

# 工学的にみた土の種類

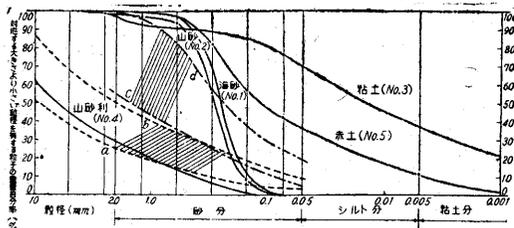
三木 五三郎

## 1. 土の粒度

砂といい粘土というが区別をするに簡明な目安は土粒子の大きさである。常識的に土と呼ぶものでもそれを形成する個々の粒子の大きさは、粒径数 cm の礫から数  $\mu$  のコロイドに及ぶもので、ある土の粒径分布の模様は第1図のような粒度加積曲線で示すと明瞭となる。No. 1, 2 と記した砂(試料 No. 1—千葉市内の

土の種類というとなまず砂と粘土が頭に浮ぶ。だが工学的に砂とは何て粘土とはどんな特徴を持つものだろうか。少し考えだすとわれわれの周囲にもいろいろな土がありそうだが、どこにどんな工合に存在するのか。そしてそれがどんな工学的意味を持つのか。貧弱ではあるが今までに現場で出会って実験室に持込んだ幾つかの土を取上げて、これらの問題を少し考えてみよう。

方をわれわれの通念に一致するように予め一定に決めておけばよい(粒径区分の境の粒径、三角座標上の境界線の位置及び粒度によつて分類した土の名前には種類も多いが、ここにはよく用いられる一例を挙げた)。これによれば試料 No. 1, 2 及び No. 3 をそれぞれ砂、粘土と称する意味がはつきりする。そして粒度の相異に従つて砂がさらさらし、粘土がねばつくという基本的な性質もある程度伴ってくるのである。



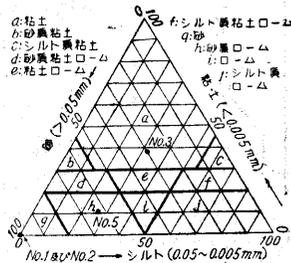
第1図 粒度加積曲線で示した土の種類

海浜の砂、試料 No. 2—千葉市内の関東ローム層の赤土の下にある山砂)と No. 3 と記した粘土(試料 No. 3—千葉県安房郡岩井町合戸の地入り地帯における泥岩の風化した土)との粒度上の相異は明らかであろう。

ところで土粒子には粒径区分によつて名前を与えておくことと便利なので普通 2 mm, 0.05 mm, 0.005 mm を境として礫、砂分、シルト分、粘土分と称するが、砂分の多い土が砂で粘土分の多い土が粘土である。すなわち粒径 2 mm 以下の土について粒度分布による土の種類分けをするには、第2図の三角座標上にプロットしてその位置によつて名前を与えれば簡単で、ただその境界線の

特に砂質土では粒度加積曲線の形がよくその土の工学的な性質を示すので、例えば砂利道の表層用に適した土は第1図の a 線と b 線とにあるべきだというようなことがいわれる。千葉県という所は洪積層台地の外には第三紀の水成岩の山しかないので殆んど硬質の川砂利を産せず、従つて道路用その他の砂利の不足には深刻な悩みを持つが、たまたま鹿野山の麓に第四紀層と第三紀層との境の砂礫層が露出して山砂利と称えられ採取されている。第1図で No. 4 と記した線はこの土の粒度を調べた結果を示すが、図から明らかなように若干粘土分を加えてやれば丁度 ab 線の間に入って道路表層用として適当な土となることはつきりする。ただし産出量が僅少なのは残念である。

千葉県における砂利不足ということと関連して砂利を使わないで砂と粘土だけで道路表層を作るいわゆる砂—粘土道について研究したことがある。アメリカ辺りでは実用されていることも分つているのだがわれわれの所ではうまくゆかなかつた。その原因は雨が多いというような気候的な点、鉄輪荷重を受けるというような交通事情にもよるが、重要なのはやはり千葉県では適当な粒度の砂と粘土を得られない点にあると思われる。すなわち実用上は大量に入手できることが条件なので、砂としては千葉市内の海砂(試料 No. 1)及び山砂(試料 No. 2)、粘土としては同じ千葉市内の赤土(試料 No. 5—関東ローム層の赤土)を用いたわけだが、これらの砂と赤土を如何なる配合で混ぜ合せて見ても図から明らかなように適当な粒度だといわれる第1図の c 線と d 線の間には入つてこないのである。この辺に粒度上から見た明らかな土の種類が存在していることを痛感させられる。

