

掺砂率及初始干密度对改良膨胀土无荷膨胀率影响研究

杨俊^{1,2}, 杨志^{1,2}, 张国栋^{1,2}, 唐云伟³, 陈红萍⁴

(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, 湖北宜昌 443002; 2. 三峡大学土木与建筑学院, 湖北宜昌 443002; 3. 宜昌市交通运输局, 湖北宜昌 443002; 4. 宜昌市公路管理局, 湖北宜昌 443002)

[摘要] 本文通过室内无荷膨胀率试验,对宜昌市某一级公路改建工程项目路段的膨胀土进行了研究。重点分析了无荷膨胀率与时间、掺砂比例、初始干密度之间的关系,试验研究表明:无荷膨胀变形主要分为快速膨胀、减速膨胀和最终稳定3个阶段;在初始干密度一定时,风化砂改性土的无荷膨胀率会随着掺砂比例的增大先迅速降低然后缓慢降低,风化砂改性土的无荷膨胀率对较大的掺砂量不敏感;在相同的掺砂比例下,风化砂改性土的无荷膨胀率随着初始干密度的增大会迅速增大,它们之间有很好的线性相关性,膨胀土在进行路基填筑时,控制初始干密度有助于减小其膨胀变形,保证路基填土的稳定。

[关键词] 膨胀土;风化砂;初始干密度;掺砂比例;无荷膨胀率

[中图分类号] TU411.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742-(2014)02-0073-06

1 前言

膨胀土是一种对环境的湿热变化十分敏感的特殊土体,主要由强亲水性的蒙脱石和伊利石等黏土矿物组成,具有非常显著的胀缩性和强度衰减性。由于膨胀土具有明显的吸水膨胀、失水收缩的往返变形特征以及由原生和次生作用形成的土体中杂乱无章的裂隙,因此,膨胀土被公认为是一种“难以对付的土”^[1]。膨胀土的胀缩性是由于土颗粒中的黏土矿物成分、胶结物质成分或者是因结构特征而造成的遇水膨胀、失水收缩的特性,它是实际工程中膨胀土病害的主要根源。

要研究膨胀土胀缩特性,实质上就是要研究它的膨胀率和膨胀力,许多学者围绕这一问题展开了大量研究^[2-5],并得出:土自身的矿物成分、结构特性、初始干密度、含水率等是影响膨胀率的主要因素。

无荷膨胀率是表征膨胀土膨胀特性的一个很关键的指标,它是指在有侧限条件、无垂直荷载的情况下,待膨胀土试样吸水膨胀达到稳定后,竖直方向的膨胀量与试样初始高度之比,它能够有效地反映膨胀土浸水饱和过程中整体的膨胀潜势。为了抑制膨胀土的膨胀潜势,改善膨胀土的特性,常常需要加入改性材料对其进行改良,使之达到路基的使用性能。工程中使用比较多的改性材料是水泥、石灰、粉煤灰等^[6-10],但这些改性材料都主要是以化学改良为主,具有一定的时效性,并且水泥、石灰、粉煤灰均是粉末状,现场施工难以拌合。本文拟采用一种新型的改良方法,采用宜昌市广泛分布的风化砂对宜昌市某一级公路改建工程项目路段的膨胀土进行改良,并研究了不同的初始干密度和掺砂比例对改良膨胀土无荷膨胀率的影响规律,为风化砂用作膨胀土的改良材料提供了一定的参考与借鉴作用。

[收稿日期] 2013-07-17

[基金项目] 湖北省教育厅自然科学研究重点项目(D20131304)

