

不同因素对粉土路基承载力影响的试验研究

王小华¹, 张磊^{2*}, 雷涛¹, 刘文君²

¹齐鲁高速公路股份有限公司, 山东 济南

²山东省交通科学研究院, 山东 济南

收稿日期: 2024年5月22日; 录用日期: 2024年6月11日; 发布日期: 2024年6月19日

摘要

为了分析含水率、压实度对粉土承载能力的影响, 采用不同压实度和含水率对粉土进行压缩和回弹模量试验研究。结果表明: 含水率对粉土的压缩系数和回弹模量影响较大, 在路基施工中应严控含水率(最佳含水率 + 2%以内), 压实度越低, 含水率对最终沉降量的影响越大。当含水率高于最佳含水率2%以上时, 填高越大, 沉降量越大。填高10 m沉降量平均为5 m的4倍左右。

关键词

压缩系数, 回弹模量, 粉土, 路基承载力

Experimental Study on the Influence of Different Factors on the Bearing Capacity of Silt Roadbed

Xiaohua Wang¹, Lei Zhang^{2*}, Tao Lei¹, Wenjun Liu²

¹Qilu Expressway Company Limited, Jinan Shandong

²Shandong Transportation Research Institute, Jinan Shandong

Received: May 22nd, 2024; accepted: Jun. 11th, 2024; published: Jun. 19th, 2024

Abstract

In order to analyze the influence of moisture content and compaction degree on the bearing capacity of loess, compression and rebound modulus tests were conducted on loess with different compaction degrees and moisture contents. The results show that the moisture content has a significant impact on the compression coefficient and rebound modulus of loess. In roadbed con-

*通讯作者。

struction, the moisture content should be strictly controlled (within the optimal moisture content + 2%). The lower the compaction degree, the greater the influence of moisture content on the final settlement. When the moisture content is higher than the optimal moisture content by more than 2%, the higher the filling height, the greater the settlement amount. The average settlement of filling a height of 10 m is about 4 times that of 5 m.

Keywords

Compression Coefficient, Resilience Modulus, Silt, Roadbed Bearing Capacity

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国基础设施建设的快速发展,道路工程在国民经济中的地位日益突出。在道路工程中,路基质量是保证道路使用寿命和安全运行的关键。然而,在许多地区,粉土作为一种常见的筑路材料,其力学性能和工程特性使得路基工程面临诸多挑战。粉土作为一种粒径较细、塑性较差的土体,其力学性能和工程特性受到许多因素的影响,如含水率、密度、颗粒组成等[1] [2] [3]。特别是在粉土路基的沉降控制方面,一直是道路工程领域面临的重要课题。粉土路基在承受车辆荷载作用时,容易产生不均匀沉降,从而导致道路结构的破坏,影响道路的使用寿命和安全运行[4] [5] [6]。因此,对粉土路基沉降控制参数的研究具有重要意义。

安鸿飞[7]等通过粉土路基压实指标研究,除了压实度以外,引入含气率作为压实质量控制的补充指标,并提出了含气率的控制参数;刘富晓[8]等对比分析了不同含水率、压实度下粉土的强度与变形性状,发现粉土在饱和状态下,颗粒间的联结程度就会变得更弱,影响粉土力学性能;韩琳[9]重点分析了粉土体的黏粒含量和抗剪强度参数,发现粉土有渐变的性质而且土体的颗粒组成与抗剪强度有较强的相关性;肖成志[10]等基于固结试验表明,干密度较小的条件下,含水率对粉土的压缩系数的影响越不显著。

在实际工程应用中,含水率和压实度是影响粉土路基承载力的主要因素,本文针对山东地区典型粉土,对不同压实度和含水率下的压缩性能和回弹模进行室内试验,对比分析不同因素对粉土路基承载力的影响作用。

2. 试验材料

粉土

针对典型粉土进行室内实验,主要针对其物理力学性质指标,如比重、液限、塑限、击实性能等指标进行室内实验,得到相应的参数,如表 1 所示。

Table 1. Basic physical properties of silt

表 1. 试验粉土基本物理性质

比重/(g·cm ⁻³)	液限/%	塑限/%	塑性指数/%	最大干密度/(g·cm ⁻³)	最佳含水率/%	土的分类
2.708	28.4	19.4	9	1.76	14.6	低液限黏土

