

比重计法和吸液管法粒度分析比较*

马艳霞¹ 冯秀丽¹ 叶银灿² 张慧宇¹ 徐从亮³

(¹ 青岛海洋大学地学院 266003)

(² 国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)

(³ 黄河水利委员会 郑州 450000)

提要 利用比重计法与传统的吸液管法分析试样在粒度级配曲线、定名、粘粒含量、不均匀系数、中值粒径等方面的差异,发现两种方法的结果基本上是一致的。但比重计法易受容器的大小形状的影响,如容器的有效深度过小,则会造成比重计法所测得的试样粘粒含量偏高。

关键词 粒度成分,吸液管法,比重计法,粘粒含量,容器的有效深度

粒度分析是测定沉积物组分的颗粒大小和各粒级的分布状况的一种方法,其成果不仅是划分沉积物类型,编制沉积物类型图的基础,同时又是阐明沉积物来源、机械分异过程及沉积作用不可缺少的

* 教育部博士点基金资助项目 2000042305 号

第一作者:马艳霞,出生于1976年,硕士,从事环境工程研究。E-mail:myxluck@263.net

收稿日期:2002-03-06;修回日期:2002-03-28

资料。在工程上通过土的粒度成分可以间接地评价其力学性质,而在砂土液化判别中粘粒含量更是一个必需的指标。

传统上粒度分析常用吸液管法,近 20 a 来,相继发展了光透式粒度自动分析、库尔特计数粒度分析、激光粒度分析等方法,由于在这些自动分析法中利用了离心机,缩短了沉降时间,并且自动测试、计算,受到许多人的青睐。但是其结果仍然存在一些误差,比如取样较少,代表性差,离心机控制的沉降速度与距离与实际有差异等等。而吸液管法不但沉降时间长,而且吸液、烘干、称重、计算一整套过程,非常繁琐。利用比重计法进行粒度分析,在原理上与吸液管法相同,操作简单步骤少,而且在抗震设计规范中要求^[1]评价砂土液化可能性时的粘粒含量用比重计法测定。因此,本文将通过试验分析结果比较比重计法和吸液管法的异同之处。

1 实验原理与方法

1.1 样品制备

选择不同类型样品 10 件,用比重计法和吸液管法分别进行粒度分析。

1.1.1 将原样全部取出,盛于一定器皿中充分搅拌均匀后,按四分法取样,1 份供测定湿度,1 份供沉析法分析。

1.1.2 测定湿度的样品,用小的玻璃皿盛取 5~10 g 原样,先求出湿重,然后移入烘箱,在 105°C 下烘干至恒重,最后移入干燥器内冷却 15~20 min,在同一天平上求得干样重,计算出干湿比。

1.1.3 分析样用较大的玻璃皿盛样,称取湿样 20~30 g。取样时应根据粘土含量的多寡,适当增减取样数量,以保证悬液维持一定浓度。

1.1.4 在盛装分析样品的三角烧瓶中加入 0.25 mol/L 的偏磷酸钠分散剂 20 ml。然后用带橡皮头的玻璃棒充分搅拌均匀,并用蒸汽煮沸 0.5~1 h,使样品充分分散。

1.1.5 将经过分散处理后的样品进行湿过筛,方法是将孔径为 0.063 mm 的小铜筛套架在 1 000 ml 的沉降量筒上,用细而急的蒸馏水流细心地将样品反复冲洗,把小于 0.063 mm 粒径的颗粒冲洗入量筒,冲洗完后,将小筛中留下的大于 0.063 mm 粒径的颗粒冲入坩埚,烘干称重,求出它的百分含量,量筒加蒸馏水至 1 000 ml。

1.1.6 将制备好的悬液量筒,按顺序排列于试验台上,其中 10 个量筒为吸液管法用,10 个量筒为比重计法用。

1.2 基本原理与方法

比重计法和吸液管法均广泛用于测定 <0.063 mm 的土颗粒。

吸液管法根据的基本原理,是测定作为沉降时间函数的某一预定深度处其悬浮液的浓度值,而悬浮液的浓度变化,服从于静水中质点的沉降规律,即斯托克斯定律^[2]。在试验时按不同粒径的土颗粒沉降一定距离所需时间,提取一定量的悬液,烘干称重,计算可以得到量筒内小于某粒径土颗粒的质量和在土中所占的百分含量。

