

基于废弃混凝土的水泥土力学特性研究

孟晋 张城芋 黄杰 史建军 赵百超  
沈阳工业大学建筑与土木工程学院  
DOI:10.12238/ems.v4i2.5087

[摘 要] 为探究废弃混凝土对水泥稳定土力学特性的影响,本文通过抗压试验、电镜扫描试验等进行分析。结果表明:总体分析可知,水泥稳定土的抗压强度随水泥掺量及废弃混凝土掺量的增加而增大,当水泥掺量在18%–20%之间时,抗压强度增长速度较快,但是当水泥掺量较低时,废弃混凝土掺量过量时会导致其抗压强度降低,通过扫描电镜分析可知,水泥和废弃混凝土两者会产生胶结作用,形成稳定的结构体系。

[关键词] 废弃混凝土; 水泥稳定土; 抗压强度; 微观分析

中图分类号: TV331 文献标识码: A

Research on Mechanical Properties of Cement Soil Based on Waste Concrete

Jin Meng Chengyu Zhang Jie Huang Jianjun Shi Baichao Zhao

School of Architecture and Civil Engineering, Shenyang University of Technology

[Abstract] In order to explore the influence of waste concrete on the mechanical properties of cement stabilized soil, the compression test and electron microscope scanning test are used to analyze. The results show that: the overall analysis shows that the compressive strength of cement stabilized soil increases with the increase of cement content and waste concrete content. When the cement content is between 18% and 20%, the compressive strength increases rapidly., but when the amount of cement is low, the excessive amount of waste concrete will lead to a decrease in its compressive strength. Through scanning electron microscope analysis, it can be seen that both cement and waste concrete will produce cementation, forming a stable structural system.

[Key words] waste concrete; cement stabilized soil; compressive strength; microscopic analysis

水泥稳定土是以粉质黏土为主要原料,掺入水泥、掺合料、水搅拌均匀所形成的一种混合材料<sup>[1-2]</sup>。与此同时,随着我国基础设施的重建,大量废弃混凝土待处理,不少学者对其进行研究,将废弃混凝土作为掺合料掺入到水泥土中研究其力学特性,例如:马啸<sup>[3]</sup>等研究了废弃混凝土不同掺入比和不同水泥比的水泥土的抗压强度,得到了水泥土抗压强度随两者的变化规律;付亮<sup>[4]</sup>将不同粒径的废弃混凝土掺入到水泥稳定土中研究其强度变化及微观变化。

本文通过室内试验分析了水泥掺量、废弃混凝土掺量、养护龄期三因素对水泥土抗压强度的影响,并通过扫描电镜试验观察了水泥土内部结构变化,为此类废弃混凝土的应用提供参考。

1 试验部分

1.1 原材料

水泥:采用P·042.5水泥,质量符合国家标准。粉质黏土:选用某施工现场地下2.4m土层中黏土,满足规范要求,经测试其物理性能指标如表1所示<sup>[5]</sup>。

表1 粉质粘土的物理力学指标

| 含水率  | 重度       | 密度     | 液限    | 塑限    | 液性指数  | 塑性指数  |
|------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|
| $w$  | $\gamma$ | $\rho$ | $w_L$ | $w_p$ | $I_p$ | $I_L$ |
| 27.2 | 19.7     | 1.96   | 33.5  | 18.7  | 0.56  | 14.8  |

废弃混凝土为避免其他杂质影响,采用自配C30混凝土,养护28d后利用鄂式破碎机破碎。

1.2 试验方案

本文采用正交试验,讨论三因素对水泥稳定土抗压强度的影响,试验方案如表2所示:

表2 试验方案

| 水泥种类       | 水泥掺量            | 废弃混凝土掺量         | 龄期/d        | 测试项目    |
|------------|-----------------|-----------------|-------------|---------|
| 425 号硅酸盐水泥 | 10%、14%、18%、22% | 15%、20%、25%、30% | 60          | 抗压、扫描电镜 |
|            | 14%             | 15%、20%、25%、30% | 14、28、60、90 | 抗压      |

