

文章编号:1671-8879(2008)05-0005-05

路基弯沉检测标准

郑木莲¹, 王选仓¹, 王崇涛^{1,2}

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;
2. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075)

摘要: 针对《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034-2000)中路基弯沉检测方法存在的不足, 结合西安一户县高速公路试验路实体工程, 对土样进行室内轻、重型击实标准回弹模量试验, 现场检测土基回弹弯沉值、回弹模量和压实度等指标, 对检测数据进行回归分析, 得出土基回弹模量与稠度、压实度的关系, 进而推出季节影响系数与稠度关系。结果表明: 西安地区土基回弹模量设计取值宜在规范基础上提高 20%~40%; 结合回归得出的土基回弹模量与土基顶面弯沉的关系, 可以得到路基顶面弯沉检测标准, 从而为路基弯沉检测提供依据。

关键词: 道路工程; 土基; 压实度; 回弹模量; 弯沉; 季节影响系数

中图分类号: U416.1 **文献标志码:** A

Test standard of subgrade deflection

ZHENG Mu-lian¹, WANG Xuan-cang¹, WANG Chong-tao^{1,2}

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Chinese First Institute Limited Corporation of Highway Survey and Design, Xi'an 710075, Shaanxi, China)

Abstract: There exist shortcomings in the subgrade deflection test method in Chinese technology standard *Specification of Highway Subgrade Construction*. In order to get the reasonable test standard, on the experimental road from Xi'an to Huxian, the indoor modulus tests of the soil samples under the light compaction and heavy compaction standards were carried, and the field subgrade deflection, modulus and compaction degree were tested. The relationship between subgrade rebound modulus and consistency and compaction degree with the regression analysis of the test datum and the relationship between the season influencing coefficients and the consistency were drawn. The results show that the design values of the subgrade rebound modulus at Xi'an region should be increased 20%~40% at the basis of the specification ones, the test standard of subgrade top deflection can be derived combining the regression relationship between the subgrade rebound modulus and the subgrade top deflection, which can provide reasonable standard for subgrade deflection test. 6 tabs, 1 fig, 12 refs.

Key words: road engineering; subgrade; compaction degree; rebound modulus; reflection; season influencing coefficient

收稿日期: 2007-11-05

基金项目: 国家西部交通建设科技项目(200631800005); 陕西省自然科学基金研究计划资助项目(2005E207)

作者简介: 郑木莲(1977-), 女, 山东蒙阴人, 副教授, 工学博士, E-mail: zhengmulian@163.com.

0 引 言

路基弯沉是路面弯沉的重要组成部分,是检测路基整体刚度的重要指标^[1-6]。现行规范^[7]中关于土基顶面回弹弯沉检验值的计算式为

$$l_0 = 9\,308E_0^{-0.938} \quad (1)$$

式中: l_0 为土基顶面的回弹弯沉计算值(0.01 mm);
 E_0 为土基回弹模量(MPa)。

由于设计中采用的土基回弹模量计算值是针对最不利季节的,而施工中的弯沉值检验往往在非不利季节进行,因此需先将 E_0 计算值调整到相当于非不利季节的土基回弹模量值 E'_0 (MPa),即

$$E'_0 = K_1 E_0 \quad (2)$$

式中: K_1 为季节影响系数,不同地区取值范围为 1.2 ~ 1.4,各地可根据经验确定。

将土基回弹模量的调整值代入式(1),所得回弹弯沉值即为土基弯沉检验时的标准值。进行弯沉测量后,对于一级公路和高速公路,路段的代表弯沉值 $\bar{l}_0 + 2S$ (其中, \bar{l}_0 为实测路基弯沉平均值, S 为均方差) 应小于该标准值;对于二级和二级以下的公路,路段代表弯沉值 $\bar{l}_0 + 1.645S$ 或 $\bar{l}_0 + 1.5S$ 应小于该标准值。

