

水泥土早期强度的室内试验研究

叶观宝 陈望春 杨晓明

(同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092)

【摘要】 通过分别对加有 SN-II 高效减水剂、氢氧化铝早强剂以及不加添加剂的水泥土进行 3 d, 7 d, 10 d 龄期的室内无侧限抗压强度试验, 研究水泥土早期强度增长规律以及添加剂对早期强度的影响。

【关键词】 水泥土; 添加剂; 早期强度

【中图分类号】 TU 472

Lab Study on Early Strength of Cement-Stabilized Soil

【Abstract】 The early strength of cement-stabilized soil with high efficiency slushing agent SN-II, early strength agent $Al(OH)_3$ and without additive are respectively studied by unconfined compression test at age of 3d, 7d, 10d. The increasing law of early strength and effect of additive are analyzed.

【Key words】 cement-stabilized soil; additive; early strength

0 引言

水泥土搅拌桩法^[1]是近十几年来在软土地区使用的比较多的一种地基处理方法。为了确保现场施工的经济、合理, 常在现场施工以前进行室内配合比试验。室内配合比试验一般只研究 7 d, 28 d, 60 d, 90 d 等标准龄期的水泥土无侧限抗压强度, 研究结果^[2,3]表明这些龄期水泥土强度之间大致呈线性关系。标准龄期一般研究的都是不掺添加剂的水泥土, 但是由于加入添加剂以后的水泥土发生了比较复杂的物理化学作用, 水泥土的强度特性发生变化, 有必要对早期强度做进一步的研究。本文主要结合工程实例研究水泥土 3 d, 7 d, 10 d 的无侧限抗压强度增长规律以及添加剂对水泥土早期强度的影响。

1 室内试验

1.1 试验准备

1) 土样取自上海某工地, 为暗浜土, 深灰色, 有臭味, 流塑状, 含有树根、泥鳅等杂质。

因土样处于流塑状态, 不能成形, 无法测定其力学指标。土样主要物理性质指标见表 1。

表 1 土样主要物理性质指标

w/%	w _L /%	w _p /%	I _L	I _p	γ /(kN·m ⁻³)
60.0	48.4	30.1	1.634	18.3	17.0

2) 试剂①水泥: 桐乡市羔羊水泥有限公司生产的福寿牌 P. 032. 5 普通硅酸盐水泥; ② $Al(OH)_3$: 分析纯, 上海金山化工厂生产; ③ SN-II 高效减水剂: 上海五四助剂总厂生产。

1.2 试验方案

为了研究水泥土的早期强度增长规律, 制定了如下试验方案(见表 2)。

1.3 试样的制备

试模采用 70.7 mm × 70.7 mm × 70.7 mm 规格。按配方配制水泥浆液, 然后加入对应量的土样人工拌合均匀。试样采用手工压注成型, 静置 24 h 后脱模编号, 养护条件为标准水中养护。

表2 水泥土室内试验试验方案表

组别	$a_w/\%$	$a_s/\%$	$a_d/\%$	t/d	附注
第一组	16	0	2.5 3.5 4.5	3 7 10	研究氢氧化铝掺量对水泥土强度的影响。
第二组	16	0.6 0.8 1.0	0	3 7 10	研究 SN-II 掺量对水泥土强度的影响。
第三组	16	0	0	3 7 10	与第一组和第二组数据进行对比, 检验添加剂效果。

1.4 无侧限抗压强度试验

采用 WE10-B 型压力试验机, 以 1.7 kN/s 的加荷速率进行水泥土的无侧限抗压强度试验。取三个试件的测试值和算术平均值作为该组试件的无侧限抗压强度值。如单个试件与平均值的差值超过平均值的 $\pm 15\%$, 该试件的测试值予以剔除, 取其余两个的平均值, 如剔除后某组试件的测试值不足两个, 则该组试验结果无效。

2 试验结果

无侧限抗压强度试验结果见图 1 图 2。

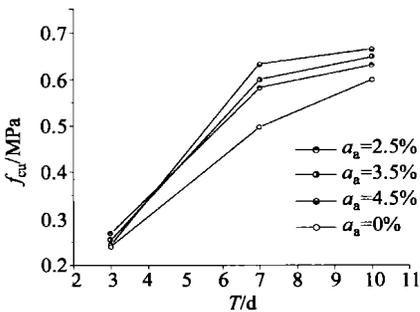


图1 氢氧化铝掺量变化对水泥土早期强度的影响

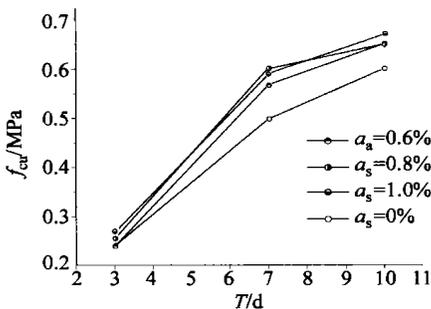


图2 SN-II 掺量变化对水泥土早期强度的影响

由图 1 图 2 可以看出: 不掺添加剂的水泥土在 3~7 d 时强度增长幅度较 7~10 d 时的大。在 3 d 时, 添加剂的作用并不明显; 而在 3~7 d 这段时间里, 掺了添加剂的水泥土在

