

### 土の粒度試験結果の整理方法についての問題点と提案

関西地盤環境研究センター 正会員 ○澤 孝平 正会員 中山 義久  
正会員 楠本奈津子 正会員 中田 有美

**1. まえがき** 土の粒度は、強さや透水性などの地盤の工学的諸性質を支配するものであり、土・地盤を構成している土粒子の大きさの分布を求める「粒度試験方法」が JIS により規定されている。粒度試験は土粒子の大きさに従って3段階に分かれる。すなわち、①2mm より大きな粒子のふるい分析、②2mm 以下の沈降分析及び③2mm ~0.075mm のふるい分析である。これらの境界粒径 (2mm と 0.075mm) 付近では試験結果の連続性が損なわれ、特に試験原理の違う 0.075mm 前後で粒径加積曲線が不連続となることがあるが、その対処方法は規格化されていない。一方、粒度試験はかなり手間のかかる試験であり、現場からのサンプル量が不足することもあって、1 つのサンプルの結果を土全体の性質とすることが多いので、そのサンプルの再現性・均質性が問題である。

本報告は、粒度試験に関わる上記二つの問題点について、試験結果の実態を紹介し解決策を提案する。

**2. 粒径加積曲線の不連続性への対策** 図-1 は、沈降分析後のふるい分析と沈降分析の境界粒径である 0.075mm において、粒径加積曲線が不連続となっている試験結果の例である。これらは試験結果のばらつきを検証するために行った際に測定されたものであり、試料 B-1 は 0.075mm 以下の土として用意したものであったが、実際には 0.075mm 以上の粒子が数%含まれている。

この検証実験は、試験者・サンプル量・繰返し回数などを変化させて同一試料から採取した 21 個のサンプルで実施したが、試料 B-1 では 12 個のサンプル、試料 B-2 では 20 個のサンプルにおいてこのような不連続が発生した。しかも、試料 B-1 では沈降分析初期における通過質量百分率が 100% を超える結果が 4 個のサンプルで見られた。不連続さが現れる割合は試料 B-1 で 12/21=57%、試料 B-2 で 20/21=95% であり、通過質量百分率が 100% 超の割合は 4/21=19% である。

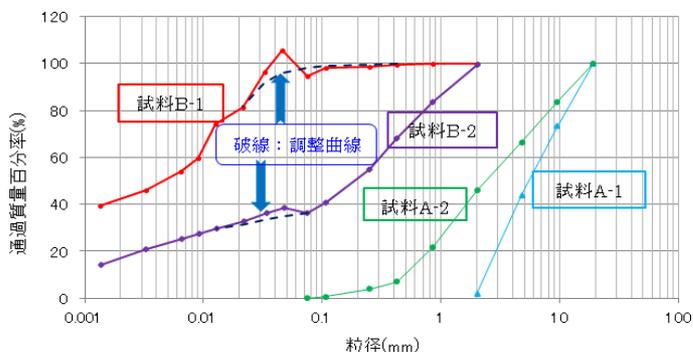


図-1 試料の粒径加積曲線と不連続性の例 (B-1・B-2)

これらの不連続性は、地盤工学会発行の「地盤材料試験の方法と解説」において、「4.5.1 試験結果の評価」の項に「データの良し悪しのチェックポイント」として次のように記述されている<sup>1)</sup>。すなわち、(a)不連続の原因として「①沈降分析とふるい分析における粒径の定義が異なること」と「②沈降分析初期に懸濁液が安定しないこと」を挙げ、「多少の誤差はやむを得ないので、曲線を滑らかに近似すればよい」と説明している。また、「③試料の分散が十分でないこと」が考えられる場合は、「沈降分析のやり直しや再試験の必要性」を説いている。一方、(b)通過質量百分率が 100% を超える原因として「④繊維質有機物の存在」を取り上げ、「高有機質土ではこの試験方法は適用できない」としている。さらに、「⑤計算上の仮定で平均的な土粒子密度を用いていること」、「⑥粒子を球と仮定しているため粘土粒子では誤差を生じやすいこと」、「⑦粒子間の相互干渉を無視していること」などを挙げており、「不連続性が小さければふるい分析結果に合わせるように粒径加積曲線を引いてもよいが、結果の信頼性は低いと心得るべきである」としている。

