

基于不同工程分类方法的砂土定名及相应物理力学参数对比分析^①

朱凯斌¹, 杨玉生², 刘小生², 袁林娟¹

(1. 中国农业大学, 北京 100083; 2. 中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100048)

摘要: 土的工程分类是岩土工程设计中的一项基础性工作。结合某实际工程土石坝基砂层勘测资料, 依据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001) 和《土的工程分类标准》(GB/T50145-2007) 两种常用的分类方法, 对 341 个实际砂土样进行定名; 按照定名结果, 对覆盖层砂土样级配包络线、物理力学性质参数进行统计分析; 并据此对两种分类方法的特点进行对比分析。

关键词: 砂土定名; 级配特征; 物理力学参数统计

中图分类号: TU441

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)增刊 1-0017-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2015.02.0563

Sand Naming and Comparative Analysis of the Corresponding Physical and Mechanical Parameters Using Different Engineering Classification Methods

ZHU Kai-bin¹, YANG Yu-sheng², LIU Xiao-sheng², YUAN Lin-juan¹

(1. China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China)

Abstract: The classification of soil is an elementary part of geotechnical engineering design. This classification allows for a preliminary qualitative judgment of the characteristics of a soil. Furthermore, using a set of criteria, the soil can be classified that can assist in how it can be employed in an engineering project. In this paper, sand layer survey data of an embankment dam foundation, were subjected to two common classification methods, the code for investigation of geotechnical engineering (GB50021-2001) and standard for engineering classification of soil (GB/T50145-2007). Three hundred and forty-one sand samples were classified using these two methods. The results of this classification allowed for a statistical analysis of grading envelope, and the physical and mechanical properties of the covering layer sand samples. Finally, the characteristics of the two classification methods were compared according to the results of the statistical analysis.

Key words: sand naming; gradation characteristics; statistics of physio-mechanical parameters

^① 收稿日期: 2015-04-01

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(51309224; 51209234)

作者简介: 朱凯斌(1991-), 男, 硕士研究生, 专业方向为水利工程土石坝抗震. E-mail: 250897447@qq.com

通讯作者: 袁林娟(1978-), 女, 副教授, 主要从事岩土工程方面教学和科研. E-mail: linjuanyuan@cau.edu.cn

0 引言

岩土工程中,土常被用作地基或土工构筑物(如堤防、路基和土石坝等)的材料。进行地基或土工构筑物设计时,首先需要把握土的工程性质。要对土的性质作初步的定性评价,首先就涉及到土的工程分类问题,这是一切岩土工程设计的基础工作。王正宏^[1]、王钟琦^[2]和蒋彭年^[3]等均对土的分类定名问题进行过研究。土的工程分类的目的在于使工程师能够依据分类对土的性质进行初步的定性判断,结合工程设计目的,确定进一步工作的重点和方向以及采用的研究手段和方法等。

由于土的性质千差万别,且不同行业或部门对土的利用的侧重点不同,在对土进行工程分类时,呈现出国外与国内不同、国内不同行业间不同的特点。对同一土样,不同的工程分类方法得到的分类定名不同,因此在技术交流或生产实践中,经常出现对土的分类定名产生误解、误用,甚至难以用共同的术语来表达同一种土的性质^[2]。我国典型的土的工程分类体系有两类:一类以《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)^[4](简称“岩土规范”)为代表,在我国各行业的基础设计^[5]和地质勘察规范^[6]中广泛引用,该分类的特点是粗粒土按照粒度成分分类,细粒土按照塑性指数分类;第二类以《土的工程分类标准》(GB/T50145-2007)^[7](简称“土工标准”)为代表,在水利行业和公路行业试验规程^[8-9]中被广泛引用,该分类的特点是粗粒土按照粒度直径范围分

类,细粒土按照塑性图分类。由于两种规范分类标准的差异,对于同一土样,采用不同工程分类标准所得到的分类定名可能有较大差异,进而影响对土的物性指标的统计分析。

本文结合某实际工程土石坝坝基砂层勘测资料,按照上述两种分类方法对341个实际砂土样进行分类定名,并对不同土样的级配特征和物性指标进行统计分析和对比。研究结论可为室内试验确定覆盖层土体工程力学性质及制样指标控制提供依据,也可作为其他工程的参考资料。

