

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.05.022

乌鲁木齐地区低液限粉性土路基回弹模量的确定

冉武平,余雄飞,阿肯江·托乎提,李玲

(新疆大学建筑工程学院,新疆 乌鲁木齐 830008)

摘要:采用路基回弹模量常用确定方法,利用试验段现场试验和室内试验的结果,对乌鲁木齐地区低液限粉性土的回弹模量取值进行了分析.研究表明,该地区的低液限粉性土,稠度与压实度对回弹模量均有显著影响,且稠度影响更为显著.建立了回弹模量与稠度及压实度预估关系式.根据试验结果对预估关系式的适用性进行了分析,结果表明该关系式拟和精度较高,可以用于该地区低液限粉性土回弹模量的预估.

关键词:回弹模量;稠度;压实度;预估关系式

中图分类号:U416.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1980(2009)05-0607-04

公路路基回弹模量是公路路基、路面设计的主要参数之一,因其受土质、含水量、压实度、测试方法等因素影响,其数值的确定比较困难,致使工程设计中大多采用查取规范表列值的方法^[1].规范表列值主要是根据制定 1978 年《公路柔性路面设计规范》(内部试行稿)时的数值,为 20 世纪 50~70 年代末我国公路部门在全国范围内进行的路基回弹模量实测及研究成果.由于当时道路施工采用的是轻型压实标准(76 g 锥),不同于现在的重型压实标准(100 g 锥)^[2],这些都使公路路基回弹模量取值的误差增大.路基回弹模量取值的不准确势必影响公路路面设计的质量和路面的使用年限,造成路面的早期损坏或不必要的浪费.现行 JTGD 50—2006《公路沥青路面设计规范》和 JTGD 40—2002《公路水泥混凝土路面设计规范》中规定,确定回弹模量的方法有 4 种,即查表法、现场实测法、室内试验法和换算法^[3].旧规范查表法是根据 20 世纪 70 年代在轻型压实标准的土基上,各公路单位在不利季节调查、测定结果,考虑不利年份整理提出来的,新规范中的回弹模量建议值是在老规范的基础上,用重型击实标准回弹模量乘以一定的系数制定出来的^[3],也有部分数据是在新成型路基上测定回弹模量,考虑不利季节和不利年份整理提出来的^[4].经调查,乌鲁木齐地区关于低液限粉性土的回弹模量也是采用查表法,而查表查不出结果时大多数采用估算方法.这种取值方法不准确也不科学.实践证明,实行重型击实标准后,回弹模量的提高与土质、含水量等因素有关.就同一种土质而言也不能一概而论,回弹模量不是一个常数,它不仅与应力状态有关,而且与压实度、含水量、细料含量以及毗邻结构层刚度等因素有关.

对确定的土质,含水量 w 和密实度是 2 个影响回弹模量的主要因素,特别是含水量的影响.有关资料显示,保持干密度不变,仅含水量增加 1%(绝对值)就可使回弹模量降低较大^[5].如果含水量增加,干密度降低,这将使回弹模量降低更多^[5].试验证明,回弹模量 E_0 和压实度 K 、稠度 w_c 之间有一定的相关关系.这种关系的得出,将有利于 E_0 的预测和检验,在一定意义上减轻了工作量,提高了效率.同时 JTGD 50—2006《公路沥青路面设计规范》和 JTGD 40—2002《公路水泥混凝土路面设计规范》中总结出了一些地区 E_0 、 K 和 w_c 之间的关系,而每个地方的情况都不尽相同.本文通过对室内及现场试验数据进行分析,对乌鲁木齐地区低液限粉土 E_0 、 K 、 w_c 三者之间的相关关系进行研究.

收稿日期:2008-09-10

基金项目:国家自然科学基金(50768010);教育部春晖项目(C2004-2-6503);新疆维吾尔自治区教育厅科研项目(060115);新疆大学院校联合课题基金(XY080136)

作者简介:冉武平(1977—),男,甘肃镇原人,讲师,硕士,主要从事道路路基路面研究.

