

不同垂直荷重对风化砂改良膨胀土抗剪强度影响研究*

杨俊^{①②} 童磊^{①②} 张国栋^{①②} 唐云伟^③

(^①三峡大学三峡地区地质灾害与生态环境湖北省协同创新中心 宜昌 443002)

(^②三峡大学土木与建筑学院 宜昌 443002)

(^③宜昌市交通运输局 宜昌 443002)

摘要 本文以风化砂改良膨胀土的抗剪强度指标为研究对象,通过室内直接剪切试验,研究了在不同垂直荷重作用下,不同掺砂比例及不同含水率对改良膨胀土抗剪强度指标 c 、 ϕ 值的影响规律及各种不同垂直荷重下的 σ - τ 关系。影响直接剪切试验结果的两个关键因素是试验时的垂直荷重和剪切速率,而现行规范对剪切速率是有明确规定的,但对垂直荷重只有一个推荐性的取值。本文对膨胀土掺入了 10%、20%、30%、40%、50% 的风化砂,分别配以 6%、8%、10%、12%、14% 的水,然后在 I 级垂直荷重(12.5~50kPa)、II 级垂直荷重(62.5~100kPa)、III 级垂直荷重(100~400kPa)作用下,进行剪切试验。通过试验研究得知:垂直荷重对改良后膨胀土抗剪强度指标影响较大,随着垂直荷重的减小,掺砂后的膨胀土内摩擦角逐渐增大,黏聚力逐渐减小;在各级垂直荷重下,在同一含水率状态下,黏聚力均随着掺砂比例的增大而逐渐减小,而内摩擦角均是先增大后减小;在同一掺砂比例下,黏聚力及内摩擦角均随着含水率的增大而先增大后减小。本试验的研究成果为风化砂改良膨胀土用作公路路基填料提供了试验依据。

关键词 垂直荷重 膨胀土 掺砂比例 含水率 抗剪强度

中图分类号:TU443 **文献标识码:**A

EFFECTS OF DIFFERENT VERTICAL LOADS ON SHEAR STRENGTH OF WEATHERED SAND MODIFIED EXPANSIVE SOIL

YANG Jun^{①②} TONG Lei^{①②} ZHANG Guodong^{①②} TANG Yunwei^③

(^①Collaborative Innovation Center of Geological Hazards and Ecological Environment in Three Gorges Area in Hubei Province, China Three Gorges University, Yichang 443002)

(^②Civil and Architectural Institute, China Three Gorges University, Yichang 443002)

(^③Yichang Transport Bureau, Yichang 443002)

Abstract This paper examines the expansive soil shear strength improved with weathered sand by indoor direct shear test. It studies the modified expansive soil shear strength parameters and the the relationship of the normal stress σ and the shear stress τ under different vertical loads, different sand proportions and different moisture contents. The two key factors that affect the direct shear test results is the vertical load and shear rate test. Existing norms of the shear rate is clearly defined, but the vertical load only a recommended value. The expansive soils were mixed with 10%, 20%, 30%, 40%, 50% of the weathered sand, respectively and matched with 6%, 8%, 10%, 12%, 14% water contents. They were loaded under the level I(12.5~50kPa), level II(62.5~100kPa),

* 收稿日期: 2012-10-20; 收到修改稿日期: 2013-05-06.

基金项目:湖北省教育厅自然科学研究重点项目(项目编号:D20131304)资助.

第一作者简介:杨俊,主要从事道路与桥梁工程方面的教学及科研. Email: wangjing750301@163.com

or level III (100 ~ 400kPa) of vertical loads for the shear test. The test results give the following findings. Vertical load has a high impact on the improved expansive soil shear strength parameters. When the vertical load is reduced, the angle of the soil internal friction gradually increases but its cohesion gradually decreases. At all the levels under the vertical load and the moisture content in the same condition, the cohesive force gradually decreases with the increase of the mixed sand ratio, and the angle of internal friction initially increases and then decreases. In the same sand proportion, the cohesive force and angle of internal friction first increase and then decrease as the moisture content increases. The research results provide a test basis for using weathered sand to improve expansive soil for highway roadbed filler.

