

投稿論文 (和文報告)

**TECHNICAL
REPORT**

X線による自動粒度分析装置の土試料への適用性

亀井健史*・山本芳裕**・日下部治***

土の粒度試験の自動化を推進するため、種々の粒度組成を有する土試料を用いてX線透過法による粒度分析を行った。また、得られた分析結果の信頼性を検討するため、同一試料を用い、レーザ回折法およびJIS法による粒度分析を実施した。その結果、X線透過法によって得られた分析結果は他の分析結果と比較して、迅速性・再現性に富み全自動システム化さらには細粒分の定量的評価がある程度可能であり、工学的に優れた分析手法であると判断された。

Key Words : clay, grain size, laboratory test, silt, test equipment

1. はじめに

土の粒度試験は、粒度分布を求める物理試験の一つであり、その結果は粒径と通過質量百分率との関係を示す粒径加積曲線として表される。得られた結果は、土の判別・分類および土の工学的諸特性との関係、例えば、土の締固めの難易度と均等係数 U_e 、砂質土の透水性と有効径 D_{10} 、液状化強度の細粒分に関する補正と平均粒径 D_{50} 、および一軸圧縮強さ q_u の補正と粘土含有量等、地盤の工学的な判断基準として種々利用されている。

上記において、細粒分含有量を定量的に把握することは、工学的観点から特に重要である。すなわち、液状化強度の補正に関しては、細粒分の分析精度が悪く粗粒側の結果が得られた場合は、液状化強度を過小評価するため不経済な設計につながり、粒度分析結果を用いた q_u 値の補正に関しては、粘土含有量を過小に見積もれば、それによって補正した q_u 値が過大となり工学的に危険側の評価を与えることになる¹⁾。

土の粒度試験を実施する場合、日本工業規格 (Japanese Industrial Standard "JIS") では、粗粒土に対しては“ふるい分析”を細粒土に対しては“沈降分析”を用いる方法が定められている。沈降分析では、比重浮ひようにより Stokes の法則を用い粒度分布を求めている。しかしながら、比重浮ひようによる4時間測定に続く2日目の24時間測定など試験に長時間を要すること、比重浮ひようが測定系 (懸濁液) を攪乱すること、試験結果の信頼性が、メスシリンダー振とう時の液漏れ等の試験者の技術に依存すること、試料に対する分散剤の適否等、種々の問題点が指摘されている^{2),3)}。

一般実務の土質試験では、物理試験全体に占める粒度試験の割合は35%程度を占めており、粒度試験は、実務においては最も重要な物理試験の一つとなっている。さらに、最近の人手不足感や試験技術の優劣による人為的誤差等の問題に対処する必要性から、物理試験においても、力学試験にみられるような自動化の推進が急務であると考えられ、土の細粒分を定量的に評価可能で高精度な粒度分析法が望まれている。

粉体工学等の他の分野においては、粒度分析に関する計測システムとして、光透過法、X線透過法およびレーザ回折法等が既に実用化されている。これらの手法は、かなり小さな粒子に適用されており、実際の土に対する適用性に関して検討した例は少ない。

嘉門・青木⁴⁾は、光透過法により土の粒度分析を行い、その有用性を検討している。その結果、彼らは光透過法と遠心法との併用で測定時間が大幅に短縮でき、幅広い粒径の測定が可能であるとしていたが、海成粘土に対して得られた分析結果はJIS法による結果と比べ、粘土含有量を過小評価すると報告している。

宮本⁵⁾は、レーザ回折法とピベット法 (JIS法と同一の沈降法の一種) を泥岩に適用し、得られた粒度分析結果を比較検討している。その結果、ピベット法に比べレーザ回折法は、粘土含有量をかなり過小評価する場合があるため、その際はJIS法の利用を推奨している。

一方、椿⁶⁾は粉体工学等の分野において、現在主に用いられている8種類の異なる測定手法の原理や特徴について取りまとめ、その測定手法の問題点や得られるデータの信頼性を検討するために、窒化ケイ素、関東ロームおよびアルミナ等に対する分析結果を比較検討している。その結果、X線透過法が最も工学的に優れた手法であることを示唆している。しかしながら、X線透過法の種々の土試料に対する分析結果の適用事例は見当たらない。

* 正会員 工博 基礎地盤コンサルタンツ(株) 地盤物性研究室長

(〒145 大田区石川町 2-14-1)

** 正会員 工修 基礎地盤コンサルタンツ(株) 福岡支社

*** 正会員 Ph. D. 広島大学教授 工学部第四類(建設系)

Table 1 Example of frequency in grain-size of particles⁷⁾.

