

# 粒状物質の眞比重の精密測定に就いて

高木 俊介, 網干 壽夫\*

## On the Precise Determination of the True Specific Gravity of the Granular or Pulverulent Materials.

Shunsuke TAKAGI and Hisao ABOSHI

**ABSTRACT:** The accurate true-specific-gravity of the granular or pulverulent materials, such as sand, clay, etc., is seldom obtained by the ordinary pycnometer or Le Chatelier method. This is due to the fact that the air remains adsorbed on the surface of the grains or remains suspended among the grain particles. However, if water is poured into the sample, which is in high vacuum state of about  $10^{-3}$  mmHg, no air will remain in the sample. With this idea in mind the authors have constructed a new apparatus for this purpose and obtained very good results. They can, moreover, make a decided criticism of the usual methods authorized by American and Japanese Industrial Standards in wide use today. (Received October 25, 1951)

### 緒言

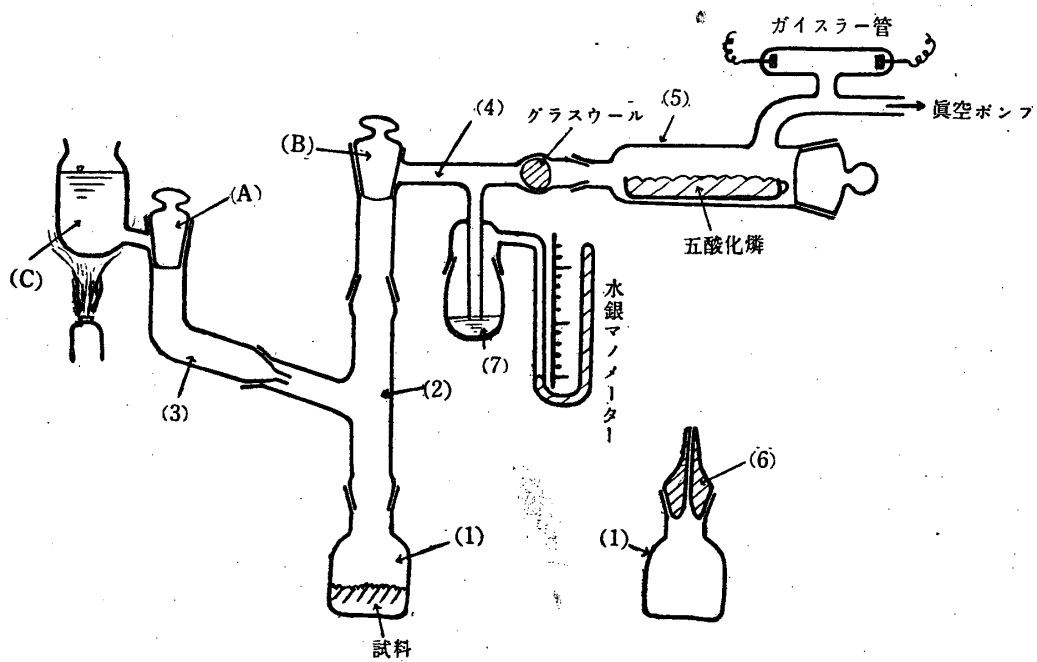
土、砂等の所謂眞比重を測定するためには、ピクノメーター或はル・シャテリエ比重壺を用いて、乾燥した試料に蒸留水を加えた時に排除した水の重量を求め、これから土の容積を求めて、これと乾燥重量とから比重を計算するのが普通である。然し試料の土、砂等の表面に残存する空気には震蕩、煮沸等の操作によつても取除く事が極めて困難な部分があるために、試料の排除した蒸留水の重量から計算した容積は試料の本当の容積よりも大きく出てくる。従つて通常の方法で測定した比重は本当の値より小さく求められるために、或る場合にはその値を用いて計算した空気の残存量が飽和含水状態の近傍では負の値になる様な不合理な事が生ずることもある。筆者等は真真空中で試料に水を加えれば空気は全然残り得ない事に着目して、ピクノメーターにこの様な操作の出来る装置を試作して極めて良好な結果を得たので、ここに報告する。JISの土質試験規格にエヂェクター