由上可见,土基回弹模量是确定路基弯沉检测标准值的主要因素,其取值是否合适,将关系到路基弯沉检测标准值的正确性,进而关系到路基弯沉检

测结果的合理性。由于影响土基回弹模量的因素很多,不同地区、不同季节的土基回弹模量变化相差很大, K_1 按经验取值也难免存在较大误差,进而影响路基弯沉检测标准值的确定,造成路基弯沉检测不准确^[8]。为此,合理选取 K_1 值显得尤为重要。此外,式(1)也是经验公式,受各种因素影响很大,不同地区相差较大,因此在进行路基弯沉检测时,宜现场测定土基顶面回弹弯沉值与土基回弹模量值,进而回归出二者关系,用于确定路基弯沉检测标准^[9]。

本文以西安地区西安—户县(西户)高速公路试验段为例,详细介绍如何确定该地区路基弯沉检测标准。

1 土基回弹模量规范值与重型击实试验值的关系

表 1 是西安地区近年来公路土基回弹模量设计值调查结果。由表 1 数据可见,目前西安地区土基回弹模量设计取值一般位于规范^[10] 推荐值下限。规范值是在轻型击实标准下得到的,对于目前施工中普遍采用的重型击实标准,其值应相应提高,而实际上土基回弹模量设计值不仅没有提高,反而低于规范值。由式(1)得知,回弹模量越小,路基弯沉检测标准值越大,对路基弯沉要求越低,容易造成路基弯沉检测合格而实际不合格的情况,为路面的正常运营埋下隐患。

表 1 西安地区公路土基回弹模量取值调查结果

土质类型	土基回弹模量/MPa					
	潮湿		中湿		干燥	
	调查值	规范值	调查值	规范值	调查值	规范值
中液限粘土	26~30	30.8~40.4	35~40	40.4~62.7		
粉质亚粘土	22	32.5~44.2	26	44.2~67.0	30~31	67.0~96.2
粉质土	30	32.5~44.2	40	44.2~67.0	60	67.0~96.2
粉质轻亚粘土	32	32.5~44.2	39	44.2~67.0		
粉质低液限粘土		32.5~44.2	38	44.2~67.0		
低液限粘土		30.8~40.4		40.4~62.7	60	62.7~88.0

为得出西安地区土质轻、重型击实标准下的土基回弹模量的关系,本文进行了室内试验和现场测试。

1.1 室内轻、重型击实标准回弹模量试验

利用西户高速公路试验段土样,根据规范^[11] 规定进行了室内轻、重型击实制备试件的试验,并对各个试件采用室内承载板法测定了回弹模量,测试结果如表 2 所示。

由表 2 可知,室内重型击实标准下试件的回弹模量平均值(60.24 MPa)比室内轻型击实标准下试

件的回弹模量值(38.64 MPa)提高55.9%。

1.2 现场重型压实标准下土基回弹模量与规范值的关系

土基回弹模量规范值是在轻型击实标准下得到的,而现行公路尤其是高等级公路路基施工都已实行重型压实标准,为找出重型压实标准下土基回弹模量与规范值间的关系,本文选取西户高速公路试验段进行现场土基回弹模量及对应点土质液、塑限和含水量(含水质量分数)测试,结果如表 2 所示。

表 2 轻、重型击实标准下现场测试值

击实类型	实际平均含水量/%	压实度/%	回弹模量/MPa	回弹模量均值/MPa
轻型击实	13.76	93.5	52.80	38.64
	15.16	96.5	45.96	
	17.27	98.8	36.91	
	19.13	100	30.66	
	20.42	100	26.86	
重型击实	10.27	93.7	95.45	60.24
	12.13	96.8	72.82	
	14.07	100	57.22	
	15.45	99.5	46.85	
	18.52	92.6	28.36	

试验段土的物理指标如表 3 所示,将测试点土的含水量换算成稠度,据此可得该试验段的土基回弹模量规范值。规范值与现场承载板法所确定的模量值如表 4 所示。

表 3 土的物理指标

物理指标	液限/%	塑限/%	塑性指数	最佳含水量/%
低液限粘土	25.5	16.2	9.3	11.1

表 4 规范值与现场承载板测定模量值对比

项 目	模量范围	模量均值
现场承载板法值/MPa	58.1~72.9	65.0
规范值/MPa	44.4~53.6	48.9
模量增长幅度/%	21~47	33

