては、海成か否か、腐植質の含有量の多少、火山灰質か否か、粘土鉱物の組成含有量などがあげられる。この場合は、対象試料の特徴ごとに試験法を適切に換えて行くものとすれば、試験法そのものの問題に帰することになる。

以上、バラツキの入る要因を簡単に述べたが、それを考慮した上で、実際的に大きな問題となるのは、ある試験で生じたバラツキが自然条件そのものの違いによる可能性はないか、ということである。この問題について論ずるためには、多くのバラツキの要因と自然条件の違いについて整理を行ない、それを統計的に処理するほかはないが、その詳細については省略した。

以上のことから考えても、全国各地における“沖積層”の細分問題などを土質試験結果から検討するためには、同一試験者・同一研究所などによる、しかも全国各地の試料を永年にわたって試験している結果を利用することが望ましいが、今回は、その条件に適った資料として、松本一明・小川（1969）によるものを一部参考にした。この資料は、全国の主な港湾における海成沖積軟弱粘土を対象にし、同一研究所で行なった精度の高いものを選んで整理してある。ただし、これには地質学的見地からの検討がなされていないので、対象地層が明確に“沖積層”に属するか否かの立証はないが、乱さない試料のサンプリング方法から考えても、有楽町層および七号地層の相当層を含む“沖積層”の資料であることは確実である。

c) 土質指数の有効な使い方

ある地層に対して、土質試験による指数そのまま地質学的判断を下せることは、一般的にあまり多くない。したがって、その指数的性質を地質学的考察手段として利用する場合は、それなりの整理のしかたとその場所に合った使い方が必要である。また、力学試験の中には、工学的には非常に価値の高い指数であっても、理学的にはあまり高くないものもある。地質現象の定量化が言われている昨今、再検討の余地もあるが、地質学の観点から見る限り、土質試験結果による数値そのものよりも、肉眼的観察の方が有効であることの方がむしろ多い。

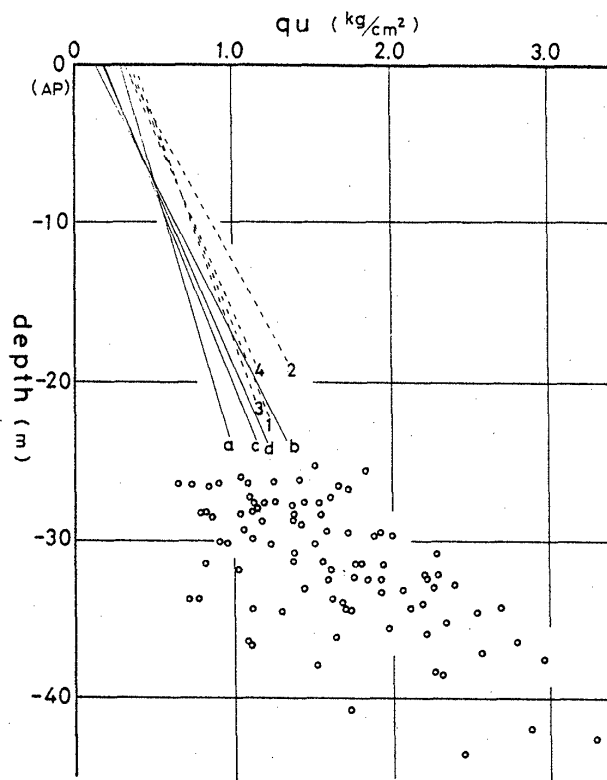
以上のことから、地質学的に意味があると推定される方法として、次のような整理資料によって考察を行なった。

- 1) 土質指数の深度分布図
 - 2) Index Profile
 - 3) 諸指数間の相関関係
- 1) では“沖積層”と海面変動との関連を、2) では“沖積層”の連続性と均一性を、また(3)では地層区分、とくに“沖積層”の細分問題をそれぞれ検討した。

1・2 自然地盤に及ぼす人為的要因

青木（1970）は、自然への人間の働きかけが、歴史時代の新しくなるにつれ大規模になってきた経過を系統的に図解したが、とくに戦後は、地下水の大量揚水や海岸付近の大規模な埋立地造成などによって、自然改変の様相が著しく複雑化してきている。その観点から、海岸平野を形成する“沖積層”を、土質試験結果によって検討することは意義が深いと考えられる。日本の海岸平野、とくに開発の著しい港湾地帯などでは、自然地盤そのまま

の状態で保持されている所は、かなり沖合いに行かない限り、ほとんどなくなりつつある。埋立地の短期間における造成、大規模な地盤の掘削、頻繁な海底の浚渫、地下水の大量揚水などがその原因である。したがって、Würm Maximum以降の極く新しい時代では、自然条件の変化によるよりも人工的要因による自然改変の方がはるかに大きいともいえる。次にその典型的な例をあげる。

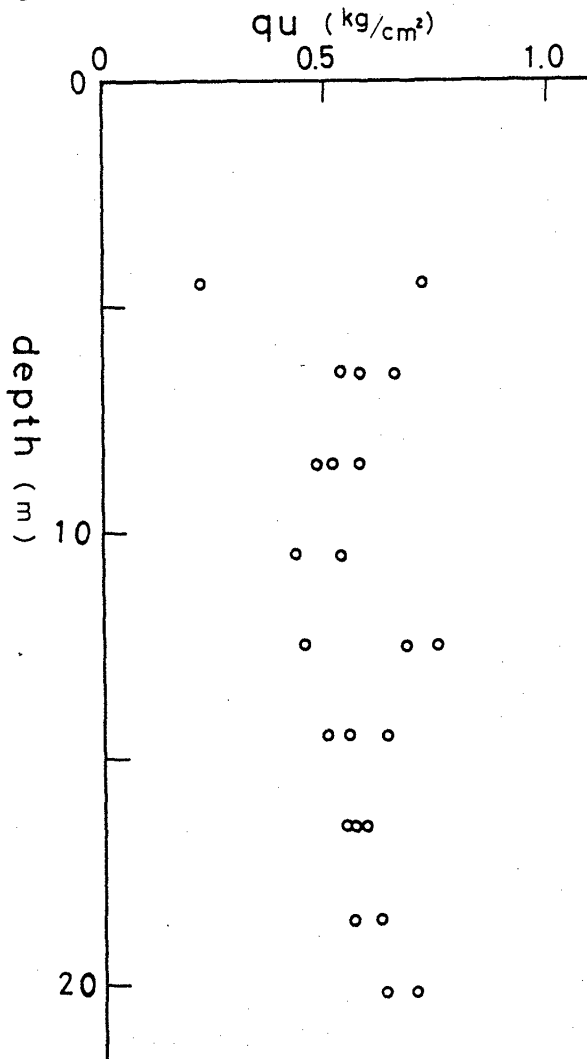


第3図 一軸圧縮強さ (qu) の深度分布

	(記号)	(式)	(場所)	(調査年)
陸上	1.	$qu = 0.372 + 0.038 \cdot Z$	枝川 2 丁目	'66
	2.	$qu = 0.326 + 0.054 \cdot Z$	〃 1 丁目	'67
	3.	$qu = 0.400 + 0.035 \cdot Z$	塩浜 1 丁目	'67
	4.	$qu = 0.334 + 0.0426 \cdot Z$	東陽町	'68
運河	a.	$qu = 0.264 + 0.031 \cdot Z$	枝川 2 丁目	'66
	b.	$qu = 0.146 + 0.050 \cdot Z$	〃 1 丁目	'67
	c.	$qu = 0.200 + 0.040 \cdot Z$	塩浜 1 丁目	'67
	d.	$qu = 0.184 + 0.0434 \cdot Z$	東陽町	'68

第3図における直線群は、深度-25m付近までの一軸圧縮強さ (qu) の深度分布を、最小自乗法によって整理したものである。明治以来の埋立地造成により、その盛土による圧密進行度が違うため、その勾配に微妙な変化が認められる。また、ここでは、埋立地盤の陸上側とその護岸線から5m運河側の結果も分けて図示してある。同一埋立地でも陸と海とではかなりの差が生じている。全体的に見て、埋立地造成年代が古いほど qu 値も大き

く、また勾配も緩い。また、新しいものほど勾配が急で、深度を増すごとに qu 値の増加率は減る傾向にある。これは、浅い部分では圧密完了時間が短いから、地盤の新旧を問わず一定強度に達しているのに反し、深い所では新しい埋立地盤ほど圧密進行度が遅れているからである。



第4図 一軸圧縮強さ (qu) が深度方向に増加していない例

次に第4図は、 qu 値が深度方向に増加傾向が見られない例である。これは、付近の浜離宮の工事などに伴う人為的営力による結果と考えられ、掘削や埋立の繰り返しの複雑な応力履歴を経た結果を示している。

1.3 サウンディングおよびサンプリングから見た“沖積層”

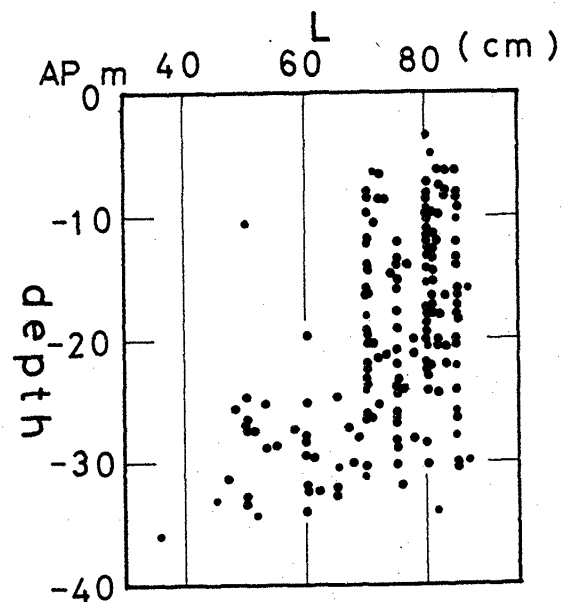
土質試験の前段階の過程であるサウンディングやサンプリングは、土質試験による諸指数ほどは重要視されていないが、土の地質学的な属性を知るためにはかなり有

