

土の粒度試験における沈降分析の誤差の修正方法

小宮康明*・新城俊也**

Error Correction Method for Hydrometer Analysis in Test Method for Particle Size Distribution of Soils

Yasuaki KOMIYA* and Toshiya SHINJO**

* Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, Nishihara, Okinawa, 903-0213, Japan

** Subtropical biomass research center, Nishihara, Okinawa, 903-0213, Japan

Abstract

In test method for particle size distribution of soils, sieve analysis result and hydrometer analysis result may not be skillfully connected. It is said that in hydrometer analysis, much error arises from many causes, and it brings about the error for the values of percent finer by mass and particle size calculated using Stokes' law. This fact was estimated by the trial, and instrumental error of hydrometer, density error of the water, viscosity coefficient error of the water was clarified. Hydrometer analysis result was corrected using these. It was confirmed that the corrected hydrometer analysis result agrees almost with the sieve analysis result using 45 μ m sieve, 32 μ m sieve and 20 μ m sieve. Then, as convenient method, the method for moving particle size curve by hydrometer analysis parallel in the vertical direction was proposed so that the percent finer by mass of 32 μ m particle size by the hydrometer analysis may agree with the percent finer by mass of 32 μ m particle size by the sieve analysis, and the result was good.

Key words : test method for particle size distribution, hydrometer analysis, error, 32 μ m sieve

1. はじめに

土を構成する土粒子の大きさと混合割合を表す粒度組成は土の透水性や力学性を決定づける重要な要素であり、粒度試験によって求められる。JIS A 1204「土の粒度試験方法」では、粒径が0.075 mm以上の粗粒分に対するふるい分析とそれ以下の細粒分に対する沈降分析を併用して粒径加積曲線を作成する。この沈降分析では、さまざまな原因によって誤差が発生し、粒径加積曲線のふるい分析部分と沈降分析部分がうまく接合しないことがある。この場合、解説書(地盤工学会, 2000)には、「0.075 mm付近で曲線が不連続になることがときどき見られる。これは、両者の粒径の定義が異なることや、沈降分析の初期に懸濁液が安定しないことなどより、多少の誤差が生じてしまうのはやむを得ない。その場合には曲線

をなめらかに近似すればよい。」と記され、両者の接合が悪い場合には再試験する必要があるとしている。しかし、どの程度の接合のずれまで認め、どのように近似するかは示されておらず、試験者の判断に任せられている。

本研究は、JISの沈降分析での誤差の原因と大きさについて検討し、粒径加積曲線の修正方法を提案したものである。なお、JISの粒度試験法は平成12年に改正され、沈降分析では密度浮ひょうが指定されているが、沈降分析に対する考え方や試験方法は改正前と全く同じであり、ここでは従来の比重計法(比重浮ひょうを用いた沈降分析)の結果について検討している。

2. 沈降分析における誤差の原因と大きさ

ふるい分析に用いられる最小ふるい目は75 μ mである。また、沈降分析から得られる最初の粒径は通常の土

* 琉球大学農学部 〒903-0213 沖縄県西原町千原1

** NPO 亜熱帯バイオマス利用研究センター 〒03-0213 沖縄県西原町千原1

キーワード: 粒度試験, 比重計法, 誤差, 32 μ mふるい

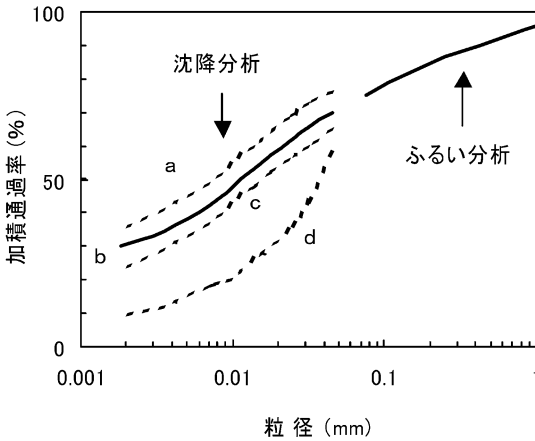


図-1 粒径加積曲線に見られるふるい分析結果と沈降分析結果の関係

Fig. 1 Combination of sieve test result and hydrometer result observed in particle size distribution curve