Key words Vertical load, Expansive soil, Sand, Moisture content, Shear strength

1 引言

公路路基失稳破坏的主要原因往往是由于用作路基的填土抗剪强度不足,因此土的抗剪强度的测定为路基的设计与稳定性验算提供了理论依据和计算指标。土的抗剪强度是指土体抵抗剪切破坏的极限能力,是进行路基设计的重要参数之一。土的程度除了与土的类型有关外,还与土的密度、含水率、初始应力状态、应力历史和试验中的排水条件等因素有关。目前,实验室测定土的抗剪强度主要是采用直接快剪试验^[1~3]。在进行该试验时,测定的抗剪强度结果往往受垂直荷重和剪切速率的影响。对于剪切速率,《公路土工试验规程》(JIG E40-2007)对试验的不同速率有明确规定,然而,对于试验时的垂直荷重,试验规程只提出了:正常固结条件下,一般取 100 ~ 400kPa 荷重作用,具体可根据设计荷重和土的实际情况来确定。由此可见,对于不同荷重作用下,尤其是在小应力荷重(即垂直荷重在 100kPa 以下)作用下,室内直剪试验测定出来的抗剪强度指标究竟有什么变化规律?这是一个亟待研究的问题。对于膨胀土,其抗剪强度来自土颗粒之间的摩擦力、土颗粒之间的吸引力以及土中胶结物质对土颗粒的胶结作用产生的内聚力^[1]。膨胀土抗剪强度有黏土的共性,又有别于一般黏土,膨胀土易软化,随着含水率的变化,土体抗剪强度表现为一动态变化的过程,充分体现了膨胀土抗剪强度的复杂性。

目前,在工程中,由于膨胀土具有遇水膨胀失水收缩的特点及其对工程的巨大危害,所以不能直接用作公路路基的填料。大多数情况下是在膨胀土中掺入石灰、水泥、粉煤灰等外加剂,通过化学手段进行改良。改良后的膨胀土 c 、 ϕ 值都有一定程度的提高,但石灰、水泥与土的反应速度较慢,导致抗剪强

度提高也较缓慢,并且生成的水化物强度较低,耐久性较差,具有一定的时效性,随着时间的推移,改良效果也会发生变化。掺入粉煤灰可以提高膨胀土的抗剪强度,但其对抑制膨胀的效果不明显,且掺入的石灰、水泥、粉煤灰由于粒径较小,都存在现场难以拌合均匀,并易污染环境等缺点。

针对上述存在的问题,本研究拟采用一种新的改良方法对膨胀土进行改良—在膨胀土中掺入风化砂。为此,通过室内直接剪切试验,研究了不同垂直荷重作用下,不同掺砂比例及不同含水率对风化砂改良膨胀土的黏聚力、内摩擦角、抗剪强度的影响与变化规律,为在公路路基工程中采用风化砂来改良膨胀土提供理论依据。本论文以湖北省宜昌市小溪塔至鹤鹊岭一级公路改建工程的膨胀土为研究对象,利用沿线广泛分布的风化砂对膨胀土进行改良处理。通过风化砂颗粒之间的摩阻力及相互嵌挤力来提高改良后膨胀土的抗剪强度,达到路基填筑用土的标准,并利用风化砂来改善膨胀土的颗粒结构,增大空隙率,提高其透水性,增强路基的稳定。另外,由于所掺入的风化砂具有一定的颗粒粒径,现场拌合比较容易,方便施工。通过对风化砂改良的膨胀土进行大量室内胀缩试验研究,结果表明:掺入风化砂对抑制膨胀土的胀缩特性效果十分明显。再者,室内直接剪切试验是根据土样在垂直荷重为 100kPa、200kPa、300kPa、400kPa 下的抗剪强度拟合成直线,从而得到土样的 c 、 ϕ 值,但是在工程实际当中,土体所受的荷载差别很大,不同的荷载下土体的内部结构会发生改变,这就必然会导致土体的抗剪强度指标发生变化。同时根据莫尔强度包线可知,材料的抗剪强度包线是一条曲线,随着垂直荷重的改变,材料的 c 、 ϕ 值也会随之改变。所以单纯地测量土样在 100 ~ 400kPa 下的 c 、 ϕ 值是不够完善的^[4]。

本研究将试验过程中的剪切垂直荷重从 12.5kPa 依次提高到 400kPa,风化砂掺入比例从

0% 提高到 50%, 含水率由 6% 提高到 14%, 对不同垂直荷重下风化砂改良膨胀土的抗剪强度指标进行了大量的试验研究, 深入分析了改良膨胀土的抗剪强度指标与垂直荷重、掺砂比例、含水率之间的关系, 同时验证了掺入风化砂改良的膨胀土能够达到路基抗剪强度要求, 为风化砂改良膨胀土这一改良方法提供了试验依据。