1 试验路段土质概况

乌鲁木齐地区属于全国公路公路二级区划的Ⅵ₄区,该地区低液限粉性土较多.为了明确该地区低液限粉性土 E_0 与各个监测指标之间的相关关系,依托乌鲁木齐市米东新区 500 工业新城 5 号道路,进行试验路段的现场实测和室内试验.通过试验确定该地区土壤的物理性质为:最大干密度 $\rho_d = 2.2 \text{ g/cm}^3$,最佳含水量 11.5%,液限值 27.4,塑限值 17.5.

2 试验方案及实验内容

2.1 现场承载板实验

现场试验在米东新区 500 工业新城 5 号道路选取的试验段上进行,分别为 K0 + 500 ~ K0 + 600, K1 + 360 ~ K1 + 460, K2 + 300 ~ K2 + 400 段,每段分别测 4 个点.试验段土质为低液限粉性土.试验时间为该地区的夏季,试验前后均无降雨.试验段属于挖方路基, $w_c \geq w_{cl} = 1.05$,所以路基处于干燥状态.对于该地区处于不利季节或冰冻、暴雨、地下水位较高等情况另行考虑.路基开挖后,大致整平,由于要换填,没有进行严格的压实.采用直径 30 cm 的刚性承载法,在现场土基表面,通过承载板对土基逐级加、卸载^[6],经过计算求得土基的现场回弹模量.现场测得相应点的压实度、含水量和稠度见表 1 所示.

w_c 稠度指标综合反应了土的塑性特性,包含了液限与塑限,全面直观地反映了土的软硬程度,且容易测定; K 是衡量路基整体强度与稳定性的另一个重要指标,较易测定;而 E_0 在测定时较为繁琐.因此选择 w_c 和 K 为自变量,建立与 E_0 的关系式.利用试验路段检测数据回归得出乌鲁木齐地区低液限粉性土 E_0 与 K, w_c 相应的关系:

$$E_0 = 12.73 K^{0.637} w_c^{2.702} \quad R^2 = 0.84 \tag{1}$$

式中 R^2 为相关系数.

试验回归公式具有良好的相关关系,同时也反映出 w_c 的变化将会引起 E_0 较大的变幅.经过与现行规范推荐公式对比和反算分析,表明试验回归公式比较适合乌鲁木齐地区的低液限粉性土.

2.2 现场 CBR(材料承载比)实验

用后轴重 100 kN 的汽车做反力架,在现场用 CBR 检测仪来测该路段的地基承载能力^[7],见表 2.

根据设计方案,该路路基全部进行 80 ~ 100 cm 换填.

2.3 室内强度仪法

室内试验在强度仪上进行,重型击实试验得到的 E_0 一般较轻型压实的土基模量大 15% ~ 30%^[8].采用重型击实试验,根据试验方案控制试件压实度及击实次数.分 3 层,每层击实 98 下,含水量分别控制在 5.6%, 9.8%, 13.3%, 14.5%, 17.7%.控制试件压实度 $K = 95\%$.试验结果见表 3.

表 3 回弹模量试验结果

Table 3 Test results of modulus of resilience

层数	E_0/MPa				
	$w = 5.6\%$	$w = 9.8\%$	$w = 13.3\%$	$w = 14.5\%$	$w = 17.7\%$
1	299.23	269.41	91.21	21.12	12.32
2	301.14	258.37	92.12	21.02	12.20
3	296.99	287.35	90.92	22.30	12.12

表 1 试验段测得土基顶面回弹模量

Table 1 Measured moduli of resilience on subgrade top of test section

测点	E_0/MPa	$K/\%$	$w/\%$	w_c
1	15.61	77.8	16.02	1.15
2	12.22	88.3	16.71	1.08
3	17.88	85.8	15.52	1.20
4	16.13	79.8	16.51	1.1
5	10.53	74.3	17.01	1.05
6	25.30	90.3	14.73	1.28
7	18.01	84.5	15.12	1.24
8	23.55	88.9	14.53	1.30
9	21.23	84.3	15.12	1.24
10	18.23	85.5	15.72	1.18
11	16.56	80.3	16.71	1.07
12	15.03	79.5	16.21	1.13

