

公路高填方路基软岩填料试验研究

李伟¹, 李慧文²

(1.济南市交通运输事业发展中心,山东 济南 250000; 2.山东省路桥集团有限公司,山东 济南 250014)

摘要:以某公路工程高填方路基试验段为例,采用试验研究方法,就软岩填料的矿物组成、工程性能、压缩性能和抗剪强度等进行了系列试验。研究表明:软岩填料主要由黏土矿物组成;饱水条件下的软岩软化系数要高于干湿循环作用下的软化系数;压实度为0.96时的软岩压缩系数随着干湿循环作用基本保持不变;软岩的抗剪强度在前6次干湿循环作用下减小幅度更加明显,6次以后基本趋于稳定。

关键词:高填方路基;软岩填料;干湿循环;试验研究

中图分类号:U416.1+1

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)04-0193-04

0 引言

随着道路建设的发展,大量高速公路在建设过程中不可避免地将易崩解的软岩作为路基填料。伴随长期自然条件作用,公路路基会发生变形、翻浆冒泥等病害,从而影响路基的稳定性。对此,众多研究者采用数值分析和模型试验等方法给出了丰硕的研究成果。卿启湘等^[1]通过室内模型试验对路堤填料的材料参数进行了系统分析,通过数值方法计算了路堤在循环荷载作用下的变形特征,且结果与试验基本吻合。随后,袁伟^[2]、钟志彬等^[3]就软岩填料在高速公路作用中的变形机制和适用性进行了分析。类似地,刘新喜等^[4]研究分析了软岩在强风化作用下对路基填筑适宜性的影响。张鲁新^[5]采用数值模拟的研究方法,基于青藏铁路这一工程背景,研究分析了温度升高对冻土路基工程的影响。同样,刘新喜等^[6]建立了饱和-非饱和渗流有限元模型,研究分析了降雨入渗对高填方路堤的边坡稳定性影响。在此基础上,徐望国等^[7]基于实例工程背景,研究分析了软岩路基填料的压实度和压实模量变化规律。

本文基于某公路工程,对试验段路基软岩填料进行了系列试验,研究了软岩的矿物成分、工程特性、压实度、抗剪强度等,并针对软岩引起的公路路基稳定性问题提出了相应的控制措施。

1 工程概况

以某公路工程项目为研究背景,选取了软岩高

收稿日期:2023-04-14

作者简介:李伟(1981—),男,本科,高级工程师,主要从事公路工程项目管理、项目规划工作。

填方路基路段为研究对象。《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)^[8]规定,边坡、中心填土高度大于20 m的路堤被称为高填方路堤。因此,该公路路段共有6处高填方路堤,具体的路段长度和填方情况见表1。

表1 公路填方情况

序号	桩号	长度/m	最高填方高度/m
1	K25+103~K25+699	102	22
2	K31+205~K31+849	80	26.9
3	K33+126~K33+734(试验段)	135	45
4	ZK36+100~ZK36+371	120	30.8
5	ZK36+450~ZK36+541	50	41.7
6	ZK36+670~ZK36+950(试验段)	155	29.6

K33+126~K33+734和ZK36+670~ZK36+950路段穿过山间沟谷,地形起伏很大,山体坡度为17°~25°,存在许多松散的堆积物,交通极其不便。依据水文地质条件,选取这两个路段作为试验路段,研究分析了水敏性软岩的工程性能问题及路基的安全稳定性问题。图1为试验段场地。



图1 试验段场地

2 试验方案

本节基于《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)的要求对两处试验路段的高填方路基软岩填料进行

了系列试验研究,试验方案见表2。

表2 试验设计方案

试验名称	试样	样品规格	试验条件	试验目的
X线衍射试验	软岩	18 mm × 20 mm × 2 mm 块体	—	矿物成分分析
界限含水率测定	软岩填料	0.5 mm 土样	—	液限、塑性指数
击实试验	软岩填料	土样	—	最优含水率、最大干密度
CBR 试验	软岩填料	土样	—	CBR 值、膨胀量
崩解试验	软岩	25 cm 立方体试样	干湿循环	耐崩解指数变化规律
软化试验	软岩	50 mm 立方体试样	干湿循环 加饱水	单轴抗压强度、软化系数
固结试验	软岩填料	环刀样	干湿循环	压缩系数
直剪试验	软岩填料	环刀样	干湿循环	摩擦角、黏聚力变化规律

3 试验分析

3.1 X 线衍射试验

通过 X 线衍射试验可以得到试验路段路基水敏性软岩的矿物组成成分及含量。试验结果表明,软岩主要由黏土矿物组成。这是造成路基出现软化、崩解等工程问题的主要原因。软岩的具体矿物组成见表3。