で 100 mmHg 程度に気圧を下げる事が望ましい様に記してあるが、その妥当性に関しても明確な批判が得られたと思う。

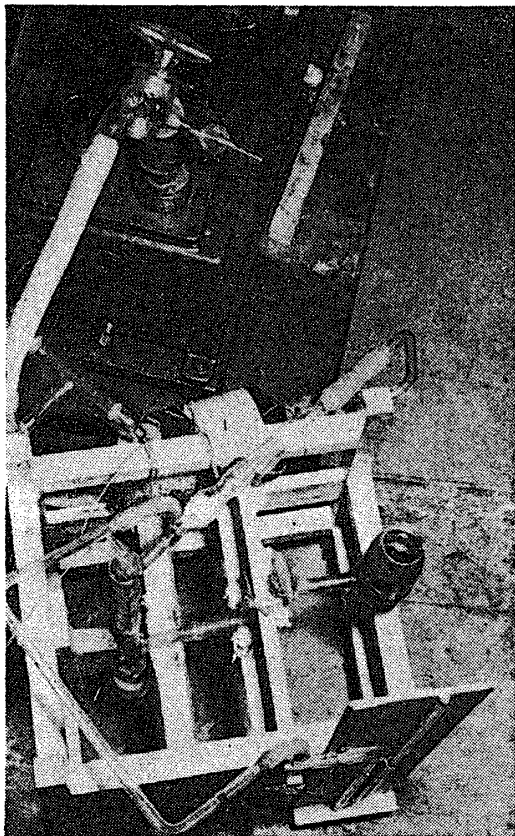
### 装置に就いて

装置の概要は第 1 図の通りで第 2 図はその外観である。装置の清掃等を考えて図の様に数個の部分に分割してある。(1) を取はずして (6) の毛細管附蓋をかぶせるとピクノメーターになる。(1) は試料に水を注入した時濕潤熱を発生して下部がかなり熱くなり、又上部は水の蒸発のために氷点近く迄冷却されるからガラスにひずみが入りやすいので、パイロガラスを用いてある。(C) では蒸留水を加熱するので (2) 及び (3) は硬質ガラスで、他は普通ガラスで造つてある。試料が飛散してポンプに入るのをきらつて途中にガラスウールをつめてあるが、ポンプの引き始めに (B) のコックを注意して操作すれば殆んど飛散することはない。尙水銀マンオメーターに土ほこりが入るのをさけるために (7) のトラップを挿入しておくといふ。

\* 広島大学工学部土木建築工学教室



第 1 図 装 置



第 2 図 使用状況

### 実験方法

(1) の壺の中に炉乾燥して篩別け碎粉した試料を適量入れポンプで引き始める。この際(B)のコックを少しづつ開くようにしないと試料が飛散して具合が悪い。ポンプの排気速度、試料の種類

又は量によつて異なるが、約 30 分乃至 3 時間程度でガイスラー管に空気の色が無くなり  $10^{-3}$  mm Hg 以上の真空となる。この際(1)の外部から軽い打撃をあたえて試料内部から完全に排気する。この程度の真空になればほぼ完全であるから(B)のコックを閉じ、(A)を開いて蒸留水を注入する。この蒸留水は中に含まれた空気等を追出すため、水溜めに入れたまま沸騰点迄熱してそのままに放置して冷しておく。水が(1)の中に適量入れれば(A)を閉じる。もし試料の中に飽和水蒸気の気泡が残っている様であれば(B)を僅かに開けば完全に攪拌されて試料の中の気体はなくなるが、然し高々数 cmHg 程度の飽和水蒸気の気泡であるから 1 気圧の空気が入ってくれば完全につぶれて了うから問題にならぬ。この操作が終ればポンプのリークコックから外気を入れる。かくて(1)は完全に空気を追出したピクノメーターとなる。これを装置から取外して或一定温度に保つた恒温槽中に 30 分以上浸し、(6)の蓋をしてあふれた水をぬぐい去つて秤量する。秤量の方から誤差が入ることを避けるために、精密化学天秤を用いて振動法によつて  $10^{-5}$  g 迄読み、各種の補正を行つて 1/100 mmg 迄採つて計算を行つた。更に  $105^{\circ}\text{C}$  に保つた乾燥炉中に 3 日以上置いて重量一定になつた處で試料の乾燥重量を決定した。今壺の重量を  $w$ 、或る一定温度で蒸留水を満して測つた重さ  $W_1$ 、試料に水を加えて測つ

た重さ  $W_2$ , 乾燥後の測定値  $W_3$  とすると, 試料の真比重はよく知られているように次の式で表わされる,

$$\gamma = \frac{W_3 - w}{(W_1 - w) - (W_2 - W_3)} \times k$$

ここに  $k$  は蒸溜水の温度補正常数であつて, 我々の実験の場合恒温槽を  $35^\circ\text{C}$  に操つたので  $k = 0.99406$  である.