区分 [μm]	代表径 [μm]	個数	[%]	
			ひん度	積算
0~1	0.5	10	0.97	0.97
1~2	1.5	41	3.97	4.94
2~3	2.5	101	9.78	14.72
3~4	3.5	135	13.07	27.79
4~5	4.5	139	13.46	41.25
5~6	5.5	127	12.29	53.54
6~7	6.5	108	10.45	63.99
7~8	7.5	90	8.71	72.70
8~9	8.5	71	6.87	79.57
9~10	9.5	58	5.61	85.18
10~11	10.5	44	4.26	89.44
11~12	11.5	33	3.29	92.73
12~13	12.5	26	2.52	95.25
13~14	13.5	18	1.74	96.99
14~15	14.5	12	1.16	98.15
15~16	15.5	8	0.77	98.92
16~17	16.5	5	0.48	99.40
17~18	17.5	3	0.29	99.69
18~19	18.5	2	0.19	99.88
19~20	19.5	1	0.10	99.98
合計		1033	99.98	

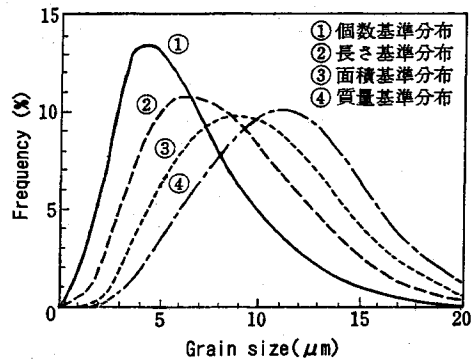


Fig.1 Influence of standard factors in grain-size of particles⁷⁾.

Table 2 Comparison of JIS, X-ray and Laser method in the present study.

測定法	表示基準	原理	測定量	測定範囲 (μm)	影響因子	特長	課題
比重浮ひょう法 (JIS法)	質量基準分布	Stokes則	浮ひょう沈降量	1~75	粒子密度	現行JIS規格	自動化 人為的誤差の解消 分散剤の選定 懸濁液攪乱の影響 微粒子領域の測定
X線透過法 [SediGraph5100]		Stokes則 Lambert-Beer則	透過X線量	0.1~300	-	全自動システム 迅速性(約5分)・再現性良好 試料少量(数g) 微粒子検出可能 吸光係数の補正不要 資格不要(要:設置届出のみ)	比較的高価
レーザ回折法 [SALD-2000]		光の回折散乱 Fraunhofer回折 Mie散乱	回折散乱パターン	0.03~280	粒子密度 粒子屈折率	迅速性・再現性・操作性良好 粒子密度の測定不要	粒子屈折率の取扱 機差の解消

上記の点に着目して、本研究では、土の粒度試験における自動化を推進するため、種々の粒度組成を有する5種類の土試料(4種類は自然試料)を用いてX線による自動粒度分析を行った。また、分析結果の再現性を検討するため、上記2試料に対してX線透過法とJIS法を適用し、繰り返し試験を実施した。さらに、残りの3試料には、JIS法およびレーザ回折法を適用し得られた結果とX線透過法の結果を比較することにより、分析結果の信頼性を検討した。

2. 各種分析法の比較

(1) 各種分析法の選定

粒度分析結果を粒径加積曲線や頻度分布曲線として表す場合、粒度分布を表示する基準(以下、表示基準と称す)により、得られる結果が異なる場合がある。表示基準は、粒子数 n 、粒径 D を使い、①全粒子数 $\sum n$ 中の個数(個数基準分布)、②全粒子の径の総和 $\sum nD$ 中の長さ(長さ基準分布)、③全粒子表面積の総和 $\sum nD^2$ 中の面積(面積基準分布)および④全粒子質量の総和 $\sum nD^3$ 中の質量(質量基準分布)として表される。

Fig.1は、Table 1に示す粒度分布を、上記、各表示基準に基づく頻度分布曲線として表したものである⁷⁾。図より、表示基準の相違が、粒度分析結果に影響を及ぼすことがわかる。なお、JIS法の表示基準は質量基準である。

