

# 砂のふるい分析に関する誤差

松浦 義春 (農業工学研究室)

Yoshiharu MATSUURA

On the Errors in Sieve Analysis of Sand

## まえがき

ふるい分析は、土の粗粒分を対象とする標準的な粒度試験（器械分析）の方法であるが、その実用性については深く討議されなかった。

近年、土質工学の進歩に伴い、土に関する工事の設計・施工に、粒度試験結果がひろく使用されるようになった。また、他の分野でも、流体の運動に伴う土の侵食・運搬・たい積、海洋・港湾の底質調査等において、土の粒度が扱われている。このように応用の分野が異なれば、粒度調査の目的したがって要求される精度ならびに調査方法が異なるのは当然である。

一方、中海の干拓・淡水化事業計画に関連する境水道（海）底土の粒度試験のように、調査の重複を避けるため、同一の現地試料について、応用面においては異なった目的をもつ試験結果を必要とする場合がある。特に砂のふるい分析に限定して考えると、このような必要に応ずるには、(1) 固有の粒度が求められるように分析を行なう、(2) 精度の観念を確立する、(3) 分析結果の解析方

法を体系化することが不可欠である。このようにして、はじめて、砂のふるい分析が多方面に応用され、あるいは、許容誤差の範囲内で、できるだけ速くふるい分析を行なうことができる。

砂の粒度調査においては、現地誤差として採取誤差、実験室誤差として分取誤差・分級誤差・ふるい分け誤差が介入するが、本報では実験室誤差を扱っている。

## 1. 実験方法

境水道（海）底土のボーリング試料から、4分法によって、供試試料を分取した。実験(1)の試料は空気乾燥試料である。実験(2)~(4)の試料は、JIS A 1204による分散、44 $\mu$ ふるいによる水洗い、炉乾燥を行ない、試験前に再び自然乾燥試料に近い水分状態としたものである。ふるいの種類は、これを規定する規格によって示した。JIS (2<sup>1/2</sup>)は、ふるい目の開きが、2mmを基点として、公比2<sup>1/2</sup>の等比級数に対応するJIS標準網ふるいを表わす。

第1表 実験方法

実験	対象となる 誤差	供 試 試 料				ふるい分け				補助者		
		粒径範囲	供試量	数	水分状態	ふるい	振とう器	振とう時間	通算反復回数			
(1)	分取誤差, ふるい分け誤差	2.00 <sup>mm</sup> >	120 <sup>g</sup>	8	空気乾燥	NIK	ロータップ	15 <sup>分</sup>	2	学生E		
		"	60	"	"	"	"	"	"			
(2)	"	2.00~0.044	90	2	"	{ JIS (2 <sup>1/2</sup> ) " "	"	5	1 } 3	学生S		
		"	60	"	"		"	"			10	"
		"	30	"	"		"	"			15	"
(3)	分級誤差, ふるい分け誤差	"	120	"	"	{ JIS A 1204 " (E) NIK	"	"	2 } 5	学生E		
							"	"			"	"
							"	"			"	1
(4)	"	"	"	5	"	JIS (2 <sup>1/2</sup> ) + JIS A 1204(E)	"	"	5	第1回学生E 第2回以降学生S		
(5)	吸湿水の影響	(4)の最終回の各フラクションを、供試時・炉乾燥の水分状態でそれぞれ秤量し、比較した。								学生S		

2. 実験結果

第2表・第3表は、それぞれ実験(1)・(4)の結果である。

第2表・第3表において、度数は各フラクションの、累加損失率はふるい分けによる試料損失部の、それぞれの通算して最初のふるい分け前の総量に対する重量百分率である。(累加損失率) < 0は、(最初のふるい分け前の総重量) < (ふるい分け後の総重量) を意味する。

第4表は実験(5)の結果であって、吸湿水補正係数の逆数として表わされている。

第5表は、第3表に基づく平均偏差を表わしている。

第1図～第2図は、それぞれ実験(3)～(4)の結果(累積度数分布)を対数正規確率紙に図示したものである。

第1図の実線はNIK、点線はJIS A 1204、破線はJIS A 1204 (E)、第2図の実線はJIS (2<sup>1/2</sup>)、破線はJIS A 1204 (E)のふるいによる分析結果を表わしている。

