

## 高液限黏土改扩建路基安全性能数值模拟分析\*

李友云<sup>1</sup>, 李懿<sup>1</sup>, 张军<sup>2</sup>, 廖浩成<sup>2</sup>, 黄博<sup>1</sup>

(1.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114; 2.湖南省莲株高速公路建设开发有限公司, 湖南 株洲 412000)

**摘要:** 高液限黏土路基改扩建工程中, 新老路基差异沉降是影响路基强度及稳定性的主要因素。文中结合液塑性试验及室内击实试验, 利用 GeoStudio 软件对高液限黏土改扩建路基进行数值模拟, 分析高液限黏土路基的强度及稳定性。结果表明, 分层填筑时, 地基最大沉降发生在新路堤形心处, 且高液限黏土路基沉降比一般路基的大; 不同高度路堤施工完成后, 地基最大沉降始终发生在新路堤形心处, 填土高度越高, 路基的安全系数越小, 且高液限黏土路基上边坡的安全系数比一般路基的小。

**关键词:** 公路; 高液限黏土; 路基改扩建; 沉降; 安全系数; 数值模拟

中图分类号: U418.8

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)03-0097-04

高液限黏土在中国分布广泛, 富含高液限黏土的省、市达 20 多个, 随着高速公路的迅猛发展, 对高液限黏土填筑性能的研究变得十分重要。对于高液限黏土路基填筑问题, 学者们主要通过室内外试验分析其变化规律。何颖通过实地取样试验, 得出压实度及 CBR(承载比)值是评价高液限黏土路基施工质量的重要指标, 并根据现场实际沉降模拟推测将来路基沉降情况, 预测其沉降变化规律。段凯提出了高液限黏土路基稳定性的多种分析法及沉降计算方法。曹为通过有限元软件追踪测试高液限土的翻晒过程, 模拟了海南气候条件下高液限土含水率随时间的变化。罗婉分析了高液限红黏土湿化对其强度的影响及剪切变形规律, 结合双曲线模型推出了湿化变形公式。近年来, 高液限黏土的改良利用及填筑控制标准被运用于工程中。戴良军对不同掺砂量高液限填料进行试验, 得出其合理施工含水率介于天然含水率与最佳含水率之间。王成斌提出利用高液限黏土作为路基填料的前提是对其进行改性处理, 其中最经济有效的方法是掺石灰。此外, 一些学者还提出了多种高液限黏土的理化改良方法, 其中物理方法有掺砂性土、换填土、包芯及土工合成材料处治, 化学方法有掺粉煤灰、生石灰及水泥。国外一些专家提出 CBR 值和填筑压实度是高速公路填筑质量控制标准, CBR 值越大, 基层材料承载能力越大; 压实度越大, 土体间越密实。

目前对高液限黏土的研究往往只关注其本身的

路用性能及用作一般路基填料的方法, 少有对高液限黏土用于路基改扩建工程的研究。该文分别建立一般地基和软土地基上改扩建模型, 对不同地基上改扩建路基进行模拟, 分析其沉降状态及安全系数, 研究高液限黏土路基改扩建工程的沉降变化规律, 为其安全稳定性控制提供依据。

## 1 改扩建路基模型建立

### 1.1 一般地基上路基改扩建模型

路基拓宽采用双侧拓宽, 两侧各拓宽 7.5 m, 由原来的四车道改成六车道, 路基高度为 4 m。地基分 2 层, 第一层为地下 10 m 深的粉质黏土层, 第二层为地下 25 m 深的黏土层。新路基分 3 层, 第一层 93 区为 2.5 m 高液限黏土, 第二层 94 区为 0.7 m 高液限黏土, 第三层 96 区为 0.8 m 低液限黏土(见图 1)。

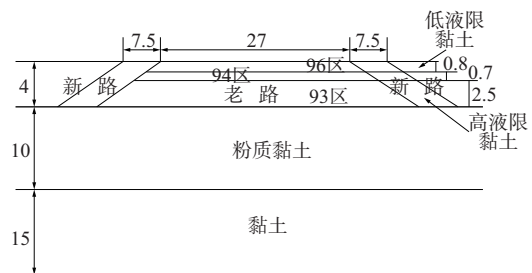


图 1 一般地基上路基改扩建模型(单位: m)