[作者简介] 杨俊,1976年出生,男,湖北武汉市人,副教授,主要从事不良路基处理研究;E-mail:wangjing750301@163.com

2 试验原材料与试验方法

2.1 膨胀土的基本物理性质

试验采用湖北省宜昌市某一级公路改建项目路段的膨胀土,该膨胀土从外观上看土质均匀、颜色灰白、结构较致密、有滑感,经试验得出,天然含

水率 29.43%,有较强的黏性和可塑性。具体参数见表 1,从表 1 可以看出:膨胀土液限 70.53%,塑性 24.09%,塑性指数 46.44% $>$ 17%,故此膨胀土为高液限黏土;自由膨胀率 43%,在 40%与 60%之间,根据《膨胀土地区建筑技术规范》可以判别此膨胀土为弱膨胀土。

表 1 膨胀土的基本物理性质

Table 1 The basic physical properties of expansive soil

粒组含量/(粒径单位:mm)			液限	塑性	塑性指数	相对比重	自由膨胀率
砂粒组 2~0.075	粉粒组 0.075~0.005	黏粒组<0.005					
26.58	56.28	17.14	70.53%	24.09%	46.44%	2.71%	43%

2.2 风化砂的基本物理性质

风化砂取自此一级公路改建工程的沿线路段,颜色呈土黄色,细颗粒比较多,硬度较高并且具有一定的棱角。由表 2 可以看出:风化砂的不均匀系数为 2.84 $<$ 5,曲率系数为 0.86 $<$ 1,由此判断该风化砂为级配不良砂。

根据表 3 重型击实的试验结果,可以看出各个掺砂比例下的最佳含水率在 12%左右,因此本次试验将含水率均控制在 12%,以此配料,采用静压制样的方法控制试验土样的初始干密度,其中初始干密度分别为 1.6 g/cm³、1.7 g/cm³、1.8 g/cm³、1.9 g/cm³、2.0 g/cm³,环刀直径 61.8 mm、高 2 mm。试验如图 1 所示。

表 2 风化细砂的基本物理性质

Table 2 The basic physical properties of weathered sand

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

2.3 试验方法

试验按照《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)进行,制样前,先将膨胀土风干过 2 mm 标准筛烘干,风化砂掺量按照 0%、10%、20%、30%、40%、50%分别掺入到膨胀土中,进行重型击实试验。得出各个掺砂比例下改良膨胀土的最佳含水率和最大干密度,如表 3 所示。

表 3 风化砂改良膨胀土的最佳含水率和最大干密度

Table 3 The optimum moisture content and maximum dry density of weathered sand improved expansive soil

击实结果	掺砂比例					
	0	10%	20%	30%	40%	50%
最佳含水率/%	12.82	12.49	12.26	12.05	11.49	11.07
最大干密度/(g·cm ⁻³)	1.899	1.913	1.965	1.947	1.931	1.918



图 1 无荷膨胀率试验

Fig.1 Free load swelling rate test

3 试验结果及分析

通过室内试验研究,无荷膨胀率历时 48 h,膨胀趋于稳定,得出不同初始干密度和掺砂比例下改良膨胀土的无荷膨胀率试验结果,见表 4。

3.1 风化砂改良膨胀土无荷膨胀率与时间的关系及分析

风化砂改良膨胀土的无荷膨胀率与时间的关系曲线如图 2 所示。

表4 不同的初始干密度和掺砂比例下改良膨胀土的无荷膨胀率

Table 4 Free load swelling rate test under different initial dry density and the proportion of mixed sand improved expansive soil

掺砂比例/%	无荷膨胀率/%				
	1.6 g/cm ³	1.7 g/cm ³	1.8 g/cm ³	1.9 g/cm ³	2.0 g/cm ³
0	11.19	12.48	13.76	15.18	17.95
10	8.28	9.43	11.43	13.08	15.55
20	6.38	7.39	8.45	9.34	11.30
30	5.78	6.38	7.45	8.70	10.50
40	5.30	5.85	6.81	8.01	9.74
50	3.64	4.70	5.80	7.38	8.35

