

# Study on Indoor Reinforcement Treatment of Waste Mixed Soil

Heng Kong<sup>1</sup>, Heng Zhang<sup>2</sup>, Fei Guo<sup>1</sup>, Xuejun Zhang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Beijing Municipal Construction Group Co., Ltd., Beijing

<sup>2</sup>School of Highway, Chang'an University, Xi'an Shaanxi

Email: 996744390@qq.com

Received: Jun. 1<sup>st</sup>, 2019; accepted: Jun. 17<sup>th</sup>, 2019; published: Jun. 24<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

With the characteristics of soft soil, large pores and strong abrupt water content of the landfill, the construction of highway subgrade and other structures in the mixed fill area will cause problems such as insufficient strength and bearing capacity. In this paper, three kinds of reinforcement materials of lime, cement and soil curing agent are used to carry out indoor reinforcement treatment of waste mixed soil. The reinforcement effect was evaluated by the value of the unconfined compressive strength and the compressive rebound modulus of the miscellaneous fill, with different kinds of materials, different ratio and different curing period respectively. The test results show that the three kinds of reinforcing materials can effectively improve the strength and resistance of the mixed filling; the lime and curing agent have the best reinforcement effect under the condition of 10% dose, and the cement increases with the increase of the dose. The longer the health age, the better the reinforcement effect; the reinforcement effect of the three solidified materials is cement > soil curing agent > lime.

## Keywords

Miscellaneous Fill, Reinforcement Treatment, Unconfined Compressive Strength, Compressive Rebound Modulus

---

# 垃圾杂填土室内加固处理研究

孔 恒<sup>1</sup>, 张 衡<sup>2</sup>, 郭 飞<sup>1</sup>, 张学军<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北京市政建设集团有限责任公司, 北京

<sup>2</sup>长安大学公路学院, 陕西 西安

Email: 996744390@qq.com

收稿日期: 2019年6月1日; 录用日期: 2019年6月17日; 发布日期: 2019年6月24日

## 摘要

由于垃圾杂填土具有土质松软、孔隙比较大、含水率突变性较强的特点，在杂填土区域修建公路路基等构筑物会引起强度、承载力不足等问题。本文利用石灰、水泥和土壤固化剂3种加固材料对垃圾杂填土进行室内加固处理研究，通过对比不同加固材料、掺配比例、养生龄期加固后杂填土试件的无侧限抗压强度和抗压回弹模量评价加固效果。试验结果表明：3种加固材料都能有效的提高杂填土的强度和抵抗变形的能力；石灰和固化剂在10%剂量的条件下加固效果最佳，水泥则随剂量的增大而增大；养生龄期越长，加固效果越好；3种固化材料的加固效果水泥 > 土壤固化剂 > 石灰。

## 关键词

杂填土，加固处理，无侧限抗压强度，抗压回弹模量

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

现代城市建设规模扩大非常迅速，而且城市的发展规划一般是由中心向四周扩延，在寸土寸金的城市规划当中，许多垃圾堆积的场地也囊括其中[1]。杂填土是在后天经人工长期堆填累积形成，成分复杂，成层无规律，即使同一场地也很有可能造成不同程度的侵蚀，这就引起土体不均匀性；在物理性质上表现为土质松软、孔隙比较大、含水率突变性较强[1]，工程性质上最直接的表现就是可压缩性高，承载力很低，而且容易引起土体沉降，无法用作基础设施建设。因此，在其区域上进行工程建设必须先对其进行处理以便增大其强度和承载力。

目前针对杂填土的加固的主要方式有：换填法、注浆法、强夯法、桩基法等，运用工程性质良好的土进行置换或者以物理方式降低其孔隙率以达到提高杂填区域的地基的强度和承载力。许立斌等人针对郑州天荣国际建材港杂填土地基进行了处理，其中建筑垃圾场地及粘性土地基采用强夯法处理，取得了较好的加固效果[2]。宋进联等人对桂林雁山区政府建筑住宅场地范围内建筑垃圾地基进行注浆处理。动力触探结果表明，地基承载力得到明显提高，但局部未达到设计要求，其原因主要是该部位组成成分中有机质(生活垃圾)及粘性土含量高，吃浆少，胶结差，漏浆严重，灌浆压力达不到设计值[3]。焦瑞玲等利用渣土桩对垃圾杂填区域进行地基处理并取得良好效果，填补了我国铁路在大型、深厚层垃圾填埋场地基处理方面的空白[4]。