通过分析粉土的基本物理性质,分析发现液限小于 50,塑性指数为 9,同时比重为 2.708,按照土的分类标准,可划分为低液限粉土。

3. 试验方案

为了对新建路基施工质量进行控制,制定如下试验方案,如表 2 所示,确定不同因素(含水率和压实度)路基填料对路基整体承载力的影响,并提出路基施工控制指标。

Table 2. Test scheme
表 2. 试验方案

试验项目	含水率/%	压实度/%
压缩试验	12.6	80/85/90/95
	14.6	
	16.6	
	18.6	
	20.6	
回弹模量试验	12.6	90/93/94/96
	14.6	
	16.6	
	18.6	
	20.6	

4. 试验结果分析

4.1. 压缩试验

土样的压缩系数定义是土体在侧限条件下孔隙比减少量与有效压应力增量的比值,即为 e-p 曲线中某一压力段的割线斜率。通常采用压力段由 $P_1 = 100 \text{ kPa}$ 增加到 $P_2 = 200 \text{ kPa}$ 时的压缩系数 a_{1-2} 来评定土样的压缩性。

$$a = \frac{\Delta e}{\Delta P} = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1} \tag{1}$$

当 $a_{1-2} < 0.1 \text{ MPa}^{-1}$ 时,为低压缩性土; $0.1 \leq a_{1-2} < 0.5 \text{ MPa}^{-1}$ 时,为中压缩性土; 当 $a_{1-2} > 0.5 \text{ MPa}^{-1}$ 时,为高压缩性土。

由图 1 所示,同一含水率下,随着压实度的增加,压缩系数不断减小,且均属于中压缩性土;在含水率 14.6% (最佳含水率)、压实度 95% 的情况下,压缩系数最小,为 0.105 MPa^{-1} ;在含水率 20.6%、压实度 80% 的情况下,压缩系数最大,为 0.488 MPa^{-1} 。当压实度 $\geq 90\%$ 时,压缩系数随含水率的变化较小,压缩系数增加率均在 10% 以上;当压实度在 90% 及以下时,压缩系数随含水率的变化较大,压缩系数增加率均在 20% 以上。

如图 2 所示,以路基填高 5 m 为例,采用分层总和计算沉降法计算路基的竖向沉降,分析不同压实度和含水率变化性的沉降规律。在含水率 14.6% (最佳含水率)、压实度 95% 的情况下,路基整体沉降量最小,为 26.79 mm;在含水率 20.6%、压实度 80% 的情况下,路基整体沉降量最小,为 91.71 mm。当含

水率 $\leq 16.6\%$ 时, 沉降量随压实度变化幅度较小; 当含水率 $> 16.6\%$ 时, 沉降量随压实度变化幅度较大, 且随压实度的减小, 变化量越大。当含水率过大时, 水分填充至粉土颗粒之间, 使得颗粒间的粘滞性降低, 从而使其相对移动变得更容易, 导致沉降量增加。所以, 在实际工程中时, 含水率应控制在 16.6% 以下, 即最佳含水率 2% 以内。

