

含砂低液限粉土的压实特性研究

李 辉^{1,2}, 夏柏如¹, 王 园³, 周永涛⁴

(1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 2. 河南理工大学, 河南 焦作 454000; 3. 交通部公路科学研究所, 北京 100088; 4. 天津市地质基础工程公司, 天津 300250)

摘要:通过级配分析、击实试验,分析了含砂低液限粉土的物理力学特性和压实特性。认为现行以压实度为指标的压实控制标准的不完备,是引起公路病害的主要原因之一。为了解决这一问题,引入空气体积率作为粉土压实的辅助控制标准,并建议提高现行路堤的压实度控制标准。

关键词:粉土; 压实度; 压实标准; 空气体积率; 公路病害

中图分类号:U416.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2006)09-0001-03

Research on the Property of Compaction for Silt/LI Hui^{1,2}, XIA Bo-ru¹, WANG Yuan³, ZHOU Yong-tao⁴ (1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454000, China; 3. Ministry of Communications Highway Scientific Research Institute, Beijing 100088, China; 4. Tianjin Geo-foundation Engineering Company, Tianjin 300250, China)

Abstract: Through the study of grading analysis and compacting test, this article analyzes the physical and mechanical property and the compacting capability of silt. As a result, it is one of the important reasons for the highway damage that the criterion of compaction in existence is deficient. In order to solve this problem, volume ratio of air is used as an assistant criterion for the compaction of silt. And, it is suggested that the degree of compaction for the road embankment should be improved.

Key words: silt; the degree of compaction; the criterion of compaction; volume ratio of air; highway damage

含砂低液限粉土广泛分布于我国北方平原地区。该类土塑性指数低,粘性小,干时呈粉状,浸水时易成流体状态。在这些地区修筑的一些高等级公路,通车二三年后,经常出现路面开裂等早期破坏现象。经技术分析,是由于粉土路基的压实不足或压实标准偏低,导致不均匀沉降,以及粉土水稳定性差引起冻胀、翻浆,从而导致路面破坏的。

针对该类土在工程应用中出现的问题,从土自身级配特性、压实标准等方面进行了试验研究与理论分析,并对施工工艺进行了研究,得出的结论对工程建设有指导意义。

1 原材料的性质

试验土样取自某施工路段,对所取土样按照《公路土工试验规程》(JTJ 051-93)的有关规定,采用比重计法分析其粒径组成,结果如表 1 所示,相应的级配曲线见图 1。

通过试验获得其物性指标为:液限 $W_L = 20\%$, 塑限 $W_p = 15.0\%$, 塑性指数 $I_p = 5.0$, 土粒密度 $\rho = 2.7 \text{ g/cm}^3$ 。

表 1 粉土粒径分析结果表

粒径/mm	粉土含量/%
>0.25	0
0.25~0.075	26.5
0.075~0.05	34.4
0.05~0.01	32.9
0.01~0.005	2.0
0.005~0.002	0.7
<0.002	3.5

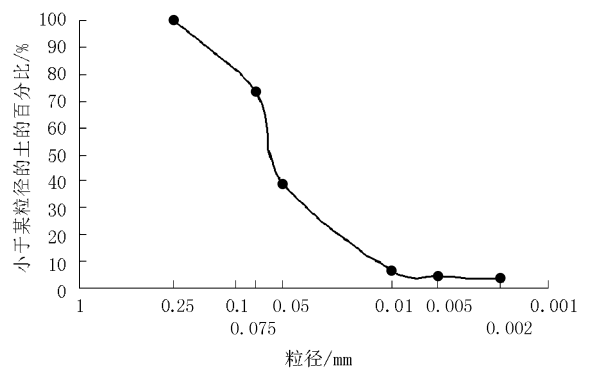


图 1 粉土的级配曲线图

由试验结果可以看出,该粉土粉粒含量约为 73.5%,砂粒含量 >20%,塑性指数 $I_p > 2$,液限 W_L

收稿日期:2006-04-30

作者简介:李辉(1977-),男(汉族),河南获嘉人,中国地质大学(北京)在读博士,河南理工大学助教,岩土工程专业,从事岩土工程的教学与科研工作,北京市海淀区学院路 29 号中国地质大学工程技术学院土木教研室,13718153393,liwhui@sohu.com。

<50%。按照分类标准,该粉土为含砂低液限粉性土,旧称粉土。其粒径比较均匀,颗粒大多集中在 0.005 ~ 0.075 mm,大于 0.075 mm 的砂粒占 26.5%,小于 0.005 mm 的砂粒含量为 4.2%,不均匀系数 $C_u = 3.9$,属级配不良的均匀土。

