

初始含水率对风化砂改良膨胀土有荷膨胀率影响研究

杨俊^{*1,2}, 刘世宜^{1,2}, 张国栋^{1,2}, 唐云伟³, 谢支钢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 443000;
4. 小鸦一级公路改建工程项目部, 湖北 宜昌 443100)

摘要:探讨了利用风化砂作为改良材料抑制膨胀土吸水膨胀特性的可行性与改良效果, 试验研究了风化砂掺量对改良膨胀土各项膨胀指标的影响, 深入分析了在膨胀土中掺入不同比例的风化砂, 改变混合料的初始含水率对有荷膨胀率的影响规律. 研究表明: 掺风化砂可以有效抑制膨胀土的吸水膨胀, 增加风化砂的掺量, 膨胀性指标参数会出现较为明显的降低; 在同一初始含水率状态下, 风化砂的掺入比例从0增加到10%, 有荷膨胀率下降的幅度最大. 改良膨胀土的有荷膨胀率随着初始含水率的增加呈指数函数下降, 当初始含水率小于最佳含水率时, 有荷膨胀率随着初始含水率的增加, 出现比较明显的降低; 当初始含水率大于最佳含水率时, 如果继续增大初始含水率, 有荷膨胀率的降低则表现不明显. 当初始含水率相同时, 在较大的上覆荷载作用下, 掺风化砂对有荷膨胀的抑制效果较好.

关键词: 膨胀土; 风化砂; 初始含水率; 有荷膨胀率

中图分类号: TU443

文献标识码: A

doi: 10.7511/dllgxb201506009

0 引言

膨胀土是在自然地质过程中形成的一种工程性质极差的特殊黏土, 在我国分布十分广泛, 主要由强亲水性矿物伊利石和蒙脱石组成, 具有多裂隙性、超固结性、强度衰减性以及显著的胀缩特性, 被誉为“工程中的癌症”. 膨胀土对路基的危害主要体现在其强烈胀缩特性上: 吸水时路基发生膨胀, 体积增大, 造成路面的隆起开裂; 失水时, 体积收缩的同时产生干缩裂缝, 严重影响了路基及路面的整体稳定性. 膨胀土的特殊组成, 导致其膨胀特性对初始含水率的变化尤为敏感, 随着初始含水率的变化, 膨胀特性往往会发生较大的改变. 关于膨胀土的膨胀变形随初始含水率的变化规律, 国内外学者进行了大量的试验研究. 章李坚等^[1]通过对不同初始含水率下成都龙潭寺膨胀土胀缩特性的研究, 发现随着初始含水率的增加, 试样膨胀率呈非线性降低, 当初始含水率达到其胀

限, 膨胀率降低幅度明显减小. 代启亮等^[2]研究了初始含水率对扰动土膨胀率的影响, 发现有荷膨胀率及无荷膨胀率均随着初始含水率的增大而呈幂函数或指数函数减小且初始含水率越小, 试样膨胀稳定时所需的时间越短. Lin等^[3]发现膨胀土的有荷膨胀率与上覆荷载之间满足指数函数关系. 通过这些研究可以发现, 大多数研究只是针对原状土, 对于改良膨胀土在不同初始含水率下的膨胀特性研究得较少. 现行的路基规范明确规定, 不得将膨胀土直接用作路基填料, 只有进行改良处理才能使用^[4]. 在膨胀土众多膨胀指标之中, 有荷膨胀率是最具有工程指导意义的一项, 表征在一定的上覆荷载及侧限条件下, 膨胀土吸水膨胀的强弱, 能够较为真实地模拟路基实际受荷状态. 因此研究不同初始含水率下改良膨胀土的有荷膨胀率具有十分重大的工程实际意义.

