

# 講座：土質分類

## 6. 地層の観察と記述

東京工業大学 陶 野 郁 雄

本章では、新しく制定される土質分類法に沿って、地層を観察し記述する方法について述べる。

また、地層の観察方法については数多くの著書があるので、調査の目的・状況に応じてこれらの文献を参照されたい。(26) (48) (49) (55)。

さらに、観察などによって得られた地質学的情報について、土質工学的な意味合いをつけて若干述べることにする。

なお、ボーリング試料を主体とした採取試料の観察と記述については次章でふれることにする。

### 6.1 調査方法

この観察記述方法は、おもに地盤調査を対象としており、技術者が露頭において地層および土の状態を観察し記述する標準的方法を示すものである。

ここでいう露頭とは、地層の一部が直接地表にあらわれている所である。ときには、調査を目的として地表の一部をはいだり、建設工事に伴って生じる掘削面のように新しく露頭が生じることもある。また、本章で取扱う地層はその厚さに比べて水平方向のひろがりの大きい層状体で、おもに第四紀にたい積し、いまだ岩石化していないタイ積層のことである。

#### 6.1.1 調査の準備

調査を行なうことが決ったら、担当者は調査地の予備知識を得るため資料を収集したり、調査の作業に必要な用具をとりそろえたりする必要がある。

調査地付近の地質状況を前もって知ること、調査を非常に容易にさせるので、地盤図・地質図・既存の調査報告書などをできる限り調べておくといよい。

調査の作業に必要なものは、調査地の状況や目的などによって異なるが、一般的には表-6.1にあげたようなものを準備して持っていくといよい。

#### 6.1.2 露頭の観察手順

露頭に近づいたら、まず露頭全体の状況をは握し、さらにカラー写真の撮影やスケッチをしておくことが大切である。観察は全体的な地質構造をとらえ、粒度・色調などの特徴によって地層を区分す

表-6.1 調査用準備品目録

|       |                                           |
|-------|-------------------------------------------|
| ●服装   | 帽子（ヘルメット）、調査上・下衣、軍手、レインコート（かさ）、調査靴（山靴、長靴） |
| ●筆記用具 | 鉛筆、色鉛筆、マジックインク、万年筆、（シャープペンシル、サインペン）、消ゴム   |
| ●調査用紙 | 露頭観察記録帳、野帳、スケッチブック、（方眼紙、メモ用紙）             |
| ●調査器具 | クリノメーター、ルーベ（天眼鏡）、巻尺（折尺、三角スケール）、分度器、用せんばさみ |
| ●採集用器 | ハンマー、折りたたみ式シャベル、採集袋（ポリエチレン袋）、試料ビン、輪ゴム、包紙  |
| ●その他  | 地形図、写真機、小刀（カッター）、時計、懐中電灯、リュックサック（ナップサック）  |

る。

次に、このようにして区分された地層（単層）について調べるため、それらをよく代表している所を選び詳細に観察する個所を決める。そして個々の地層の境界および、それらの相互関係について調べる。さらに各地層について、連続性のある成層か、あまり広がりをもたないレンズであるか、それともスベリなどによって動いたものであるかを確かめる。また、成層のときは風化の程度を調べる必要がある。風化をしているところでは外観が変わっているので、表面を若干はぎとって新鮮な地層を出して調べるようにす

表-6.2 露頭観察記録表

| 調査名<br>地層の位置                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 場所<br>No.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 標高<br>厚さ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 担当者<br>長さ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 地層の状態                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <input type="checkbox"/> 空洞なし<br><input type="checkbox"/> 空洞あり<br><input type="checkbox"/> 空けき<br><input type="checkbox"/> 水がある<br><input type="checkbox"/> 量<br><input type="checkbox"/> 砂管粘土管なし<br><input type="checkbox"/> 砂管粘土管あり                                                                                               | <input type="checkbox"/> 表面の状態<br><input type="checkbox"/> 乾いている<br><input type="checkbox"/> 湿っている<br><input type="checkbox"/> 飽和している<br><input type="checkbox"/> 湿らせた時の色<br><input type="checkbox"/> 含有物<br><input type="checkbox"/> 人工材料なし<br><input type="checkbox"/> 人工材料あり<br><input type="checkbox"/> コンクリート<br><input type="checkbox"/> ガラス<br><input type="checkbox"/> 土器石器なし<br><input type="checkbox"/> 土器石器あり | <input type="checkbox"/> 植物の遺体なし<br><input type="checkbox"/> 植物の遺体あり<br><input type="checkbox"/> 腐植している<br><input type="checkbox"/> 炭化している<br><input type="checkbox"/> けい化している<br><input type="checkbox"/> 痕跡のみ<br><input type="checkbox"/> 根葉<br><input type="checkbox"/> 木片<br><input type="checkbox"/> 量<br><input type="checkbox"/> 植物名<br><input type="checkbox"/> ガスの発生なし<br><input type="checkbox"/> ガスの発生あり<br><input type="checkbox"/> 臭気なし<br><input type="checkbox"/> 臭気あり<br><input type="checkbox"/> 臭の臭                                                                                                                            |
| <input type="checkbox"/> 成層（無層理）<br><input type="checkbox"/> 無層理塊状<br><input type="checkbox"/> レンズのはさみ<br><input type="checkbox"/> 薄層のはさみ<br><input type="checkbox"/> 有機質（海綿状）<br><input type="checkbox"/> 成層（層理）<br><input type="checkbox"/> 互層<br><input type="checkbox"/> 葉理<br><input type="checkbox"/> 斜交葉理<br><input type="checkbox"/> 級化層理<br><input type="checkbox"/> 成層を示さない<br><input type="checkbox"/> 乱タイ積<br><input type="checkbox"/> 埋土<br><input type="checkbox"/> 盛土<br><input type="checkbox"/> タイ積模様なし<br><input type="checkbox"/> タイ積模様あり<br><input type="checkbox"/> れんこん<br><input type="checkbox"/> 割れ目なし<br><input type="checkbox"/> 割れ目あり<br><input type="checkbox"/> 断層<br><input type="checkbox"/> 節理<br><input type="checkbox"/> 量<br><input type="checkbox"/> 大きさ<br><input type="checkbox"/> 方向 | <input type="checkbox"/> 整合<br><input type="checkbox"/> 不整合<br><input type="checkbox"/> 不明りょう<br><input type="checkbox"/> 下層部との境界<br><input type="checkbox"/> 地層の色調<br><input type="checkbox"/> 主体をなす色<br><input type="checkbox"/> 模様<br><input type="checkbox"/> 一様<br><input type="checkbox"/> しま<br><input type="checkbox"/> まだら | <input type="checkbox"/> 完全な形あり<br><input type="checkbox"/> 破片<br><input type="checkbox"/> 痕跡のみ<br><input type="checkbox"/> 密集している<br><input type="checkbox"/> 散在している<br><input type="checkbox"/> 大きさ<br><input type="checkbox"/> 動物名                                                                                                                                                                                    | <input type="checkbox"/> 粗粒土<br><input type="checkbox"/> 含有量<br><input type="checkbox"/> ボルダー分<br><input type="checkbox"/> コブル分<br><input type="checkbox"/> レキ分<br><input type="checkbox"/> 砂分<br><input type="checkbox"/> 細粒分<br><input type="checkbox"/> レキの風化程度<br><input type="checkbox"/> 粒子形状<br><input type="checkbox"/> 主成分鉱物<br><input type="checkbox"/> 特徴ある鉱物<br><input type="checkbox"/> 細粒土<br><input type="checkbox"/> ダイレイタンス<br><input type="checkbox"/> タフネス<br><input type="checkbox"/> 乾燥強さ<br><input type="checkbox"/> 含水状態<br><input type="checkbox"/> 地質区分<br><input type="checkbox"/> 地層名<br><input type="checkbox"/> 土質名 |