第2表 度数分布表(測定値)

試料番号	分級値 g 試量	mm												累加 損失率
		1.651	1.168	0.833	0.589	0.417	0.295	0.208	0.147	0.104	0.074	0.053		
(1).1.120.1.1	123.97	0.30	2.18	3.18	3.65	7.23	24.69	40.80	12.02	1.92	0.20	0.54	2.75	0.55
.2		0.29	2.19	3.07	3.61	7.32	24.83	41.32	11.19	1.88	0.09	1.50	1.71	1.00
.2.1	124.28	0.34	2.03	2.75	3.43	7.12	24.56	41.24	12.24	2.04	0.19	1.67	1.62	0.77
.2		0.30	1.99	2.74	3.35	7.12	24.76	42.29	10.96	2.16	1.05	0.66	1.56	1.07
.60.1.1	60.63	0.35	2.10	2.98	3.76	7.26	24.81	39.98	12.58	2.01	1.25	0.10	2.38	0.45
.2		0.26	2.08	3.00	3.74	7.34	25.24	40.14	11.86	2.01	0.30	1.37	1.85	0.81
.2.1	62.11	0.34	2.06	3.17	3.83	7.58	25.05	39.41	12.61	1.82	1.06	0.27	2.06	0.72
.2		0.32	2.03	3.22	3.48	7.82	25.54	40.44	11.09	1.85	1.16	0.35	1.77	0.92
(1).2.120.1.1	120.10	1.05	2.94	4.45	7.36	16.71	26.28	25.22	10.60	2.61	0.85	0.29	0.96	0.68
.2		1.02	2.91	4.65	7.69	17.84	26.85	24.59	9.33	2.47	0.68	0.42	0.75	0.82
.2.1	120.00	1.07	3.05	4.62	7.10	17.41	25.97	24.70	10.72	2.76	1.00	0.05	1.23	0.33
.2		1.07	3.01	3.88	8.63	17.72	26.66	23.83	10.05	2.71	0.78	0.52	0.77	0.38
.60.1.1	60.00	0.95	3.35	4.25	6.85	18.15	26.95	24.77	10.00	2.55	0.85	0.67	0.37	0.30
.2		0.97	3.23	4.32	7.07	19.10	27.27	24.12	9.75	2.27	0.13	0.58	0.97	0.23
.2.1	60.00	0.88	2.80	4.43	6.79	18.00	26.16	24.85	10.45	2.64	0.66	0.07	1.27	1.00
.2		0.83	2.87	4.25	7.25	18.53	26.72	24.42	10.03	2.25	0.10	0.93	0.77	1.05
(1).3.120.1.1	120.00	0.71	4.95	7.26	8.76	14.62	27.32	26.98	5.91	1.69	0.38	0.17	0.62	0.64
.2		0.68	5.02	7.11	9.10	14.60	28.41	26.29	5.42	1.57	0.06	0.41	0.56	0.78
.2.1	120.00	0.60	4.25	6.58	8.32	14.08	28.02	28.39	6.29	1.77	0.07	0.53	0.55	0.55
.2		0.50	4.23	6.55	8.75	14.51	28.41	28.19	5.56	1.70	0.10	0.45	0.48	0.57
.60.1.1	60.00	0.68	4.65	6.50	8.22	14.70	27.37	28.80	5.23	1.88	0.35	0.07	0.63	0.92
.2		0.62	4.60	6.68	8.52	14.83	28.45	27.95	5.10	1.53	0.08	0.30	0.53	0.80
.2.1	60.00	0.62	4.45	6.45	8.25	14.47	27.45	28.73	5.60	2.02	0.17	0.53	0.65	0.62
.2		0.62	4.37	6.50	8.85	14.65	28.05	27.42	5.72	1.78	0.10	0.53	0.52	0.90
(1).4.120.1.1	120.00	1.97	7.38	10.11	10.58	14.39	22.29	23.86	5.73	1.60	0.60	0.24	0.71	0.54
.2		1.76	7.45	10.20	10.68	14.60	22.32	23.42	5.55	1.62	0.09	0.74	0.58	0.98
.2.1	120.00	1.80	7.62	9.96	10.32	14.31	22.06	24.34	5.80	1.68	0.63	0.18	0.84	0.46
.2		1.64	7.50	10.25	10.33	14.69	22.30	23.60	5.88	1.56	0.08	0.75	0.62	0.80
.60.1.1	60.00	2.75	7.30	9.77	9.82	14.17	22.40	24.55	5.42	1.78	0.10	0.30	1.20	0.45
.2		2.42	7.53	9.60	10.40	14.55	22.28	23.75	6.00	1.55	0.08	0.58	1.00	0.25
.2.1	60.00	2.43	6.93	9.75	9.87	14.75	21.97	24.00	6.57	1.62	0.13	0.55	0.77	0.67
.2		2.40	6.82	9.87	10.57	14.50	22.35	23.75	6.08	1.60	0.10	0.33	1.00	0.63