このことより、土の粒度分析の自動化を推進するため、その表示基準がJIS法と同一の質量基準で分析可能な、X線透過法による粒度分析装置(マイクロメリティックス社製セディグラフ5100; X線波長 = $1.25 \times 10^{-10} \text{m}$)⁸⁾を選定した。なお、上記試験装置はX線を用いるため、一般的な物理試験装置としては高価であるが、使用に際しての特別な資格は不要であり、労働基準監督署への設置届出義務のみが課せられる。また、上記手法との比較のために、質量基準で測定可能なレーザ回折法(島津製作所製SALD-2000; 可視光使用)⁹⁾による分析も実施した。

(2) 各種分析法の概要

今回実施した3種類の粒度分析手法の概要と特徴を以下に述べ、その取りまとめをTable 2に示す。

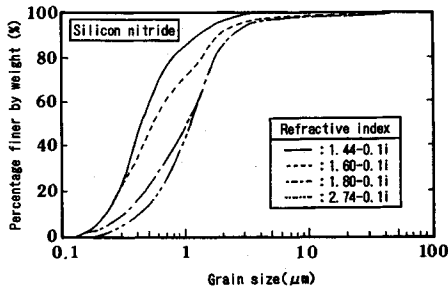


Fig. 2 Influence of refractive index on analytical results obtained by Laser method⁶⁾

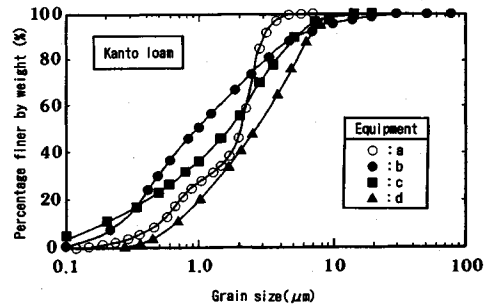


Fig. 3 Comparison of grain-size distribution curves of Kanto loam estimated by four kinds of Laser methods⁶⁾

a) JIS 法

粒径 75 μm 以上の粗粒土に対してはふるい分析を、75 μm 未満の細粒土に対しては沈降分析を適用し、粒度分析を行う方法である²⁾。沈降分析では、比重浮ひようを用い、Stokes の法則により土の粒度分析を求めるが、先述したように試験時間が 2 日程度と長く、試験者の技術の優劣による人為的誤差が大きい等の問題点が考えられる。また、得られた粒径加積曲線は、75 μm で不連続となる場合があり、JIS 法そのものの結果に対する誤差が、比較的大きいことも問題点として挙げられる。なお、本研究で用いたデータは、経験 10 年以上の熟練した技術者によるものであることを付記しておく。

b) レーザ回折法⁶⁾

レーザ回折法は、光透過法や遮光法と同様可視光を適用した分析法である。しかしながら、光透過法や遮光法は粒子の投影断面積に応じ、光が遮光される現象を利用しているのに対して、レーザ回折法では粒子影像の輪郭が、粒径に応じたぼけを生じる現象を利用している。このとき得られた粒子影像は、粒径に応じ回折像および散乱像として認識され、各々対応する理論を適用し粒径を求める。また、本方法は測定が迅速、操作が簡単、および数十回から数百回の平均値として試験結果が得られるため、再現性が良好である等の特長を有している。

約 1 μm 以上の粒径に対しては、Fraunhofer 回折理論が適用される。この場合、粒子影像は回折像を示し粒径の関数となる。このことより、測定に先立ち、液層沈降法の際に必要なとされる密度等の粒子の物性値を求める必要がない。したがって、本方法は、全く未知のサンプルや混合サンプルに対しても有効な測定原理と考えられている。

一方、粒子が 1 μm 程度以下になり粒径が、波長と同等あるいはそれ以下では、粒子影像は光の散乱現象として理解されるため、Mie 散乱理論が適用される。このとき得られる散乱像(散乱パターン)は、粒径と粒子の屈折率の関数となる。したがって、予め粒子の屈折率を求めておく必要がある。

Fig. 2 は、屈折率が解析結果に及ぼす影響を検討する

ため、異なる屈折率を有するレーザ回折法を窒化ケイ素(Silicon nitride)に対して適用した結果を示したものである。図より、上記散乱理論が適用される数ミクロン以下の粒径範囲では、得られた分析結果がかなり異なっている。このことより、レーザ回折法においては、屈折率が分析結果に大きく影響を及ぼすことがわかる。

また、粒径が波長の 1/10 以下の粒子に対しては、散乱挙動は Rayleigh 散乱を示す。上記領域においては、光の散乱強度は粒径によって変化するが、散乱パターンは一定となるため、レーザ回折法では粒径の識別が不可能となる。よって、可視光を用いた場合のレーザ回折法の測定下限値は、一般的に 0.1 μm 程度とされている。