从表 4 可以看出,现场重型压实标准下的土基回弹模量较规范值大,增长幅度为 21%~47%,平均为 33%。

综上所述,室内重型击实标准下土基回弹模量值和现场重型压实标准下土基回弹模量值,均比室内轻型击实标准下土基回弹模量值和规范值有大幅提高,考虑其他影响因素,建议西安地区土基回弹模量设计取值宜在规范值上提高 20%~40%。

2 K_1 与土基压实度、稠度的关系

研究发现,土基回弹模量与稠度、压实度之间存在良好的相关关系,即使在最不利季节时,土基回弹模量与稠度间同样存在相关关系。由式(2)可以得到 $K_1=E'_0/E_0$,即 K_1 可看作弯沉检测时土基回弹模量计算值与最不利季节土基回弹模量值(设计值)的比值,即可根据压实度和稠度得出任一时间路基弯沉检测时的季节影响系数。

在西户高速公路选取试验段,依据规范^[12],采用贝克曼梁法测定土基回弹弯沉,使用承载板测定土基回弹模量,采用挖坑灌砂法测定土基压实度和

稠度。测试结果如表 5 所示。

对表 5 数据进行分析,得出土基回弹模量 E_0 、压实度 K 和稠度 ω_c 三者之间的相关关系(R 为相关系数)

$$E_0=24.07K^{1.794}\omega_c^{2.646}, R=0.917 \tag{3}$$

设 $K_s、\omega_{CS}$ 分别为任一时刻路基弯沉检测时对应的土基压实度和稠度, $K_b、\omega_{CD}$ 分别为最不利季节时土基压实度和稠度,则由式(3)可得

路基弯沉检测时
$$E'_0=24.07K_s^{1.794}\omega_{CS}^{2.646} \tag{4}$$

最不利季节时
$$E_0=24.07K_b^{1.794}\omega_{CD}^{2.646} \tag{5}$$

则
$$K_1=(K_s/K_b)^{1.794}(\omega_{CS}/\omega_{CD})^{2.646} \tag{6}$$

一般来说,最不利季节主要是指一年中土基含水量变化过程中含水量最大的时候,南方主要指雨季,北方主要是在春季冻融时。为此,对于某一指定地区而言,最不利季节时土基稠度可视为定值,此时路基压实度和弯沉检测时路基压实度近似相等,因此 K_1 可近似为弯沉检测时土基稠度的函数

$$K_1=A\omega_{CS}^{2.646} \tag{7}$$

式中: $A=\omega_{CD}^{-2.646}$ 。

表 5 土基测试数据结果

序号	弯沉值/(0.01 mm)	回弹模量 E_0 /MPa	压实度 K /%	稠度 ω_c
1	243	63.88	97.5	1.47
2	180	74.45	97.1	1.58
3	228	64.33	99.4	1.42
4	214	71.94	96.7	1.56
5	215	70.90	96.1	1.54
6	429	56.79	96.1	1.44
7	405	51.31	98.0	1.40
8	355	59.09	94.6	1.45
9	387	54.70	95.6	1.42
10	263	68.68	97.1	1.51
11	362	56.20	94.6	1.45
12	253	64.83	95.5	1.49
13	281	61.39	94.1	1.49
14	241	69.12	96.6	1.53
15	317	63.88	94.6	1.49
16	211	69.47	98.0	1.52
17	272	63.57	95.6	1.44
18	214	68.01	96.1	1.52
19	265	67.28	97.1	1.48