目前对膨胀土的处理多使用化学改良方法,

例如在膨胀土中掺入石灰、水泥、粉煤灰等化学材料^[6]. 事实证明, 化学改良后, 膨胀土的膨胀特性有了显著的改善, 效果较好. 但是化学改良也有着诸多不足, 例如化学改良一般都具有时效性, 随着使用年限的增长, 改良效果会逐渐降低, 同时化学改良的工程投入费用也比较巨大^[6-10]. 针对化学改良方法的不足, 本文采用掺风化砂这一物理手段对膨胀土进行改良处理, 降低膨胀土的膨胀特性, 着重探讨风化砂掺量及不同的初始含水率对改良膨胀土有荷膨胀率的影响规律, 为采用风化

砂来改良膨胀土提供室内试验依据.

1 试验原材料

1.1 试验用膨胀土

本次试验取用的膨胀土来自湖北省宜昌市小鸦一级公路改建工程的 K25+000 点附近取土坑, 颜色以灰白色为主, 夹杂灰绿色土团粒. 天然状态下, 含水量较高, 黏性较大; 干燥状态时, 裂隙广泛发育. 各项基本物理性质指标如表 1 所示.

表 1 膨胀土的基本物理性质指标

Tab. 1 The basic physical property index of expansive soil

粒组含量/%			自由膨胀率/%	液限 ω_l /%	塑限 ω_p /%	塑性指数 I_p
2~0.075 mm	0.075~0.005 mm	<0.005 mm				
26.58	56.28	17.14	43	70.53	24.09	46.44

1.2 试验用风化砂

本试验所采用的风化砂(湖北省宜昌市小鸦一级公路改建工程 K22+000 点附近深度 2~3 m), 为浅黄色细砂, 其基本物理性质指标及颗粒级配曲线分别见表 2 和图 1.

表 2 风化砂基本物理性质指标
Tab. 2 The basic physical property index of weathered sand

天然含水率/%	天然密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	重力密度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	活性指数	土颗粒相对密度
13.64	1.65	16.17	0.31	2.46

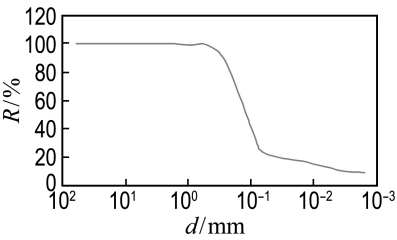


图 1 风化砂颗粒级配曲线

Fig. 1 The grading curve of weathered sand particle

通过图 1 可以发现, 0.500~0.075 mm 的风化砂含量达到了 88.5%, 不均匀系数 $2.84 < 5$, 级配不良.

2 试验方案

本试验依照《公路土工试验规程》(JTG E40—

2007) 的有关规定步骤来进行, 重型标准击实试验采用干土法, 测定有荷膨胀率时采用双联固结仪进行. 文中风化砂的掺量指的是风化砂的质量占膨胀土与风化砂总质量的百分比. 本次试验将风化砂按质量比由 0 以 10% 的间隔增加到 50%. 按照规范的有关规定, 依照室内重型标准击实试验得出最佳含水率, 依次进行不同掺砂比例下的各个膨胀性指标试验, 探讨风化砂掺量对改良膨胀土膨胀性指标的影响. 在进行不同初始含水率下改良膨胀土的有荷膨胀率试验研究时, 不同比例风化砂改良膨胀土的混合料的初始含水率依次按照 8%、10%、12%、14%、16% 来配料^[11-13]. 试验开始之前, 将风干的膨胀土与风化砂分别碾碎过 2 mm 标准筛, 按照预定的风化砂掺入比例和上述初始含水率进行试样制作, 在塑料袋中密封 24 h 后, 采用千斤顶进行静压制作试样. 制样完毕后, 将样品置于双联固结仪中, 结合规范要求以及实际工程总路基土所受的上覆荷载, 按照规范要求分别施加 25.0 kPa 和 50.0 kPa 上覆荷载, 分析初始含水率对有荷膨胀率的影响规律. 然后进行 37.5 kPa 和 75.0 kPa 下的有荷膨胀率试验, 对所得规律进行验证. 试验时待试样每 h 变形不超过 0.01 mm 时, 向容器中注入蒸馏水, 并始终保持水面超过土顶面约 5 mm, 浸水后每隔 2 h 测记百分表读数一次, 直至两次差值不超过 0.01 mm 为

止. 本试验分两组进行平行试验,对试验结果进行分析,取合格的数据,计算其算术平均值,以此作为试验的最终结果.