Fig. 3 は、仕様の異なる四機種を関東ロームに対して適用した例を示している。図より、試験装置の違いが分析結果に大きく影響を及ぼしていることがわかる。このことは、装置によって散乱パターンの検出方法、理論の適用法、および演算ソフトなどが異なっているためと考えられている。

c) X線透過法^{6), 8)}

液相沈降法を適用した一種で、Stokes の法則に基づいて粒径を測定し、沈降中の懸濁液に X 線ビームを照射し、その X 線透過量から後述する Lambert-Beer の法則に従って粒度分布曲線が得られる。

主な特長としては、全自動システム化、試料が 5 g 程度と少量であり、測定範囲が 0.1 μm ~ 300 μm と広く、試験時間が 5 分程度と短時間であることが挙げられる。また、光の波長に比べ X 線の波長は十分小さいために、光透過法の場合と異なり吸収係数による補正が不要である。さらに、光は面で遮られるが X 線の場合は体積に応じて減衰するため、質量基準の分布が実測できるといふ光透過法にはない利点を有している。

しかしながら、本手法においては、分析結果に及ぼす懸濁液濃度の影響が無視できないことが指摘されている⁶⁾。Fig. 4 は、種々の濃度を有する懸濁液に対して得られた結果の一例である。図より、濃度の増加とともに分布は細粒側にわずかに移行しているが、その差はきわ

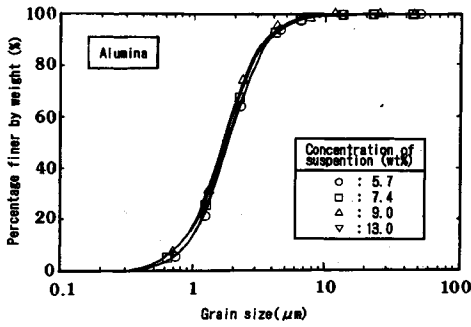


Fig.4 Influence of concentration of suspension on analytical results of X-ray method⁹⁾.

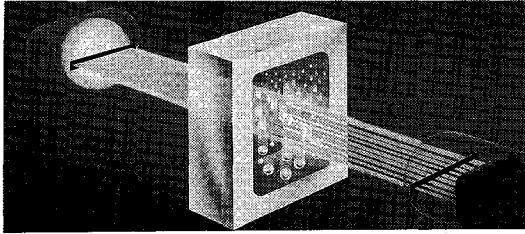


Fig.5 Key sketch of X-ray system⁹⁾.

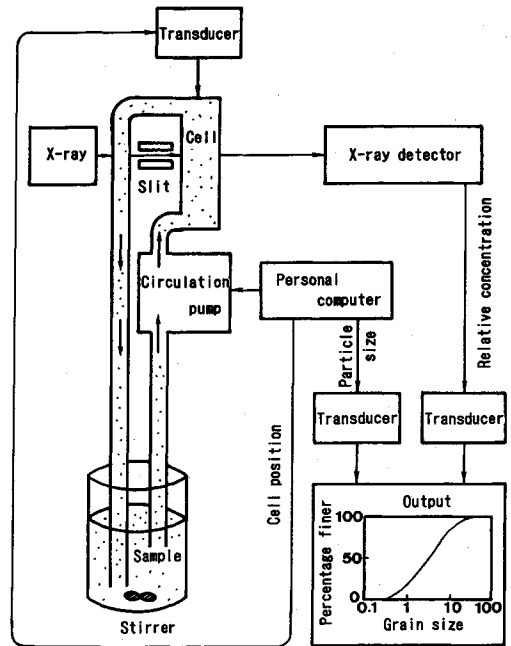


Fig.6 Systematic diagram of X-ray method.

めて小さく土質工学的な観点からは、ほとんど無視できるものと考えられる。

3. X線透過による分析手法

(1) 測定原理⁸⁾

測定原理は、先述したように Stokes の法則および Lambert-Beer の法則に従い、自然沈降中の懸濁液の濃度変化を X 線透過量を測定することにより、質量基準で粒度分析するものである。Fig.5 に X 線透過法による測定原理の概念図を示す⁸⁾。

以下には、Stokes の法則を式(1)に、Lambert-Beer の法則を式(2)に示す。

$$D = \left[\frac{18\eta}{(G_s - G_T)\gamma_w} \cdot \frac{L}{t} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 D ：粒径(mm)， η ：懸濁液の温度 T ℃ に対する水の粘性係数(Pa·s)， L ：沈降距離(mm)， G_s ：粒子の比重， G_T ： T ℃ に対する水の比重， γ_w ：水の単位体積重量(kN/m³)， t ：沈降時間(s)を示す。