比重计是测定液体密度的仪器^[3]。甲种比重计刻度杆上的刻度单位表示 20°C 时每 1 000 ml 悬液内所含土粒的质量;由于受多种因素的影响,必须将初读数经过温度校正、分散剂校正。在试验中用斯托克斯公式来求土粒在静水中沉降速度;比重计法是通过测定土粒沉降速度后求相应的土粒直径,公式^[3]如下:

$$d = \sqrt{\frac{L \cdot 1800 \times 10^4 \eta}{t (G_s - G_T) \rho_w g}}$$

式中: d 为试样颗粒粒径 (mm); η 为水动力粘滞系数 (mPa·s); G_s 为试样土粒比重; G_T 为 $T^\circ\text{C}$ 时水的比重; ρ_w 为 4°C 时纯水的密度 (g/cm^3); L 为某一时间内的土粒沉降距离; t 为沉降时间; g 为重力加速度 (cm/s^2)。

已知密度的均匀悬液在静止过程中,由于不同粒径的下沉速度不同,粗、细颗粒发生分异现象。随粗颗粒不断沉至量筒底部,悬液密度逐渐减小。比重计在悬液中沉浮决定于悬液的密度变化。密度大时浮的高,读数大;密度小时浮的低,读数小。若悬液静止一定时间后,将比重计放入盛有悬液的量筒中,可根据比重计刻度杆与液面指示的读数测得有效深度处的密度,并可求出此深度处的最大粒径;同时,通过计算求出此深度处单位体积悬液中直径小于最大粒径的土粒含量,以及这种土粒在全部土样中所占的百分含量。由于悬液在静止过程中密度逐渐减小,相隔一段时间测定一次读数,就可以求出不同粒径在土中的相对含量。

表 1 砂、粉砂、粘粒各粒级含量(%)

Tab.1 Sand, silt and clay percent content

样品号	吸液管法			定名	比重计法			定名	量筒有效深度 (cm)
	>0.063	0.063~0.004	<0.004		>0.063	0.063~0.004	<0.004		
1	0.14	49.06	50.8	粉砂质粘土	0.16	45.66	54.18	粉砂质粘土	32
2	0.46	57.79	41.75	粘土质粉砂	0.29	59.68	40.03	粘土质粉砂	34
3	31.60	41.87	26.53	粘土砂粉砂	32.26	40.49	27.25	粘土砂粉砂	34
4	20.06	62.12	17.82	粉砂	20.41	61.63	17.96	粉砂	33
5	39.07	48.82	12.11	砂质粉砂	40.36	47.24	12.40	砂质粉砂	32
6	0.73	61.39	37.88	粘土质粉砂	0.43	59.75	39.82	粘土质粉砂	34
7	1.59	66.60	31.81	粘土质粉砂	1.68	66.2	32.12	粘土质粉砂	34
8	4.01	47.44	48.55	粉砂质粘土	3.50	46.98	51.52	粉砂质粘土	32.5
9	1.19	48.57	50.24	粉砂质粘土	1.13	44.11	54.76	粉砂质粘土	31
10	0.49	60.18	39.33	粘土质粉砂	0.34	58.24	41.42	粘土质粉砂	33

2 试验结果对比

2.1 土质分类定名

根据上述原理和方法对 10 组样品进行试验, 将试验结果整理, 对每种土样分别求出砂 (粒径 > 0.063 mm)、粉砂 (0.063 ~ 0.004 mm)、粘粒 (< 0.004 mm) 的百分含量, 同时按海洋调查规范^[4] 进行分类定名, 见表 1。从土质分类上看, 吸液管法和比重计法分析结果是一致的。

2.2 试样粒度级配曲线对比

从表 1 中可以看出, 所选土样大致可分为 3 类, 分别为粉砂(包括砂质粉砂、粉砂和粘土砂粉砂, 3, 4, 5 号样品)、粘土质粉砂(2, 6, 7, 10 号样品) 粉砂质粘土(1, 8, 9 号样品)。选择 5, 7, 1 号样品代表上述三种类型, 分别画出吸液管法和比重计法粒度级配曲线, 见图 1。从图上可以看到, 5 号样和 7 号样两种分析方法得到的粒度级配曲线吻合程度较好, 1 号样吻合程度差一些, 这与样品的粘粒含量有关。