为进一步探索垃圾杂填土的加固方式，本文利用水泥、石灰和土壤固化剂3种加固材料，通过不同的掺配比例对杂填土进行室内加固处理，并对养生后的试件进行室内无侧限抗压强度试验、抗压回弹模量试验，分析加固材料种类、加固材料掺入量、养护龄期对杂填土加固效果的影响，为工程实践提供指导。

## 2. 试验材料与试验方法

垃圾杂填土取自某垃圾杂填区域，经测试平均含水量为3.9%，有机质含量为13.9%，PH值为11.9。水泥采用复合硅酸盐水泥PC32.5R，石灰采用普通生石灰，固化剂采用某液体工业土壤固化剂，稀释100

倍后使用。

为研究不同掺配比例的加固效果,3种固化材料分表采用4%、6%、8%、10%、12%、14%(土壤固化剂为稀释后)对杂填土进行加固处理。针对不同的固化材料的掺配比例,在最佳含水量的条件下进行试件成型,并分表标准养生7d和28d,在养生期的最后一天浸水后,对试件的无侧限抗压强度、抗压回弹模量进行室内试验以评价3种加固材料对杂填土的强度和变形特性的加固效果。

### 3. 加固杂填土强度变化规律

#### 3.1. 石灰加固杂填土强度

利用石灰按照不同比例对杂填土加固成型试件后,对试件分表标准养生7d和28d后,不同掺配比例试件的无侧限抗压强度如图1所示。

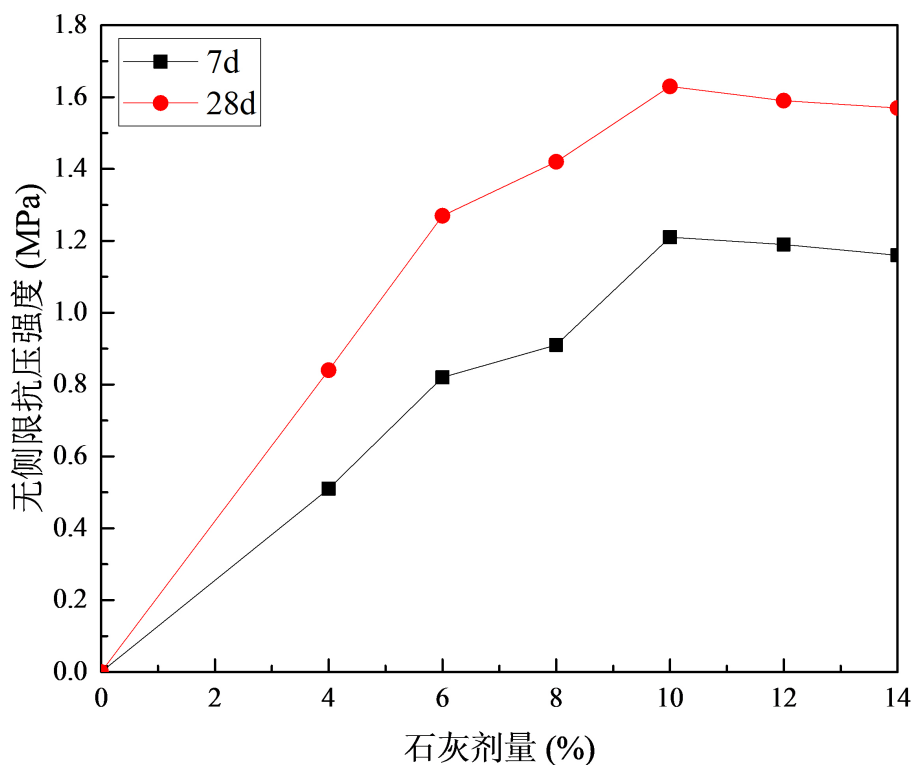


Figure 1. Unconfined compressive strength of different lime contents and different curing ages  
图 1. 不同石灰比例和龄期试件的无侧限抗压强度