**実験結果**

1. 種々の土に対する測定結果と従来のものとの比較

測定した土は東大構内及東大理工学研究所構内より採集した関東ローム, 三井鉱業神岡鉱山のスライム(鉱滓), 沈降分析によつて得た粘土, 久味浦標準砂等で, いずれも土の不均等性から来る誤差を避け, 純粹に測定誤差のみを出すために, 同一の試料を同じ壘に入れたまま繰返し使用することとし, 数回及至十回程度同じ測定を繰返してその平均値及平均二乗誤差を算出した. 各種の試料に対する測定値は第1表の通りで, それを従来の方法によつて測定した結果と比較すると第2表の様になる. この結果からみると関東ロームの場合, 従来の方法では実に 10% 以上の誤差が存在していたと云う事になるのである. そしてこの方法の優秀性はその測定誤差が極めて小さい事

第1表 測定値

試料	$W_1 - w$ gr	$W_2 - w$ gr	$W_3 - w$ gr	$\gamma$
関東ローム (東大)	41.6996	49.5496	12.1037	2.8285
	41.6996	48.4679	10.4569	2.8181
	41.6996	47.9069	9.6042	2.8106
	41.6996	47.4379	8.8688	2.8162
	41.9970	49.6253	11.7981	8.8126
	41.9970	49.1287	11.0229	2.8159
ム	41.9970	49.0040	10.8235	2.8191
関東ローム (理工研)	42.1775	49.2947	11.0874	2.7761
	41.6996	48.6116	10.7683	2.7758
	41.6996	48.5846	10.7107	2.7830
	41.9970	48.6705	10.3893	2.7794
	41.2424	47.6961	10.0401	2.7829
	41.2424	47.5591	9.8368	2.7779
粘土	42.1775	47.3628	8.2694	2.6654
	42.1775	47.0136	7.7141	2.6644
	41.2424	44.9658	5.9356	2.6672
	41.2424	44.6481	5.4358	2.6617
	41.2424	44.5261	5.2385	2.6639
ム	41.2424	44.4911	5.1823	2.6642
久味浦標準砂	42.1775	57.6061	24.6320	2.6605
	42.1775	57.5408	24.5266	2.6607
	41.2424	54.9880	21.9421	2.6611
	41.2424	54.7519	21.5647	2.6612
スライム	33.9198	45.1373	16.5101	3.1009
	41.9970	50.8651	13.0578	3.0981

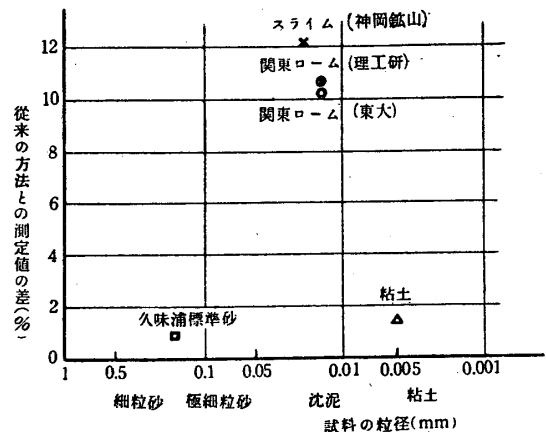
第2表 測定値と従来のものとの比較

試料	本方法に依る 真比重及平均二乗誤差	従来の方法に依る 測定値
関東ローム (東大)	2.8173 ± 0.0022	2.521 ± 0.024
関東ローム (理工研)	2.7792 ± 0.0013	2.456 ±
粘土	2.6645 ± 0.0007	2.633 ± 0.009
久味浦標準砂	2.6609 ± 0.0002	2.640 ±
スライム (三井神岡鉱山)	3.0995 ±	2.719 ±

も明らかである.

