

# 沈降式粒度分析の手引き

Guide for Grain-Size Analysis Using a Settling Tube System

伊勢屋 ふじこ\*

Fujiko ISEYA

野外で採取した堆積物は、何を説明したいために粒度分析を行うかによって、その分析方法は異なる。ここで取り上げる沈降分析は、その堆積物を生じさせた営力に対して、粒子の沈降速度が支配的であると考えられる場合に行う。

本論は3章で構成される。第I章では、沈降速度の計算法について述べ、粒径別、水温別の沈降速度と沈降長1 m当たりの沈降時間を一覧表にして掲げる。第II章では、沈降式粒度分析装置のシステムについて説明し、新しく作る場合を設定して周辺の細々とした付属品についても具体的に述べる。そして、最後の第III章で、実際に沈降分析を行うにあたっての、試料の調整法や、機器の操作法などについて述べる。第III章は、水理実験センターにある沈降分析装置を使って、学群（学部）の学生が初めて沈降分析を行う場合を想定している。

## I 沈降速度の計算について

堆積物の沈降分析は、岩屑粒子の沈降速度を実測することによって粒径を算定する方法である。従って沈降速度と岩屑粒子の粒径との関係は既知のものでなければならない。岩屑粒子の粒径と沈降速度との関係を与える式は従来より数多く提案されている（たとえば土木学会編, 1985, p. 416—417）。これらの式は基本的には、粒子の重量と流体の抵抗とが釣り合って等速度運動をしているという考えにもとづいて導かれたものである。し

かし、いずれも適用範囲が狭かったり、あるいは式そのものに未知数がふくまれているなどといった問題点があり、どの式を採用するかによって沈降速度も異なって来る。ここでは、Gibbs *et al.* (1971) によって提案された(1)式を採用した。

$$V = \frac{-3\nu + \sqrt{9\nu^2 + gr^2P_f(P_s - P_f)(0.015476 + 0.19841r)}}{P_f(0.011607 + 0.14881r)} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 $V$  = 粒子の沈降速度 (cm/sec)

$\nu$  = 流体の動粘性係数 (cm<sup>2</sup>/sec)

$g$  = 重力の加速度 (cm/sec<sup>2</sup>)

$r$  = 粒子の直径 (cm)

$P_f$  = 流体の密度 (g/cm<sup>3</sup>)

$P_s$  = 粒子の密度 (g/cm<sup>3</sup>)

(1) 式は厳選されたガラスの球形粒子 (20  $\mu$ —5 mm) 一個一個について沈降速度を測定して求め、これらの実測値に適合するように係数を決めた経験式である。粒径が50  $\mu$ 以下の範囲ではストークスの理論解によって得られた結果にほぼ一致しており、逆に5 mm以上の所ではニュートンの抵抗則による解に平行となっている。

Gibbs *et al.* (1971) は(1)式は6 mm以下の粒子については問題なく適用できるとしており、我々が必要とする粒径範囲はこの式一つでほぼカバーできる。第1.1~1.4表にしばしば使う範囲についてその計算結果を掲げる。

これらの結果を堆積物の沈降速度に適用するに

\* 筑波大学水理実験センター

(1985年7月8日受理)

第1.1表 沈降速度の一覧表（水温17～18.5度C）

水温(度C)			17.0			17.5			18.0			18.5		
粒径 φ mm	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec
-2.75 6.727	62.429800	0 1.60	62.440600	0 1.60	62.451200	0 1.60	62.462200	0 1.60	62.473000	0 1.60	62.484000	0 1.60	62.495000	0 1.60
-2.50 5.657	56.125500	0 1.78	56.136800	0 1.78	56.147900	0 1.78	56.159400	0 1.78	56.171000	0 1.78	56.182800	0 1.78	56.194800	0 1.78
-2.25 4.757	50.299500	0 1.99	50.311500	0 1.99	50.323200	0 1.99	50.335200	0 1.99	50.347500	0 1.99	50.360000	0 1.99	50.372800	0 1.99
-2.00 4.000	44.919400	0 2.23	44.932100	0 2.23	44.945000	0 2.23	44.957200	0 2.22	44.970000	0 2.22	44.982800	0 2.22	44.995800	0 2.22
-1.75 3.364	39.957000	0 2.50	39.970500	0 2.50	39.983900	0 2.50	39.997300	0 2.50	40.010800	0 2.50	40.024400	0 2.50	40.038200	0 2.50
-1.50 2.828	35.388200	0 2.83	35.402700	0 2.82	35.416900	0 2.82	35.431200	0 2.82	35.445600	0 2.82	35.460000	0 2.82	35.474500	0 2.82
-1.25 2.378	31.192100	0 3.21	31.207600	0 3.20	31.222800	0 3.20	31.238000	0 3.20	31.253200	0 3.20	31.268500	0 3.20	31.283800	0 3.20
-1.00 2.000	27.350300	0 3.66	27.366800	0 3.65	27.383000	0 3.65	27.399100	0 3.65	27.415200	0 3.65	27.431400	0 3.65	27.447600	0 3.65
-0.75 1.682	23.846300	0 4.19	23.863800	0 4.19	23.881000	0 4.19	23.898100	0 4.19	23.915200	0 4.19	23.932400	0 4.19	23.949600	0 4.19
-0.50 1.414	20.664800	0 4.84	20.683200	0 4.83	20.701400	0 4.83	20.719400	0 4.83	20.737500	0 4.83	20.755600	0 4.83	20.773800	0 4.83
-0.25 1.189	17.790800	0 5.62	17.810100	0 5.61	17.829100	0 5.61	17.848000	0 5.61	17.866800	0 5.61	17.885600	0 5.61	17.904400	0 5.61
0.00 1.000	15.209300	0 6.57	15.229400	0 6.57	15.249200	0 6.57	15.268700	0 6.56	15.288000	0 6.56	15.307200	0 6.56	15.326400	0 6.55
0.25 0.841	12.905000	0 7.75	12.925700	0 7.74	12.946100	0 7.74	12.966200	0 7.72	12.986100	0 7.72	12.996000	0 7.72	13.015800	0 7.71
0.50 0.707	10.861800	0 9.21	10.882900	0 9.19	10.903600	0 9.17	10.924100	0 9.17	10.944400	0 9.17	10.964400	0 9.15	10.984000	0 9.15
0.75 0.595	9.063090	0 11.03	9.084320	0 11.01	9.105210	0 10.98	9.125810	0 10.98	9.146100	0 10.98	9.166100	0 10.96	9.185800	0 10.96
1.00 0.500	7.491840	0 13.35	7.512910	0 13.31	7.533650	0 13.27	7.554110	0 13.27	7.574300	0 13.27	7.594200	0 13.24	7.613800	0 13.24
1.25 0.420	6.130690	0 16.31	6.151290	0 16.26	6.171580	0 16.20	6.191610	0 16.20	6.211400	0 16.20	6.230900	0 16.15	6.250100	0 16.15
1.50 0.354	4.962360	0 20.15	4.982150	0 20.07	5.001670	0 19.99	5.020940	0 19.99	5.040000	0 19.99	5.058800	0 19.92	5.077300	0 19.92
1.75 0.297	3.969780	0 25.19	3.988440	0 25.07	4.006850	0 24.96	4.025050	0 24.96	4.043000	0 24.96	4.060700	0 24.84	4.078100	0 24.84
2.00 0.250	3.136270	0 31.89	3.153470	0 31.71	3.170470	0 31.54	3.187280	0 31.54	3.203800	0 31.54	3.220000	0 31.37	3.235800	0 31.37
2.25 0.210	2.445500	0 40.89	2.460970	0 40.63	2.476280	0 40.38	2.491450	0 40.38	2.506400	0 40.38	2.521100	0 40.14	2.535600	0 40.14
2.50 0.177	1.881470	0 53.15	1.895020	0 52.77	1.908450	0 52.40	1.921770	0 52.40	1.934900	0 52.40	1.947800	0 52.04	1.960500	0 52.04
2.75 0.149	1.428390	1 10.01	1.439920	1 9.45	1.451370	1 8.90	1.462750	1 8.90	1.473900	1 8.90	1.484800	1 8.36	1.495500	1 8.36
3.00 0.125	1.070720	1 33.40	1.080250	1 32.57	1.089730	1 31.77	1.099170	1 31.77	1.108570	1 31.77	1.117800	1 30.98	1.126800	1 30.98
3.25 0.105	0.793302	2 6.06	0.800960	2 4.85	0.808598	2 3.67	0.816213	2 3.67	0.823800	2 3.67	0.831200	2 2.52	0.838500	2 2.52
3.50 0.088	0.581779	2 51.89	0.587778	2 50.13	0.593770	2 48.42	0.599755	2 48.42	0.605700	2 48.42	0.611600	2 46.73	0.617400	2 46.73
3.75 0.074	0.422996	3 56.41	0.427589	3 53.87	0.432184	3 51.38	0.436779	3 51.38	0.441370	3 51.38	0.445900	3 48.95	0.450400	3 48.95
4.00 0.063	0.305411	5 27.43	0.308862	5 23.77	0.312317	5 20.19	0.315777	5 20.19	0.319200	5 20.19	0.322600	5 16.68	0.326000	5 16.68
4.50 0.044	0.156826	0 10 37.65	0.158693	0 10 30.15	0.160564	0 10 22.81	0.162441	0 10 22.81	0.164300	0 10 22.81	0.166150	0 10 15.61	0.168000	0 10 15.61
5.00 0.031	0.079513	0 20 57.66	0.080485	0 20 42.46	0.081462	0 20 27.57	0.082442	0 20 27.57	0.083420	0 20 27.57	0.084400	0 20 12.97	0.085380	0 20 12.97
5.50 0.022	0.040040	0 41 37.49	0.040538	0 41 6.84	0.041036	0 40 36.88	0.041538	0 40 36.88	0.042036	0 40 36.88	0.042530	0 40 7.46	0.043020	0 40 7.46
6.00 0.016	0.020093	1 22 56.99	0.020344	1 21 55.54	0.020595	1 20 55.58	0.020849	1 20 55.58	0.021095	1 20 55.58	0.021340	1 19 56.42	0.021580	1 19 56.42
6.50 0.011	0.010064	2 45 36.39	0.010190	2 43 33.27	0.010317	2 41 32.54	0.010445	2 41 32.54	0.010570	2 41 32.54	0.010695	2 39 34.34	0.010820	2 39 34.34
7.00 0.008	0.005036	5 30 55.77	0.005100	5 26 47.60	0.005163	5 22 47.92	0.005227	5 22 47.92	0.005285	5 22 47.92	0.005340	5 18 51.45	0.005390	5 18 51.45
7.50 0.006	0.002520	11 1 26.34	0.002551	10 53 14.83	0.002583	10 45 15.27	0.002615	10 45 15.27	0.002645	10 45 15.27	0.002675	10 37 26.84	0.002700	10 37 26.84
8.00 0.004	0.001260	22 2 21.05	0.001276	21 45 57.82	0.001292	21 30 17.70	0.001308	21 30 17.70	0.001322	21 30 17.70	0.001336	21 14 40.20	0.001350	21 14 40.20
8.50 0.003	0.000630	44 5 27.48	0.000638	43 31 59.08	0.000646	42 59 20.53	0.000654	42 59 20.53	0.000660	42 59 20.53	0.000666	42 29 58.56	0.000670	42 29 58.56
9.00 0.002	0.000315	88 8 10.63	0.000320	86 53 24.09	0.000323	86 6 16.50	0.000327	84 59 48.97	0.000330	84 59 48.97	0.000332	84 59 48.97	0.000334	84 59 48.97

