

比重計法による粒度分析の簡便化

田中愛造*

大野昌彦*

Simplification of Particle Size Analysis by Hydrometer Method

by

Aizō TANAKA and Masahiko ŌNO

比重計を用いる粒度分析は装置、測定が簡単であるが、データー処理に多くの時間が必要である。短時間で処理できるようにノモグラフ法とDPM (Direct Plot Method) との2方法を考えた。1時間近くもかかっていた計算がノモグラフでは10分程ですむようになった。DPM法はさらに簡単な方法である。

1. ま え が き

微粒子の大きさとその分布状態を知ること(粒度分析)は極めて重要なことなので、多くの測定方法が発表されている。代表的なものとしてアンドレアゼン・ビベット法がある。この方法に似た方法で比重計を使う方法(比重計法)がある。JIS A 1204 に定められ、土木関係では、土の粒度試験法として用いられている。装置が安価で測定も簡便であるが、測定で得た生データーをそのまま用いるわけにいかず、めんどろな計算をしなければならない。そこでこの計算が楽に出来るように、ノモグラフを作成してみた。計算尺を動かす代りにノモグラフ上で定規で直線を引くわけである。今まで1時間近くもかかっていたものが約10分で計算できるようになった。時間がかからないばかりでなく、精神的にも楽になった。

ノモグラフを作成してみてもわかったことであるが、粒径をもとめる場合には時間によってほとんど決まり、他の因子はあまりきいてこないこと、重量百分率をもとめる場合も比重計の読みによって決まることがわかった。そこでいくらかの仮定条件をいれば、比重計の読みと時間の2個だけの値から直接に粒度分布図がとめられる方法を考えて、DPM法(Direct Plot Method)と名づけた。このDPM法はノモグラフ法よりもさらに簡単である。

2. 準備すべき器具類

- (a) 比重計: JIS A 1204 “土の粒度試験法”に規定されている。図1を参照。この場合、比重は1.0123であるが数値変換して12.3と読むことにし記号 r で表わす。比重計の1目盛(実長は1.8mmある)を1.0とし、0.1まで読みとることにする。±0.1の読みとり誤差は当然ある

わけで、 $r=12.3$ は12.2または12.4と読みとることも十分ありうる。なお文献2), 3)では0.1まで読みとらず0.5おきに読みとっている。この読みかたで $r=12.5$ であれば12.0や13.0であることはまずありえない。が約30個のとびとびの値しかとれないので、±0.1の読みとり誤差を覚悟で0.1まで読みとることにした。

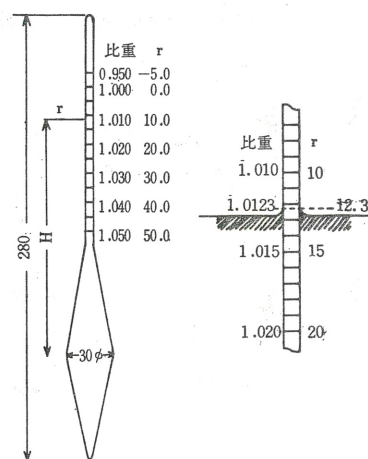


図1 比重計の形状と読み方

- (b) メスシリンダー: 1ℓのもの。この中に懸濁液(乾燥試料30.5gと分散剤としてピロリン酸ナトリウム5%溶液を20mlと、水を加え1000mlにする)を入れ、比重計を浮べて測定する。
- (c) 温度計: 水温をはかるためのもの。最小目盛1℃程度のものでよい。
- (d) 攪拌器: 試料分散のため。文献5)においていろいろな分散方法について検討している。それによれば超音波による分散方法が一番よい。が、一応、われわれは手もちの攪拌器を用いて攪拌時間を長め(約30分)にした。家庭用ジュース

* 製造技術課

ミキサーでもよい。³⁾この場合、3～5分間攪拌する。

- (e) 天秤：試料を採取(30.5g)するため。感度 0.1 g。
- (f) 水槽：水温を一定にするため。水道水を流しておけば温度変化は± 0.2℃以内であるから、温度変化は無視できる。
- (g) 分散剤：ピロリン酸ナトリウム。使用する際は 5%溶液にしておいたものを20ml使う。

3. 測定準備

- (a) 乾燥試料を30.5g用意する。
- (b) ホーロー・ピーカーにこの試料30.5g とピロリン酸ナトリウム 5%溶液を20mlをいれる。水を約 800ml加えて、30分間攪拌する。
- (c) Δr を測定する。それにはメスシリンダーにピロリン酸ナトリウム 5%溶液を20ml入れ、水を加えて1000mlにする。この中に比重計を入れてその値を読みとる。これが Δr である。 Δr の値は-2から+2の間であろう。
- (d) 攪拌しおわったら、ホーローピーカーからメスシリンダーに全部移す。洗浄ピンを使えば完全に移すことができる。