効である。

サウンディングは数種あり、最も広く行なわれている標準貫入試験もこの中に含めるものとする。標準貫入試験による N 値は、土のしまり具合を判断する最もよく知られた抵抗値で、多くの目的のために使われている。一般的に、粘土質より砂質の地層の方が、同相であれば地質時代の新しいものより古い方がそれぞれ高くなっている。しかし、この方法も一種の力学的な性質を知る手段である以上、沖積粘土のような極く軟らかい地盤については、あまり有効ではない。したがって、その場合は N 値よりも他の力学的性質を調べる方が価値が高いため、標準貫入試験を省く場合も多くなる。すなわち、「試験対象にならない」ことが一つの属性を示すことになる。

標準貫入試験が、実施法の限界から少なくとも深度方向 1 m 以下の間隔では試験できないのに反し、連続的に実施可能な静的円錐貫入試験などのサウンディングが数種ある。この方法は、非常に薄い地層などの存在も確認できるため、層相を知る上でも便利である。粘土中の砂のラミナや東京層のようなやや硬い砂層中の層相変化状態などを調べるのに有効な種類もある (BCP 委員会, 1969)。

土質試験に供する乱さない試料のサンプリングは、それ自体では何の地質的特性も示さないように見えるが、よく注意して検討すると、地質学的に有効な資料となり得る。サンプラーの押し込みやサンプラーの特徴 (刃先の角度・肉厚・内径比など) が一定となっているため、



第5図 シンウォール・サンプラー (肉厚1.2m/m)

押し込み長さの深度分布
L; サンプラー押し込み長さ

サンプリングそれ自体が一種のサウンディング的な役割を果たすからである。また、調査対象粘土によっては、サンプリング方法を変える必要も生じ、おのずからその土質に適した方法が定着してくる。そして、そのこと自体が土質の一属性として機能化するのである。

第5図は、サンプラーの肉厚1.2m/mの場合における、サンプラー、-25m以深では押し込み長さが急激に小さくなっている。

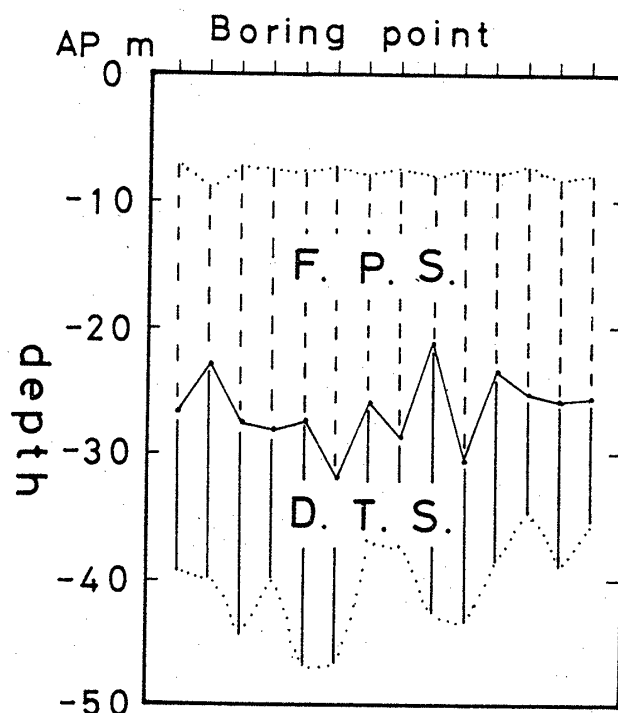
また、N値が5以上の土に対しては、固定ピストンによるサンプリングが不可能になるため、それに代ってデニソン型サンプラーを使用する必要も生じてくる。したがって、その場合は、固定ピストン型採用対象地層とデニソン型採用対象地層という層に区別することが可能となる。その例を第6図に示す。-27m付近にサンプリング工法切り換えの境界線が認められる。

2. 深度分布から見た土質指数

2.1 物理試験による土質指数

a) 粒度組成

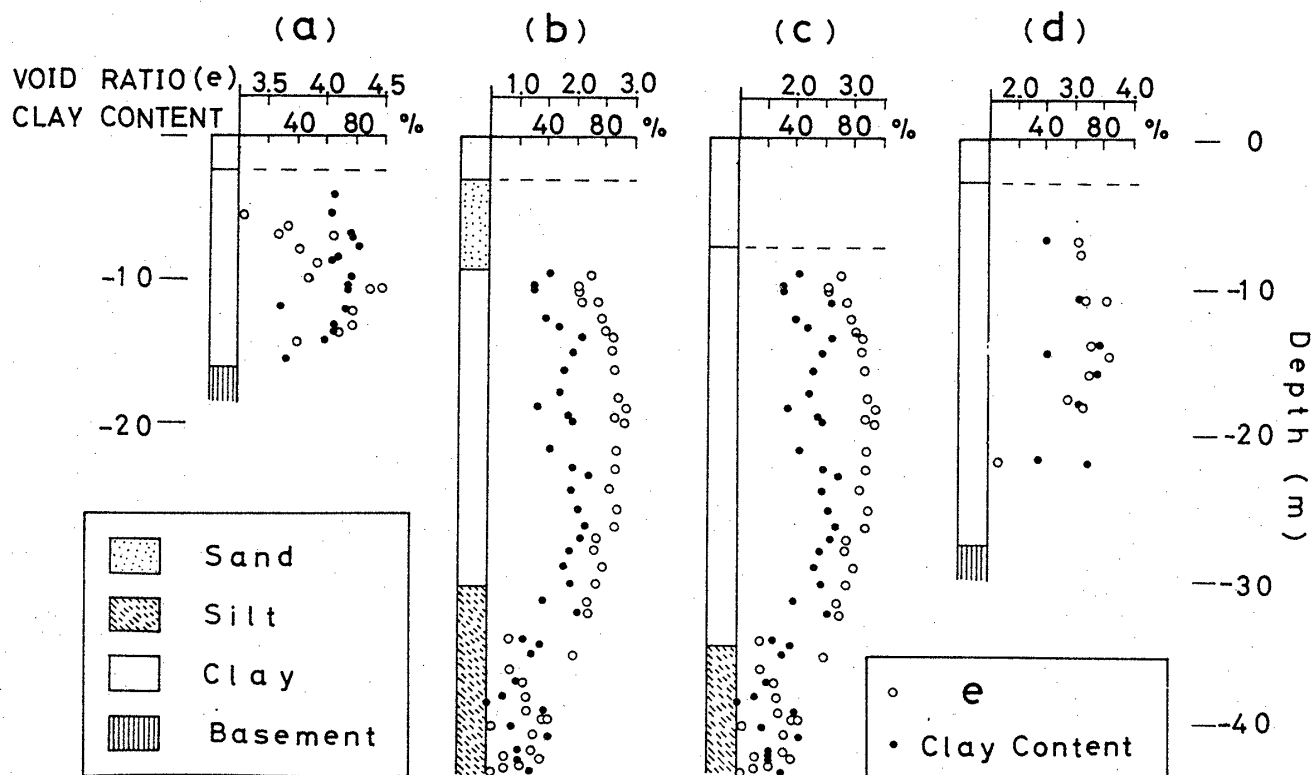
土の粒度組成は、地質学的には「層相」の重要な要素であるが、土の土質工学的性質においても、他の指数的特性に大きな影響を及ぼす。なお、粒径による分類基準やその粒度配分による土質分類においては、各分野で完



第6図 乱さない試料の採取方法別深度分布

F.P.S. ; 固定ピストン・サンプラーによる
乱さない試料の採取箇所

D.T.S. ; デニソン型サンプラーによる乱さ
ない試料の採取箇所



第7図 主な港湾地区の沖積層における間隙比および粘土含有率の深度分布 (石井, 1959)

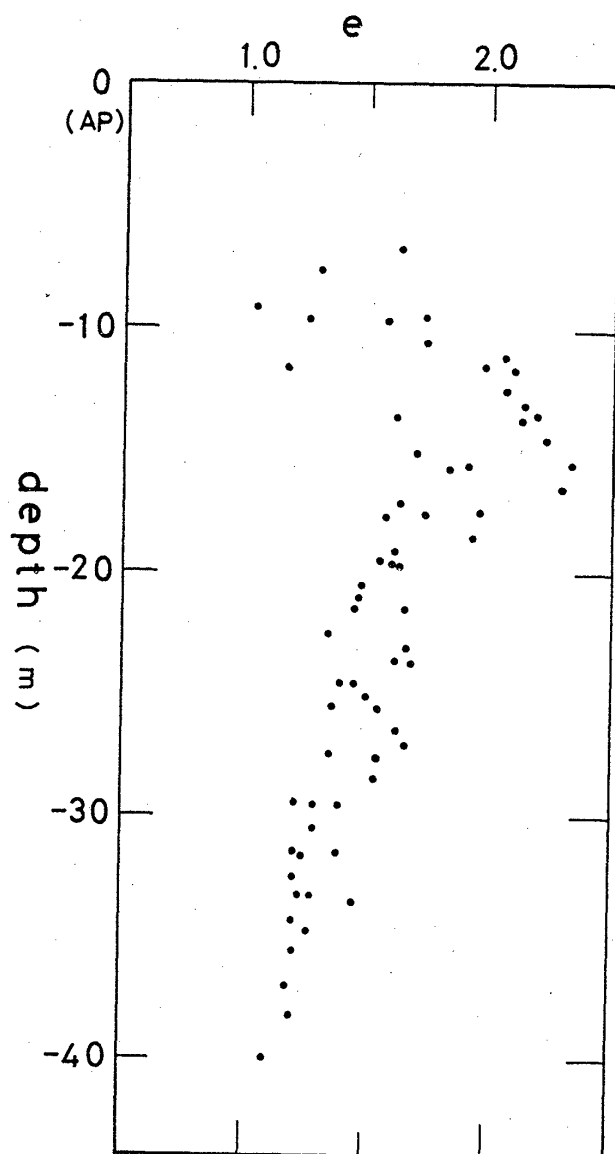
(a) ; 塩釜 (宮城), (b) ; 川崎, (c) ; 横浜, (d) ; 錦海湾 (岡山)