第1.2表 沈降速度の一覧表(水温19~20.5度C)

水温(度C)		19.0			19.5			20.0			20.5		
粒径 $\phi$	mm	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec
-2.75	6.727	62.473100	0 1.60	62.484400	0 1.60	62.495600	0 1.60	62.506600	0 1.60	62.506600	0 1.60	62.506600	0 1.60
-2.50	5.657	56.170700	0 1.78	56.182300	0 1.78	56.193800	0 1.78	56.205200	0 1.78	56.205200	0 1.78	56.205200	0 1.78
-2.25	4.757	50.347000	0 1.99	50.359100	0 1.99	50.371100	0 1.99	50.382900	0 1.98	50.382900	0 1.98	50.382900	0 1.98
-2.00	4.000	44.969700	0 2.22	44.982400	0 2.22	44.994900	0 2.22	44.994900	0 2.22	44.994900	0 2.22	44.994900	0 2.22
-1.75	3.364	40.010500	0 2.50	40.023300	0 2.50	40.037000	0 2.50	40.037000	0 2.50	40.037000	0 2.50	40.037000	0 2.50
-1.50	2.828	35.445300	0 2.82	35.459400	0 2.82	35.473300	0 2.82	35.487000	0 2.82	35.487000	0 2.82	35.487000	0 2.82
-1.25	2.378	31.252900	0 3.20	31.267900	0 3.20	31.282600	0 3.20	31.282600	0 3.20	31.282600	0 3.20	31.282600	0 3.20
-1.00	2.000	27.415000	0 3.65	27.430800	0 3.65	27.446400	0 3.65	27.446400	0 3.64	27.446400	0 3.64	27.446400	0 3.64
-0.75	1.682	23.914900	0 4.18	23.931600	0 4.18	23.948000	0 4.18	23.948000	0 4.18	23.948000	0 4.17	23.948000	0 4.17
-0.50	1.414	20.737100	0 4.82	20.754600	0 4.82	20.771900	0 4.82	20.771900	0 4.81	20.771900	0 4.81	20.771900	0 4.81
-0.25	1.189	17.866500	0 5.60	17.884800	0 5.59	17.902900	0 5.59	17.902900	0 5.59	17.902900	0 5.58	17.902900	0 5.58
0.00	1.000	15.288000	0 6.54	15.307000	0 6.53	15.325700	0 6.53	15.325700	0 6.53	15.325700	0 6.52	15.325700	0 6.52
0.25	0.841	12.985900	0 7.70	13.005500	0 7.69	13.024700	0 7.69	13.024700	0 7.68	13.024700	0 7.67	13.024700	0 7.67
0.50	0.707	10.944200	0 9.14	10.964100	0 9.12	10.983700	0 9.12	10.983700	0 9.10	10.983700	0 9.09	10.983700	0 9.09
0.75	0.595	9.146090	0 10.93	9.166090	0 10.91	9.185790	0 10.91	9.185790	0 10.89	9.185790	0 10.86	9.185790	0 10.86
1.00	0.500	7.574260	0 13.20	7.594140	0 13.17	7.613720	0 13.17	7.613720	0 13.13	7.613720	0 13.10	7.613720	0 13.10
1.25	0.420	6.211330	0 16.10	6.230800	0 16.05	6.249990	0 16.05	6.249990	0 16.00	6.249990	0 15.95	6.249990	0 15.95
1.50	0.354	5.039940	0 19.84	5.058700	0 19.77	5.077200	0 19.77	5.077200	0 19.70	5.077200	0 19.63	5.077200	0 19.63
1.75	0.297	4.043010	0 24.73	4.060750	0 24.63	4.078270	0 24.63	4.078270	0 24.52	4.078270	0 24.42	4.078270	0 24.42
2.00	0.250	3.203890	0 31.21	3.220330	0 31.05	3.236570	0 31.05	3.236570	0 30.90	3.236570	0 30.74	3.236570	0 30.74
2.25	0.210	2.506460	0 39.90	2.521330	0 39.66	2.536040	0 39.66	2.536040	0 39.43	2.536040	0 39.21	2.536040	0 39.21
2.50	0.177	1.934980	0 51.68	1.948080	0 51.33	1.961070	0 51.33	1.961070	0 50.99	1.961070	0 50.66	1.961070	0 50.66
2.75	0.149	1.474050	1 7.84	1.485280	1 7.33	1.496430	1 7.33	1.496430	1 6.83	1.496430	1 6.33	1.496430	1 6.33
3.00	0.125	1.108570	1 30.21	1.117920	1 29.45	1.127220	1 29.45	1.127220	1 28.71	1.127220	1 27.99	1.127220	1 27.99
3.25	0.105	0.823807	2 1.39	0.831378	2 0.28	0.838925	2 0.28	0.838925	1 59.20	0.838925	1 58.14	0.838925	1 58.14
3.50	0.088	0.605731	2 45.09	0.611700	2 43.48	0.617660	2 43.48	0.617660	2 41.90	0.617660	2 40.36	0.617660	2 40.36
3.75	0.074	0.441374	3 46.57	0.445970	3 44.23	0.450566	3 44.23	0.450566	3 41.94	0.450566	3 39.70	0.450566	3 39.70
4.00	0.063	0.319242	5 13.24	0.322710	5 9.88	0.326184	5 9.88	0.326184	5 6.58	0.326184	5 3.34	0.326184	5 3.34
4.50	0.044	0.164324	0 10 8.55	0.166213	0 10 1.64	0.168106	0 10 1.64	0.168106	0 9 54.86	0.168106	0 9 48.21	0.168106	0 9 48.21
5.00	0.031	0.083427	0 19 58.66	0.084415	0 19 44.62	0.085407	0 19 44.62	0.085407	0 19 30.87	0.085407	0 19 17.36	0.085407	0 19 17.36
5.50	0.022	0.042040	0 39 38.67	0.042546	0 39 10.38	0.043055	0 39 10.38	0.043055	0 38 42.64	0.043055	0 38 15.39	0.043055	0 38 15.39
6.00	0.016	0.021104	1 18 58.50	0.021360	1 18 1.76	0.021616	1 18 1.76	0.021616	1 17 6.15	0.021616	1 16 11.37	0.021616	1 16 11.37
6.50	0.011	0.010573	2 37 38.11	0.010701	2 35 44.69	0.010831	2 35 44.69	0.010831	2 33 52.98	0.010831	2 32 3.62	0.010831	2 32 3.62
7.00	0.008	0.005292	5 14 57.79	0.005356	5 11 10.09	0.005421	5 11 10.09	0.005421	5 7 26.68	0.005421	5 3 46.38	0.005421	5 3 46.38
7.50	0.006	0.002647	10 29 40.38	0.002679	10 22 4.69	0.002712	10 22 4.69	0.002712	10 14 35.42	0.002712	10 7 16.75	0.002712	10 7 16.75
8.00	0.004	0.001324	20 58 48.35	0.001340	20 44 3.64	0.001356	20 44 3.64	0.001356	20 28 46.88	0.001356	20 14 34.75	0.001356	20 14 34.75
8.50	0.003	0.000662	41 58 12.58	0.000671	41 25 24.50	0.000678	41 25 24.50	0.000678	40 58 40.30	0.000678	40 27 56.92	0.000678	40 27 56.92
9.00	0.002	0.000331	83 55 1.94	0.000335	82 56 34.75	0.000339	81 54 47.88	0.000339	81 54 47.88	0.000339	80 54 31.13	0.000339	80 54 31.13

