

不同化学固化粉土的CBR性能对比试验研究

章清涛¹, 张磊^{2*}, 王晓然¹, 孙兆云², 赵全满³, 邵志⁴

¹山东高速股份有限公司, 山东 济南

²山东省交通科学研究院, 山东 济南

³山东建筑大学, 山东 济南

⁴中铁四局集团有限公司第七工程分公司, 安徽 合肥

Email: *837827723@qq.com

收稿日期: 2021年2月4日; 录用日期: 2021年3月2日; 发布日期: 2021年3月23日

摘要

为了对比水泥和新型沥青粉末型固化剂下对粉土的固化效果, 采用CBR试验对其承载力进行验证, 得到以下结论: 水泥和沥青粉固化剂都对粉土的最大干密度有显著提升, 对粉土的最佳含水率有降低作用; 水泥和沥青粉固化剂都对粉土膨胀量有抑制作用; 在95%~100%压实度下, 粉土的CBR值在10.63%~19.65%, 而水泥固化土的CBR值的范围在80.88%~130.1%, 沥青粉固化土的CBR值的范围在159.15%~243.9%。沥青粉固化剂在提高粉土击实性能、增加粉土抗变形能力、提高CBR值的效果上优于水泥, 是一种性能良好的土壤固化材料。

关键词

CBR试验, 粉土, 改性固化, 沥青粉固化剂, 承载力

Comparative Experimental Study on CBR Performance of Different Chemically Modified Soil

Qingtao Zhang¹, Lei Zhang^{2*}, Xiaoran Wang¹, Zhaoyun Sun², Quanman Zhao³, Zhi Shao⁴

¹Shandong Hi-Speed Company Limited, Jinan Shandong

²Shandong Transportation Research Institute, Jinan Shandong

³Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

⁴The Seventh Engineering Company Limited of CTCE Group, Hefei Anhui

Email: *837827723@qq.com

*通讯作者。

文章引用: 章清涛, 张磊, 王晓然, 孙兆云, 赵全满, 邵志. 不同化学固化粉土的 CBR 性能对比试验研究[J]. 材料科学, 2021, 11(3): 219-227. DOI: 10.12677/ms.2021.113028

Abstract

In order to compare the curing effect of cement and the new asphalt powder stabilizer on the soil, the CBR test was used to verify its bearing capacity, and the following conclusions were obtained: Both cement and asphalt powder stabilizer can significantly improve the maximum dry density of soil, and reduce the optimal moisture content of soil; both cement and asphalt powder stabilizer can inhibit the expansion of soil; Under 95%~100% compaction degree, the CBR value of soil is 10.63%~19.65%, while the CBR value of cement-solidified soil is in the range of 80.88%~130.1%, and the CBR value of asphalt powder-solidified soil is in the range of 159.15%~243.9%. Asphalt powder stabilizer is better than cement in improving compaction performance, deformation resistance and CBR value of silt. It is a kind of soil curing material with good performance.

Keywords

CBR Test, Soil, Modified Curing, Asphalt Powder Stabilizer, Bearing Capacity

Copyright © 2021 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

随着山东省经济的高速发展, 社会对道路交通建设的需求越来越高, 全省高速公路通车里程突破 7400 公里。而山东境内存在着大量的黄泛区, 主要集中在鲁西南、鲁中和鲁东北等地, 约占山东省总面积的 35% 左右[1]。而黄泛区的土体因是由黄河携带上游泥沙冲击而成, 导致其土体呈层状分布, 且粉粒含量较高, 工程上表现为压实特性较差、承载能力不足、工后沉降较大。如单独用于路基填料的话, 工程应用能力较差[2]-[7]。本着节约土体资源和节约工程成本的目的, 需要用土壤固化的方式对黄泛区粉土进行改性处理, 提高其路用性能。目前常用的是水泥改性和化学改性等。本文选用两种固化材料对黄泛区粉土进行改性处理, 分别是水泥和沥青粉末型固化剂。并通过承载比试验验证其固化效果。为将来运用于实际工程提供技术参考和指导。