1 砂土的分类方法

表1给出了两种常用方法的砂土分类标准。按照岩土规范分类,把粒径大于2mm的颗粒质量不超过总质量的50%,及粒径大于0.075mm的颗粒质量超过总质量50%的土,定名为砂土。在砂土的细部分类过程中,根据各粒组内颗粒质量占总质量的大小,并按照颗粒级配由大到小最先符合者进行定名分类,分为砾砂、粗砂、中砂、细砂以及粉砂五种砂土。在实际地质勘察中,分类定名一般较为粗略,惯于应用“中粗砂”或“中细砂”的表述。按照土工标准分类,粗粒组(0.075mm<d<60mm)质量大于总质量50%的土称粗粒类土,粗粒类土中砾粒组质量小于或等于总质量50%的土称为砂类土。然后根据细粒含量的多少细分为砂、含细粒土砂以及细粒土质砂三类,进一步根据级配特征或细粒土类型分为五类。

表1 砂土的分类方法
Table 1 Classification methods of sand

《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)			《土的工程分类标准》(GB/T50145-2007)			
颗粒级配	土名称	土类	粒组含量	土代号	土名称	
粒径大于2mm的颗粒质量占总质量25%~50%	砾砂	砂	细粒含量小于5%	级配: $C_u \geq 5, C_c = 1 \sim 3$	SW	级配良好砂
粒径大于0.5mm的颗粒质量占总质量50%	粗砂			级配:不同时满足上述要求	SP	级配不良砂
粒径大于0.25mm的颗粒质量占总质量50%	中砂	含细粒土砂	细粒含量5%~15%		SF	含细粒土砂
粒径大于0.075mm的颗粒质量占总质量85%	细砂	细粒土质砂	15% < 细粒含量 ≤ 50%	细粒为黏土	SC	黏土质砂
粒径大于0.075mm的颗粒质量占总质量50%	粉砂			细粒为粉土	SM	粉土质砂

注: C_u 表示不均匀系数; C_c 表示曲率系数。

2 基于不同分类方法的坝基砂层土样级配特征分析

某实际土石坝坝基覆盖层钻孔揭示自下而上分

为3层:③-1层砂、③-2层粉土层和③-3层砂层。③-1层砂类土共包含237个试段,试段深度从76m到245m不等;③-3层砂共包含104个试段,试段深度从6m到76m不等;③-2层为粉土层。根据

岩土规范分类以及土工标准分类方法,对该实际工程覆盖层资料进行分类分析。

根据上述分类定名标准,对该工程覆盖层的③-1层和③-3层进行分类定名,结果见表 2。在图 1 中给出了对应于岩土规范分类方法的每一土类级配的上、下包络线。该方法在实际应用中,更常用的是给出中粗砂和中细砂这种笼统简化的表述方式。图 2 给出了相应于这种简化表述的级配上、下包络线。图 3 对应的是土工标准分类定名结果。

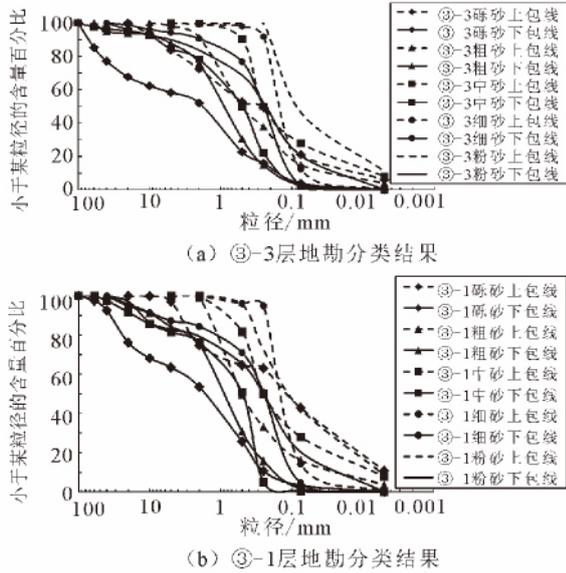


图 1 按照《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)确定的不同土类的级配曲线上、下包络线

Fig. 1 The envelopes of grading curves of different sand classified by Code for Investigation of Geotechnical Engineering(GB50021-2001)