4. 測定操作

- (a) メスシリンダーの口を手のひらでおさえて液がこぼれないようにしながら、上下に回転して、1分間よく攪拌する。
- (b) 静止して(0分後である)比重計を入れる。1分後に読みとる。読みとりにくいので、この1分後の読みとりだけは2～3回くりかえした方がよい。
- (c) 1分後に読んだら、次は5分後に読みとる。普通は、1分後、5分後、10分後、15分後、30分後、60分後、180分後(3時間後)、360分後(6時間後)、1440分後(24時間後)に読みとる。

5. 計算

このように測定して得たデーターより粒子径(記号Kで表わす。このKはアンドレアゼン径である。)と重量百分率(記号Pで表わす。パーセントの頭文字。)をもとめることにする。それには普通下の式を使う^{1),2)}

粒子径(K)については

$$K = 141 \sqrt{\eta} \sqrt{\frac{H}{t}} \sqrt{\frac{1}{(d-1.0)}} \dots \dots \dots (1)$$

この式について以下に説明すると、

◎Kは先に述べた様にアンドレアゼン径である。

◎141は粒子を立方体とみなした場合であり球とみなせば175である。粘土粒子については立方体とみなした方が妥当である。

◎ η (イーター)は水の粘性係数(ポイズ)である。 η は温度によって変化するので温度計で水温をはかりその値を決める。

◎Hは有効深さである。図1参照。 r によって変化し、 $H = a - b r$ (a, b は定数で、比重計によって多少の差があるが、ほぼ同じである。)という一次の関係があるので、比重計の読み(r)からHはもとまる。単位はcmである。

◎ t は測定開始してからの経過時間であり、単位は分である。

◎ d は試料の真比重であり、その測定方法はJISのA 1202(土粒子の比重試験方法)に規定されている。普通の粘土であれば $d = 2.6$ としてよい。

実際に測定してみても d は2.60～2.67の範囲におさまる。

重量百分率(P)については

$$P = \frac{r - (\Delta r - F)}{30.5 (1 - \frac{1}{d})} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

この式について以下に説明すると、

◎ r は比重計の読みである。

◎ Δr はピロリン酸ナトリウム 5%溶液20mlと水980ml(試料は入れない)のときの比重計の読みである。

◎Fは補正係数で、水温による比重計の膨脹・収縮を補正するもの。比重計は15℃の水で1.000の読みを与えるように検定されているので15℃以外の水温の場合補正しなければならない。このFの値はJIS A 1204に記載されている。この報告では r は数値変換されているので、それに合わせてFの値も1000倍しなければならない。その結果を表1に示す。

表1 種々の温度に対する補正係数Fの値

温度(℃)	F	温度(℃)	F	温度(℃)	F
4	- 0.6	13	- 0.2	22	+ 1.2
5	- 0.6	14	- 0.1	23	+ 1.4
6	- 0.6	15	0.0	24	+ 1.6
7	- 0.6	16	+ 0.1	25	+ 1.8
8	- 0.6	17	+ 0.3	26	+ 2.0
9	- 0.5	18	+ 0.4	27	+ 2.3
10	- 0.5	19	+ 0.6	28	+ 2.5
11	- 0.4	20	+ 0.8	29	+ 2.8
12	- 0.3	21	+ 1.0	30	+ 3.1

◎30.5は採取した試料30.5gのこと。真比重2.6の試料30.5gで1000mlの懸濁液を作ると丁度3%の濃度となる。上式の分母は試料を30.5g採取して1000mlの懸濁液にした場合の液の密度である。ただし、数値変換されているので $d=2.60$ の場合の密度は1.0188であるが、18.8となる。

6. 結果の整理

ノモグラフ法とDPM法とがあるが、まずノモグラフ法から始める。今、ある試料を粒度分析したところ表2のような結果が得られた。ノモグラフを使って、この試料の粒度分布図を作成することにする。ノモグラフは粒子径(K)をもとめるためのと(図2参照),