2 试验用膨胀土及风化砂特性

本试验研究所用土样取自湖北省宜昌市夷陵区小溪塔至鸦雀岭一级公路改建工程项目 K24+000 ~ K25+000 路段。从外观上观察, 该膨胀土颜色为灰白色中间夹杂灰绿色, 土块可层层分割成规则的几何形体, 滑感较强, 黏土质重, 含有少量钙质与铁锰质结核。本试验所用的风化砂取自该项目 K22+000 ~ K23+000 路段, 风化砂颜色呈黄色, 粒径较小, 颗粒呈棱角状, 强度较高, 并含有一定量的细粒土。

通过对膨胀土及风化砂等试验原材料进行一系列的室内测试, 得到它们的基本物理指标(表 1、表 2)。

表 1 膨胀土的基本性质指标

Table 1 Basic property indexes of expansive soil

粒组含量(粒径/mm)			自由膨胀率	液限	塑限	塑性指数
砂粒组	粉粒组	黏粒组	ω_L	ω_p	I_p	
2~0.075	0.075~0.005	<0.005	/(%)	/(%)	/(%)	
26.58	56.28	17.14	43	70.53	24.09	46.44

表 2 风化砂基本物理性质指标

Table 2 Basic physical property indexes of weathered sand

粒组含量(粒径/mm)			级配指标		天然含水率
粗粒组	中粒组	细粒组	不均匀系数 C_u	曲率系数 C_c	ω /(%)
2~0.5	0.5~0.25	0.25~0.075			
11.5	21.4	67.1	2.84	0.86	13.64

从表 1 中可以看出, 该膨胀土的液限为 70.53%, 大于 50% 属于高液限土; 塑性指数为 46.44, 大于 40, 属于极高塑性黏土; 自由膨胀率为 43%, 在 40%~60% 之间, 属于弱膨胀性。

从表 2 中可以看出, 风化砂所含的细颗粒较多, 不均匀系数 $C_u = 2.84 < 5$; 曲率系数 $C_c = 0.86 < 1$, 本试验路段选用的风化砂级配不良。

3 试验方案

试验方法参考《公路土工试验规程》(JTG E40-

2007)。风化砂掺量(质量比)按 0%、10%、20%、30%、40%、50% 设计成 6 种混合试样, 根据室内重型击实试验, 得到每种掺砂比例下膨胀土的最佳含水率和最大干密度。进行直剪试验时, 每种掺砂比例下, 土样的含水率按 6%、8%、10%、12%、14% 进行配制。直剪试验制样时, 控制压实后土样的干密度为同一干密度。本次试验均采用根据重型击实试验得出的最大干密度状态下进行。试验前先分别将膨胀土和风化砂碾碎之后过 2mm 标准筛, 在 105~110℃ 的规定温度下烘干至恒重, 冷却后根据试验设计的配合比, 配制不同的土样。通过室内击实试验, 可以得到最大干密度, 依据此最大干密度制作本试验的直剪试样, 试样直径 61.8mm、高 20mm。直接剪切试验采用四联应变控制式直剪仪, 将不同掺砂比例下的试样分别在 I 级荷重(12.5kPa、25kPa、37.5kPa、50kPa)、II 级荷重(62.5kPa、75kPa、87.5kPa、100kPa)、III 级荷重(100kPa、200kPa、300kPa、400kPa) 压力下进行快剪试验, 剪切速率为 $0.8\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$, 每个编号的掺砂土样做 4 组平行试验, 取平行试验差值满足精度要求的 4 组结果的平均值作为最终试验结果^[5]。

3.1 掺砂比例的击实试验

依据《公路土工试验规程》(JTG E40-2007), 风化砂掺量(质量比)按 0%、10%、20%、30%、40%、50% 进行设计。采用干土法制备土样, 根据设计配合比选用膨胀土和风化砂, 配制试验需用的掺砂土样。击实试验采用 DJ-Q 型电动击实仪, 分 3 层进行击实, 每层 98 击, 每个土样做两组平行试验, 得出击实试验结果见表 3。

表 3 不同掺砂比例膨胀土的击实试验结果

Table 3 Compaction test results of different sand proportion of expansive soil

土样编号	掺砂比例/(%)	最佳含水率 ω_{op} /(%)	最大干密度 ρ_{dmax} / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
1#	0	12.82	1.899
2#	10	12.49	1.913
3#	20	12.26	1.965
4#	30	12.05	1.947
5#	40	11.49	1.931
6#	50	11.07	1.918