结合表 1 可以看出,岩土规范分类对于粗粒土的特点是:首先考虑不同粒组含量进行土类划分,再根据不同粒径范围所占颗粒质量百分含量进行定名。由于是按照粒径由大到小最先符合定名标准进行定名的,所以反映到级配曲线上,当缺乏中间粒径时,相邻两种土的级配范围在所缺乏粒径以下可能发生较大的重叠。如图 1 中,③-3 层砾砂和粗砂、粗砂与中砂、中砂与细砂以及细砂和粉砂的级配范围均有一定的重叠,③-1 层也呈现出类似特点。图 2 实际上是图 1 的简化表述,可简化为三个区域:①砾砂与粗砂区域,即含砾中粗砂下包络线与中细砂下包络线包含区域;②中砂区域,即含砾中粗砂上包络线与中细砂下包络线包络区域;③细砂与粉砂区域,即含砾中粗砂上包络线与中细砂上包络线包

含的区域。

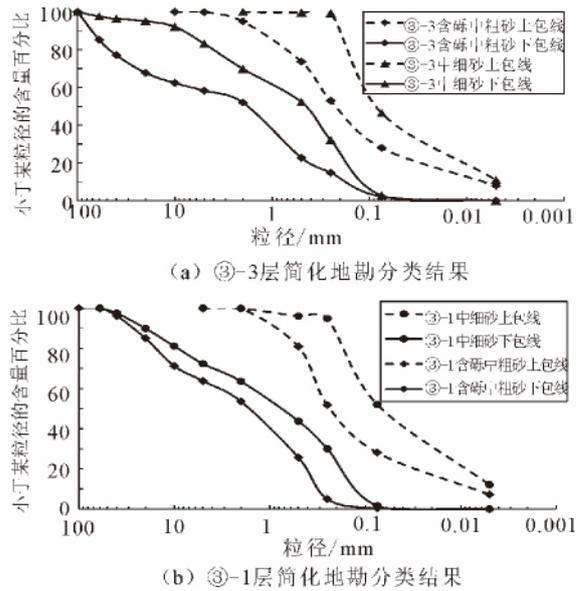


图 2 简化后的地勘分类确定的不同土类的级配曲线上、下包络线

Fig. 2 The envelopes of grading curves of different sand classified by the simplified method

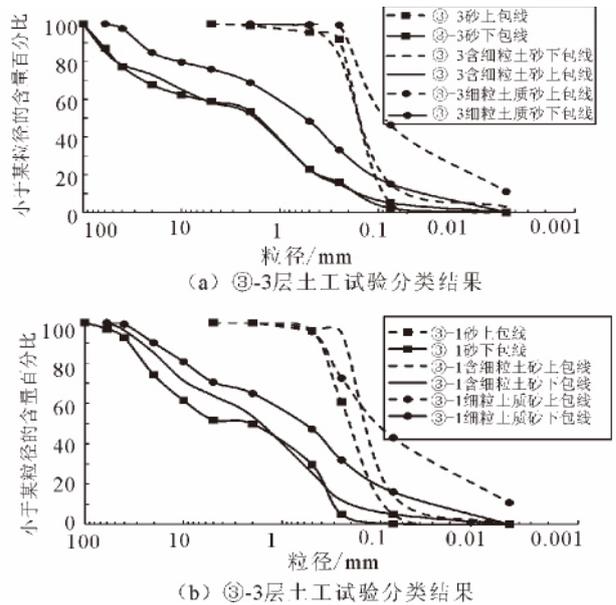


图 3 按照《土的工程分类标准》(GB/T50145-2007)确定的不同土类的级配累积曲线上、下包络线图

Fig. 3 The envelopes of grading curves of different sand classified by Standard for Engineering Classification of Soil(GB/T50145-2007)

通过测定 0.075 mm 以下粒径的含量,才能确定其砂土类型。

按照土工标准分类,首先依据粗粒组和细粒组

颗粒质量百分含量对土进行分类,对于划分为粗粒土的土类,再按照粒组(砾和砂)的颗粒质量百分含量进行砾和砂定名,对于定名为砾或砂的土,再进一步依据细粒含量进行具体定名。因此,对于定名为砾或砂的土,其具体名称仅由细粒含量决定。也就是说,定名结果不同的土,其级配累积曲线在粒径0.075 mm以上可能存在大范围的重叠,而在粒径小于0.075 mm的细粒组存在明显区别。在图3中,砂和含细粒土砂的包络线在粒径大于0.075mm的重叠说明了这点。

从以上两种分类方法的特点来看,对于粗粒土,

表2 某实际土石坝坝基覆盖层③-3、③-1层分类结果

Table 2 The classification results of two layers (③-3 and ③-1) of the foundation of rockfill dam

