

某运营高速公路软基区路基开裂监测及其成因分析

张帆

(福建省高速技术咨询有限公司,福州 350100)

摘要:通过布设监测点,对某运营高速公路软基区开裂路基的深层水平位移、道路沉降及地下水位进行了监测。基于监测结果,该段路基内部并不存在明显的滑动面。以变化量最大的CX-23#测斜孔和SW-3#水位孔所在断面为典型断面进行对比分析,结果表明,监测期间监测断面处地下水位的变化并未引起该段路基深层水平位移和道路沉降产生新的变化;结合现场情况,认为该软基区路基的开裂、沉降,主要由前期路基含水量降低,导致路基土体出现固结沉降、收缩变形引起,在正常通车条件作用下,新的降雨及水位变化未引起新的路基变形。监测结果为后期路基的加固设计提供了可靠的依据。

关键词:运营高速公路;软基区;路基;裂缝;稳定性

中图分类号:U416.1

文献标志码:A

引言

路基作为高速公路的支撑结构物,其边坡稳定直接影响整个路基稳定及行车安全^[1-4]。自1988年我国首条高速公路建成通车,部分高速公路运营时间已超过15年,路基边坡开始出现一些病害,如路基边坡发生滑动、滑移,将导致路面出现裂缝、错台等^[5-7]。但由于我国高速公路目前仍处在大投入建设阶段,关于软基区路基的监测和病害分析也主要集中在施工建设期,如对不同软基处理方式的沉降对比监测,施工期间监测及基于监测结果对运营期沉降进行预测等^[8-11]。姚志立等人通过建立合适的灰色预估模型,对长沙绕城高速公路软土地基沉降值进行了预测^[12],王启云等人基于对无砟轨道路基实尺模型采用单点沉降计路基沉降的长期观测,提出基于开尔文模型可对路基沉降进行预测^[13]。此外,姜献东,唐葭,李淳等人也分别基于不同的模型和方法,对路基沉降预测进行了研究^[14-16],但针对运营高速公路软基的病害监测及分析较少。本文将基于对软基区拓宽运营高速公路失稳路基边坡的监测,针对该路基的特殊性,分析随时间及地下水位

变化路基边坡的稳定性,探究该路基开裂的原因,并针对运营高速公路特点,进一步探讨运营高速公路边坡失稳监测及数据分析方法,为今后类似工程提供一定的借鉴。

1 工程概况

依托工程所属运营高速公路为左右分离双向8车道,行车道两侧种植巨尾桉。监测路段路面总厚64 cm,路基填高3~5 m,场地区为冲海积平原,原地面约2~4 m下为软卧层,原地表主要覆盖第四系全新统长乐组冲海积(Q_4^{al-m})淤泥、淤泥质粘土、粉质粘土、粗砂,下伏燕山期早期侵入花岗岩(γ_3^2)及其风化层。

该路段于1999年建成通车,原道路为双向四车道,并采用堆载预压结合塑料排水板对原软基进行了处理。后于2008年沿行车方向,向左侧扩建,现在紧急停车带、第三、第四车道为原老路基,并于2011年左右种植了巨尾桉。2013年12月下旬,该区段紧急停车带约2公里长的路面出现纵向裂缝,随后养护人员采取修补措施,并砍伐了道路右侧的巨尾桉;2014年10月中旬,原修补处重新开裂,且裂缝宽度明显加宽。经过多次开裂

收稿日期:2016-08-02

作者简介:张帆(1988-),男,甘肃民勤人,助理工程师,硕士,主要从事软基变形及稳定性分析,边坡监测及边坡病害处治等岩土工程方面的研究,(E-mail)zhangfan_gansu@163.com

修补的重复,截止2015年4月,该段路面主要纵向裂缝有三条:第一条位于土路肩边缘;第二条位于紧急停车带与第四车道交界位置附近;第三条位于第二车道中部。其中,纵向裂缝最大长度约200 m,最大宽度约20 cm,最大错台约25 cm;且右侧巨尾桉又已生长繁茂。监测路基典型裂缝及断面如图1、图2所示。