## 2 试验结果分析

### 2.1 抗压强度随废弃混凝土掺量变化情况

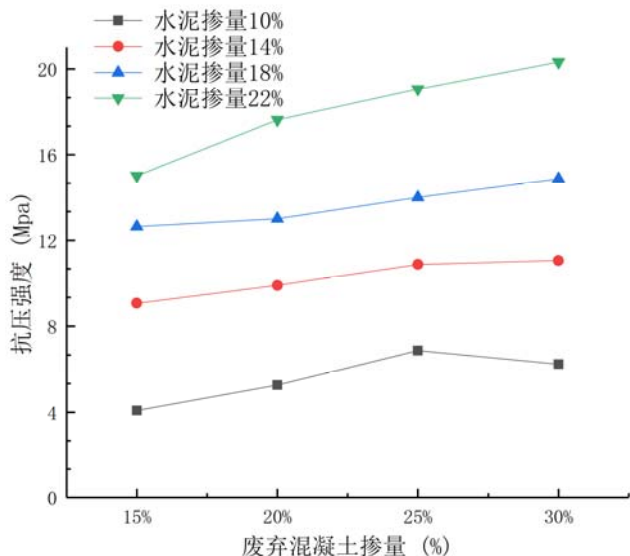


图1 抗压强度随废弃混凝土掺量变化图

由图1可知,当水泥掺量为10%时,水泥土抗压强度随废弃混凝土掺量呈现先增加后减小的变化趋势,分析其原因是因为此时废弃混凝土掺量过量,导致水泥土内部骨架不稳定进而抗压强度降低,当水泥掺量为14%、18%、22%时,抗压强度随废弃混凝土掺量的增加而提高,但在废弃混凝土掺量为25%~30%时抗压强度提高缓慢且不显著。

总体分析可知,水泥稳定土抗压强度随废弃混凝土掺量的增加而不断提高,而部分水泥土抗压强度随废弃混凝土掺量增加而降低或者提高缓慢,此现象可以证明废弃混凝土与水泥可能存在最优配比。

### 2.2 抗压强度随水泥掺量变化情况

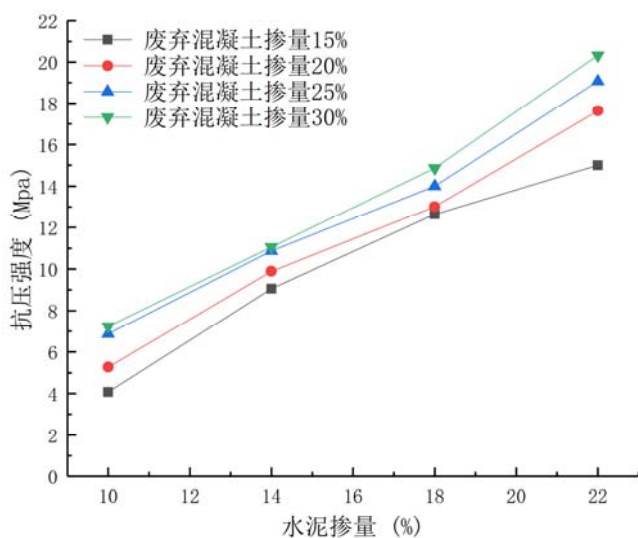


图2 抗压强度随水泥掺量变化图

由图2可知,水泥土抗压强度随着水泥掺量的增加而明显提

高,分析其原因,水泥掺量增加会使水泥土内部胶凝增多,由于胶凝材料作用会使内部骨架更加牢固,进而促进强度提高,当水泥掺量为18%~22%时,强度提高显著,分析其原因,水泥掺量增加会加快水化作用,会使强度显著提高。

### 2.3 抗压强度随养护龄期变化情况

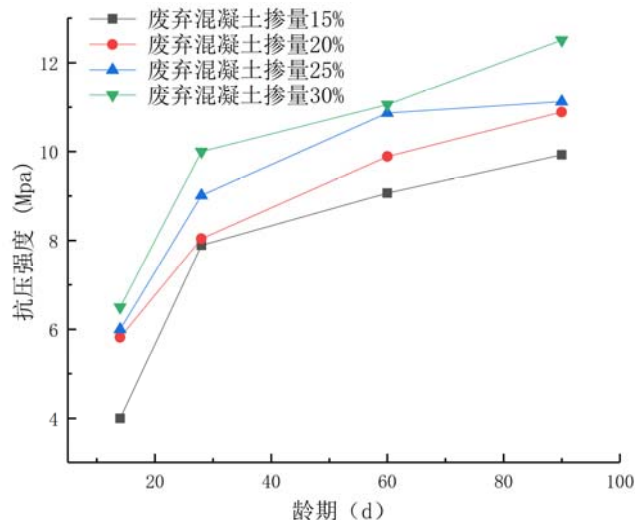


图3 抗压强度随龄期变化情况

由图3可知,当水泥掺量为定值时,抗压强度随养护龄期的增加而逐渐提高,当养护龄期为14~28d时增加速率最显著,当养护龄期为60~90d时抗压强度增加缓慢,趋于平缓,分析其原因可知,养护初期,由于水泥水化作用使水泥土固化作用明显提高,使得水泥土内部骨架更加稳定,促进了其强度提高;随着养护龄期的增加,水化作用基本完成,水泥土内部结构处于相对稳定状态,抗压强度增加较之前比较缓慢。