# 講座

る。そして、区分された各地層について次節以降を参考に  
して、表—6.2の露頭観察記録表に従って記載を行なう。

## 6.2 露頭の観察と記述

前述の手順に従って、露頭の観察および記述方法を述べる。

### 6.2.1 地層の状態

タイ積した場所や過程によって地層はいろいろのタイ積  
形態・タイ積模様・境界の状態がみられる。

自然にタイ積した土は一般に成層状態を示す。しかし、と  
きには成層状態を示さずに乱タイ積をしていることがある。  
また、盛土や埋土の場合は規則的なタイ積をしていない。

成層状態を示す地層は均質な無層理で塊状のもの、層理  
面のある層状のもの、薄層やレンズ層をはさむものなど  
(図—6.1 参照)がある。また、層理のあるものには上位へ  
いくほど粒子が細粒化するもの(級化層理)、2～3ミリ程  
度の層が互層しているもの(葉理)、斜交した葉理のあるも  
の(斜交葉理)など(図—6.2 参照)がある。一つの地層を  
全体的にみて模様があるときは、それがどんな模様を呈し  
ているかを記録する必要がある。

層理面があるときは、クリノメーターを使って地層の走  
向(地層面と水平面との交線の方向)と傾斜(走向に直交  
する地層の傾き)を測定する。測定にあたって注意するこ  
とは、局部的変化にとらわれずに全体的傾向を測ること

ある。また、緩傾斜のときは、クリノメーターでは走向・  
傾斜を正確に測ることが大変困難であるので、層理面上で  
簡易測量を行なってそれを作図か計算で走向・傾斜を求め  
る必要がある。

露頭で割れ目がいっているときは、それが断層である  
か、節理であるか、その他の割れ目であるかを判断し、そ  
の大きさと方向も合わせて記録する。

地下資源の採掘・細粒分の流出・水溶性物質の溶出・動  
植物の遺体などが分解して地中に空洞ができてることが  
ある。そのような空洞がある場合は、その概略の寸法・分  
布状態および空洞に水がいっているか、空けきになって  
いるかを記録する。

地層の中にも鉛直方向に延びている砂管や粘土管が  
ある場合は、その直径・長さ・数量または存在密度などを  
記録する。これはアナジャコやカンなどがせい息した穴の  
なごりで生痕化石と呼ばれている。

### 6.2.2 色 調

露頭で色を観察するときは、まず露頭全体の色を見、次  
に直射日光を避けて個々の地層について優勢な色を見る。  
そして、個々の地層がしま模様を呈しているか、まだらで  
あるかなどの着色状況を記録する。そのとき表面の状態が  
乾いているか、湿っているかも記録し、もし乾いている状  
態であつたら、その表面を水でぬらしてその色も見る。ま  
た、表面が風化しているときは、表面をはぎとって内部の  
色も観察し、色がどのように変化するか調べる。

土の色は、地層の区分・風化の程度・排水の良否などを  
判定するのに役立つ。土の色を命名するときは、次章の採  
取試料の色名や標準土色帳などを参考にするとよい<sup>56)57)</sup>。

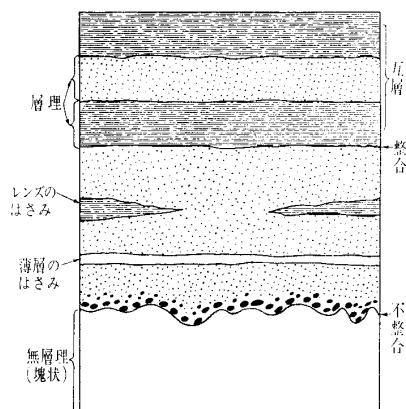
### 6.2.3 含 有 物

地層に含まれる、土粒子および水以外の物質に注意し、  
それを記録する。含有物としては、貝がらや植物の葉など  
の遺体、およびコンクリートやガラス片などの人工材料な  
どがある。

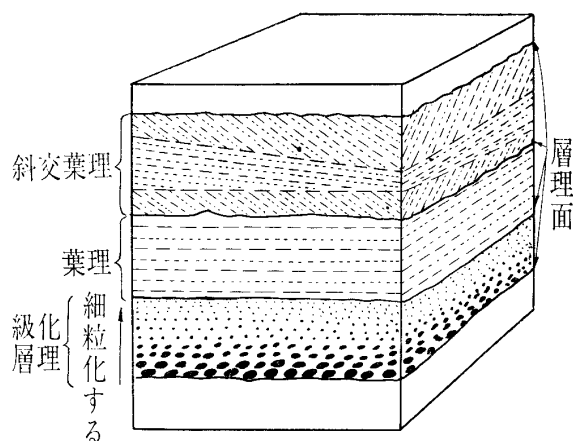
生物の遺体は、地層の区分・対比・タイ積年代・タイ積  
環境などの推定に役立つ。また、なかには学術的に貴重な  
ものがあるので、保存状態の良い化石は注意して採取し、  
適切な処置をとることが望ましい。生物の遺体は動物と植  
物とに分けて記述する。