全には一致しないし、またその基準のもつ意義も必ずしも同一ではない（粘土力学研究グループ、1964）。

第7図（石井、1959）は、日本の海岸地帯における主な港湾地区の粘土含有量と間隙比の深度分布を示している。絶対値に多少の差があるが、粘性土層のほぼ中央付近に最大含有量のピークが見られ、上・下位にいくにつれその量が減少しているのが共通している。また、そのピークの深度は、東京湾地区では-20m、塩釜では-10m、錦海湾では-15m付近となっている。

b) 間隙比（ e ）（第8図）

間隙比は、他の力学的な性質との関連においても重要な指数である。一般的には粘土含有量の分布と同じような傾向を示すことは、第7図からも認められる。しかし、同じ粘土含有量を有する土であっても、その間隙比



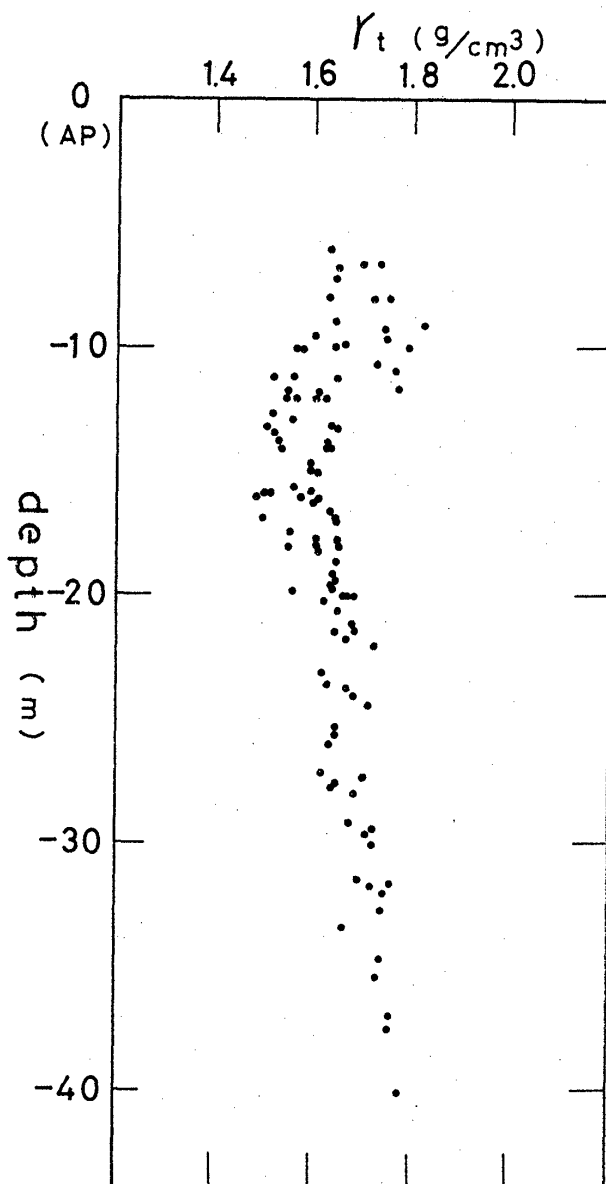
第8図 間隙比（ e ）の深度分布

が違うのは、堆積後の圧密進行度に差があるためと考えられる。なお、このことについては後述する。一般的には、上・下位の砂層との境界付近では間隙比は小さくなっている。また、この傾向は第7図からも同様に見られる。

c) 湿潤単位体積重量（ γ_t ）（第9図）

この指数は、土質の差、したがってサンプリングの方法や試験法によってその測定法が違うが、ここでは、粘性土における乱さない試料から一軸圧縮試験用に成形した供試体を利用する成形法によった資料を使用した。

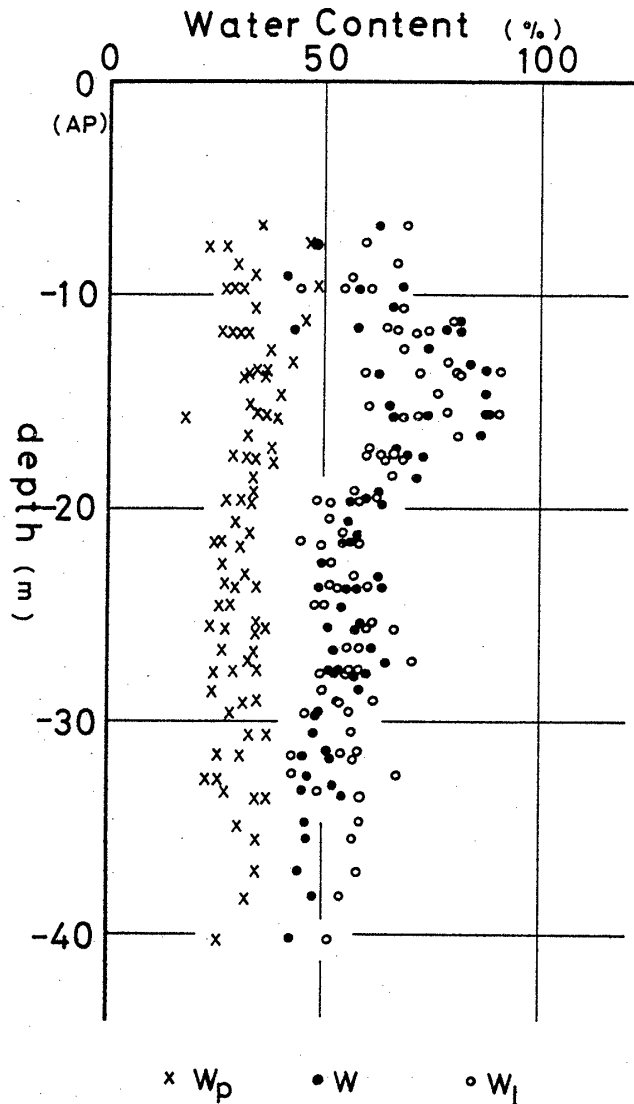
これも粘土含有量や砂の含有量と密接な関連があり、粘土質のもののほど小、砂質のもののほど大となる傾向にある。



第9図 湿潤単位体積重量（ γ_t ）の深度分布

d) 自然含水比およびコンシステンシー指数 (第10図)

自然含水比 (W) は, 土中の間隙がすべて水で飽和されているとすれば, 間隙比と同じ指標となる。したがって, 含水比は細粒土の多少によって影響される。



第10図 自然含水比, 液性限界および塑性限界の深度分布

W_p ; 塑性限界, W ; 自然含水比, W_l ; 液性限界

液性限界 (W_l) は, 自然含水比とほぼ同じ深度分布傾向を示し, “沖積層” の上部 (主に有楽町層下部; Y_c) では, 自然含水比よりも小さく, 下部 (七号地層上部; Nau) では自然含水比よりも大きくなっている。

塑性限界 (W_p) は, 液性限界ほど値の変位幅が大きくないが, 深度分布の傾向は他のコンシステンシー指数と同様である。

以上三個の指数により次式で示される液性指数 (Liq-

uidity Index; IL) もよく使われる。

$$IL = \frac{W - W_p}{IP}$$

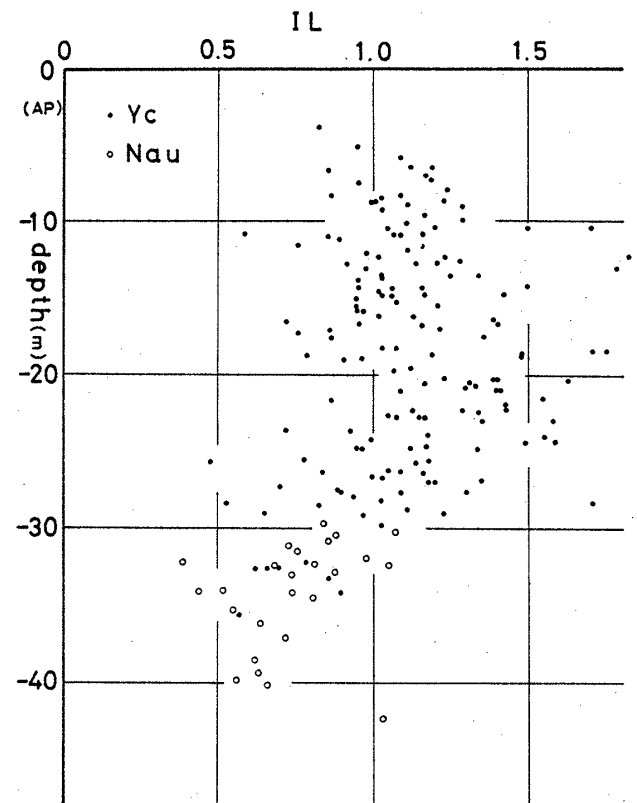
IL ; 液性指数

W ; 自然含水比

W_p ; 塑性限界

IP ; 塑性指数 ($= W_l - W_p$)

