

韶赣高速公路K2段路面开裂及路基下沉成因机制研究

林正钦*

(广东省地质局第三地质大队,广东 韶关 512000)

摘要:韶赣高速公路是广东省内具有十分重要的经济和战略意义的高速公路,近年来,因受连续台风、强降雨、本身地质条件和建设质量等多因素的影响,K2+000里程前后各约40m处的南行车道路面出现多条裂缝、路基下沉、北侧路堑变形滑移等危险情况,急需对其成因机制进行深入研究分析。研究从地质背景、工程地质、水文地质条件等方面出发,通过归纳总结、分析类比等研究方法,研究分析了其成因机制,研究成果表明:韶赣高速公路K2段路面开裂及路基下沉的原因有其内在因素,也有外在触发因素,其中基岩岩洞发育、覆盖层含水率高、孔隙度大、压塑性、流失性强等是主要的内在因素,车辆机械振动和附近基坑施工是主要的外在触发因素。

关键词:韶赣高速公路K2段;路面开裂;路基下沉;成因机制

中图分类号:P642 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5716(2023)08-0012-04

韶赣高速公路是广东的一条省级横向高速公路(编号S10),也是中国国家高速公路网中京港澳高速公路和大广高速公路的连接线;韶赣高速公路起于广东省韶关市曲江区,止于广东省南雄市,接上粤赣高速,是广东省内具有十分重要的经济和战略意义的高速公路之一。

韶赣高速公路K2段处于粤北韶关市曲江区南韶高速段,为高填路基,路堤回填高度约5~6m不等,路堑坡角约 $45^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ^[1]。2019年,因受连续台风、强降雨等恶劣天气及其本身地质条件和建设质量等多因素的影响,现高速道路原设计K2+000里程前后各约40m处的南行车道路面出现多条裂缝,路基下沉,北侧路堑有变形滑移迹象^[1],路面开裂后高速公路南下车道已经部分封闭,仅剩单车道通行,严重影响了道路的通行质量,现急需对其成因机制进行深入研究分析,以便针对性的研究制订相应的治理维护方案,排除其他路段有类似背景成因的隐患。

本文的研究从地质背景、工程地质、水文地质条件等方面出发,通过归纳总结、分析类比等研究方法,综合研究分析了韶赣高速公路K2段路面开裂及路基下沉的成因机制,研究成果表明:路面开裂及路基下沉的原因有其内在因素,也有外在触发因素,其中基岩岩洞发育、覆盖层含水率高、孔隙度大、压塑性、流失性强等

是主要的内在因素,车辆机械振动和附近基坑施工是主要的外在触发因素。本文的研究成果可为高速公路的灾后综合治理维护和后期的监测预警等方面提供科学依据,也可从事岩土工程工作的相关人员提供借鉴意义,对助力广东省经济发展和人民的出行便利等方面具有十分重要的意义。

1 研究区地质环境背景概况

研究区在区域位于亚热带季风气候区,具有复杂多变的山区气候特征,气候温暖、湿润、多雨^[1-2]。据韶关市气象局资料本区多年降雨量1480~2200mm,多年平均降雨量1682mm,每年台风带来大量降雨,一般月降雨量200mm以上,最大日降雨量157.4mm。

研究区所处地貌单元属于丘陵地貌,区内最高点(回龙山)高程约294.40m,勘察段路面高程约50.20m,路堑坡脚排水沟底面高程约44.30m,地形起伏较大,高差达250.10m^[1-2]。正北面正在进行跨线桥梁基础施工,坡面被分级开挖,形成5个土质和碎石台阶,原有地形和植被已经破坏。道路南侧路堑坡脚比路面低约8~10m,正下方为施工场地,西南坡脚相距约50m处为多栋1~3层居民楼(见图1)。