1) 整体上,7d与28d龄期试件的无侧限抗压强度先随着石灰剂量增加而增大,然后趋于稳定,并在达到10%后强度开始下降。这主要是由于石灰与杂填土中的水和矿物质通过一系列的物理化学反应,生成碳酸钙和铝酸钙等胶结物使土体强度提高,当掺量超过10%后,杂填土中无法提供足够的矿物质进行化学反应,故强度开始降低。

2) 养生龄期越长试件强度越高,28d试件最大无侧限抗压强度约为7d的1.6倍。这主要由于随着养生龄期的增大,胶结物的强度增大。

3) 无论7d还是28d试件强度,由两条曲线的斜率可知:石灰剂量小于8%时,强度增长速率都明显大于剂量由8%增加到10%。说明石灰剂量小于8%时,石灰对杂填土的加固效果明显,但在不考虑成本的条件下,10%的石灰剂量对杂填土的加固效果最好。

### 3.2. 水泥加固杂填土强度

利用水泥按照不同比例对杂填土加固成型试件后,对试件分表标准养生 7 d 和 28 d 后,不同掺配比例试件的无侧限抗压强度如图 2 所示。

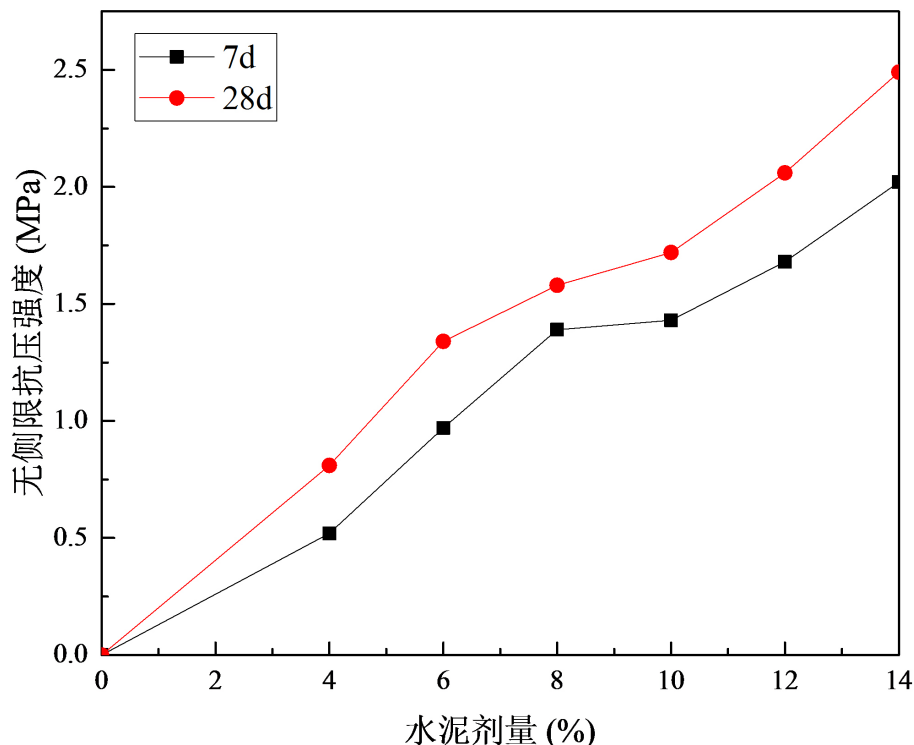


Figure 2. Unconfined compressive strength of different cement contents and different curing ages  
图 2. 不同水泥比例和龄期试件的无侧限抗压强度

- 1) 整体上,两个养生龄期的试件强度都随水泥剂量的增大而增大。
- 2) 养生龄期越长,试件的强度越大。这主要是由于水泥的水化产物以及水泥与杂填土中的矿物质反应产物的强度随龄期增大强度越高。
- 3) 与石灰加固杂填土强度变化不一致的是,试件强度没有出现在某一掺加剂量下出现最大值的情况。这主要是由于水泥本身水化反应能生成水化硅酸钙等胶凝产物本身能够形成强度。