从以上击实试验数据可以看出:

(1) 通过掺入风化砂改变了膨胀土的最佳含水率和最大干密度, 当掺砂比例为 20% 时, 干密度达

到最大值。

(2) 膨胀土的最佳含水率随着掺入风化砂的增加而降低,且降低的幅度先减小后增大。产生这一现象的原因是由于加入风化砂之后,膨胀土的黏性降低,保水性亦降低。由于风化砂的粒径很细,当风化砂含量相对较多时,遇到水以后,水稳定性会较差。

(3) 随着风化砂掺量的增大,最大干密度先逐渐增大,产生这一现象的原因是由于掺入风化砂后,膨胀土的黏结力降低,击实过程中被颗粒之间的黏结力所消耗的击实功减小,干密度增加。当掺砂量达到 20% 时,其最大干密度达到最大值,再加大风化砂掺量后,干密度逐渐减小。这是由于所掺的风化砂级配不良,掺入量增加后会导致整体的粒径级配不良,从而导致最大干密度也会发生相应变化。

3.2 不同垂直荷重下,掺砂比例及含水率对内摩擦角的影响

将试验用的膨胀土和风化砂分别过 2mm 筛,掺入预定剂量的风化砂拌合均匀,用喷雾设备喷洒预加含水量并充分拌合,配制成砂土混合料,然后装入容器内盖紧,润湿一昼夜,静压制样。控制每个试样的干密度,使之达到预定的最大干密度。将制好的试样放在应变控制式直剪仪上进行不同垂直荷载下的直剪试验^[6,7]。

由此可得出不同垂直荷重下,不同掺砂比例以及不同含水率对改良后膨胀土内摩擦角的影响,试验结果见表 4~表 6。

表 4 I 级荷重(12.5~50kPa)下改良膨胀土的内摩擦角/(°)

Table 4 Internal friction angle of weathered sand modified expansive soil under the I level load(12.5~50kPa)

掺砂比	含水率				
	6%	8%	10%	12%	14%
0	26.68	27.89	27.38	24.38	20.59
10	28.02	29.57	29.22	25.35	21.94
20	31.43	33.54	30.45	29.64	25.78
30	33.28	37.32	35.26	31.8	27.34
40	30.95	32.89	34.64	29.89	25.11
50	28.44	30.18	31.26	28.01	24.22

从以上表中的数据可以看出:

(1) 不同试验荷重对改良后膨胀土的内摩擦角有明显影响。当掺砂比例和含水率相同时,直剪试验时的垂直荷重越小,土样的内摩擦角越大。这是因为根据莫尔破坏包线的强度理论,土体的抗剪强

表 5 II级荷重(62.5~100kPa)下改良膨胀土的内摩擦角/(°)

Table 5 Internal friction angle of weathered sand modified expansive soil under the II level load(62.5~100kPa)

掺砂比	含水率				
	6%	8%	10%	12%	14%
0	23.56	25.34	24.02	22.31	17.01
10	25.32	26.84	25.88	23.78	17.89
20	28.22	29.66	29.14	27.43	21.88
30	29.45	32.84	32.2	28.54	23.75
40	27.51	31.32	31.46	26.76	21.48
50	25.13	27.65	29.03	25.43	20.34

表 6 III级荷重(100~400kPa)下改良膨胀土的内摩擦角/(°)

Table 6 Internal friction angle of weathered sand modified expansive soil under the III level load(100~400kPa)

掺砂比	含水率				
	6%	8%	10%	12%	14%
0	21.67	23.58	22.25	19.47	11.75
10	23.16	25.25	24.06	20.58	13.24
20	26.12	28.56	27.03	24.68	18.26
30	27.68	31.53	29.45	26.84	20.22
40	25.89	28.02	28.84	25.01	19.28
50	23.81	25.08	26.22	23.48	17.37

