

水泥土无侧限抗压强度室内试验研究

张 军^{1*}, 戚绪明²

(1. 淮安市淮安区水利建筑工程公司, 江苏 淮安 223200; 2. 江苏鸿基水源科技股份有限公司, 江苏 扬州 225002)

摘要:通过定义似水泥掺量、似含水率等变量对水泥土进行室内无侧限抗压强度试验,得出其强度相关规律。试验结果表明,相同似含水率、相同似水泥掺量情况下,水泥土的无侧限抗压强度随着龄期的增加而提高。相同似含水率、相同龄期情况下,水泥土的无侧限抗压强度随着似水泥掺量的增加而显著增长。相同似水泥掺量、相同龄期情况下,水泥土的无侧限抗压强度随着似含水率的增加而显著降低。

关键词:水泥土; 无侧限抗压强度; 似水泥掺量; 似含水率; 龄期

中图分类号:X712; TU472 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2019)10-0034-04

Study on the throwing effect of caisson – style underwater riprap technology based on multi – beam swath bathymetry technology

ZHAO Jun^{1*}, QI Xuming²

(1. Huai' an District Water Conservancy Construction Engineering Co. , Ltd. , Huai' an 223200, Jiangsu;
2. Jiangsu Hongji Water Source Technology Co. , Ltd. , Yangzhou 225002, Jiangsu)

Abstract: The indoor unconfined compressive strength test of cement soil was carried out by defining variables such as resembling cement content and resembling moisture content, and the strength correlation law was obtained. The test results showed that under the same resembling cement content and the same resembling moisture content, the unconfined compressive strength of cement soil increased with the increase of age. Under the same resembling moisture content and the same age, the unconfined compressive strength of cement soil increased significantly with the increase of resembling cement content. Under the same resembling cement content and the same age, the unconfined compressive strength of cement soil decreased significantly with the increase of resembling moisture content.

Key words: cement soil; unconfined compressive strength; resembling cement content; resembling moisture content; age

水泥土搅拌桩技术是一种常用软土地基处理技术,其技术原理是通过特制的搅拌机械将水泥与地基土进行强制搅拌,利用水泥与土体之间产生的一系列物理化学反应,使地基土强度提高,形成具有整体性、水稳定性和一定强度的复合地基。^[1]水泥土搅拌桩在建筑^[2-3]、市政^[4]、交通^[5-6]、水利^[7-8]、港口^[9]建设等工程领域有着大规模的应用,应用时一般预先通过室内试验进行配比设计,再将其应用于现场工艺试桩,最终确定实际水泥掺

量、水灰比等施工参数等,水泥掺量一般为 15% ~ 20%,水灰比为 0.8 ~ 1.5。目前部分室内试验依然采用工程中的“水泥掺量”(定义为“水泥与原状土体的质量之比”)为变量进行试验设计^[10-11],这使得对于不同土体,其含水率及水泥掺量为非单一变量,从而导致实验结果对实际工程不具有参考意义。此外,目前实际施工中大部分为大水灰比的水泥浆液搅拌,研究大水灰比更具有实际意义。因此,针对目前研究较少的大水灰比水泥土,本文通

过定义似水泥掺量、似含水率等变量对水泥土进行室内无侧限抗压强度试验,分析其强度相关规律,为水泥土搅拌桩的工程应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验土样

本次土样取自江苏省南京市某水利工程原状土样。试验土样为淤泥质土,根据土的分类标准属于低液限黏土。试验土样的基本物理力学性质如表 1 所示。

表 1 试验土样的基本物理力学性质

土类	含水率 $w/\%$	液限 w_L	塑限 w_p	塑性 指数 I_p	液性 指数 I_L	比重 G_s
淤泥质土	50.8	46.5	24.8	21.7	1.20	2.71