表3 X 线衍射结果

成分	石英	钾长石	黄铁矿	黏土矿物
含量 /%	37.3	0.7	3.8	58.2

3.2 软岩的水敏性试验

3.2.1 崩解试验

本节通过对软岩进行崩解试验得到崩解指数,从而评价软岩的耐崩解能力,判断路基的稳定性。具体试验操作为选取三组天然的软岩试样,对其表面进行清洁后放入饱水中,观察崩解物质的脱落情况。在饱水作用结束后,用恒温烘干后冷却,通过称量残余质量计算得到耐崩解指数,结果见图2。由图2可知,在干湿循环的条件下,随着循环次数的增加,耐崩解指数不断减小。当循环次数进行到6次时,3个试样的曲线基本趋于稳定。

3.2.2 软化试验

本节选取表面光滑无损伤的 50 mm 立方体软岩试样进行软化试验,6 个试样作为一组,共设置了 10 组试样。具体的试验方案为:首先用第一组的试样进行单轴抗压强度的测定。该试验需在干燥条件下进行。然后对 2~6 组试样进行干湿循环试验,测定试

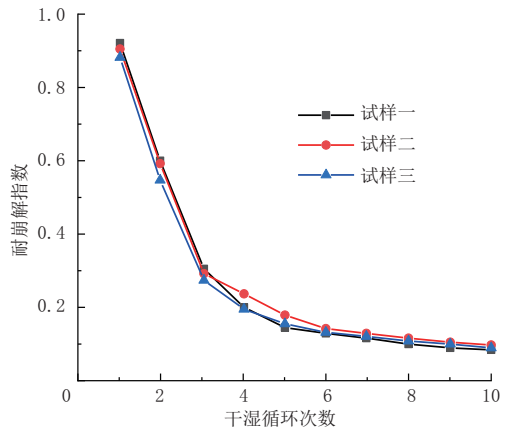


图2 耐崩解系数和干湿循环次数的关系

验后的单轴抗压强度。再对 7~10 组试样采用饱水法进行饱水条件下的单轴抗压强度测定。该试验需要控制饱水时间和饱水周期,测定每组试样的含水率。通过上述试验可以得到软岩的单轴抗压强度和软化系数,公式如下:

$$K_p = \frac{R_w}{R_d} \quad (1)$$

式中: K_p 为软化系数; R_w 为软岩在饱水条件下的单轴抗压强度, MPa; R_d 为软岩干燥状态下的单轴抗压强度, MPa。

(1) 单轴抗压强度分析。

由上述干湿循环作用下的崩解试验可以得到单轴抗压强度和干湿循环次数的关系曲线图(见图3)。由图3可知,进行干湿循环作用后,软岩试样开始逐步崩解时,软岩的抗压强度逐渐减小。第4次循环作用后,抗压强度减小至 2.63 MPa,并在此后趋于稳定状态。其抗压强度的关系表达式如下:

$$\sigma_c = \sigma_{c0} - A \ln(n+1) \quad (2)$$

式中: σ_c 为 n 次干湿循环作用后的软岩单轴抗压强度, MPa; σ_{c0} 为进行干湿循环作用时的软岩抗压强度, MPa; n 为干湿循环次数。

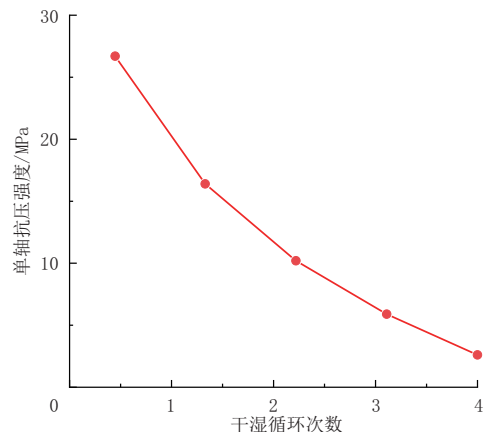


图3 单轴抗压强度和干湿循环作用次数的关系

(2)软化系数分析。

通过上述干湿循环作用下的软化试验可以得到软岩试样的软化系数结果,其具体结果见表4。由表4可知,经过4次干湿循环作用和饱水作用后的软岩软化系数分别为0.1和0.3。由此可以说明,干湿循环试验对软岩的软化作用更加显著。

表4 软岩软化系数

试验条件	试验次数	单轴抗压强度平均值 /MPa	软化系数
干湿循环	1	15.36	0.61
	2	10.43	0.38
	3	5.96	0.21
	4	2.53	0.10
饱水条件	1	15.94	0.37
	2	9.76	0.36
	3	8.72	0.32
	4	8.63	0.30