度曲线为一条向下弯曲的曲线,随着垂直荷重的减小,曲线的斜率逐渐增大,这就导致了土体内摩擦角的变大,因而这一试验结果正好满足了莫尔破坏包线的强度理论。

(2) 在同一含水率状态下,随着掺砂比例的增大,内摩擦角先增大后减小。产生这一现象的原因是掺入风化砂之后,风化砂颗粒夹杂在膨胀土黏粒之间,由于风化砂颗粒之间存在较大的摩阻力,从而导致膨胀土内摩擦角迅速增大。掺砂比例在 0%~30% 之间变化时, I 级荷重下的内摩擦角变化幅度最大,约在 8° 左右,当土样含水率为 8% 时,内摩擦角增幅最大,达 9.43°,说明在低荷重的情况下,通过掺砂可以有效的提高土体内摩擦角。掺砂比例在 30%~50% 之间变化时,每级荷重下膨胀土内摩擦角都迅速下降。这是因为掺砂比例到达一定的程度之后,砂性颗粒过多,导致土样整体的黏性降低,稳定性减小,故内摩擦角迅速减小。且随着垂直荷重的减小,降低幅度呈增加的趋势, I 级荷重下内摩擦角降低值在 5° 左右,含水率为 8% 时,降低值最大,达到了 7.14°。这是由于当垂直荷重越小时,砂性颗粒与膨胀土颗粒接触面上的应力越小,从而导

致颗粒与颗粒之间的摩擦力减小,因而整个土体的内摩擦角下降。

(3)在同一掺砂比例下,内摩擦角随着含水率的增加先逐渐增大后逐渐减小。在每级荷重下,土样掺砂比例为30%,含水率达8%时,其内摩擦角达到最大。可以看出,不同垂直荷重对其影响规律大致相同。这是因为随着含水率的增大,土颗粒之间的黏结力增强,导致摩阻力增大。继续掺入风化砂后,其内摩擦角开始逐渐减小,且随着风化砂掺量的继续增加,膨胀土内摩擦角减小的幅度也随着加大。产生这一现象的主要原因是由于含水率的持续增长,土样的孔隙比发生变化,单位面积断面内土颗粒间的有效接触面积减小,另外在剪切过程中水起到了一定的润滑作用,甚至在局部产生超孔隙水压,故含水率的提高导致了内摩擦角的降低。再者,不同垂直荷重下,膨胀土内摩擦角的减小幅度也有明显差异,当土样含水率由12%增加至14%时,I级荷重下内摩擦角减小4°左右,II级荷重下减小约5°,III级荷重下减小约6°。说明垂直荷重越大,由含水率增加对内摩擦角减小的贡献度越大。

3.3 不同垂直荷重下,掺砂比例及含水率对黏聚力的影响

通过上述直剪试验,得出不同垂直荷重下,掺砂比例及含水率对改良膨胀土黏聚力的影响,试验结果见表7~表9。

表7 I级荷重(12.5~50kPa)下改良膨胀土的黏聚力/kPa
Table 7 Cohesive force of weathered sand modified expansive soil under the I level load(12.5~50kPa)

掺砂比	含水率				
	6%	8%	10%	12%	14%
0	64.15	74.13	88.56	97.25	86.11
10	53.26	66.33	78.34	85.46	74.32
20	48.65	58.21	70.65	74.86	62.34
30	42.01	53.35	61.37	74.77	58.26
40	37.99	47.62	59.59	66.21	56.04
50	17.56	23.06	32.18	35.36	25.95

从以上试验结果可以看出:

(1)从以上3个表的平行对比可以看出,不同试验荷重对改良后膨胀土的黏聚力有明显影响。垂直荷重越大,所得到的黏聚力越大,且随着垂直荷重的增大,黏聚力的增大趋势逐渐减小,垂直荷重由I级增大到II级时,土样黏聚力增加幅度约为10%,垂直荷重由II级增大到III级时,土样黏聚力增加幅

表8 II级荷重(62.5~100kPa)下改良膨胀土的黏聚力/kPa
Table 8 Cohesive force of weathered sand modified expansive soil under the II level load(62.5~100kPa)

掺砂比	含水率				
	6%	8%	10%	12%	14%
0	74.88	87.52	97.35	105.94	95.86
10	66.55	79.82	88.24	95.65	85.42
20	59.96	72.95	78.49	83.41	74.85
30	54.38	67.52	73.22	80.55	68.49
40	49.25	60.75	66.48	75.61	65.18
50	27.00	32.67	38.62	44.94	34.05

表9 III级荷重(100~400kPa)下改良膨胀土的黏聚力/kPa
Table 9 Cohesive force of weathered sand modified expansive soil under the III level load(100~400kPa)

掺砂比	含水率				
	6%	8%	10%	12%	14%
0	80.45	92.33	104.37	112.05	100.32
10	70.67	81.78	93.83	100.62	88.46
20	64.95	73.25	85.47	90.35	79.36
30	58.36	69.11	82.22	88.99	73.68
40	54.44	62.56	73.57	80.64	69.49
50	32.68	38.55	45.84	50.24	38.92