通过对位于研究区段北面的跨线桥施工开挖的回龙山高边坡岩性地层进行了调查研究,并参考《广东省区域地质志》:回龙山体浅部出露岩层为石炭系测水组

* 收稿日期:2022-12-22

作者简介:林正钦(1994-),男(汉族),广东韶关人,助理工程师,现从事岩土工程、地质灾害防治、生态环境修复等工作。



图1 研究区地形概况图

(C_{1c}),整合接触于石磴子组(C_{1s})之上,为一套含煤碎屑岩系,岩性为黄棕、灰紫色石英质砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩及泥岩,夹灰黑色炭质泥岩和煤层,局部夹灰白色灰岩、硅铁质结核,厚度25~400m。深部岩层为石炭系下统大塘阶石磴子组(C_{1s}),整合接触于其上,为浅海相碳酸盐沉积,以灰黑色中厚—厚层致密灰岩为主,夹页岩,含珊瑚、腕足类及瓣鳃类等化石,厚约160m。与下伏刘家塘组厚层状白云岩整合接触。裂缝段路基位于回龙山下缘坡谷较低处,上覆有第四系坡积层,土质以粉质粘土为主,含较多风化砂岩片状碎屑颗粒,厚度约5~10m不等^[1-2]。

区域上受吴川—四会深断裂带和贵东大断裂交汇断裂影响^[1-2],区内岩层褶皱非常发育,岩体极破碎,区内浅部岩石风化和溶蚀作用强烈,岩体大部分被裂隙切割成5~25cm碎块状。经现场勘测,公路走向方位角为71°,公路北边回龙山岩岩层倾向方位角为6°,岩层倾角约呈40°~45°,公路走向与岩层倾向成65°切角,对路基稳定性有不利影响,路基存在沿岩石层理面滑移的可能。

2 研究区工程条件分析

研究岩溶地表形变的形成机制,离不开对可溶岩上覆盖层性质的研究。据现有的公开发表的资料,路面开裂及路基下沉与其下伏的岩土层的性状有着密切的关系。根据研究区内钻孔揭露及测试情况,场地地层种类较多,地质条件较复杂,按地层成因类型和岩土层性质,研究区内勘探孔揭露地层结构自上而下为:第四系填土层(Q^{ml})(混凝土路面及垫层、素填土)、第四系坡积和残积层(Q^{pl+cl})(粉质粘土)、石炭系测水组灰岩(C_{1c})(中风化灰岩)^[1]。

3 研究区水文地质条件分析

据相关研究,岩溶地表形变都直接或间接地与地下水水力条件的改变(即地下水水位的波动)有关^[3-4]。自然因素和人类活动均会造成地下水水位波动。自然因素主要是大气降水量和潮汐的变化。人为因素包括疏干排水、基坑降水、钻探与基础工程施工、人工地震等。

研究区内地表水系不发育,地表径流主要为降雨期的坡面片流,通过坡面排泄至低洼处。区内场地为丘陵地貌,地势北高南低,地形起伏较大。北面回龙山呈弧形,反包裂缝区路段,裂缝段路基位于回龙山下缘坡谷较低处,地势较低,处于雨水汇集区,经初步测算,汇水面积约50000m²。路下排水沟不能瞬间排除积水,低洼地段路基下半段将被水浸泡。研究区内混合水位埋深为7.20~8.20m之间,平均7.61m,标高41.16~41.85m之间,平均41.45m。

研究区内地下水类型主要为潜水,按埋藏条件可分为松散层孔隙水和基岩岩溶裂隙水为两类:

松散层孔隙水主要埋藏于残积粉质粘土的孔隙中,该层孔隙较大,土芯非常湿软,属于降水滞留形成的含水层。其次,据钻孔揭露,在路基素填土层底部揭露土芯较湿软,富含孔隙水,有富水软化现象。松散层孔隙水与大气降雨关系密切,水位及水量随降雨量变化明显。地下水的补给源主要为大气降水的垂直补给,以蒸发及向低洼处径流排泄,水量不大,但水位和水量随季节变化很大。