動物の遺体は、その種類(二枚貝・巻貝・うになど)、産  
出量、密集状況、およびその形が完全であるか、破片であ  
るか、痕跡であるかを記録する。完全な形のものについて  
は、その大きさと動物名(シジミ・カキ・カシパンウニな  
ど)とを記録しておくことよい。

植物の遺体は、そのどの部分(根・葉など)であるか、  
炭化しているか、けい化している(チャートのような石み  
たいになっている)かなどを記述する。さらに、産出状況  
や量を記録し、そのタイ積状態が施工時の圧密過程にどの  
程度影響を及ぼすかどうか判断する必要がある。また、植



図—6.1 地層のタイ積形態



図—6.2 層理の形態

物名（マツ・ブナ・クルミなど）がわかるときは合せて記録することが望ましい。

コンクリート・ガラス・陶磁器などの人工材料は表土や盛土および埋土などに多く含まれている。これらの人工材料があるときは、その種類と量とを記録する。ときには、石器や土器など考古学的に貴重なものもあり、これらを見付けたときはその状態を記録し、適切な処置をとることが望ましい。

土が有機質である場合には、それをもむと海綿状を呈したり、暗黒色であるとともに有機臭をもつことによって無機質土と区別することができる。また、土には種々のガスが含まれており、とくに停滞している湖底や河川底などの土は卵のくさったようなにおいがすることが多い。ガスが発生しているところでは、その発生状況およびそれがどんなにおいであるかを付記しておくといよい。

#### 6.2.4 湧水状況

露頭において、湧水の有無は工学的に重要な意味をもつので、注意して観察し記録する必要がある。また、建設施工時の掘削面などを観察するときは、ウェルポイントなどで水を引いていることが多いので、そのときはその状況も合わせて記録する。

#### 6.2.5 地層の堅さ、締りぐあい

指や鉛筆またはポケットペネトロメーターなどを押し込み、地層の強さを判別し、下記の表現を用いて、細粒土の堅さおよび粗粒土の締りぐあいを記録する。

細粒土はその堅さを、非常に柔らかい・柔らかい・中位・堅い・非常に堅いと表わす。また、粗粒土はその締りぐあいを、非常にゆるい・ゆるい・中位・密・非常に密と表わす。

また、コーン貫入試験やペーン試験の抵抗値および一軸圧縮強さや標準貫入試験による  $N$  値などを求めた場合は、その結果を付記しておくといよい。

### 6.3 土粒子の観察と記述

地層の観察が終わったら、次に個々の地層について試料採取し、土粒子の観察を行なう。土粒子は土質指数に作用する要因として最も重要である。

同一地層内で粒度組成があきらかに異なっていると思えるときは、同じような粒度組成ごとにいくつかに分けて試料を採取するほうがよい。しかし、タイ積学的に詳細な観察を行なうのではないので、葉理層ごとに採取する必要はない。

土粒子の観察は、まず露頭において前章を参考にして土質分類する。粗粒土は粒度組成・粒子形状・主成分および特徴ある副成分・レキの風化程度などについて観察を行なう。細粒土は、粘土やシルト分の粒子を肉眼で観察することが困難であるので、ダイレイタンス・タフネス・乾燥強さ・含水状態について観察する。また、コブル・ボ

ルダーなどは粗粒分に準じて観察を行なうといよい。

さらに、粗粒土は室内に持ち帰って、粒度組成・粒子形状・鉱物組成について綿密に観察することが望ましい。

なお、これから述べる土粒子の観察方法は顕微鏡などを使わずに行なう簡易な方法であるので、より詳細な方法をとる必要があるときは、地質学の専門書を参考にして観察していただきたい<sup>58)59)</sup>。また、観察結果の工学的利用法については、次節を参照されたい。

#### 6.3.1 粒度分布

まず、各地層から採取した試料を土質試験法<sup>60)</sup>に基づいてフルイ分けを行なう。フルイ分けを行なうのは粒度分布を知ることのほか、粒子形状や構成鉱物の観察を行なうためでもあるので、各フルイの残留分をそれぞれポリエチレン袋などに分けて（試料をフルイ別に分けて）保存することを忘れてはならない。

粒度は粗レキ分・中レキ分・細レキ分・粗砂分・細砂分および細粒分の含有量で表わすことはもとより、粒径加積曲線を求めて加積通過率 10% 径 ( $D_{10}$ )・30% 径 ( $D_{30}$ )・50% 径 ( $D_{50}$ )・60% 径 ( $D_{60}$ )・90% 径 ( $D_{90}$ )としても表わす。

また、均等係数 ( $U_c$ ) および曲率係数 ( $U_c'$ ) によって、粒度のよい・わるい、均等粒度、階段粒度という表わしかたもする。分級度またはとうた度は、構成粒子の均一性を表わす値であり、通常標準偏差によって決定されるので、これらの係数と必ずしも対応していない。けれども一般に、分級のよい砂は  $U_c \leq 3$ 、分級のわるい砂は  $U_c \geq 30$  の範囲にあるといえる。なお、 $U_c = D_{60}/D_{10}$ 、 $U_c' = D_{30}^2/D_{10} \cdot D_{60}$  である。

さらに、粒径分布の対称性を表わすものに対称度がある。これを算出する方法<sup>58)</sup>はいろいろあるが、粒径ひん度曲線の型から正規分布曲線との形の違いを表現するのが簡便である。対称度は一般にレキ層と呼ばれているものの工学的性質を知るのに重要な手掛りとなる。これは、粗い方へ偏している、対称に近いという表現のほか、二つの最ひん点をもつ非対称などという表わしかたもする。

そのほか、偏平度という表わしかたもあるが、工学への応用例がほとんどないので省略する。

#### 6.3.2 粒子形状

粒子の形状は、内部摩擦角・粒子のかみ合い効果・最小密度と最大密度などに影響を及ぼしている。また、粒子形状はタイ積物の成因とも密接な関係を持っている。

粒子形状は一般に粒形・円磨度・球形度によって表わすが、工学の分野では、球形度で表わすことはまれである。これらの観察は  $D_{50}$  およびそれ以上（ただし、 $74 \mu$  以上）の粒子について行なえばよい。

