

文章编号: 1002-0268 (2005) 04-0031-04

高速公路路基填料膨胀性判别和分类

方磊¹, 唐蓓华², 许明军³, 江峰¹

(1. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096; 2. 江苏高速公路建设指挥所, 江苏 南京 210004;

3. 江苏省交通规划设计院, 江苏 南京 210005)

摘要: 膨胀土的判别和分类指标的合理选取是一重要的问题, 其现行的判别和分类存在不足, 即胀缩总率作为主要的判别指标, 其指标取得所需的试验时间较长, 不能满足目前高速公路建设的实际需要。通过具体工程的实际资料分析认为, 对一特定地区的膨胀性土作为路基填料时, 在一定条件下 CBR 膨胀率与胀缩总率存在一定的相关关系, 在工程实践中可以用 CBR 膨胀率代替胀缩总率, 作为高速公路路基填料膨胀性判别和分类指标。

关键词: 路基填料; 土的膨胀性; 胀缩总率; CBR 膨胀率

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Expansive Identification and Classify of Subgrade Padding in Expressway

FANG Lei¹, TANG Bei-hua², XU Ming-jun³, JIANG Feng¹

(1. Transportation College of Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096 China;

2. The Expressway Construction Directing Office of Jiangsu Province, Jiangsu Nanjing 210004 China;

3. Jiangsu Provincial Planning and Design Institute of Communications, Jiangsu Nanjing 210005 China)

Abstract: How to select the classification index and how to determine the behavior of expansive soil are of great importance. On the base of practical data in concrete project, conclusions have drawn as follows: CBR expansive rate has definite correlativity with total rate of swelling-shrinkage, and in engineering practice, CBR expansive rate could be used to determine the expansive behavior and classification index instead of total rate of swelling-shrinkage in the project of expressway.

Key words: Subgrade padding; Expansive behavior of soil; Total rate of swelling-shrinkage; CBR expansive rate

高速公路是跨越不同地质单元的巨型带状工程, 在勘察设计和施工中不能判别和区分膨胀土与非膨胀土, 会给生命线工程带来巨大的浪费和工程质量隐患。同时, 在土源紧张的地区和从保护土地资源的角度出发, 膨胀土是一种非理性的路堤填筑材料。但哪些膨胀土可以利用, 哪些通过改良后可以采用, 以及如何合理利用膨胀土是值得深入研究的问题。要想回答这些公路工程中最基本的问题, 路堤用膨胀土填料的分类和判别是一个必须首先明确回答的问题。从不同的工作目的出发, 采用不同的特性指标建立的判别与分类系统, 彼此有一定的差别是正常的。结合具体

的工程特点进行膨胀土的判别和分类, 有利于工程建设。

1 膨胀土的判别和分类方法

决定膨胀土特殊工程性质的因素是多方面的, 有内在因素, 如土体的结构特征和粘土矿物成分; 也有外在因素, 如气候条件及变化。内因是控制其工程特性的决定因素, 因此鉴定膨胀土应根据内因来确定; 外因是其工程特性的激发因素, 也很重要, 内因不通过外因的激发其工程特性不能表现出来。膨胀土的判别指标多达 10 多项, 它们之间的组合和相关关系非

收稿日期: 2004-09-16

作者简介: 方磊 (1963-), 男, 上海人, 教授, 从事岩土工程的教学和科研。(fanglei@263.net)

常复杂。因此,膨胀土判别和分类中指标的选择,首先应从成因、胀缩机理等观点出发,采用数学手段,以各指标的相关分析为基础选择表征膨胀土特征的独立指标,建立判别和分类函数。由此可见,指标的正确选择是膨胀土判别和分类中关键的第1步,若是指标选择得当,所建立的判别和分类方案的实用性就大,判别和分类的可靠性就大;反之,误判和错判的可能性就大。