では40 μ m前後である。このため、粒径加積曲線のふるい分析部分と沈降分析部分の接合は図-1に示すような4つのパターンが想定される。曲線bは、ふるい分け曲線となめらかに接合し沈降分析結果は良好と判断される。曲線dは、ふるい分け曲線と曲率の大きい接合となる。このような接合は細粒分が一次粒子状態まで十分に分散していない場合や縮毛化現象が発生した場合などに現れやすく、再試験が必要である。曲線aと曲線cは、ふるい分け曲線と階段状の接合となる。このような場合は、ふるい分析よりも沈降分析の方に大きな誤差が生じていると考えられる。しかし、明らかに誤差があると判断されるのは、曲線aのように沈降分析部分がふるい分析部分より上方にある場合であり、曲線cや曲線dの場合は見過ごされがちである。

粒径加積曲線の加積通過率と粒径はストークス理論を用いて次式によって算出される。

$$P = \frac{100V}{m_s} \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} \rho_w (r + C_m + F - 1) \quad (1)$$

$$d = \sqrt{\frac{30\eta L}{g_n(\rho_s - \rho_w)t}} \quad (2)$$

ここに、P: 加積通過率、d: 粒径、V: 懸濁液の体積、 m_s : 沈降分析用試料の炉乾燥質量、 ρ_s : 土粒子密度、 ρ_w : 水の密度、r: 浮ひょうの小数部の読み、 C_m : メニスカス補正值、F: 浮ひょうの温度補正值、 η : 水の粘性係数、L: 浮ひょうの球部中心の有効深さ、 g_n : 重力加速度、t: 静置後の経過時間である。

計算には多くの測定値が必要である。 m_s 、V、t、 C_m 、L等は注意深い測定によって誤差を小さくすることができ、Fは測定時の水温Tを正確に測定し、与えられた表から読み取る。

一方、rには浮ひょうの器差と読み取り誤差が含まれる。 η と ρ_w はJISでは蒸留水の値を用いるため、分散剤の使用量が多ければ誤差は大きくなる。 ρ_s はJISでは試料全体の土粒子密度を採用しているため、粒径によって密度が大きく異なれば誤差も大きくなる。このような原因による加積通過率と粒径に含まれる誤差は次式で表される。

$$\Delta P = \frac{V}{m_s} \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} \{(\Delta r + \Delta \rho_w) \rho_w - \Delta \rho_s (r + C_m + F) (\rho_s - \rho_w + \Delta \rho_s)\} \times 100 \quad (3)$$

$$\Delta d = \frac{d}{2} \left(\frac{\Delta \eta}{\eta} + \frac{\Delta \rho_w}{\rho_s - \rho_w - \Delta \rho_w} - \frac{\Delta \rho_s}{\rho_s + \Delta \rho_s - \rho_w} \right) \quad (4)$$

ここに ΔP 、 Δd 、 Δr 、 $\Delta \eta$ 、 $\Delta \rho_w$ 、 $\Delta \rho_s$ は加積通過率誤差、粒径誤差、懸濁液の比重誤差、水の粘性係数誤差、水の密度誤差、土粒子の密度誤差である。それぞれ計算値または測定値と真値P、d、r、 η 、 ρ_w 、 ρ_s との差である。

これらの他にも幾つかの誤差の原因が指摘されているが(地盤工学会, 2000)、上述の誤差に起因する誤差 ΔP と Δd について試算してみる。試算の条件として、V=1,000 ml、T=28 $^{\circ}$ C、 m_s =55 g、 ρ_s =2.7 g/cm 3 とする。

2.1 浮ひょうに起因する誤差

JISの粒度試験に用いられる比重浮ひょうは0.995~1.050の間に0.001ごとの目盛線が付けられ、15 $^{\circ}$ Cで1.00を示すように目盛られている。計量法では、最小目盛が0.001の浮ひょうの検定公差は0.001と定められている(袁輪善蔵, 1969)。また、JISによる浮ひょうの読み取りは0.0005の精度で行うため、最大 \pm 0.0015の比重誤差が発生することになり、これによる加積通過率誤差は式(3)により \pm 4.3%となる。

表-1に試験機メーカー3社から購入した合計6本の比重浮ひょうの諸元を示す(図-2参照)。浮ひょうは式(5)の関係を満足するように目盛られている(袁輪善蔵, 1969)。表中の1.050目盛以下の胴部の体積は水温15 $^{\circ}$ Cの蒸留水に浮かべたときの水没したけい部の長さ及び直径を式(5)に代入し、空気の浮力による影響を無視して求めたものである。

$$M + \frac{\pi D T}{g} \cos \theta = (V + v_2) d \rho_w + v_1 \rho \quad (5)$$

M: 比重浮ひょうの質量 (g)