1.2 试件制备与养护

将试验土样风干后进行碾碎,然后过 5 mm 筛妥善保存备用。水泥采用海螺牌 P. 042.5 水泥。

以似水泥掺量 a' 、似含水率 ω' 为控制参数进行强度试验,似水泥掺量 = 水泥质量/干土质量,似含水率 = 水质量/(干土质量 + 水泥质量)。投料前先润湿搅拌锅,然后均匀混合风干土和水泥,再洒水并搅拌,直至均匀。搅拌时间控制在 20 min 以内,再分 2 层装入 70.7 mm × 70.7 mm × 70.7 mm 三立方体试模。每层按螺旋方向从边缘向中心均匀插捣 15 次。在插捣底层拌合物和捣棒达到试模底部,在插捣上层时捣棒贯穿该层后插入下层 10 mm 左右,插捣时保持捣棒竖直。插捣后用刮刀沿试模壁插拔 3 次。模具装满后,固定在振动台振动 2 min 以上;试件成型完成后用聚乙烯塑料袋密封并置于温度 20℃、湿度 >95% 的标准养护箱中养护 48 h 再进行脱模,脱模试样用塑料袋密封后放入养护箱中继续养护至设计龄期,到达相应的设计龄期后进行无侧限抗压试验。

1.3 无侧限抗压强度试验

试验设计了 4 种似水泥掺量,分别为 11%, 14%, 17%, 20%; 设计了 3 种似含水率,分别为 60%, 65%, 70%; 设计了 3 种龄期,分别为 28 d, 60 d, 90 d。不同似水泥掺量按不同似含水率进行配比进行不同龄期的无侧限抗压强度试验,共计 36 组。每组试验不少于 6 个平行试件,试验时以 0.1 kN/s 的加载速率连续均匀地对试件加荷,直至试件破坏后记录破坏荷载。

试样的无侧限抗压强度按下式计算:

$$f_{cu} = P/A$$
 (1)

式中:

f_{cu} —为水泥土试件的无侧限抗压强度 (MPa), 精确至 0.01 MPa;

P —破坏荷载 (N);

A —试件横截面积 (mm²)。

2 结果与讨论

2.1 无侧限抗压强度与龄期的关系

不同似含水率、不同似水泥掺量情况下,水泥土的无侧限抗压强度随龄期变化规律分别见图 1 ~ 3。从图中可以看到,相同似含水率、相同似水泥掺量情况下,水泥土的无侧限抗压强度随着龄期的增加而提高。

相同似含水率情况下,似水泥掺量越高,随着龄期的增加,水泥土的无侧限抗压强度的增长量越大,水泥土的无侧限抗压强度的增长率则越小。似含水率 60% 的情况下,似水泥掺量 11%、14%、17%、20%, 90 d 水泥土的无侧限抗压强度较 20 d 的增长量分别为 0.3 MPa、0.39 MPa、0.49 MPa、0.59 MPa; 增长率分别为 50%、48%、45%、42%。似含水率 65% 的情况下,似水泥掺量 11%、14%、17%、20%, 90 d 水泥土的无侧限抗压强度较 20 d 的增长量分别为 0.28 MPa、0.37 Mpa、0.45 MPa、0.56 MPa; 增长率分别为 56%、51%、47%、44%。似含水率 70% 的情况下,似水泥掺量 11%、14%、17%、20%, 90 d 水泥土的无侧限抗压强度较 20 d 的增长量分别为 0.26 MPa、0.34 MPa、0.43 MPa、0.52 MPa; 增长率分别为 62%、56%、52%、46%。

2.2 无侧限抗压强度与似水泥掺量的关系

不同似含水率、不同龄期情况下,水泥土的无侧限抗压强度随似水泥掺量变化规律分别见图 4 ~ 6。从图中可以看到,相同似含水率、相同龄期情况下,水泥土的无侧限抗压强度随着似水泥掺量的增加而显著增长。

相同似含水率情况下,养护龄期越长,随着似水泥掺量的增加,水泥土的无侧限抗压强度的增长量越大,水泥土的无侧限抗压强度的增长率则越小。似含水率 60% 的情况下,养护龄期 28 d、60 d、90 d, 20% 水泥土的无侧限抗压强度较 11% 的增长量分别为 0.82 MPa、0.96 MPa、1.11 MPa; 增长率分别为 137%、128%、123%。似含水率 65% 的情况下,养护龄期 28 d、60 d、90 d, 20% 水泥土的无侧限