该类土在碾压过程中,粉粒和砂粒间的空隙没有充足的细小粘粒填充,形不成紧密的填充和嵌挤结构,因而压实性能差。另外,由于这种不紧密的结构,导致粉土中空隙较多,相互连通成微型管道,纵横分布在土体中,形成毛细运动,土易吸水也易蒸发失水。含水量较小时,水的吸附能力小,颗粒分散,导致碾压时出现起皮和重皮现象;含水量大时,孔隙中充满水,碾压功能被水消散和承担,出现“碾压弹簧”现象。含水量过低或过高时都不能将该类土压实。

2 土的击实试验分析

采用《公路土工试验规程》(JTJ 051 - 93)规定的击实试验重型 II. 2 法,对土进行室内击实试验,采用的击实功依次为 2677.2、3551.4、4370.9、5190.5 kJ/m^3 。以下利用试验结果从重型击实标准、孔隙比、空气体积率 3 个方面对粉土的压实特性进行分析。

2.1 重型击实标准

表 2 为不同击实功对应的最大干密度。

表 2 不同击实功对应的最大干密度表

击实功/($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$)	最大干密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
2677.2	1.7
3551.4	1.7
4370.9	1.72
5190.5	1.72

从试验结果看出,随着击实功的增长,土体最大干密度变化不大。也就是说,仅通过增加击实功不能使得粉土的压实干密度显著提高。

2.2 孔隙比

图 2 是粉土孔隙比随压实度的变化图。由图中可以看出,两条曲线近乎重合,说明击实功的变化对孔隙比影响不大。但是压实度则不同,随着压实度的增加空隙比近直线下降,说明提高压实度可以有效的降低孔隙比,从而使得干密度增大,提高粉土压实强度。同时可以看出,在压实度 90% 时孔隙比最大(e 接近 0.8),此时土体处于较松散状态,说明 90% 的压实度区存在较大的压缩性,对于路堤来说 90% 的压实度区是位于路堤下部的下路堤,路堤越

高,上部荷载越大,下路堤不均匀沉降变形越大,因此建议提高路堤 90% 的压实度区的压实度,以减小施工后的沉降变形。

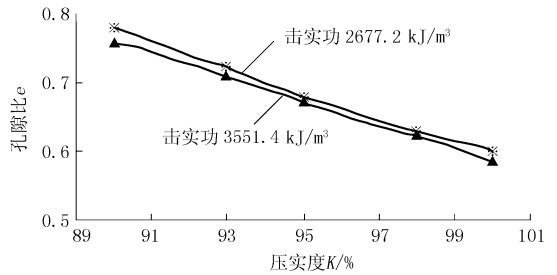


图 2 孔隙比 e - 压实度 K 关系曲线图

2.3 空气体积率

2.3.1 空气体积率与含水量的确定

空气体积率是英国、日本等国的土质路基的压实控制方法:以粒径(0.075 mm)为划分标准,对 0.075 mm 筛通过量在 20% 以上的土(相当于粘土和粉土)用空气体积率 V_a 控制,对 0.075 mm 筛通过量不足 20% 的土(相当于砂性土)用相对密实度 D_r 控制。其中相对密实度法与我国砂土的相对密实度试验方法相同,与我国不同的是空气体积率法。空气体积率法的计算公式为:

$$V_a = [100 - \rho_d (100/\rho_s + w/\rho_w)] \cdot 100\% \quad (1)$$

式中: V_a ——空气体积率,%; ρ_d ——土的干密度, g/cm^3 ; ρ_w ——水的密度, g/cm^3 ; w ——土的含水量; ρ_s ——土的颗粒密度, g/cm^3 。

空气体积率随含水量变化曲线见图 3。可以看出,随着土样含水量接近最佳含水量,空气体积率逐渐降低,土样的干密度也逐渐增大,达到最佳含水量后,土样中空气的体积接近最小值,土样的密度也达到最大干密度,此时如果含水量继续增大,土中孔隙被过多的自由水占据,压实时水不能压缩也不容易被挤出,土的干密度反而逐渐降低。

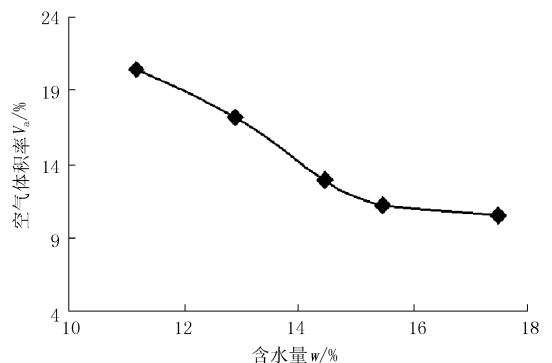


图 3 空气体积率随含水量变化曲线图

由公式(1)和图 3 可见,空气体积率不仅与土

的干密度有关,而且与土的含水量有关,干密度和含水量越大,空气体积率就越小。由此可见含水量在控制粉性土路基压实和稳定中具有相当重要的作用。而利用现行压实度的控制理论不能反映这一点。从标准击实曲线(图4)可以看出:在同一压实度下,对应的含水量不同。如在 $K=98\%$ 时,对应的控制含水量为 12.9% 和 16.5% 。按规范取值范围为 $12.9\% \sim 16.5\%$,但是如此取值并没体现出含水量对压实度的影响,显然是不合适的。