### 1.2 软土地基上路基改扩建模型

路基拓宽采用双侧拓宽, 两侧各拓宽 7.5 m, 由原来的四车道改成六车道, 路基高度为 9 m。地基

\* 基金项目: 湖南省交通运输厅项目(201707)

分2层,第一层为地下11.5 m深的软弱土,第二层为地下8 m深的粉质黏土。新路基分3层,93区、94区为低液限黏土,96区为高液限黏土+40%碎石。软土地基上设置圆管涵,圆管涵外径1.5 m,壁厚0.1 m,涵顶填土高度8 m。软土经过桩处理,桩体直径0.5 m,长度11.5 m,间距1.0 m(见图2)。

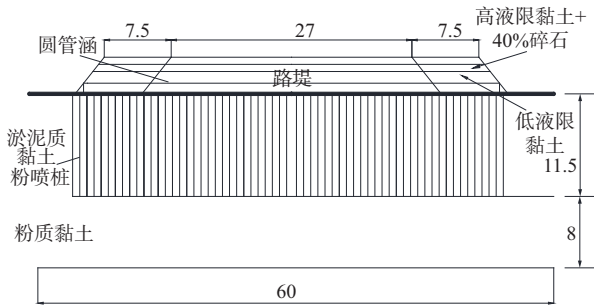


图2 软土地基上路基改扩建模型(单位:m)

## 2 高液限黏土土工试验参数获取

### 2.1 液塑限试验

对高液限黏土进行两次液塑限平行试验,取算术平均值作为试验结果。计算得液限为53.9%,塑限为24.5%,塑性指数为29.4。

### 2.2 击实试验

在室内对高液限黏土进行击实试验,试验结果见表1,击实曲线见图3。得土样的最佳含水率为19.4%,最大干密度为1.74 g/cm<sup>3</sup>。

表1 高液限黏土试件击实试验结果

试件编号	含水量/%	干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	试件编号	含水量/%	干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
1	20.5	1.72	7	15.8	1.70
3	19.2	1.75	9	16.0	1.65
5	17.5	1.70	11	13.3	1.67

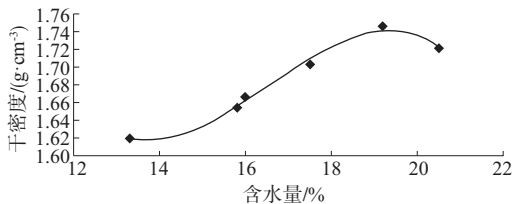


图3 高液限黏土击实曲线

## 3 路基改扩建数值模拟分析

### 3.1 路基分层填筑沉降对比分析

在高液限黏土地基上进行改扩建路基填筑时,

每层填土会对地基产生压力,地基土体会产生排水固结,孔隙水压力减小,从而使地基抗剪强度得到提高。为防止地基在填筑过程中发生破坏,将填土进行分层分期填筑,待地基固结稳定达到一定程度后再施加下一级荷载,直到填筑到设计高度。

为描述地基在填筑过程中的沉降变化,通过GeoStudio软件对改扩建实际情况进行模拟。路基填高为4 m,每层填土高度为40 cm,填土完成历时50 d,然后预压30 d。两种地基沉降曲线见图4、图5,每层填土后地基沉降见表2、表3。