2.3 粘粒百分含量比较

表 2 粘粒百分含量对比表

Tab.2 comparison of clay percent content

土质类型	含量(%)		平均误差(%)
	吸液管法	比重计法	
粉砂	26.53, 17.82, 12.11	27.25, 17.96, 12.40	1.95
粘土质粉砂	(41.75), 37.88, 31.81, 39.33	(40.03), 39.82, 32.12, 41.42	3.80
粉砂质粘土	50.80, 48.55, 50.24	54.18, 51.52, 54.76	7.26

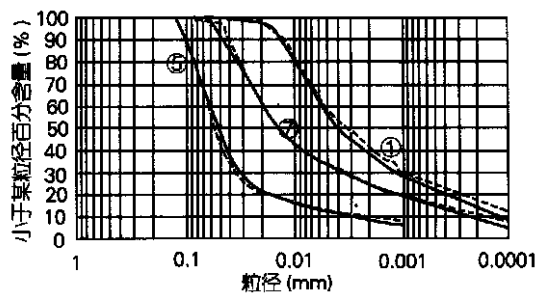


图 1 试样粒度级配曲线

Fig.1 Grain size distribution curve of samples

图中: ——为吸液管法粒度级配曲线,为比重计法粒度级配曲线。

在工程上粘粒含量是一个重要参数, 从粘粒含量来看, 除个别样品外比重计法测得粘粒含量均大于吸液管法, 见表 2。

从分析结果可以看出, 随粘粒含量的增加, 两种分析方法所测的粒级误差变大, 粉砂和粘土质粉砂粘粒含量按规范要求要求在误差范围内 ($\pm 5\%$)^[4], 粉砂质粘土则超出误差范围。

表3 不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 对比表

Tab.3 Comparison of coefficient of uniformity C_u and coefficient of curvature

样品号	吸液管法			比重计法		
	C_u	C_c	d_{50}	C_u	C_c	d_{50}
1	42.3	1.7	0.0039	57.8	3.1	0.0032
2	64.7	1.2	0.0066	73.3	2.2	0.0071
3	37.1	0.9	0.038	40.0	0.6	0.0036
4	43.0	5.2	0.038	39.0	6.6	0.035
5	23.0	7.7	0.052	27.4	8.5	0.054
6	26.0	0.7	0.0075	41.5	2.9	0.0065
7	90.9	2.3	0.014	105.3	3.0	0.014
8	20.0	1.1	0.0042	36.0	1.4	0.0038
9	9.0	0.6	0.0039	17.0	2.9	0.0034
10	60.0	2.2	0.008	70.6	2.0	0.0069

2.4 土的不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c

在工程上常用不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 来判断土的级配好坏^[5]。不均匀系数 C_u 是反映土中颗粒级配均匀程度的一个系数, $C_u = d_{60} / d_{10}$; 曲率系数 C_c 反映粒径分布曲线的形状, 是颗粒级配优劣程度的一个系数, $C_c = (d_{30})^2 / d_{10} d_{60}$ 。其中 d_{10} , d_{30} , d_{60} 分别是在粒径分布曲线上粒径累计质量分别占总质量 10%, 30%, 60% 的粒径。

根据试验结果颗粒级配曲线, 读出每个试样的 d_{10} , d_{30} , d_{60} , 分别求出 C_u , C_c 。

根据规范^[5]中规定, $C_u > 5$, $C_c = 1 \sim 3$, 同时满足这两个条件, 属于级配良好的土; 否则属于级配不良土。由上表可知, 4, 5 号样为级配不良土, 其余样品均为级配良好的土。比重计法和吸液管法测得的结果相吻合, 但两种方法测得的数据有差异。对于不均匀系数 C_u 来说, 粉砂类土差别较小, 在 2.9 ~ 4.0 之间, 粘土质粉砂和粉砂质粘土差别较大, 在 8.0 ~ 16.0 之间。总的来看, 在吸液管法所得结果偏小。