### 3.3. 土壤固化剂加固杂填土强度

液体固化剂在加水稀释后使用,不同固化剂比例下成型试件并标准养生 7 d 和 28 d 后,不同掺配比例试件的无侧限抗压强度如图 3 所示。

- 1) 与石灰加固杂填土相似,试件的无侧限抗压强度随固化剂比例增大首先增大,在 10% 时出现最大值,然后开始下降。这主要是由于固化剂的加入,其中的高分子聚合物与土颗粒及其中的矿物质发生一系列的物理化学反应,生成聚合物分子链,填充孔隙,使土颗粒发生联结,有效的增大强度;但固化剂本身并不能形成强度,超过一定量后强度不再增大。
- 2) 28 d 试件强度比 7 d 强度大约 16%,这主要由于胶联结构随养生龄期的增大强度不断提高的结果。
- 3) 两个龄期条件下,在固化剂掺量有 8% 增加到 10% 时,试件强度的增长率仅约为 5.4%,明显变小。说明加固的剂量的增大,加固效果开始下降,但在不考虑成本条件下 10% 的掺量仍是效果最佳。

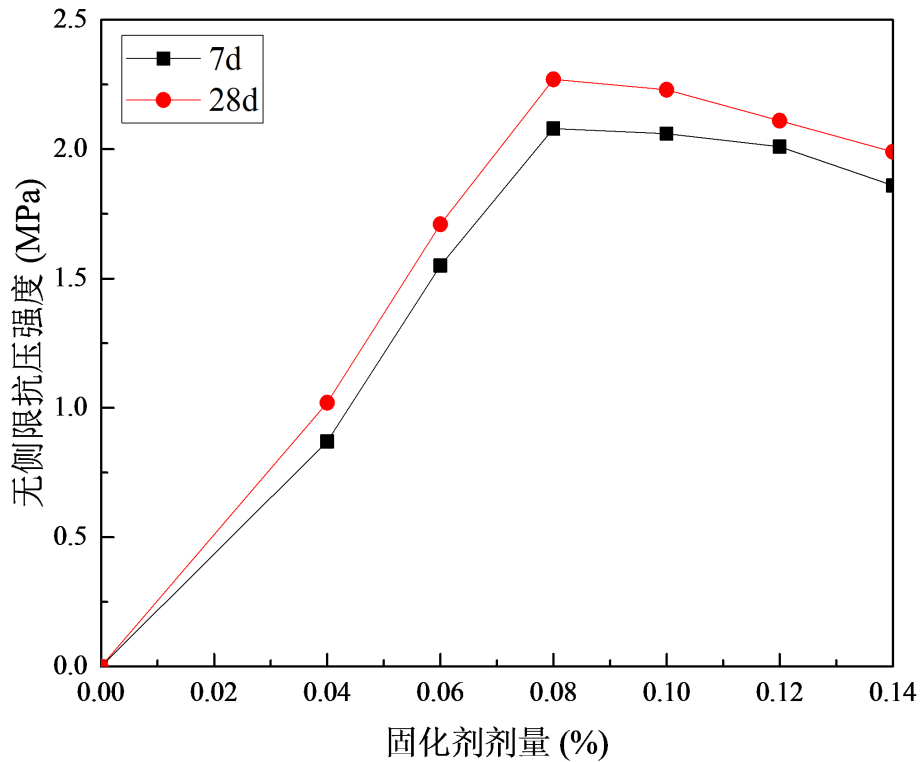


Figure 3. Unconfined compressive strength of different hardening agent contents and different curing ages

图 3. 不同固化剂比例和龄期试件的无侧限抗压强度

### 3.4. 三种加固剂试件无侧限抗压强度对比

为比较 3 种加固材料加固后杂填土的强度，石灰和固化剂都是在 10% 的掺配比例的条件达到最佳效果，由于水泥加固杂填土的强度随水泥剂量增大而增大，在这里选择和石灰和固化剂相同的 10% 的剂量进行比较。对比结果如图 4 所示。