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-kc) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 I ：透過 X 線強度， I_0 ：入射 X 線強度， k ：定数， c ：重量濃度を示す。

式(2)から、質量百分率は式(3)により求められる。

$$\text{質量百分率(\%)} = \frac{\log I_m - \log I_0}{\log I_T - \log I_0} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 I_m ：各測定点における透過 X 線強度(kilocounts/sec)，

I_0 ：溶媒のみの透過 X 線強度(kilocounts/sec)，

I_T ：懸濁液を循環させた時の透過 X 線強度(kilocounts/sec)を示す。

(2) 測定方法

本手法ではまず、濃度を 5～10% (JIS 法と同程度) に調整した約 50 cm³ の懸濁液を計測器内に循環させ、その試料濃度変化と X 線透過量から粒度分布が自動計測により得られる。得られた分析結果は試験終了後、自動的にプリンターから出力される。この一回に要する全試験時間が 5 分程度であり、この試行を繰り返すことによって分析結果の信頼性を高めている。なお、循環中の懸濁液の温度は、初期設定することにより循環中は一定に維持される。Fig.6 に、本手法のシステム構成を示す。

4. 試料および実験方法

(1) 試料

分析結果の再現性を検討するために実験に用いた試料は、社団法人日本粉体工業技術協会より市販されている JIS 標準粉末の JIS 第 2 種 (シリカ) と、東京湾羽田沖から採取した粘土 (海成粘土) の 2 種類である。さらに、分析結果の信頼性を検討するため、わが国の 3 地域より採取した自然試料を用いた。ここで、上記自然試料を便宜上、砂質試料 (試料 A)、シルト質試料 (試料 B) および粘土質試料 (試料 C) と呼ぶ。

(2) 実験方法

X 線透過法により得られる結果の再現性を検討するために、上記シリカおよび海成粘土の両試料に対して、

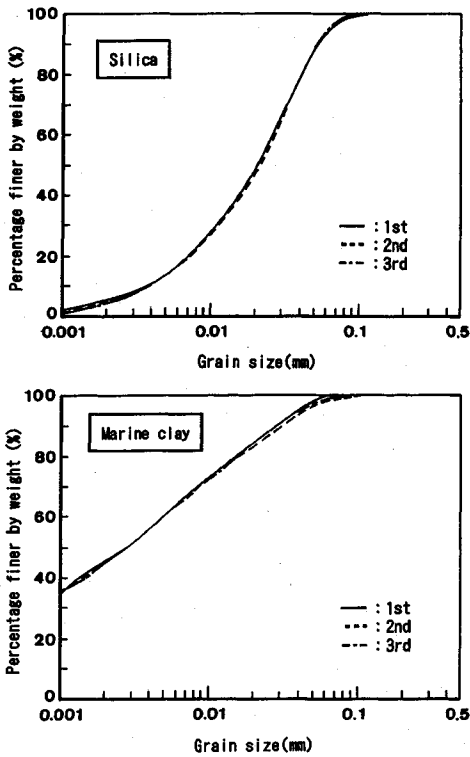


Fig.7 Repeatability of analytical results obtained by X-ray method.

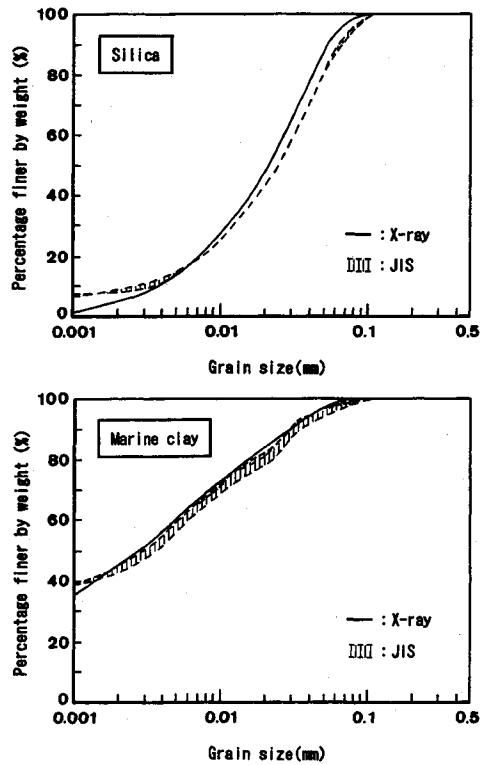


Fig.8 Repeatability of analytical results obtained by JIS method.