承载比试验最早是由美国加州公路局提出, 作为柔性路面的重要设计参数, 用来评价路基土和路面材料的强度, 简称 CBR (California Bearing Ratio) [8]。所谓 CBR 值, 是指试料贯入度达到 2.5 mm 时, 单位压力对标准碎石压入相同贯入量时的标准荷载强度的比值[9]。目前我国也将 CBR 试验作为反映路基承载力的重要指标纳入现行规范中, 并在道路设计和工程检测中对道路不同部位的 CBR 限值有详细规定。通过 CBR 试验对两种固化材料验证承载能力, 可以为今后能否用作路基填料性能指标提供参考。

2. CBR 试验

2.1. 试验材料

1) 粉土

试验选用粉土来自山东某黄泛区粉土, 其颗粒级配如图 1 所示。

并用三种不同的压实度制作的试件进行 CBR 试验，每种材料试件制作 3 个，共 9 个试件。为了得到不同的压实度，每组三个试件分别锤击 30 次、50 次和 98 次，如表 3 所示。

Table 3. Test plan
表 3. 试验方案

试验方案	试验土样	配合比	击实次数	目标压实度%
1	素土	粉土 = 100%	30	95
2			50	98
3			98	100
4	水泥固化土	水泥:粉土 = 6%:100%	30	95
5			50	98
6			98	100
7	沥青固化土	沥青粉:水泥:粉土 = 4%:6%:100%	30	95
8			50	98
9			98	100

试件制备完成后，将其放入水槽内进行浸水试验，浸水时要保持水面在试件顶部以上大约 25 cm，浸水时间为 4 天，如图 2 所示。浸水完成后对进行膨胀量测试。膨胀量计算公式如下，

$$\delta = \frac{h}{H} \times 100\% \quad (1)$$

式中 δ 为试件的膨胀量，%； h 为浸水后试件高度的变化量，mm； H 为试件的原始高度，mm。



Figure 2. The soaking process of the specimen
图 2. 试件泡水过程

浸水完成后的试件需要进行贯入度试验，贯入度试验采用的设备为路面材料强度测试仪，如图 3 所示。施加荷载时，贯入杆以 1~1.25 mm/min 的速率压入试件，并记录荷载以及其对应的贯入量，最终得