3 结果与分析

3.1 风化砂改良膨胀土标准击实及膨胀率试验

参考《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)中的要求,进行不同风化砂掺量下的重型击实、自由膨胀率、无荷膨胀率、有荷膨胀率及膨胀力试验,试验结果见表 3.

表 3 风化砂改良膨胀土击实指标及膨胀指标
Tab. 3 The compaction index and inflation index of weathered sand improved expansive soil

风化砂掺量/%	膨胀指标					击实指标	
	自由膨胀率/%	无荷膨胀率/%	膨胀力/kPa	有荷膨胀率/%		最佳含水率/%	最大干密度/(g·cm ⁻³)
				25.0 kPa	50.0 kPa		
0	43.5	9.39	72.54	2.34	0.42	12.82	1.899
10	31.0	8.74	45.08	1.98	0.26	12.49	1.913
20	26.0	8.34	36.45	1.67	0.22	12.26	1.965
30	20.5	7.78	29.79	1.55	0.17	12.05	1.947
40	19.0	7.43	23.03	1.47	0.12	11.49	1.931
50	17.0	6.83	11.23	1.32	0.09	11.07	1.918

由表 3 中的数据可以看出:未经改良的膨胀土各项膨胀指标均较大,超过了规范中对路基填料的要求^[14]. 掺风化砂改良后膨胀指标均显著降低,这说明掺风化砂可以有效抑制膨胀土的膨胀,且效果较好. 其中风化砂掺量由 0 增长至 10% 时,自由膨胀率、无荷膨胀率及膨胀力降低幅度最大;继续加大风化砂的掺入比例,所有膨胀性参数的减小幅值均逐渐下降. 膨胀土中掺入风化砂进行改良后,膨胀土击实指标有较大的变化,其中最佳含水率随着风化砂掺量的增加而逐渐减小,且降低幅度较为明显,这是由于掺入风化砂后,土体内部孔隙增加导致保水性降低所致.

3.2 初始含水率对风化砂改良膨胀土有荷膨胀率影响

依据试验得出的风化砂掺量及初始含水率制样后,将试件置于双联固结仪中,进行上覆荷载 25.0 kPa 和 50.0 kPa 下的有荷膨胀率试验,通过一系列的室内试验研究,得到了不同初始含水率

及不同风化砂掺量下膨胀土的有荷膨胀率,见表 4 和 5.

表 4 不同初始含水率及不同风化砂掺量下的有荷膨胀率(25.0 kPa)

Tab. 4 The loaded expansion ratio under different initial water contents and weathered sand contents (25.0 kPa)

风化砂掺量/%	有荷膨胀率/%				
	8%	10%	12%	14%	16%
0	5.78	4.33	2.18	1.37	1.05
10	4.22	2.64	1.91	1.12	0.72
20	3.75	2.13	1.28	0.83	0.51
30	2.30	1.33	1.02	0.52	0.43
40	1.54	0.94	0.73	0.38	0.25
50	1.14	0.41	0.31	0.12	0.04

表 5 不同初始含水率及不同风化砂掺量下的有荷膨胀率(50.0 kPa)

Tab. 5 The loaded expansion ratio under different initial water contents and weathered sand contents (50.0 kPa)

风化砂掺量/%	有荷膨胀率/%				
	8%	10%	12%	14%	16%
0	4.65	3.47	1.83	1.12	0.83
10	2.97	1.59	0.92	0.52	0.38
20	2.07	1.11	0.65	0.31	0.22
30	1.63	0.80	0.50	0.17	0.09
40	0.98	0.59	0.32	0.10	0.03
50	0.63	0.32	0.20	0.02	-0.01

有荷膨胀率 α 按下式计算:

$$\alpha=\frac{R_t+R_p-R_0}{H_0}\times100\%$$

式中: R_t 为上覆荷载作用下试件膨胀稳定时的百分表读数,mm; R_p 为上覆荷载作用下仪器的变形量,mm; R_0 为施加上覆荷载前百分表读数,mm; H_0 为试件初始高度,mm.