(紙面の都合で、ここには、実験(2)・(3)の結果を割愛した。)

第3表 度数分布表(測定値)

試料番号	分級値 mm	供試量														累加 損失率	
		1.41	1.00	0.84	0.71	0.50	0.42	0.35	0.25	0.177	0.125	0.105	0.088	0.074	0.062		
(4).1.1	g	4.83	4.91	2.52	2.53	6.87	3.65	4.22	11.48	29.30	25.20	1.99	0.76	0.43	0.20	0.75	0.35
	117.63	4.52	4.42	2.24	2.49	7.12	3.50	4.06	11.58	28.76	25.65	2.00	0.75	0.40	0.13	0.82	1.55
	.2	4.34	4.07	2.00	2.43	7.38	3.53	4.12	11.71	29.85	24.68	1.89	0.70	0.41	0.10	0.86	1.92
	.3	4.15	3.88	1.88	2.34	7.47	3.48	4.05	11.94	30.83	23.88	1.80	0.68	0.38	0.06	0.92	2.29
	.4	4.09	3.38	1.84	2.33	7.59	3.59	4.06	12.05	31.18	23.62	1.66	0.70	0.39	0.12	0.93	2.43
(4).2.1	121.40	1.37	1.28	0.55	0.51	1.34	1.02	1.56	11.04	46.35	29.84	2.33	1.06	0.54	0.31	0.82	0.08
	.2	1.33	1.11	0.53	0.59	1.31	0.94	1.58	11.13	45.94	29.46	2.51	1.06	0.53	0.27	0.91	0.74
	.3	1.29	1.08	0.51	0.52	1.42	0.97	1.56	11.28	47.38	28.05	2.35	1.02	0.54	0.21	0.92	0.89
	.4	1.25	1.03	0.49	0.51	1.49	0.91	1.61	11.34	48.57	26.92	2.19	1.01	0.48	0.21	1.02	0.97
	.5	1.20	0.95	0.45	0.51	1.48	0.93	1.58	11.55	49.73	25.88	2.05	0.97	0.53	0.10	1.08	1.02
(4).3.1	116.39	0.18	0.22	0.15	0.16	0.53	0.44	0.99	9.09	45.77	33.84	4.18	1.06	1.06	0.66	1.68	0.00
	.2	0.20	0.24	0.13	0.16	0.85	0.11	0.99	9.36	46.49	32.49	3.42	1.85	1.06	0.62	1.78	0.27
	.3	0.25	0.22	0.12	0.17	0.53	0.46	0.96	9.30	47.32	31.76	3.34	1.83	1.06	0.54	1.75	0.40
	.4	0.25	0.20	0.14	0.22	0.53	0.47	0.97	9.47	48.86	30.06	3.19	1.77	1.04	0.50	1.81	0.51
	.5	0.30	0.20	0.13	0.20	0.56	0.48	1.02	9.67	50.07	29.20	2.82	1.71	1.03	0.46	1.68	0.45
(4).4.1	117.28	0.41	0.51	0.27	0.24	0.66	0.49	0.72	5.57	36.01	42.80	5.12	2.92	1.25	0.81	2.23	-0.02
	.2	0.39	0.49	0.25	0.25	0.67	0.45	0.79	5.45	39.22	39.18	5.21	2.71	1.32	0.77	2.20	0.66
	.3	0.39	0.46	0.24	0.24	0.69	0.50	0.76	5.60	39.12	39.13	5.02	2.69	1.34	0.53	2.44	0.84
	.4	0.42	0.45	0.24	0.22	0.70	0.47	0.79	5.76	40.47	37.94	4.73	2.66	1.32	0.59	2.33	0.92
	.5	0.42	0.46	0.27	0.23	0.70	0.49	0.76	5.82	41.35	37.20	4.39	2.51	1.26	0.61	2.18	1.33
(4).5.1	114.13	1.77	2.50	1.13	1.06	2.52	1.16	1.20	4.08	24.86	40.49	6.80	4.56	2.47	1.48	3.64	0.30
	.2	1.66	2.34	1.12	1.04	2.52	1.17	1.25	3.93	27.74	38.43	6.43	4.42	2.45	1.36	3.70	0.42
	.3	1.65	2.17	1.09	1.02	2.51	1.22	1.23	3.92	27.61	38.91	6.07	4.45	2.36	1.19	3.88	0.73
	.4	1.62	2.13	1.07	0.98	2.58	1.15	1.24	3.87	28.24	38.22	6.32	4.32	2.34	0.96	4.05	0.95
	.5	1.59	2.07	1.06	0.94	2.55	1.17	1.23	4.12	30.68	36.46	5.74	4.12	2.32	1.12	3.66	1.16