土的膨胀性判别与分类,国内外已开展了大量的研究工作,提出了许多判别与分类方法。膨胀土的初步判别可采用现场定性和室内简易定量的指标相结合。野外的初步判别以土的结构岩性特征的描述为主,结合室内土工试验指标:胶粒含量或粘粒含量、土体中蒙脱石(等效蒙脱石)的含量、塑性指数、干容重、自由膨胀率,可初步判别土层的膨胀性。在膨胀土的分类上,廖世文等(1979)总结了国内外十几种方法,提出在判别上主要的3类方法:塑性法、孔隙法、综合法;在分类上是指标法、工程地质法、建筑先例法。目前比较有影响和具有代表性的判别分类标准,国外主要有原苏联建筑法规判别、澳大利亚采用的不稳定系数判别法、美国垦务局方法、按活动性指数分类、亚特伯界限分类、按收缩指标分类等。国内主要有国家建委颁布的《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ112-87)、铁道部制定的《铁路工程地质膨胀土勘测规则》(TB10042-95)、交通部发布的《公路路基设计规范》(JTJ013-95)、中华人民共和国军用标准《膨胀土地区营房建筑技术规范》(GJB2129-1994)以及云南、广西等地方行政部门制定的有关技术和维护条例。

目前,国内外判定膨胀土的方法和指标较多,不同的研究者从不同的工作目的出发,采用不同的特性指标建立的判别与分类系统,彼此有一定的差别是正常。结合具体的工程特点进行膨胀土的判别和分类,有利于工程建设。

2 高速公路路用填料判别膨胀性方法的优缺点

目前,高速公路判别膨胀土的主要依据在交通部发布的《公路路基设计规范》(JTJ013-95)中,膨胀土的判别和分类如表1。

表1 膨胀土的判别和分类

类别指标	弱膨胀土 /%	中等膨胀土 /%	强膨胀土 /%	备注
线胀缩总率 δ_{ep}	0.7~2	2~4	>4	50kPa 荷载下
0.02mm 粘粒含量	<35	35~50	>50	符合膨胀土的
自由膨胀率	40~65	65~90	>90	现场宏观特征

其中判别指标自由膨胀率 F_s 是风干土碾细过筛,人为干扰因素很多,不能全部反映膨胀土的性质。但是自由膨胀率能说明粘性土在无结构力影响下的膨胀情况,可以初步评价粘性土的膨胀性,并且简单快捷。

粒度成分是反映膨胀土物质组成的基本特性指标,土中小于0.005mm的粘粒与小于0.002mm的胶粒成分的含量越高,一般表明蒙脱石成分较高,分散性较好,比表面积大,亲水性强,膨胀性大。因此,用0.02mm粘粒含量作为判别和分类的标准是合适的。

膨胀土产生膨胀的基本缘由在于土粒与水的相互作用,在一定条件下表现为体积增大。在生产实践中,一般测定试样在有侧限的条件下吸水沿垂直高度方向的变化,分为无荷载膨胀量和有荷载膨胀量。膨胀量的大小与土体结构、构造、粘土矿物的类型与组合条件以及起始含水量与干容重等因素相关。膨胀土的膨胀率是表征膨胀性的一个重要指标,是土体吸水后的体积增量与初始体积之比,《公路土工试验规程》(JTJ051-93)已有明确的试验操作方法。但该试验需要几天甚至更长的时间。因为要测量土样在固结完成后,再加水,试件吸水时开始膨胀直到膨胀稳定时的变化量,需要较长的时间是必然的。

收缩是指土体中水分被蒸发过程中,其体积缩小的现象,工程实践中常用线缩率和体缩率或收缩系数来表征。收缩性是指原状土或重塑土在失水过程中体积收缩的能力。收缩仪所用试样为击实土样,《公路土工试验规程》(JTJ051-93)要求,在室温不高于30℃条件下,进行收缩试验,根据试样温度和收缩速度,宜每隔1~4h测记百分表读数,并称整套装置和试样质量,准确至0.1g。2d后,每隔6~24h测记百分表读数,并称质量,至两次百分表读数不变。试验结束后,烘干试样准确至0.1g。由于膨胀土是塑性指数较高的粘性土,其失水收缩过程需要很长的时间。因此,完成一个收缩试验,通常需要10d以上。