X線透過法とJIS法を用い、各々3回繰り返し粒度分析を実施した。また、上記試料A、B、Cに対して、JIS法およびレーザ回折法を適用し得られた結果と、X線透過法による結果を比較することにより、分析結果の信頼性を検討した。なお、分散剤の効果による違いが生じないようにするために、全試料に対して同一の分散剤(ヘキサメタリウム酸ナトリウム)を用いた。

5. 実験結果および考察

(1) 分析結果の再現性

Fig.7に、上記シリカ、海成粘土に対してX線透過法により得られた分析結果を示す。図より両試料共に、粒度加積曲線は良い一致を示している。このことより、本手法による分析結果の再現性は、良好なことがわかる。

一方、両試料に対して、JIS法により得られた分析結果をFig.8に点線で示す。なお、比較のため、上記X線透過法による結果を実線で表した。図より、JIS法による結果の再現性は、シリカに対してX線透過法同様良好であるが、海成粘土に対する結果にはばらつきが認められる。上記ばらつきは、3試験中2試験の粒度曲線が細粒側に分布し、残り1試験の曲線が粗粒側の結果を示すことによっている。また、細粒側の分布がX線透過法による結果とよく一致することより、粗粒側の分布

に誤差が含まれていることが考えられる。この誤差はJIS法に起因した人為的誤差や分散効果の影響によるものと思われる。

分散効果の影響に関しては、JIS法において24時間の沈降分析を実施するため、当初完全に分散していた懸濁試料も、試験時間の経過とともに綿毛化を生じることが考えられる。そのため、他の分析結果と比べ、粒径加積曲線が粗粒側に移行したものと考えられる。

(2) 分析結果の信頼性

Fig.9は、三種類の粒度分析手法を、上記試料A、B、Cに適用した場合の代表的な粒度加積曲線を示したものである。なお、ここではJIS法による分析結果を基準として考えることにする。

図より、全試料ともX線透過法によって得られた分析結果は、JIS法による結果よりも細粒分の通過質量百分率が高いことが明瞭に分かる。よって、JIS法では問題点の一つとして考えられている細粒分の評価に関し、X線透過法ではJIS法より細粒分を大きめに評価している結果が得られた。このことより、細粒分の定量的な評価をある意味で進展させる可能性を見出した。

一方、レーザ回折法とJIS法とを比較すると、レーザ回折法では、その傾向がX線透過法による場合とは全く異なり、レーザ回折法による分析結果は、JIS法に

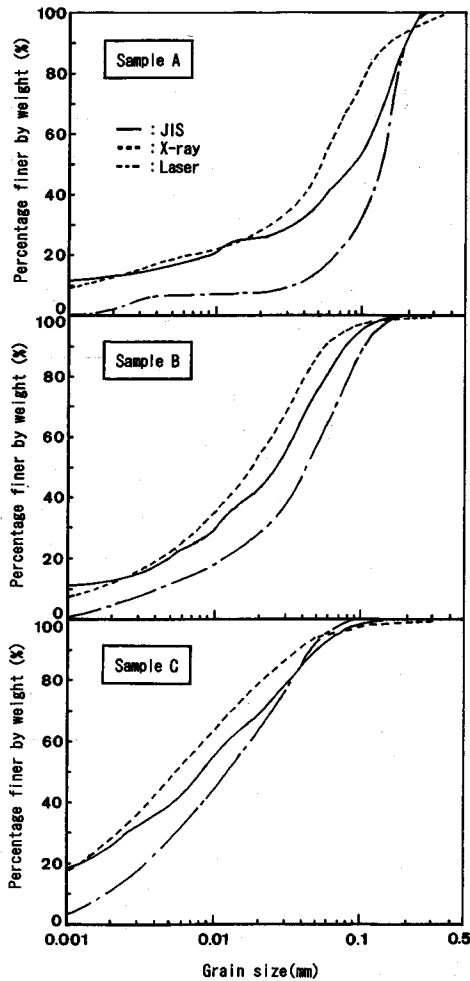


Fig.9 Comparison of grain-size distribution curves of samples estimated by JIS, X-ray and Laser method.

