

わが国，東海地方の細粒土ならびに砂質土の  
統一土質分類に関する考察CONSIDERATIONS ON THE UNIFIED SOIL CLASSIFICATION  
OF FINE SOILS AND SANDY SOILS IN THE  
TOKAI DISTRICT, JAPAN

植下 協\*・野々垣 一 正\*\*

By Kano Ueshita and Kazumasa Nonogaki

## 1. ま え が き

統一土質分類法は1942年にCasagrande<sup>1)</sup>によりその原形が作られ、当初はAC法(Airfield Classification System)と呼ばれていた。その後、アメリカ合衆国の開拓局と陸軍技術部で統一した形で採用することとなってから、統一土質分類(Unified Soil Classification System)という名前で広く紹介され<sup>2)</sup>、1966年にASTMの暫定規格として採用されることとなったものである<sup>3)</sup>。今日では、この統一土質分類は、アメリカ国内のみならず、世界各国でも広く利用されつつあり、世界的な工学的分類法となりつつある。

この統一土質分類法の利点、欠点はつぎのようなものであるといわれている<sup>4)</sup>。

利点としては、

- (1) 最近、世界的にかなり広く通用している。
- (2) 盛土、基礎としての土の性質、道路・滑走路の基礎ならびに土工上の性質、フィルダム材料としての性質などの対応が、アメリカにおける資料ではあるが一応つけられている。
- (3) 粗粒土、細粒土、有機質土の広範囲の土の分類が一貫して行ないうる。
- (4) 細粒土の分類は、液性限界、塑性指数に基づき、手数のかかる沈降分析を必要としない。
- (5) 現場判定法が設けられている。

などである。

欠点としては、

- (i) 日本の土を分類するとき、必ずしも適当でない部分がある。たとえば、A線によるCHとMHの区分、関東ロームに適当な分類名がないことの

問題など。

- (ii) 場合によっては、もっと分類数の少ない方が望ましいことがある。

などである。

わが国では、土質工学会の土の判別分類法委員会が、わが国で用いるべき土質分類法として、統一土質分類法の線に沿ったものを考え、上記の欠点に対する修正を加えた分類法試案<sup>5)</sup>を1969年1月に発表している。

土の判別分類法委員会の試案は、その後、さらに一部の修正が行なわれたが<sup>6)</sup>、その結果の委員会試案と従来の統一土質分類法との相違点は以下の諸点である。

(a) わが国のちゅう積粘土の塑性図上の位置は、A線の近くに分布するものが多く、A線を用いてシルトと粘土を区別すれば、実際には同じ土性を示す土を機械的にCHとMHに2分してしまうことになるので、塑性図上にC線( $I_p=20$ )とD線( $I_p=w_L-50$ )を設けて、A線( $I_p=0.73(w_L-20)$ )とB線( $w_L=50$ )、C線、D線に囲まれる従来のMHの部分の一部をCHに変更した。ここに、 $I_p$ は塑性指数、 $w_L$ は液性限界を意味する。

(b) 火山灰質粘性土が塑性図上のA線の下にあることを示し、そのうち、B線より右にあるものをVH、B線より左にあるものをVLとして、新しい分類記号を火山灰質粘性土のために設けた。

(c) 現場における利用上の便宜を考えて、道路土工指針<sup>7)</sup>に採用された、「設計、施工計画および施工などにおける土の名称」を多少修正して、簡易分類法を提案した。

以上の経過により、土質分類法はかなり合理化されてきたと考えることができるが、なお、解決しなければならないいくつかの問題が残されている。その一つは、最近アメリカ<sup>8)</sup>、イギリス<sup>9)</sup>で指摘されている粒径区分の問題である。この点に関しては、土質工学者と地質学者

\* 正会員 工博 名古屋大学助教授 工学部土木工学科

\*\* 正会員 名古屋大学助手 同

との不統一のうえに、国際間の不統一があり、今後、国際的に専門家間で検討し、調整を加えてゆかなければならない問題であると考えられる。

いま一つの点は、上述した統一土質分類と土の性質との関係が対応つけられているという利点の一つはアメリカの資料に基づいていることである。わが国の土質資料を統一土質分類で整理し、工学的性質と対応させた例は、まだよく知られていない。

また土の判別分類法委員会の修正案にてくる新しいC線、D線の提案には一応の根拠は示してあるが<sup>3)</sup>、十分と考えられるほどのバックデータはまだととのえられていない。

著者の一人(植下)は、昭和42年度以降、土質工学会土の判別分類法委員会(昭和44年度まで)ならびに土の判別分類法基準化委員会(昭和45年度より)に協力しているが、その作業段階として、わが国の土に基づく資料をととのえる必要があり、共同研究者とともに、名古屋ならびに愛知・三重の土質資料を委員会案の塑性図<sup>9)</sup>との対応においてまとめて報告した<sup>25), 26)</sup>。

ここには、これらの資料を統合し、従来よく知られてきたCasagrandeの塑性図<sup>9)</sup>との対応において、従来の塑性図分類結果がどのような意味をもつものであるかを示すとともに、土の性質から考えて、CHとMHの区分をどのように考えるのが適当であるか、また、塑性図分類と対応する三角座標分類を考察することができるかなどについて再検討してみることにした。

2. 考察に用いた対象地盤、考察の方法

統一土質分類と土の性質との関係を調べるために、東海地方の各地域を対象とした6冊の地盤調査書<sup>10)~15)</sup>の土質試験結果一覧表を利用した。それぞれの地盤調査書が調査対象とした地域を 図-1 に示す。