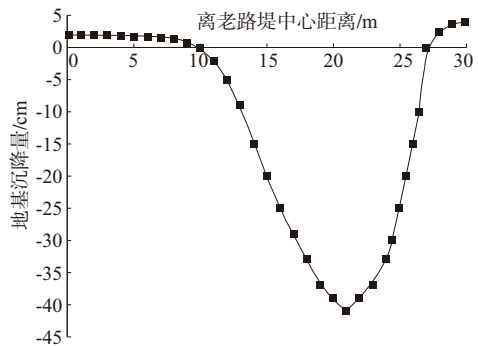


图4 填土完成后一般地基沉降曲线

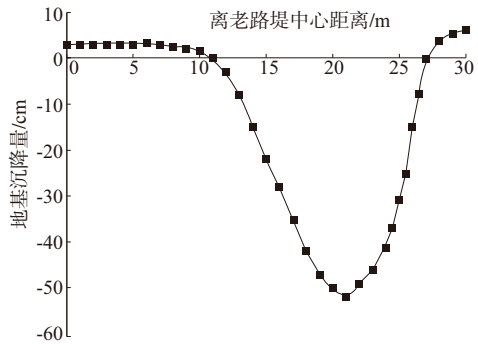


图5 填土完成后软土地基沉降曲线

表2 一般地基每层填土后地基沉降

填高/m	各位置(m)处沉降/cm				最大沉降/cm
	5	13.5	18	24	
0.4	0.23	1.00	-1.00	-2.50	-2.55
0.8	0.48	1.20	-2.50	-5.00	-5.20
1.2	0.74	1.40	-3.00	-7.50	-8.10
1.6	1.01	1.60	-5.00	-12.50	-12.50
2.0	1.24	1.70	-8.00	-13.90	-16.10
2.4	1.50	1.90	-10.20	-18.20	-18.90
2.8	1.76	1.20	-12.50	-21.90	-23.20
3.2	1.99	0.70	-17.90	-24.00	-27.10
3.6	2.25	-3.00	-22.50	-26.80	-30.20
4.0	2.50	-8.00	-31.00	-35.10	-41.10

表3 软土地基每层填土后地基沉降

填高 /m	各位置(m)处沉降/cm				最大沉 降/cm
	5	13.5	18	24	
0.4	0.51	1.96	-2.10	-2.70	-3.90
0.8	0.99	1.85	-3.20	-8.10	-9.10
1.2	1.41	1.35	-5.10	-11.90	-13.80
1.6	1.95	1.05	-7.92	-17.20	-19.00
2.0	2.45	0.92	-10.10	-22.10	-24.90
2.4	2.84	0.56	-11.90	-26.90	-28.90
2.8	3.12	0.26	-14.90	-31.00	-34.10
3.2	3.56	-0.12	-23.10	-35.10	-37.80
3.6	3.94	-1.92	-27.10	-38.80	-42.10
4.0	2.50	-3.56	-38.50	-42.10	-52.00

由图4、图5和表2、表3可知:每层40 cm填土填完后,从老路堤中心到新路堤形心处(0~21 m)地基沉降越来越大,形心处沉降最大。在填筑过程中,新路基会对老路堤边坡产生附加荷载一起作用在地基上,导致老路基以下地基到形心处沉降逐渐增大。老路基区域以下地基土已固结稳定,沉降很小。而新路基以下地基还是新地基土,没有固结沉降,在路基土不断填筑过程中,新路形心处受压最大,其沉降也最大。从新路形心处到新路堤坡脚处(21~27 m)沉降慢慢减小,直到新路堤坡脚沉降为零。一般地基的平均沉降为4.1 cm/层,软土地基的平均沉降为5.2 cm/层。