表 2 现场 CBR 值

Table 2 Values of field CBR

试验点	$w/\%$	$\rho_d/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	CBR 值	
			CBR _{2.5}	CBR ₅
K0 + 550	13.4	1.73	4.7	4.8
K1 + 400	16.4	1.96	4.9	5.1

根据试验数据 w_c 与 E_0 关系如图 1 所示。
由试验数据回归 稠度 w_c 与回弹模量 E_0 关系式为
$$E_0 = -18.615w_c^2 + 337.89w_c - 333.22 \quad R^2 = 0.89 \quad (2)$$

回归公式具有良好的相关关系,回归曲线呈半抛物线状,开口向下,验证了稠度与回弹模量之间的客观规律:试验土质随着稠度的增大,回弹模量增大,且曲线相对较陡,说明稠度对回弹模量的影响较大,这也恰好说明低液限粉性土的特性。

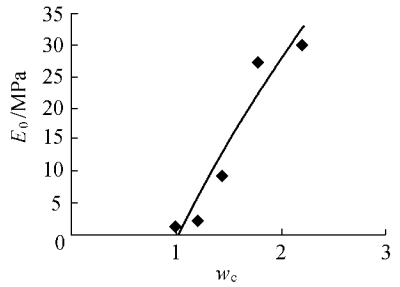


图 1 稠度与土基回弹模量关系

Fig. 1 Relationship between consistency and modulus of resilience

3 结 论

- a. 通过室内室外试验得出低液限粉性土的特性:低液限粉性土的回弹模量随着含水量的增减较压实度增大变化速度快。
- b. 建立在现场研究基础上的回弹模量与压实度和稠度间的关系式,可用于预测一定压实度和稠度条件下的回弹模量值。
- c. 由于室内回弹模量测试的结果是在试验室完成,没有考虑路基在外界不利季节影响下的模量变化,所以室内测试的结果应该乘以 15% ~ 30% 的折减系数^[9],以估计实际状态下的路基回弹模量。
- d. 通过现场 CBR 试验可以看出该路基作为上路堤可以满足规范要求。
- e. 通过研究可以发现,低液限粉性土由于其强度受含水量影响较大,根据 CBR 值可知,其地基承载力较小,一般不易直接作为路床结构^[10],在干旱少雨地区如做路床应进行处理以防局部沉陷。
- f. 由于现场路基没有基本处于天然状态,所以关于回弹模量和 CBR、弯沉的关系有待于进一步的研究。

参考文献:

[1] 吴德华,王选仓,姚爱玲.陕西关中地区土基回弹模量研究[J].公路交通科技,2005,22(2):31-33.(WU De-hua,WANG Xuan-cang,YAO Ai-ling. Research on rebound modulus of embankment in Shaanxi Guanzhong area[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2005,22(2):31-33.(in Chinese))

[2] 王俊梅.回弹模量及其测试方法研究[D].西安:长安大学,2004.

[3] 陆鼎中,程家驹.路基路面工程[M].上海:同济大学出版社,1998:167-170.

[4] 李贵顺.室内模拟回弹模量法确定土基回弹模量的研究[J].山西交通科技,1997(4):28-30.(LI Gui-shun. The research for indoor analog modulus of resilience method determining soil base modulus of resilience[J]. Shanxi Science & Technology of Communications,1997(4):28-30.(in Chinese))

[5] 董磊,靳世富,刘建国,等.回弹模量影响因素分析[J].水利建设与管理,2006(10):21-22.(DONG Lei,JIN Shi-fu,LIU Jian-guo,et al. Analysis of influencing factors of modulus of resilience[J]. Water Resources Development & Management,2006(10):21-22.(in Chinese))

[6] 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术[M].北京:人民交通出版社,2000:212-214.