3.3 工程性能试验

本节选取试验段软岩为研究对象,分别进行了界限含水率试验、击实试验、CBR试验来测定该软岩填料的工程性能。试验结果见表5。表5中详细给出了软岩填料的基本特性。由表5可知,软岩的最优含水率为11.5%,最大干密度为1.89。根据液塑性指标可以判定,该软岩表现出黏土特性,进一步印证了填料中有很高含量的黏土矿物。软岩的CBR为2.8,根据《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)要求可知,该类软岩不宜作为路基填料,需要采取加固措施和系列排水措施进行控制。

表5 软岩基本特性

桩号	取土深度 / m	天然含水率 / %	液限 / %	塑限 / %	塑性指数	最优含水率 / %	最大干密度 / (g·cm ⁻³)	CBR
K33+250	5	9.6	50.7	24.6	27.1	11.5	1.89	2.8

3.4 压缩性试验

当上述软岩试样作为路基填料时,降雨等自然条件作用会使填料不断崩解,导致路基发生位移和沉降等变化,进而对路基的稳定性造成影响。因此,有必要对该类软岩进行工程性能试验研究。本节选取上述路段的软岩试样进行了含水率和压缩性试验,得到了该路基填料的压缩度随干湿循环次数的关系。如图4所示,软岩试样的压缩系数在干湿循环试验进行到6次时趋于稳定。当压实度为0.94和0.90时,试样的压缩系数呈现先减小后增大的变化趋势。当压实度为0.96时,压缩系数基本保持不变。

当压实度为1.0时,压缩系数缓慢增长。因此,该类软岩作为填筑材料时的压实度应采用0.96,以确保路基的稳定性。

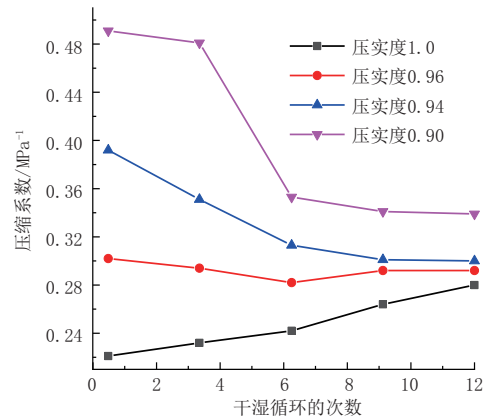


图4 压缩系数和干湿循环次数的关系

3.5 抗剪强度试验

为了进一步研究软岩高填方路基的稳定性,本节进行了干湿循环条件下的软岩填料抗剪强度、黏聚力和内摩擦角的试验研究。仍选取试验路段的软岩,选择最优含水率下的0.96压实度试样进行制样。通过饱和24h,50℃烘干24h再饱和24h的干湿循环试验流程进行15次,随后选择8组结果用于抗剪强度试验分析。图5至图7分别为抗剪强度、内摩擦角、黏聚力和干湿循环次数关系图。由图可知,在前6次干湿循环作用下,软岩抗剪强度逐渐减小,降幅为86.7%,后3次循环作用下的软岩衰减幅度明显降低且基本趋于稳定;在干湿循环作用下,软岩的内部颗粒骨架结构受到破坏,使内摩擦角逐渐减小,黏聚力逐渐增大,弱化了软岩的抗剪强度。因此,工程中应对软岩填料进行破碎、雨淋再晾晒处理,主动使其抗剪强度降低,达到维护路基长期稳定的目的。