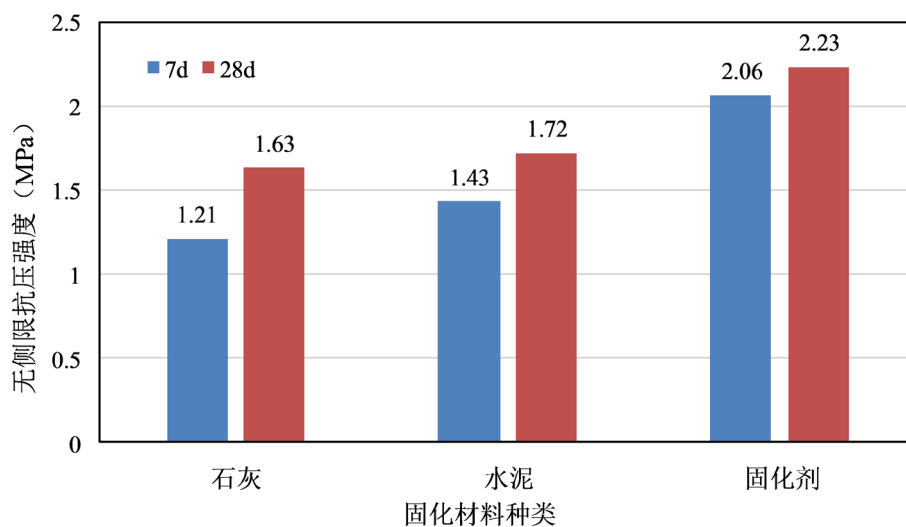


Figure 4. The max unconfined compressive strength of different hardening materials with 7 d and 28 d

图 4. 不同加固材料试件 7 d 和 28 d 最大无侧限抗压强度对比

7 d 试件的无侧限抗压强度的大小依次为：水泥 > 固化剂 > 石灰，28 的试件的无侧限抗压强度大小依次为：水泥 > 石灰 > 固化剂，但是石灰加固后的强度几乎与固化剂加固的强度相同。考虑到水泥选用的掺量为 10%，如果增大水泥剂量，试件的无侧限抗压强度还是继续增大[5]，因此，3 种加固材料中，水泥的加固效果最好。同时，固化剂加固杂填土试件的 7 d 强度明显大于石灰加固的强度，28 d 的最终强度几乎和石灰加固强的相等，故固化剂对杂填土强度的加固效果要优于石灰。