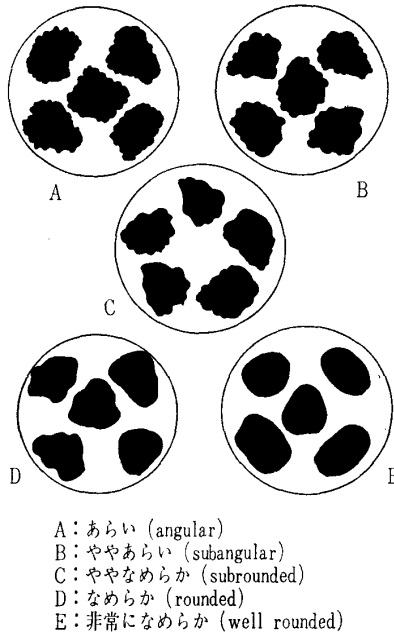
粒形は基本的には立方状・柱状・板状で表わされるが、表—6.3 に示した表現方法を用いるのが便利である<sup>61)</sup>。

円磨度はバーデル (Wadell) によって定義されているが、

## 講座

表—6.3 粒 形 の 分 類

| 区分番号 | $b/a$  | $c/b$  | 形                              |
|------|--------|--------|--------------------------------|
| I    | $>2/3$ | $<2/3$ | 偏円 (oblate), 円盤状 (discoidal)   |
| II   | $>2/3$ | $>2/3$ | 等軸 (equiaxial), 球状 (spherical) |
| III  | $<2/3$ | $<2/3$ | 三軸 (triaxial), 葉状 (bladed)     |
| IV   | $<2/3$ | $>2/3$ | 偏長 (prolate), 柱状 (rod-shaped)  |

 $a$ :長さ,  $b$ :幅,  $c$ :厚さ

図—6.3 円磨度の簡易判別

図—6.3 に示したものを使って表現する簡便な方法が広く用いられている<sup>62) 63)</sup>。

## 6.3.3 鉱物組成

構成鉱物の観察は、まずフルイ分けを行ない  $74\mu$  以上の各フルイの残留分ごとに、表—6.4 に示されている個数の粒子を任意に選出する。次に任意に選出した粒子について、図—6.4 を使って鉱物名を決める。また特徴ある岩石や鉱物名が判別できるときは、地質学で一般に使われている名称で表わし、付記しておくことが望ましい。この判別には岩石や鉱物の標本や原色刷の図鑑を参考にするといよい<sup>64)</sup>。

露頭で観察するときは、図—6.4 を使って最も多い（重量比で）と思われる鉱物名を記し、特徴ある副成分鉱物が判別できるときはその名も記述しておくといよい。

なお、図—6.4 に示した鉱物名は工学的に使いやすいようにしたものであり、地質学でいうような厳密な造岩鉱物名ではないので、詳細な鉱物組成を知る必要があるときは地質学的手法によって観察記述することが望ましい。

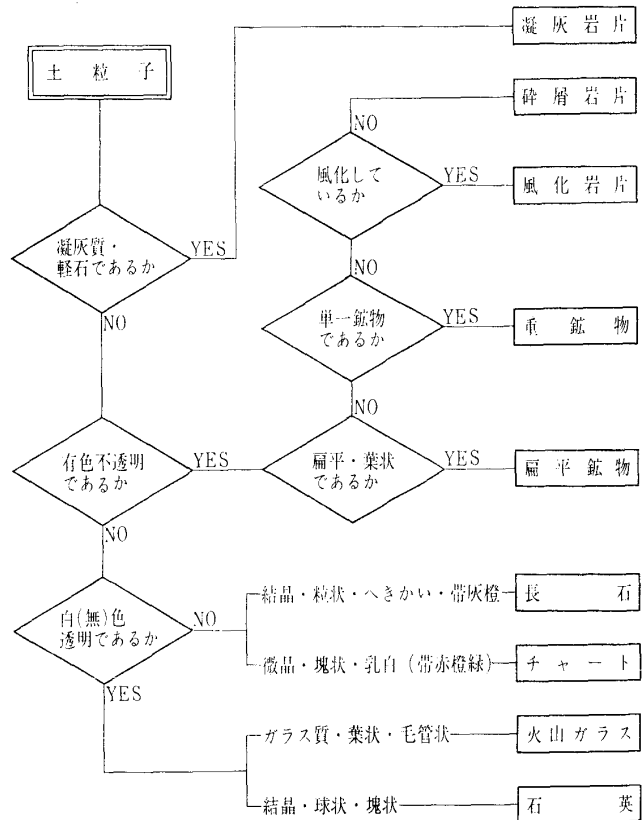
これらの構成鉱物の特徴を下記に簡単に示す。

石 英：白（無）色の透明ないし半透明の結晶でガラス光沢をしている。水晶のような結晶形で含まれることはほとんどなく、球状の不規則な形をしていることが多い。  
 $[G_s \approx 2.7]$

火山ガラス：白（無）色透明のガラス（玻璃）であり、結晶

表—6.4 観察する粒子の個数

| 各フルイの残留物の含有率 ( $i$ ) % | 観察する粒子の個数       |
|------------------------|-----------------|
| 0 ~ 2                  | (2.5 ~ 5) $i$   |
| 2 ~ 10                 | (2 ~ 4) $i$     |
| 10 ~ 30                | (1.5 ~ 3) $i$   |
| 30 ~ 60                | (1.3 ~ 2.5) $i$ |
| 60 ~ 100               | (1.2 ~ 2) $i$   |



図—6.4 構成鉱物の簡易判別

していない。粒形は葉状のものが多く、一般に板状ないし毛管状の不規則な形をしている。火山作用によって生成されたものが多い。 $[G_s \approx 2.7]$

チャート：円盤状ないし球状をしている。乳白色を呈するものが多いが、しばしば赤・だいだい・茶・緑・紫色を帯びる。結晶は微晶質でみえない。化学的・生物的作用によって生成された石英であり、泥質チャート・ひうち石・めのう・たん白石などを含む。 $[G_s \approx 2.6]$