基岩岩溶裂隙水主要埋藏在碳酸盐溶蚀区的岩溶裂隙内,岩溶裂隙的富水性主要受岩层构造、岩溶发育程度和充填物的控制,其水量及水位变幅随着季节降水量变化而波动,具明显的不均匀性。因场地下伏灰岩溶洞强烈发育,其中一个钻孔钻至16.20m时隐约听见有流水声,故推测路基下方岩层内有岩溶通道分布的岩溶裂隙水潜流。

研究区的地下水动态变化具季节性,主要受降雨季节支配。由于降雨在年内分配不均,不同季节的蒸发度、湿度也不同,故渗入补给量亦随季节而变化,雨季是地下水获得补给最多的季节。孔隙潜水与大气降雨关系密切,水位及水量随降雨量变化明显;孔隙潜水除了接受降雨补给外,同时还接受地表水入渗和周边地带的侧向补给;基岩裂隙水主要为上部松散岩类孔隙水越流补给和区外侧向补给。

4 路面开裂及路基下沉成因机制综合研究分析

经研究区内的钻孔揭露情况及地面综合调查,可

以初步判定研究区内的路面开裂和路基下沉的主因是岩溶所致,其实质上是可溶岩上覆土体变形后的地表反应^[3-6]。覆盖层的地层岩性、地质结构及其物理力学性质不同,其变形与破坏方式及其过程也不相同。研究岩溶地表形变的形成机制,离不开对可溶岩上覆盖层性质的研究,当然,岩溶地表形变往往是多因素叠加的结果,本章节将从土体的地层岩性特征、水文地质条件及其物理力学性能等多方面的内因角度进行分析,同时梳理研究区地表形变的触发因素(外因),并结合两者进行综合研究,从多维度综合分析研究区内的路面开裂和路基下沉的原因。

4.1 研究区岩土覆盖层结构特征分析

研究区内岩土层的覆盖次序依次为:混凝土路面及垫层—素填土—粉质粘土—中风化灰岩。混凝土路面由沥青面层和混凝土组成,质坚硬,侧表面光滑,整体性好的特点,隔水性强,垫层由碎石土压实而成,密实度高,质地坚硬,两者组合在一起形成表层隔水层;素填土为路基填土层,由人工回填机械推平后分层压实而成,稍密状为主,成分以粉质粘土为主,含强风化砾石约10%~20%,雨水易崩解、平均厚度4.30m、含水量高、孔隙比高、中等压缩性、透水性强,是形变主体层;粉质粘土由坡残积组成,可塑状为主,主要成分为粉粒和粘粒,土芯呈较湿软柱状,平均厚度2.70m,含水量高、孔隙比高、中等压缩性、透水性强,也是形变主体层;中风化灰岩呈层状构造,风化裂隙和溶蚀裂隙强发育,岩体被构造裂隙分割成棱角块状,大部分钻孔揭露有溶洞,洞内有软塑状粉质粘土夹细砂半充填或未充填,个别钻孔钻至该层时隐约听见有流水声,该岩层内存有岩溶管道分布的岩溶裂隙水潜流,该溶蚀管道系统为上覆土体中土颗粒提供转移通道,给后续土颗粒丧失腾出空间,溶洞直接为上覆土体中土颗粒丧失提供储藏空间。

综上,研究区内覆盖层的结构特征为隔—透—透—岩溶型,该类型覆盖层序特征因其具有透水性强、可变形量大的特点,又因覆盖层总厚度较薄(<10m),土层的形变量可直接反映在地表。

4.2 研究区水动力条件分析

据相关研究,岩溶地表形变都直接或间接地与地下水动力条件的改变有关^[3-6],研究区内地表水系不发育,地表径流主要为降雨期的北面坡面片流,通过坡面排泄至低洼处。北面回龙山呈弧形,反包裂缝区路段,裂缝段路基位于回龙山下缘坡谷较低处,地势较低,处于雨水汇集区,路下排水沟不能瞬间排除积水,低洼地