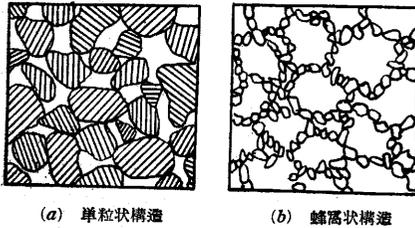


第2図 三角座標に示した土の種類

2. 土の間隙量と含水量

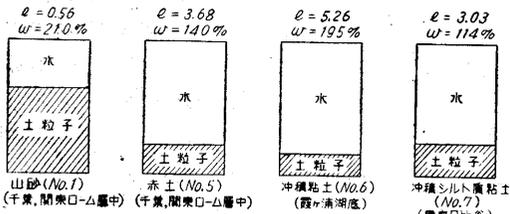
ある一定容積の土をとり出して見ると、この中に一杯に土粒子が詰まっているのではなく、土粒子と土粒子の間には間隙があり、この間隙には水が入っていることもあり入っていないこともある。そこで一般に土の間隙量を表わすには間隙部分の体積  $V_v$  と土粒子の体積  $V_s$  の比で示し、これを間隙比  $e$  と称する ( $e = V_v/V_s$ )。又含水量を表わすには含まれている水の重さ  $W_w$  を土粒子の重さ  $W_s$  の百分率で示して含水比  $w$  と称する ( $w = (W_w/W_s) \times 100\%$ )。

では土によってこの間隙量にどの位の相異があるものだろうか。自然状態の土についてその構造を考えると、一般に砂質の土では第3図 a, 粘土質の土では第3図 b のような積み重りが見られるもので、従つて間隙比



第3図 土の構造

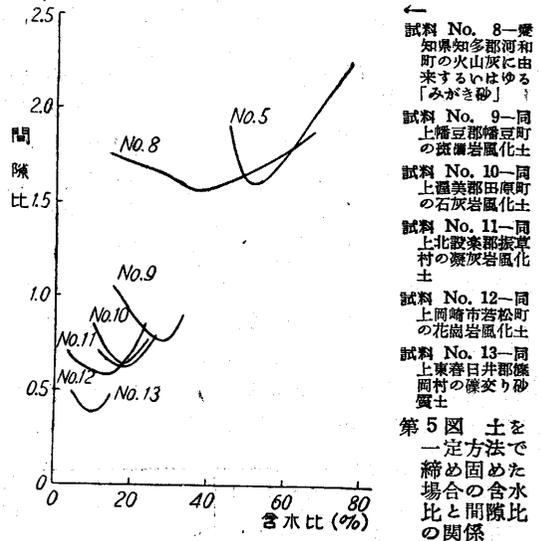
$e$  は砂質土では小, 粘土質土では大となる。实例を挙げるならば関東ローム層中の山砂 (試料 No. 2) では  $e = 0.56$ , 赤土 (試料 No. 5) では意外に大きくて  $e = 3.68$ , 又沖積したシルト質粘土の試料 No. 6 (茨城県新治郡佐賀村地先の霞ヶ浦の湖底に沈積している軟い土) では  $e = 5.26$ , 同じくシルト質粘土の試料 No. 7 (東京日比谷の軟弱な灰色の土) では  $e = 3.03$  といった値が見られる。第4図には土粒子と間隙の容積比を模式的に示した。