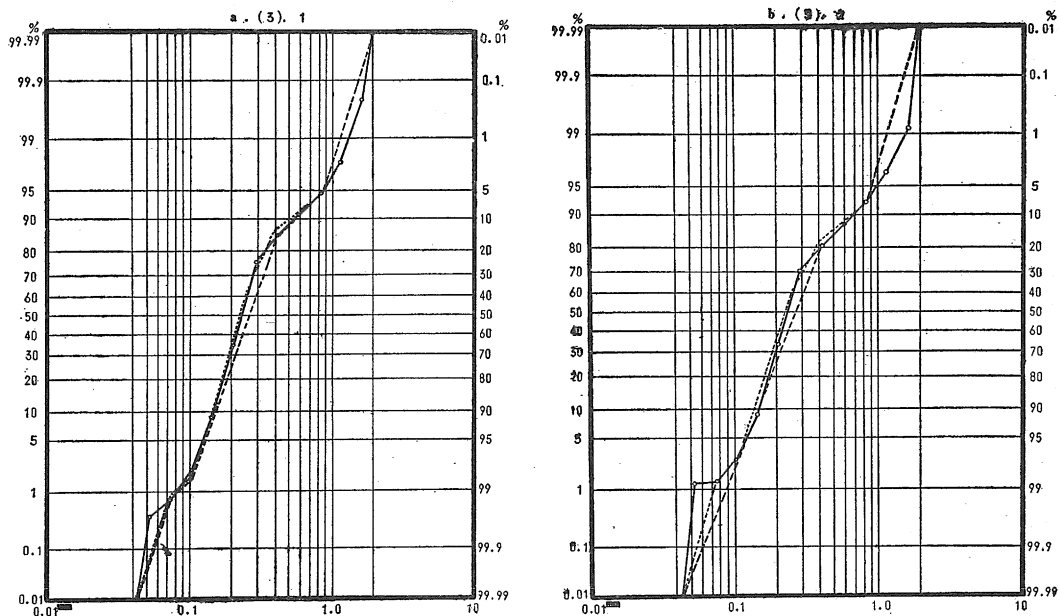
第4表 フラクシヨンの重量比(空気乾燥状態: 炉乾状態)