从图2可以看出无荷膨胀率随时间的变化大致分为3个阶段。

1)快速膨胀阶段。在此阶段膨胀土的无荷膨胀变形速率很快,但它的持续时间较短,并且不同初始干密度的试样等速膨胀的持续时间和速率均不相同,膨胀初期初始干密度小的膨胀变形速率最大,持续时间最短,且掺砂比例小的膨胀变形速率大于掺砂比例较大的,此阶段的膨胀率占最终膨胀率的85%左右。这是由于在膨胀变形初期,黏性土颗粒土的吸水速率很高,且在膨胀变形初期,试样的体积是一定的,当初始干密度越小时,则试样中的空隙越大,试样的渗透性越好,膨胀变形速率就越快。

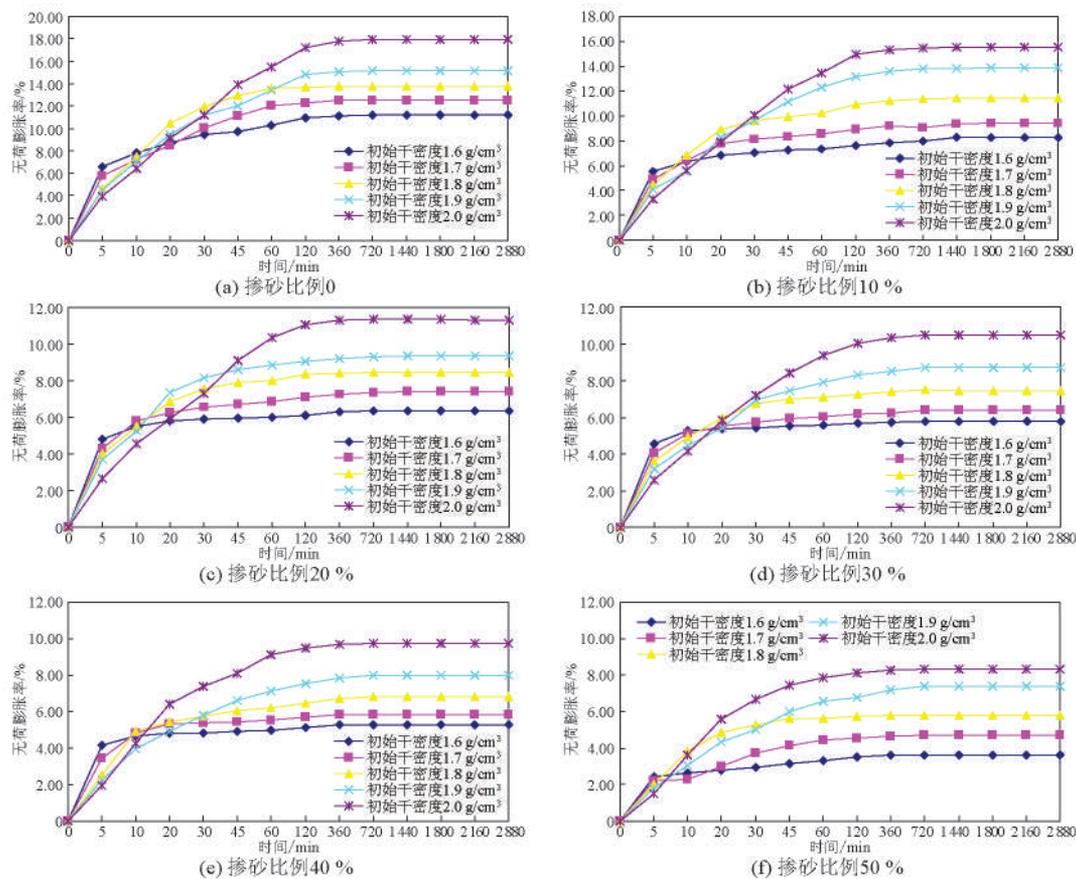


图2 无荷膨胀率与时间的关系曲线

Fig.2 The curves between free load swelling rate and time

2)减速膨胀阶段。此阶段膨胀土的变形继续增大,但其速率不断减小,它的膨胀率达到最终膨胀率的15%左右。这是由于此阶段水分逐渐充满试样内部,使其吸水速率变慢,膨胀变形速率减小。