### 2.4 抗压强度随三因素变化规律

在上述试验基础上,通过数据分析,研究了三因素共同作用对水泥土抗压强度的影响,设计正交试验,并通过极差及方差分析,得出了三因素对水泥土的影响程度,并得到了拟合曲线,具体分析如下:

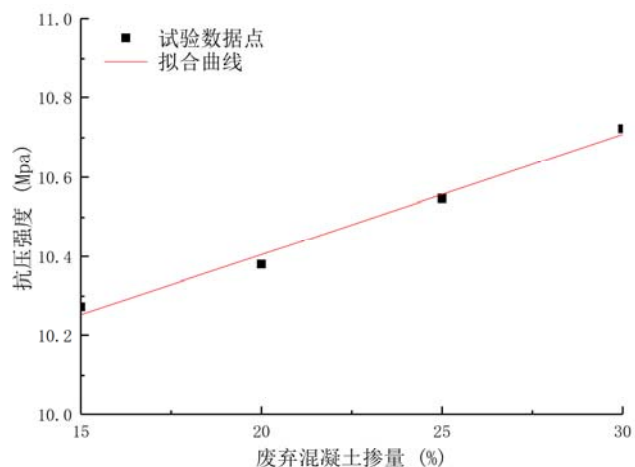


图4 废弃混凝土掺量对抗压强度影响

水泥稳定土抗压强度随废弃混凝土掺量的拟合方程为:

$$\sigma = 0.035c + 9.79 \quad (1)$$

式中:  $\sigma$  —水泥稳定土抗压强度,  $c$  —废弃混凝土掺量。

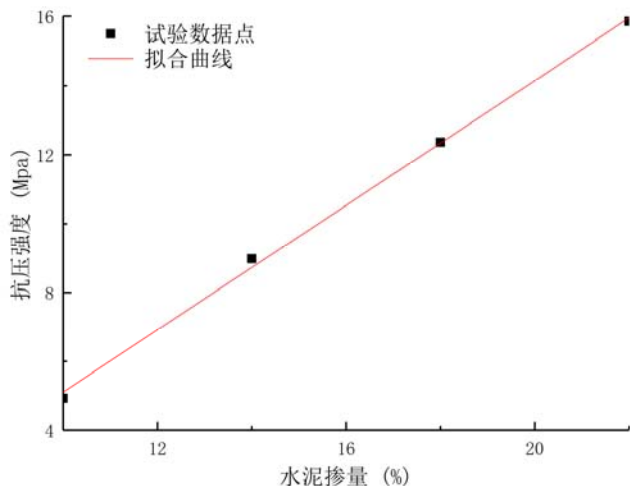


图5 水泥掺量对抗压强度影响

水泥稳定土抗压强度随水泥掺量的拟合方程为:

$$\sigma = 0.91a_c - 3.92 \quad (2)$$

式中:  $a_c$  —水泥掺量。

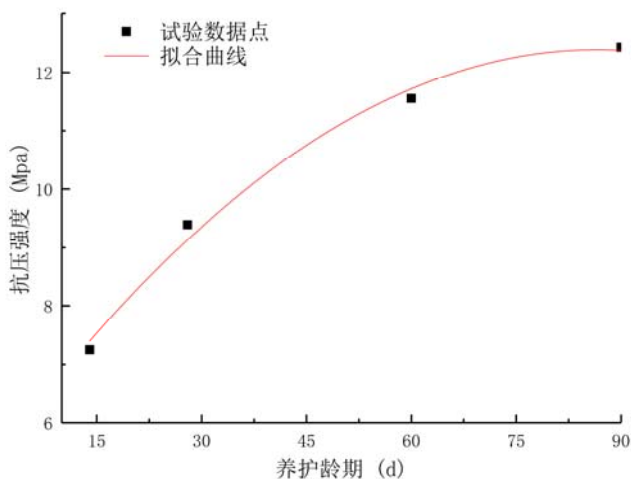


图6 养护龄期对抗压强度影响

水泥稳定土抗压强度随养护龄期的拟合方程为:

$$\sigma = -9.47t^2 + 0.16t + 5.28 \quad (3)$$

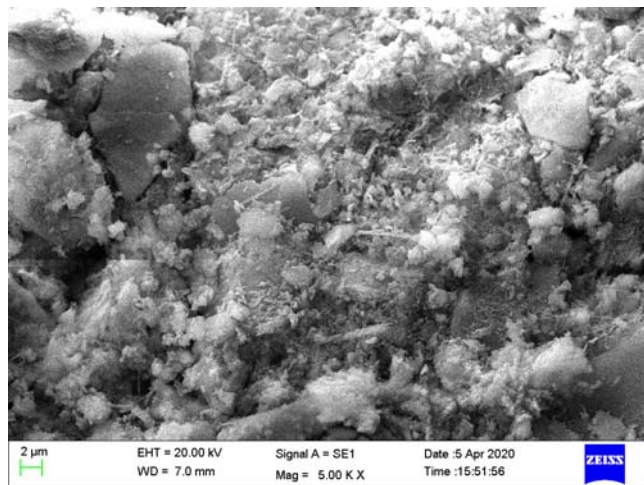
式中:  $t$  —养护龄期。

对试验结果进行方差分析,可以得到三者对水泥土抗压强度影响程度为水泥掺量>养护龄期>废弃混凝土掺量。

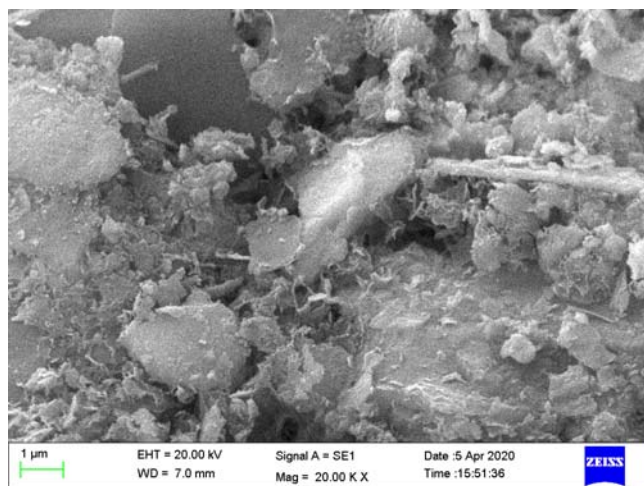
### 3 微观分析

通过电镜扫描试验分析了水泥土微观结构,具体试验方法

如下:废弃混凝土掺量为20%,水泥掺量为10%、14%的水泥土切片进行扫描电镜分析,其试验结果如图7、8所示。

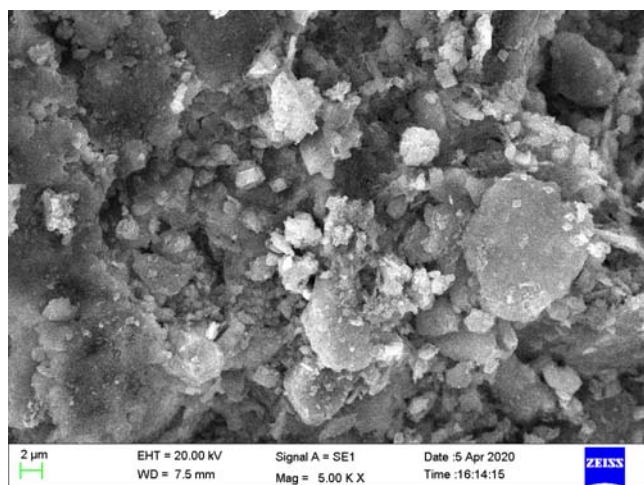


a 10%水泥掺量5000倍电镜

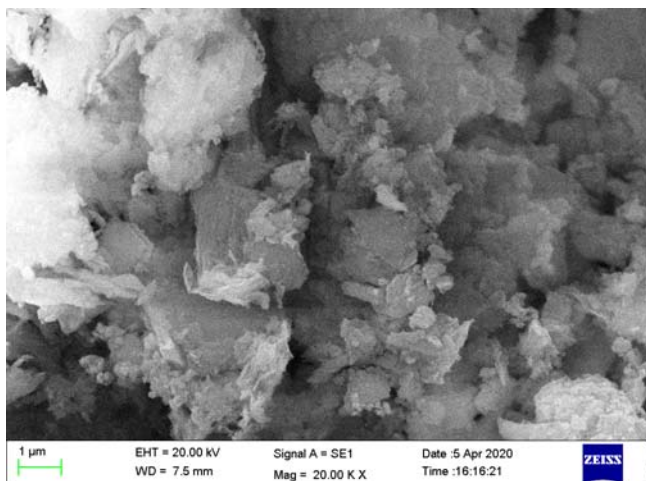


b 10%水泥掺量20000倍电镜

图7 水泥掺量为10%扫描电镜图



a 14%水泥掺量5000倍电镜



b 14%水泥掺量20000倍电镜

图8 水泥掺量为14%扫描电镜图

由图7-8可知, 总体来看, 随着水泥掺量的增加, 水泥土微观结构呈现出团聚状, 分析其原因是因为由于水化作用产生的水化硅酸钙与钙矾石及废弃混凝土颗粒相互胶结, 进而使的水泥土内部骨架逐渐稳定, 根据微观分析得出水泥土抗压强度随水泥掺量的增加而提高是因为水泥水化形成了良好的结构体系。

#### 4 结论

本文通过对水泥土进行抗压试验及扫描电镜试验, 得到了水泥土抗压强度随三因素变化情况, 具体结论如下:

(1) 总体分析可知, 水泥土抗压强度随三因素的增加而逐渐提高, 其中水泥掺量的影响程度较大。

(2) 根据扫描电镜分析可知, 水泥土抗压强度的增加是由于水泥水化产生了水化硅酸钙, 此物质能与废弃混凝土产生胶结作用, 使水泥土内部骨架更加稳定。

#### [参考文献]

[1]陈四利, 宁宝宽. 岩土材料的环境效应[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010.

[2]赵百超, 陈四利, 董凯赫. 基于膨润土、粉煤灰的水泥复合土抗剪强度研究[J]. 硅酸盐通报, 2019, 38(09): 2882-2889.