#### 4. 加固杂填土的变形特性规律

土在垂直外力的作用下会产生竖向变形，在一定的荷载下其模量越大说明其变形越小，即抵抗变形的能力越强，本文用抗压回弹模量表征加固杂填土的变形特性。

##### 4.1. 石灰加固杂填土抗压回弹模量

不同掺量的石灰加固杂填土成型试件并分别标准养生 7 d 和 28 d 后的抗压回弹模量如图 5 所示。

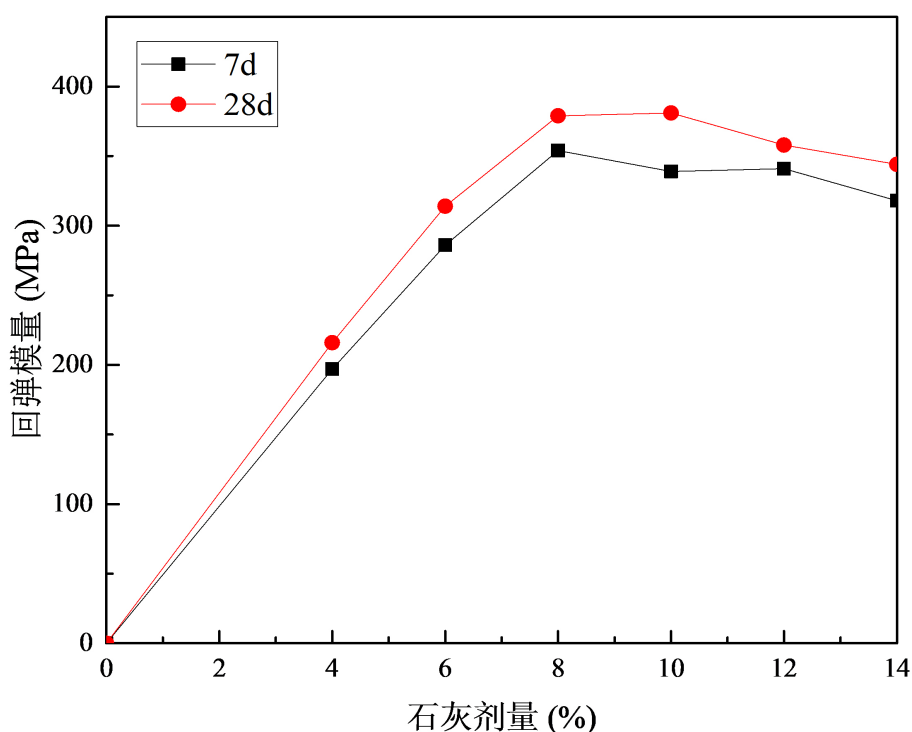


Figure 5. Compressive resilience modulus of different lime contents and different curing ages  
图 5. 不同石灰比例和龄期试件的抗压回弹模量

1) 整体上，两个龄期试件抗压回弹模量随石灰含量增加而变大，在掺量为 10% 时达到最大值后开始减小。这与无侧限抗压强度的变化规律基本一致。

2) 养生 28 d 试件抗压回弹模量大于 7 d，这主要是由养生龄期越长，石灰与杂填土中的水与矿物质反应生成物强度增大造成杂填土的硬度增大的结果。

3) 石灰剂量小于 8% 时，抗压回弹模量的增长率要明显大于 8%，当石灰掺量大于 10% 后，试件的抗压回弹模量开始减低。这说明过量的石灰对杂填土的模量没有增大的效果。

##### 4.2. 水泥加固杂填土抗压回弹模量

不同龄期和水泥石掺量加固杂填土试件的抗压回弹模量如图 6 所示。

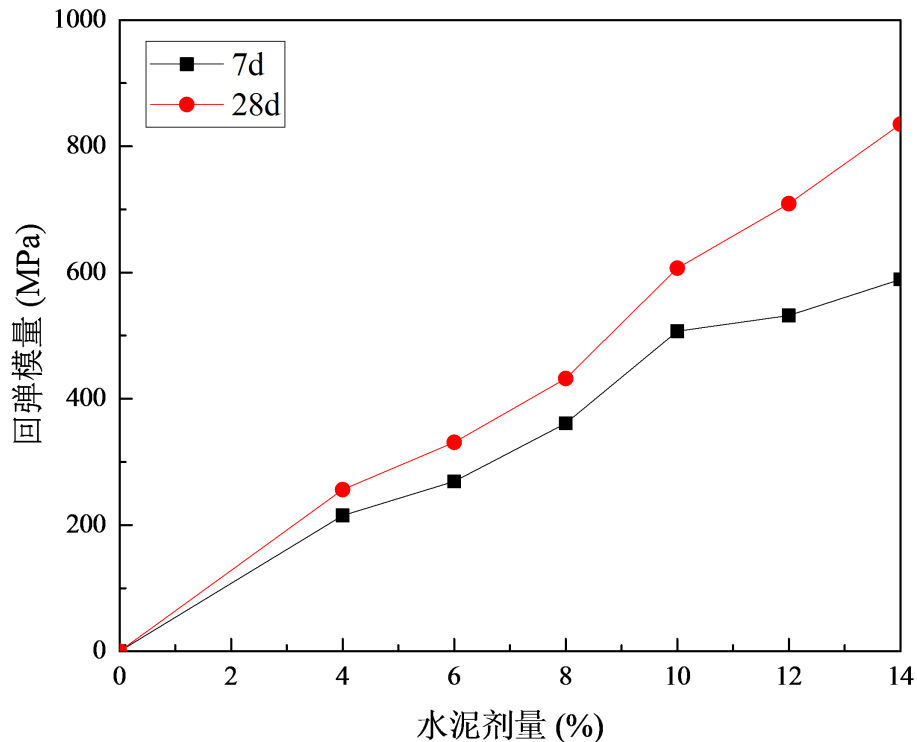


Figure 6. Compressive resilience modulus of different cement contents and different curing ages  
图 6. 不同水泥比例和龄期试件的抗压回弹模量