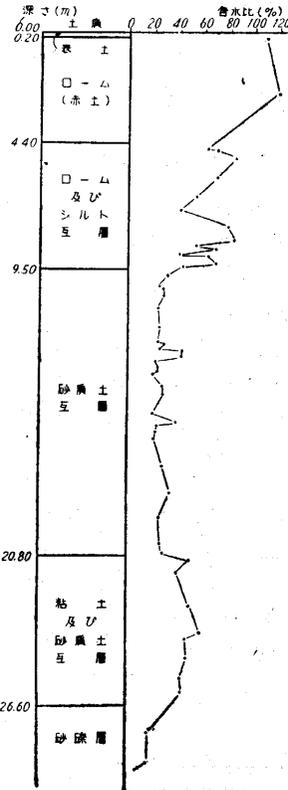
第4図 土の間隙比  $e$  と飽和したときの含水比  $w$

現場から土を採取して来て一定の方法で締め固めて見ると、土の種類によつて得られる間隙比に著しい差のあることが分る。同じ土についても含水比の変化によつてピークポイントが現われるので、第5図には幾つかの例 (No. 5 及び No. 8~No. 13) をとり上げて両者の関係を表わして見た。同じ土については一般に間隙比の小さ

い程安定性が高いと考えられるので、土堰堤のような盛土をしようとする場合に土のこのような締め固めに關する性質が重要となる。第4図及び第5図からよくわかることだが関東ローム層中の赤土が非常に間隙比の大きな、締め固め難い土であることは注目されてよい。



試料 No. 8—愛知県知多郡河和町の火山灰に由来する「みぎき砂」  
 試料 No. 9—同上橋豆郡橋豆町の斑岩風化土  
 試料 No. 10—同上種美郡田原町の石灰岩風化土  
 試料 No. 11—同上北設楽郡坂草村の凝灰岩風化土  
 試料 No. 12—同上岡崎市岩松町の花崗岩風化土  
 試料 No. 13—同上東春日井郡藤岡村の礫交り砂質土  
 第5図 土を一定方法で締め固めた場合の含水比と間隙比の関係

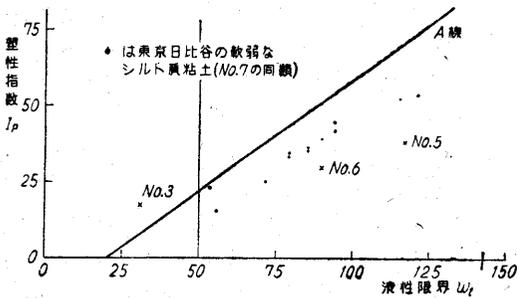


第6図 東京馬込の関東ローム層台地の土質性状図と含水比

現場で土の含水比を知りたければ、ある重さ  $W$  の土を炉乾燥して重さ  $W_s$  を測れば  $w = (W - W_s)/W_s$  として簡単に求められるが、この  $w$  の値は土の種類を簡易に判定する有力な資料となる。第6図には東京馬込の関東ローム層の台地の土質性状図と  $w$  との関係の一例を示すが、数箇の調査結果を通じて赤土層の  $w = 80 \sim 120\%$ , ローム及びシルト互層の  $w = 40 \sim 80\%$ , 砂質土互層の  $w = 20 \sim 40\%$ , 粘土砂質土互層の  $w = 25 \sim 60\%$ , 砂礫層の  $w = 5 \sim 20\%$  と実に明瞭で、力学的な性質もこれに伴つて各層毎に変化していた。現場土質調査の観点から非常に興味深いことである。なお第4図には間隙が水で飽和した場合の含水比の値を示しておいた。

3. 土の稠度

水を一杯に含んで液状をした粘土も、だんだんに乾かしてゆくと塑性を示すバテ状から次第に半固態状へと変化し、ついには全く固化してしまう。このような変化を含水比  $w$  に従つて土の稠度が変わるといふが、一定の方法によつて液状と塑性状との限界の含水比（液性限界  $w_l$ ）、塑性状と半固態状との限界の含水比（塑性限界  $w_p$ ）を測定すると、これは土の種類に応じた値を示す。逆にいえば  $w_l$  と  $w_p$  を測定するとその土の種類を判定するのに便利で、第7図のように  $w_l$  と  $I_p = w_p - w_l$ （塑性



第7図 塑性関係図に示した土の種類

指数という)との関係を示した図を塑性関係図と称し、測定値をプロットして得た位置によつて土の分類が可能である。同図にはわれわれの出会つた数種の土の測定値を記入してあるが、特に興味あるのは同一地点で異なつた深さに沈積していたシルト質土の測定値が、図中のA線にはほぼ平行した所に集まつていることである（東京日比谷附近の軟弱なシルト質粘土についての測定結果）。