3)稳定阶段。当膨胀土试样浸水12 h后,无荷

膨胀率与时间的关系曲线基本水平,表明此阶段的膨胀率基本保持不变,膨胀变形达到稳定。这是由于此阶段膨胀土试样已经吸水饱和,试样中的土颗粒已经膨胀完全,使此阶段的膨胀率基本保持不变。

3.2 掺砂比例对风化砂改良膨胀土无荷膨胀率影响分析

由表4中的试验结果,得到了风化砂改良膨胀土的无荷膨胀率与掺砂比例之间的关系曲线,如图3所示。

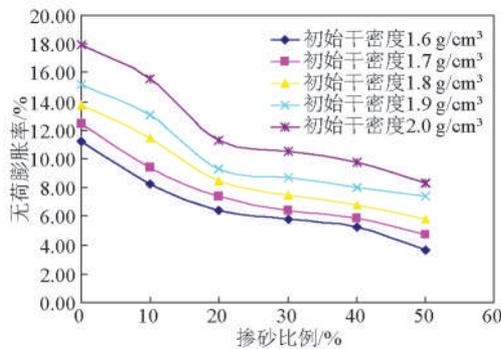


图3 无荷膨胀率与掺砂比例之间的关系曲线

Fig.3 The curves between free load swelling rate and the proportion of mixed sand

由表4和图3可以看出。

1) 风化砂可以显著降低改良膨胀土的无荷膨胀率,且掺砂比例越大,则风化砂改性土的无荷膨胀率降低得越多。表明风化砂能有效的抑制膨胀土的膨胀潜势,使之达到公路路基的使用标准。

2) 在相同的初始干密度下,风化砂改良膨胀土的无荷膨胀率随着掺砂比例的增大先迅速降低然后缓慢降低,当掺砂比例在50%时,无荷膨胀率降低在8%左右。其中,风化砂改良膨胀土的无荷膨胀率在掺砂比例0~20%降低速度最快,降低幅度在5%左右,在掺砂比例20%~50%降低速度减缓,降低幅度在2%左右。这是由于风化砂有一定的粒径和棱角,在膨胀土中掺入风化砂时,土颗粒与砂颗粒会交叉团聚在一起,风化砂的棱角会对土颗粒的膨胀产生很大阻力,以及风化砂的掺入会导致试样中的土颗粒明显减少,促使改良膨胀土的无荷膨胀率大幅度降低,这种现象在掺砂比例0~20%表现得最为显著,而当掺砂比例比较大时,改良膨胀土的无荷膨胀率降低幅度不大,也表明无荷膨胀率对较大的掺砂量不敏感。

3.3 初始干密度对风化砂改良膨胀土无荷膨胀率影响分析

由表4中的试验数据,可以得到风化砂改良膨胀土的无荷膨胀率与初始干密度之间的关系曲线,如图4所示。

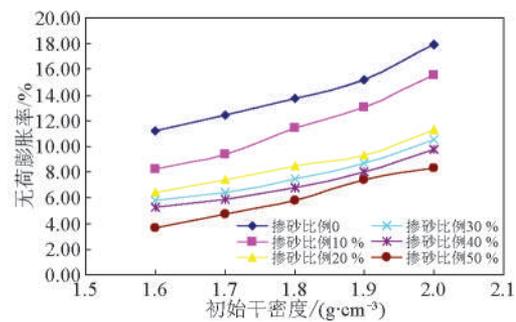


图4 风化砂改良膨胀土无荷膨胀率与初始干密度之间的关系曲线

Fig.4 The curves between free load swelling rate and initial dry density of weathered sand improved expansive soil