3.2 不同路基高度下沉降及安全系数分析

分别取路基高度4、6、8 m,采用GeoStudio软件

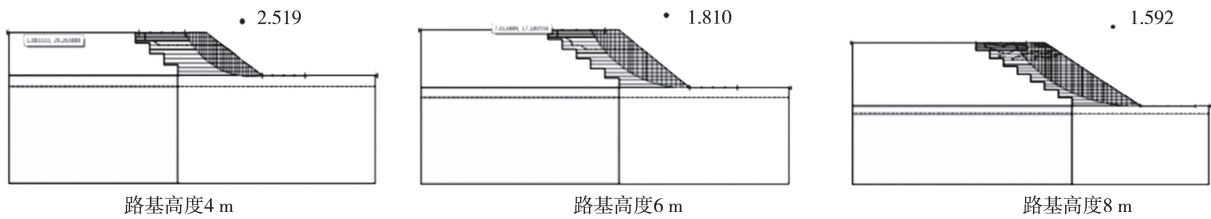


图8 一般地基上路基填筑完成时安全系数

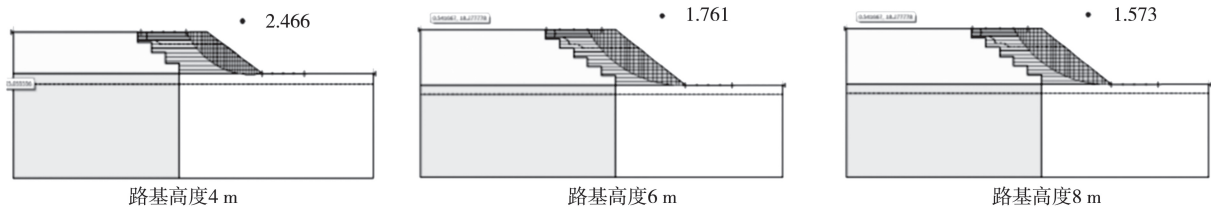


图9 软土地基上路基填筑完成时安全系数

进行模拟,一般地基和软土地基上高液限黏土改扩建路基施工沉降曲线分别见图6、图7,填筑完成时安全系数分别见图8、图9。

由图6、图7可知:路堤高度为4 m时,一般地基的最大沉降为41 cm,沉降速率为0.82 cm/d;软土地基的最大沉降为52 cm,沉降速率为1.04 cm/d。路堤高度6 m时,一般地基的最大沉降为45 cm,沉降速率为0.9 cm/d;软土地基的最大沉降为54 cm,沉降速率为1.08 cm/d。路堤填土填到8 m时,一般地基的最大沉降为47 cm,沉降速率为0.94 cm/d;软土地基的最大沉降为56 cm,沉降速率为1.12 cm/d。

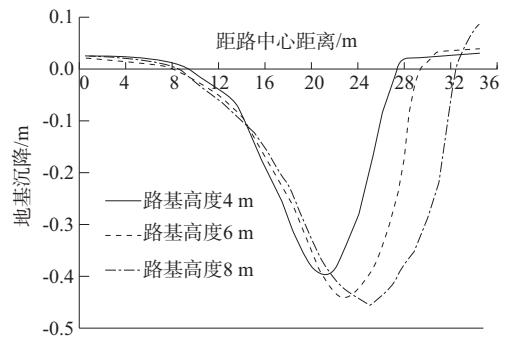


图6 一般地基上路基改扩建施工沉降曲线

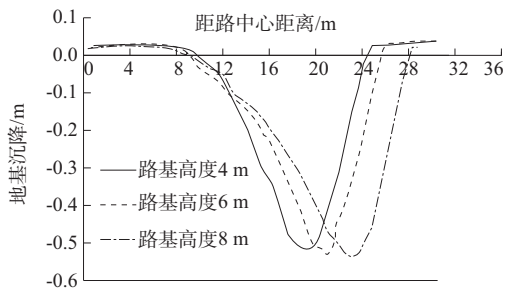


图7 软土地基上路基改扩建施工沉降曲线

由图8、图9可知:填高为4 m时,一般地基的安全系数为2.519,软土地基的安全系数为2.466;填高为6 m时,一般地基的安全系数为1.810,软土地基的安全系数为1.761;填高为8 m时,一般地基的安全系数为1.592,软土地基的安全系数为1.573。软土地基上路基边坡的安全系数比一般地基的低。根据《边坡处理设计规范》,安全系数越高,边坡的稳定性越好。

对路基填土高度分别为4、6、8 m的模型进行分析比较(见表4),软土地基最大沉降比一般地基大8 cm左右。一般地基最大沉降的位置随填土高度增加,从距离路中心22 m→23 m→25 m;软土地基最大沉降的位置随填土高度增加,从距离路中心21 m→24 m→27 m。说明地基最大沉降始终发生在新路堤形心以下位置。