表-1 比重浮ひょうの諸元
Table 1 Dimension of hydrometer

浮ひょう No	浮ひょう質量 M (g)	けい部直径 D (cm)	(0.995-1.050) L (cm)	水中けい部 l_2 (cm)	胴部の体積 V (cm ³)	15°C 蒸留水 の読み d
56-A	37.584	0.475	11.33	9.82	35.923	1.0021
71-A	36.443	0.475	10.95	9.59	34.822	1.0017
188-B	43.108	0.510	11.00	9.93	41.167	1.0002
889-B	36.553	0.475	10.85	9.65	34.921	1.0011
421-C	35.434	0.455	11.71	10.38	33.822	1.0010
485-C	35.351	0.455	11.82	10.28	33.755	1.0019

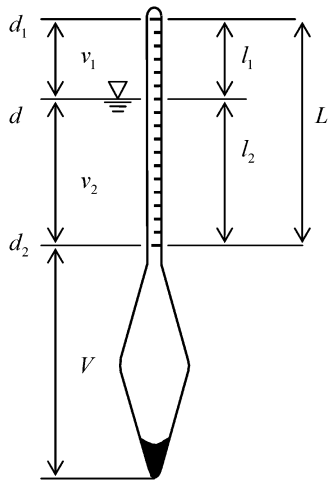


図-2 比重浮ひょう
Fig. 2 hydrometer

- V: d_2 以下の胴部の体積 (cm³)
- v_1 : 空気中にあるけい部の体積 (cm³)
- v_2 : 液体中にあるけい部の体積 (cm³)
- d: 液体の比重
- ρ : 空気の密度 (g/cm³)
- ρ_w : 15°Cの水の密度 (0.9991 g/cm³)
- T: 液体の表面張力 (73 dyne/cm)
- θ : 接触角 (20度)
- D: けい部の直径 (cm)
- g: 重力加速度 (980 cm/sec²)

この表に示すように浮ひょうは一本、一本手作りのため諸元は異なっている。これらの浮ひょうを種々の水温の蒸留水中に浮かべたときの比重と水温の関係が図-3である。比重は、浮ひょうの読みにメニスカス補正量と補正係数 F を加算した値である。ここでは、浮ひょうの読みは目視で 0.0001 まで行っている。ばらつきはある

が、比重は水温の違いにかかわらずほぼ一定値を示し、 F による温度補正に問題がないことを示している。しかしながら、浮ひょうが示す比重は 1.000 より大きく、公差 0.001 を満足するものは 1 本しかなく NO. 56 と NO. 485 の浮ひょうでは公差の 2 倍近い値を示している。したがって、これらの浮ひょうを用いた場合、最大 6% 程度の加積通過率誤差が発生することになる。

図-4 は表-1 の浮ひょうの諸元及び 1.05 目盛から 1.04, 1.03, 1.02, 1.01, 1.00, 0.995 の各目盛までの長さを式(5)に代入して各目盛における比重を算出し、浮ひょう目盛と計算値の差を器差として各浮ひょう目盛に対して示したものである。

器差は一定値を示さず、器差と目盛の関係はほぼ直線関係を示している。これは目盛間隔の付け方に問題はなく、目盛長 L (0.995 から 1.05 の長さ) の誤差と目盛位置 (目盛の上端あるいは下端の位置) に誤差があり、前者は直線の傾きに、後者は直線の切片に大きな影響を及ぼしていることが試算によって確認された。直線の傾きが小さいものは器差を定誤差とみなしても影響は小さいが、大きいものは器差を図に示すように定式化して処理する必要がある。このような器差の現れ方はメーカーによって異なった傾向が見られるため、製造段階において発生していることが推察される。このように浮ひょうごとに器差は異なり加積通過率に与える影響は大きいにもかかわらず、JIS では浮ひょうの器差の検定は明記されていない。市販の浮ひょうにはメニスカス補正と有効深さ L の検定表が付けられているものがあるが、浮ひょうの器差は記されていない。浮ひょうの器差の検定は正式には上端、中、下端付近の 3 箇所を厳密な方法によって行われる (袁輪善蔵, 1969)。しかし、精度はやや劣るが、ここに示した方法でも浮ひょうの検定は可能であり、是非とも実施して沈降分析の修正に役立てるべきである。