从表4和图2可以看出:初始干密度对风化砂改良膨胀土的无荷膨胀率有着显著影响。在掺砂比例一定时,风化砂改性土的无荷膨胀率随着初始干密度的增大而迅速增加;当掺砂比例为0时,无荷膨胀率从初始干密度1.6~2.0 g/cm³增长了6.76%;掺砂比例为10%时,无荷膨胀率从初始干密度1.6~2.0 g/cm³增长了7.28%;掺砂比例为20%时,无荷膨胀率从初始干密度1.6~2.0 g/cm³增长了4.93%;掺砂比例为30%时,无荷膨胀率从初始干密度1.6~2.0 g/cm³增长了4.73%,掺砂比例为40%时,无荷膨胀率从初始干密度1.6~2.0 g/cm³增长了4.44%;掺砂比例为50%时,无荷膨胀率从初始干密度1.6~2.0 g/cm³增长了4.71%。产生这种现象的原因是膨胀土试样在体积一定时,随着初始干密度的增大,则试样相应的压实度越大,单位体积内膨胀土的颗粒就越多,试样的膨胀变形潜势也就会越大,最终导致试样的无荷膨胀率迅速提高。

图5是在相同的掺砂比例下,改良膨胀土的无荷膨胀率与初始干密度之间的拟合关系曲线图。

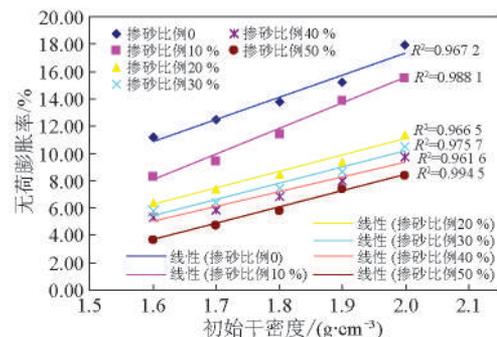


图5 改良膨胀土无荷膨胀率与初始干密度之间的拟合关系曲线

Fig.5 The fitting curves between free load swelling rate and initial dry density of weathered sand improved expansive soil

通过图5可以看出:在掺砂比例一定时,改良膨胀土的无荷膨胀率随着初始干密度的增大呈线性增长,它们之间有着很好的线性相关性,相关系数均在0.96以上,表明在进行膨胀土的路基施工时,要适当的控制其初始干密度,这样有助于减小膨胀土的膨胀率,以保证路基填土的稳定性的。

4 结语

通过不同初始干密度和掺砂比例对膨胀土无荷膨胀率的影响研究,可以得出以下结论。

1)膨胀土无荷膨胀变形主要分为3个阶段:快速膨胀阶段、减速膨胀阶段和稳定阶段,其中快速增长阶段的无荷膨胀率占总膨胀率的85%左右,减速膨胀阶段占15%。稳定阶段占0%。

2)风化砂可以有效的抑制膨胀土的膨胀潜势,使之达到使用标准;在初始干密度一定时,风化砂改良膨胀土的无荷膨胀率会随着掺砂比例的增大而显著降低,且风化砂改良膨胀土的无荷膨胀率对较大的掺砂量不敏感。