到荷载与贯入量的关系曲线。一般采用贯入量为 2.5 mm 时的单位压力与标准压力之比作为材料的承载比 (CBR)。

$$CBR_{2.5} = \frac{P}{7000} \times 100 \quad (2)$$

式中 $CBR_{2.5}$ 为贯入量为 2.5 mm 时承载比, %; P 为单位压力, KPa。

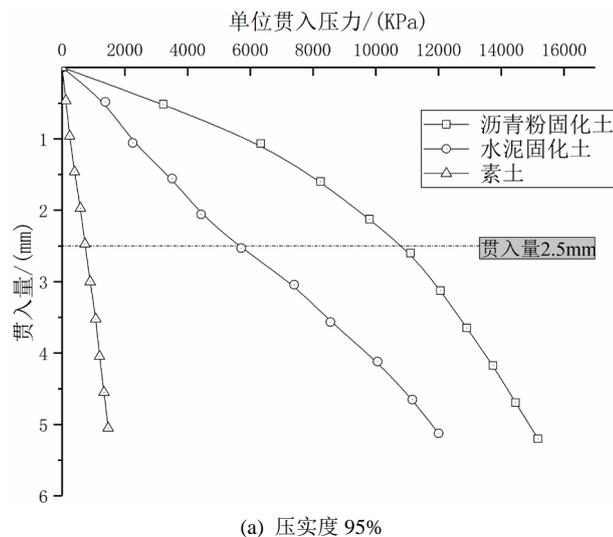


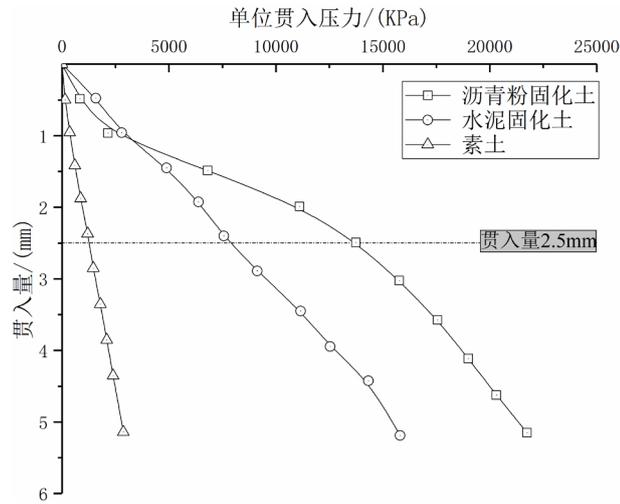
Figure 3. Penetration test
图 3. 贯入度试验

3. 试验结果分析

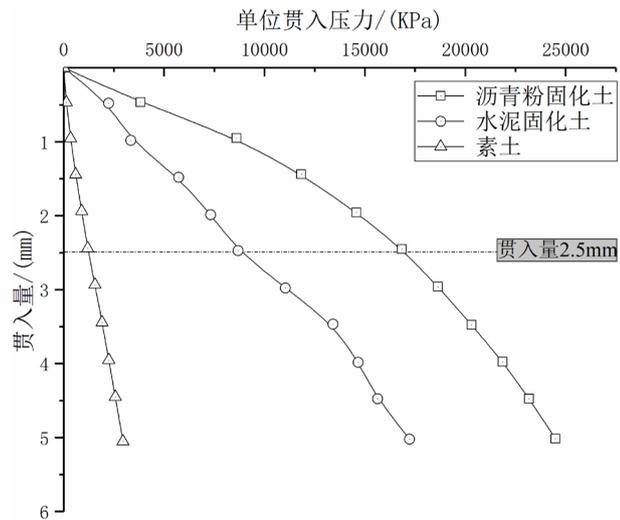
通过进行室内 CBR 试验, 得到了三种土样不同压实度下的单位压力与贯入量的关系曲线, 如图 4 所示。

通过图 4 中的关系曲线, 可以得到在贯入量为 2.5 mm 时, 对应的单位贯入压力, 并通过公式(2)得到相应的 CBR 值。试验结果如表 4 所示。





(b) 压实度 98%



(c) 压实度 100%

Figure 4. The relationship curve between unit pressure and penetration under different compaction degrees

图 4. 不同压实度下单位压力与贯入量的关系曲线

Table 4. Summary of test results

表 4. 试验结果汇总

试验方案	膨胀量/%	CBR/%
1	10.31	10.63
2	8.92	18.16
3	7.66	19.65
4	8.41	80.88
5	7.38	109.35
6	5.19	130.1
7	5	159.15

Continued

8	3.34	197.95
9	2	243.9

3.1. 不同固化材料对土体压实特性的影响

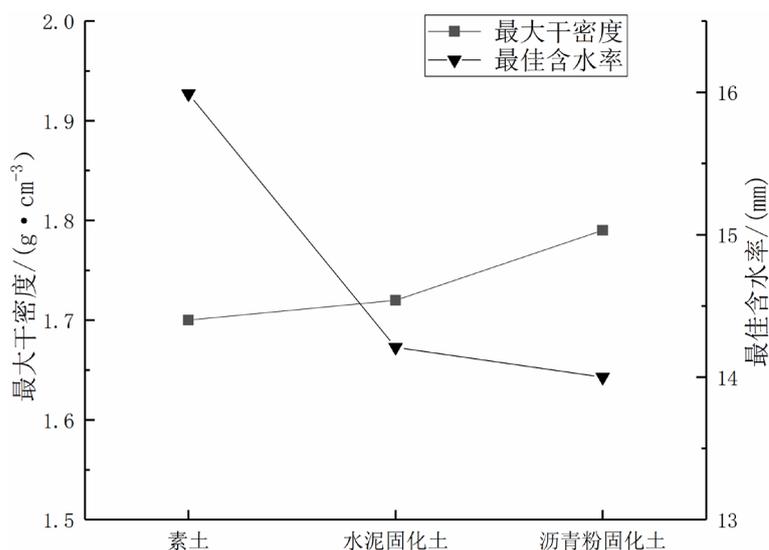


Figure 5. The influence of different solidified materials on the compaction performance of soil