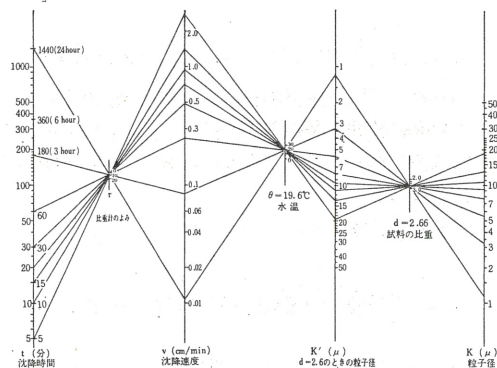


図2 粒子径(K)をもとめるノモグラフ

$$K = 141 \sqrt{\frac{H}{t}} \sqrt{\frac{1}{(d-1.0)}}$$

重量百分率(P)をもとめるためのと(図3参照)2種類ある。Kの求め方は次の様である。5分後は表2より $r=12.3$ であるから、 $t=5$ と $r=12$ (12.3までこまかく読めないで12にする)をむすんで沈降速度 v のものさしで直線をひく。これで H/t の計算をしたわけである。次にこの v と $\theta=19.6$ (20のちょっと下あたり。この θ は表2にもみられるとおりほとんど変化しないので図2のように一定の点になる)とを直線でむすび K' のものさしにぶつかるまで線をひく。これで $d=2.60$ としたときのKをもとめることができる。試料の真比重を測定せず $d=2.6$ と仮定する場合はこれで粒子径はもとまったことになる。表2では d を測定して2.66となっているのでさらに K' と $d=2.66$ とをむすびKのものさしで直線を引く。もとめるKは18.7(μ)である。あと10分後、15分後、・・・も同様に直線を引きKをもとめる。なお、1分後はこのノモグラフには記入していないが、計算の結果43 μ となるのではぶいた。43 μ はふるいの325メッシュに相当する。

重量パーセント(P)をもとめる場合は図3のように、表2から $t=1$, $r=14.2$, $\Delta r=-1.0$, $\theta=$

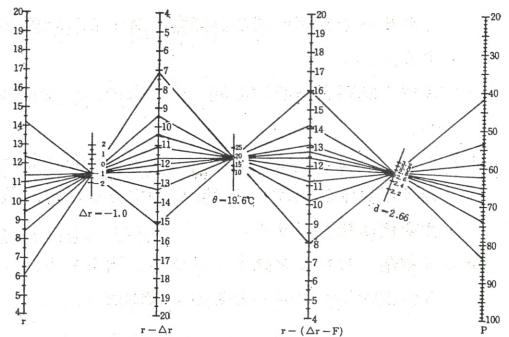


図3 重量百分率(P)をもとめるノモグラフ

$$P = \frac{r - (\Delta r - F)}{30.5 \left(1 - \frac{1}{d}\right)} \times 100$$

19.6, $d=2.66$ であるから、まず $r=14.2$ と $\Delta r=-1.0$ とを直線でむすぶ。 $r-\Delta r$ は15.2となる。この点と $\theta=19.6$ (実は補正係数 $F=0.7$ を加えている)とをむすぶと、 $r-(\Delta r-F)$ は15.9となる。この点と $d=2.66$ とを直線でむすぶと、求める $P=83.5\%$ となる。5分後、10分後、・・・についても同様にしてPをもとめる。

表2 測定データ表

試料名: 横山粘土

測定年月日: 45年6月2日

測定者: 大野

試料の比重: 2.66

$\Delta r: -1.0$

測定時間	沈降時間	目盛りのよみ	水温(℃)
11.01	1	14.2	19.6
5	5	12.3	19.6
10	10	11.3	19.6
15	15	11.0	19.6
20	20	10.7	19.6
30	30	10.1	19.6
12.00	60	9.4	19.6
2.00	180	8.4	19.7
11.00	1440	6.1	19.7

このようにして求めたKとPとを図4のようにプロットして(例えば1分後は $K=43.0\mu$, $P=83.5\%$ である。)粒度分布図を完成する。この図は両対数なので、普通の等間隔目盛でかくと曲線になるが、直線になる。そこでこの粒度分布を数式で表わすことが出来る。ここでこの粒度分布を数式で表わすことが出来る。ただしこの式が成り立つのはKが40 μ から1 μ の間である。この様に両対数グラフにプロットし、直線の切片と傾きから、 $P=aK^b$