3)初始干密度对风化砂改良膨胀土的无荷膨胀率有着显著影响。在相同的掺砂比例下,风化砂改良膨胀土的无荷膨胀率随着初始干密度的增大

会迅速增大,它们之间有很好的线性相关性,因此,在进行膨胀土的路基填筑施工时,适当的控制其初始干密度,有助于减小膨胀土的膨胀率,保证路基填土的稳定性的。

参考文献

- [1] 胡 瑾,王保田,张文慧,等.无荷和有荷条件下膨胀土变形规律研究[J].岩土工程学报,2011,33(增刊1):335-338.
- [2] 黄华县,张春顺.膨胀土膨胀变形时程特性研究[J].湖南工业大学学报,2009,23(4):6-10.
- [3] 韦秉旭.侧限条件下膨胀土膨胀变形试验研究[J].公路交通科技,2007,24(10):48-52.
- [4] 饶锡保,黄 斌,吴云刚,等.膨胀土击实样膨胀特性试验研究[J].武汉大学学报(工学版),2011,44(2):211-215.
- [5] 杨 明,马晓英.皖西压实膨胀土膨胀特性试验研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2008,31(10):1688-1681.
- [6] 周葆春,孔令伟,郭爱国.荆门弱膨胀土的胀缩与渗透特性试验研究[J].岩土力学,2011,32(增2):424-430.
- [7] 刘晓义,杨有海.石灰改良膨胀土填料试验研究[J].铁道标准设计,2012,(1):20-22.
- [8] 黄 斌,聂 琼,徐言勇,等.膨胀土水泥改性试验研究[J].长江科学院院报,2009,26(11):27-30.
- [9] 李东森,夏熙临,陈丛丛,等.石灰、水泥及砂改性膨胀土工程特性的试验研究[J].南水北调与水利科技,2011,9(4):25-27.
- [10] 刘伟静,刘 冰,杨元明,等.粉煤灰改性膨胀土的试验[J].中国农村水利水电,2011,(3):94-97.

Experimental research on the mixed sand ratio and initial dry density of weathered sand improved expansive soil free load swelling rate

Yang Jun^{1,2}, Yang Zhi^{1,2}, Zhang Guodong^{1,2},
Tang Yunwei³, Chen Hongping⁴

(1. Collaborative Innovation Center of Geological Hazards and Ecological Environment in Three Gorges Area in Hubei Province, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China; 2. Civil and Architectural Institute, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China; 3. Yichang Transport Bureau, Yichang, Hubei 443002, China; 4. Yichang Highway Administration, Yichang, Hubei 443002, China)

[Abstract] Through the indoor free load swelling rate test, Yichang City, a section of a highway reconstruction project of expansive soil were studied. Key analysis free load swelling rate of a non-load time, the proportion of mixed sand, the relationship between the initial dry density, experimental studies have shown that: Free load swelling rate is mainly divided into rapid

expansion, slow expansion and eventually stabilize in three stages; during the initial dry density is constant, weathered sand soil free load swelling rate will increase the proportion of sand mixed with the rapid decrease slowly after the first lower, weathered sand soil modified free load swelling rate is not sensitive to the amount of sand mixed; in the same mixed sand ratio, weathered sand soil free load swelling rate increases with increasing initial dry density increases rapidly between them have a good linear correlation, expansive soil subgrade construction in progress when control of the initial dry density, to help reduce its swelling deformation, ensuring the stability of embankment.

[Key words] expansive soils; weathered sand; initial dry density; mixing sand ratio; free load swelling rate

(上接67页)

Numerical analysis on different lateral inlet cyclone flow field

Chen Qidong¹, Zuo Zhiquan²

(1. Changshu Institute of Technology, Changshu, Jiangsu 215500, China; 2. Changzhou University, Changzhou, Jiangsu 213016, China)

[Abstract] Numerical simulation and calculation were performed on the gas-phase flow field of the straight tangential cyclone with single entry, straight tangential cyclone with double entries, bias tangential cyclone with single entry, bias tangential cyclone with double entries, bias tangential helicoidal cyclone with single entry, bias tangential helicoidal cyclone with double entries by using RSM model. Results showed that, the pressure field and velocity field of the cyclone with double entries had better symmetry and stability; only changing the inlet angle had a limited influence on the pressure field and velocity field. When the tangential velocity distribution were similar in the six kinds of cyclone studied in this article, compared with other cyclones', the pressure drop of the bias tangential helicoidal cyclone decreased about 25%; the inlet total pressure needed was about 17% lower; the energy consumption dropped about 17%. Moreover, bias tangential helicoidal cyclone with double entries (XS-L type) had a better energy efficiency ratio, and its performance was the most excellent.

[Key words] cyclone; lateral inlet; pressure drop; inlet total pressure; energy consumption