第1.3表 沈降速度の一覧表 (水温21~22.5度C)

水温(度C)	21.0				21.5				22.0				22.5			
	粒径 φ mm	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降時間 ( /lm) h m sec	沈降時間 ( /lm) h m sec
-2.75	0.727	62.517600	0 1.60	0 1.60	62.528700	0 1.60	62.539700	0 1.60	62.550800	0 1.60	62.561900	0 1.60	62.573000	0 1.60	62.584100	0 1.60
-2.50	0.657	56.216400	0 1.78	0 1.78	56.227500	0 1.78	56.238600	0 1.78	56.249700	0 1.78	56.260800	0 1.78	56.271900	0 1.78	56.283000	0 1.78
-2.25	0.757	50.394600	0 1.98	0 1.98	50.405700	0 1.98	50.416800	0 1.98	50.427900	0 1.98	50.439000	0 1.98	50.450100	0 1.98	50.461200	0 1.98
-2.00	0.400	45.019400	0 2.22	0 2.22	45.030500	0 2.22	45.041600	0 2.22	45.052700	0 2.22	45.063800	0 2.22	45.074900	0 2.22	45.086000	0 2.22
-1.75	0.364	40.062900	0 2.50	0 2.50	40.074000	0 2.50	40.085100	0 2.50	40.096200	0 2.50	40.107300	0 2.50	40.118400	0 2.50	40.129500	0 2.50
-1.50	0.288	35.500600	0 2.82	0 2.82	35.511700	0 2.82	35.522800	0 2.82	35.533900	0 2.82	35.545000	0 2.82	35.556100	0 2.82	35.567200	0 2.82
-1.25	0.378	31.311400	0 3.19	0 3.19	31.322500	0 3.19	31.333600	0 3.19	31.344700	0 3.19	31.355800	0 3.19	31.366900	0 3.19	31.378000	0 3.19
-1.00	0.200	27.476900	0 3.64	0 3.64	27.488000	0 3.64	27.499100	0 3.64	27.510200	0 3.64	27.521300	0 3.64	27.532400	0 3.64	27.543500	0 3.64
-0.75	0.182	23.980200	0 4.17	0 4.17	23.991300	0 4.17	24.002400	0 4.17	24.013500	0 4.17	24.024600	0 4.17	24.035700	0 4.17	24.046800	0 4.17
-0.50	0.144	20.805600	0 4.81	0 4.81	20.816700	0 4.81	20.827800	0 4.81	20.838900	0 4.81	20.850000	0 4.81	20.861100	0 4.81	20.872200	0 4.81
-0.25	0.189	17.938100	0 5.57	0 5.57	17.949200	0 5.57	17.960300	0 5.57	17.971400	0 5.57	17.982500	0 5.57	17.993600	0 5.57	17.994700	0 5.57
0.00	1.000	15.362200	0 6.51	0 6.51	15.373300	0 6.51	15.384400	0 6.51	15.395500	0 6.51	15.406600	0 6.51	15.417700	0 6.51	15.428800	0 6.51
0.25	0.841	13.062200	0 7.66	0 7.66	13.073300	0 7.66	13.084400	0 7.66	13.095500	0 7.66	13.106600	0 7.66	13.117700	0 7.66	13.128800	0 7.66
0.50	0.707	11.021900	0 9.07	0 9.07	11.033000	0 9.07	11.044100	0 9.07	11.055200	0 9.07	11.066300	0 9.07	11.077400	0 9.07	11.088500	0 9.07
0.75	0.595	9.224270	0 10.84	0 10.84	9.235370	0 10.84	9.246470	0 10.84	9.257570	0 10.84	9.268670	0 10.84	9.279770	0 10.84	9.290870	0 10.84
1.00	0.500	7.651990	0 13.07	0 13.07	7.663090	0 13.07	7.674190	0 13.07	7.685290	0 13.07	7.696390	0 13.07	7.707490	0 13.07	7.718590	0 13.07
1.25	0.420	6.287530	0 15.90	0 15.90	6.298630	0 15.90	6.309730	0 15.90	6.320830	0 15.90	6.331930	0 15.90	6.343030	0 15.90	6.354130	0 15.90
1.50	0.354	5.113450	0 19.56	0 19.56	5.124550	0 19.56	5.135650	0 19.56	5.146750	0 19.56	5.157850	0 19.56	5.168950	0 19.56	5.180050	0 19.56
1.75	0.297	4.112640	0 24.32	0 24.32	4.123740	0 24.32	4.134840	0 24.32	4.145940	0 24.32	4.157040	0 24.32	4.168140	0 24.32	4.179240	0 24.32
2.00	0.250	3.268500	0 30.60	0 30.60	3.279600	0 30.60	3.290700	0 30.60	3.301800	0 30.60	3.312900	0 30.60	3.324000	0 30.60	3.335100	0 30.60
2.25	0.210	2.565030	0 38.99	0 38.99	2.576130	0 38.99	2.587230	0 38.99	2.598330	0 38.99	2.609430	0 38.99	2.620530	0 38.99	2.631630	0 38.99
2.50	0.177	1.986720	0 50.33	0 50.33	1.997820	0 50.33	1.998920	0 50.33	2.000020	0 50.33	2.001120	0 50.33	2.002220	0 50.33	2.003320	0 50.33
2.75	0.149	1.518510	1 5.85	1 5.85	1.529610	1 5.85	1.530710	1 5.85	1.531810	1 5.85	1.532910	1 5.85	1.534010	1 5.85	1.535110	1 5.85
3.00	0.125	1.145700	1 27.28	1 27.28	1.156800	1 27.28	1.157900	1 27.28	1.159000	1 27.28	1.160100	1 27.28	1.161200	1 27.28	1.162300	1 27.28
3.25	0.105	0.853946	1 57.10	1 57.10	0.865046	1 57.10	0.866146	1 57.10	0.867246	1 57.10	0.868346	1 57.10	0.869446	1 57.10	0.870546	1 57.10
3.50	0.088	0.629552	2 38.84	2 38.84	0.640652	2 38.84	0.641752	2 38.84	0.642852	2 38.84	0.643952	2 38.84	0.645052	2 38.84	0.646152	2 38.84
3.75	0.074	0.459758	3 37.51	3 37.51	0.470858	3 37.51	0.471958	3 37.51	0.473058	3 37.51	0.474158	3 37.51	0.475258	3 37.51	0.476358	3 37.51
4.00	0.063	0.333142	5 0.17	5 0.17	0.344242	5 0.17	0.345342	5 0.17	0.346442	5 0.17	0.347542	5 0.17	0.348642	5 0.17	0.349742	5 0.17
4.50	0.044	0.171912	0 9 41.69	0 9 41.69	0.173012	0 9 41.69	0.174112	0 9 41.69	0.175212	0 9 41.69	0.176312	0 9 41.69	0.177412	0 9 41.69	0.178512	0 9 41.69
5.00	0.031	0.087403	0 19 4.12	0 19 4.12	0.088503	0 19 4.12	0.089603	0 19 4.12	0.090703	0 19 4.12	0.091803	0 19 4.12	0.092903	0 19 4.12	0.094003	0 19 4.12
5.50	0.022	0.044078	0 37 48.70	0 37 48.70	0.045178	0 37 48.70	0.046278	0 37 48.70	0.047378	0 37 48.70	0.048478	0 37 48.70	0.049578	0 37 48.70	0.050678	0 37 48.70
6.00	0.016	0.022135	1 15 17.79	1 15 17.79	0.023235	1 15 17.79	0.024335	1 15 17.79	0.025435	1 15 17.79	0.026535	1 15 17.79	0.027635	1 15 17.79	0.028735	1 15 17.79
6.50	0.011	0.011091	2 30 16.15	2 30 16.15	0.012191	2 30 16.15	0.013291	2 30 16.15	0.014391	2 30 16.15	0.015491	2 30 16.15	0.016591	2 30 16.15	0.017691	2 30 16.15
7.00	0.008	0.005552	5 0 11.76	5 0 11.76	0.006652	5 0 11.76	0.007752	5 0 11.76	0.008852	5 0 11.76	0.009952	5 0 11.76	0.011052	5 0 11.76	0.012152	5 0 11.76
7.50	0.006	0.002777	10 0 10.38	10 0 10.38	0.003877	10 0 10.38	0.004977	10 0 10.38	0.006077	10 0 10.38	0.007177	10 0 10.38	0.008277	10 0 10.38	0.009377	10 0 10.38
8.00	0.004	0.001389	20 0 0.32	20 0 0.32	0.002489	20 0 0.32	0.003589	20 0 0.32	0.004689	20 0 0.32	0.005789	20 0 0.32	0.006889	20 0 0.32	0.007989	20 0 0.32
8.50	0.003	0.000694	40 1 18.33	40 1 18.33	0.001794	40 1 18.33	0.002894	40 1 18.33	0.003994	40 1 18.33	0.005094	40 1 18.33	0.006194	40 1 18.33	0.007294	40 1 18.33
9.00	0.002	0.000347	80 0 7.47	80 0 7.47	0.000897	80 0 7.47	0.001997	80 0 7.47	0.003097	80 0 7.47	0.004197	80 0 7.47	0.005297	80 0 7.47	0.006397	80 0 7.47