图1 监测路基区段路面裂缝示意

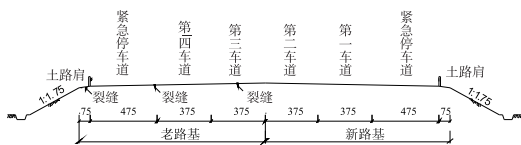


图2 监测路基断面示意图

2 监测方案

为全面掌握路基变形发展情况,探明路基变形开裂原因,为加固设计提供可靠的依据,在2公里长的病害路基范围内共选取了11个典型区段,进行路基深层水平位移、道路沉降及地下水位监测。

根据病害路段实际情况,断面选取路面开裂较严重的断面为典型监测断面,通过在典型断面紧急停车带一侧路肩及路基边坡底部各布设一个测斜管,对路基横向深层水平位移进行监测;并在边坡底部深层位移监测点旁布设一个地下水位监测孔,以分析地下水位对路基变形的影响。道路沉降监测网由高程基准点与监测点构成,通过在现场布设永久基准点作为高程控制点(如可在沿线桥梁上选取布设高程控制点),采用二等附合水准路线对道路沉降进行监测。此次监测共布设基准点6个,沉降监测点38个,测斜管25个,管深19 m~27 m,地下水位监测管8个。监测过程分为两个监测阶段,第一阶段为2015年6月15日至2015年7月27日,期间每天测一次,共监测41次;第二阶段为2015年8月1日至2015年12月30日,期间每周测一次,共监测16次。以第一阶段监测结果进行对比分析。

3 监测结果分析

3.1 路基深层水平位移监测

经整理分析场区内25个测斜孔的监测数据,分析

结果表明场区内不同病害区段的路基土体存在不同程度的向路基外侧的横向偏移,但位移量较小,路基变形区域并未发现明显的滑动面;路基横向位移主要发生在距管口0~2 m范围内,水平位移量介于1.05~8.35 mm;其中,路肩处CX-23#测斜孔深2 m处横向位移最大,为8.35 mm,该监测孔处路基横向水平位移日增量为1.87 mm/d。同时,在监测过程中发现管口位移受附近车道行车的影响较大。

3.2 道路沉降监测

病害路段沉降采用二等水准进行监测。截至2015年7月27日,各监测点最大沉降量介于0.58~8.5 mm,最大日沉降值介于0.24~3.11 mm/d,均未超过警戒值(1昼夜沉降量10 mm,即10 mm/d)。同时,各监测点沉降速率自2015年6月15日至2015年7月27日逐渐减小。从2015年7月10日后监测的数据分析表明,各监测点的最大日沉降量介于-0.43~0.46 mm,表明监测期间病害路段路基趋于稳定。

3.3 地下水位监测

虽然监测路段位于降雨充沛区,但在该阶段除2015年7月20日外,其余时间均未出现降雨。通过分析各点地下水位监测数据表明,截止7月27日,除SW-3#水位孔外地下水位下降量达90.6 cm,场地区其余各点地下水位监测孔处的地下水位由于受降雨的影响,与6月28日监测结果相比,基本回升至初始监测的水位高度。

4 地下水位变化对路基变形的影响分析

由于路基边坡变形受地下水位变化的影响较大,结合监测数据,分析地下水位变化对路基深层水平位移及道路沉降的变化。

4.1 CX-23#测斜孔所在监测断面分析

根据路基深层位移监测结果,截止2015年7月27日,CX-23#测斜孔累计深层水平位移最大,以CX-23#测斜孔为例分析地下水位变化对路基变形的影响。CX-23#测斜孔位于紧急停车带路肩上,由于前期测斜孔未与土体贴合稳定,监测数据波动较大,以2015年7月8日为起始,CX-23#测斜孔当天最大深层水平位移发生在距地表以下2.0~2.5 m范围内,当天最大深层水平位移量随监测时间变化曲线如图3所示。