[7] 樊英华,梅满潮,荆冰寅.回弹模量、回弹弯沉、现场 CBR 之间的关系[J].山西交通科技,2001(增刊 2):34-35.(FAN Ying-hua,MEI Man-chao,JING Bing-yin. Relationship between modulus of resilience, rebound deflection and in-situ CBR values[J]. Shanxi Science & Technology of Communications,2001(S2):34-35.(in Chinese))

[8] 柳志军,刘春荣,胡朋.土基回弹模量合理取值试验研究[J].重庆交通学院学报,2006,25(3):65-67.(LIU Zhi-jun,LIU Chun-rong,HU Peng. Experimental study on reasonable evaluation of rebound modulus of subgrade[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University,2006,25(3):65-67.(in Chinese))

[9] 张洪华.应用 FWD 测定回弹模量的研究[J].中国公路学报,1994(增刊):9-13.(ZHONG Hong-hua. Measurement of modulus of resilience with FWD technology[J]. China Journal of Highway and Transport,1994(S1):9-13.(in Chinese))

[10] 陈柏年,朱风艳,韩勤.CBR 试验内在机理研究及影响因素的分析[J].交通标准化,2001(1):28-30.(CHEN Bo-nian,ZHU Feng-yan,HAN Qin. Intrinsic mechanism and influencing factors of CBR test[J]. Communications Standardization,2001(1):28-30.(in Chinese))

Modulus of resilience for embankments with
low liquid limit silty soil in Urumqi Area

RAN Wu-ping , YU Xiong-fei , A Kenjiang · Tuohuti , LI Ling

(College of Architecture Engineering , Xinjiang University , Urumqi 830008 , China)

Abstract : By use of the common methods for modulus of resilience of subgrades and the field and laboratory test results the values of modulus of resilience for embankments with low liquid limit silty soil in Urumqi Area were analyzed. The results show that the consistency and the degree of compaction both have significant influences on the modulus of resilience of the low liquid limit silty soil , and the influences of the former are more significant than those of the latter. Based on the test results , a prediction model for the modulus of resilience , consistency and degree of compaction was established. The applicability of the prediction model was analyzed according to the test results. A conclusion is drawn that the present prediction model is of high precision of fitting and can be employed to estimate the modulus of resilience of low liquid limit silty soil in Urumqi area.

Key words : modulus of resilience ;consistency ;degree of compaction ;prediction model

高端报告会第十三讲在河海大学成功举办——
王浩院士剖析‘中国水资源与水环境’的现状

由江苏省科学技术协会、河海大学、江苏科技报社、江苏省广播电视总台共同主办的系列高端科技报告会第十三讲在河海大学成功举办。

水是人类生产生活不可缺少的重要组成部分，但地球上真正可供人类利用的水资源并不多。湖泊干涸、河道断流、地下水位下降“缺水”成为经济社会可持续发展的“心腹大患”。面对困境，我们该如何面对？

9月20日上午9:30，中国工程院院士、中国水科院水资源所所长王浩做客系列高端科技报告会，从水资源与人类的关系入手，就我国水环境形势、雨水资源的合理利用、污水处理标准、黄河治理四个方面为南京市民及我校师生讲述“中国水资源与水环境”的现状。江苏省科协党组书记、常务副主席徐耀新出席会议，江苏省科协副主席阮仁良主持报告会，河海大学副校长朱跃龙，南京水利科学研究院副院长孙金华，江苏省科协党组成员、秘书长詹庚庆等领导出席，高校师生以及南京市民共470多人到会。现场座无虚席，慕名而来的听众没有了加座，就挤在走廊中听讲，掌声不断，反响热烈，报告会因听众的热情、互动不断而延迟结束。

2008年，江苏省科协联合江苏科技报社、江苏省广播电视总台共同主办了开放式、高层次、公益性的常设科普活动——系列高端科技报告会，邀请国内外著名的大科学家，就国家重大发展战略、工程项目和攻关课题的创新需求以及学科发展的前沿动态，作科普性、前瞻性、战略性的高端报告，旨在“弘扬科学精神、传播科学知识、营造创新氛围、激励人才成长，推动创新型省份建设，促进全民科学素质的提高。报告会向社会公众开放，充分发挥社会传媒的作用。2008年以来，秦大河等一批我国著名科学家先后来宁作了高端报告。高端报告会也是江苏贯彻实施《全民科学素质行动计划纲要》的一项品牌活动。

(本刊编辑部供稿)