これらの地盤調査書に示されている土質試験結果のうち、塑性図分類の行ないうるものを、統一土質分類し、

各種の性質と統一土質分類との関係を 表-1 の記号を用いて図上にプロットしたうえで、土質分類と各種の性質とがどのように対応しているかを調べた。

なお、ここでは ASTM の統一分類法<sup>3)</sup>をわが国において使用する場合の問題点を明らかにすることを考え、表-1 の土質分類は ASTM の統一分類法<sup>24)</sup>にしたがって行なうこととした。

考察の対象とした地域の地質の概略を参考までに 図-2 に示しておいた。

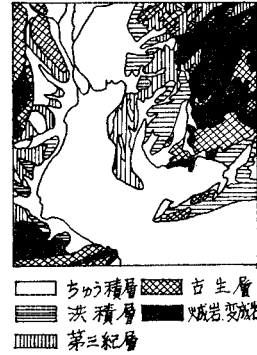


図-2 対象とした地域の地質概況

3. 対象地域の塑性図

対象地域の土質が塑性図上でどのように分布しているかを知るため、ちゅう積層、洪積層、第三紀層にわけてプロットした結果が 図-3 である。図-3 によれば、いずれの資料も、A線の上側の資料が多いが、A線の下側にも少なからず点が分布する。このように帯状に細長く分布するものを長さ方向のA線で分割することについては、すでに土の判別分類法委員会<sup>5)</sup>が指摘するように疑問を感じる。しかし、この論文では、考察の都合上、一応 ASTM の統一分類法<sup>3)</sup>にしたがってA線の上側の土には粘性土を意味するCの記号、A線の下側の土にはシルトを意味するMの記号をつけることとする。なお、地盤調査書の柱状図に腐植の記号があり、比重試験の結果が2.50以下で、A線の下側にある土は有機質土と推定し、区別した。

なお、Casagrande が当初A線を提案したときの資料<sup>1)</sup>によれば、A線上に分布したり、A線をまたぐものはなかったようである。その後、Seedらの行なった研究<sup>16)</sup>によれば、無機質土も有機質土もA線より急な分布勾配で、A線を横ぎる傾向を示している。わが国の資料<sup>17)</sup>によれば、有機質土の塑性図上の位置としては、Seedらの提案<sup>16)</sup>よりも、Casagrandeの提案の方が適当と考えられるが、無機質土については、河内ら<sup>18)</sup>が指摘したようにA線より分布勾配が大きい(45°に近い)ものの資料が数多く見られる。図-3の分布も、A線よりはやや大きい勾配を示している。