3 土基顶面弯沉值与回弹模量的关系

由于土质和路基强度不同,不同地区不同单位

所得的土基顶面回弹弯沉值与土基回弹模量间的回归方程式有所差别。现行规范^[7]给出了确定回弹弯沉检测标准的经验公式(式(1))。

对表 5 中试验路检测数据进行回归,得出路基顶面弯沉与土基回弹模量之间关系(图 1),如式(8),可见式(8)与式(1)差别较大。

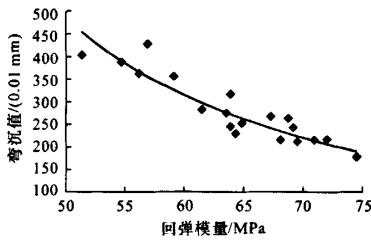


图 1 弯沉值与土基回弹模量的关系

$$l_0 = 3\,834\,774E_0^{-2.3}, R = 0.922 \tag{8}$$

为检验回归的土基回弹模量与弯沉相关关系式的准确程度,对规范推荐公式和试验回归公式分别计算,对比结果如表 6 所示。

从表 6 中的数据对比分析可以看出,规范推荐公式计算的土基回弹模量值与实测值相差较大,最大偏差绝对值为 50.9%,最小偏差绝对值为 9.3%,平均偏差绝对值达到 30.1%;而使用本项试验回归得到的公式计算出来的土基回弹模量值与实测值相差较小,最大偏差绝对值为 16.5%,最小仅为 0.1%,平均偏差绝对值为 8.4%。此外,规范推荐公式计算值普遍偏小,不能合理反映西安地区土基回弹模量与回弹弯沉之间的关系,式(8)却较好地反映出两者间的关系,可用来计算西安地区路基弯沉检测标准值。

表 6 回归公式与规范公式计算弯沉值的比较

序号	回弹模量值/ MPa	实测弯沉值/ (0.01 mm)	回归公式计算弯 沉值/(0.01 mm)	回归值与试验值 偏差/%	规范公式计算弯 沉值/(0.01 mm)	规范值与试验值 偏差/%
1	63.88	243	270.02	11.1	188.55	-22.4
2	74.45	180	189.87	5.5	163.32	-9.3
3	64.33	228	265.70	16.5	187.31	-17.8
4	71.94	214	205.45	-4.0	168.66	-21.2
5	70.90	215	212.45	-1.2	170.98	-20.5
6	56.79	429	353.93	-17.5	210.55	-50.9
7	51.31	405	446.97	10.4	231.57	-42.8
8	59.09	355	323.04	-9.0	202.85	-42.9
9	54.70	387	385.81	-0.3	218.08	-43.6
10	68.68	263	228.58	-13.1	176.16	-33.0
11	56.20	362	362.53	0.1	212.62	-41.3
12	64.83	253	261.01	3.2	185.96	-26.5
13	61.39	281	295.88	5.3	195.71	-30.4
14	69.12	241	225.24	-6.5	175.11	-27.3
15	63.88	317	270.02	-14.8	188.55	-40.5
16	69.47	211	222.64	5.5	174.28	-17.4
17	63.57	272	273.06	0.4	189.41	-30.4
18	68.01	214	233.79	9.2	177.79	-16.9
19	67.28	265	239.66	-9.6	179.60	-32.2

4 路基弯沉检测标准的确定与算例

4.1 路基弯沉检测标准

根据规范^[7]要求,利用式(7),先将 E_0 调整到相当于非不利季节时的值 E' 。

$$E'_0 = A\omega_{CS}^{2.646} E_0 \tag{9}$$

E'_0 代替 E_0 ,代入式(8)中可得

$$l'_0 = 3\,834\,774(A\omega_{CS}^{2.646} E_0)^{-2.3} \tag{10}$$

式中: l'_0 即为任意时刻路基顶面弯沉值。

利用式(10),即可求得西安地区路基顶面弯沉检验标准值。

4.2 算 例

以试验路采集的数据为例,说明式(10)与现行规范^[7]中的方法(简称规范法)确定路基弯沉检验标准的区别。

已知该段试验路土质为粘性土,平均稠度为 1.38,土基回弹模量设计值为 38 MPa。经调查,该路段最不利季节时,路基土稠度为 0.98;实测路基顶

面弯沉代表值为 66.54(0.01 mm)。

(1) 由式(10) 计算路基弯沉验收标准值。

$$l'_0 = 3\,834\,774 \times [0.98^{-2.646} \times (1.38/0.98)^{2.646} \times 38]^{-2.3} = 98.21(0.01\text{ mm})$$

(2) 采用规范法计算路基弯沉验收标准值。

首先将土基回弹模量设计值换算成非不利季节的值,季节影响系数取为 1.4,有

$$E'_0 = K_1 E_0 = 1.4 \times 38 = 53.2\text{ MPa}$$

然后将 E'_0 代入式(1) 可得

$$l'_0 = 9\,308(K_1 E_0)^{-0.938} = 9\,308 \times 53.2^{-0.938} = 223.85(0.01\text{ mm})$$