度约7%。这是因为随着垂直荷重的增加,土颗粒之间的作用效应增强,从而导致黏聚力相应提高。根据莫尔-库伦强度理论,在一定应力范围内,土的莫尔破坏包线近似的用库伦方程表示的一条直线代替,直线在纵坐标上的截距即为土的黏聚力。随着垂直荷重的增加,直线在纵坐标上的截距也相应的增加,也即是土样黏聚力增加^[8,9]。

(2)在同一级荷重下,掺砂比例和含水率对改良膨胀土的黏聚力影响较大,随着掺砂比例的增大,不同含水率状态下的膨胀土黏聚力均逐渐减小。

(3)在同一级垂直荷重、同一掺砂比例下,随着含水率的增大,改良后膨胀土的黏聚力先逐渐增大然后逐渐减小。在各级荷重下,当含水率为12%时,黏聚力达到最大值。这是因为通过重型击实试验得到该膨胀土的最佳含水率为12.84%,而12%的含水率正好最接近最佳含水率,在最佳含水率状态下进行压实,干密度能够达到最大值,土颗粒之间的相互吸引力最强,故黏聚力达到最大值。当含水率继续增大,在12%~14%之间变化时,黏聚力迅速降低,特别是在I级荷重下,掺砂比例为30%时,黏聚力下降幅度最大,为16.51kPa。产生这一现象的原因在于:当含水率超过最佳含水率,导致压实之后

的干密度逐渐减小,土颗粒之间的吸引力也逐渐减弱,另一方面由于含水率的增加,导致土粒间的公共水膜黏结力也减小,所以黏聚力急剧减小^[10~13]。

(4)在同一垂直荷重及相同含水率状态下,黏聚力随掺砂比例的增加而逐渐减小,且黏聚力减小的幅度是先减小后增大,当掺砂比由40%增大到50%时,黏聚力减小幅度最大。产生这一现象的主要原因是因为膨胀土的黏性很强,而风化砂几乎没有黏性,当掺入风化砂比例增大时,整个土体的黏性逐渐降低,当掺砂比例在40%~50%之间时,风化砂颗粒几乎将膨胀土颗粒完全包裹住,导致土体的黏性迅速衰减。

3.4 不同垂直荷重下,掺砂比例及含水率对抗剪强度的影响

通过以上的分析可知不同的垂直荷重、掺砂比例、含水率对改良后膨胀土的内摩擦角和黏聚力的影响规律是不同的,而土体的抗剪强度是由内摩擦角、黏聚力、法向应力这3个指标共同决定的,综合以上数据,可得到不同垂直荷重作用时,不同掺砂比例及含水率所对应的 σ - τ 曲线图(图1~图6)。

从以上6个图可以看出:

(1)掺砂后膨胀土在不同垂直荷重下的 σ - τ 曲线接近莫尔强度破坏包线。随着试验时垂直荷重的

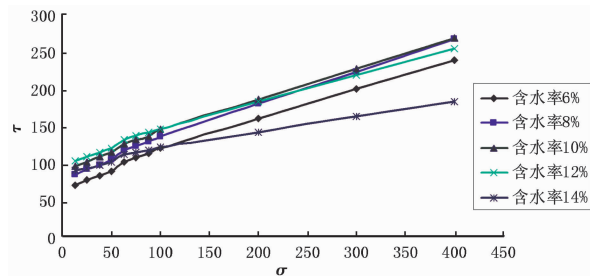


图1 原状土 σ - τ 曲线图

Fig. 1 The σ - τ graph of undisturbed soil

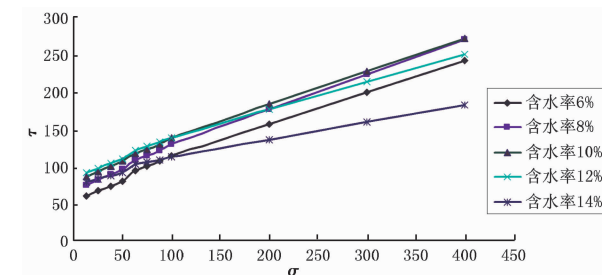


图2 掺砂10%改良膨胀土 σ - τ 曲线图

Fig. 2 The σ - τ graph of improved soil mixed with 10 percent weathered sand

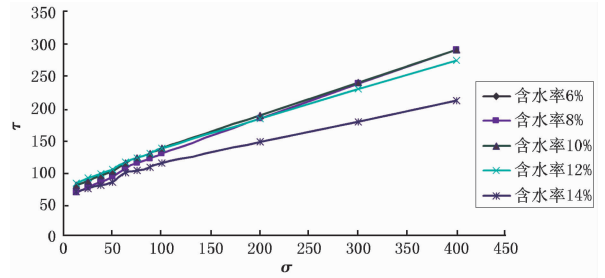


图3 掺砂20%改良膨胀土 σ - τ 曲线图

Fig. 3 The σ - τ graph of improved soil mixed with 20 percent weathered sand

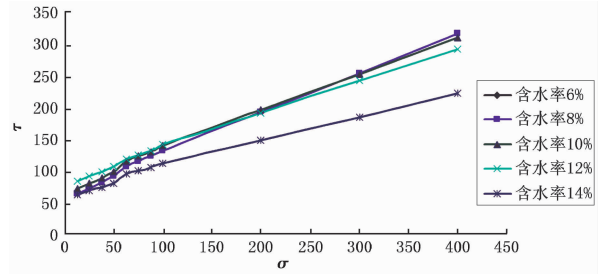


图4 掺砂30%改良膨胀土 σ - τ 曲线图

Fig. 4 The σ - τ graph of improved soil mixed with 30 percent weathered sand

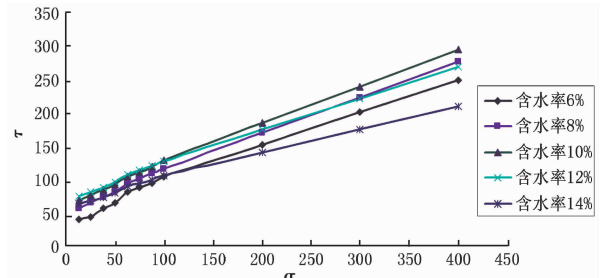


图5 掺砂40%改良膨胀土 σ - τ 曲线图

Fig. 5 The σ - τ graph of improved soil mixed with 40 percent weathered sand

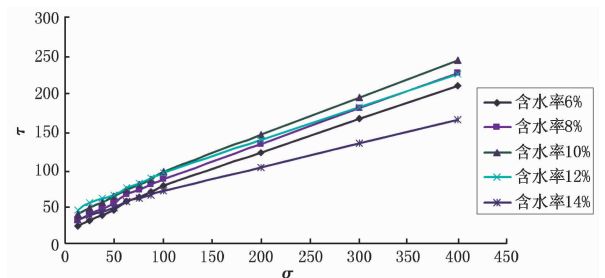


图6 掺砂50%改良膨胀土 σ - τ 曲线图

Fig. 6 The σ - τ graph of improved soil mixed with 50 percent weathered sand

增加,土样的抗剪强度增长速度逐级减缓。

(2)不同的垂直荷重下,土体的抗剪强度有很大差别。在I级荷重和II级荷重下抗剪强度达到最

大的是含水率为12%的原状土。在Ⅲ级荷重下,抗剪强度达到最大的是掺砂比例为30%的膨胀土,且随着正应力的增大,抗剪强度达到最大时的含水率逐渐下降,100kPa作用下抗剪强度达到最大时其含水率为12%;200kPa作用下抗剪强度达到最大时其含水率为10%;300kPa、400kPa作用下抗剪强度达到最大时其含水率为8%。

(3)垂直荷重小于100kPa作用下,所测得的 σ - τ 曲线斜率大于垂直荷重大于100kPa作用下所测得的 σ - τ 曲线斜率,这表明在较小的垂直荷重下,抗剪强度比在较大垂直荷重下所测得的值要大。故在实际工程设计与验算中,土体的抗剪强度指标测定时所采用的垂直荷重,必须根据土体实际受力情况来确定。

4 结 论

(1)垂直荷重对改良后膨胀土抗剪强度指标影响较大,随着垂直荷重的减小,掺砂后的膨胀土内摩擦角逐渐增大,黏聚力逐渐减小。因此,在实际工程中,测量土体抗剪强度指标时应根据设计荷重和土体实际受力情况来施加合适的垂直荷重。

(2)研究表明在各级垂直荷重下,在同一含水率状态下,黏聚力均随着掺砂比例的增大而逐渐减小,而内摩擦角均是先增大后减小;在同一掺砂比例下,黏聚力及内摩擦角均随着含水率的增大而先增大后减小。