- 基本上，水泥加固杂填土的抗压回弹模量随水泥剂量的增大而增大，没有出现减小的趋势。
- 7 d 龄期试件模量要小于 28 d 龄期试件，当水泥剂量超过 10% 后，不同龄期试件模量差有加大的趋势，这主要是由于随着水泥剂量的真大，水泥本身水化产物的模量要明显大于加固杂填土的模量。

#### 4.3. 土壤固化剂加固杂填土抗压回弹模量

利用固化剂对杂填土进行加固后的模量在不同龄期的变化规律如图 7 所示。

- 两个龄期试件的抗压回弹模量都随固化剂的掺量增大先增大后减小，在掺量为 10% 时出现最大值。
- 28 d 龄期试件的抗压回弹模量要明显大于 7 d 龄期，最大值约为 7 d 龄期的 1.1 倍。

出现以上结果的原因为当固化剂的剂量大于 10% 后，杂填土中无法提供足够的矿物质和土颗粒以便形成更多的胶结物。

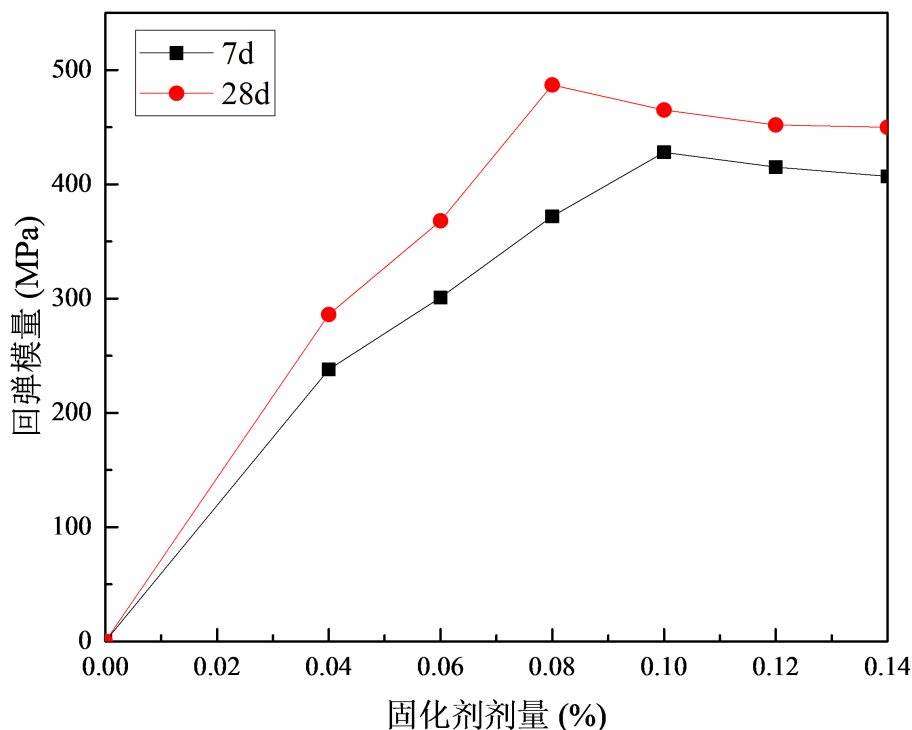
#### 4.4. 三种加固剂试件抗压回弹模量对比

为比较 3 种加固材料加固后杂填土的抵抗变形能力，石灰和固化剂都选择在 10% 的掺配比下的最大值，由于水泥加固杂填土的模量随水泥剂量增大而增大，在这里选择和石灰和固化剂相同的 10% 的剂量进行比较。对比结果如图 8 所示。