2.5 试样中值粒径 d_{50} 比较

中值粒径指示了沉积物粒径频率分布的中心趋向, 大小反映了沉积物的平均动能情况, 在分析海底泥沙运移以及土的渗透性时常常用到中值粒径。从表 3 中的数据可知, 吸液管法和比重计法所测试验结果是一致的。

3 粘粒含量与容器有效深度的关系

根据试验中选用的不同有效深度的量筒, 对两种试验方法所得到的试样粘粒含量进行分析, 图 2。

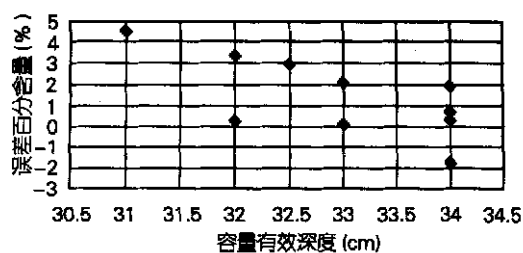


图2 粘粒含量与容器有效深度的关系

Fig.2 The relationship between clay content and effective depth of container

从散点图上可以看出, 粘粒含量较低时 (< 40%), 比重计法和吸液管法粒度分析结果差异不大 (< 3%), 量筒的有效深度对试验结果影响较小; 但当粘粒含量较高时, 量筒的有效深度越小, 两种试验方法的粘粒含量误差越大(参考表 1)。

4 结果分析与建议

通过上述对比分析, 认为两种粒度分析方法基本是一致的。主要的差异在粘粒含量上, 这可能与悬液容器大小和形状有关, 吸液管法吸液深度一般为 10 cm 或 5 cm, 容器的大小影响较小; 而比重计法(甲种比重计)测量深度是随着悬液浓度的逐渐减小而增大(有时入水深度大于 25 cm), 往往受到容器(1 000 ml)影响, 底部沉下来的颗粒将会增大悬液的浓度, 因此测得的结果会偏大, 粘粒含量越高影响也将会越大。因此建议在粒度分析时, 可以用国产甲种比重计法替代吸液管法。但当土中粘粒含量较高时, 盛悬液的容器必须有足够的长度(有效深度 > 34 cm)。

参考文献

- 1 中华人民共和国建设部、国家质量技术监督局联合发布。中华人民共和国国家标准《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)。北京: 中国建筑工业出版社, 2001。15 ~ 25
- 2 唐大雄等。工程岩土学。北京: 地质出版社, 1994。167 ~ 180
- 3 国家质量技术监督局、中华人民共和国建设部联合发布。中华人民共和国国家标准《土工试验方法标准》(GB/T50123 - 1999)。北京: 中国计划出版社, 1999。32 ~ 36
- 4 国家质量技术监督局发布。中华人民共和国国家标准《海洋调查规范 - 海洋地质地球物理调查》(GB/T 3909 - 92)。北京: 海洋出版社, 1993。26 ~ 34
- 5 中华人民共和国水利部发布。中华人民共和国行业标准《土工试验规程》。北京: 中国水利水电出版社, 1999。

研究报告 *REPORTS*

COMPARISON BETWEEN PIPETE METHOD AND HYDROMETER METHOD USED FOR GRAIN SIZE ANALYSIS

MA Yan-xia¹ FENG Xiu-li¹ YE Yir-can² ZHANG Hui-yu¹ XU Cong-liang³

(¹ Marine Geosciences College, Ocean University of Qingdao, 266003)

(² Second Institute of Oceanography, National Ocean Bureau, Hangzhou, 310012)

(³ Hydro-committee of Huanghe, Zhengzhou, 450000)

Received: Mar., 6, 2002

Key Words: Granularity content, Pipette method, Hydrometer method, Clay content, Effective depth of container

Abstract

Soil's granularity content is an important parameter in the studying of geology and engineering geology. This paper uses hydrometer analyse and pipette method respectively to analyse the differences in the grain gradation curve, definition, clay content, coefficient of uniformity, average grain diameter and so on. From the result of analysis I find all the aspects above are basic uniform. However hydrometer analysis method is often affected by the size and shape of container. If the effective depth of container is too small, the clay content of soil sample in this method will be too high.

(本文编辑:李本川)