段路基下半段将被水浸泡。因区内残积层孔隙比大,岩体褶皱裂隙和风化裂隙非常发育,岩石破碎,部分雨水沿土层孔隙和岩石裂隙下渗,形成脉状地下水潜流,自北向南流向位于低处的路基下方,形成地下水补给(见图2),研究区内岩土层结构具备良好的地下水渗流条件。

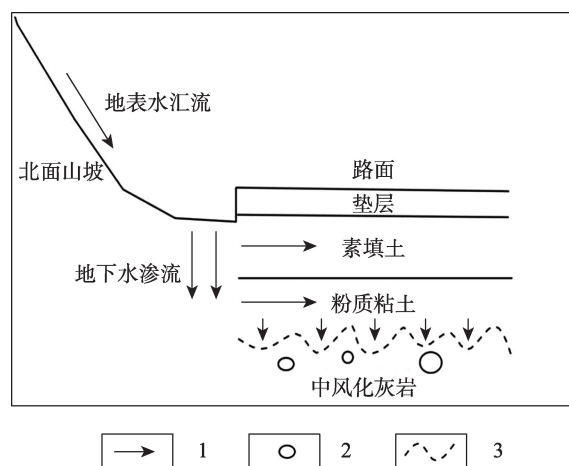


图2 研究区地下水渗流场示意图

1.地下水渗流方向;2.溶洞;3.基岩面

在图2中,可溶岩及其上方松散的砂性土层为两个不同的含水层,当可溶岩层中地下水位下降(如大规模抽取岩溶水、溶洞及地下暗河中水体突然漏失)或砂性土层水位升高(如汛期洪水高水位运行、集中暴雨等)时,两个含水层出现水头差,上部砂性土层中的地下水向下伏可溶岩中渗流,从而产生向下的垂直渗流作用。在渗流压力作用下,一方面,地下水将可溶岩中已经堵塞的溶隙、落水洞等通道疏通,为砂性土的漏失创造条件;另一方面,砂性土发生渗流破坏,形成流砂,加速土体破坏,缩短地面形变的时间。另外,地下水位在土/岩界面处频繁波动对岩面附近土体的状态有重大影响,崩解性土、膨胀土等表现得更为明显,即产生胀缩—崩解效应。地下水位上升时,地下水浸泡土体,降低土体强度,同时使土体发生崩解;地下水位下降,土体失水,产生干裂,为下次水位上升时土体破坏创造条件。已经脱离母体的土颗粒随地下水的运移而被带走,在岩面附近形成土洞或流失漏斗,地下水位的频繁升降为土层流失、地面变形开裂的形成与发展提供了动力条件。

4.3 触发因素分析

岩溶塌陷及地表形变的触发因素有多种多样,既有人为因素也有自然因素,其中重力塌陷、潜蚀塌陷、

冲爆塌陷、真空吸蚀塌陷、振动塌陷、荷载塌陷、溶蚀塌陷和根蚀塌陷等8种是最为常见的触发因素^[3-6]。

经本文作者在研究区段的勘查项目实施过程中的综合调查发现,研究区内主要的触发因素为车辆机械振动、荷载增加土层固结沉降、附近基坑施工(研究区北侧有曲江大道回龙山跨线桥拟从该处横跨韶赣高速公路,正在进行桩基础和桥墩施工等)3个方面。

因研究区位于高速公路路面,区内车辆振动经常性的发生,是研究区内地面变形的最主要的触发因素之一。振动会使岩土体产生破裂位移、土体液化等效应,使岩土体强度降低,导致塌陷及地表形变的形成,称为振动塌陷,这种塌陷常常是由于地震、施工动荷载、爆破和车辆震动荷载的振动引起的,其中重要的是要有破裂位移或振动液化效应出现,造成岩土体强度降低并使之陷落。另外,强烈的振动不仅产生破坏作用,导致薄弱的基岩顶面断裂,形成渗漏通道,而且可疏通原来已经存在的岩溶通道,同时使上覆饱和砂土发生液化,可迅速产生岩溶地面塌陷,更可能直接将土洞顶板破坏而产生地面塌陷或形变。