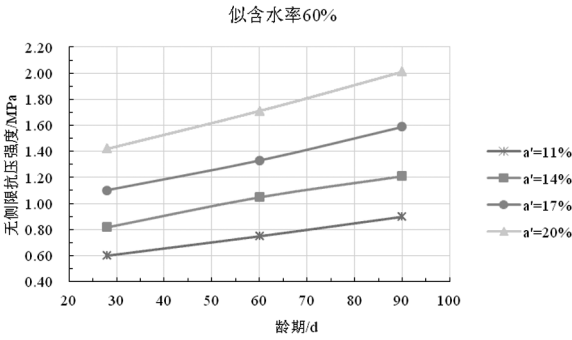


图 1 似含水率 60% 下无侧限抗压强度随龄期变化规律

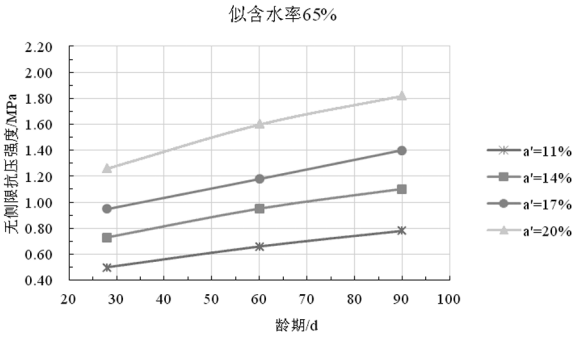


图 2 似含水率 65% 下无侧限抗压强度随龄期变化规律

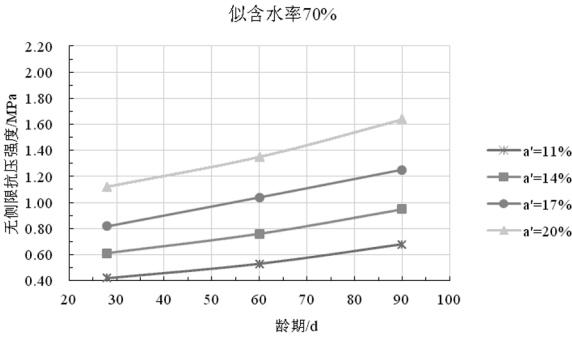


图 3 似含水率 70% 下无侧限抗压强度随龄期变化规律

抗压强度较 11% 的增长量分别为 0.76 MPa、0.94 MPa、1.04 MPa；增长率分别为 152%、142%、133%。似含水率 60% 的情况下，养护龄期 28 d、60 d、90 d，20% 水泥土的无侧限抗压强度较 11% 的增长量分别为 0.7 MPa、0.82 MPa、0.96 MPa；增长率分别为 167%、155%、141%。

2.3 无侧限抗压强度与似含水率的关系

不同似水泥掺量、不同龄期情况下，水泥土的无侧限抗压强度随似含水率变化规律分别见图 7 ~ 9。从图中可以看到，相同似水泥掺量、相同龄期情况下，水泥土的无侧限抗压强度随着似含水率的增加而显著降低。