表-1 各図上で用いた統一土質分類別の記号

統一土質分類	記号
CH	●
MH	▲
OH	⊙
CL	○
ML	△
OL	⊗
SC	⊕
SM	⊚

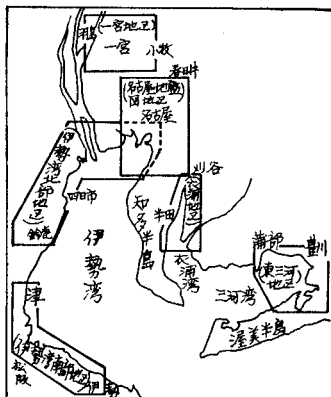


図-1 考察の対象とした地域

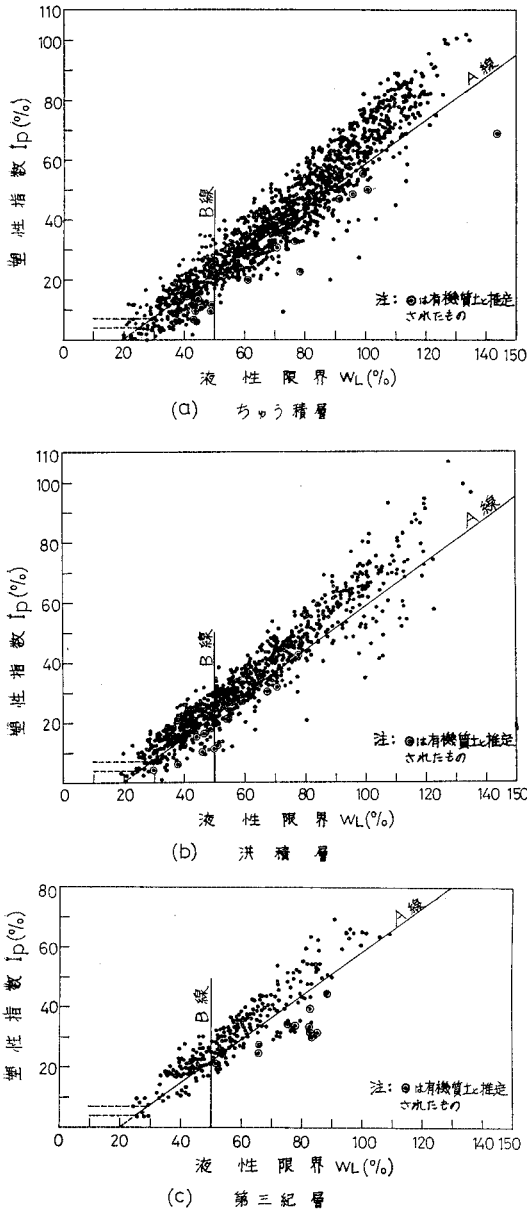


図-3 対象地盤の地質時代別の塑性図

4. 統一土質分類と一軸圧縮強度との関係

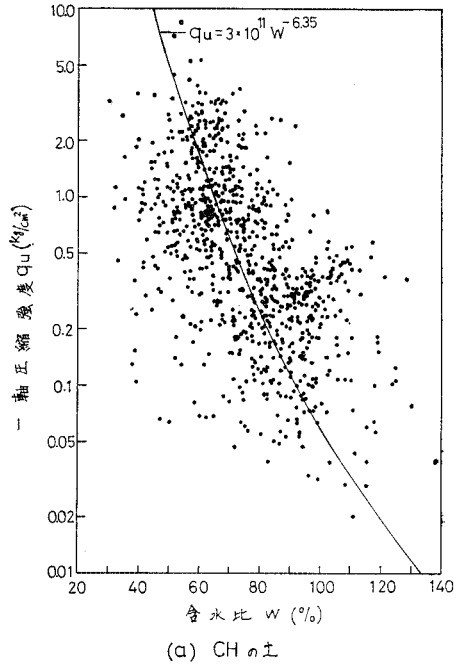
統一土質分類と土の力学的性質との対応を見るため、一軸圧縮強度と含水比との関係を統一土質分類別に示すと、図-4 のようである。図中には、比較の便利のため、CH の土に対して平均的と見られる関係、

$$q_u = 3 \times 10^{11} w^{-6.35} \dots \dots \dots (1)$$

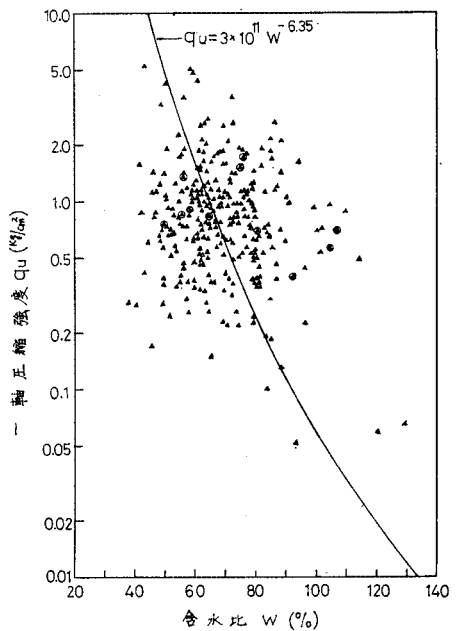
ここに、 $q_u$ ：一軸圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $w$ ：含水比 (%)

の曲線を記入した。

図-4 によれば、H グループ (CH と MH)、L グループ (CL と ML)、S グループ (SC と SM) の 3 グループの間には、関係図上で多数点が分布する位置にずれがあるが、それぞれのグループ内において、C と M の相違は明瞭でない。同じ一軸圧縮強度を示す試料についてみれば、H グループ、L グループ、S グループの順に含水比が低い側に多数点の位置がずれて存在している。



(a) CH の土



(b) MH, OH の土

図-4(1) 統一土質分類別の一軸圧縮強度と含水比との関係

なお、同一土質分類の一軸圧縮強度と含水比との関係において、同一含水比でも一軸圧縮強度にはオーダーの違いの差がでることがみられる。すなわち、粘性土の強度特性には、土質材料の違いのほかに、土の密度、飽和度、骨組構造の違いなどが関係し、土質分類と含水比からのみ強度特性を推論する場合の精度における限界が図

のばらつきに示されている。

つぎに、名古屋地盤図資料のみについて、図-4の横軸の含水比を液性指数におきかえてプロットしたものが図-5である。図-5によれば、土質分類による分布範囲の違いはなくなるが、対応関係の幅が大きく、きれいな関係を示すことにはならない。

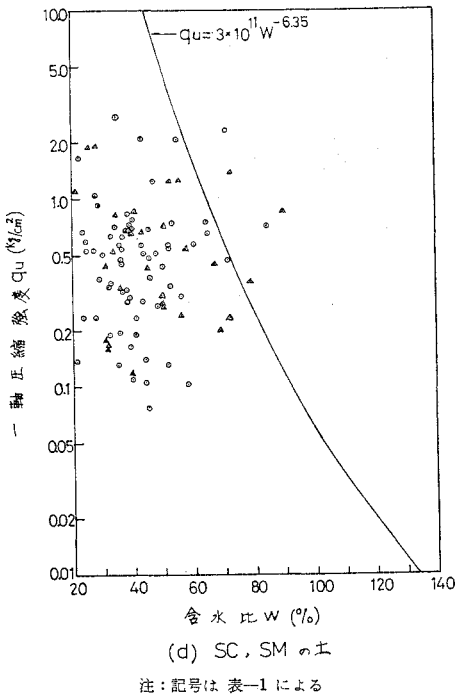
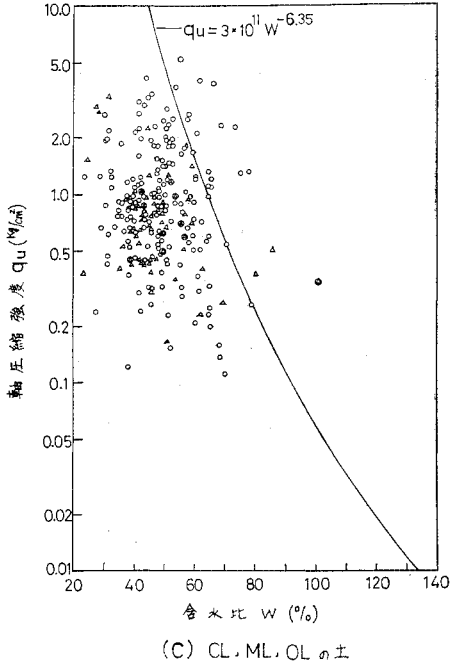