2.2 水の密度と動粘性係数に起因する誤差

JIS では分散剤としてヘキサメタリン酸ナトリウムを推奨し、トリポリリン酸ナトリウムやピロリン酸ナトリ

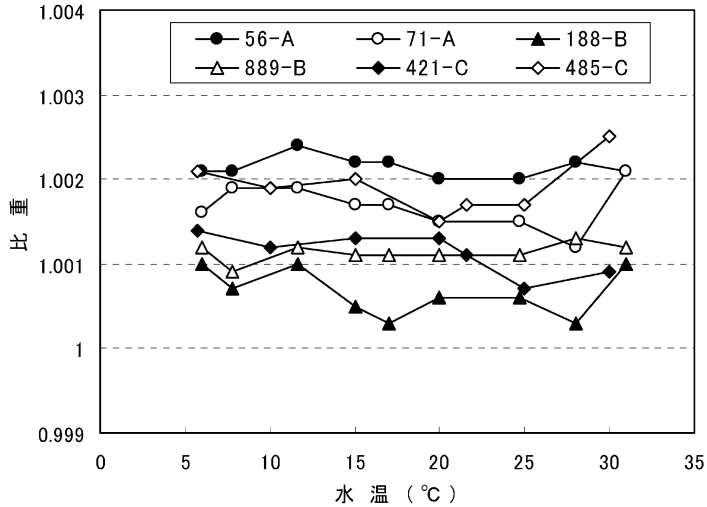


図-3 蒸留水中の補正後の比重浮ひょうの読みと水温の関係

Fig. 3 Relationship between value of hydrometer and water temperature in distilled water

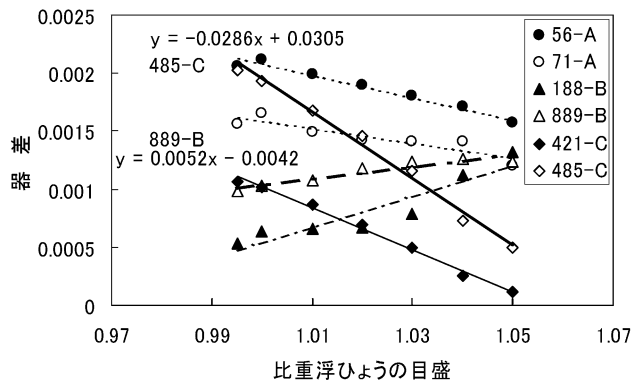


図-4 比重浮ひょうの目盛りと器差の関係

Fig. 4 Relationship between scale and instrumental error of hydrometer

ウムの使用も可としている。これらの分散剤について濃度を変えた水溶液を作り、水の密度と粘性係数を比重浮ひょうとオストワルド粘度計を用いて測定し、それらを分散剤添加量の関係で示したものが図-5と図-6である。これらの図から水の密度と粘性係数はそれぞれ添加量の増加とともにほぼ直線的に増加し、この関係は分散剤の種類の影響をほとんど受けないことが分かる。

JISでは分散剤の使用量は、分散剤の種類にかかわらず飽和溶液 10 ml と規定している。これらの分散剤を 20℃ の蒸留水に完全に溶けなくなるまで加えたときの密度と、溶液 10 ml 中の分散剤の質量を、表-2 に示した。表-2 に示すように 20℃ の飽和溶液 10 ml 中に、

キサメタリン酸ナトリウム 9.1 g, トリポリリン酸ナトリウム 1.8 g, ピロリン酸ナトリウム 0.6 g が溶解している。なお、JISではヘキサメタリン酸ナトリウムの飽和溶液は水温 20℃ の 100 ml の蒸留水に約 20 g を溶かし、結晶の一部が容器の底に残っている状態のものとなっている。しかしながら、表から分かるように、時間が経てば 20 g のヘキサメタリン酸ナトリウムは 100 ml の蒸留水にすべて溶解する。このように作成した溶液に結晶が残っていない場合でも、分散剤の添加量は別の試験法に定めた使用量と同じぐらいになり (土壌物理性測定法委員会, 1976), 後述するように分散剤の添加量は誤差を与えるためヘキサメタリン酸ナトリウムを追加して飽和溶