从图中可以看出：无论养生龄期多少，3 种固化材料加固后杂填土的抗压回弹模量的大小依次为：水泥 > 固化剂 > 石灰。由于水泥在剂量增大后杂填土的模量还会继续增大，因此，水泥对杂填土加固后抵抗变形的效果最佳，固化剂次之，最后为石灰。

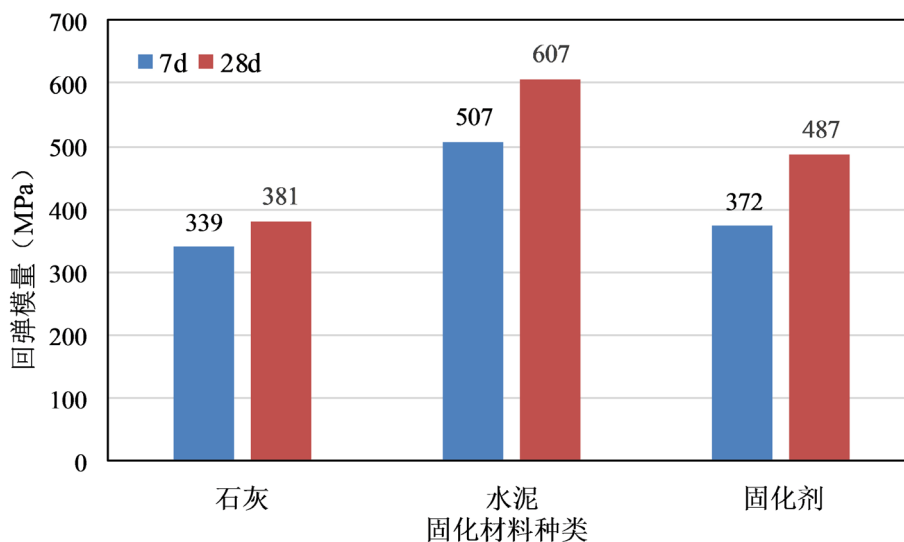
## 5. 结论

本研究对 3 种不同的固化材料，通过不同的掺配比例和养生龄期对杂填土进行加固研究，以室内无



**Figure 7.** Compressive resilience modulus of different hardening agent contents and different curing ages

**图 7.** 不同固化剂比例和龄期试件的抗压回弹模量



**Figure 8.** The compressive resilience modulus of different hardening materials with 7 d and 28 d

**图 8.** 不同加固材料试件 7 d 和 28 d 抗压回弹模量度对比

侧限抗压强度抗压回弹模量分表研究了杂填土的强度和抵抗变形的能力的规律，得出以下主要结论：

- 1) 3 种固化材料都能够有效的提高杂填土的强度和抵抗变形的能力；
- 2) 杂填土试件的无侧限抗压强度和抗压回弹模量都随石灰和固化剂参加比例的增大先增大后减小，在掺量为 10% 时达到最大值，而随水泥剂量的增大会出现一直增大的现象；
- 3) 杂填土试件 28 d 龄期的无侧限抗压强度和抗压回弹模量都大于 7 d 龄期；



4) 综合考虑加固后杂填土的强度和抵抗变形的能力, 3 种固化材料的加固效果依次为: 水泥 > 固化剂 > 石灰。

### 参考文献

- [1] 杨定国, 吴瑞潜, 王秋苹. 杂填土地基的评价与利用[J]. 绍兴文理学院学报, 2005, 25(8): 68-71.
- [2] 马荣国, 李铁强, 肖代全. 灰关联决策在公路建设项目方案比选中的应用[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2004, 24(6): 67-70.
- [3] 许立斌, 王书芳. 强夯置换法在处理生活垃圾地基中的应用[J]. 勘察科学技术, 2004(5): 44-45.
- [4] 宋进联, 黄海. 注浆技术在处理杂填土时的应用及探讨[J]. 西部探矿工程, 2006, 18(6): 57-58.
- [5] 焦瑞玲, 吴连海, 崔维孝, 冷景岩. 北京高速铁路动车段垃圾填埋场地基处理现场试验研究[J]. 铁道标准设计, 2009(2): 76-80.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)