試料番号	分級値 mm	供試量													
		1.41	1.00	0.84	0.71	0.50	0.42	0.35	0.25	0.177	0.125	0.105	0.088	0.074	0.062
(4).1.5	1.011	1.011	1.012	1.010	1.012	1.011	1.011	1.008	1.004	1.004	1.052	1.004	1.008	1.006	1.009
.2.5	1.009	1.010	1.010	1.010	1.008	1.007	1.006	1.004	1.003	1.003	1.003	1.004	1.006	1.008	1.012
.3.5	1.007	1.012	1.012	1.012	1.018	1.070	1.010	1.004	1.003	1.003	1.003	1.004	1.006	1.007	1.009
.4.5	1.008	1.007	1.005	1.006	1.006	1.005	1.004	1.003	1.003	1.003	1.000	1.006	1.008	1.012	1.014
.5.5	1.006	1.005		1.009	1.006	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.005	1.008	1.021

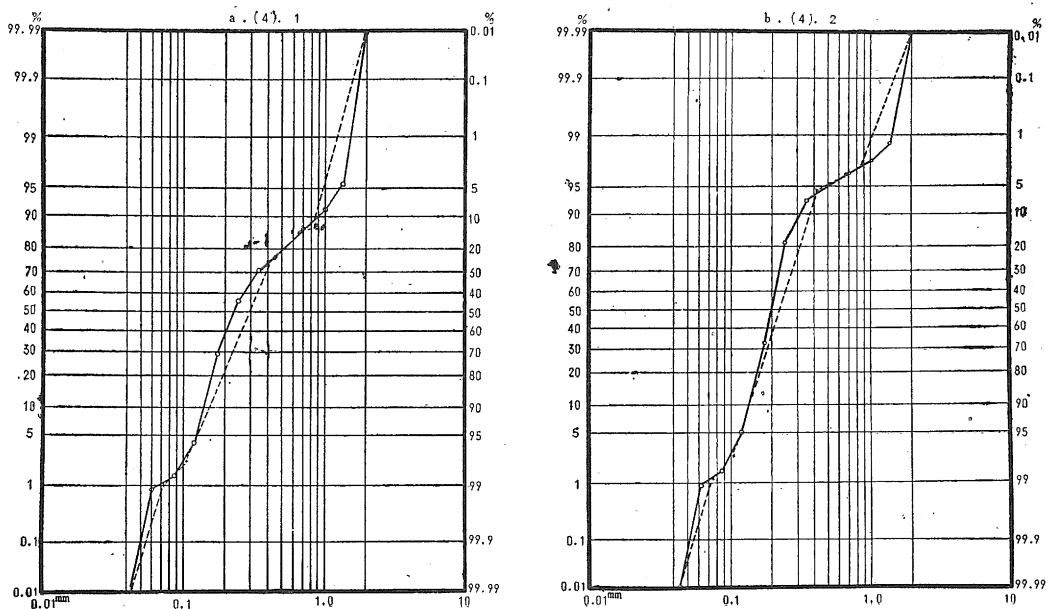
第5表 平均偏差(現地試料別)

試料番号	分級値 mm	供試量													
		1.41	1.00	0.84	0.71	0.50	0.42	0.35	0.25	0.177	0.125	0.105	0.088	0.074	0.062
(4).1	0.21	0.61	0.83	0.88	0.61	0.60	0.61	0.36	0.66	0.09	0.04	0.03	0.03	0.06	0.00
.2	0.05	0.13	0.16	0.17	0.10	0.13	0.12	0.06	1.40	0.14	0.03	0.02	0.03	0.08	0.00
.3	0.04	0.03	0.03	0.05	0.09	0.07	0.08	0.24	1.72	0.28	0.26	0.06	0.06	0.05	0.00
.4	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.16	1.63	0.40	0.14	0.07	0.06	0.09	0.00
.5	0.04	0.18	0.20	0.23	0.21	0.20	0.20	0.20	1.24	0.44	0.23	0.12	0.08	0.14	0.00