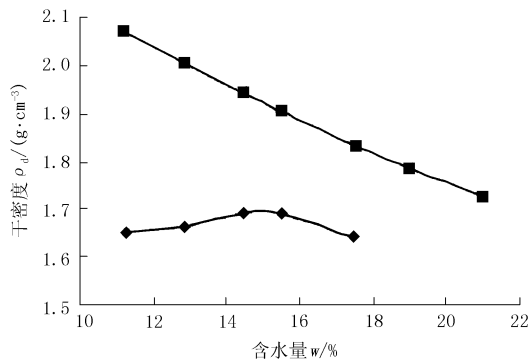


图4 击实曲线图

如果在含水量较低时进行压实施工,因为土质粘性小不易碾压成型,即使压实也难以粘聚致密,且密实度较低。施工完成后路基含水量过低,空气体积率较大,仍可以大量吸收水分,造成强度降低,产生翻浆、唧泥等病害,造成高等级公路未达到使用年限即产生早期破坏。该类粉土细粒成分多,不宜在含水量较小的情况下压实,由两个含水量计算的空气体积率,含水量大的所得结果较小,也就是说在含水量较大时进行压实相对有利于路基的稳定。

由以上分析可见:对于粉土来说,压实度指标并不能准确反映哪个含水量对路基的水稳定性更为有利。将空气体积率作为压实度控制指标的辅助标准进行的压实控制能很好的做到这一点。

2.3.2 压实90度区的讨论

图5是孔隙率随压实度的变化曲线,从图中可以看出:空气体积率在压实度 $90\% \sim 93\%$ 变化较大,说明 90% 的压实度区具有较大的可压缩性。现行《公路路基设计规范》(JTGD 30-2004)和《公路路基施工技术规范》(JTJ 033-95)中规定:对于高等级公路下路堤($>150\text{ cm}$)压实度要求达到 90% 。以这样的标准进行压实的路堤往往不能满足高等级公路的实际需求。

对于下路堤来说其主要承受上部传来的恒载。对于高等级公路来说,路堤往往很高,下路堤承受上部恒载很大。如: 10 m 高路堤的平均密度为 1.7 g/cm^3 ,则 10 m 高的路堤底面恒载为 173.1 kPa ,即使在中部 5 m 处也达 88.1 kPa 。路堤在如此大的恒载作用下,随土的性质和土层原有密实度与含水量的不同,势必要产生固结变形。而 90% 的压实度显然是不够的,由图5空气体积率的变化也说明可压缩性较大,应适当提高压实度标准。

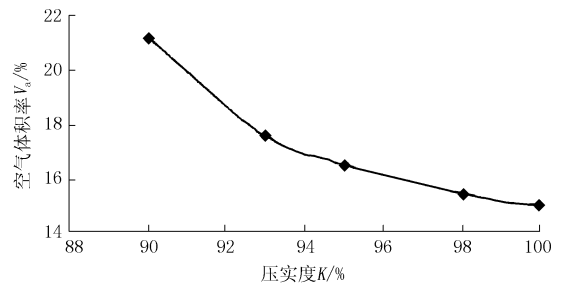


图5 空气体积率与压实度的关系图

3 结论

粉土广泛分布于我国北方地区,是路基填料的一种主要来源,认清粉土的压实特性对公路路基的施工质量有着重要的意义。本文通过对含砂低液限粉土的物理性质、压实特性进行分析,结合现场压实的效果,得出以下结论:

(1) 现行的以压实度为指标进行的压实控制,不能准确反应含水量对压实质量的影响。

(2) 现有压实度控制标准中的 90% 度区(下路堤)可压缩性较大,不能满足现代高等级公路对高路堤、高荷载的要求。

因此,建议参考英国、日本标准,结合我国土质实际引入空气体积率作为粉土的压实控制的辅助标准,从而可以弥补单纯以压实度为控制指标的不足。同时提高原有 90% 度区(下路堤)的压实度控制标准。

参考文献:

- [1] JTJ 051-93,公路土工试验规程[S].
- [2] JTGD 30-2004,公路路基设计规范[S].
- [3] JTJ 033-95,公路路基施工技术规范[S].
- [4] 沙庆林.公路压实与压实标准[M].北京:人民交通出版社,1998.186.