第 1.4 表 沈降速度の一覧表 (水温 23~24.5 度 C)

水温 (度C)			23.0			23.5			24.0			24.5		
粒径 $\phi$	mm	沈降速度 (cm/sec)	沈降時間 ( /lm)	h	m	sec	沈降速度 (cm/sec)	h	m	sec	沈降速度 (cm/sec)	h	m	sec
-2.75	6.727	62.561900	0 1.60	62.573100	0 1.60	62.584200	0 1.60	62.595800	0 1.60	62.595800	0 1.60	62.595800	0 1.60	62.595800
-2.50	5.657	56.281600	0 1.78	56.273000	0 1.78	56.284200	0 1.78	56.295900	0 1.78	56.295900	0 1.78	56.295900	0 1.78	56.295900
-2.25	4.757	50.441100	0 1.98	50.452700	0 1.98	50.464300	0 1.98	50.476100	0 1.98	50.476100	0 1.98	50.476100	0 1.98	50.476100
-2.00	4.000	45.067800	0 2.22	45.079800	0 2.22	45.091700	0 2.22	45.103800	0 2.22	45.103800	0 2.22	45.103800	0 2.22	45.103800
-1.75	3.364	40.113400	0 2.49	40.125900	0 2.49	40.138300	0 2.49	40.150800	0 2.49	40.150800	0 2.49	40.150800	0 2.49	40.150800
-1.50	2.828	35.553700	0 2.81	35.566700	0 2.81	35.579600	0 2.81	35.592600	0 2.81	35.592600	0 2.81	35.592600	0 2.81	35.592600
-1.25	2.378	31.367300	0 3.19	31.381000	0 3.19	31.394500	0 3.19	31.408100	0 3.19	31.408100	0 3.19	31.408100	0 3.19	31.408100
-1.00	2.000	27.535800	0 3.63	27.550100	0 3.63	27.564200	0 3.63	27.578400	0 3.63	27.578400	0 3.63	27.578400	0 3.63	27.578400
-0.75	1.682	24.042100	0 4.16	24.057100	0 4.16	24.071900	0 4.16	24.086700	0 4.16	24.086700	0 4.16	24.086700	0 4.16	24.086700
-0.50	1.414	20.870500	0 4.79	20.886200	0 4.79	20.901700	0 4.79	20.917100	0 4.79	20.917100	0 4.79	20.917100	0 4.79	20.917100
-0.25	1.189	18.005600	0 5.55	18.022000	0 5.55	18.038100	0 5.55	18.054100	0 5.55	18.054100	0 5.55	18.054100	0 5.55	18.054100
0.00	1.000	15.432100	0 6.48	15.449000	0 6.47	15.465700	0 6.47	15.482200	0 6.47	15.482200	0 6.47	15.482200	0 6.47	15.482200
0.25	0.841	13.134100	0 7.61	13.151400	0 7.60	13.168500	0 7.60	13.185400	0 7.59	13.185400	0 7.59	13.185400	0 7.58	13.185400
0.50	0.707	11.095000	0 9.01	11.112700	0 9.00	11.130100	0 9.00	11.147300	0 8.98	11.147300	0 8.98	11.147300	0 8.97	11.147300
0.75	0.595	9.297930	0 10.76	9.315700	0 10.73	9.333210	0 10.73	9.350530	0 10.71	9.350530	0 10.69	9.350530	0 10.68	9.350530
1.00	0.500	7.725320	0 12.94	7.743020	0 12.91	7.760460	0 12.91	7.777700	0 12.89	7.777700	0 12.89	7.777700	0 12.86	7.777700
1.25	0.420	6.359550	0 15.72	6.376950	0 15.68	6.394110	0 15.68	6.411060	0 15.64	6.411060	0 15.64	6.411060	0 15.60	6.411060
1.50	0.354	5.183120	0 19.29	5.199970	0 19.23	5.216600	0 19.23	5.233030	0 19.17	5.233030	0 19.17	5.233030	0 19.11	5.233030
1.75	0.297	4.178860	0 23.93	4.194920	0 23.84	4.210770	0 23.84	4.226440	0 23.75	4.226440	0 23.75	4.226440	0 23.66	4.226440
2.00	0.250	3.330220	0 30.03	3.345220	0 29.89	3.360050	0 29.89	3.374720	0 29.76	3.374720	0 29.76	3.374720	0 29.63	3.374720
2.25	0.210	2.621280	0 38.15	2.634990	0 37.95	2.648560	0 37.95	2.662000	0 37.76	2.662000	0 37.76	2.662000	0 37.57	2.662000
2.50	0.177	2.036720	0 49.10	2.048950	0 48.81	2.061080	0 48.81	2.073100	0 48.52	2.073100	0 48.52	2.073100	0 48.24	2.073100
2.75	0.149	1.561770	1 4.03	1.572400	1 3.60	1.582950	1 3.60	1.593430	1 3.17	1.593430	1 3.17	1.593430	1 2.76	1.593430
3.00	0.125	1.182080	1 24.60	1.191050	1 23.96	1.199980	1 23.96	1.208860	1 23.33	1.208860	1 23.33	1.208860	1 22.72	1.208860
3.25	0.105	0.883687	1 53.16	0.891055	1 52.23	0.898398	1 52.23	0.905711	1 51.31	0.905711	1 51.31	0.905711	1 50.41	0.905711
3.50	0.088	0.653214	2 33.09	0.659100	2 31.72	0.664975	2 31.72	0.670836	2 30.38	0.670836	2 30.38	0.670836	2 29.07	0.670836
3.75	0.074	0.478126	3 29.15	0.482711	3 27.16	0.487296	3 25.21	0.491875	3 25.21	0.491875	3 25.21	0.491875	3 23.30	0.491875
4.00	0.063	0.347101	4 48.10	0.350596	4 45.23	0.354096	4 45.23	0.357595	4 42.41	0.357595	4 42.41	0.357595	4 39.65	0.357595
4.50	0.044	0.179586	0 9 16.84	0.181517	0 9 10.91	0.183453	0 9 10.91	0.185392	0 9 5.10	0.185392	0 9 5.10	0.185392	0 8 59.40	0.185392
5.00	0.031	0.091441	0 18 13.60	0.092460	0 18 1.55	0.093483	0 17 49.71	0.094509	0 17 49.71	0.094509	0 17 49.71	0.094509	0 17 38.10	0.094509
5.50	0.022	0.046151	0 36 6.80	0.046675	0 35 42.48	0.047202	0 35 18.54	0.047730	0 35 18.54	0.047730	0 35 18.54	0.047730	0 34 55.14	0.047730
6.00	0.016	0.023186	1 11 53.00	0.023451	1 11 4.29	0.023719	1 10 16.13	0.023987	1 9 28.95	0.023987	1 9 28.95	0.023987	1 9 28.95	0.023987
6.50	0.011	0.011620	2 23 25.62	0.011754	2 21 47.75	0.011889	2 20 11.03	0.012024	2 18 36.61	0.012024	2 18 36.61	0.012024	2 18 36.61	0.012024
7.00	0.008	0.005817	4 46 29.72	0.005884	4 43 15.46	0.005952	4 40 0.06	0.006020	4 36 51.54	0.006020	4 36 51.54	0.006020	4 36 51.54	0.006020
7.50	0.006	0.002910	9 32 46.15	0.002944	9 26 10.88	0.002978	9 19 39.08	0.003011	9 13 26.40	0.003011	9 13 26.40	0.003011	9 13 26.40	0.003011
8.00	0.004	0.001455	19 5 14.27	0.001472	18 52 7.03	0.001490	18 38 41.28	0.001506	18 26 23.05	0.001506	18 26 23.05	0.001506	18 26 23.05	0.001506
8.50	0.003	0.000727	38 11 4.41	0.000736	37 45 17.67	0.000745	37 16 42.19	0.000754	36 51 37.23	0.000754	36 51 37.23	0.000754	36 51 37.23	0.000754
9.00	0.002	0.000364	76 17 45.22	0.000368	75 33 11.50	0.000373	74 24 21.22	0.000376	73 47 33.50	0.000376	73 47 33.50	0.000376	73 47 33.50	0.000376