長 石：半透明ないし透明の柱状の結晶で、へき開がある。一般に白色であるが、だいだい・灰色などを帯びることがある。 $[G_s \approx 2.65]$

扁平鉱物：火山ガラス以外の葉状やりん片状の扁平な鉱物をいい、黒雲母がその代表である。また、薄い板状をした変成岩の岩片も工学的性質が似ているので、この中に含める。 $[G_s \approx 2.9]$

重鉱物：不透明ないし半透明の有色鉱物である。通常黒・緑・茶色を呈する。この中に含まれる鉱物の種類は多いが、土粒子全体の 1% 程度であるのが普通である。  
 $[G_s \approx 3.5]$

凝灰岩片：火山灰・軽石などの火山放出物を主体とする碎屑物をいう。岩片には緑泥石などの粘土鉱物がみられ、色は白色のことが多いが、しばしば緑・紫色を帯びる。浮石やスコリアなどはこの中に含めるが、火山ガラスは含めない。〔 $G_s \approx 2.4$ 〕

風化岩片：風化・熱水作用によって岩石が変質し、一部粘土化している岩片で、通常は茶・だいたい色を呈している。また、岩片内に細かい割れ目が見受けられる。〔 $G_s \approx 2.5$ 〕

碎屑岩片：岩石が風化変質していない岩片をいう。上記のいずれの項目にも該当しない岩片である。〔 $G_s \approx 2.7$ 〕

粒子の観察が終わったら、まず (6.1) 式によって各フルイごとに上記の鉱物の重量比を求める。次に、(6.2) 式から構成鉱物ごとに重量比を求めて整理するとよい。

$$W_k = \frac{N_k \cdot G_{s \cdot k}}{\sum N_k \cdot G_{s \cdot k}} \quad \text{.....(6.1)}$$

$$W_m = \sum W_k \cdot I_k \quad \text{.....(6.2)}$$

$N_k$ ：あるフルイにおけるある鉱物の個数

$G_{s \cdot k}$ ：ある鉱物の比重

$W_k$ ：あるフルイにおけるある鉱物の重量比

$I_k$ ：あるフルイにおける土粒子の残留比

$W_m$ ：ある鉱物の重量含有比

## 6.4 地質学的情報の工学的意味

これまで述べてきたことから、多くの地質学的情報が得られるが、それを有効に利用するためには土質工学的事柄と関係づける必要がある。それゆえ、この節では地質学的情報のうち、タイ積環境・構成鉱物・タイ積年代について

工学的な意味合いをつけて述べることにする<sup>65)</sup>。

また、地質学的事柄と土質工学的事柄との相関性については、いまだ定量的検討が十分なされていない。しかしながら、この問題については今後積極的に解明していく必要があると思われるので、この方面での研究・情報の蓄積が望まれている。

### 6.4.1 タイ積環境と粒度組成の工学的意義

タイ積物はタイ積環境によって粒度組成・粒子形状・タイ積構造などが異なってくる。そこで、日本におけるおもなタイ積地域を形態的に分類し、その特徴および粒度組成の関係を下記に述べる。さらに、現成タイ積物の粒度組成を表—6.5に、第四紀タイ積層の粒度組成を表—6.6に示す<sup>66) 67) 68) 69)</sup>。

#### 1) 陸地的環境(斜面タイ積物)

原地盤が地スベリや山崩れによって流動し、他所で再びたい積するような山地崩壊性のタイ積物をいう。ボルダーから粘土まで幅広く分布しており、しかも各粒径間(対数間隔)の含有率がほぼ等しく分布する。均等係数は非常に大きく粒径とうたされていない。このようなタイ積物は、レキなどの粒子が互いに接触しているとは限らず、これらの粒子間にはいつている細粒分の影響を強く受け、しばしば粘性土の挙動を示す。

#### 2) 河流的環境(はんらん原・扇状地・段丘タイ積物)

洪水などによって一時的に水面下に没して沈積するはんらん原や扇状地タイ積物は、岩石質材料・粗粒分を主成分とし、細粒分は少ない。また、これらのタイ積物はレンズ状やシート状にたい積し、ほとんど成層を示さず、ひん度の高い粒径が二つ以上存在し、著しい非対称性を示し階段状に分布することが多い。 $D_{90}$ はボルダーから中レキの範

表—6.5 現 成 タ イ 積 物 の 粒 度 組 成

| 試 料 採 取 地 | タ イ 積 環 境 | 細 砂 分<br>(%) | 粗 砂 分<br>(%) | レ キ 分<br>(%) | 均等係数<br>( $U_c$ ) | 曲率係数<br>( $U_c'$ ) | $D_{90}$<br>(mm) | 採 取 者 |
|-----------|-----------|--------------|--------------|--------------|-------------------|--------------------|------------------|-------|
| 鹿児島県 吹上浜  | 浅海成(砂洲)   | 80.7         | 19.1         | 0.2          | 2.03              | 0.73               | 0.553            | 上 杉   |
| 鹿児島県 吹上浜  | 海浜成(前浜)   | 82.8         | 17.1         | 0            | 1.90              | 0.88               | 0.527            | 上 杉   |
| 静岡県 新居    | 海浜成(前浜)   | 85.9         | 14.1         | 0            | 1.44              | 0.93               | 0.451            | 上 杉   |
| 千葉県 大原    | 海浜成(後浜)   | 89.2         | 10.7         | 0.1          | 1.71              | 0.92               | 0.429            | 上 杉   |
| 千葉県 九十九里  | 風 成(砂丘)   | 98.6         | 0.6          | 0            | 1.53              | 1.05               | 0.270            | 上 杉   |
| 北海道 サロマ湖  | 湖沼成(沿岸)   | 46           | 48           | 0            | 2.75              | 1.37               | 0.76             | 佐 竹   |