胀缩总率必须在完成了土的膨胀率试验和收缩试验方能获得。膨胀总率能反映膨胀土的粘土矿物成分与结构特征,在一定条件下,它是膨胀土比较稳定的属性指标,是公路工程中有实用价值的重要指标,可以作为膨胀土判别指标之一,但获得其试验成果所需的时间较长,在实际工程实际中,不能满足公路工程建设需要。

3 某高速公路路基填料膨胀性的判别及分类

该高速公路沿线地层岩性以出露的燕山二、三期全风化花岗岩基底为主,局部覆盖薄层第四系坡积

层, 局部山间洼地分布有薄层冲积层。全风化花岗岩具有一定的膨胀性, 膨胀土经过扰动击实以后或作为路基填料时, 其胀缩总率可以用下列公式计算

$$e_{ps}=e_{p0.5}+c_{sl}\left(\omega-\phi_w\omega_p\right)$$
 (1)

其中, e_{ps} 为胀缩总率; $e_{p0.5}$ 为 50kPa 膨胀率; c_{sl} 为可能收缩的收缩率; ω 、 ω_p 为填料的含水量、塑限含水量; ϕ_w 为湿度系数。

表 2 该地区的蒸发力与降水量

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
蒸发力/mm	43.0	37.1	55.9	26.9	123.8	122.3	144.9	132.0	105.1	87.8	58.9	46.2
降水量/mm	25.2	38.7	63.5	40.6	163.3	209.2	163.5	251.2	254.4	90.9	44.7	19.5

当路基直接采用膨胀土填筑时, 其测试标准宜采用湿法重型击实标准, 其填筑含水量控制标准可以采用稠度 $\omega_c=1.15\sim1.30$, 其中

$$\omega_c=(\omega_L-\omega)/(\omega_L-\omega_p)$$
 (2)

从上述这些公式可以得到湿度系数 $\phi_w=0.81\approx0.8$, 填筑含水量 $\omega=\omega_p-(0.15\sim0.3)I_p$ (推荐取 0.2), 所以

$$e_{ps}=e_{p0.5}+c_{sl}(\omega-\phi_w\omega_p)=e_{p0.5}+0.2c_{sl}(\omega_p-I_p)$$
 (3)

通过对沿线工程地质勘查报告的分析, 该路段所涉及的膨胀土液塑限含水量如图 1。

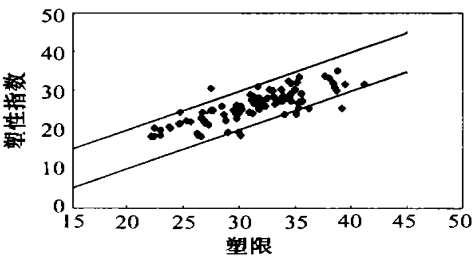


图 1

从图 1 可以看出: ω_p-I_p 的值在 0~10% 之间, 平均为 5%。因此, 路基填筑的膨胀土或击实土的胀缩总率为

$$e_{ps}=e_{p0.5}+c_{sl}\Delta\omega$$
 (4)

其中, $\Delta\omega=0\sim2$, 平均为 1, 单位为 %。

从上面的分析可见, $\Delta\omega$ 为 0~2, 因此收缩系数和 50kPa 的膨胀率对胀缩总率的贡献是可以直接比较的。表 3 是室内试验试样压实度为 90 时, 不同含水量下膨胀土 50kPa 的膨胀率和收缩系数, 从表中可以看出, 该地区矿物成分为以高岭土为主的膨胀土, 其收缩系数随含水量的变化幅值不是很大, 对于该地区的弱膨胀土而言, 其值为 10^{-2} 量级, 对胀缩总率的贡献很小, 对于中等膨胀土, 其值为 10^{-1} 量级, 与