根据地下水位监测孔的布设,CX-23#测斜孔所在断面地下水位监测点为SW-8#水位孔,道路沉降监测点为JC-24#,三者位置关系如图4所示。初始监测时,该孔的地下水位位于管口以下123 cm处。为进行分析对比,2015年7月8日至7月27日监测期间SW-8#水

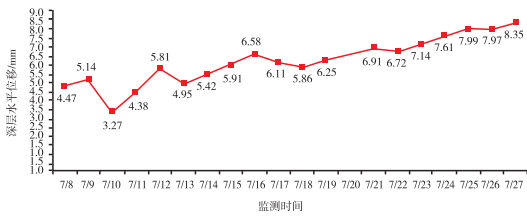


图 3 CX-23#测斜孔累计深层水平位移-时间变化曲线

位孔地下水位变化如图 5 所示。

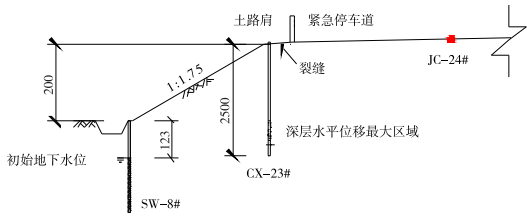


图 4 CX-23#孔与水位孔、沉降监测点位置关系示意(单位:cm)

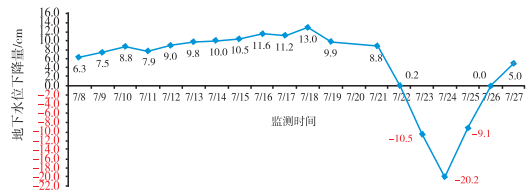


图 5 SW-8#水位孔地下水位下降量-时间变化曲线(负值为水位上升)

由图 5 所示 SW-8#水位孔地下水位时间变化曲线可知,截止 2015 年 7 月 27 日,与 6 月 28 日的监测结果对比,该水位孔的地下水位下降量为 5.0 cm。其中 7 月 22 日至 7 月 26 日期间,该点地下水位均高于 6 月 28 日初始监测时的水位,但在 7 月 19 日至 7 月 24 日,该监测点处地下水位出现上升。

根据道路沉降监测点的布设,CX-23#测斜孔断面上道路沉降监测点为 JC-24#,该断面附近沉降监测点有 JC-23#、JC-25#和 JC-32#。四个道路沉降监测点自 2015 年 7 月 8 日开始,沉降量变化如图 6 所示。

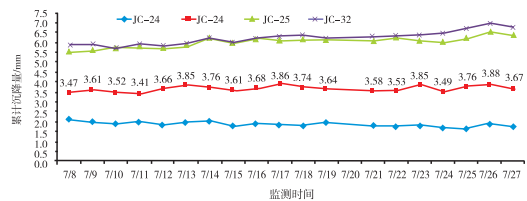


图 6 CX-23#附近沉降监测点累计位移量-时间变化曲线

对比图 3、图 5 及图 6 可知,在监测期间 SW-8#水

位孔地下水位上升过程中,CX-23#测斜孔的最大位移并未出现相对应的增大,道路沉降监测点 JC-24#及其他三个沉降监测点的沉降亦未出现相对应的增大或变化,即在监测期间,地下含水量的变化并未引起 CX-23#测斜孔监测断面上路基深层位移和附近道路沉降。

4.2 SW-3#水位孔所在监测断面分析

根据地下水位监测结果,截止 2015 年 7 月 27 日,SW-3#水位孔水位下降最大,因此以 SW-3#水位孔为例分析地下水位变化对路基稳定变形的影响。初始监测时,该孔的地下水位位于管口以下 153 cm 处。2015 年 7 月 8 日至 7 月 27 日监测期间 SW-3#水位孔地下水位变化如图 7 所示。