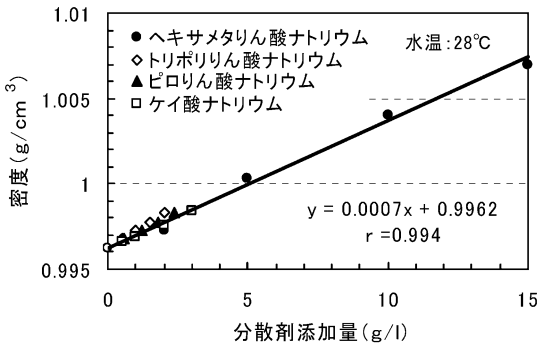


図-5 水の密度と分散剤添加量の関係

Fig. 5 Relationship between density of water and dissolution quantity of dispersing agent

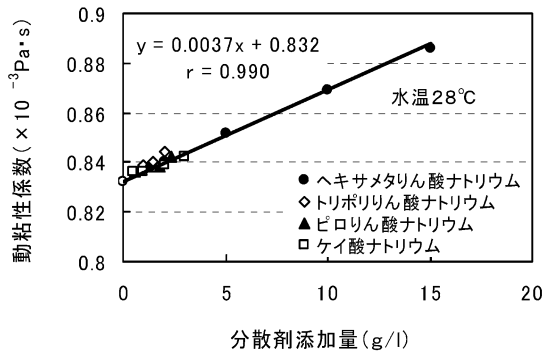


図-6 水の粘性係数と分散剤添加量の関係

Fig. 6 Relationship between viscosity coefficient of water and dissolution quantity of dispersing agent

表-2 分散剤の飽和溶液 (20°C) の性質

Table 2 Properties of saturated aqueous solution of dispersing agent at 20°C

分散剤	分子式	体積 (ml)	質量 (g)	溶質 (g)	溶媒 (g)	密度 (g/cm³)	pH
ヘキサメタリン酸ナトリウム	(NaPO ₃) ₆	10	14.958	9.119	5.839	1.496	4.8
トリポリリン酸ナトリウム	Na ₅ P ₃ O ₁₀	10	11.287	1.772	9.515	1.129	8.5
ピロリン酸ナトリウム	Na ₄ P ₂ O ₇	10	10.450	0.547	9.903	1.045	10.4

液にする必要はない。

JISでは分散剤の飽和溶液 10 ml を添加した場合は測定値の補正は行わず、これより添加量を増量したときにのみ水の密度誤差に対して補正することになっている。JISに定めたヘキサメタリン酸の飽和溶液やトリポリリン酸の飽和溶液 10 ml を使用する場合は分散剤が約 2 g 含まれることになり、図に示した関係式を用いると水の密度と粘性係数はそれぞれ 0.0014 g/cm³ と 0.0074 × 10⁻³ Pa · s だけ増加することになる。これらの誤差による加積通過率と粒径の誤差を式 (3) と (4) に代入すると、水の密度誤差による加積通過率誤差は 4.0% となり比較的大きい。一方、水の密度誤差と粘性係数誤差から生じる粒径誤差 Δd は小さく、その大きさは粒径によって異なるが、粘土とシルトの境界である粒径 5 μm では粒径 5.002 μm となる。したがって、分散剤の添加による誤差は水の密度誤差による影響が大きく粘性係数誤差による影響は小さい。誤差を修正する上では分散剤の飽和溶液を作成するより適当量の分散剤を秤量して水に溶解する方が便利である。

2.3 土粒子密度に起因する誤差

図-7 は、沖縄県地方に分布する粘性土である国頭マー

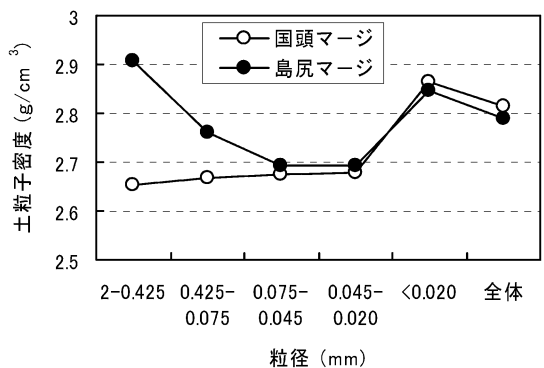


図-7 粒径別の土粒子密度の測定例

Fig. 7 Measuring example of soil particle density of respective grain diameter

ジ (赤黄色土) 試料と島尻マーヅ (暗赤色土) 試料の土粒子密度を粒径別に示したものである。土は種々の鉱物から構成されているので土粒子密度は粒径によって異なり、この例では 0.2 g/cm³ 程度変動している。この値と数段階異なる土粒子密度及び比重計の読みを式 (1) と (3)