表—6.6 第四紀タイ積層の粒度組成

| 試料採取地   | 地 層 名      | タイ積環境 | タイ積年代 | 細 砂 分<br>(%) | 粗 砂 分<br>(%) | レ キ 分<br>(%) | 均等係数<br>( $U_c$ ) | 曲率係数<br>( $U_c'$ ) | $D_{90}$<br>(mm) | 採 取 者 |
|---------|------------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|-------------------|--------------------|------------------|-------|
| 東京都 新橋  | 東京層        | 浅海成   | 更新世   | 88.0         | 11.0         | 0            | 1.68              | 1.10               | 0.430            | 陶 野   |
| 神奈川県 大磯 | 早田層        | 極浅海成  | 更新世   | 93.9         | 5.5          | 0            | 1.48              | 0.97               | 0.338            | 上 杉   |
| 千葉県 大原  | $D_0$ 層    | 風成砂丘  | 更新世   | 99.2         | 0.1          | 0            | 1.40              | 1.03               | 0.274            | 上 杉   |
| 新潟県 瀬波  | $D_{II}$ 層 | 風成砂丘  | 完新世   | 65.1         | 34.9         | 0            | 1.60              | 0.99               | 0.586            | 上 杉   |
| 鳥取県 鳥取  | $D_{II}$ 層 | 風成砂丘  | 完新世   | 96.2         | 3.7          | 0            | 2.03              | 0.92               | 0.365            | 上 杉   |
| 群馬県 上神梅 | 下位段丘       | 河成段丘  | 更新世   | 2.0          | 6.5          | 24.7         | 87.4              | 4.80               | 400              | 町 田   |

表—6.7 更新世における浅海成タイ積物の物理的性質（東京赤坂見附採集，BCP 委員会資料）

| 地層名  | タイ積構造 | 土質名，土質記号                       | 深 度<br>(m) | 均等係数<br>( $U_e$ ) | 2.0 mm<br>通過率 (%) | 0.42 mm<br>通過率 (%) | 74 $\mu$<br>通過率 (%) | 湿潤密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 乾燥密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 間ゲキ比 |
|------|-------|--------------------------------|------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------|------|
| 東京層  | 斜交葉理  | 均等粒度の細砂，<br>(SP <sub>w</sub> ) | 4.45       | 1.98              | 99.9              | 92.9               | 2.6                 | 1.54                         | 1.39                         | 0.95 |
| 東京層  | 無層理   | 均等粒度の細砂，<br>(SP <sub>w</sub> ) | 5.20       | 1.59              | 100               | 99.0               | 1.5                 | 1.52                         | 1.37                         | 0.97 |
| 江戸川層 | 無層理   | シルトまじり細砂，<br>(S-M)             | 12.1       | 1.48              | 96.7              | 90.6               | 6.5                 | 1.68                         | 1.46                         | 0.89 |

圃にあり，粒径とうたはほとんどしていない。

このような所は概して良い地盤であるが，力学的数値がかなりばらつくので，その目的に応じて適切な判断をする必要がある。

表—6.6にあるような過去の河床面である上流域の河岸段丘レキ層はボルダーなどを多く含み，著しく粗い方へ偏した非対称性を示す。このようなタイ積物はボルダーなどの粗い粒子が互いに接触しており，高い支持力を有する安定した地盤となっている。

### 3) 湖沼的環境（湖沼性タイ積物）

大きな湖の沿岸部は分級もよく，後述する河口的・海洋的環境に似ているが，波の影響が少ないことなどによって，これらの環境のタイ積物より細粒分が多くなっている。通常細粒分を5%以上有するので，試料はまるめられる。

小さな湖や沼沢などでは細粒分よりなり，粗粒分は薄いはさみ層として存在することが多い。

### 4) 河口的環境（三角洲タイ積物）

河川によって運搬されてくる流入量と海水によって洗掘される搬出量とが平衡状態にある環境である。三角洲の頂置層はひん度の高い粒径が存在し，粒径とうたしはじめる。 $D_{90}$ は粗レキから粗砂の範囲にほとんどはいる。また，三角洲成の分級のよい細砂層の下に軟弱な海成粘土層が厚くたい積していることがよくある。

### 5) 陸洋的環境（海浜性タイ積物）

潮間帯（前浜）のタイ積物は波浪によって機械的によく分級され，均等係数が3以下になり，粒径とうたしている。一般に $D_{90}$ は粗砂にはいり，細粒分のほとんどないきれいな細砂である。また，0.25～0.5 mmのところにはひん度の高い粒径が存在し，沈降速度による正規分布をすることが多い。

前浜に接した後浜とそれに続く砂丘は，前浜に比べ粒径が若干細かくなっているが，よく似た粒度組成を示し，工学的には同一視できる。〔表—6.5 参照〕

### 6) 海洋的環境（浅海性タイ積物）

水深 20 m 未満の浅海性タイ積物は，粒径とうたして均等係数の非常に小さい細砂であることが多く，0.063～0.25 mm くらいのところにひん度の高い粒径が存在し，ほぼ正規分布をしている。しかし，東京層のような内湾性タイ積物は，波浪や海流の力が外洋より弱いため，細粒分含有量が若干多くなり，やや湖沼的環境に粒度組成が似てくる。

〔表—6.6，表—6.7 参照〕

## 6.4.2 構成鉱物の工学的性質

土の構成鉱物の主成分は粒径によって，碎屑岩片→石英→粘土鉱物へと移行しており，これを模式的に示すと図—6.5 のようになる。

一般に粗粒分は岩石の砕けた碎屑物よりなり，火成岩やタイ積岩などの岩片と石英や長石などの鉱物とによって構成されている。

さきに分類した構成鉱物の工学的特徴を述べると次のようになる。〔図—6.4 参照〕

石 英：硬質で粒子破碎を起こしにくい材料である。風化作用・熱水作用などの化学的作用に対してもきわめて安定であり，粘土化しない。砂分の主成分鉱物となっている。

火山ガラス：われやすい材料である。葉状や毛管状をしているので，これを含むと最小密度はより小さくなり，間ゲキ比は増大する。

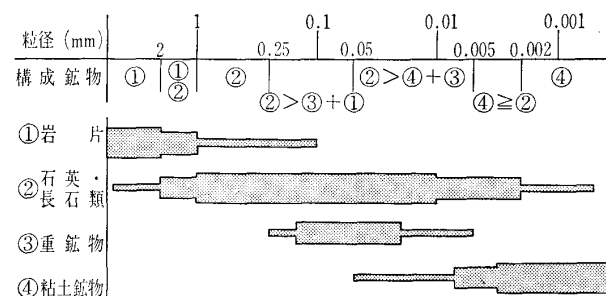
チャート：粒子は化学的作用に安定しているが，気温が0℃以下になるとしばしば破碎する。