これらは土の粒度試験結果における本質的な問題点である。実際の粒径加積曲線は一般的には連続的であり、通過質量百分率が 100% を超えることはあり得ない。そこで、学会の解説の記述に従い図-1 の破線のように調整されるが、試験結果としては調整後の姿だけが報告され、どの様に調整されているかが明らかではないことが多い。

0.075mm は土の粒度分布において重要な意味のある粒径であり、上記の調整作業によりその数値が恣意的に作られることがあってはならない。調整作業は最小限に行われるべきであるし、できればその方法についてしっかりと規定しておく方がよいと考える。その際、次の3点を調整作業の原則にし、規定に明記したい。

- (1)学会解説にも指摘されているように、沈降分析の方に現実とはかけ離れた仮定が含まれていると考えられるので、0.075mm 以上のふるい分析結果を基本にして調整する。
- (2)調整する粒径は 0.075mm 前後の 2 点までを原則とし、例外的に許すとしても 4 点までとする。
- (3)調整した経緯 (調整前後の粒径加積曲線と調整部分のデータシート) を明記・報告する。

キーワード 土の粒度試験, 粒径加積曲線, 不連続性, サンプルの不均質性, 標準偏差, 繰返し試験  
連絡先 〒566-0042 大阪府摂津市東別府 1-3-3 関西地盤環境研究センター TEL06-6827-8833

**3. サンプルの不均質性が通過質量百分率に与える影響**

粒度試験に使われるサンプルは、原位置より運び

込まれた試料土から試験室において必要量が採取され、大抵の粒度試験では1個のサンプルの結果を試験結果としている。含水比試験や土粒子の密度試験では普通3個のサンプルの試験結果の平均値を採用するのに比べて、信頼性の点で問題がある。そこで、1個のサンプルでどの程度の信頼性があるか、逆にいえばサンプルの違いすなわち不均質性の影響をどの程度まで考慮しておく必要があるかを確かめることにする。

**3.1 検証実験**

図-1に示す4種類の試料(A-1とA-2はふるい分析のみ、B-1とB-2は2mm以下のふるい分析と沈降分析)についてサンプルを必要数採取し、次のように2種類の方法で粒度試験を繰り返す<sup>2)</sup>。

- (I)別サンプル：3名の試験者が3個ずつのサンプルを採取し(サンプル数：合計9個)、試験する。
- (II)同一サンプル：試験者1名が3個のサンプルを採取し、各サンプルを3回ずつ試験する。ふるい分析では、一度ふるったサンプルを寄せ集め2回目、3回目のふるい分析を行う。沈降分析では、懸濁液の密度を24時間測定後、再度メスシリンダー内の懸濁液を振とう・均一化して2回目、3回目を測定する。

二つの方法ともに9通りの試験結果が得られ、これらの分散分析により、別サンプルからは誤差項として試験の繰返しとサンプルの不均質性の交絡した(両者の影響が重なった)標準偏差が、同一サンプルからは主要因項としてサンプルの不均質性の標準偏差、誤差項として試験の繰返しの標準偏差が求められる。

**3.2 サンプルの不均質性の影響の実態**

表-1は試料

A-1とA-2のふるい分析結果である。別サンプルでも同一サンプルでも通過質量百分率はほぼ同じであり、サンプルの差は見られない。試験結果のばらつきを表す標準偏差の大きさも違いは見られないが、同一サンプルの結果から、サンプルの不均質性(表では「不均質性」と表示)に基づく試験結果のばらつきが大きいことが分かる。この場合、慎重な採取方法に留意する必要がある。

表-2は試料B-1とB-2の結果である。0.075mm以上のふるい分析部分では表-1とよく似た傾向(サンプルの不均質性の影響)が見られるが、試料B-2ではそれほど顕著ではない。0.075mmより小さい沈降分析部分では全体に標準偏差が小さく、サンプルの不均質性の影響はほとんどない。これは次のようなことに起因していると考え