図-4(2) 統一土質分類別の一軸圧縮強度と含水比との関係

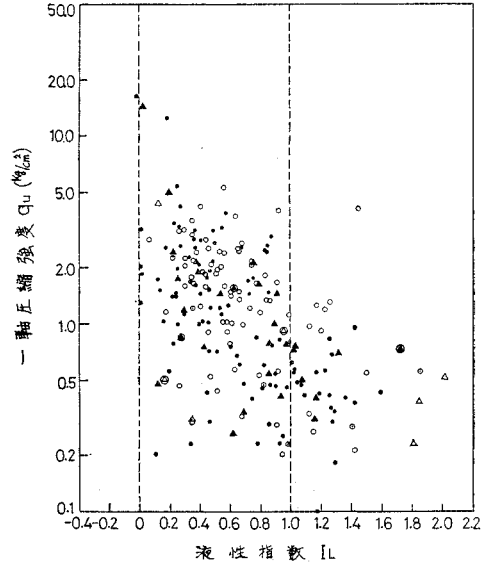


図-5 一軸圧縮強度と液性指数との関係

### 5. 統一土質分類と粘着力と内部摩擦角との関係

三軸圧縮試験ならびに直接せん断試験で求められた粘着力と内部摩擦角との関係を地質時代別に示すと 図-6, 7 のようである。

せん断試験の結果については、同一土質材料であっても、試験機の機構と性能、試験条件などにより結果の相違が大きいため、その点を考慮して、図-6, 7 を検討しなければならないが、図によれば、つぎのようなことがいえる。すなわち、地質時代による内部摩擦角の相違はあまりないが、粘着力の増加が地質時代が古くなると顕著に現われることが見られる。

粘着力と内部摩擦角がともに小さいものとして CH が目立っているが、CH, MH は全体的な分布範囲にあまり相違が見られない。

CL, ML については、ちゅう積層の場合、CH, MH よりも、粘着力または内部摩擦角が、やや大きい側にずれてみられるが、洪積層の場合では、CH, MH が粘着力または内部摩擦角において増加した範囲に存在を示しているため、CL, ML の分布域はそれに含まれることとなる。

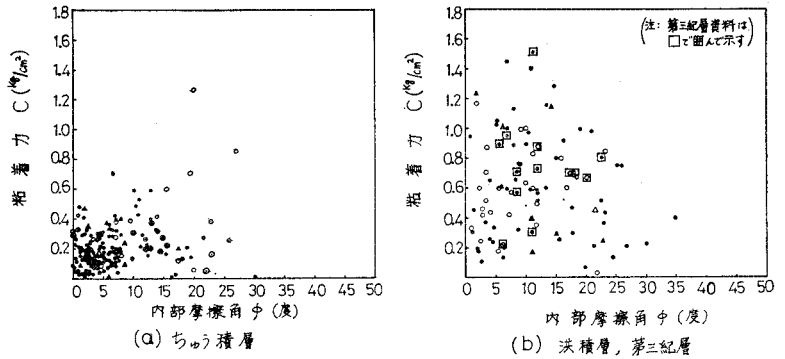
砂質土試料 (SC, SM) の実験は，三軸圧縮試験には少なく，直接せん断試験によってかなり行なわれている。直接せん断試験の内部摩擦角は一般に大きい値を与えることが知られているが，図-7 では，SC, SM は広範な内部摩擦角の範囲 (0~50°) に分布し，粘着力の分布範囲はちゅう積層の場合，細粒土の場合と同じ程度であり，洪積層の場合では，細粒土の粘着力が顕著に増加しているのに対して，砂質土では，ちゅう積層の場合とほとんど変わっていない。

### 6. 統一土質分類と圧縮指数との関係

統一土質分類と圧縮指数との関係を見るため，まず統一土質分類の記号を用いて，圧縮指数と液性限界との関係を地質時代別にプロットし，図-8を得た。この図中には，Skempton<sup>19)</sup>による

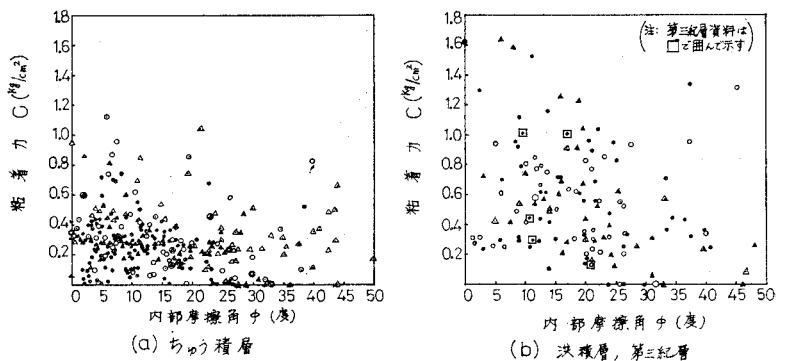
$$C_c = 0.009(w_L - 10) \dots\dots\dots (2)$$

ここに， $C_c$ ：圧縮指数， $w_L$ ：液性限界 (%)