2. 土の種類, 粒径と誤差の関係

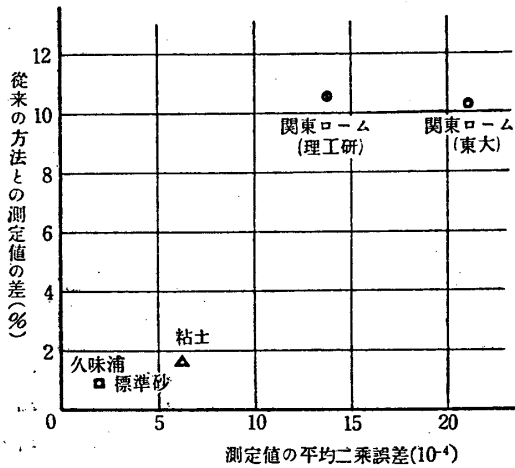
第2表の測定値中その試料の粒径と, 従来のもとの差を図示すれば第3図の通りで, 常識的に考えられる様に粒子が小さい程誤差が大きいと云う関係にはなく, 粘土の様に極く粒子の小さいものでも殆んど差の出ないものもある. これは恐らく粘土の粒子の形にもよるのであらうが, 又沈降分析によつて得られた試料であるために比較的粒子が均一である事等に原因するものとも考えられ



第3図 従来のもとの差と粒径との関係

る。逆に関東ローム等に於ては恐らく土の組織が複雑で粒子の周囲に空気を残し易い性質があるのでこのやうに大きな差を表はすのであろう。この様に誤差の大きさは、粒子の大小よりも土の性質、組織、形状により影響されるものと考えられる。