图 5. 不同固化材料对土的击实性能的影响

通过对图 5 中三种土样的击实试验数据对比, 发现最大干密度和最佳含水率有着明显的变化。随着固化材料的添加, 土样的最大干密度呈不断增加的趋势, 而最佳含水率呈不断下降的趋势。这是因为粉土的黏粒成分含量很少, 颗粒间无明显粘结, 在击实到最大干密度时土颗粒呈松散粒状结构, 粒间孔隙较大。当在粉土中加入水泥后, 水泥在土体中发生水化反应, 颗粒表面存在大量的絮状水化硅酸钙凝胶和板片状氢氧化钙, 适当填充到土颗粒的孔隙中, 整体形成网状结构, 一定程度上提高了土样的最大干密度。但土粒与水化产物间粘结不紧密, 结构密实度不高, 存在较多连通粒间孔隙, 所有当添加沥青粉后, 沥青组分与水化产物、土粒吸附粘结效果明显, 形成密实的整体胶结-凝聚结构, 粒间孔隙转变为均匀分布的非连通微孔结构形态, 进一步提高了土样的最大干密度。

而水泥的水化反应会消耗部分水分, 所以掺加水泥后土样的最佳含水率从 15.99% 降到了 14.21%, 下降较为明显, 而再掺加沥青粉后, 由于沥青粉的主要功能是吸附、粘结水化产物和土粒, 以及填充孔隙的作用, 最佳含水率降到了 14%, 与水泥固化土相比下降了 0.21%, 减水性能不是很明显。

3.2. 不同固化材料对土体膨胀量的影响

由图 6 中的数据可知, 压实度越大, 土样的膨胀量越小, 这是因为压实度越小, 土样中的孔隙率越大, 泡水后水分进入土样的孔隙中形成的孔隙水压力就越大, 从而导致膨胀量增加; 而同一压实度下, 随着固化材料的添加, 土样的膨胀量越小。在加入水泥后, 水泥土发生水化反应, 形成致密的网状结构, 土样泡水后, 水分进入土样的孔隙中形成孔隙水压力, 水泥产生的凝胶结构物有效固化松散的土颗粒, 进而减少孔隙水压力导致的膨胀。而加入沥青粉后, 沥青软化后迅速扩散到孔隙中, 减小土样的孔隙率, 当泡水时, 有效减少水分进入土体的孔隙中, 进而较小孔隙水压力, 最终较小土体的膨胀量。

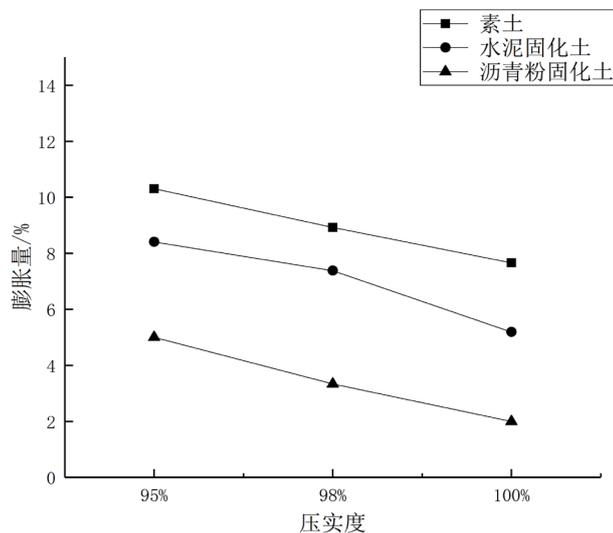


Figure 6. The relationship curve between compaction and expansion under different solidified materials

图 6. 不同固化材料下压实度与膨胀量关系曲线

3.3. 不同材料 CBR 特性分析

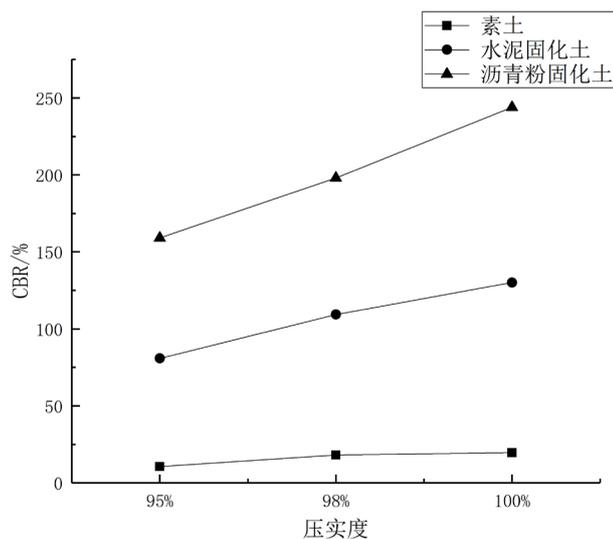


Figure 7. The relationship curve between compaction and CBR value under different solidified materials