膨胀土的湿度系数应根据当地 10 年以上含水量的变化及有关气象资料统计求出, 也可以按下式计算

$$\phi_w=1.152-0.726\alpha-0.00107c$$

其中, α 为当年 9 月至次年 2 月的蒸发力之和与全年蒸发力之比值; c 为全年中干燥度大于 1 的月份的蒸发力与降水量差值之总和, 干燥度为蒸发力与降水量之比值。表 2 为该地区的蒸发力与降水量。

50kPa 膨胀率对胀缩总率的贡献比较, 它对胀缩总率的贡献也是可以忽略的。因此, 对于扰动压实膨胀土的胀缩总率而言, 收缩变形对其贡献较小, 可以近似等于 50kPa 膨胀率, 即

$$e_{ps}\approx e_{p0.5}$$
 (5)

表 3 膨胀和收缩试验成果表

取样地点	含水量/%	50kPa 膨胀率/%	含水量/%	收缩系数/%
K3+380	10.5	0.26	10.8	0.03
	13.4	0.25	12.8	0.06
	13.9	-0.05	14.8	0.06
	16.7	-0.10	16.8	0.06
K23+800	14.9	0.86	15.9	0.04
	16.5	0.71	17.9	0.05
	18.3	-0.82	19.9	0.05
	18.8	-0.66	21.9	0.05
K52+910	18.2	2.76	18.7	0.13
	19.7	2.32	20.7	0.14
	21.9	1.47	22.7	0.16
	25	1.01	24.7	0.13

图 2 是压实度为 90 时, 50kPa 膨胀率与 CBR 膨胀率间的关系, 可以看出, 两者有一定的线性相关性, 主要在 $e_{p0.5}=0.4^{\circ}\text{CBR 膨胀率}-1.3$ 和 $e_{p0.5}=0.4^{\circ}\text{CBR 膨胀率}-1.8$ 和两条平行线之间, 为安全起见, 取两者关系为 $e_{p0.5}=0.4^{\circ}\text{CBR 膨胀率}-1.3$ 。

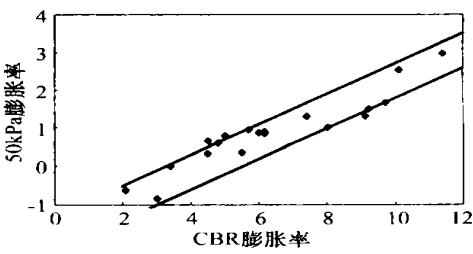


图 2 CBR 膨胀率与 50kPa 膨胀率关系图

膨胀土作为填料时, 现场施工工期紧张, 由于膨胀收缩试验时间较长, 用胀缩总率来判别膨胀土不切实际, 根据以上分析, 可以用浸水 CBR 膨胀率来代替胀

缩总率,用浸水 CBR 膨胀率作为控制指标来判别压实膨胀土。用于路基填料土的膨胀性判别见表 4。

表 4 路基填料用土膨胀性工程特性分类

分类	野外地质特征	主要粘土矿物特征	>0.002 粘粒含量/%	自由膨胀率/%	CBR 膨胀量/%
强膨胀土	灰白色、灰绿色,粘土细腻,滑感特强,网状裂隙极发育,有蜡面,易风化呈细粒状、鳞片状。	蒙脱石 伊利石	> 50	> 90	> 13
中等膨胀土	以棕、红、灰色为主,粘土中含有少量粉砂,滑感较强,裂隙较发育,易风化呈碎粒状,含钙质结核。	蒙脱石 伊利石	35~50	65~90	8~13
弱膨胀土	黄褐色为主,粘土中含较多粉砂,有滑感,裂隙发育,易风化呈碎粒状,含较多钙质或铁锰结核。	蒙脱石 伊利石 高岭石	< 35	40~65	5~8