岩土工程勘察规范(GB50021-2001)				土的工程分类标准(GB/T50145-2007)			
③-3层		③-1层		③-3层		③-1层	
砂土亚层	试样数目	砂土亚层	试样数目	砂土亚层	试样数目	砂土亚层	试样数目
砾砂	10	砾砂	30	砂	21	砂	62
粗砂	11	粗砂	44	含细粒土砂	57	含细粒土砂	144
中砂	55	中砂	130	细粒土质砂	26	细粒土质砂	31
细砂	15		22	-	-	-	-
粉砂	13	粉砂	11	-	-	-	-
合计	104	-	237	-	-	104	237

3 基于不同分类方法的坝基砂层物理力学参数的统计分析

对土进行分类的目的是为了使工程师能够依据分类对土的性质进行初步的定性评价。由于土的分类不涉及其具体的状态指标(如干密度、饱和度等),仅依据土类难以定量评价土在不同状态下的物理力学性质。但是对于给定的处于某种状态的同一种土体(如实际工程覆盖层土体),由于这种状态的统一性,不同的工程分类方法分类定名结果能否一定程度上反映土体的物理力学指标,还值得探讨。依据岩土规范分类和土工标准分类确定的某实际工程土石坝坝基覆盖层③-3层和③-1层的分类定名结果,对覆盖层物理力学性质参数进行分类统计,并对对比分析不同分类方法定名结果对处于相同状态下的土体物理力学参数统计结果的影响。

表3和表4给出了按照不同分类方法对③-3层和③-1层的物理力学性质参数统计分析的结果。由表可知,两种分类方法下覆盖层土体的物理力学参数统计结果存在一定的差异。按照岩土规范分类定名结果整理的物理力学参数平均值变化范围大,如③-3层砾砂和粗砂的干密度平均值分别为 1.68 g/cm^3 和 1.76 g/cm^3 ,而按照土工标准分类定名结

均首先考虑粒组含量对土的类别划分的决定作用。不同的是,对于已确定土类为砾或砂的土,进一步进行定名时,岩土规范分类侧重于考虑粗颗粒对定名结果的影响,按照粒径由大到小首先满足标准的粗粒质量百分含量定名;而土工标准分类则侧重于考虑细粒含量对定名结果的影响,按照细粒含量的多少进行定名。从实地勘测的角度分析,岩土规范分类方法或者简化后的岩土规范分类方法更加便捷,可以直接通过观察粒径粗细大致确定砂土类型,不需要进行具体含量测定;土工标准分类方法只有

果整理的干密度平均值介于 $1.71 \sim 1.72 \text{ g/cm}^3$ 之间。在岩土规范分类结果中,对物理力学特征体现出的差异性在一定程度上反映了覆盖层空间结构的不均匀性。由表2可知,两种分类方法下,钻孔取样试验显示③-3层和③-1层的主体土类分别为中砂和含细粒土砂。进一步对两种分类方法下的主体土类的物理力学性质指标进行对比。对于③-3层可知,中砂对应的干密度、黏聚力和内摩擦角与含细粒土砂的相应参数很接近,中砂的相对密度值0.76明显小于含细粒土砂的相对密度0.81,中砂的压缩模量也小于含细粒土砂。在数据处理过程中可知,按照岩土规范分类定名方法确定的细砂,在按照土工标准分类定名时大多归入了含细粒土砂。对于③-1层,中砂和含细粒土砂的各项物理力学性质参数均比较接近。

由上述分析可知,对于按照粒组确定为砂的土类,由于进一步划分时所考虑的侧重点不同,两种方法确定的土的名称之间没有对应关系。按照不同分类定名方法的定名结果对覆盖层的物理力学性质指标进行整理时,两者有一定差异,但这种差异没有特定的规律。从反映覆盖层力学性质的多变性上看,岩土规范分类定名方法更有优势。

表 3 岩土工程勘察规范(GB50021-2001)分类定名确定的物理力学参数平均值

Table 3 The average values of physical mechanical parameters based on Code for Investigation of Geotechnical Engineering(GB50021-2001)