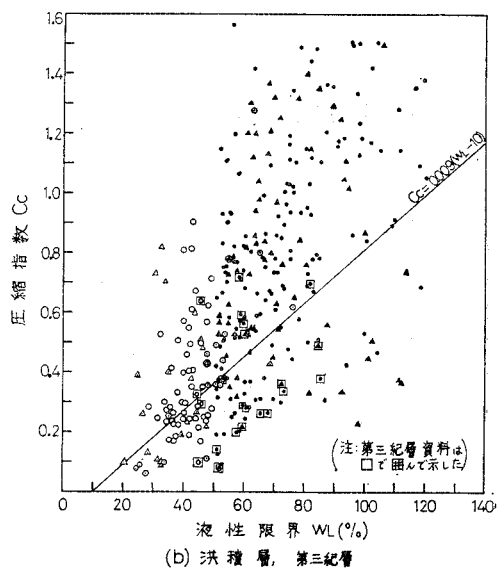
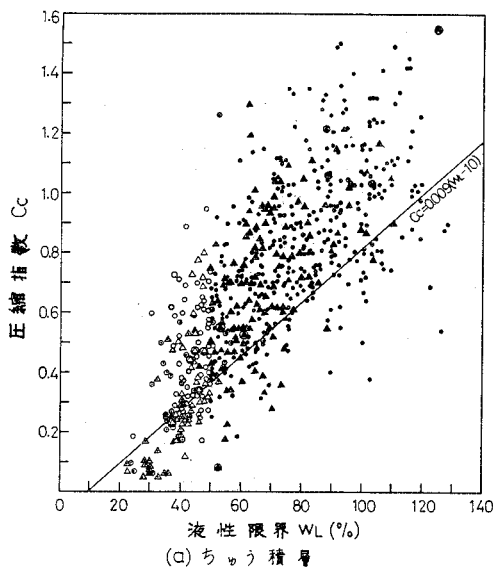
注：記号は表-1による

図-6 三軸圧縮試験結果の粘着力と内部摩擦角



注：記号は表-1による

図-7 直接せん断試験結果の粘着力と内部摩擦角



注：記号は表-1による

図-8 圧縮指数と液性限界との関係

の関係線を記入した。これらの図によると，Skemptonの関係よりも大きい圧縮指数となる場合が多く，このこ

とは Skempton の関係に基づき、液性限界から圧密沈下量を推定すると、実際より過小な沈下量の推定をすることとなるので注意が必要である。なお、古い時代のものほど、同一材料でも多く圧密され、間げきが減少しているため、圧縮指数も小さくなり Skempton の関係に近くなり、さらに、Skempton の関係よりも小さいものが多くみられるようになる。これらの図における統一土質分類の違いによる分布範囲の違いについては、HグループとLグループが液性限界 50% の右側と左側に分かれるのは当然であるが、CとMの間には分布範囲の相違する傾向が認められない。

つぎに、統一土質分類別の記号を用いて、圧縮指数と初期間げき比との関係を地質時代別に示すと図-9 のようである。これらの図には、名古屋地盤のちゅう積層に対する平均的関係<sup>10),20)</sup>,

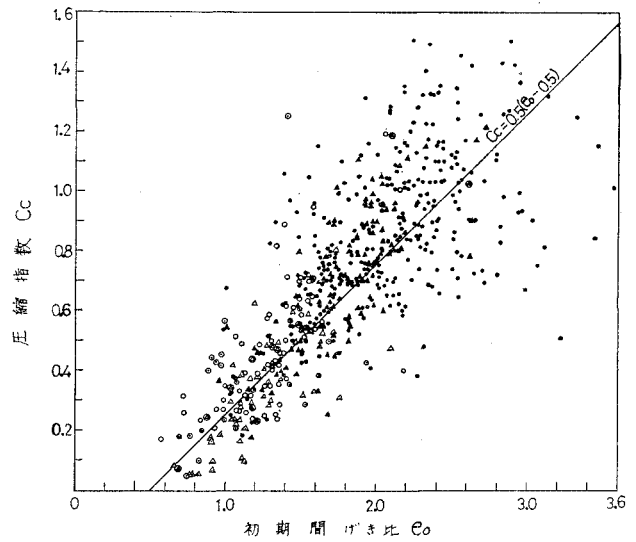
$$C_c = 0.5(e_0 - 0.5) \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $e_0$ : 初期間げき比

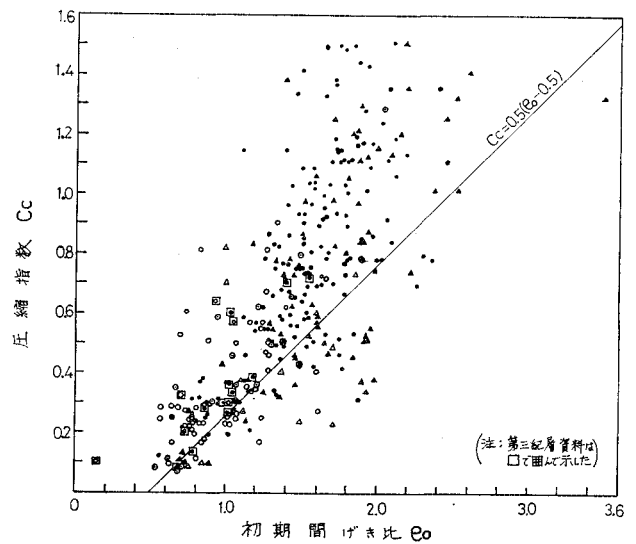
を記入した。図-9 のちゅう積層に対しても式(3)は平均的関係であることが見られる。それに対し、洪積層ならびに第三紀層では式(3)の関係よりも圧縮指数の大きいものが多くなる傾向を示している。これについては、図-10 に示すように、同一間げき比であっても、時代が古くなってセメンテーションなどによる骨組構造の強度増加がおこると、圧密降伏荷重が増加し、処女圧密曲線の勾配が大きくなるためである。図-9 においては、土質分類の相違は、初期間げき比との対応における存在範囲の違いにあらわれているが、初期間げき比と圧縮指数との関係においては土質分類による相違はみられない。