これは, 現位置における土のコンシステンシーの程度を示す指標で, 粘土の外力に対する安定性を判断する目安にもなる。 $IL > 1$ のときは液性限界 (W_l) よりも自然含水比が大きい場合であり, 非常に不安定な粘土であることを示す。 $IL = 0$ のときは自然含水比が塑性限界にまで近づいており, やや締った状態にあることを意味している。第11図では, $-5 \sim -30$ mの有楽町層 (Y_c) の試料



第11図 液性指数 (IL) の深度分布

が大部分 $IL > 1$ となっているのに反し, -30 m以深の七号地層 (Nau) においては $IL < 1$ となっているのが特徴的である。また, 同図で見られる -20 m 付近のピークは, 他の深度分布図におけるものよりも鈍くなっている。

e) 土粒子の比重 (G_s) (第2図)

土粒子の比重は, ほとんどが $2.60 \sim 2.70$ の間に分布し, 他の指数のような深度方向の顕著な特徴は示さな

い、他の指数的要因との関連で見た場合、一般的に砂の含有量の多い深度ではやや大きい傾向にある。

2・2 力学試験による土質指数

a) 一軸圧縮強さ (q_u)

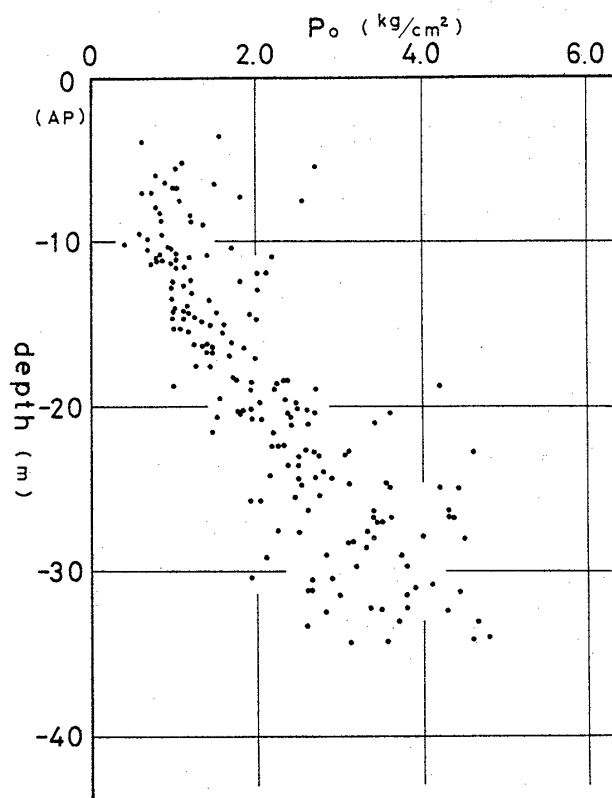
これは、土の力学的指数としては最も代表的なもので、その試験法も比較的簡単であるために広く行なわれ、多くの構造物設計における基本ともなっている。また、サンプリング状態の良否の判断(土質工学会, 1964)やサンプリング方法の比較における判定基準(松本一明他, 1966~1970)としても多く使われている。

q_u 値の深度分布については第3図に示し、またその特徴も1・2で述べたとおりであるが、-25m以深のものは、それ以浅の直線で図示したものと比較して、深度方向への q_u 増加率が大きくなっている。一方、単なる q_u 値を見るにとどまらず、その値のバック・データまでさかのぼって検討すると、地質学的にも有効な資料が得られる。それは、地層の層相によって、サンプリング状態・供試体の成形・試験における破壊状態などに明確な影響が現われるからである。例えば、多量の貝殻混入による成形不良と強度低下、サンドブロックやサンドシームによる成形困難と強度の頭打ちなどがそれである。また、最大強度における歪や変形係数にもその特徴が現われる。第3図における-30m以深での q_u 値がバラツキているのは、サンドブロックやサンドシームの影響によっている。また、このときの歪も、3%以内のものが多くなっており、-30m以浅における3~5%と比較して小さくなっているのが特徴である。

b) 圧密先行荷重 (圧密降伏荷重; P_o , P_y) (第12図)

この指数は、過去の地質的営力などを知るための有効な手段として知られているが、必ずしも先行荷重としての意義を持っていない場合が多く、圧密試験の方法やその結果の整理法によって値が一定でない(三笠, 1964; 網干, 1969)。したがって、日本のような地質的条件の変化の激しい、層相変化の著しい、そして人為的営力の大きいところでは、地質学的意義がそれほど大きいとは考えられない。最近の試験法では、試験方法と資料整理上の問題から、従来の圧密先行荷重 (P_o) は、弾性域から塑性域への転移点の圧力という意味で、圧密降伏荷重 (P_y) と定義されている(三笠, 1962; 土質工学会, 1969)。

一方、KENNEY (1964) は、 P_o の深度分布の特徴から、



第12図 圧密先行荷重 (P_o) の深度分布

粘性土層内における一種の不整合面と推定される資料を得ているが、第12図では、そういった特徴は示さず、一般的に有効土被り圧よりもやや大きい傾向を示すにとどまっている。

c) 圧縮指数 (C_o) (第13図)

これは、圧密特性を示す重要な指数で、埋立地造成などによる人為的営力を敏感に反映する。したがって、沖積地盤そのものを、その条件によって十分吟味した上で区分し、その上で深度分布を論じなければならないが、第13図では一括して示してある。-15m付近の1.0と-32m付近の0.6~0.7の二つのピークが、鋭く現われている。そして、この指数もまた、粘土含有量と密接な関連があるほか、圧密過程における時間効果を典型的に示すことがわかる。

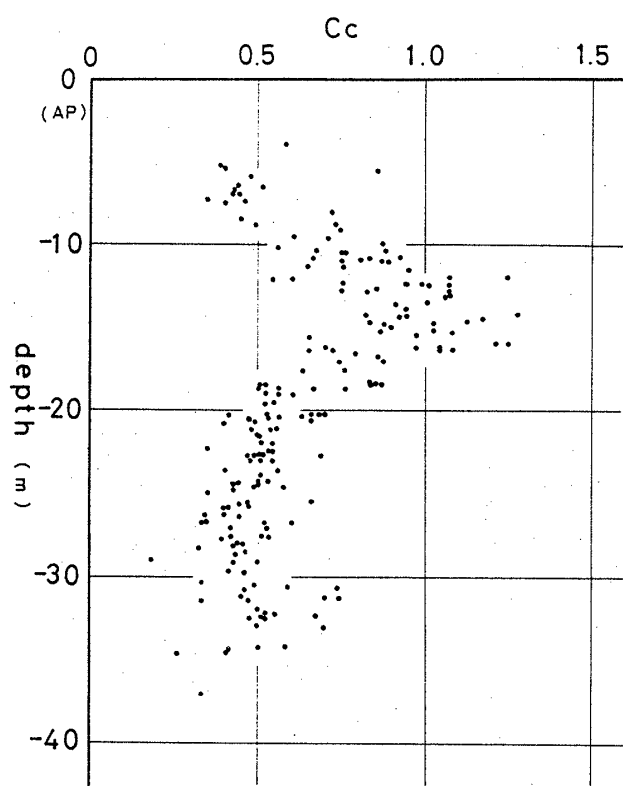
なお、圧密試験による重要な指数として、他に圧密係数 (C_v) と体積圧縮係数 (M_v) があるが、紙数の都合で省略した。

2・3 標準貫入試験によるN値 (第14図)

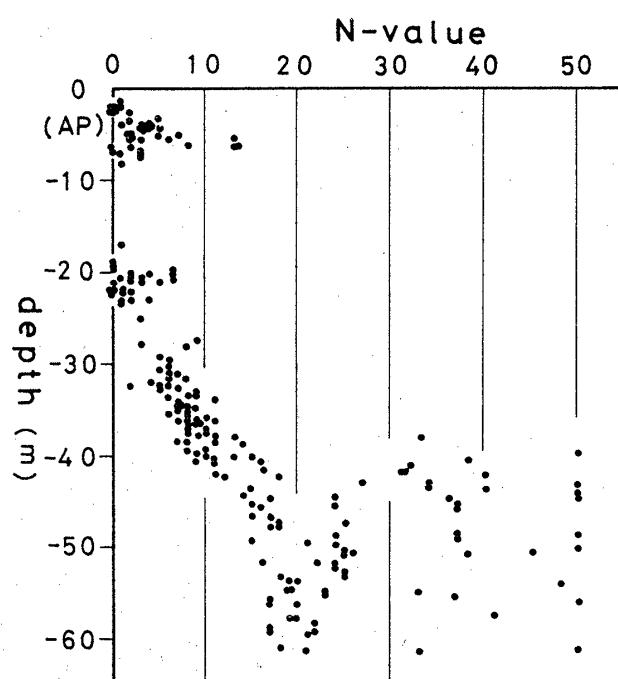
標準貫入試験によるN値は、それを絶対視しなければ、地質学的にはかなり有効な指数として役に立つ。