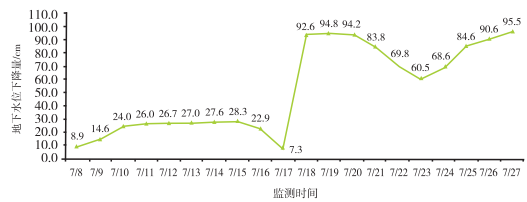


图 7 SW-3#水位孔地下水位下降量-时间变化曲线

根据路基深层水平位移监测孔的布设,SW-3#水位监测孔所在断面深层水平位移监测点为 CX-10#,道路沉降监测点为 JC-10#,三者位置关系如图 8 所示。

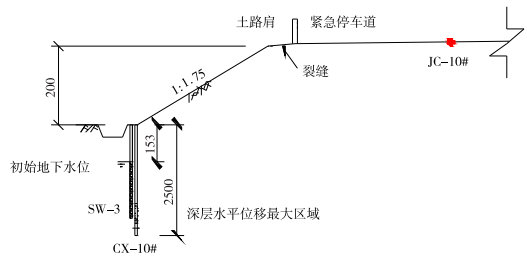


图 8 SW-3#与测斜孔、沉降监测点位置关系示意(单位:cm)

以 2015 年 7 月 8 日为起始,根据监测数据,CX-10#测斜孔当天最大深层水平位移发生在距地表以下 1.5~2.0 m 范围内,当天最大深层水平位移量随监测时间变化曲线如图 9 所示。

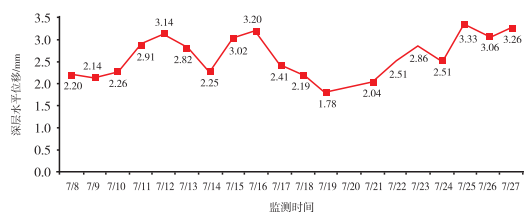


图 9 CX-10#测斜孔累计深层水平位移-时间变化曲线

根据道路沉降监测点的布设,SW-3#水位孔断面

上道路沉降监测点为 JC - 10#, 该断面附近沉降监测点有 JC - 9#和 JC - 11#。三个道路沉降监测点自 2015 年 7 月 8 日开始, 累计沉降量变化如图 10 所示。

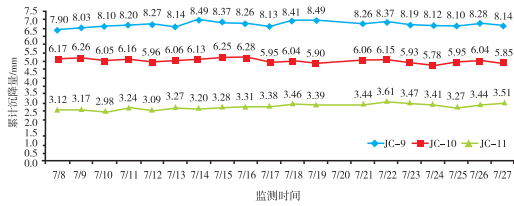


图 10 SW - 3#附近沉降监测点累计位移量 - 时间变化曲线

对比图 7、图 9 及图 10 可知, SW - 3#水位孔地下水在 2015 年 7 月 17 至 7 月 18 日和 7 月 20 至 7 月 25 日两个阶段出现明显的下降, 但该监测断面上, 测斜孔 CX - 10#的监测数据并未表现与之相对于的明显变化, 虽然累计水平位移出现逐渐增大, 但当天增大量并未超过 1 mm; 此外, SW - 3#水位孔所在监测断面附近的三个道路沉降监测点的累计沉降量基本未出现变化, 变化量小于 0.5 mm。由此可得, 在监测期间, 地下含水量的变化并未引起 SW - 3#水位孔监测断面上路基深层位移和道路沉降。

4.3 病害路基开裂原因分析

根据出现沉降、开裂部位路基深层水平位移监测结果, 表明监测路基内部未出现明显的滑动面, 结合上述分析, 认为导致该段路基开裂的原因可概述为:

原路基经过多年的运营, 已到达沉降、稳定平衡, 路基区位于降雨充沛地区, 路基含水量基本位于一个相对稳定的区间, 但由于 2014 年场地区降雨量与往年相比明显偏低(图 11)。加之 2011 年前后在路基边沟附近种植了大量的巨尾桉, 形成了一个天然抽水系统。这两者共同作用导致路基填土内孔隙水排出, 含水量较往年出现降低。同时, 开裂路基上方路面常年通行重车, 较大的上部荷载作用下, 直接引起了含水量变化区填土出现了新的固结沉降。虽然固结沉降增强了路基填土的强度, 但直接引起路基填土颗粒间孔隙水的排出, 土体体积的减小, 路基的沉降、开裂。

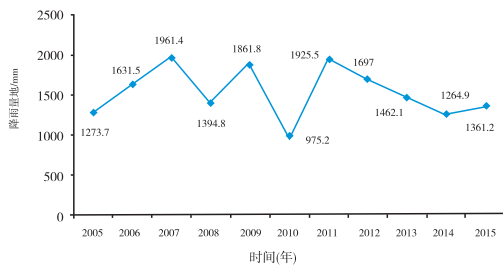


图 11 2005 年至 2015 年降雨量变化曲线

同时, 由于路基填土内含水量受巨尾桉抽水作用的影响较大, 且呈现由近至远该影响逐渐减弱的规律, 反映在路基沉降开裂上则表现出边坡附近沉降、开裂明显, 向第一车道方向沉降、开裂逐渐减弱, 符合现场病害情况。

为进一步探究含水量变化对该路基病害产生的影响, 取单位体积土体, 根据土体分析的相关假设, 设受压前后土体颗粒体积 V_s 不变和土体的横截面面积 S 不变, 建立如图 12 所示的在荷载作用下沉降与孔隙比之间关系的分析模型。

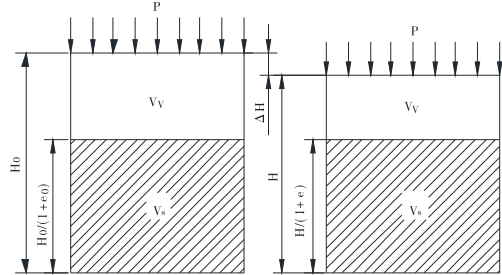


图 12 荷载作用下沉降与孔隙比之间关系的分析模型

设在孔隙水发生流失之前, 单位体积未受地基处理影响地基土的孔隙比为 e_0 , 土体的高度为 H_0 ; 当发生孔隙水流失后, 其孔隙比降低为 e 。通过推导可得, 在土体孔隙比发生变化后, 土体发生的沉降量 ΔH :

$$\Delta H = \frac{H_0(e_0 - e)}{1 + e_0} = \Delta e \cdot \frac{H_0}{1 + e_0} \quad (1)$$

根据式(1)可得, 在相同的荷载作用下, 当土体孔隙水流失, 孔隙比降低后土体将发生新的沉降, 且沉降量 ΔH 与孔隙比的变化量 Δe 成正比例关系。

综上所述, 对于已处于固结平衡的土体, 由于周边环境造成土体内部水压失衡, 将导致受力区土体内孔隙水流失, 含水量降低, 破坏原有的固结平衡, 进而引起土体孔隙减少, 土体产生新的固结沉降。因此, 在加固设计与施工过程中, 应尽可能采取有效措施, 减小路基在后期运营过程中因土基失水等因素导致的沉降变形。

5 结论

通过对该病害路基深层水平位移、道路沉降及地下水水位进行监测, 并对监测结果进行分析得出相应结论:

(1) 对于运营高速公路路基的监测, 应结合高速公路带状结构物的特点, 合理布设监测点, 并在监测过程中要注意行车对监测结果的影响及监测点的保护。

(2) 监测路基软基区高速公路路基开裂并非由路基边坡滑动引起, 2 公里长的监测区间内并未出现明显的滑动面。

(3) 监测路基开裂由土体中含水量降低导致的土体收缩变形引起,而孔隙水排出引起的固结沉降完成后,在正常交通荷载的作用下,路基土体形成了新的固结平衡,之后土体中含水量的变化不再引起新的路基沉降开裂。