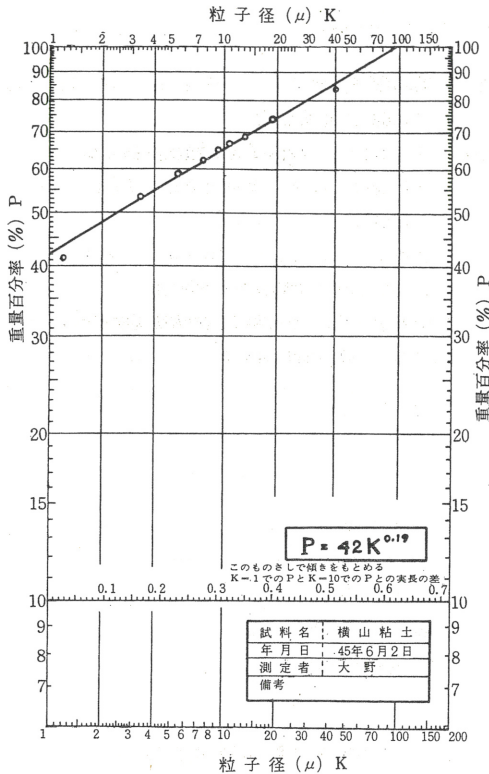


図4 ノモグラフ法による粒度分布

(a, bは定数である。aは直線が $K=1$ とまじわるところのPの値で図4では42である。bは直線の傾きであり、 $K=1$ でのPと $K=10$ でのPの実長の差をコンパスまたは定規で $P=10$ のところのものさしにもってきてもとめる。)というコンパクトな式にまでまとめられるから便利である。両対数グラフにプロットすると大体のものは1本の直線にのるけれど、中にはあきらかに折れ曲っているものもある。鋳込み用の素地にこのような折れ曲り現象がみうけられ、数種の粒度分布の違った原料を混ぜたためと思われる。この様な場合は、無理に1本の直線にのせず、2本の直線で表わすべきである。

次にDPM法(Direct Plot Method)について述べる。図2を見るとKの値を左右するものはtで、あとの r, θ, d などはそんなに影響しないことがわかる。そこでこれらを定数とみなすと(1)式は下の(3)式となってKとtは1対1の対応をすることになる。

$$K = \frac{43.0}{\sqrt{t}} \quad \text{.....(3)}$$

ここで $141\sqrt{\eta} = 14.13$ ($\theta = 20^\circ\text{C}$) $d = 2.60$

$$H = 14.83 \quad (r = 10)$$

とした。

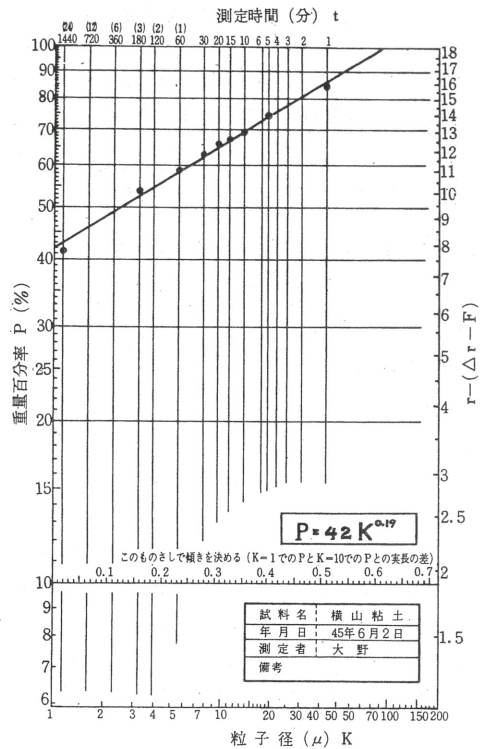


図5 DPM法による粒度分布

そこで図5のように上のヨコ軸をKでなくtで目盛ることができる。一方、重量百分率の方は(2)式において $d = 2.60$ とすると下の(4)式になる。

$$P = 5.32 (r - \Delta r + F) \quad \text{.....(4)}$$

Pと $(r - \Delta r + F)$ は1対1の対応をするので図5のように右のタテ軸に $(r - \Delta r + F)$ を目盛った。

表2のデーターについて、DPM法を説明する。 $\Delta r = -1.0$ でFは表1より 0.7 ($\theta = 19.6^\circ\text{C}$)なので、 $(-\Delta r + F) = 1.0 + 0.7 = 1.7$ となる。1分後のrは14.2なので $(r - \Delta r + F) = 15.9$ となり、上のヨコ軸と右のタテ軸を使って直接にプロットする。5分後のrは12.3なので $(r - \Delta r + F) = 12.3 + 1.7 = 14.0$ となり、同様にプロットする。その結果が図5であり、いろいろな仮定条件を入れてあるにもかかわらず図4のノモグラフ法と大差なくほとんど同じである。このDPM法は試料の真比重を測る必要もなく、計算も $(r - \Delta r + F)$ においてたし算をするだけなのできわめて簡単な方法である。

7. ま と め

比重計法による粒度分析の簡便化として、ノモグラ

フ法とDPM法の2方法を考えた。どちらの方法もデーター処理時間がかからないので、読みとり後、ただちにプロットできる。3時間後には大体の粒度分布がわかるので、現場管理に適した方法である。

付 記

名古屋工業技術試験所第6部の山本主任研究官にご助言を得たことを感謝します。

文 献

- 1) 素木洋一, セラミック外論(1), P.118~119. (1966), 窯業協会.
 - 2) J I S A 1204「土の粒度試験方法」.
 - 3) 三輪茂雄, 粒体工学研究会誌 4〔4〕, 27~37 (1967).
 - 4) 加藤ライジ, だれにも作れるノモグラフ, P.90~101 (1968), 工学図書.
 - 5) 山本隆一ら, 名古屋工業技術試験所報告 16〔3〕, 97~105 (1967).
-