よる場合よりも細粒分を少なめに評価する結果となっている。このことは、X線透過法による解析結果が、土の細粒分を大きめに評価している可能性が他の手法よりも高いことを示唆している。

この傾向をより明らかにするために、上記の粒度分析結果に対して頻度分布解析を行った。Fig.10に、後述する仮想のふるい目に対して得られた頻度分布解析結果を示す。図より、全試料ともJIS法による結果を基準にして考えた場合、最も多く含まれている粒径すなわち分布のピークが、X線透過法では細粒側に、また、レーザ回折法では粗粒側に移行していることがわかる。

これら頻度分布のずれを定量的に把握するため、粒子破碎評価の際に用いられる Marsal の修正破碎率 B_M^* を導入し、分析することにする。

B_M^* は、Marsal が提案した粒子破碎の表示尺度 B_M を修正したものである。石井¹⁰⁾によると、 B_M^* 値の物理的意味は、当初の粒子体積組成の領域から外れて細粒化

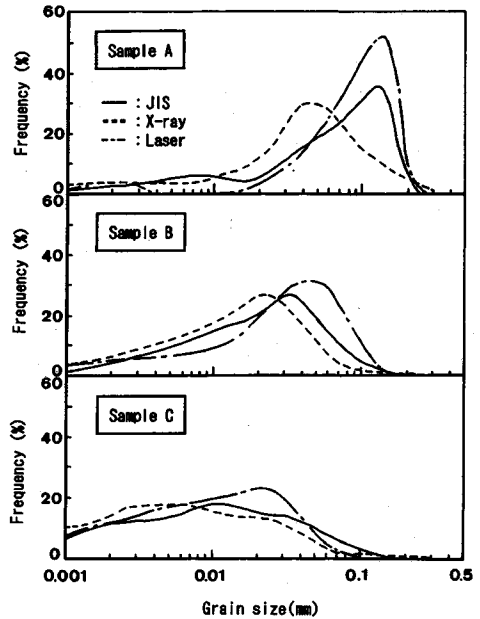


Fig.10 Comparison of frequency in grain-size of three soils.

した粒子体積と総粒子体積の比率を示す尺度であるとしている。

B_M^* 値を求める際には、ふるいの開き目の間隔を対数的に等しくする必要がある。しかしながら、現実のふるいの開き目は必ずしも対数的に等しい間隔ではないため、実務的には、得られた粒径加積曲線をその最大粒径を基準にして、粒径を細粒側へ等対数間隔で刻み、これを仮想のふるい目とみなす。この仮想のふるい目に対する粒子破碎前後の粒子体積残留率の差 Δf_i を用いることにより、 B_M^* は式(4)で定義される¹⁰⁾。なお、粒子の比重が粒径に依存することなく一定の場合は、粒子質量に関する残留率と粒子体積に関する残留率が等価となる。

$$B_M^* = \frac{\sum |\Delta f_i|}{2} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 Δf_i は粒子体積残留率差である。 Δf_i は比較しようとする2つの頻度分布曲線によって囲まれた部分の頻度分布差を示し (Fig.11 参照¹⁰⁾)、粒径 2 mm を基準とした等対数間隔 $\log 2$ の仮想のふるい目に対して求めたものである。

上記3試料に対して、JIS法により得られた頻度分布曲線を基準として、 B_M^* 値を求めたものを Table 3 に示す。ここで、符号は細粒側に移行する場合を正、粗粒側に移行する場合を負とした。例えば、試料 B に着目すると、X線透過法により得られた頻度分析結果は、JIS法の結果より細粒分を 15.0% 多く評価可能である。レーザ回折法では、逆に粗粒分を 14.5% も過大評価しており細粒分の評価が JIS 法より劣ることを示している。このような傾向は、A、C 両試料においても認めら

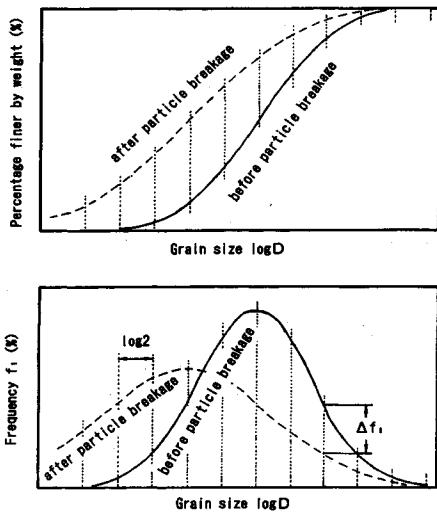


Fig.11 Difference of particle frequency $\Delta f_i^{(10)}$.