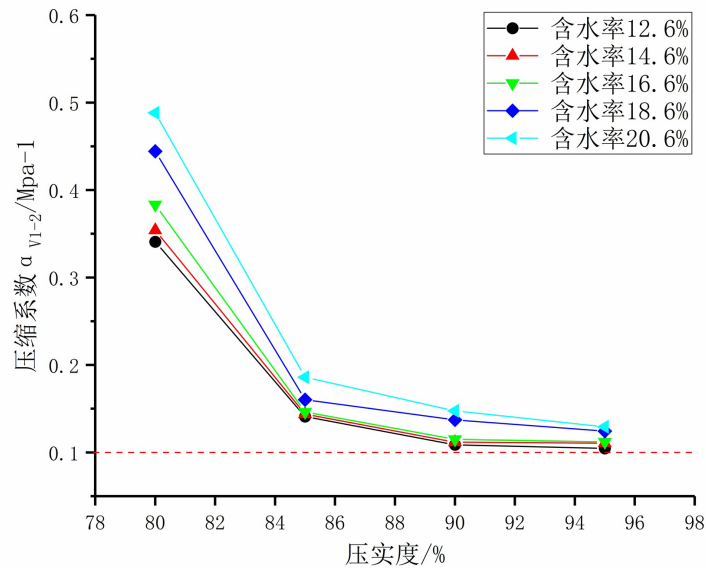


Figure 1. Variation Law of compressibility coefficient with different factors

图 1. 压缩系数随不同因素变化规律

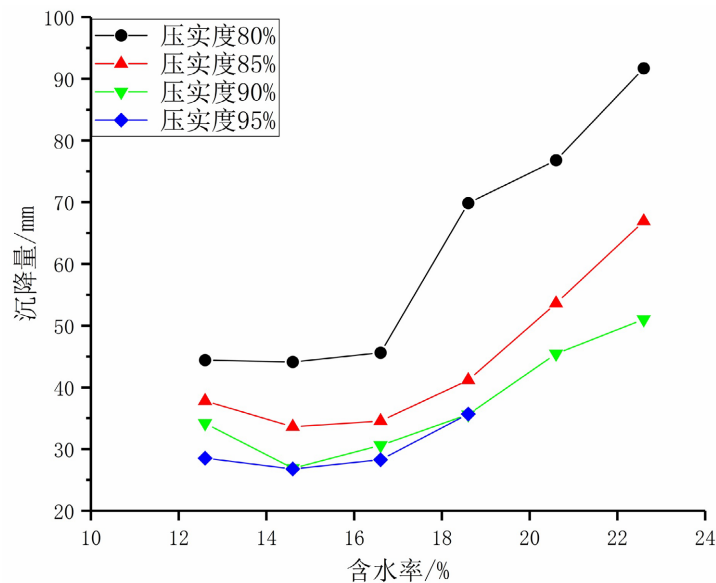


Figure 2. Variation law of settlement with water content

图 2. 沉降量随含水率变化规律

如图 3 所示, 在 95% 压实度下, 随着路基填高的增加, 最终沉降量随之增加, 填高 10 m 沉降量平均为 5 m 的 4 倍左右, 说明高填方路基面临的沉降风险更大。当含水率大于 16.6% 时, 沉降量变化幅度较大, 在实际工程中应控制含水率不大于 16.6% 。

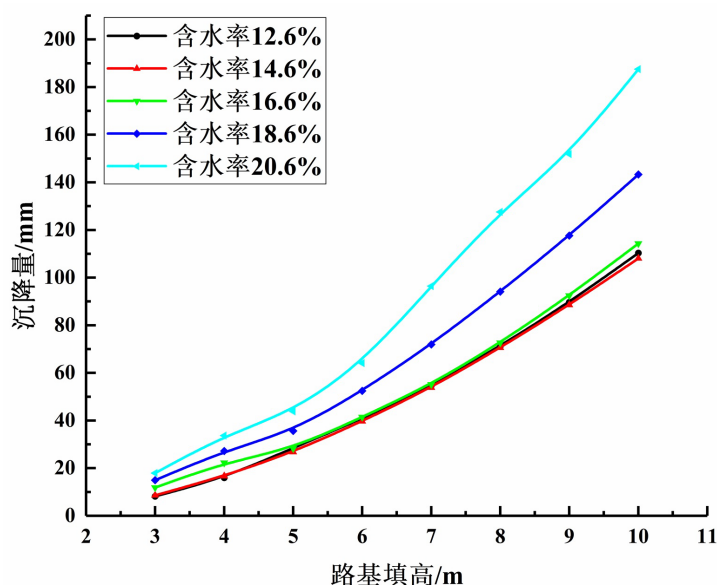


Figure 3. Variation law of settlement with roadbed height

图 3. 沉降量随路基填高变化规律

4.2. 回弹模量试验

回弹模量试验采用强度仪法,测定在垂直荷载作用下,土体抵抗竖向变形的能力。最大压力设定为 200 kPa,并将最大压力分为 5 份,分级加载和卸载,并记录千分表的读数,计算得出土的回弹模量。