は種々の問題があることはいうまでもない。即ち、(1)式は完全な球形粒子を使っていること、粒子の密度が均一なこと、単一粒子の場合の沈降速度であることという条件下で求められたのに対して、実際に分析する堆積物は、粒子の形はふぞろい窮まりなく、密度も厳密に言えば様々なものが混じっている。そのうえ、沈降分析は粒子群の粒径分布を求めるという本来の目的を達成するために、一度に多量の粒子をまとめて沈降させることにより、岩屑粒子は沈降時に相互に干渉しあって沈降速度がその影響を受けることは容易に想像される。これに対しては、Gibbs (1972) が、沈降管の直径が大きい場合には試料の量によってそれほど沈降速度は変化しないことを示している。

いずれにしても、沈降分析の結果得られる粒径分布曲線は、均一密度の球形粒子におきかえた場合に相当する。

## II 沈降式粒度分析装置の概要

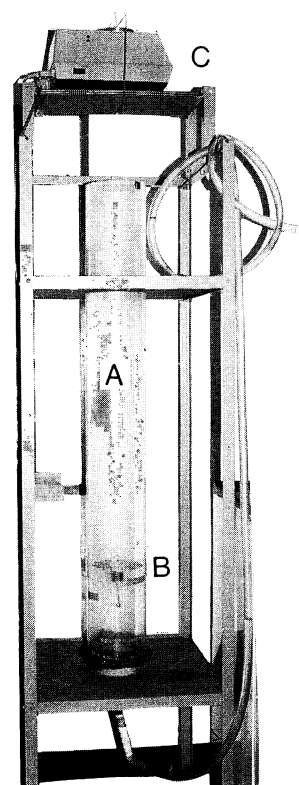
### II-1 沈降式粒度分析装置を構成する機器とその付属品

水理実験センターには、第2表に示す2種類の沈降管を備えた沈降式粒度分析装置がある。これらは、Gibbs (1974) を参考に製作したものである。沈降管の直径と沈降長を変えて沈降速度の比較を行った Gibbs (1972) の結果からみると、これらの沈降管の直径と沈降長はいずれも充分満足できる規模のものである。第1図には沈降管Ⅰのシステムの写真を示す。特に大粒子の堆積物を分析する場合を除いては、たいていの場合沈降管Ⅰを用いて分析する。沈降管Ⅰは、空調設備の整った実験室に据え付けてあるため、水温の制御が可能であり、いつでも分析をすることができる。それに対して、沈降管Ⅱは大規模なために大型水路建屋内に設置してあり、水温制御が出来ないため利用期間は限られる。

装置の基本的な設計は、沈降管 (A) の中を沈降していく粒子を受け皿 (B、第2図) で受けて、その積算の重量変化を電子天秤 (C) で計量し、それを記録計 (第5図) に記録させるという

第2表 沈降式粒度分析装置を構成する機器の一覧

	沈 降 管 Ⅰ	沈 降 管 Ⅱ
管 径	15 cm	32 cm
沈 降 長	1~1.2m	3~5 m
分 析 可 能 な 粒 径 範 囲	~粗砂	中砂~細れき
電 子 天 秤	SARTORIUS 3705	SARTORIUS 3713M P
定電圧発生装置	直流標準電圧電流発生器 2853 横河電機製	
記 録 計	多ペンレコーダー卓上型 R-10 理化電機製	



第1図 沈降式粒度分析装置の本体  
A：沈降管，B：受け皿，C：電子天秤

ものである。受け皿と電子天秤とは糸で繋がれている。以下では沈降管Ⅰのシステムを構成する機器と付属品について、その性能や作り方について

述べる。沈降管Ⅱを構成する機器もこれらとほとんど大差がない。

**沈降管** 沈降管は、透明アクリル製のものを使った。沈降管は鉛直に固定する必要がある。これは、細工の容易なキトーアングルで枠組みを作り、上下2箇所を、中央部に沈降管の直径分の円をくり抜いた厚めの合板で支えて固定した。沈降管の最下端には、漏斗を接着した。漏斗には、ビニールホースをつないで、その端を枠組みにくくりつけてある。こうすることによって、沈降管内の水面高さを容易に調節でき、さらに、沈降管の最下端に堆積した不用な試料の回収を楽に行うことができる。

**受け皿用の円板** 第2図に受け皿用の円板の写真を示す。受け皿用の円板は沈降管の直径よりも小さく作る。円板が、沈降管の内壁にふれると重量変化が正しく表示されないからである。また、沈降管の内壁を伝わって、水中を沈降するよりも速い速度で落ちる粒子がある場合、その粒子を円板が受けてしまって、その重量を測定してしまうことがないようにするためである。

受け皿は水中で水平に保たれていなければならない。そのために、受け皿の裏側に錘をつける。ここでは、六角ボルトを付けた。こうすると受け皿の重さだけで相当なものになってしまうが、この点は、円板の裏側に木片をつけて浮力を生じさせることによって解決された。

**電子天秤** 重量変化がアナログ出力されるものであればなんでもよい。電子天秤の出力に風袋除去

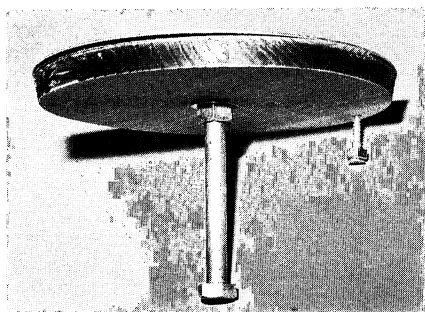
の能力が備わったものであれば、次に掲げる定電圧発生装置は不要である。

**定電圧発生装置** 電子天秤の出力は、新しく沈降して加わった試料の重さ+風袋の重さ(受け皿用の円板とそれに付随したもの)である。新しく沈降しつつある試料の重量変化のみを取り出すためには、試料投下前に電子天秤に掛かっていた電圧を0にしておかなければならない。そのために、定電圧発生装置が必要となる。つまり、これを使って打ち消し電圧をかけることにより、試料の重量変化のみを記録計に出力させることが出来る。