由表 4、5 可知:

(1)初始含水率显著地影响了经风化砂改良后的膨胀土,其有荷膨胀率表现出明显的改变. 当增大混合料的初始含水率时,有荷膨胀率逐渐减小,这是由于初始含水率增加,土颗粒表面吸附的水膜变厚,导致的膨胀潜势降低所致.

(2)初始含水率较低时所对应的有荷膨胀率

远大于最佳含水率状态下所对应的值,这是因为初始含水率较低时,土颗粒处于较为干燥的状态且周围吸附的水膜较少,因而具有较大的膨胀潜力。初始含水率由 8% 增长至最佳含水率时,有荷膨胀率降低幅度较大,其中当风化砂掺量为 0、上覆荷载为 25.0 kPa 时,有荷膨胀率降低最为显著,达 3.60%。由此可知,风化砂改良膨胀土路基压实时,应严格控制压实含水量。如果初始含水率大于最佳含水率,继续增大初始含水率时,有荷膨胀率下降幅度逐渐减小,这是因为随着含水率的增大,土颗粒逐渐吸水膨胀且表面的水膜厚度增加,致使膨胀潜力不断释放,导致下降的幅度不断减小。若持续增加初始含水率,有荷膨胀率已基本趋于稳定,产生这一现象的原因是:当初始含水率达到 16% 时,公共水膜较厚,土颗粒已处于基本饱和的状态,在进行膨胀试验前就已经充分吸水膨胀,因此本身所具有的膨胀潜力很小^[15-16]。

(3)从表中可以发现,随着掺砂比例的增大,有荷膨胀率随初始含水率的变化逐渐趋于平缓,这是因为掺入风化砂之后,土体的孔隙比增加,保水性降低,使得土颗粒周围的水膜厚度变化幅度不大,膨胀潜力受初始含水率变化的影响较小。

从表中还可以看出,风化砂掺量一定时,有荷膨胀率 α 与初始含水率 w_i 呈指数函数关系,回归方程为

$$\alpha = A \cdot e^{Bw_i}$$

式中: A 、 B 为拟合参数,具体见表 6。

表 6 不同风化砂掺量下有荷膨胀率与初始含水率指数关系的回归参数 A 、 B 及 R^2

Tab. 6 The regression parameters A , B and R^2 between loaded expansion ratio and initial water content under different weathered sand contents

风化砂 掺量/%	25.0 kPa			50.0 kPa		
	A	B	R^2	A	B	R^2
0	36.96	-0.23	0.978	30.23	-0.23	0.984
10	24.66	-0.22	0.996	22.36	-0.26	0.989
20	25.86	-0.25	0.998	20.06	-0.29	0.991
30	12.23	-0.21	0.975	32.58	-0.37	0.987
40	9.63	-0.23	0.987	42.49	-0.44	0.964
50	27.19	-0.40	0.972	72.94	-0.55	0.933

当初始含水率一定时,有荷膨胀率 α 随风化

砂掺量 S 的变化曲线如图 2 所示。

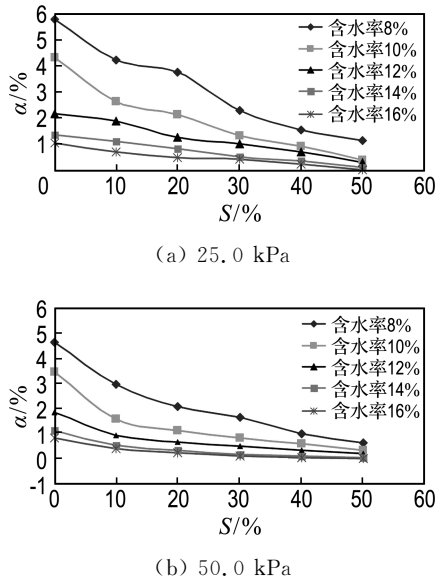


图 2 有荷膨胀率随风化砂掺量的变化曲线

Fig. 2 The relation curve between loaded expansion ratio and weathered sand content