强度上已经明显高于不掺添加剂的水泥土, 7 d 时最多提高了 27%。在 7 d 以后, 这种强度增长趋势有所减弱, 随时间的增长率略低于不掺添加剂的水泥土。

3 分析与讨论

水泥加固土的物理化学反应过程与混凝土的硬化机理不同, 混凝土的硬化主要是在粗填充料中进行水解和水化作用, 所以凝结速度较快。而在水泥加固土中, 由于水泥掺量很小, 水泥的水解和水化反应完全是在具有一定活性的介质——土的围绕下进行, 所以水泥加固土的强度增长过程比较缓慢。水泥加固土的加固机理^[4]一般认为依次由下面几个部分组成: 水泥的水解和水化反应; 土颗粒与水泥水化物的作用; 离子交换和团粒化作用, 硬凝反应; 碳酸化作用。扫描电子显微镜观察分析认为: 拌入水泥 7 d 左右时, 土颗粒周围充满了水泥凝胶体, 并且有少量水泥水化物结晶的萌芽。这说明 7 d 左右的水泥土强度来源主要是水泥的水解和水化反应。

水泥的水化和水解是一个复杂的物理、化学和物理化学变化过程。在此过程中, 不断生成新的水化产物并发生放热反应, 由此产生体积变化和强度增大。水泥在加固土体的过程中, 硅酸盐水泥与水接触, 其熟料矿物的硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙、铁铝酸四钙和硫酸钙即与软土中的水发生水解和水化反应, 生成氢氧化钙、含水硅酸钙、含水铝酸钙、含水铁酸钙和含水硫铝酸钙等化合物。所生成的氢氧化钙、含水硅酸钙能迅速溶解于水中, 使水泥颗粒表面重新暴露出来, 再与水发生反应, 这样周围的水溶液就逐渐达到饱和。当溶液达到饱和后, 水分子继续深入颗粒内部, 但新生成物已不能再溶解, 只能以细分散状态的胶体

析出, 溶解于溶液中, 形成胶体。

不掺添加剂的水泥土在 3~7 d 时强度增长幅度较 7~10 d 时的大, 这是因为随着水泥水解水化的进行水中的 Ca^{2+} 离子浓度增加, 而这会抑制水泥的水解、水化反应。

3~7 d 这段时间里, 掺了 SN-II 的水泥土^[5,6] 在强度上已经明显高于不掺添加剂的水泥土; 在 7 d 以后, 这种强度增长趋势有所减弱。这是由于高效减水剂 SN-II 与土拌和后, 对水泥土颗粒起到了较好的分散作用, 增大了水化反应物的表面积, 加快了初期水化反应速度。但是减水剂在水泥土颗粒表面的成膜会阻碍反应物之间相接触, 从而阻碍水化反应的进行。

3~7 d 这段时间里, 掺了氢氧化铝的水泥土^{[7][8]} 在强度上已经明显高于不掺添加剂的水泥土, 在 7 d 以后, 这种强度增长趋势有所减弱。这是由于掺入氢氧化铝以后降低了溶液的碱度, 促进了水泥组分的水解水化, 并生成了一些络合物, 使强度得到了提高。随着反应的进一步进行, 络合物附着在水泥的表面阻碍反应物的接触, 从而阻碍反应的进行。

4 结 论

水泥土在 3~7 d 时强度增长幅度较 7~

10 d 时的大; 在 3 d 时, 添加剂的作用并不明显; 而在 3~7 d 这段时间里, 掺了添加剂的水泥土在强度上已经明显高于不掺添加剂的水泥土; 在 7 d 以后, 这种强度增长趋势有所减弱。

参 考 文 献

- 1 林宗元等. 简明岩土工程勘察设计手册(下册). 北京: 中国建筑工业出版社, 2003. 122~125
- 2 叶书麟, 韩杰, 叶观宝. 地基处理与换填技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994. 372~374
- 3 叶观宝. 深层搅拌桩加固软基的试验研究与分析. [学位论文]: 上海: 同济大学地下建筑与工程系, 1991
- 4 叶观宝. 地基加固新技术. 北京: 机械工业出版社, 2002. 125~126
- 5 雄大玉, 王小虹. 混凝土外加剂. 北京: 化学工业出版社, 2002. 74~78
- 6 陈文豹, 田培, 李功洲. 混凝土外加剂及其在过程中的应用. 北京: 煤炭工业出版社, 1998. 27~29
- 7 童小东. 水泥土添加剂及其损伤模型试验研究. [学位论文]: 杭州: 浙江大学岩土工程研究所, 1998. 61~63
- 8 童小东等. 氢氧化铝在水泥系深层搅拌法中的应用. 建筑结构, 2000, 30(5): 40~43

收稿日期: 2003-08-22

(上接第 345 页)

5 结 论

对大连开发区炮台山土洞形成过程进行了若干年的调查, 最终确定季节性天然降水形成土洞的唯一介质, 其淘蚀作用是形成土洞的主要方式。由于全球气温上升, 今后降雨量还会增加, 特别是最大日降雨量增多, 以及人、物在地面的载荷, 将加速土洞形成的速度和规模。就目前或若干年后都有可能发生土洞塌陷现象, 对人、车、构筑物都可能受到伤害, 潜在的危险性很大。因此建议大连开发区有关

部门引起重视, 做好预防治理工作。应采用物理勘探、钻探验证与人工开挖的综合方法查明土洞可能形成的部位和规模, 及时处理, 防止事故发生, 同时应提前做好炮台山汇水区天然降水的排泄工作。

参 考 文 献

- 1 《工程地质手册》编写委员会. 工程地质手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994

收稿日期: 2003-08-22