-30m付近より $N \geq 5$ となる粘土層 (Nau) があり、その下位にはN値のジグザグ帯 (Nal) がある。図では、

−40m以深の大きなバラツキとなって現われ、砂と粘土の互層状態を明確に示している。



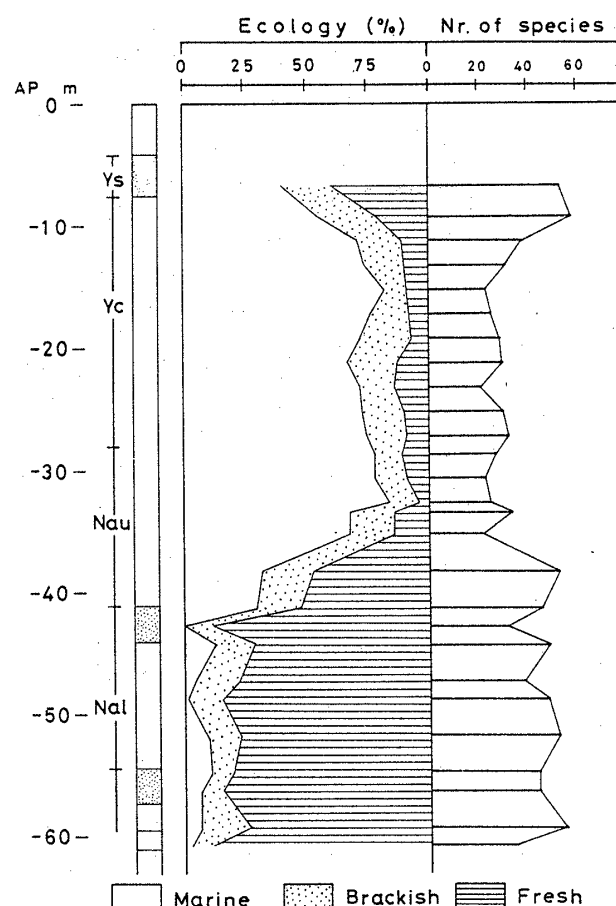
第13図 圧縮指数 (C_c) の深度分布



第14図 標準貫入試験によるN値 (回/30cm) の深度分布

2・4 各指数深度分布の地質学的意義について

以上、土質指数の深度分布を種々の資料で検討したが、一般的には、諸指数とくに物理試験によるものは、垂直的な値の変化は地層の垂直的層相変化に影響されることがわかる。この層相変化を、他の地質学的資料による海面変動との関連から考察しても、ほぼ同じような垂直的变化が認められる。第15図は、同一地区におけ



第15図 珪藻化石による堆積環境

る珪藻化石分析結果による堆積環境を示したものである。この図における海生種の占める割合の垂直的变化は、粘性土含有率の深度分布線とほぼ同じ傾向を示すことがわかる。このことは、海面の上昇につれ、堆積環境が淡水→汽水→海水となり、−15〜−20m付近で最大海進を示したと考えられる。したがって、多くの資料で見られた−15〜−20m付近の諸指数のピークは、それとほぼ符合している。

また、“沖積層”の細分という観点から見ると、 C_c における−25〜−30m付近の小ピーク、 q_u における−25m付近からの急激な増加率、そして $IL < 1.0$ の分布が急に

多くなる-30m付近, などが細分の裏付けとなる諸特徴を示すと考えられる。なお, このことは後述する問題とも合わせて考察する必要がある。

3. 水平分布から見た土質指数

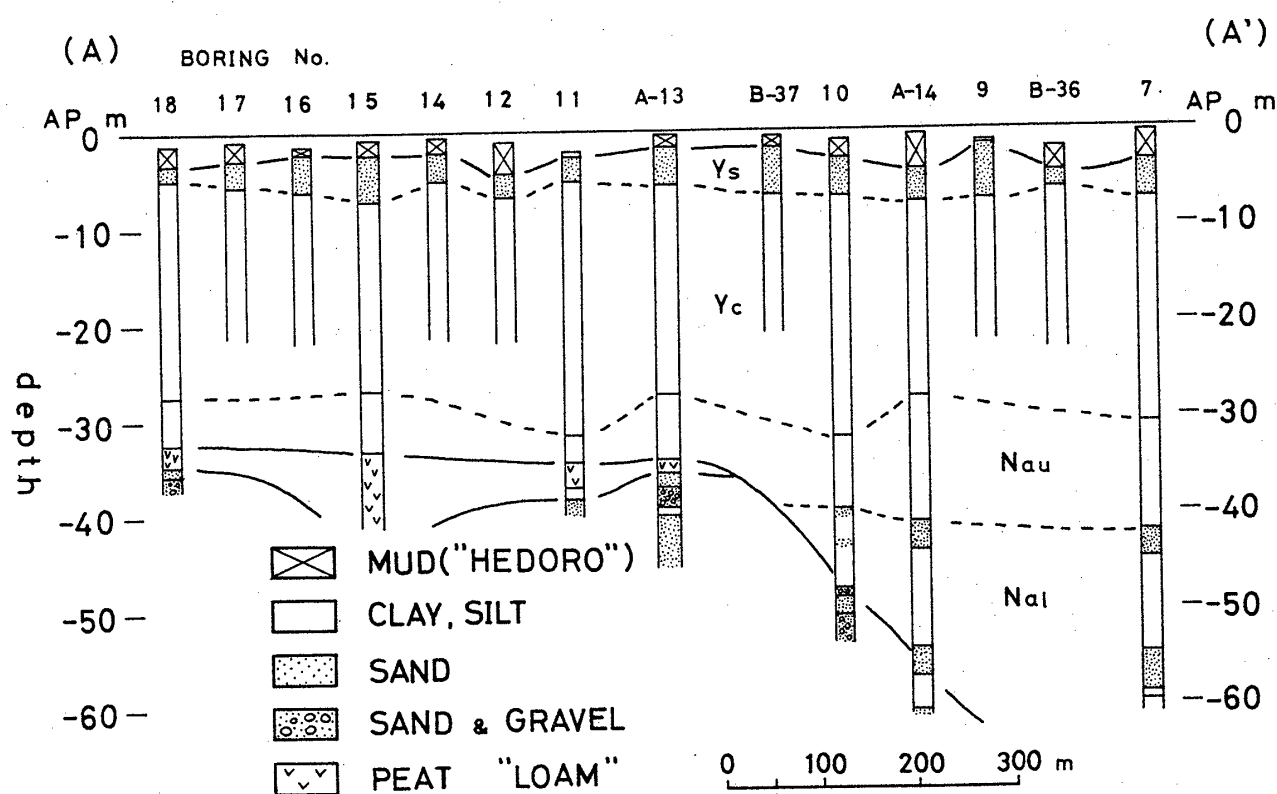
“沖積層”の構成やその連続性について土質試験結果から検討するためには, 各指数の深度分布の統計処理によってもある程度わかるが, さらに明確にするために, ここでは Index Profile (指数断面図) を使用した。この場合, 詳しくは試験結果のパラッキなどの統計処理が必

た, 第17図～第24図の各 Index Profile における等値線中の各ハッチの部分は, 深度分布図にも認められたピークに対応する領域である。

3.1 物理試験による土質指数

a) 粒度組成 (第17, 18図)

第17図におけるハッチの部分は, 粘土含有率40%以上の区域を示す。場所によりかなりの凹凸を呈するが, -15mおよび-40m付近に粘土分の多い層相部分が存在することを表わしている。-30～-40m付近のものは, 水



第16図 江東区枝川町付近における地質断面図 (A—A')

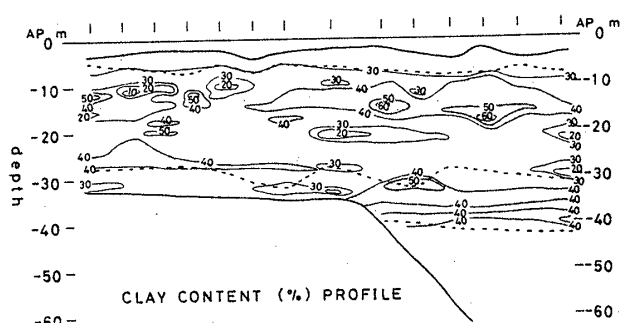
Ys; 有楽町層上部, Yc; 有楽町層下部, Nau; 七号地層上部, Nal; 七号地層下部

要であるが, それについては考慮していない。また, 水平距離やサンプリング深度の間隔についても問題となるが, それもあまり考慮していない。以上の点から比較的条件のよい断面線を選定し, その地区の大体の傾向を掴むことにした。

また, 本来ここで取り上げるべき指数は, 2.におけるものと同じものでなければならないが, その結果から, あまり有効でないと推定されたものについては省略した。

第16図は, Index Profile の原資料となった地質断面図である。この図における地層区分は, 肉眼的観察やN値などの資料をもとに行ない, それを破線で示した。ま

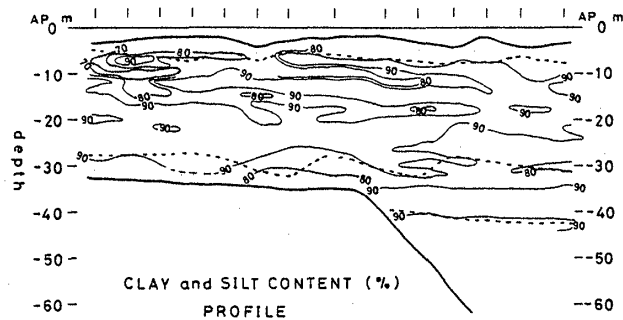
平的な連続性が著しい。このことは, この深度においては, 砂とシルトのラミナあるいは互層状態が特徴的に見



第17図 粘土含有率断面図

られることとも一致する。

第18図は、粘土分にシルト含有率も加えた、いわゆる粘性土含有率の断面図である。したがって、各等値線の表わす値を100から引いた数値で示せば、砂の含有率を表わす断面図として読み換えることができる。