長 石：石英に比べてかなり軟質であり，円磨されやすい。化学的作用に対して非常に不安定で粘土化しやすい。砂分における含有量が多いが，粘土化しやすいため，崩壊してからあまり年月のたっていない斜面タイ積物を除いては，主成分鉱物になることはまずない。

扁平鉱物：粒子は円磨されにくく，弾性に富むものが多いが，セン断によって破碎する。含有量は少ないが，土の力学的性質に及ぼす影響が他の構成鉱物と異なる。また，黒雲母は化学的作用に不安定であり，粘土化することがある。

重鉱物：硬質で破碎しにくく，化学的作用にも比較的安定である。含有量は鉱物の種類が多いにもかかわらず，1%程度であり，工学的性質にはあまり影響を及ぼさない。

凝灰岩片：化学的作用に弱く粘土化しやすい。岩片では緑



図—6.5 構成鉱物の粒径分布

泥石などの粘土鉱物がみられ、粘性土の挙動を示すことがある。浮石の粒子は弱く破碎しやすい。また、凝灰岩類は  $0^{\circ}\text{C}$  以下になると間ゲキの水が凍結して構造を破壊させるので、寒冷地でこの材料を使うときは十分注意する必要がある。

風化岩片：化学的作用に非常に不安定であり、しかも岩片内に粘土鉱物が存在し、現在も粘土化が進行していることが多く、スベリの原因になることがある。含有率は粒径が大きくなるほど高くなる傾向にあり、 $2\text{mm}$  以下にはほとんどない。

碎屑岩片：硬質の粒子で破碎しにくく、化学的作用にも安定している。レキ分の主成分鉱物である。

このように、同じ粒度組成を示す砂でも、その鉱物組成が異なると、構成鉱物の性質がそれぞれ違うので、力学的性質も異なってくるのがしばしば見受けられる。とくに、構成物質として、火山ガラス・扁平鉱物・凝灰岩片などがはいってくると、その含有量が多くなればなるほど、図—6.5 に示す系列のものと異なる力学的性質を示すようになるためである。

#### 6.4.3 タイ積層の物理的性質

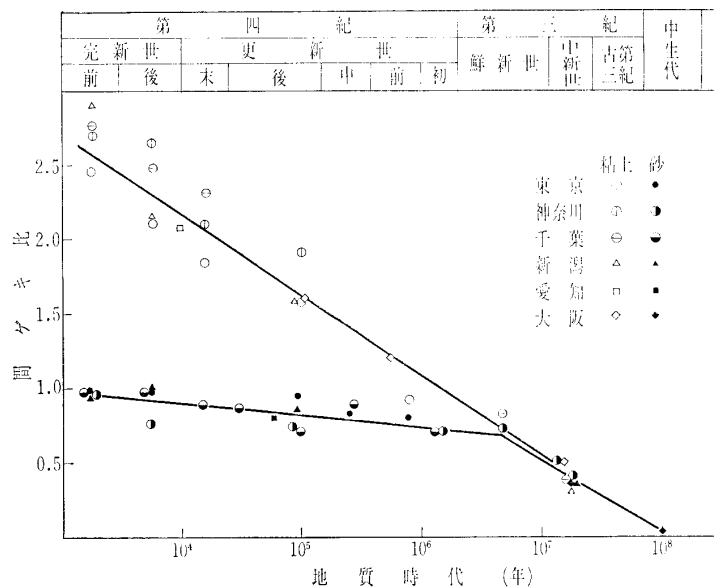
タイ積物は地質学的時間をかけて、上載荷重の増大による圧縮作用と間ゲキ水に溶存している炭酸塩やケイ酸塩によるセメンテーションとによって、しだいに固結し岩石化していく。

図—6.6 は各地質時代によって間ゲキ比がどのように変化するかを示した図である<sup>70)</sup>。この図は粒度組成などに条件をつけて、各地層ごとに集計した値の平均値で作成したものである。砂は砂分が  $80\%$  以上であるもの、粘土は粗粒分が  $5\%$  以下で粘性土に属するものである。また、この図に示した地質年代は、表—6.8 から求めたものである。なお、この表は種々のデータから編集整理して作ったものである。

砂の間ゲキ比は、第四紀においてはほとんど変わらないが、第三紀になると減少している。これは第四紀層が受けた程度の応力では摩擦などによって必ずしも密にならないためである。しかし、日本のような地震国では地嚙によって若干密になる。粘土は間ゲキ比と地質年代との間にはほぼ一定の関係がある。これは、第四紀および第三紀のタイ積層がこれまでに受けた程度の応力では、圧縮して粘土粒子が互いに完全に結合することがないためと思われる。

図—6.7 は前期更新世の上総層群の細砂の乱さない試料による三軸圧縮試験 (CD 試験) 結果である。モールの破壊包絡線を直線にすると、 $c=1.7\text{ kg/cm}^2$  と非常に大きな値となっている。しかし、図のように曲線にすると、低拘束状態では、 $\phi$  が  $50^{\circ}$  にも達し、 $c$  も  $0$  に近づくが有限の値をもっている。