(4) 在软基区修筑路基应严格控制施工过程,使路基强度、压实度、稳定性等达到设计要求;同时应合理选取边坡绿化植被,防止路基含水量在运营过程中出现较大变化,导致路基边坡变形或失稳,影响道路的正常使用。

参考文献:

- [1] 周德泉,杨帆,周毅.路基病害处治技术与应用[J].中外公路,2010,30(6):17-21.
- [2] 吴昌胜,朱志铎.沪苏浙高速公路软基处理评价[J].岩土工程学报,2015,37(S1):105-109.
- [3] 汪海涛.高速公路路基开裂处理的实例分析[J].北方交通,2013(2):9-11.
- [4] 王志明,徐杰,赵俊明.滨海相饱和软土地基临水路基开裂与挡墙失稳病害分析[J].现代交通技术,2015,12(2):13-16.
- [5] 刘观仕,孔令伟,丁锋,等.高速公路扩建工程软基拓宽的沉降监测与分析[J].岩土力学,2007,28(2):331-335.
- [6] 龙彪,经绯,向玮.高速公路软基变形及稳定性监测方法简述[J].常州工学院学报,2008,21:236-239.
- [7] 刘吉福,魏金霞.公路工后监测的探讨[J].公路,2006(8):289-291.
- [8] 贺志勇,戴少平.高速公路运营期软基沉降预测分析[J].中外公路,2011,31(1):19-21.
- [9] 李小刚,张廷会.GM(1,1)灰色预测模型在道路软基沉降预测中的应用[J].铁道科学与工程学报,2016,13(1):63-68.
- [10] 钟国坤,赵小芹.双曲线法在高速公路软基沉降预测中的应用[J].科学技术与工程,2010,10(27):6804-6807.
- [11] 李小刚.填海造地道路地基处理工程中的软基沉降监测及预测分析[D].长沙:中南大学,2013.
- [12] 姚志立,郑国荣,李尚贤.GM(1,1)模型在长沙绕城高速公路软土地基沉降值预测中的应用[J].公路工程,2014,39(1):221-228.
- [13] 王启云,张家生,孟飞.高速铁路粗粒土路基沉降特征及预测研究[J].铁道标准设计,2014,58(8):12-17.
- [14] 姜献东,张苏俊,卢佩霞.灰色系统模型在软土路基沉降预测中的应用[J].施工技术,2016,45(5):81-83.
- [15] 唐葭,刘霖,蒋建清.基于非等距预测模型的填土路基沉降量分析[J].中南大学学报:自然科学版,2014,45(6):2054-2061.
- [16] 李淳,金鼎沸.基于三次样条插值和GM(1,1)模型的高速公路路基沉降预测[J].公路工程,2015,40(2):221-225.

Monitoring and Analysis of the Causes of Cracking Subgrade which in Soft Ground Zone of an Expressway of Years Running

ZHANG Fan

(Fujian Provincial Expressway Technology Consulting Co., Ltd., Fuzhou 350100, China)

Abstract: Through setting monitoring points, the deep horizontal displacement, settlement and groundwater level of an expressway cracking subgrade in soft ground zone were monitored. The monitoring results showed that: even the cracking and settlement were appeared, there was obvious sliding surface in the subgrade. Choosing the sections with CX-23# hole with clinometer and SW-3# water observation wells which had maximal variation as the typical sections, the effect of variation of groundwater level worked on subgrade deformation was analyzed. Through comparative analysis, the deep horizontal displacement and settlement of subgrade were not changed with groundwater level. Combined with the field condition, it was been thought that, the cracking of the subgrade was caused by the consolidation settlement and shrinkage deformation of the subgrade when the water content of the subgrade decreased. And in the normal driving condition, the rain and variation of groundwater level did not cause new subgrade deformation. The monitoring results provided reliable basis for the design of reinforcement scheme.

Key words: expressway of years running; soft ground zone; subgrade; crack; stability