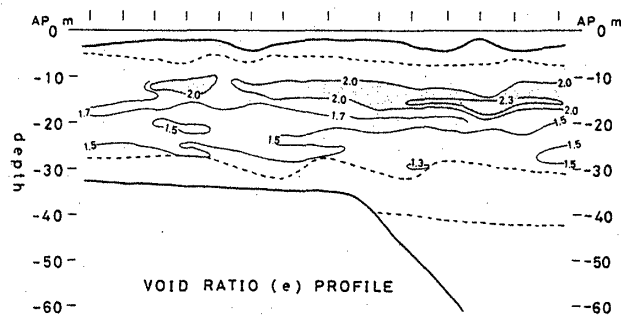


第18図 粘性土（粘土＋シルト）含有率断面図

第18図におけるハッチ部分は、粘性土含有率80%以下（砂分20%以上）の区域を示す。粘土含有率ほどの明らかな傾向は見られないが、有楽町層上部（Ys）が砂層であることからすれば、その境界付近においても意外に砂が少なくなっている。Boring No. 18～16付近における砂の多い区域は、埋没ミオ筋の可能性もある。また、-30m以深では砂のラミナが卓越するにもかかわらず、砂の含有率10%程度ということは、あくまでも砂のラミナであって、その絶対量は少ないことを示している。なおこのことは、肉眼的観察でもよくわかる。

b) 間隙比（第19図）

$e \geq 2.0$ の区域が-10～-20mにあり、図の（A）の方向へ行くにつれ薄化の傾向がある。また、 $e \geq 2.2$ の区域が（A'）の方に偏在するが、これは、埋立造成年代の違いによる圧密進行度の遅れと考えられる。また、一般的に深度を増すにつれ減少しており、土被り圧から見て当然である。

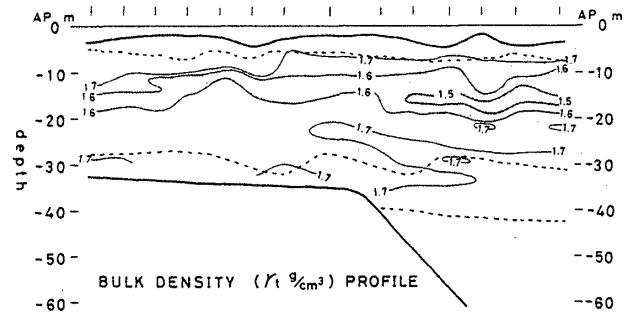


第19図 間隙比断面図

c) 湿潤単位体積重量（第20図）

$\gamma_t \leq 1.6$ の区域が-10～-20m付近にあり、（A'）の方

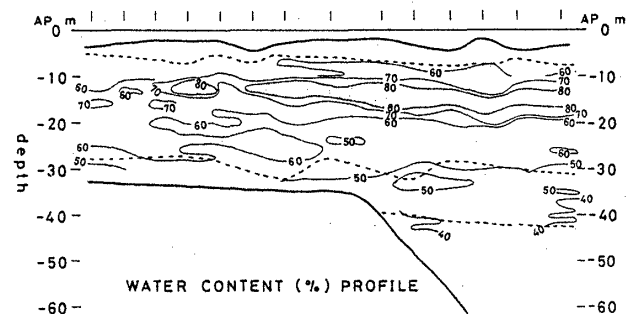
へ厚く（A）の方へ行くにつれ薄い。それから深度を増すにつれ増加し、-30m付近で1.7となる。なお、-10m以浅の1.7以上の等値線は、砂層のためである。



第20図 湿潤単位体積重量断面図

d) 自然含水比およびコンシステンシー（第21、22図）

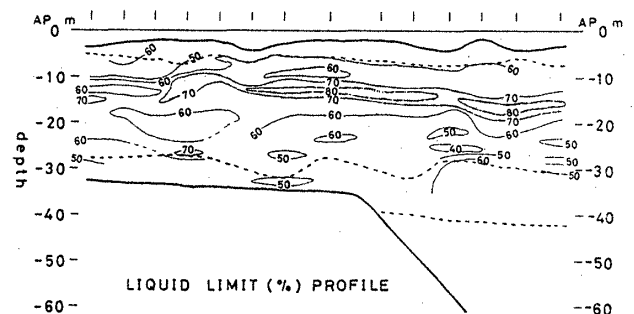
第21図におけるハッチ部分は、自然含水比80%以上の区域で、すでにのべた資料と同様に-15m付近に見られ



第21図 自然含水比断面図

る。深度を増すにつれ、含水比は減少している。また、高含水比の区域が（A'）の方向に集中しているが、これは、その地区が（A）の埋立地よりも新しいためと考えられる。

液性限界の断面図を第22図に示したが、第21図とほぼ同様の傾向が見られる。

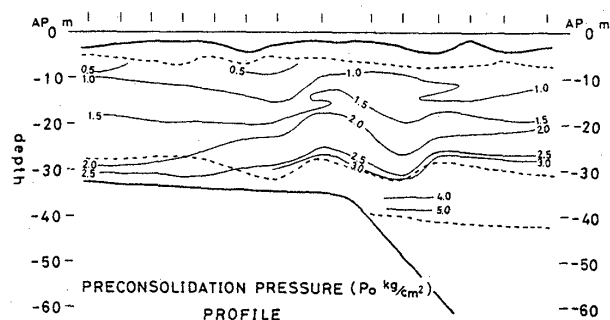


第22図 液性限界断面図

3・2 力学試験による土質指数

a) 圧密先行荷重 (圧密降伏荷重) (第23図)

一般的に深度を増すにつれて値が大きくなることは、第12図からも明らかであったが、その傾向は、この図で

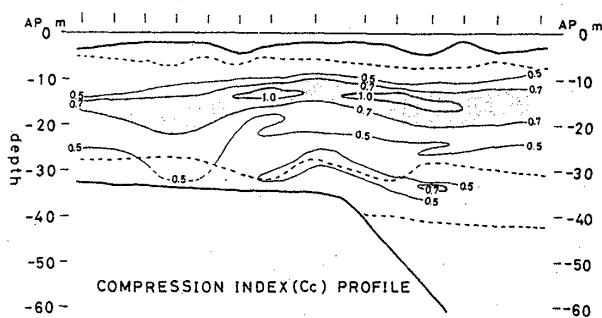


第23図 圧密先行荷重断面図

も明白である。各等値線が波打ちを見せるのは、地盤条件の差によるものと考えられる。 $P_o=3.0\text{kg/cm}^2$ の等値線は、有楽町層下部と七号地層上部との境界線と一致を示している。また、同じ七号地層内においても、埋没平坦面上の地層では一般的にその値が小さくなっているのは、埋没平坦面を透水性の悪い埋没ローム（ここでは立川ローム）が被覆しているためと推定される。

b) 圧縮指数 (第24図)

第13図で認められた-15mおよび-30m付近のピークに対応する極値区域は、やはり存在する。



第24図 圧縮指数断面図

3・3 “沖積層”における地層の連続性に関して

物理試験による諸指数の断面図では、層相に支配される一次的性質を示す指数が多いため、ほぼ自然のままの堆積状態の結果を示していると考えられる。したがって、以上の Index Profile は、統計上の問題は残るが、“沖積層”内の層相の空間的变化および地層の堆積環境を知る手掛りになる。

諸指数の深度分布図で認められたピークは、Index Profile では一定の深度領域を占めている。また、図中

のハッチで示した部分は、ほぼ同一深度のところにあって、お互いに重ね合わせが可能である。そのことは、層相などによって影響された諸指数の密接な相関関係を意味している。

また、-15~-20mの極値区域は、2.でも推察されたように、縄文海進における最盛時相を示す一種の“Key Bed”と考えることができる。そしてこのような例は、枝川町付近のみならず、東京港地区内の他の場所においても同様に認められている。しかし、このような一種の“Key Bed”としての指数の極値区域が、薄層化・波打ち・極値の増大あるいは減少などの諸特徴を示すことは、地層の堆積・形成後の営力を受けたためと考えられ、とくにその場合は、人為的な埋立地造成による盛土の影響が最も大きいと思われる。

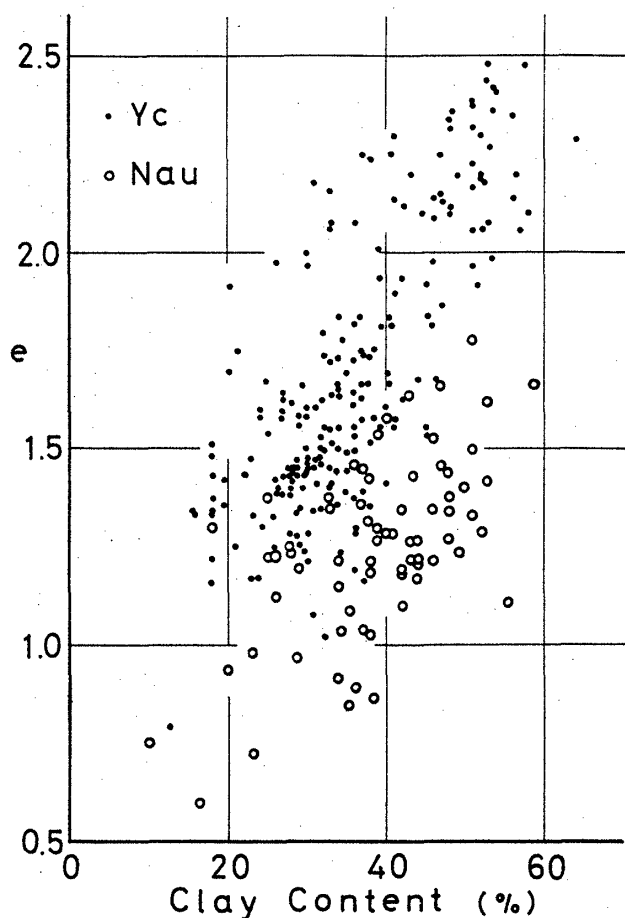
Index Profile から地層区分における境界を見ると、その付近では等値線が密になって、変化勾配が急になる傾向がある。とくに、有楽町層上部と同下部との境界では、その地層がそれぞれ砂層と粘土層ということもあって、著しくなっている。また、有楽町層下部と七号地層上部との間では、それほど顕著な特徴は見られないが、砂含有率が10%以上の区域および自然含水比50%の線は、破線で示した区分線にほぼ一致しているように思われる。