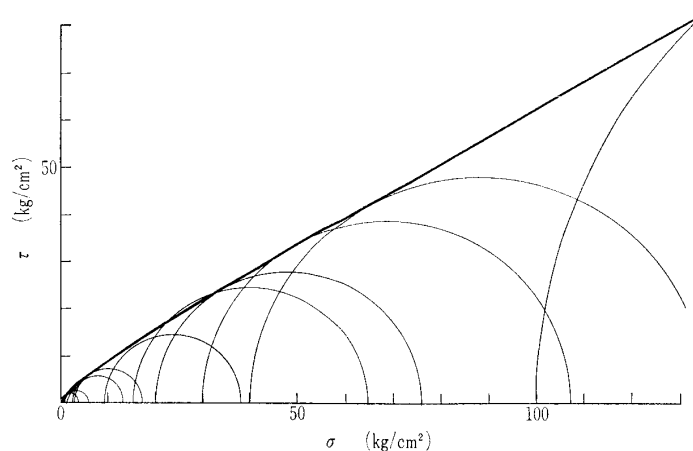
また、拘束圧が高くなると砂粒子が破碎しはじめ、さら



図—6.6 各地質時代における間ゲキ比

表—6.8 第四紀層の対比表

| 地質年代 | 絶対年代<br>( $\times 10^3$ 年) | 大 阪      | 愛 知   | 神 奈 川      | 東 京     | 千 葉       |
|------|----------------------------|----------|-------|------------|---------|-----------|
| 完新世  |                            |          |       |            |         |           |
| 後    |                            |          |       |            |         |           |
| 前    |                            |          |       |            |         |           |
| 末    | 10                         | 難波累層     | 南陽層   | 上部 桜木町層    | 有楽町層 上部 | 船橋砂層 上部   |
|      |                            |          |       |            |         |           |
| 更新世  |                            |          |       |            |         |           |
| 後    | 60                         | 伊丹層      | 第一レキ層 | 下部 立川ローム層  | 七号地層    | 立川ローム層 下部 |
|      |                            |          |       |            |         |           |
| 中    | 150                        | 上町層      | 熱田層   | 下部 下末吉ローム層 | 武蔵野ローム層 | 常総粘土層     |
|      |                            |          |       |            |         |           |
| 前    | 240                        | 浄谷層      | 八事層   | 屏風ヶ浦層      | 江戸川層    | 成田層群      |
|      |                            |          |       |            |         |           |
| 初    | 380                        | 播磨層      | 唐土層   | 長沼層        |         | 成田層群      |
|      |                            |          |       |            |         |           |
|      | 550                        | 大板層群 上部  | 瀬戸層群  | 小柴層        |         | 上総層群      |
|      |                            |          |       |            |         |           |
|      | 1,000                      | 大板層群 下部  | 奄芸層群  | 大船層        |         | 上総層群      |
|      |                            |          |       |            |         |           |
| 鮮新世  | 2,000                      | 大板層群 最下部 | 瀬戸層群  | 野島層        |         | 上総層群      |
|      |                            |          |       |            |         |           |
| 中新世  | 12,000                     | 二上層群     | 一志層群  | 三浦層群       |         | 佐久間層群     |
|      |                            |          |       |            |         |           |
|      |                            | 神戸層群     |       |            |         |           |



図—6.7 飽和した乱さない砂試料の三軸圧縮試験結果

に  $\sigma_3=100\text{ kg/cm}^2$  の三軸圧縮試験後の試料は乾燥させても固結していて容易に互いの粒子をバラバラにすることができなくなっている。表—6.7 に示した江戸川層最上部の

## 講座

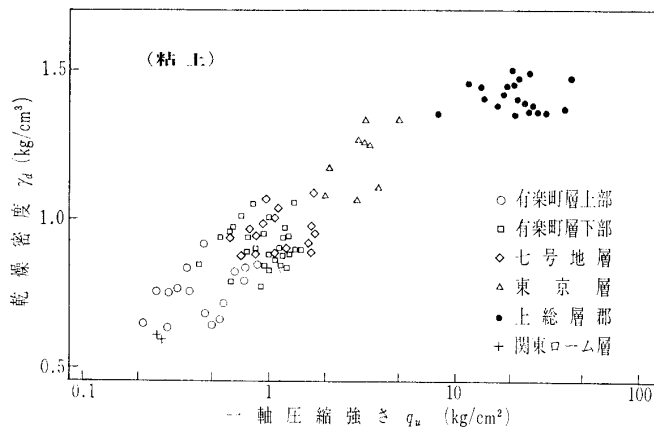


図-6.8 東京における粘土の乾燥密度と一軸圧縮強さ

乱した試料による三軸圧縮試験においても、 $\sigma_3 = 700 \text{ kg/cm}^2$  でセン断すると間ゲキ比は 1.10 から 0.39 に減少し、中新世の砂岩の間ゲキ比に相当している<sup>70)71)</sup>。

東京における粘土の乾燥度 ( $\gamma_d$ ) と一軸圧縮強さ ( $q_u$ ) との関係を図-6.8 に示す<sup>70)</sup>。これによると有楽町層から東京層までは、 $\gamma_d$  と  $\log q_u$  との関係はほぼ直線であるが、上総層群の粘土 (いわゆる土丹) になると固結化が進み密度の増大に比べて強度の増加が大きくなっている。また、関東ロームは更新世にたい積したにもかかわらず、上部有楽町層より乾燥密度が小さいことに注目する必要がある。けれども通常の関東ロームは、この図に示したものよりも、

シルトおよび砂分が多く含まれ、飽和度も低く、乾燥密度はやや大きめの値になり、乱さない試料の一軸圧縮強さも 2 倍以上増大している。

## 参考文献

- 55) 湊 正雄・小池 清：地質調査法，古今書院，1954
- 56) 農林省農林水産技術会議事務局監修：新版標準土色帖
- 57) Munsell Soil Colour Chart, Munsell Colour Co., INC
- 58) 庄司力偉：堆積学，朝倉書店，1971
- 59) 柴田秀賢：偏光顕微鏡，朝倉書店
- 60) 土質工学会：土質試験法，1969 (改訂)
- 61) Zingg, Th. : Beitrag zur Schotteranalyse, Schweiz. Mineralog. Petrog. Mitt. Bd., Vol. 15, 1935
- 62) Wadell, H. : Volume, Shape and Roundness of Rock Particles, J. Geologie, Vol. 40, 1932
- 63) Krumbein, W.C. : Measurement and Geological Significance of Shape and Roundness of Sedimentary Particles, J. Sed. Petrol., Vol. 11, 1941
- 64) 例えば，柴田秀賢・須藤俊男：原色鉱物岩石検索図鑑，北隆館
- 65) 陶野郁雄：土の判別分類に関する地質学的証拠と工学的証拠との相関性，第17回土質工学シンポジウム発表論文集，1972
- 66) 上杉 陽：粒径頻度分布からみた風成砂・海成砂の諸特徴，第四紀研究，11巻2号，1972
- 67) 佐竹俊孝：粒度分布から見た潟湖堆積物の特性，堆積学に関する諸問題，日本地質学会他連合学術大会討論会資料，1967
- 68) 陶野郁雄・吉見吉昭：砂の最小密度，第7回土質工学研究発表会講演集，1972
- 69) 町田 貞：河岸段丘，古今書院，1963
- 70) 陶野郁雄：力学的立場からみた統成作用，地団研専報，17号，1971
- 71) B C P 委員会：砂層に支持されるくいの支持力に関する実験的研究，1969

(原稿受理 1973.3.5)

\*

\*

\*