## 7. 統一土質分類と粒度組成三角座標との関係

土の判別分類法委員会は、土質分類法の主流として、統一土質分類法を考えながら、わが国における粒度組成三角座標の提案<sup>21)</sup>も行なっている。これは、粒度組成を表現するための三角座標が、土質試験結果を表現する一つの方法として今後も広く利用され続けると委員会が判断し、そのためには、統一土質分類とできるだけ矛盾しない、合理的と考えられる三角座標表示を決めておくのがよいと考えたためである。ところが、統一土質分類とできるだけ矛盾しない三角座標についてのバックデータが十分になかったため、一応大阪地盤図<sup>22)</sup>で採用された三角座標の各領域の呼称を一部修正して暫定的に提案している。そこで、統一土質分類の塑性図分類と粒度組成三角座標との間に何らかの対応が



(a) ちゅう積層



(b) 洪積層, 第三紀層

注: 記号は表-1による

図-9 圧縮指数と初期間げき比との関係

けうるものであるかどうかについて調べたものが、図-11 である。これらの三角座標において、CH, MH, OH, CL, ML, OL は当然砂れき分 50% 以下の領域にある。この砂れき分 50% 以下の領域内を、これらの統一土質分類別の細区分に対応して区画しうるかどうかについては、図-11 の資料によれば、むずかしいと判断される。いままでの検討に基づく、MH ないしは、ML となる土は、必ずしもシルトではなく、むしろ CH や CL の粘性土に近い場合が多いように判断されるので、地盤の調査書の中でコンシステンシー試験結果の記入がなく、粒度組成結果の記入がある土質資料中に真のシルト

の場合が含まれているのではないかと予想し，その参考資料をうるためにプロットしたものが 図-12 である。

図-12 には，コンシステンシー試験を行なったがシルトであるためできなかったもの，シルトと見られたためコンシステンシー試験を省略したもの，コンシステンシー試験を試験項目に加えなかったものなどが混在していると思われる。シルトが多く粘土分の少ない領域のものは，シルトである可能性が高いが，図-11 の CH の土（粘土）にもそのような領域のものが少なくないので，塑性に基づく粘土とシルトの分類を三角座標上で行なうこともむずかしいようである。

つぎに，SC，SM についても，その存在領域（細粒分 5~50%，ただし，5~12% は砂（SW，SP）と砂質土（SM，SC）またはれき（GW，GP）とれき土（GM，GC）との境界領域）において共存し，区分することはむずかしい。すなわち，粒度組成のみによる分類法と塑性図を用いる分類法とは異質の分類体系で互換性はないと考えざるをえない。

### 8. む す び

東海地方の土質試験結果資料に基づいて行なった以上の検討によってつぎのように考察し結論することができよう。

(1) 統一土質分類における S グループ（SC，SM），

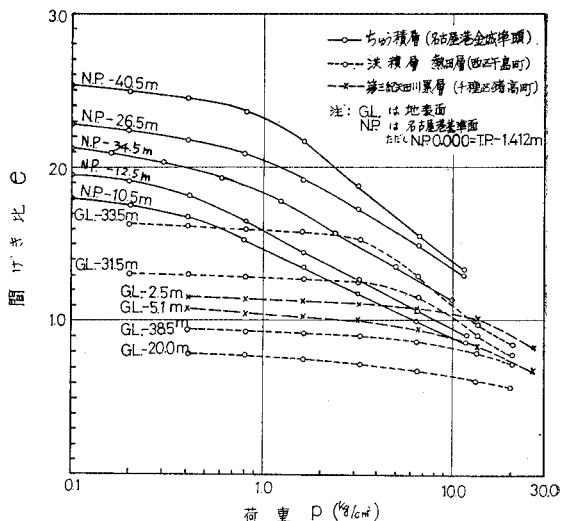


図-10 名古屋地盤の代表的圧密曲線

Lグループ（CL，ML），Hグループ（CH，MH）の間には，力学的性質の異なる傾向は見られるが，塑性図のA線によって区分されるCとMの間には，力学的性質の差異が必ずしも見られない。

(2) このことは，塑性図のA線が，有機質土，火山灰質土の塑性指数の液性限界に対する上限の関係を示すことにおいて有意義ではあるが，無機質土をCの記号を付す粘性土とMの記号を付すシルトに分けることについ