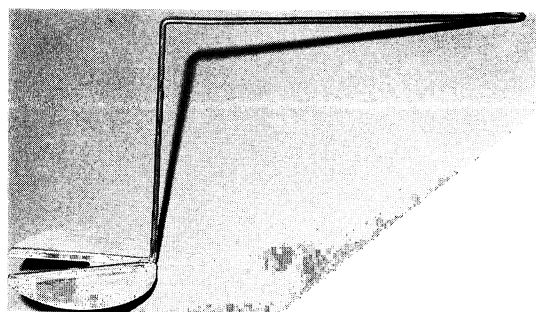
**記録計** 記録計は応答特性のよいものが必要である。極少量の試料を分析する時には、極めて感度のよいものがある。出力値に応じてフルスケールをかえることができるものが望ましい。また、設定したフルスケールを越えてしまって記録がだめになることを防ぐために、できればゼロ・サプレスの機能を備えた記録計があるとよい。

**試料投入のための円板** 分析する試料をつけるための円板を第3図に示す。円板の直径は、沈降管のその5~8割程度で、その中央部にV字型の深い切り込みを入れる。針金を細工してハンダ付けをし、これを把手にする。

**受け皿と電子天秤を繋ぐ糸と針金棒** 受け皿と電子天秤とは糸で繋がれている。糸は強度の強いものでなければならない。また、よりのつよい糸は適さない。計測している途中で円板が回転してしまうようになるからである。此处ではビニロン測量水系を使用した。太めの針金を電子天秤の断面



第2図 受け皿用の円板



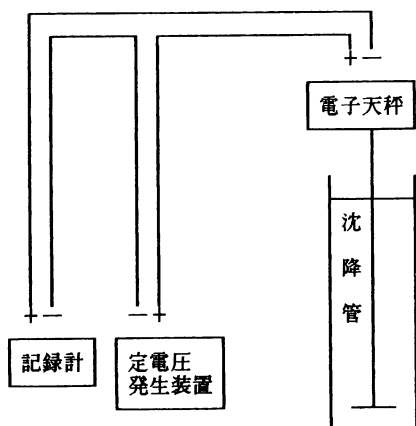
第3図 試料投入のための円板

積よりもやや大きい四角形に成形して、その一辺の中央に糸を結びつける。そしてその対辺の中央には支点をとりつける。支点は、釘のように先が鋭く尖ったものがよい。

## II-2 装置のセッティング

ここでは、水理実験センターにある沈降管Ⅰのシステムを使って分析を行う時に限定して、装置のセッティング方法を述べる。

1) 沈降管に脱気水を静かに満たす。これは沈降分析をする前の日にやっておかなければならない。そして空調設備を運転して室温を制御し、水温が室温と同じになるようにしておく。室温は20度C前後が良い。沈降管に水を満たしたら、受け皿用の円板(第2図)とそれに付けた糸とを水没させておく。これらに水を充分含ませておいて、



第4図 配線図

測定中に重量変化をしたり、糸が伸びたりするのを防ぐためである。

2) 電子天秤の上皿中央に針金棒の支点がくるように、天秤の据え付け位置を調整する。上皿に直接支点を乗せると、分析の途中で針金棒が回転してしまっ、天秤の外周や天秤を乗せている台に接触してしまうことがある。これを防ぐには、支点と上皿との間に薄く切ったケソムをはさむとよい。

3) 受け皿用の円板が沈降管の内壁に障らないように、針金棒の支点の位置を微調整して慎重にセットする。円板が回転していれば内壁には触れていないので、これを目安にする。

4) 第4図の配線図にしたがって機器類を結線する。

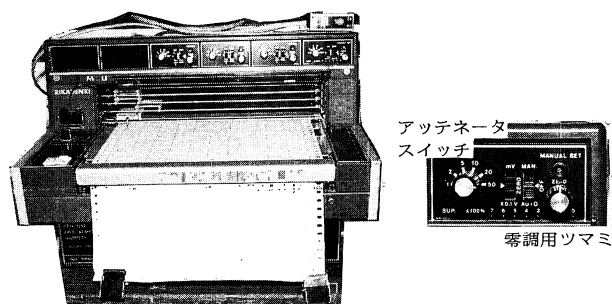
5) 分析に取りかかる前に機器類の電源を予め投入し、機器を暖めておく。

## II-3 記録計の調整

第5図はここで使用している理化電機製ペンレコーダーとその多レンジパネル面の拡大写真である。また第6図は定電圧発生装置のパネル面の写真である。これらを使って電子天秤の出力を記録させる手順を述べる。

1) 記録計本体の零点の設定をする。これは、入力のない状態(写真の状態)で零調用ツマミによって行う。零点はフルスケール内の任意の位置に設定可能であるが、記録紙の目盛りの左端に調整する。以後このツマミは障らない。

2) 打ち消し電圧値を調べる。装置をすべてセ



第5図 記録計



第6図 定電圧発生装置のパネル面



ッティングした状態で風袋として電子天秤にどのぐらいの電圧がかかっているかを読み取る。mV-ZERO-x0.1 V スイッチとアッテネータスイッチの切り替えによって、フルスケールを 5 V に設定する。信号を入力させて、その時の電圧値を記録紙上で読む。この電圧値が打ち消し電圧として掛けなければならない電圧値である。

3) 打ち消し電圧をかける。2) で測定した電圧値を逆向きにかけることによって、風袋除去が可能である。そのためには第 6 図の定電圧発生装置を使う。パネル面のスイッチ類は写真の位置に設定し、output スイッチは必ず off (赤ランプ) にしておく。上部の三つのツマミを回して必要な電圧値をデジタルで調整したのち、output スイッチを on 側に倒して(青ランプがつく)電圧をかける。そうすると記録計の出力はほぼ 0V の位置まで落ちる。

4) 記録計のフルスケールを測定に使用したい値に切り替える。設定するフルスケールの値は試料の量にもよるが、通常は 20mV, 50mV, 100mV で使うことが多い。最後に定電圧発生装置の微調整ツマミを回して記録紙上の 0 の位置にペン先を設定する。

5) 記録紙の紙おくり速度を 20cm/min に設定する。記録紙の紙送り速度は最初のうちは速くしておく。第 1.1-1.4 表に示すように、砂粒子の殆どは試料投入後暫くのうちに沈降してしまう。この間は短時間のうちに粒径が大きく変化する。そのため、記録紙の紙送り速度を速くしておかないと、読み取りのうでで不都合がおこる。

6) これで試料の投入準備は完了である。

### III 沈降式粒度分析の方法

#### III-1 沈降式粒度分析に向く堆積物と向かない堆積物

野外で試料を採取する場合には、目的に応じた試料の取り方を工夫しなければならない。沈降式の粒度分析は、篩による分析や土質試験法にのっとった分析の場合に比較して、ごく少量の試料で行うことができるという長所がある。従って、き

わめて少量の試料しか採取できないもの、例えば河川の浮遊土砂、さえも分析可能である。また、茶匙一杯〜二杯の量で充分分析できることから、単層内での上下の粒径変化、ラミナを始めとする堆積構造と粒径との対応、また河床形に対応した粒径の平面的分布などを調べるのに有効的な分析方法である。

逆に言えば、沈降分析は少量の試料を使って分析するために、粒径範囲が大粒子から小粒子にわたる分級の悪い試料には不適当である。分級の悪い堆積物の場合には、分析用の試料の調整を特に慎重に行うことが要求される。

#### III-2 沈降分析のための試料の前処理

##### 1. 海の堆積物の場合

海の堆積物の場合、塩が含まれている。そこで、沈降式粒度分析をする場合にはよく水洗しておかなければならない。

##### 2. 河川の堆積物の場合

河川堆積物は、細粒なシルト・粘土を含む。特に、河岸物質を始めとする、浮遊物質に起源をもつ堆積物中には多く含まれている。シルト・粘土が多く含まれた堆積物は一度乾燥させると、再び個々の粒子に分散させることはきわめて難しい。乳鉢を使って細かく砕く方法はあるにしろ、これでは、粒子そのものまで細かく砕かれはしないかという心配がある。したがって、湿ったままの状態で行う分析の時まで保存しておくのがよい。