第 1 図



第 2 図



### 3. 考 察

ふるい分析の実験室誤差については、ほとんど見るべき研究がなされていない。<sup>(1),(4),(5)</sup> 著者はさきに分級誤差の重要性を指摘し、その理論的な考察についても報告した。<sup>(2),(3)</sup> 本報では、ふるい分け誤差を基準として、分取誤差・分級誤差を実験的に検討する。

#### A ふるい分け誤差

ふるい分析に同一の供試試料を反復使用する場合、採取誤差・分級誤差は考慮する必要がないから、第3表・第5表によりふるい分け誤差が単独に考察できる。

ふるい分け誤差の要因として、(1) ふるい目に対する砂粒の固着、(2) 供試量、(3) 振とう時間、(4) 吸湿水等が考えられる。これらのなかで、(1) は累加損失率に著しく影響するが、(1)~(4) の影響は平均偏差に対して著しくない。また、平均偏差は、最大度数の階級では1%以上であるが、大部分は0.1%以下である。

#### B 分取誤差

ふるい分析に同一の現地試料だけを使用すれば、採取誤差は考慮する必要がないから、分取誤差とふるい分け誤差の合成されたものとして、第2表は重要な資料である。

実験 (1)・(2) いずれの場合も、度数の平均偏差は0.1%以下である。実験 (1)・(2) に比べて、実験 (4) のほうの平均偏差が大きいのは、補助者の交替したがって個人誤差のためである。それゆえ、ふるい分けの過程、特に各フラクションをふるいから除去する過程の機械化が必要である。これはまた作業の能率化に関係する。

#### C 分級誤差

分級誤差は、分級値(ふるい目の開き)の選定が適当でないために、固有の粒度が求められないことを意味す

<sup>(3)</sup> る。同一の供試試料について、その固有の粒度は、ただ1つの粒度曲線として表現されるはずである。したがって、第1図・第2図は分級誤差の重要性を十分に示している。もし、粒度が正規分布であれば、確率紙を使用すると、分級誤差は表現できない。

### む す び

砂の固有の粒度を求めるための、ふるい分析の誤差について、次の結果を得た。

(1) 未経験者でも、十分注意してふるい分析を行えば、実用性を満足する精度のデータが得られる。

(2) 分取誤差・ふるい分け誤差を考慮して、本実験では、ふるい分析結果の表示(度数分布表)は小数第1位までにとどめるべきである。

(3) ふるい分析では、対象とする粒度の実態に適応した公比の等比級数に対応するふるい目の開きの選定が、最も肝要である。したがって、JIS A 1204, JIS A 1204 (E) にそれぞれ規定されているふるいは、あらゆる試料に対して適当とはいえない。

### 参 考 文 献

- (1) KLUMBEIN, W. C. : Amer. Jour. Sci. 27:204—214, 1934
- (2) 松浦義春 : Grade Scaleの選択について、第16回農業土木学会九州支部講演会で発表、1960
- (3) — : 砂の分級に対するふるいの選定、第16回農業土木学会中国・四国支部講演会で発表、1961
- (4) POST, A. H. : Soil Sci. 17:343—357, 1924
- (5) ROBINSON, G. W., and W. E. LLOYD : Jour. Agr. Sci. 7:144—353, 1915~1916

### Summary

In this study, the splitting, classifying and sieving errors in sieve analysis of sand were investigated. The conclusion is as follows:

1. Even an unexperienced person can obtain the sieving data of practically allowable accuracy by means of careful analysis.

2. Considering the splitting and sieving errors, it is proper to tabulate the sieving data in this study down to one place of decimals.

3. In sieve analysis that tests the unique grading, a choice of sieve openings corresponding to the geometrical series of suitable geometrical ratio should be conformed to the actual condition of the grading of the sand in question.

4. Two sets of sieves, those standardized in JIS A 1204 and JIS A 1204 (E), are not suitable, in case of obtaining the unique grading.