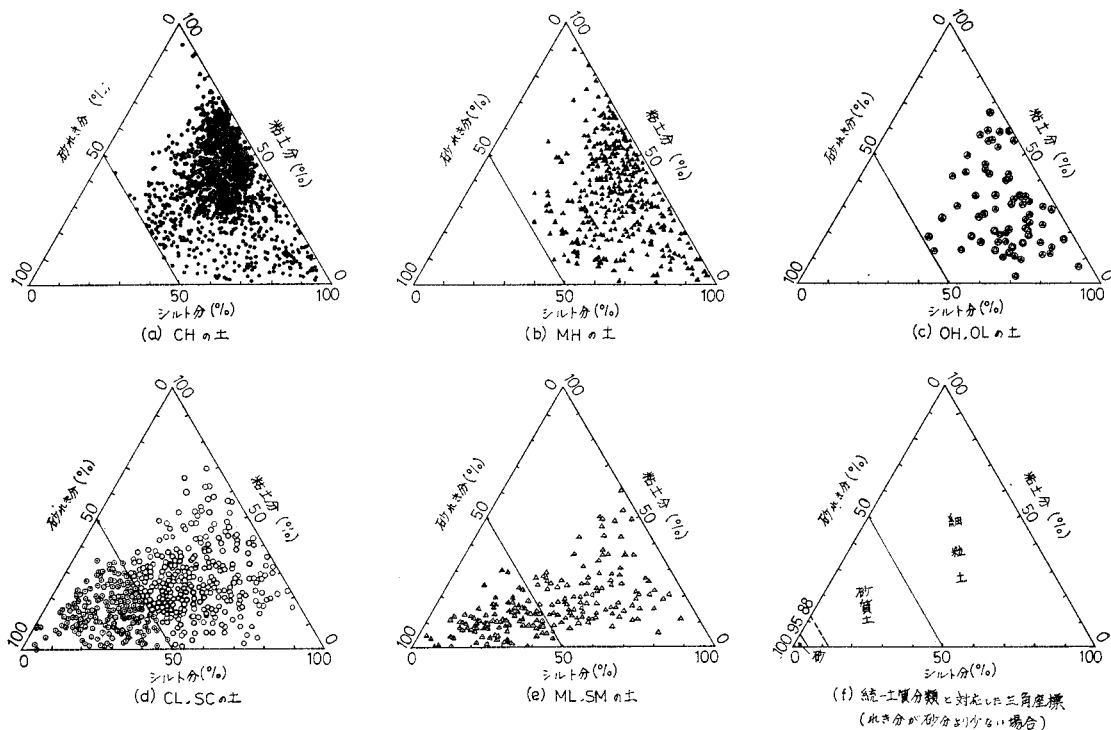


図-11 統一土質分類と粒度組成三角座標との対応

ては不適當であることを意味している。この点で、土の判別分類法委員会の修正提案<sup>5),6)</sup>は一つの正しい方向を示していると考えられる。この考えを支持するものとして、Dumbleton<sup>23)</sup>はA線の下側の土をM粘土と呼びシルトとは呼んでいない。また、AASHO土質分類法では、塑性指数が10以下の土をシルト質土と呼び、塑性指数11以上の土を粘土質土と呼んでいる。したがって、AASHO土質分類によれば、図-3のHグループの土は、ほとんどすべてが粘土質土であることとなる。

(3) CHとMH, CLとML, SCとSMは、現行のCasagrandeの区分法では、あまりに相違のない土にきわめて異質な土であることを連想させるCとMの記号をつけて二分しているのでこの点をあらためるため、細粒分がダイレイタンス試験、塑性ひも試験、乾燥強度試験などの簡易試験<sup>24)</sup>で明瞭にシルトとみられるもののみMの記号をつけ、A線の下側の粘性土をA線の上側の粘性土と区別して記録しておく必要がある。CH', CL', SC'の表現によるのがよいと考える。このような規則にしたがえば、土の判別分類法委員会の提案している簡易分類法<sup>5)</sup>におけるシルトとML, MHとの対応がきわめてよくなると考えられる。

(4) 土の判別分類法委員会の提案のように、A線、B線、C線、D線に囲まれた範囲をMHからCHに変更することにより、CHとMHの区分を合理化することについては、別に報告した試み<sup>25),26)</sup>によると、なお、その外側にあるMHがCHと判別しがたい性質を示すことがみられた。それゆえ、C線、D線を用いるよりも、上述の簡易試験<sup>24)</sup>によるCとMの区分を行なうのがより適切ではなからうか。

(5) 東海地方のCHの乱さない土については、一軸圧縮強度と含水比との間に、ほぼつぎのような平均的関係がある。

$$q_u \approx 3 \times 10^{11} w^{-6.35}$$

ここに、 $q_u$  : 一軸圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$w$  : 含水比 (%)