第4図は本法と通常の方法による測定値の違い



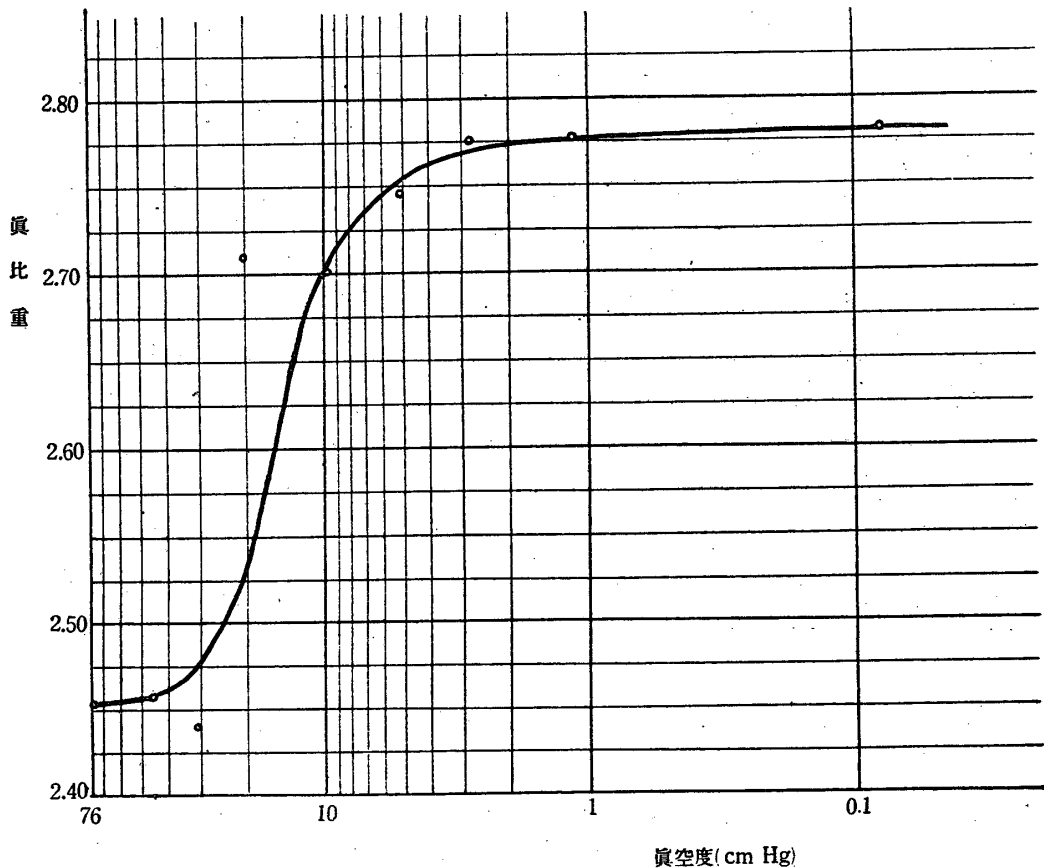
第4図 従来のもとの差と平均二乗誤差の関係

を平均二乗誤差の順に配列したものであるが、差の大きく出るもの程明かに測定値のちらばりが大きく出る傾向がある。即ち従来の方でやつて真

の値との差の大きいもの程空気が残りやすいので、このようなものはこの方法によつても相当の綿密さをもつて測定せねばならぬというわけである。

### 3. 真空度と測定値との関係

水を加える際の真空度が測定値に如何なる影響を及ぼすかと云う事を知るために、真空操作を前述の程度迄行わず、水を加える際の真空度を水銀圧力計で読んで、それとそれの場合の測定値を理工研関東ロームに就いてプロットしたものが第5図である。これによつても明らかな如く、水銀柱30cm程度迄は土粒子に吸着されている気体は殆んど外部に出てこない。そしてその近傍より測定値はかなり良くなり始め、上に求めた測定値の誤差範囲に入るのは1~3cmHgからであることを確かめた。然しその近傍ではまだ測定値のちらばりが可成りあるので、一回の測定でかなり信用し得る値を得るためにはやはり10<sup>-3</sup>mmHg程度の真空に迄持つて行くことが望ましい様である。従つて関東ロームの様な土に就いては、かなり精密な測定を要する場合は数cmHg程度迄、更に土の



第5図 真空度と真比重との関係 (理工研内関東ローム)

比重のちらばりを測定せねばならぬ様な場合には測定誤差を小さくする必要上  $10^{-3}$ mmHg の程度にまで引いておく事が望ましいと思われる。JISの土質試験規格にある如く、水を加えて後エヂエクターで 100 mmHg迄排気するのであれば、関東ロームの如き場合、いくらよくやつても約 5%ほどの誤差が起ることを覚悟せねばならない。又煮沸することが記してあるけれども、煮沸によっては関東ロームの場合 2.65 以上の値は得られていないので、これ又不完全であると思われる。

#### 4. 従来の方法によつて測定する時残留する空気量

従来の方法による関東ローム(東大構内)の測定結果が第三表にあげてある。此の表の値と本法による値との差を残留する空気のみよるものと見なして、従来の方法による測定試料中の残留空気量を土粒子の単位容積当りの量に直して計算してみた。

第3表 従来の方法による測定値(東大関東ローム)

$W_1-w$	$W_2-w$	$W_3-w$	$\gamma$
41.997	49.483	12.357	2.522
51.465	57.745	10.285	2.553
51.465	55.605	6.700	2.601
51.465	56.660	8.520	2.547
51.465	56.620	8.675	2.449
51.465	56.165	7.890	2.458

計算結果は次の通り、

$$\frac{\text{残留空気量}}{\text{試料の正味容積}} \times 100 (\%) = 11.81 \pm 1.09\%$$

但し試料の正味容積はその乾燥重量を正確な真比

重(2.817)で割つて求めたものである。これによれば試料の体積の約 12%の空気が残留していた事になる。この程度の空気は普通の操作では除くことが出来ないわけである。これ等の空気が土の空隙の内では何%を占めているかに就いては他の方法で測定中であるが、関東ロームは良くつまつた状態で間隙比が大體 200%前後であるから空隙量の数%程度の空気は普通の方法では取出せないものと予想されるのである。

#### 結 言

この方法によれば測定値のちらばりが極めて小さいので一回の測定で信用し得る値を出すことが出来る。又計測を精密にやれば比較的少量の試料で精密に測定出来るので、比重の分布と云う様な極く精密を要する様なものも測定出来る。特に関東ロームのやうな土では普通では取除き得ない空気量がかなりの量になるので、この方法によらなければ正確を期し難い。装置は真空装置さえあれば比較的簡単であるので、この使用が望ましい。

この方法によつて水を加えられた試料には空気が全然残っていない爲、粒子の可動性が増すらしく、いろいろ面白い現象が観察される。又普通の方法では取除く事の出来ぬ空気量をも検出し得る程の精密さをもっているので將來土を理論的に取あつかうための一つの手がかりを與えるかとも思える。

最後に此等の実験を御指導戴いた最上所員並に有益な御助言を戴き実験を手伝つて下さつた最上研究室の諸氏に深く感謝する。

(1951年10月25日受理)