由此可见,采用式(10) 得到的路基弯沉检测标准值比规范法得到的标准值小 125.64(0.01 mm),减小幅度达 56.1%,差别很大。算例中,实测路基顶面弯沉代表值为 66.54(0.01 mm),比前面两种方法得出的标准值都小,因此路基弯沉检测是合格的。但若实测路基顶面弯沉代表值位于 98.21 ~ 223.85(0.01 mm) 时,如果用规范法检测,路基弯沉仍是合格的,但实际弯沉偏大,并不满足要求。

5 结 语

(1) 通过室内试验,得到重型击实标准下西安地区土基回弹模量平均值比轻型击实标准下的土基回弹模量值提高 55.9%,重型压实标准下西安地区土基回弹模量较规范值平均增大 33%。据此建议,西安地区土基回弹模量设计取值宜在规范值基础上提高 20%~40%。

(2) 通过现场测试,得出西安地区土基回弹模量与压实度、稠度的相关关系式,据此得到季节影响系数与稠度的相关关系式。

(3) 结合土基回弹模量与路基顶面弯沉相关关系式,得出西安地区任意时刻路基顶面弯沉检验标准,通过与实测数据与规范公式计算结果的对比,得出回归的关系式能较好地反映弯沉与土基回弹模量的关系,可用来计算西安地区路基弯沉检测标准值。在此基础上,提出任意时刻西安地区路基顶面弯沉检验标准值计算公式,并结合试验路实测数据,比较该回归公式与规范计算方法的区别。

参考文献:

References:

[1] Collop A C, Armitage R J, Thomn N H. Assessing

variability of in situ pavement material stiffness moduli[J]. Journal of Transportation Engineering, 2001,127(1):74-81.

[2] Zaghoul S, Hoover T, Swan D J, et al. Enhancing backcalculation procedures through consideration of thickness variability [C] // TRB. Transportation Research Record 1869. Washington D C: TRB,2004: 80-87.

[3] 冯光乐,许志鸿,凌天清. 半刚性基层施工弯沉检测标准研究[J]. 同济大学学报,2003,31(2):156-160.

FENG Guang-le, XU Zhi-hong, LING Tian-qing. Study on semi-rigid base deflection criterion during construction[J]. Journal of Tongji University, 2003, 31(2):156-160.

[4] 杨永红,王选仓,韩国杰,等. 甘肃黄土地区土基回弹模量[J]. 长安大学学报:自然科学版,2005,25(3):7-10.

YANG Yong-hong, WANG Xuan-cang, HAN Guo-jie, et al. Rebound module of subgrade in Gansu loess area[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(3):7-10.

[5] 张碧琴,李江华,田茂杰,等. 新疆公路三级区划设计参数的研究[J]. 中国公路学报,2005,18(3):18-21.

ZHANG Bi-qin, LI Jiang-hua, TIAN Mao-jie, et al. Research on design parameter of the third rank division for highway in Xinjiang[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(3):18-21.

[6] 傅 珍,王选仓,陈星光,等. 拓宽路基差异沉降特性和影响因素[J]. 交通运输工程学报,2007,7(1):54-57.

FU Zhen, WANG Xuan-cang, CHEN Xing-guang, et al. Differential settlement characteristics and influencing factors of widening subgrade[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(1):54-57.

[7] JTJ 034-2000,公路路面基层施工技术规范[S].

[8] 王崇涛. 西安公路设计参数及弯沉检测标准研究[D]. 西安:长安大学,2005.

[9] 王宇辉,陈兴伟,李淑明,等. 新疆地区公路沥青路面弯沉综合修正系数[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2003, 23(4):11-14.

WANG Yu-hui, CHEN Xing-wei, LI Shu-ming, et al. General deflection correctness coefficient of asphalt pavements in Xinjiang area[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(4):11-14.

[10] JTG D50-2006,公路沥青路面设计规范[S].

[11] JTJ 051-93,公路土工试验规程[S].

[12] JTJ 059-95,公路路基路面现场测试规程[S].