图 7. 不同固化材料下压实度与 CBR 值关系曲线

由图 7 中的数据可以看出，随着压实度的增加，三种土样的 CBR 值都呈增长的趋势。素土的 CBR 值的范围在 10.63%~19.65%；水泥固化土的 CBR 值的范围在 80.88%~130.1%，这是因为掺加入水泥以后，随着水泥的水化反应，其产生的水化产物与土颗粒粘结在一起，形成有一定强度的网状结构，故土样的 CBR 值提升较明显；沥青粉固化土的 CBR 值的范围在 159.15%~243.9%，这相对于水泥固化土而言，CBR 值的提升也较明显，这是因为掺加沥青粉后，土样的最大干密度得到了明显提升，而最佳含水率一定程度下降，这使得沥青微粉进一步与土粒及水化产物相互吸附形成空间凝聚结构，进一步填充内部孔隙和微损失裂缝，从而得到更大承载力的结构。

4. 结论

采用水泥和沥青粉固化剂对粉土进行改性固化处理, 并通过 CBR 试验对其承载力进行验证和比较, 得到以下结论:

1) 固化材料对粉土的击实性能有明显改变。水泥和沥青粉固化剂对粉土最大干密度有提升作用, 其中沥青粉固化剂作用更明显; 水泥和沥青粉固化剂对粉土最佳含水率有降低作用, 但从减水效果上来说, 两种固化材料的差别不大。

2) 固化材料对粉土的膨胀量有抑制作用。沥青粉固化剂的抑制作用比水泥的更明显, 这说明沥青粉固化剂有更好的抗形变能力。

3) 固化材料对粉土的 CBR 值有明显提升。粉土在不同压实度下的 CBR 值在 10.63%~19.65%, 而水泥固化土的 CBR 值的范围在 80.88%~130.1%, 沥青粉固化土的 CBR 值的范围在 159.15%~243.9%。水泥在粉土中发生水化反应, 形成强度更高的胶凝材料, 从而提升 CBR 值, 而沥青粉则通过粘结土颗粒与水化产物、填充孔隙, 形成更密实的孔隙结构, 达到提升承载力的作用。

4) 沥青粉固化剂能够提高粉土击实性能、增加粉土抗变形能力、提高粉土 CBR 值, 是一种性能良好的土壤固化剂。试验得出沥青粉固化土最大干密度、最佳含水率和不同压实度下的 CBR 值, 可以为以后工程运用提供技术指导。

基金项目

山东省交通运输厅科技计划(2018B44)对本研究工作提供了资金支持。

参考文献

- [1] 姚占勇. 黄河冲淤积平原土的工程特性研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2006.
- [2] 曹学禹, 刘阳. CBR 试验在路基工程中的应用[J]. 土工基础, 2020, 34(4): 423-425.
- [3] 曹培, 王芳, 严丽雪, 顾春媛. 石灰改良黏性土 CBR 值的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(S1): 305-308.
- [4] 杨晶, 马富丽, 闫嘉庆, 白晓红. 不同初始状态下压实粉土的 CBR 试验研究[J]. 公路, 2013, 58(12): 161-165.
- [5] 郝建新, 朱志铎, 虞娟, 钱芳. 加州承载比试验作用机理和影响因素研究[J]. 工程勘察, 2005(5): 7-8+39.
- [6] 陈柏年, 朱凤艳, 韩勤. CBR 试验内在机理研究及影响因素的分析[J]. 交通标准化, 2001(1): 28-30.
- [7] 屈冉, 张大伟, 贺睿. 路基填料强度(CBR 值)研究综述[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2008, 29(4): 276-279.
- [8] 中华人民共和国交通部. JTG 3430-2020 公路土工试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2020.
- [9] Carter, M. and Bentley, S.P. (2016) Soil Properties and Their Correlations. *Grading and Plasticity*, 34-48. <https://doi.org/10.1002/9781119130888>
- [10] 中华人民共和国建设部. GB/T50145-2007 土的工程分类标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.