4. 各指数の相関関係から見た“沖積層”

4・1 各指数の相関関係

a) 粘土含有量と物理試験による諸指数との相関関係

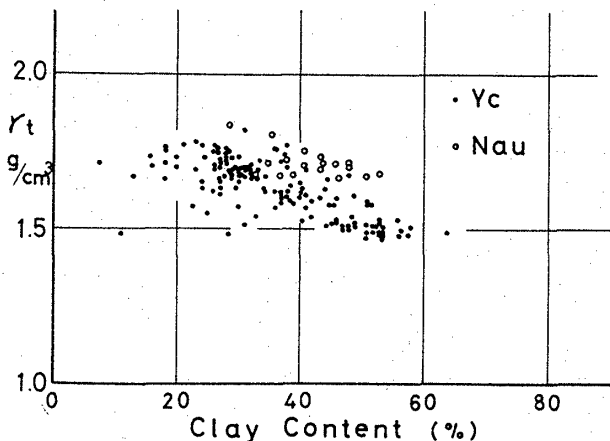
粘土含有量と間隙比との関係は、堆積物の堆積環境や粘土粒子の配列および応力履歴などによって一概に言えないが（石井，1959），沖積層や新しい洪積層のように若い地層で、堆積条件が類似し、また地史的経過も単純なところでは、きれいな直線的関係がある（桑原・堀内，1966）。全国の港湾地区の資料である松本一明・小川（1969）においても、比較的きれいな相関を示している。東京港枝川町地区における例を第25図に示す。この図では、七号地層におけるものが、同じ粘土含有量でも、有楽町層のものよりも間隙比が小さい、という傾向がわかる。すなわち、層別の分布が比較的明確に分けられる好例である。松本一明・小川（1969）では、密集分布域が、第26図の分布域をすべて包含する形状になっており、有楽町層のものよりもさらに高間隙比の分布も多くなっている。全体的な分布域から見れば、東京港枝川町地区の沖積粘土は他と較べて幾分締った傾向にあるとい



第25図 粘土含有率と間隙比(e)との相関
Yc; 有楽町層下部
Nau; 七号地層上部

える。その傾向は、後述の相関関係においても同様に見られる。

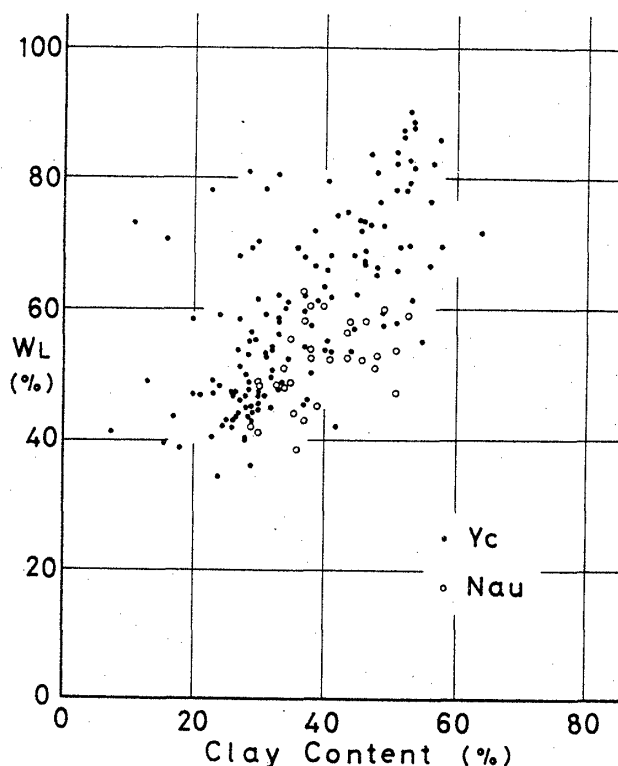
第26図は、粘土含有量と湿潤単位体積重量との関係を示す。一般的には逆比例的関係を示すが、二指数の変位



第26図 粘土含有率と湿潤単位体積重量(γ_t)との相関
Yc; 有楽町層下部, Nau; 七号地層上部

幅が狭い同系統の粘土であるためと、図の目盛りの関係上、直線関係のように見える。この図においても、層別の分布域がはっきりしており、同粘土含有量でも七号地層における方が密な粘性土になっている。

第27図には、同様に液性限界との関係を示した。前述の関係ほど層別の違いははっきりしないが、同含有量の場合、七号地層の方が低い液性限界を示している。全体的には、比較的よい直線関係を有している。



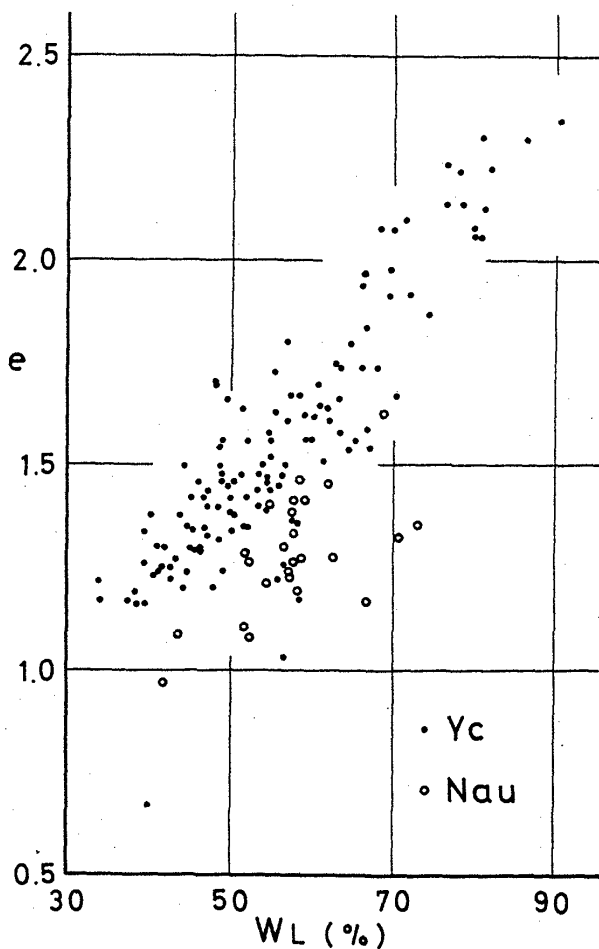
第27図 粘土含有率と液性限界(WL)との相関
Yc; 有楽町層下部, Nau; 七号地層上部

以上の三つの関係から、粘土含有率以外の三指数間でも直線関係があると推定されるが、その中で比較的に特徴の表われた例として、液性限界と間隙比との関係を第28図に示した。この図では、層別の分布差が明確で、その点では第27図よりも著しい。

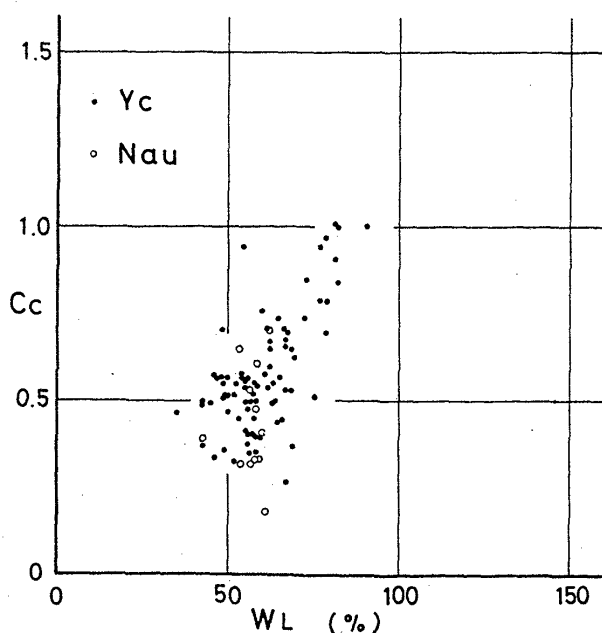
b) 圧縮指数と物理試験による諸指数との相関関係

力学試験による諸指数と物理試験によるそれとの関係は、土質工学的にも重要であるが、力学試験による指数は、その試験法や原理などの関係上、物理試験による指数と単純に関連づけることは無理であり、その意義も慎重に考慮しなければならない。その中で、圧密試験による圧縮指数との相関関係はよく用いられ、比較的きれいな直線関係が得られている。