れた。また、Fig.10を参照すると、試料A、B、Cの順に頻度分布のピークが細粒側に移行するとともに分布の山が低くなっており、このことが B_M^* 値の減少と関連していることになる。

このことは、 B_M^* の概念を細粒分の評価に対して導入することにより、分析手法の違いによる定量的な細粒分の把握が可能となり得ることを示唆している。

6. 結 論

本研究では、土の粒度試験の自動化を推進するため、種々の粒度組成を有する土試料を用い、X線透過法による粒度分析を行った。また、得られた分析結果の信頼性を検討するため同一試料を用い、レーザ回折法およびJIS法による粒度分析を実施した。

本研究より得られた主要な結論を、以下に列記する。

(1) 土試料に対しX線透過法は、試料が少量であり、測定範囲が広く、迅速性に富み、全自動システム化等工学的に優れた分析手法であることが示された。

(2) X線透過法による分析結果の再現性は、シリカおよび海成粘土両試料に対し、良好なことが明らかとなった。また、海成粘土に対する本手法の分析結果の再現性は、JIS法に比べ優れていることが認められた。

(3) 砂質試料、シルト質試料および粘土質試料に対して、三手法(X線透過法、JIS法およびレーザ回折法)を適用し、得られた分析結果を比較することにより、X線透過法が細粒分に関し、最も大きめの評価をしている。

Table 3 Comparison of B_M^* -value on fine content of three soils.

Sample Method	A	B	C
X-ray	27.0%	15.0%	11.5%
Laser	-20.5%	-14.5%	-12.0%

このことより、細粒分の定量的な評価を一步進める可能性を示唆した。

(4) 分析手法の違いによる細粒分の定量的評価に関する検討を行うために、Marsalの修正破砕率 B_M^* は有効な評価手法となり得るものと考えられる。

謝 辞：本研究を行うにあたり、基礎地盤コンサルタンツ(株) 山口 勇氏には実験に際して、多大のご協力をいただきました。ここに、感謝の意を表する次第です。

参 考 文 献

- 1) 中瀬明男・勝野 克・小林正樹：砂分の多い粘性土の一軸圧縮強さ、運輸省港湾技術研究所報告, Vol. 11, No. 4, pp. 83-102, 1972.
- 2) 土質工学会：土質試験の方法と解説, pp. 54-67, 1990.
- 3) 藤田龍之・古川幸雄：細粒土の粒度試験の能率化に関する研究, 土質工学会論文報告書, Vol. 28, No. 1, pp. 171-179, 1988.
- 4) 嘉門雅史・青木一男：粒度試験における光透過法の有用性, 新しい土の物理試験方法に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 129-132, 1992.
- 5) 宮本武司：沈降法とレーザ回折法による粒度測定結果の相違とその原因, 新しい土の物理試験方法に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 133-140, 1992.
- 6) 椿 淳一郎：粒度測定技術の現状と今後の方向, 粉体工学会誌, Vol. 27, No. 6, pp. 423-428, 1990.
- 7) 土の物理的性質に関する新しい試験方法研究委員会：土の物理試験に関する最近の動向, 新しい土の物理試験方法に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 5-44, 1992.
- 8) Micromeritics instrument corporation : Sedi-Graph 5100, Pamphlet, 1987
- 9) 林田和弘・丹波 猛・島岡治夫：島津レーザ回折式粒度分布測定装置SALD-2000によるサブミクロン粒子の測定, 島津評論別刷, Vol. 48, No. 3, pp. 309-318, 1991.
- 10) 石井武美：粒子破砕の表示尺度のもつ物理的意義, 土質工学会論文報告集, Vol. 29, No. 4, pp. 155-164, 1989. (1993. 2. 22 受付)

X-RAY METHOD-AN AUTOMATED GRAIN SIZE ANALYSIS EQUIPMENT AND ITS APPLICABILITY TO SOIL SAMPLES

Takeshi KAMEI, Yoshihiro YAMAMOTO and Osamu KUSAKABE

To investigate the validity of an automated grain size analysis equipment for soil samples, X-ray method analyses were carried out on five soils. The JIS and laser method analyses were also performed on the three soils to evaluate the reliability of the results obtained by the X-ray method. It was found that the X-ray method showed significantly more accurate results than those which were obtained by laser and JIS methods. It was confirmed that the main advantages of the X-ray method are its simplicity, repeatability, reliability, and speedy in engineering practice. In addition, it provides added advantages of fully-automated operation for grain size analysis control and analysis data management and also ability to correct measured fine content (clay fraction) omitting human factors.