シルト・粘土を含む堆積物をそのまま沈降分析するには、次に示すような多くの問題点がある。

##### ／堆積物の分散の問題

堆積物を沈降分析するためには個々の粒子にばらさなければならない。分散剤(ピロリン酸ナトリウムなど)の水溶液に一昼夜つけたのち、よく指先で堆積物を練る。充分練ったつもりでも、実際に沈降管内に投入すると、堆積物が小塊となってそのまま沈降していったり、あるいは少しずつ崩れながら落ちていくことが多いので細心の注意を要する。

##### ／試料の投入時の問題

上で調整した堆積物の水溶液すべてを、同時に

しかもまんべんなく均一に、水面を乱さないように静かに沈降管内に投入することは不可能に近い。この試料投入時の誤差が重量変化を大きく左右してしまう。

#### ／堆積物に含まれるゴミの問題

河川の堆積物には、植物の根・葉・茎をはじめとする繊維が多く含まれている。沈降分析ではこれらの重量変化までも積算してしまう。

#### ／一つの試料に長時間を要する問題

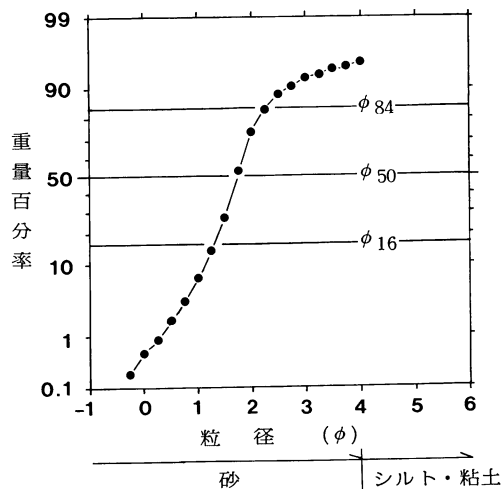
一つの試料が完全に沈降し終わるのは、1 m沈降の場合でも、シルト粒子でさえも少なくとも22時間程度かかる。粘土粒子の場合にはさらに2～3日を要するし、コロイド粒子になると沈降しきらない。したがって、一つの試料が終わるごとに沈降管内の水を変える必要がある。数多くの試料を処理するためには膨大な時間がかかってしまうことになる。

さらに、このように測定が長時間にわたる場合には、沈降管内の上下の温度差によって対流がおこることがあり、実際には堆積物は沈降していないにもかかわらず、記録紙上では変動が起きてしまう。また、電気的なドリフトが生じることもある。

### 3. 短時間で分析を終了するための河川堆積物の前処理法

河川堆積物の分析には以上のような問題が解決されなければならない。そこで次の簡便法を薦めたい。すなわち、シルト・粘土を多く含む堆積物は予め、シルト・粘土の成分と砂の成分にわけ、砂について、沈降分析を行う方法である。きちんと前処理をおこなっていれば、一つの試料は1 m沈降の場合5分程度で終了し、多量の試料を短時間で分析できるという利点がある。

この方法では、シルト・粘土の含有率が少ない場合には堆積物全体での中央粒径や分級度を第7図のようにして求めることができる。また、シルト・粘土の含有率が多い場合には、土質試験法に定められた分析法か、市販の光透過式の粒度分析器を併用することによって、粒径分布曲線を描くことができる。厳密な粒径分布曲線の形をテーマ



第7図 正規確率紙を使った粒径分布曲線  
中央粒径： $\phi_{50}$

$$\text{標準偏差：}\sigma_{\phi} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2}$$

として取り扱うのであればこの分析法で充分対応できる。

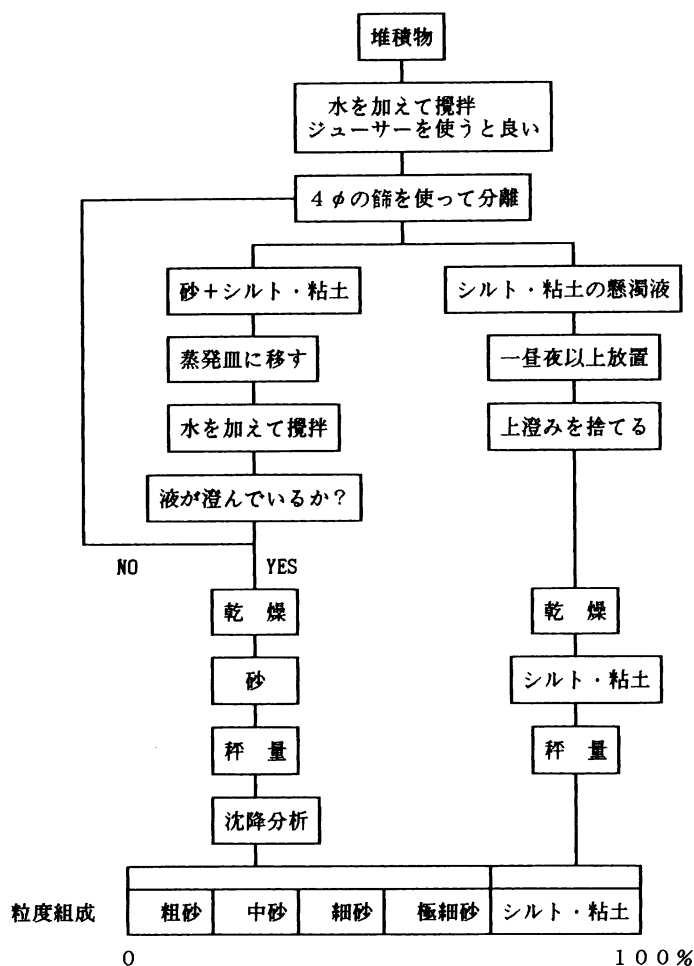
次に前処理の手順を示す(第8図)。

1) まず堆積物に水を加えてよく攪拌する。この時ジュースーを使うと短時間でできる。

2) 懸濁液を4φの篩を使ってシルト・粘土と砂の成分に分ける。懸濁液は篩を通過させる時、細粒物質が多ければ多いほどなかなか通過しにくい。それは細粒物質のために篩の目がふさがってしまうことによる。洗浄瓶を使って勢いよく水をかけながら水洗すると容易に通過するようになる。

3) 篩上に残った堆積物は、一度蒸発皿に取り、水を加えて攪拌し、再び篩にかける。この時腕がけによって植物繊維などは別にする。これを数回繰り返す、上澄み液が澄んだ所で終わる。篩上に残った堆積物を蒸発皿に移す時には、大方のものを水をかけながら移し終わったのち、篩を傾斜させて篩の裏側から水をかけると、篩に最後まで付着している堆積物を容易に取り除くことができる。

水を少量ずつしかも勢いよく長い時間出したま



第8図 シルト・粘土を多く含む堆積物の前処理方法の流れ図

まにするのは、洗浄瓶を使っていたのではなかなか難しい。そこで水道の蛇口にホースを取り付け、その先に洗浄瓶の口先を固定すると良い。

4) それぞれを乾燥させて重量を計る。シルト・粘土の方は、大量の懸濁液ができてしまうので、一昼夜以上放置したのち上澄み液を静かに捨てて乾燥させる。

5) 砂を沈降分析する。

### Ⅲ-3 投入用試料の準備とその量

上で述べた前処理を施した試料を使って分析する場合について述べる。

投下する試料の量は、沈降式粒度分析装置のシ

ステムの能力によって適度な量を設定しなければならない。すなわち、沈降管の直径によって試料を塗布する円板の面積は異なるし、また、使用する電子天秤や記録計の能力によっても違う。投下量が少なすぎると、あとで記録紙を読み取るのが困難であるし、逆に多すぎるとスケールアウトしてしまう。

投下する試料の量は、円板の表面に薄く2～3層程度の厚さが最も好ましい。あまり量が多すぎると、試料は一旦群をなして水中に没し、この時発生する渦にとりこまれて一部は上方に拡散してしまい、その様子は原爆投下時の茸雲の発生をみ