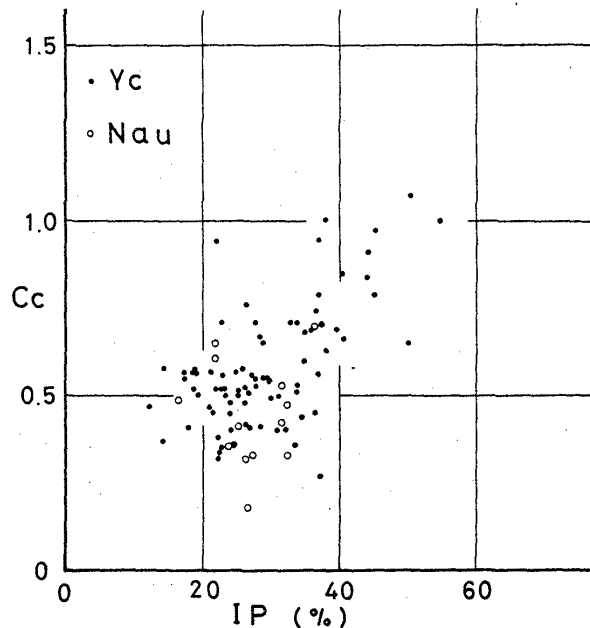
第29図には液性限界との、第30図には塑性指数との、



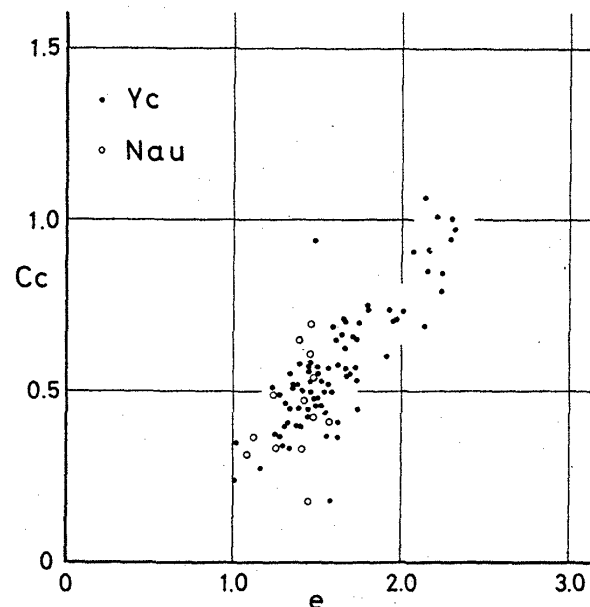
第28図 液性限界 (WL) と間隙比 (e) との相関
Yc; 有楽町層下部, Nau; 七号地層上部



第29図 圧縮指数 (Cc) と液性限界 (WL) との相関
Yc; 有楽町層下部, Nau; 七号地層上部



第30図 圧縮指数 (Cc) と塑性指数 (IP) との相関
Yc; 有楽町層下部, Nau; 七号地層上部



第31図 圧縮指数 (Cc) と間隙比 (e) との相関
Yc; 有楽町層下部, Nau; 七号地層上部

そして第31図には間隙比との諸関係をそれぞれ示した。資料の数量から一概にはいえないが、地層別の有意差は特に認められない。

4.2 地層区分としての有効性

地層区分といっても、東京層における粘土と沖積層におけるそれというような地質時代の差が大きい場合には、明確な違いが種々の相関関係でも見られる（桑原，

1966) が, “沖積層” という地層内, とくに単一粘性土層内における細分という点では, 土質の差が明確でないのが普通である。それは, 現状の土質試験法における誤差からは, そういった地層内の微細な土質条件の変化が, 区別できない場合が多いからである。したがって, 厳密には種々の統計的処理が必要であるが, ここではそれを省略し, 比較的に明確な層別の違いが出た相関関係を使用した。

その中で, 粘土含有率と間隙比との相関関係が最も有効であった。粘土から泥岩(頁岩)を経て粘板岩へ至る一つの続成過程の中で見た場合, 間隙比の減少はその最大の変化要素と考えられるから, この関係において何らかの傾向が予想される(桑原, 1966)。すなわち, 同じ粘土含有率の土であっても, 古い地層ほどその間隙比が小さくなるからである。桑原(1966)によれば, $e = 0.5$ を基点にして, その直線関係の勾配が, 時代を古くするにつれ次第に緩くなる傾向にある。同様の傾向は, 東京港においても認められる。すなわち, 七号地層におけるものは, 有楽町層のものよりもその勾配が緩くなっているといえる。

その他の有効な関係としては, いずれも粘土含有率と間隙比との関係を軸としての派生的な関係であるため, ほぼそれと同様な傾向を示している。

結 び

東京港地区の“沖積層”における土質試験結果による諸指数に, その深度分布傾向, 水平分布の特徴および諸指数の相関関係から検討を加えた結果, “沖積層”の土質工学的性質について, ほぼ次のことが明らかになった。

1) 各指数の深度分布および Index Profile の特徴から, 海進の極相と考えられる層相変化の影響が, 深度-15~-20m付近に顕著に見られること。そして, それは一種の“Key Bed”と考えることができること。

2) 東京港地区と同じような地質的条件を有する軟弱粘土の厚い他の港湾地帯でも, 深度においてやや差があるが, 1)とほぼ同じような特徴を示すことが多いこと。

3) “沖積層”の粘土においては, 埋立地造成や他の建設工事などによる応力履歴の変化の影響が大きいこと。

4) したがって, そのことを無視して“沖積層”の地質学的解釈を行なってはならず, 人為的営力を含めた第四紀学の総合的観点に立って, 種々の問題を検討しなければならないこと。

5) 主な指数の相関関係においては, 有楽町層下部と七号地層上部の両粘土層の間に, 粘土の続成過程の差異を反映したちがいがみられること。

6) 土質工学で実施される地質調査の中のサウンディングやサンプリングでも, 結果の使い方によっては, 地質学的考察に非常に有効であること。

また, 今後の問題として次のことを考える必要がある。

1) 全国各地の海岸平野においても同様な検討考察を行なう必要があること。またその場合は, その場所に合った調査法と結果の処理法を講じなければならないが, とりあえず, 東京港地区と同じような条件を有する地区から検討する必要があること。

2) 同一場所における精度の高い土質試験結果と, 多くの他の地質学的手段による調査結果を正確に関連づけること。

3) 土質試験における精度の向上を計り, その結果の統計学的処理からの考察を行なうこと。

4) 軟弱粘土における初期続成過程に関する系統的な研究を進めること。

文 献

- 網干寿夫(1969); 圧密試験法に関する研究. 第4回土質工学研究発表会講演集, p. 349—354.
- 青木滋・柴崎達雄(1966); 海成“沖積層”の層相と細分問題について. 第四紀研究, vol. 5, no. 3—4, p. 113—120.
- (1969); 東京の第四紀層について(講演要旨). 地質雑, vol. 75, no. 2, p. 102.
- (1970); 東京低地の第四紀層について. 日本地質学会第76年学術大会シンポジウム(海岸平野). p. 15—20.
- 有明海研究グループ(1965); 有明・不知火海域の第四系. 地団研専報, no. 11, 86p.
- BCP委員会(1969); 砂層に支持されるくいの支持力に関する実験的研究. 210p.
- 土質工学会(1964); 土質調査法. 438p.
- (1969); 土質試験法. 675p.
- 石井靖丸(1959); 軟弱地盤工法. 技報堂, 234p.
- KENNEY, T. C. (1964); 海面変動と後氷期海成土層の地史(青木訳). ローム叢書, 8, p. 1—44.
- 桑原徹・堀内孝英(1966); 名古屋市南部の軟弱粘土の性質について. 名城大理工学部研究報告, vol. 7, p. 34—59.

- 桑原 徹(1966); 沖積層の土質工学的性質とその意義.
第四紀研究, vol. 5, no. 3—4, p. 121—138.
- 松本一明・堀江宏保他(1966—1970); 沖積粘土のボーリングおよびサンプリングに関する研究 (第1報—第5報). 港湾技研報告, vol. 5, no. 4, p. 1—34, vol. 6, no. 8, p. 1—24, vol. 7, no. 2, p. 95—113, vol. 8, no. 2, p. 1—20, vol. 9, no. 4, p. 43—63.
- ・小川富美子(1969); 港湾地域における土の工学的諸係数の相関性について (第1報). 港湾技研資料, no. 71, p. 1—40.
- 松本錬三(1956); 土の物理的試験値の個人差について. 土と基礎, vol. 4, no. 6, p. 24—26.
- (1962); 土の物理的試験値の個人差について (続報). 土と基礎, vol. 10, no. 3, p. 11—15.
- 松尾新一郎(1965); 土の粒度試験方法の問題点. 土質工学会第10回シンポジウム, p. 47—50.
- 三笠正人(1962); 土の力学における構造の概念の意義について. 土木学会第17回年次学術講演会講演概要, p. 35—38.
- (1964); 土の工学的性質の分類表とその意義. 土と基礎, vol. 12, no. 4, p. 17—24.
- (1964); 圧密試験の整理方法について. 土木学会第19回年次学術講演会講演概要.
- 粘土力学研究グループ(1964); 滞積粘土層の成因とその土性 (その2). 土と基礎, vol. 12, no. 6, p. 39—46.
- 清水恵助他(1969); 東京港地区の沖積層について (講演要旨). 地質雑, vol. 75, no. 2, p. 102.
- 他(1970); 東京港地区の沖積層について(2)—その土質特性について— (講演要旨). 地質雑, vol. 76, no. 2, p. 86.
- SPRONCK, R. (1948); For a Systematic Study of the Properties of Soils as related to their Permanent Characters and to their Non-permanent Characters (Structure and Moisture Content). *Proc. 2nd Int. Conf. on S. M. & F. E.*, vol. 3, p. 15—18.
- TERZAGHI, K. and PECK, R. B. (1948); *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 566 P. John Wiley.

Engineering Properties of Recent Clayey Deposits

in the Area of Port of Tokyo

Keisuke SHIMIZU

(Abstract)

Judging from the graphs showing the relation between soil indices and depth, the Index Profiles, and the correlations between some of the soil indices in the data tested on Recent clayey soil samples in the area of Port of Tokyo, are found as follows:

1) Apparent change of facies and engineering properties in the Recent deposits, is recognized in the horizon between 15m and 20m below the sea level in Arakawa peil, which is correlated with

limax phase of post-glacial transgression.

2) The Recent very soft clayey beds are affected considerably by many artificial factors such as land-reclaiming.

3) From some of the graphs showing correlation between soil indices, a difference of the diagenesis of clayey deposits can be recognized between Yurakucho clayey formation (Yc) and Nanagochi silty formation (Nau).