一般に細粒土（シルト質ないし粘土質の土）ではたまたま粒度加積曲線が殆んど等しくても、他の力学的な性質が著しく異なることのあることが知られて来たので、その分類には試験方法が簡単なことと相俟つて稠度の占める位置が重要となつて来た。昔は土の分類は粒度一本槍で可能と考えていたのである。

4. 土の強さ

われわれが工学的に土を考える場合、その強さに関心の集まるのは当然である。そして土に関連する問題ではその破壊、すなわち剪断破壊が最も重要で、土の種類と

粘土の状態	圧縮破壊強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	測定例 (kg/cm <sup>2</sup> ):
非常に軟い	0.25 以下	霞ヶ浦湖底の弱いシルト質粘土, No. 6 (0.1 位) 東京日比谷の弱いシルト質粘土, No. 7 (0.4 位) 赤土, No. 5 (0.7 位) 赤土 (東京本郷の例), No. 14 (1.2 位)
軟い	0.25~0.50	
普通の	0.50~1.00	
硬い	1.00~2.00	
非常に硬い	2.00~4.00	
こちこちの	4.00 以上	

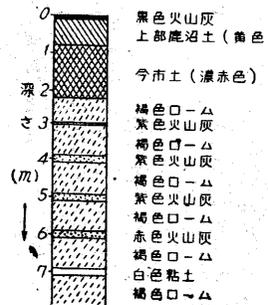
剪断強度の関係が場合々々に応じて研究されている。ここでは強さの程度を知るために、粘土についてその状態と円筒形試料の圧縮破壊強度との関係表の代表的なものを挙げてみよう。右側には参考のためにわれわれの出会つた土の強さも書込んでおいた。

なお現在では自然土層中に起り得る剪断強度は、大体この圧縮破壊強度の半分と考へてよいとされている。

5. 土のある場所と層序

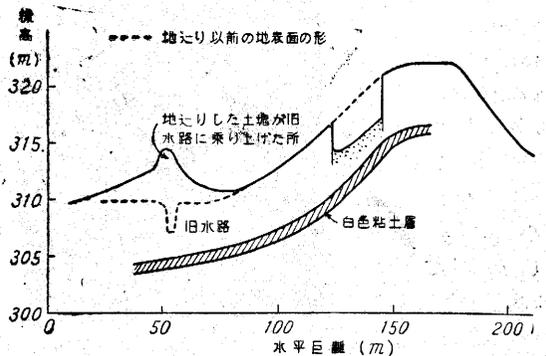
土はよくいわれるように岩石の風化してできたもので植物の住処であるから、どんな山奥にも存在しないということはない。しかし大量にあつて工学的にも重要なものは、わが国ではやはり沖積層と洪積層とにおける移積土についてで、第三紀以上の古い地層の表面の残積土としては余り発達を見ていないようである。ただ第三紀の地帯では地じりの問題があり、又花崗岩地帯の深層風化のある箇所では砂防等に関連する難問題も土の重要な工学的問題であるといえるが今は考へないことにする。

移積土では種々の土が次々に堆積していわゆる層序をなしている。例えば洪積層台地の一典型である関東ローム層の層序の一例は第6図に示したが、同じ関東地方でも堆積した土の供給源（赤城山、男体山等の火山）が近くにある今市附近では第8図のように色彩上からも明確な層序が見られ、この中浮石土（軽石が風化した火山灰土）からなる第二層は含水量の多い特性を生かして鹿沼土の名で園芸用土として利用されて来たものである。ところでこの附近の土をわれわれが工学的見地から取上げたのは、たまたま1949年暮の今市地震によつてこの附近に多くの地じりが発生したためで、例えば



第8図 今市附近洪積層台地の土層断面図

な層序が見られ、この中浮石土（軽石が風化した火山灰土）からなる第二層は含水量の多い特性を生かして鹿沼土の名で園芸用土として利用されて来たものである。ところでこの附近の土をわれわれが工学的見地から取上げたのは、たまたま1949年暮の今市地震によつてこの附近に多くの地じりが発生したためで、例えば