[3]马啸, 陈四利, 侯芮. 掺入废弃混凝土颗粒的水泥复合土力学特性研究[J]. 硅酸盐通报, 2018, 37(03): 1010-1016.

[4]付亮, 郭进京, 孟庆新. 废弃混凝土作水泥土填料的试验研究[J]. 土工技术, 2012, 26(01): 77-79.

[5]赵光鹏. 废弃混凝土——水泥土试验研究[D]. 天津城市建设学院, 2008.

#### 中国知网数据库简介:

##### CNKI介绍

国家知识基础设施 (National Knowledge Infrastructure, NKI) 的概念由世界银行《1998年度世界发展报告》提出。1999年3月, 以全面打通知识生产、传播、扩散与利用各环节信息通道, 打造支持全国各行业知识创新、学习和应用的交流合作平台为总目标, 王明亮提出建设中国知识基础设施工程 (China National Knowledge Infrastructure, CNKI), 并被列为清华大学重点项目。

##### CNKI 1.0

CNKI 1.0是在建成《中国知识资源总库》基础工程后, 从文献信息服务转向知识服务的一个重要转型。CNKI1.0目标是面向特定行业领域知识需求进行系统化和定制化知识组织, 构建基于内容内在关联的“知网节”、并进行基于知识发现的知识元及其关联关系挖掘, 代表了中国知网服务知识创新与知识学习、支持科学决策的产业战略发展方向。

##### CNKI 2.0

在CNKI1.0基本建成以后, 中国知网充分总结近五年行业知识服务的经验教训, 以全面应用大数据与人工智能技术打造知识创新服务业为新起点, CNKI工程跨入了2.0时代。CNKI 2.0目标是将CNKI 1.0基于公共知识整合提供的知识服务, 深化到与各行业机构知识创新的过程与结果相结合, 通过更为精准、系统、完备的显性管理, 以及嵌入工作与学习具体过程的隐性知识管理, 提供面向问题的知识服务和激发群体智慧的协同研究平台。其重要标志是建成“世界知识大数据 (WKBD)”、建成各单位充分利用“世界知识大数据”进行内外脑协同创新、协同学习的知识基础设施 (NKI)、启动“百行知识创新服务工程”、全方位服务中国世界一流科技期刊建设及共建“双一流数字图书馆”。