(3)综合考虑掺砂比例和含水率对膨胀土抗剪强度指标的影响,以及实际过程中土体的受力情况,掺风化砂比例为30%,含水率控制在10%,对改良小鸦一级公路膨胀土抗剪强度指标有最好的效果。

参 考 文 献

- [1] 寸春发,鲍峰,赵勇顺,等.攀枝花地区冰期膨胀土的工程特性研究会[J].工程地质学报,2011,19(2):254~261.
Cun Chunfa, Bao Feng, Zhao Yongshun, et al. Engineering properties of expansive soil formed during glacial period at PanZhiHua area. Journal of Engineering geology, 2011,19(2):254~261.
- [2] 蔡渊,裴生虎,丁荣富.直接快剪试验条件对抗剪强度的影响[J].西部探矿工程,2003,(12):40~42.
Cai Yuan, Pei Shenghu, Ding Rongfu. The influence of direct quick shear test conditions on shear strength. West-China exploration engineering, 2003,(12):40~42.
- [3] 谭松林,黄玲,李玉花.加石灰改性后膨胀土的工程性质研究[J].工程地质学报,2009,17(3):421~425.

- Tan Songlin, Huang Ling, Li Yuhua. Study on the engineering properties of modified expansive soil mixed with lime. Journal of Engineering Geology, 2009,17(3):421~425.
- [4] 李庆鸿.新建时速200km铁路改良膨胀土路基施工技术[M].中国铁道出版社,2007,13~19.
Li Qinghong. The railway construction of expansive soil subgrade on speed of 200km. China Railway Press, 2007,13~19.
- [5] 刘清秉,项伟,崔德山.离子固化剂对膨胀土结合水影响机制研究[J].岩土工程学报,2012,10(34):1887~1895.
Liu Qingbing, Xiang Wei, Cui Deshan. Effect on ionic stabilizer on bound water of expansive soils. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012,10(34):1887~1895.
- [6] 张晨辰,刘斯宏,张学峰.膨胀土水泥改性掺灰量测定的龄期效应研究[J].南水北调与水利科技,2012,5(10):76~79.
Zhang Chenchen, Liu Sihong, Zhang Xuefeng. Age effects on EDTA titration in Detecting cement content for treatment of expansive soil. South-to-North Water Transfers and Water Scientific & Technology, 2012,5(10):76~79.
- [7] 缪林昌,刘松玉.论膨胀土的工程特性及工程措施[J].水利水电科技进展,2001,21(2):37~40.
Miao Linchang, Liu Songyu. Engineering characteristics of expansive soil and engineering measures. Water Conservancy and Hydro-power Science and Technology Progress, 2001,21(2):37~40.
- [8] 魏永耀,孙树林,郑华章.膨胀土-胶粉(ESR)强度特性室内试验研究[J].工程地质学报,2010,18(4):543~547.
Wei Yongyao, Sun Shulin, Zheng Huazhang. Laboratory tests on uniaxial of compressive strength of expansive soil rubber. Journal of engineering Geology, 2010,18(4):543~547.
- [9] 李振,刑义川,周俊.膨胀土2种不同条件下抗剪强度比较[J].水力发电学报,2009,28(1):165~170.
Li Zhen, Xing Yichuan, Zhou Jun. Comparison with shear strength of the expansive soil under two different conditions. Journal of Hydroelectric Engineering, 2009,28(1):165~170.
- [10] 王亮亮,杨思果.红黏土抗剪强度与影响因子作用机理分析[J].铁道科学与工程学报,2009,6(6):44~48.
Wang Liangliang, Yang Siguo. Effect mechanism analysis of red clay between shear strength and influential factors. Journal of Railway Science and Engineering, 2009,6(6):44~48.
- [11] 郑建龙,杨和平著.公路膨胀土工程[M].北京:人民交通出版社,2009.
Zheng Jianlong, Yang Heping. Highway expansive soil engineering. Beijing: China Communication Press, 2009.
- [12] 谭罗荣,孔令伟.膨胀土的强度特性研究[J].岩土力学,2005,7(7):1009~1013.
Tan Luorong, Kong Lingwei. The research on strength characteristic of expansive soil. Rock and Soil Mechanics, 2005,7(7):1009~1013.
- [13] 黄志全,王安明,姜彤.膨胀土的现场抗剪试验研究[J].工程地质学报,2005,13(3):361~366.
Huang Zhiquan, Wang Anming, Jiang Tong. Experimental study of expansive soil shear. Journal of Engineering Geology, 2005,13(3):361~366.