第9図 栃木県今市町東南部菅沢附近の地じり地縦断面図

第9図に示すような地表面の平均傾斜約 $10^\circ$ といった緩傾斜地の滑動は、ここでは地表面下5mの深さに平均厚50cm位で存在した浮石土が全くペンナイト化してできた白粘土層内の迂りに原因することを知つたのである。一般に地迂りはこのような薄粘土層に起因することも相当あり、この場合傾斜地の裾に水路を掘つたことが弱点を与えて地震を契機として迂つたわけで、単に土の種類だけでなく層序の種類にも注意する必要があることを知らねばならぬ。

南九州の鹿児島、宮崎地方に白砂（シラス）台地と呼ばれる火山噴出物に由来する特異な堆積土層が分布している。地表面から数mは今市附近と似たようなローム質火山灰土があり、この下に白砂と呼ばれるシルト質細砂層があるのだが、その厚さは時には200m以上にも及ぶ（第10図はシラス台地断面の一例）。白砂層は若干

黒色表土  
 褐色ボラ層（火山堆積物の一種）  
 黒色ローム質火山灰  
 褐色  
 黒色  
 褐色  
 水成質白砂層



第10図 白砂台地の断面例  
 （宮崎県野々美谷地先）

の粘着力を持つており、平常は垂直近くに切立つたままでも安定しているのが特徴だが、一度その表面を僅かでも水が流れると粒子はばらばらとなつて流し去られ、土粒子の比重が小さいこともあつて（普通の土では2.6~2.8、白砂では2.3前後）猛烈な侵蝕を受けてしまう。第11図は1950年夏の豪雨



第11図 白砂台地に生じた大侵蝕谷上流より下流を望む（鹿児島県末吉町高松谷）

によつて起つた侵蝕谷の状景を示すが、左右連続している平坦な台地の中に、深さ30mにも及ぶこのように大きな谷が数回の豪雨によつてできてしまうと誠に恐しいものである。この地方では地表水を白砂層の上に直接流下させないことと、白砂の断崖の中腹に地下水を浸出させないような対策がとられないと大変な災害を被むるのである。

沖積した軟弱な土層の一つの種類について、その性質を巧工事に利用した例としては東京日比谷の日活国際会館の潜函工事が挙げられよう。地表から深さ17m位迄の間の軟弱な土（大部分が試料No.7のようなシルト質粘土、性質が深さと共に若干変化するの）は第7図にも示した）の中を重い潜函を除々に沈下させてその下に横たわる丈夫な砂礫層の上に安着させたわけである（生産研究3巻6号及び10号参照）。

## 6. 土の分類

上述して来たように土の工学的な種類を考えると、いろいろな観点からすることが可能であり又必要でもある。従つて土を分類するにも多くの方法がある。その上分類結果を利用する時に最も便利なようにとの立場がも一つ加わるから実際には現用されている分類方法だけで数種を数え得るのである。

この中1930年代からアメリカの道路技術者を中心として徐々に改良を加えられて来たPR法、1940年代の初めにやはりアメリカで滑走路工事用として誕生してから現在では土堰堤工事用その他のためにも敷衍されてきているAC法の二種は土の工学的分類としては代表的なものである。今その内容に触れることは専門的にもなり紙面も要するので避けることにするが、たゞわが国でこれらを直ちに利用して果して過不足なく所期の目的を達せられるかどうかは、残念ながらなお若干の調査研究を要する段階だということを書き加えておかねばならない。

## 7. 土性図の作製

分類法が確立されているか否かは別としても、当面の問題として出会つた土の性質、種類は何とか記録して他日の参考にしなければならぬ。又このような仕事は逆に分類法を作り上げる契機にもなる筈である。こんなわけでわれわれの研究室では建設省からの研究補助もあつてここ二、三年来土の分布を示す土性図の作製を行つて来た。1951年度の子葉県、1952年度の愛知県と着々と面白い資料が揃いつつある。既存の資料で埋れているものは大いに利用させて頂きたいし、又われわれの手許の資料でお役に立つものはせいぜい利用させて頂きたいものとする。（1953.3.4）