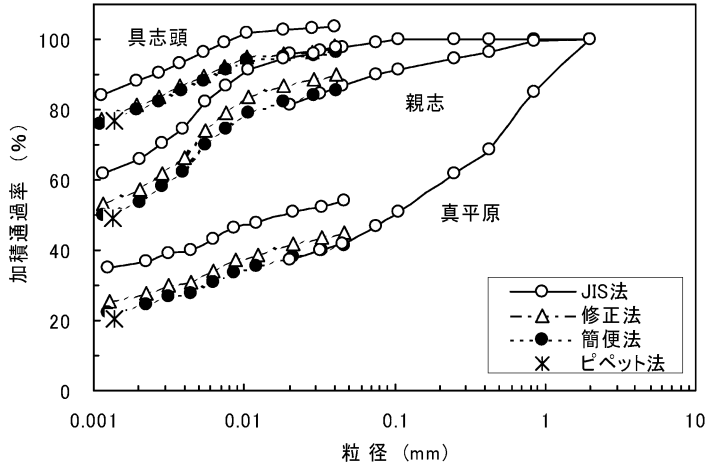


図-8 2通りの修正法による修正後の粒径加積曲線の比較

Fig. 8 Comparison of soil particle size distribution curve modified by 2 error correction methods

に代入して計算を繰り返した結果、加積通過率誤差は粘土含有量が15~80%の範囲では0.5~3.1%となり、粘土分が多く土粒子密度の大きいものほど大きく現れる傾向がみられた。また、 0.2g/cm^3 の土粒子の密度誤差を式(4)に代入すると、粒径誤差 Δd は粒径によって異なり、粒径 $5\mu\text{m}$ では粒径 $4.7\mu\text{m}$ となる。このことから粘土分の多い試料では、加積通過率に及ぼす土粒子の密度誤差の影響は大きい、水の密度誤差の影響に比べると小さいと言える。

3. 粒径加積曲線の修正方法の提案

3.1 沈降分析の方法

粘土分含有量や構成粘土鉱物が異なる9試料(国頭マージ4種、島尻マージ1種、ジャーガル(灰色台地土)4種)の2mmふるい通過分に対して比重計法による沈降分析を実施した。

沈降分析に使用した風乾試料の質量は約52gであり、試料は有機物処理と15分間超音波処理によって十分に分散させた。

沈降分析はJISに準じて行うが、120分後と480分後の比重浮ひょうの読みを追加し、誤差の発生程度を変えるため水温 28°C のもとで2組(A組とB組)に分けて行った。A組ではヘキサメタリン酸ナトリウム2gを使用し、比重浮ひょうNO.485(上端付近の器差0.0019)を用いた。B組ではトリポリりん酸ナトリウム1gを使用し、比重浮ひょうNO.895(上端付近の器差0.0011)を用いた(図-3参照)。いずれにおいても、浮ひょうの器差は定式化して補正した(図-4参照)。

A組ではピペット法(土壌物理性測定法委員会, 1976)による加積通過率を求めるため、比重浮ひょうの最終読みが終了して1時間後(沈降分析開始後1,500分)に容量10mlのホールピペットを用いて18cmの深さから懸濁液10mlを吸引採取し乾燥質量を求めた。これは、比重計法よりも測定誤差が入り込みにくいピペット法の結果と比較し、修正精度を把握するために実施した。

沈降物のふるい分けでは、ふるい分析結果と沈降分析結果の相互関係を明確にするため、JISに規定されている組ふるいに市販のふるい目 $45\mu\text{m}$ 、 $32\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ の各ふるいを追加してふるい分けを行った。

3.2 沈降分析結果に含まれる誤差の検討

図-8は、A組の3試料について3通りの方法で作成した粒径加積曲線をピペット法による結果と併せて例示したものである。

実線で示した粒径加積曲線はJIS法に準拠したものであり、沈降分析部分とふるい分析部分のずれが顕著に見られる。一点鎖線で示した粒径加積曲線は、浮ひょうの器差及び水の密度誤差と粘性係数誤差を用いて修正したものである。土粒子密度誤差に起因する誤差は、 $20\mu\text{m}$ 以下の土粒子密度と全体の土粒子密度の差が小さいので省略している(図-5参照)。このような修正方法(以下、修正法)によって粒径加積曲線の沈降分析部分はふるい分析部分に近づき、ピペット法による加積通過率にも接近している。このことは修正法がJISの粒径加積曲線の修正に有効であることを示している。