土层	土名	干密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	相对 密度	压缩系数 /(MPa^{-1})	压缩模量 /MPa	渗透系数/ ($cm \cdot s^{-1}$)	黏聚力 /kPa	内摩擦角 / ($^{\circ}$)
③-3	砾砂	1.68	0.72	0.13	12.57	5.90×10^{-5}	12.5	28.65
	粗砂	1.76	0.78	0.12	13.12	1.58×10^{-4}	10	27.9
	中砂	1.72	0.76	0.22	8.87	2.43×10^{-5}	12.44	26.81
	细砂	1.72	0.85	0.11	13.97	2.96×10^{-4}	13.6	26.98
	粉砂	1.71	0.77	0.21	9.01	4.21×10^{-5}	13.25	26.63
③-1	砾砂	1.86	0.84	0.16	9.95	3.12×10^{-5}	12.33	28.17
	粗砂	1.77	0.81	0.09	16.23	1.32×10^{-5}	12.14	27.71
	中砂	1.75	0.81	0.15	11.02	6.75×10^{-5}	13.92	26.68
	细砂	1.68	0.89	0.11	15.19	2.03×10^{-5}	7.5	27.45
	粉砂	1.77	0.76	0.22	8.7	6.97×10^{-6}	17	25.85

表 4 《土的工程分类标准》(GB/T50145-2007)分类定名确定的物理力学参数平均值

Table 4 The average values of physical mechanical parameters based on Standard for Engineering Classification of Soil (GB/T50145-2007)

土层	土名	干密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	相对 密度	压缩系数 /(MPa^{-1})	压缩模量 /MPa	渗透系数/ ($cm \cdot s^{-1}$)	黏聚力 /kPa	内摩擦角 / ($^{\circ}$)
③-3	砂	1.72	0.78	0.11	14.23	2.37×10^{-4}	11	27.86
	含细粒土砂	1.71	0.81	0.12	13.03	1.03×10^{-4}	13.33	26.93
	细粒土质砂	1.71	0.75	0.24	7.97	4.49×10^{-5}	13	26.81
③-1	砂	1.75	0.83	0.1	15.66	3.39×10^{-5}	14.67	26.42
	含细粒土砂	1.77	0.82	0.12	13.29	4.45×10^{-5}	12.06	27.51
	细粒土质砂	1.77	0.8	0.22	7.83	4.56×10^{-5}	13.5	26.87

4 结论

本文结合某实际土石坝工程坝基砂层勘测资料,依据岩土规范和土工标准两种常用的分类方法,对 341 个实际砂土样进行定名。按照定名结果,对覆盖层砂土样的级配、物理和力学性质指标进行统计分析,并对两种分类方法的特点进行对比分析。得出如下结论:

(1) 对于粗粒土,两种方法均首先考虑粒组含量对土的划分类别的决定作用。不同的是,对于已确定土类为砾或砂的土,进一步具体定名时,岩土规范侧重于考虑粗颗粒的影响,按照粒径由大到小最先符合定名标准者进行定名,土工标准侧重于考虑细粒含量的影响,依据细粒含量的多少定名。反映到级配曲线上,对于前者,不同土类的级配曲线大致上有相对明确的分界区域;对于后者,定名结果不同的土,其级配累积曲线在粒径 0.075 mm 以上可能出现明显的重叠交叉,在粒径小于 0.075 mm 的细粒组附近存在明确的区别。

(2) 按照不同分类定名方法的定名结果对覆盖层的物理力学性质指标进行整理时,两者有一定的差异,但这种差异性没有特定的规律。按照岩土规

范分类定名结果整理的物理力学参数平均值变化范围大,这表现出了覆盖层空间结构的不均匀性。因此,从便于现场勘测采样的角度以及对覆盖层空间结构的变异性的角度分析时,采用岩土规范分类或者简化后的岩土规范分类定名方法更有优势。

参考文献(References)

- [1] 王正宏.我国土的工程分类的发展和现状[J].现代电力,1989(增1):33-39.
- [2] 王钟琦.浅谈土的工程分类问题[J].土木工程学报,1981(1):89-96.
- [3] 蒋彭年.土的分类建议[J].岩土工程学报,1991,13(5):1-13.
- [4] 中华人民共和国建设部.岩土工程勘察规范(GB50021-2001)[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [5] 中华人民共和国行业标准编写组.公路桥涵地基与基础设计规范(JTG D63-2007)[S].北京:人民交通出版社,2007.
- [6] 中华人民共和国行业标准编写组.港口工程地质勘察规范(JTJ240-97)[S].北京:人民交通出版社,2005.
- [7] 中华人民共和国国家标准编写组.土的工程分类标准(GB/T 50145-2007)[S].北京:中国计划出版社,2008.
- [8] 中华人民共和国国家标准编写组.建筑地基基础设计规范(GB 50007-2002)[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [9] 中华人民共和国行业标准编写组.公路土工试验规程(JTG E40-2007)[S].北京:人民交通出版社,2007.