る。(1)細粒分の多い試料は事前の混合などにより均質な状態が作りやすい。(2)試料A-1、A-2、B-1、B-2の順に粒度試験を実施したため、試験者は後になるほど試料の混合準備・採取に慣れていき、サンプルの均質性が高まる。(3)不確かさ評価の結果<sup>3)</sup>によると、沈降分析では使用するサンプル量の違いが試験結果の精度に大きく影響するが、試験の繰返しやサンプルの不均質性は他の試験ほど影響しない。

**4. あとがき**

土の試験結果の精度を表示する不確かさ評価方法について実験的に研究している過程において遭遇した、粒度試験結果に関わる問題点について考察・提案した。今回提示した問題点はほんの1例であり、この種の事例を積み重ねていくと、地盤材料試験方法のJISの見直しなどの際に参考となる。

参考文献 1)地盤工学会編：地盤材料試験の方法と解説，pp.115-131，2009。 2)澤・中山ほか：土質試験結果の不確かさに及ぼす試料の不均質性の影響，土木学会第66回年次学術講演会講演集，Ⅲ-375，2011。 3)澤・中山ほか：粒度試験結果(沈降分析)の不確かさの評価方法について，第47回地盤工学研究発表会論文集(八戸)，2012，投稿中。

表-1 サンプルの不均質性の影響(試料A-1・A-2)

試料	粒径(mm)	通過質量百分率(%)				
		別サンプル		同一サンプル		
		平均	標準偏差 不均質性+繰返し	平均	標準偏差 不均質性 繰返し	
A-1	19.00	100	0	100	0	0
	9.50	73.21	6.23	75.66	6.11	0.15
	4.75	43.95	5.84	49.35	9.62	0.14
	2.00	2.07	0.42	0.05	0.04	0.03
A-2	19.00	100	0	100	0	0
	9.50	83.59	4.74	84.54	1.49	0.18
	4.75	66.51	5.09	65.06	2.12	0.09
	2.00	45.97	0.97	39.95	0.31	0.02
	0.850	21.77	2.85	18.80	1.75	0.08
	0.425	7.10	2.18	5.25	1.05	0.02
	0.250	3.97	1.39	2.57	0.67	0.04
	0.106	0.62	0.26	0.26	0.09	0.01
0.075	0.12	0.08	0.02	0.01	0.01	

表-2 サンプルの不均質性の影響(試料B-1・B-2)

試料	粒径(mm)	B-1				B-2					
		通過質量百分率(%)				通過質量百分率(%)					
		別サンプル		同一サンプル		別サンプル		同一サンプル			
平均	標準偏差 不均質性+繰返し	平均	標準偏差 不均質性 繰返し	平均	標準偏差 不均質性+繰返し	平均	標準偏差 不均質性 繰返し				
ふるい分析	2.00	100	0	100	0	0	99.51	0.16	99.77	0	0.07
	0.850	99.96	0.03	99.93	0.06	0.02	83.03	0.11	82.97	0	0.12
	0.425	99.55	0.15	99.81	0.10	0.02	67.72	0.14	67.42	0	0.25
	0.250	99.24	0.17	99.69	0.15	0.03	54.73	0.11	54.17	0	0.37
	0.106	98.73	0.29	99.55	0.22	0.04	39.92	0.25	38.96	0.05	0.45
	0.075	97.33	0.75	96.85	0.41	0.03	36.18	0.19	35.75	0.30	0.37
沈降分析	0.046	95.41	0.70	92.73	0.44	0.69	35.01	0.26	34.56	0	0.17
	0.033	90.55	1.96	86.24	0	1.72	33.25	0.38	33.42	0.21	0.25
	0.021	82.02	1.37	76.24	0	1.68	30.86	0.31	31.69	0	0.47
	0.013	69.99	2.25	67.25	0	1.71	29.24	0.49	28.89	0	1.32
	0.009	61.37	1.39	61.29	0.39	0.34	26.95	0.58	26.13	0	2.32
	0.006	55.03	1.06	53.82	0	0.59	24.42	0.52	23.69	0	1.87
	0.003	46.39	0.52	44.25	0.70	0.40	20.52	0.71	19.89	0	1.05
	0.001	39.35	0.27	36.70	0	0.57	14.35	0.64	14.08	0	0.56