ているようである。

投入用の試料は円板の表面にまんべんなく塗布する。まず、指先で試料を均一に敷きならす。そのあとで、ドライウェルの希釈液を数滴たらす。これは、界面活性剤の力によって試料を円板表面に付着させると同時に、一個一個の粒子を水に予めなじませることによって試料投入時に、瞬時に水面下に試料が沈降していくようにするためである。乾いた試料をいきなり投入すると、試料中に混入した空気のために、試料は固まりとなって沈降し、沈降していく途中で徐々にくずれていったり、またはそのままいつまでも水の表面に浮いている。

### Ⅲ—4 一人でできる沈降式粒度分析

沈降式の粒度分析は、その操作上のことからいえば、二人が必要である。ここではそれを一人で行う方法について述べる。

#### 1) 機械の準備と確認

記録計のペンがスタート位置にあること、ゼロ・サブレスのスイッチが Auto 側になっていることを確認する。また、ストップ・ウォッチの針がゼロにもどっていることを必ず確認する。このことはうっかりしてよく忘れてしまう。

2) 記録紙の紙送り速度が20cm/min になっていることを確認して、記録紙の紙送りをスタートさせる。

#### 3) 試料の投入

左手にストップ・ウォッチ、右手に試料をつけた円板をもつ。水面に出来る限り静かに円板をつけると同時に、ストップ・ウォッチをスタートさせる。

#### 4) 最初の粒子の着底の確認と記録紙上への記録

試料の受け皿となる側の円板表面に最初の粒子(1~3粒子目)が到達した時刻を記録紙上に記録する。これは、記録計に付属するイベント・マーカー・スイッチによっておこなう。これを記録する理由は、粒子が着底しても軽いために記録紙上では変化が生じないことが多いため、正確を期すという点にある。また水中を長い時間かかって

沈降してくるような目に見えない細かい物質が沈降しきらないうちに、次の試料を投入してしまうことが多いので、砂が到達する前に、記録紙上のゼロの位置が移動してしまった場合にこれを補正するためである。記録の判読にあたって重要である。

#### 5) 記録紙上への時刻の記録

15秒後、あるいは30秒後といったように、区切りのいい時間の位置に印を入れる。これによって試料を投入したスタート時刻が正確に記録紙上に逆算してはいることになる。

#### 6) 水温と試料番号および分析年月日の記入 記録紙上へ、必ず上記の三項目を記入する。

#### 7) 記録紙の紙送り速度の切り替え

60秒後からは、測定の時間間隔が順にのびる。したがって記録紙の紙送り速度は遅くてもよい。記録紙ばかりが長いと読み取りの時に不便であるばかりでなく不経済でもある。紙送り速度を6cm/min に落とす。

ではいつ記録紙の速度を変えるか。これは水温や試料の粒径に応じて行う。ここでは、仮に90秒後に切り替えるとする。片方の手で速度を変えるつまみを調節し、もう片方の手で時間を記録紙上に記入するのでは、記録紙の速度が早いためにどうしても誤差が生じる。この誤差を防ぐために次のことを工夫する。

87~88秒の時に紙送り速度を変更する。そうすると記録紙の送られる速さは遅くなり瞬時にはほとんど動いていないように見える。そうした状態で90秒びったりの位置を記入する。

#### 8) 終了

所定の時間が経過したら、沈降管内に試料が残っていないこと、水が澄んでいることを確認したのち、測定を終了する。

#### 9) 次の試料を投入する前に

新しく加わった試料の分だけ天秤の出力値は増加している。次の試料を投入するためにはこれを除いてやらなければならない。定電圧発生装置の微調整ツマミを回して、打ち消し電圧値を増加させることによって、記録紙上の0位置にペン先を

移動させる。

#### 10) 受け皿の掃除

受け皿の円板を一つの試料ごとに掃除する必要はない。数サンプルが終わったのちに円板を掃除する。一つが終わった毎に円板を掃除していたのでは能率が悪い。一度掃除すると沈降管内の水の乱れが静止するまで次の試料は投入出来ないために、無駄な時間を要してしまう。掃除のタイミングは円板の周囲から砂が落ちはじめそうな時である。また電子天秤が過負荷とならないように、円板を掃除する時には必ず針金棒を電子天秤の受け皿からはずす。さらに、システムによけいな電圧がかかることを防ぐために、計測をしない時には配線を一カ所はずしておくことを心がける。

#### III-5 記録の読み取り方

記録の一例を第9図に示す。横軸は時間であり、縦軸が重量変化である。この記録から粒径分布曲線を描く方法をのべる。

1) 試料投入後に記録した15秒あるいは30秒後のマークを基準として、記録紙上にスタート位置Sを目盛る。

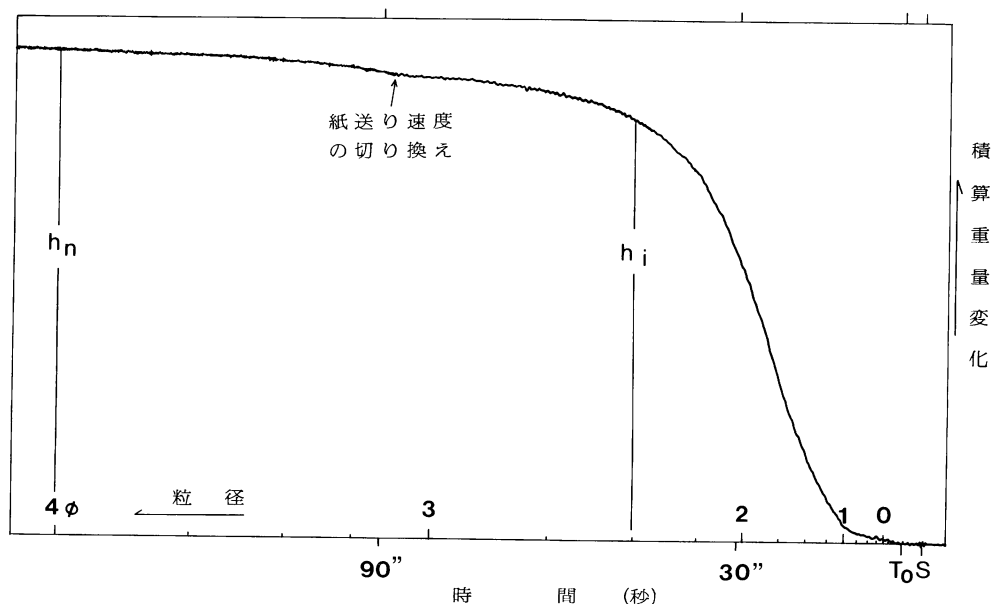
2) 水温によって沈降時間は異なる。第1.1～1.4表と記録紙の紙送り速度とからそれぞれの粒径値に対応する記録紙の長さを計算し、その位置を記録紙上に記入する。記録紙の紙送り速度を切り替えた90秒以後については、90秒の地点を基準にする。水温が一定している場合には、記録紙の長さは決まっている。そこで物差し上にこの位置を目盛り、これを使って記入すると一段と能率があがる。

3) 最初の粒子が着底した時( $T_0$ )を基線にして、そこからの高さ( $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots$ )を読む。

4) 記録がほとんど変化しなくなったところの高さ( $h_n$ )を100%として、それぞれの長さの比率を計算する。

#### III-6 おわりに

ここで述べた沈降式粒度分析装置のシステムは8年前に作られたものである。パソコンが身近に利用できるようになった現在であれば、試料の調整と投入を除けば沈降式粒度分析の手順のほとんどは自動化が可能である。特に記録の読み取りと



第9図 記録の一例と読み取り方

その後の作業（作業と図化）は自動化を計って能率よく行うことができるであろう。それらの方法については現在検討中である。

#### 謝 辞

沈降式粒度分析装置の設計にあたっては、地球科学系の松本栄次先生に御教示いただいた。また、実際の製作にあたっては水理実験センターの池田宏先生と当時水理実験センターの技官でいらしかった小島豊盛氏に多大の御協力をいただいた。記して感謝いたします。

#### 引用文献

- 土木学会編（1985）：水理公式集。  
Gibbs, R. J., Matthews, M. D. & Link, D. A. (1971): The relationship between sphere size and settling velocity. *J. Sed. Petrol.*, **41**, 7-18.  
Gibbs, R. J. (1972): The accuracy of particle size analyses utilizing settling tubes. *J. Sed. Petrol.*, **42**, 141-145.  
Gibbs, R. J. (1974): A settling tube system for sand-size analysis. *J. Sed. Petrol.*, **44**, 583-588.