試験用ふるいはJIS Z 8801に規定され、ふるい目の精度が確保されている(日本工業標準調査会, 2000)。また

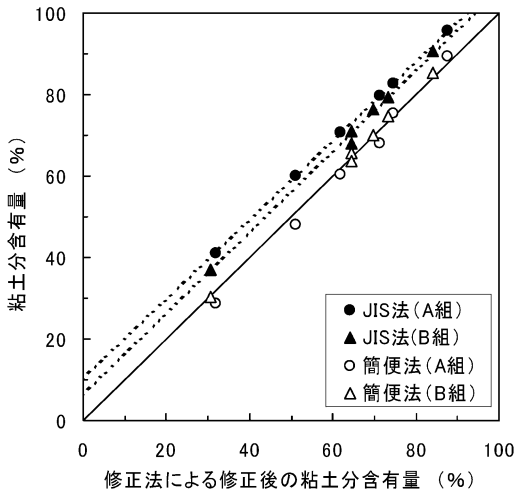


図-9 2通りの修正法による修正後の粘土分含有量の比較

Fig. 9 Comparison of clay fraction content modified by 2 error correction methods

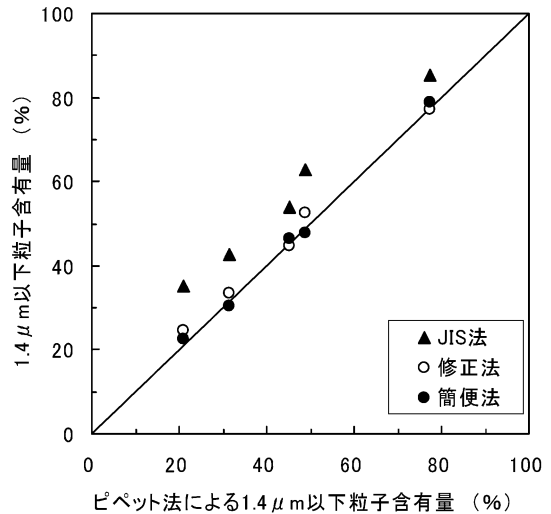


図-10 ピペット法と比重計法による粒径1.4μm以下粒子含有量の比較

Fig. 10 Comparison of content of particle of 1.4μm particle size or less by pipette method and hydrometer method

沈降分析における誤差の検討から、JISの沈降分析では加積通過率誤差に比べ粒径誤差は小さいことが明らかとなった。そこで、ふるい分析における粒径誤差と加積通過率誤差及び沈降分析における粒径誤差を0とみなし、次のような修正を試みた。まず、沈降分析によって得られた粒径32μmの前と後の2個のデータを用いて、直線補間によって粒径32μmの加積通過率を算出し、ふるい分析による粒径32μmの加積通過率との差を求める。この差を定誤差とみなし、沈降分析による各加積通過率データから差し引いた。すなわち、粒径加積曲線の沈降分析部分とふるい分析部分が粒径32μmのところで一致するように沈降分析部分を上下に平行移動させる。基準とする粒径を32μmとしたのは、粒径45μmでは沈降分析開始後まもないため、これまで検討した誤差以外の誤差が含まれやすいこと(地盤工学会, 2000)、また粒径20μmでは20μmふるいが高価であり、ふるい分けも丁寧に時間をかけて行う必要があるためである。このような方法(以下、簡便法)によって修正した粒径加積曲線を図-8に破線で示した。修正後の沈降分析部分はふるい分析部分と比較的なめらかに接合し、修正法によって修正した粒径加積曲線に近似している。

図-9は、修正法による修正後の粘土分含有量を修正前(JIS法)及び簡便法による修正後の粘土分含有量と比較したものである。試料の種類や粘土分含有量の違いにかかわらず、平均してA組では10.2%、B組では5.9%の粘土分含有量が過大に評価されている。これは誤差の試

算結果に近い値である。また、簡便法による修正後の粘土分含有量は修正法による修正後とほぼ等しい値となっている。これより、簡便法によっても粒径加積曲線の修正が可能であることが分かる。