ただし、土の密度、飽和度、骨組構造の違いなどの影響によりばらつきは大きい。

(6) 東海地方のちゅう積層の圧縮指数と初期間げき比の間には、ほぼつぎのような平均的関係がある。

$$C_c \approx 0.5(e_0 - 0.5)$$

ここに、 $C_c$  : 圧縮指数

$e_0$  : 初期間げき比

(7) 統一土質分類のみにより土の力学的性質を推定する諸関係は、きわめてばらつきが大きい。したがっ

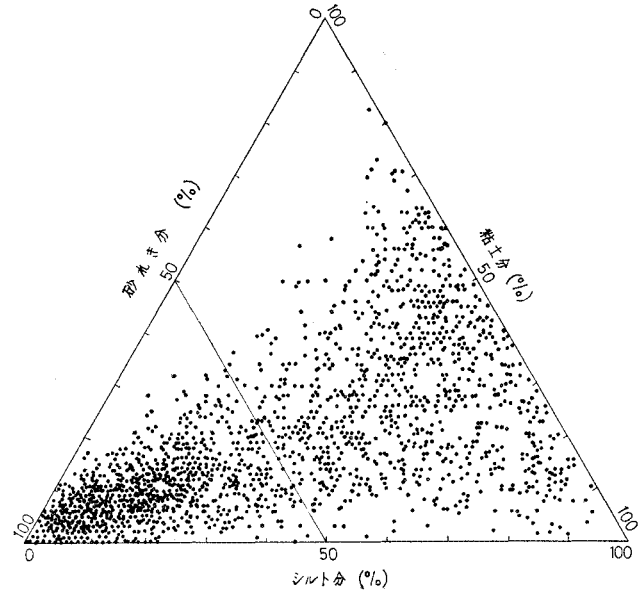


図-12 対象地域の土質資料で粒度組成結果があり、コンシステンシー試験結果のないものの三角座標位置

て、土質分類が正確に行ないうるための資料もとのえておくべきではあるが、設計に用いる数値は、土質分類から推定するのではなく、土質試験によって決めることの必要性が認識される。

(8) 塑性図分類と対応のよい粒度組成三角座標を考えることはむずかしい。

最後に、この研究に協力された、名古屋大学大学院学生浅井武彦君に感謝申し上げる。

#### 参考文献

- 1) Casagrande, A.: Classification and Identification of Soils, Trans. ASCE, Vol. 113, pp. 901-991, 1948.
- 2) Wagner, A.A.: The Use of the Unified Soil Classification System by the Bureau of Reclamation, Proc. 4th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Vol. 1, pp. 125-134, 1957.
- 3) American Society for Testing and Materials: Tentative Method for Classification of Soils for Engineering Purpose, ASTM Designation: D 2487-66 T, 1967 Book of ASTM Standards, Part 11, pp. 766-771, 1967.
- 4) 山田剛二・植下 協: 土の分類法の現状と問題点, 第3回土質工学研究発表会講演集, pp. 5-10, 1968.
- 5) 土の判別分類法委員会: わが国における統一土質分類の試案, 土と基礎, Vol. 17, No. 1, pp. 33-38, 1969.
- 6) 土の判別分類法委員会: 日本統一土質分類の試案・その他, 土の判別分類に関するシンポジウム論文集, pp. 1-4, 1970.
- 7) 日本道路協会: 道路土工指針, 丸善, 1967.
- 8) Committee on Soil Properties of the Soil Mechanics and Foundation: Standardization of Particle-Size Ranges, Proc. ASCE, Vol. 95, No. SM 5, pp. 1247-1252, 1969.
- 9) Archer, A.A.: Standardization of the Size Classification of Naturally Occurring Particles, Géotechnique, Vol. 20, No. 1, pp. 103-107, 1970.



- 10) 日本建築学会東海支部，土質工学会中部支部，名古屋地盤調査研究会：名古屋地盤図，コロナ社，1969.
  - 11) 建設省計画局・愛知県・三重県：伊勢湾北部臨海地帯の地盤，大蔵省，1962.
  - 12) 建設省計画局・三重県：伊勢湾南部臨海地帯の地盤，大蔵省，1962.
  - 13) 建設省計画局・愛知県：愛知県東三河地区の地盤，大蔵省，1963.
  - 14) 建設省計画局・愛知県：愛知県良浦地区の地盤，大蔵省，1965.
  - 15) 建設省計画局・愛知県・一宮市：愛知県一宮地区の地盤，大蔵省，1965.
  - 16) Seed, H.B., Woodward, R.J. and Lundgren, R. : Fundamental Aspects of the Atterberg Limits, Proc. ASCE, Vol. 90, No. SM 6, pp. 75-105, 1964.
  - 17) 山内豊聡：有機質土に関する試験，A. 物理試験，図一11・9，土質試験法，土質工学会，p. 367, 1964.
  - 18) 河内睦雄・藤井俊介・野々垣一正：塑性図に関する考察，土の判別分類に関するシンポジウム論文集，pp. 9-14, 1970.
  - 19) Skempton, A.W. : Notes on the Compressibility of Clays, Quart. Jour. Geol. Soc. London, Vol. C, pp. 119-135, 1944.
  - 20) 桑原 徹・堀内孝英：名古屋市南部の軟弱粘性土の性質について，名城大学理工学部研究報告，第7号，pp. 34-59, 1966.
  - 21) 土の判別分類法委員会：わが国における粒度組成三角座標の提案，土と基礎，Vol. 17, No. 9, pp. 47-48, 1969.
  - 22) 日本建築学会近畿支部・土質工学会関西支部：大阪地盤図，コロナ社，1966.
  - 23) Dumbleton, M.J. : The Classification and Description of Soils for Engineering Purpose : A Suggested Revision of the British System, R.R.L. Report LR 182, Road Research Laboratory, Ministry of Transport, 1968.
  - 24) 土の判別分類法委員会：土の判別分類，土質試験法，土質工学会，pp. 621-643, 1969.
  - 25) 植下 協・浅井武彦：統一土質分類と土の諸性質との関係—名古屋地盤図資料の場合—，土と基礎，Vol. 18, No. 8, pp. 33-41, 1970.
  - 26) 植下 協・野々垣一正・浅井武彦：統一土質分類と土の諸性質との関係—愛知・三重の土質資料にもとづいた場合—，土と基礎，Vol. 19, No. 2, 1971-2 に掲載予定。  
(1970. 6. 12・受付)
-