注: 1. CBR 试验制样控制标准宜采用湿法重型击实标准; 2 条件允许时, 应进行重塑压实土的胀缩总率试验。

4 结论

- (1) 土的膨胀性判别是膨胀土地区工程建设中的一个关键技术问题。
- (2) 从实际工程出发, 结合高速公路的工程特点分析现行膨胀土的优缺点。
- (3) 路基填筑土的膨胀性可利用浸水 CBR 膨胀率来代替胀缩总率, 进行判别和分类。
- (4) 结合具体工程对膨胀土的性质进行分类和统计, 建立适合当地条件和工程特点的判别和分类标准, 对高速公路这一类大量利用土方的工程是非常必

要的。

参考文献:

[1] 廖世文. 膨胀土与铁路工程 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1984.

[2] 中华人民共和国交通部. 公路土工试验规程 (JTJ051-93) [S]. 北京: 人民交通出版社, 1993.

[3] 中华人民共和国建设部. 膨胀土地区建筑技术规范 (GBJ112-87) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.

[4] 中华人民共和国铁道部. 铁路工程地质膨胀土勘测规则 (TB10042-95) [S]. 北京: 中国铁道出版社, 1995

[5] 刘特洪. 工程建设中的膨胀土问题 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.

(上接第 30 页)

沿其拉杆从里到外, 每隔 4m 为一个注浆段, 采取同一设定的注浆压力, 分段逐次完成注浆。(2) 同段上分层, 即在垂直方向上, 不同水平层上的同一注浆段, 按不同的设定注浆压力实施注浆。

施工过程中, 我们还对墙体建造、填土与夯实、锚杆和锚定板的安装等诸多工艺进行了改进, 保证了工程的顺利完成, 鉴于篇幅有限, 本文不作详述。

5 结束语

2000 年 7 月该项工程全部结束, 至今已安全运行了近 4 年。经过 36 个月的连续观测, 整个边坡体及挡土墙本身呈完全稳定状态, 说明双锚技术用于非稳定边坡坡间挡土墙的建造是成功和可靠的, 该项目所取得的理论及技术成果可在类似工程中广泛推广和应用。

参考文献:

Grouted Anchors Have Short Tendon Bond and Length? [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE), 1998, 124 (2): 110-118.

[2] 高永涛, 张友葩, 吴顺川, 等. 滑移岩石边坡加固后的稳定性分析 [J]. 岩土力学与工程学报, 2002, 21 (增 2): 2562-2569.

[3] Chungsik Yoo. Behaviour of Braced and Anchored Walls in Soils Overlying Rock [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE), 2001, 127 (3): 225-232.

[4] 张友葩, 高永涛, 王杰林, 等. 动荷载下土质边坡的失稳分析 [J]. 北京科技大学学报, 1998, 25 (2): 110-117.

[5] 高永涛, 张怀静, 等. 高填方路基本纯侧滑失稳治理的理论研究及工程应用 [J]. 公路交通科技, 2004, 21 (9): 9-12

[6] 张友葩, 高永涛, 等. 交通荷载下高岭铺公铁立交桥挡土墙失稳模拟 [J]. 有色金属, 2003, 50 (2): 96-100.

[7] 高永涛, 张友葩, 等. 土质边坡抗滑桩机理分析 [J]. 北京科技大学学报, 2003, 25 (2): 117-123.

[8] Wu Shunchuan, Zhang Youpa, Gao Yongtao Study on Range Interval Distance of Prestressed Anchor Bars Using Update Backpropagation Neural Network [J]. Journal of Coal Science & Engineering (China), 2003, 9 (2): 35-39

[1] Jean-louis Briaud, Wilkam F Powers, David E Weatherby. Should