図-10は比重計法とピペット法によって得られた1.4μm以下粒子含有量を比較したものである。JIS法がピペット法に比べ8.1~14.1%大きい含有量を示しているが、修正法による修正後とピペット法の差は-0.5~3.6%に縮まっている。また、簡便法による修正でも-1.1~1.7%に差が縮まっている。ピペット法では、ヘキサメタリン酸を用いた場合は粘土分含有量を小さめに評価する傾向があるため(土壤標準分析・測定法委員会, 1986)、いずれの修正方法でも加積通過率誤差を±3%以下まで小さくできると考えられる。

3.3 粒径加積曲線の修正

JISの粒度試験では、図-1に示したように粒径加積曲線のふるい分析部分と沈降分析部分が重なり合わないため、沈降分析結果の良否を判定するのは難しい。現行では綿毛化現象がみられるときや75μmふるいで水洗いするときに指で残留物をほぐして濁水になるとき、試料の分散が不十分であったと判定できるぐらいである。しかしながら、32μmふるいによるふるい分けを追加することによって両分析結果が重なり合い、分散の問題以外の原因による誤差が明らかになる。したがって、32μmふるいによるふるい分けを実行し、分散上の問題がな

く、両分析の $32\mu\text{m}$ 加積通過率の差が $\pm 3\%$ 未満であれば、ふるい分析と沈降分析の重複部分がなめらかになるように近似する。その差が $\pm 3\%$ 以上あるときは、修正法が簡便法のいずれかによって沈降分析結果を修正した後、重複部分をなめらかに近似する。修正においては、浮ひょうの器差や水の密度誤差と粘性係数誤差を求める必要のない簡便法が便利である。ただし、簡便法ではふるい分けによる粒径 $32\mu\text{m}$ の加積通過率が修正の良否を決定づけるため、沈降物の水洗い中に残留物がふるいから流失しないように慎重に行う必要がある。

4. ま と め

JISの粒度試験における沈降分析の誤差と修正方法について検討した。得られた結果は次のようである。

1) JIS A 1204の沈降分析では浮ひょうの器差、分散剤の添加による水の密度誤差と粘性係数誤差、土粒子の密度誤差などから測定誤差が発生する。浮ひょうの器差と水の密度誤差に起因する誤差は大きく、粘性係数誤差に起因する誤差は小さい。また、粒径誤差よりも加積通過率誤差の方が大きい。

2) 浮ひょうの器差及び水の密度誤差と粘性係数誤差

によって加積通過率を修正すればピペット法と同程度まで誤差を小さくすることができる。

3) 沈降分析に含まれる誤差を明らかにし、簡便に修正する方法として、市販の $32\mu\text{m}$ ふるいを追加してふるい分析を行い、両分析による加積通過率の差を沈降分析の定誤差とみなし、沈降分析の加積通過率から差し引く方法は有用である。

参 考 文 献

- 土壌物理性測定法委員会(1976):土壌物理性測定法, 養賢堂, pp. 65-71.
- 地盤工学会「土質試験の方法と解説」改訂編集委員会(2000):土質試験の方法と解説, 地盤工学会, pp. 69-87.
- 藁輪善蔵(1969):密度および濃度一改訂版一, コロナ社, pp. 118-123.
- 土壌標準分析・測定法委員会(1986):土壌標準分析・測定法, 博友社, p. 21.
- 日本工業標準調査会(2000):試験用ふるい—第1部:金属製網ふるい, 日本規格協会, pp. 1-11.

要 旨

粒度試験(JIS A 1204)では、ふるい分析結果と沈降分析結果がうまく接続しないことがある。これは浮ひょうを用いる沈降分析ではさまざまな原因から誤差が発生し、加積通過率や粒径の計算に誤差が含まれるためと言われている。このことを試算によって明らかにした。また、浮ひょうの器差、水の密度誤差、水の粘性係数誤差を明らかにし、これらによって補正した沈降分析結果は追加した $45\mu\text{m}$ ふるい、 $32\mu\text{m}$ ふるい、 $20\mu\text{m}$ ふるいによるふるい分析結果とおおよそ一致することを確認した。簡便な修正方法として、 $32\mu\text{m}$ ふるいによるふるい分析を追加し、粒径 $32\mu\text{m}$ におけるふるい分析と沈降分析の加積通過率の差を沈降分析に含まれる定誤差とみなし、この誤差を沈降分析の加積通過率から差し引く方法は有用である。

受稿年月日: 2006年9月29日

受理年月日: 2008年5月18日