相同养护龄期情况下，似水泥掺量越大，随着似含水率的减小，水泥土的无侧限抗压强度的增长量越大，水泥土的无侧限抗压强度的增长率则越

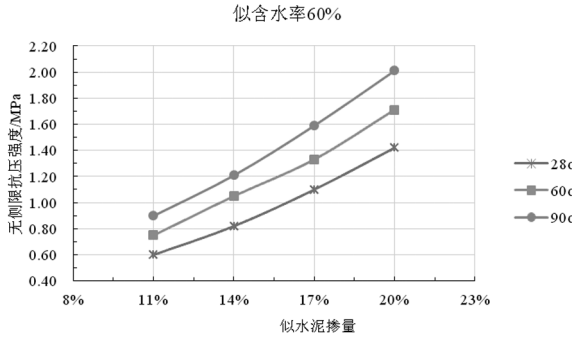


图 4 似含水率 60% 下无侧限抗压强度随似水泥掺量变化规律

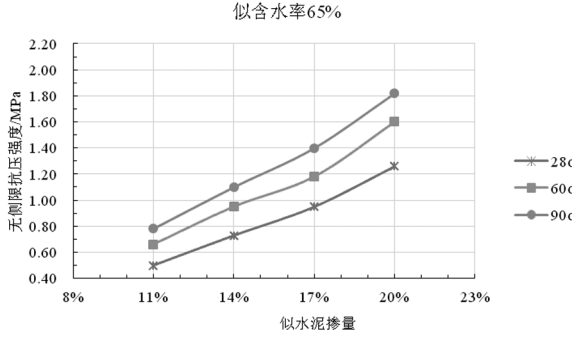


图 5 似含水率 65% 下无侧限抗压强度随似水泥掺量变化规律

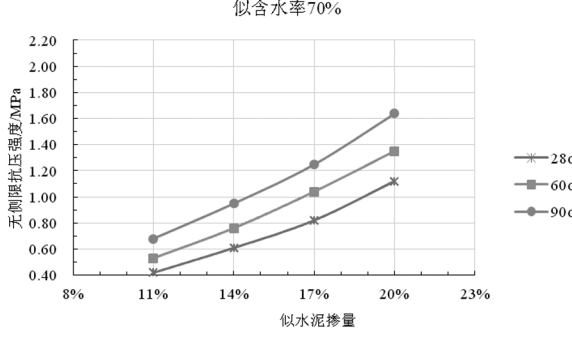


图 6 似含水率 70% 下无侧限抗压强度随龄期变化规律

小。养护龄期 28 d 的情况下，似水泥掺量 11%、14%、17%、20%，似含水率 60% 水泥土的无侧限抗压强度较 70% 的增长量分别为 0.18 MPa、0.21 MPa、0.28 MPa、0.3 MPa；增长率分别为 43%、34%、34%、27%。养护龄期 60 d 的情况下，似水泥掺量 11%、14%、17%、20%，似含水率 60% 水泥土的无侧限抗压强度较 70% 的增长量分别为 0.22 Mpa、0.26 MPa、0.29 MPa、0.36 MPa；增长率分别为 42%、33%、28%、27%。养护龄期 90 d 的情况下，似水泥掺量 11%、14%、17%、20%，似含水率 60% 水泥土的无侧限抗压强度较 70% 的增长量分别为 0.22 Mpa、0.28 MPa、0.34 Mpa、0.37 MPa；增长率分别为 32%、30%、27%、23%。