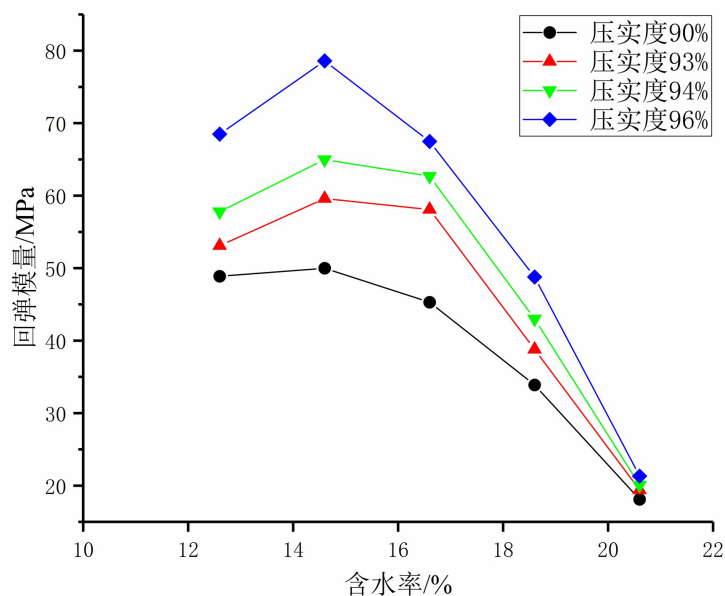


Figure 4. Variation of resilient modulus with different factors

图 4. 回弹模量随不同因素变化规律

如图 4 所示,同一含水率下,随着压实度增加,回弹模量逐渐增大。含水率 20.6% 下,回弹模量在 18~21.3 MPa 之间,增加 3.3 MPa,增幅最小。最佳含水率下,回弹模量在 50~78.6 MPa 之间,增加 28.6 MPa,增幅最大。同一压实度下,在含水率 14.6% (最佳含水率) 时,回弹模量最大。当含水率增加至 18.6%

时,回弹模量急剧下降,说明超过最佳含水率 4%时,水分对回弹模量的衰减作用明显。所以,在实际工程中时,含水率应控制在 16.6% 以下,即最佳含水率 2% 以内。

5. 结论

本文通过对基于固体废物的抗收缩粉土固化材料收缩性能的研究,得出以下结论:

- 1) 含水率对粉土的压缩系数和回弹模量影响较大,在路基施工中应严控含水率(最佳含水率 + 2% 以内),当含水率高于最佳含水率 2% 以上时,最终沉降量将增加 25% 以上。
- 2) 压实度越低,含水率对最终沉降量的影响越大。含水率每增加 2%, 90% 压实度下沉降量增幅是 96% 压实度的 2.5 倍。
- 3) 当含水率高于最佳含水率 2% 以上时,填高越大,沉降量越大。填高 10 m 沉降量平均为 5 m 的 4 倍左右。

参考文献

- [1] 吕大伟,孙晓立. 含水率和压实度对含粘砂土路基回弹模量的影响研究[J]. 路基工程, 2013(3): 1-5.
- [2] 韩非. 粉土地区地下降水对土体变形的影响研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [3] 黄贝贝. 环境场作用下细粒土路基湿度场分布研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2022.
- [4] 王昊,韦金城,宋晓辉,等. 黄泛区粉土工程特性及其改性固化研究进展[J]. 粉煤灰综合利用, 2023, 37(5): 107-119.
- [5] 封喜波. 含水率及压实度对低液限粉土力学特性影响的试验研究[J]. 交通世界(下旬刊), 2018(11): 174-176.
- [6] 孔震宁. 压实度及含水率对路基回弹模量影响规律研究[J]. 公路与汽运, 2015(6): 107-108.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-2668.2015.06.028>
- [7] 安鸿飞,商玉洁,李婕,等. 粉土路基压实控制指标的分析研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2019, 44(1): 206-211.
- [8] 刘富晓. 低液限粉质黏土公路路基压实控制指标的对比优化[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2023, 47(5): 947-951.
- [9] 韩琳,李宇翔. 含水率和压实度对矿区回填土力学性质的影响[J]. 煤矿安全, 2018, 49(8): 53-56.
- [10] 肖成志,李晓峰,张静娟. 压实度和含水率对含砂粉土性质的影响[J]. 深圳大学学报(理工版), 2017, 34(5): 501-508.