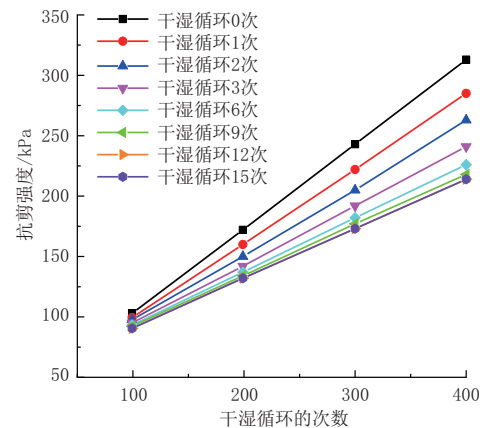


图5 抗剪强度和干湿循环次数的关系

4 结论与建议

本文以某公路工程为研究背景,采用试验分析

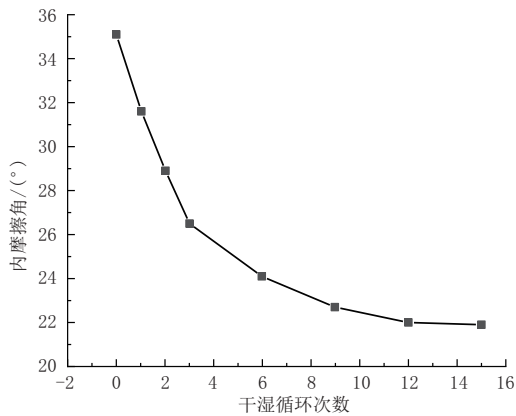


图6 干湿循环下软岩的内摩擦角变化曲线

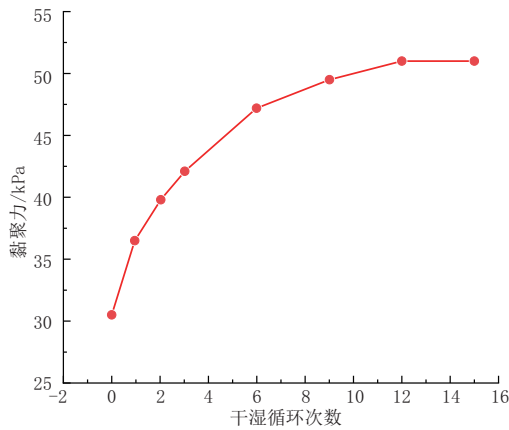


图7 干湿循环作用下软岩的黏聚力变化曲线

的方法对试验段的软岩填料进行一系列试验,分析了软岩填料的矿物成分、工程性能,以及压缩性和抗剪强度对路基稳定性的影响,得到以下结论。

(1)软岩主要由黏土矿物组成,会造成路基出现软化、崩解等工程问题,作为路基填料时要采取加固措施和系列排水措施来进行控制。

(2)饱水条件下的软岩软化系数要高于干湿循环

作用下的软化系数,故工程中此类填料在降雨等自然条件反复作用下会被显著劣化破坏,丧失部分工程性能。

(3)压实度为0.96时的软岩压缩系数随着干湿循环作用基本保持不变,因此,应当选取压实度为0.96类软岩作为填筑材料,以确保路基的稳定性。

(4)软岩的抗剪强度在前6次干湿循环作用下减小幅度更加明显,6次以后基本趋于稳定。干湿循环作用使得软岩的内摩擦角逐渐减小,黏聚力逐渐增大,弱化软岩的抗剪强度。

(5)建议在实际工程中应当对该类软岩填料进行破碎、雨淋再晾晒处理,主动使其抗剪强度降低以维护路基的长期稳定性。

参考文献:

- [1] 卿启湘,王永和,李光耀,等.软岩填筑高速铁路路堤的室内试验研究[J].岩土力学,2006(7):101-105,110.
- [2] 袁伟.软岩填料在高速铁路中的适用性分析与沉降研究[D].长沙:中南大学,2009.
- [3] 钟志彬,李安洪,邓荣贵,等.高速铁路红层软岩路基时效上拱变形机制研究[J].岩石力学与工程学报,2020,39(2):327-340.
- [4] 刘新喜,夏元友,刘祖德,等.强风化软岩路基填筑适宜性研究[J].岩土力学,2006(6):903-907.
- [5] 张鲁新.青藏铁路高原冻土区地温变化规律及其对路基稳定性影响[J].中国铁道科学,2000,21(1):36-47.
- [6] 刘新喜,夏元友,蔡俊杰,等.降雨入渗下强风化软岩高填方路堤边坡稳定性研究[J].岩土力学,2007,28(8):1705-1709.
- [7] 徐望国,张家生,贺建清.加筋软岩粗粒土路堤填料大型三轴试验研究[J].岩石力学与工程学报,2010(3):109-115.
- [8] JTG D30—2015,公路路基设计规范[S].

(上接第183页)

应力和挠度。试验结果显示结构强度和刚度均满足要求,可用于混凝土箱梁现浇施工。案例可为类似工程的试验加载提供参考^[8]。

参考文献:

- [1] 刘国强,赵建刚,何韬.Mss50-1800 移动模架海水预压试验[J].公路,2009,9(9):113-116.
- [2] 张苹,秦星.凤凰二桥混凝土连续箱梁移动模架一次双跨整体浇筑施工技术[J].珠江水运,2019(2):70-71.
- [3] 罗立军,付军,余昆.大跨度桥梁悬臂施工挂篮预压试验加载方法研究[J].交通科技,2014(2):31-33.

- [4] 刘三友.Mss32-900 型移动模架堆载预压与预拱度设置[J].铁道标准设计,2010(4):41-44.
- [5] 赵希青.预应力等效荷载法在支架预压施工中的应用[J].价值工程,2016,35(18):118-119.
- [6] 刘小军.桥梁工程中钢结构项目悬臂挂篮施工技术分析[J].北方交通,2018(2):24-26.
- [7] 蔡志舰,李强,陈长江.预应力反张拉法在支架预压施工中的应用[J].筑路机械与施工机械化,2013,30(12):91-93.
- [8] 勾永生,包杰.高墩大跨PC刚构桥挂篮预压试验分析[J].北方交通,2014(2):36-38.