表4 不同填土高度路基填筑数值模拟结果对比

地基类型	填土高度/m	地基最大沉降/cm	安全系数	老路中心隆起高度/cm
一般地基	4	41	2.519	1.2
	6	42	1.810	1.3
	8	45	1.592	1.5
软土地基	4	51	2.466	2.2
	6	53	1.761	2.3
	8	55	1.573	2.8

地表沉降表明,路堤高度增加,软土地基地表老路中心隆起高度略有增加,但变化不大,且隆起范围随路堤高度增加向外侧略有推移。对于新路堤,其下面软基土体向外侧的推挤使路堤填土向下移动进行填充,使新路堤表面出现不均匀沉降,且不均匀沉降随路堤高度增加而增加。填土高度越高,两种地基下路基的安全系数越小,且软土地基上边坡的安全系数比一般地基的小。虽然其安全系数大于1,是安全的,但还是要控制好路堤填土高度,必要时设置二级边坡。

#### 4 结论

通过两种路基模型对比,结合液塑性试验及室内击实试验,利用GeoStudio软件对高液限黏土改扩建路基进行数值模拟,针对路基填筑施工期和施工完成两种工况,从沉降和安全系数方面分析高液限黏土路基的强度及稳定性。主要结论如下:

(1) 在路基填筑施工期,两种路基模型都是从

老路堤中心到新路堤形心处沉降越来越大,到形心处沉降最大,再从形心处到新路堤坡脚处沉降慢慢减小,直到新路堤坡脚沉降为零。高液限黏土路基的平均沉降比一般路基的大。

(2) 路基填筑施工完成后,路堤高度增加,软土地基地表老路中心隆起高度略有增加,但变化不大,且隆起范围随路堤高度增加向外侧略有推移。对于新路堤,其下面软基土体向外侧的推挤使路堤填土向下移动进行填充,使新路堤表面出现不均匀沉降,且不均匀沉降随路堤高度增加而增加。

(3) 填土高度越高,路基施工完成后安全系数越小,且高液限黏土路基上边坡的安全系数比一般路基的小。施工中需控制路堤填土高度,必要时设置二级边坡。

#### 参考文献:

- [1] 刘玉松.公路地基处理[M].南京:东南大学出版社,2009.
- [2] 何颖.高速公路红黏土路基沉降变形分析及施工控制研究[D].长沙:长沙理工大学,2013.
- [3] 段凯.高液限黏土的工程性质及其填筑技术研究[D].长沙:湖南大学,2013.
- [4] 曹为.热带气候多雨条件下高液限土直接填筑路堤的可行性研究[D].长沙:长沙理工大学,2012.
- [5] 罗婉.湘南地区高液限红黏土湿化变形特性试验研究[D].湘潭:湖南科技大学,2014.
- [6] 戴良军,朱大勇.高液限土路基填筑技术研究[J].长安大学学报:自然科学版,2016,36(1).
- [7] 王成斌.阜建高速公路石灰改良高液限黏土应用技术研究[D].长沙:长沙理工大学,2014.
- [8] 刘智.高液限黏土在高速公路施工中的应用及处置措施[J].交通建设与管理,2014(16).
- [9] Guney Y, Aydilek A H, Demirkan M. Geoenvironmental behavior of foundry sand amended mixtures for highway sub bases[J]. Waste Management, 2012, 26(9).
- [10] Yong R N, Ouhadi V R. Experimental study on instability of bases on natural and lime/cement-stabilized clayey soils[J]. Applied Clay Science, 2007, 35(3/4).
- [11] Zhang W H, Xi W Y, Wang B T, et al. Test study of high liquid limit clay modified by quick lime used as sub-grade material[J]. Journal of Central South University of Technology, 2011, 15(S2).
- [12] Dimitrova R S, Yanful E K. Factors affecting the shear strength of mine tailings/clay mixtures with varying clay content and day mineralogy[J]. Engineering Geology, 2012, 125.

收稿日期:2019-06-16