3 结论

本文针对水泥土开展了一系列室内无侧限抗

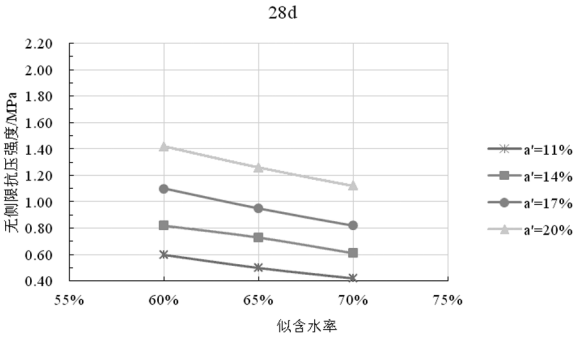


图 7 龄期 28d 下无侧限抗压强度随似含水率变化规律

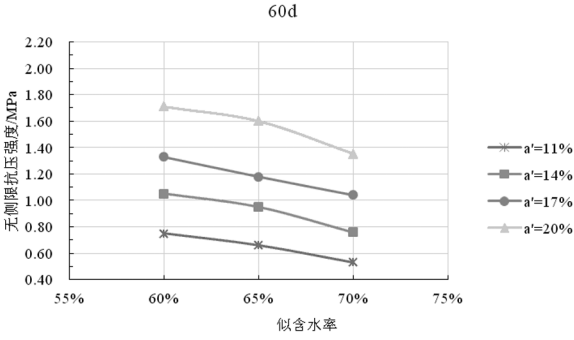


图 8 龄期 60d 下无侧限抗压强度随似含水率变化规律

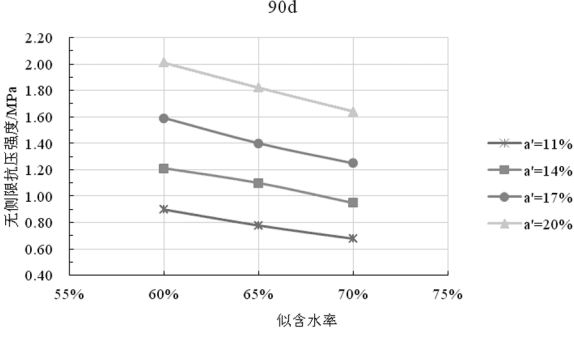


图 9 龄期 90d 下无侧限抗压强度随似含水率变化规律

压强度试验,探究其强度与似水泥掺量、似含水率及养护龄期之间的相关规律,主要结论如下:

- 1) 相同似含水率、相同似水泥掺量情况下,水泥土的无侧限抗压强度随着龄期的增加而提高。相同似含水率情况下,似水泥掺量越高,随着龄期的增加,水泥土的无侧限抗压强度的增长量越大,水泥土的无侧限抗压强度的增长率则越小。
- 2) 相同似含水率、相同龄期情况下,水泥土的无侧限抗压强度随着似水泥掺量的增加而显著增长。相同似含水率情况下,养护龄期越长,随着似水泥掺量的增加,水泥土的无侧限抗压强度的增长

量越大,水泥土的无侧限抗压强度的增长率则越小。

3) 相同似水泥掺量、相同龄期情况下,水泥土的无侧限抗压强度随着似含水率的增加而显著降低。相同养护龄期情况下,似水泥掺量越大,随着似含水率的减小,水泥土的无侧限抗压强度的增长量越大,水泥土的无侧限抗压强度的增长率则越小。

4) 在试验范围内,水泥土无侧限抗压强度与似水泥掺量、似含水率及养护龄期之间的相关规律,可为水泥土搅拌桩的工程应用提供一定理论基础。

参考文献:

[1] 郭涛. 水泥土搅拌桩施工工艺优化现场试验研究[J]. 湖南工程学院学报(自然科学版), 2012, 22(01):84-87.

[2] 雷超, 胡雨辰, 周鹏辉. TRD 工法水泥土搅拌墙在某基坑支护工程中的应用[J]. 长江工程职业技术学院学报, 2019, 36(01):1-5.

[3] 张世轩, 严学宁, 王翠英. TRD 水泥土搅拌墙在基坑工程中的应用[J]. 湖北工业大学学报, 2019, 34(01):38-43.

[4] 张胜. 水泥土搅拌桩加固地基在市政道路的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(12):156-157.

[5] 顾素恩, 朱志铎. 机场软土地基变截面双向水泥土搅拌桩应用[J]. 施工技术, 2018, 47(07):64-67.

[6] 陈维勇, 林伟强. 深层水泥土搅拌桩在淤泥土路基中的应用分析[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2018, 14(06):21-23.

[7] 李崇峰. 水利施工中水泥搅拌桩技术的应用[J]. 居舍, 2018(34):44.

[8] 王义兴. 水泥土搅拌桩在河道边坡加固中的应用[J]. 湖南水利水电, 2018(03):70-71.

[9] 陈富, 李海涛. 黄骅港地区深层水泥土搅拌桩施工工艺研究[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(S1):156-160.

[10] 刘韩英, 贾涛, 孙红兰, 等. 水泥土搅拌桩地基处理在工程设施建设中的应用研究[J]. 治淮, 2017(08):54-55.

[11] 韦应彬, 周彬, 崇天阳, 等. 水泥土搅拌桩复合地基在软基处理中的应用[J]. 施工技术, 2017, 46(S1):40-43.