研究区内的施工动荷载,如爆破、冲孔桩、静压桩、冲击钻孔施工以及施工设备的震动等,既可使浅部溶洞顶板破裂、失稳,将已存并堵塞的溶蚀裂隙导通,为上覆松散砂颗粒提供渗漏通道,同时也可使饱和松散砂土、粉土产生液化,从而导致岩溶地面塌陷,其触发岩溶地面塌陷的案例时有发生^[3-6]。此外,研究区内下伏土层含水率高,孔隙度高,含水土层较厚,分布广,水平方向上水力联系强是产生地面变形的主要原因,如果超量抽吸地下水,使得承压含水层水头降低,上部高压压缩软土层中孔隙压力下降,土体内有效应力增加,从而产生压密固结效应,地表开裂及沉降则是水和土相互作用的、内部应力发生变化的外在表现。研究区附近的桩孔在施工过程中往往存在抽吸地下水的情况,如果地下水的超量抽吸则加剧了地面沉降变形的速度。

研究区高速公路在建设施工时,在原有土层的基础上增加了垫层和面层,大大增加了原有土层的上覆

荷载,外加附近跨线桥施工时在道路两侧的大面积填土,在外加荷载的影响下,软土受外力作用,破坏了原先的应力平衡状态,人为地加速了软土的排水固结—压缩沉降过程。此类型的地面沉降过程一般要经历初期大幅沉降—降幅减小—趋于稳定三个阶段,研究区内的外加载荷地面沉降过程属于初期快速沉降期。该类型因素所致的灾害表现形式主要有建筑物“吊脚楼”、地面地板下陷、路面波状起伏、地面开裂、地裂缝、接触错位等现象,其形成破坏程度往往较严重。

5 结论

(1)研究区下伏基岩岩性为石炭系测水灰岩,受吴川—四会深断裂带和贵东大断裂交汇断裂影响,区内岩层褶皱非常发育,岩体极破碎,浅部岩石风化和溶蚀作用强烈,属岩溶强发育区,是研究区产生路面开裂及路基沉降的主要内在因素。

(2)研究区内覆盖层的隔—透—透—岩溶型结构及土层的高含水量、高孔隙比、中等压缩性、强透水性、易流失性、总厚度薄(<10m)、可变形量大等特点,是其产生路面开裂及路基沉降的直接内在物质基础。

(3)研究区内路面开裂及路基沉降的主要触发因素有车辆机械振动、荷载增加土层固结沉降、附近基坑施工(研究区北侧有曲江大道回龙山跨线桥拟从该处横跨韶赣高速公路,正在进行桩基础和桥墩施工等)3个方面,其中车辆机械振动和附近基坑施工是主因。

参考文献:

- [1] 韶关地质工程勘察院.韶赣高速公路K2段地基岩土工程勘察报告[R].2019.
- [2] 韶关地质工程勘察院.韶赣高速公路K2段路面开裂路基下沉治理工程地质勘察报告[R].2019.
- [3] 罗小杰.论覆盖型岩溶地面塌陷机理[J].工程地质学报,2015,23(5):886-896.
- [4] 刘勇健,刘雅恒,刘湘秋,等.广花盆地岩溶地面塌陷特征及形成机理研究[J].广东工业大学学报,2013,30(1):25-49.
- [5] 李毅军.高速公路岩溶地基稳定性分析及工程处理[D].中南大学土木工程学院,2013.
- [6] 雷金山.广州地铁隐伏型岩溶地基稳定性分析及充填处理技术研究[D].中南大学土木工程学院,2014.