由图 2 可知:

(1)在相同的初始含水率状态下,增加风化砂的掺量可以使有荷膨胀率不断减小,且减小的幅度通常也比较大。这是因为风化砂掺入后,增大了颗粒间的嵌挤咬合力,抑制了膨胀的发生,同时土体孔隙率增加,减小了土颗粒表面的水膜厚度,膨胀潜力降低,故有荷膨胀率大幅下降^[5],这说明掺风化砂可以有效抑制膨胀土的吸水膨胀。当风化砂掺量由 0 增长至 10% 时,有荷膨胀率降低幅度最大,其中在上覆荷载为 50.0 kPa,掺砂比例为 10% 时,降低幅度达到了 1.88%。同时可以发现,50.0 kPa 下有荷膨胀率的降低幅度均大于 25.0 kPa 下的降低幅度。当风化砂掺量继续增加时,有荷膨胀率降低幅度逐渐减小。

(2)若初始含水率较大,随着掺入的风化砂含量的增大,混合料的有荷膨胀率渐渐趋于稳定,达到某一基本固定的值。产生这种变化的原因是,初始含水率过大,使得土颗粒已处于准饱和状态,膨胀潜力基本上都已释放完全,此时土体本身的膨胀率就较低,风化砂掺量对其影响不大。

在非标准上覆荷载(37.5 kPa 和 75.0 kPa)作用下,对混合料的有荷膨胀率展开试验,结果如表 7、8 所示。

表 7 改变初始含水率下的有荷膨胀率(37.5 kPa)

Tab. 7 The loaded expansion ratio under different initial water contents (37.5 kPa)

风化砂 掺量 / %	有荷膨胀率 / %				
	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %
0	5.20	3.85	1.98	1.22	0.92
10	3.61	2.31	1.40	0.78	0.55
20	2.93	1.60	0.98	0.59	0.36
30	1.98	1.08	0.76	0.33	0.28
40	1.24	0.79	0.63	0.22	0.16
50	0.88	0.38	0.27	0.05	0.02

表 8 改变初始含水率下的有荷膨胀率(75.0 kPa)

Tab. 8 The loaded expansion ratio under different initial water contents (75.0 kPa)

风化砂 掺量 / %	有荷膨胀率 / %				
	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %
0	3.85	2.67	1.45	0.90	0.72
10	2.54	1.32	0.88	0.43	0.15
20	1.67	0.82	0.35	0.25	0.09
30	1.25	0.65	0.28	0.11	0.01
40	0.63	0.25	0.08	-0.08	-0.11
50	0.51	0.12	0.03	-0.10	-0.21

从表 7 和 8 中的试验数据可以看出,在非标准上覆荷载(37.5 kPa 和 75.0 kPa)作用下,风化砂改良膨胀土的有荷膨胀率随初始含水率及风化砂掺量的变化规律与上文中所得出的结论相似:在同一风化砂掺量下,当初始含水率由 8%增长至 12%时,有荷膨胀率降低幅度最大,且有荷膨胀率与初始含水率仍表现出指数函数的关系;当初始含水率相同时,有荷膨胀率在风化砂掺入比例从 0 增加到 10%时,降低幅度最大。

定义 ξ 为有荷膨胀率降低幅度:

$$\xi=\frac{\alpha_0-\alpha_{50\%}}{\alpha_0}\times 100\%$$

式中: α_0 为某一初始含水率下,原状土的有荷膨胀率,%; $\alpha_{50\%}$ 为某一初始含水率下,风化砂掺量为 50%时的有荷膨胀率,%。

比较不同上覆荷载下的有荷膨胀率变化情况(图 3)可以发现,增大风化砂改良膨胀土的初始含水率时,混合料的有荷膨胀率下降的幅值先增大后减小.当混合料的初始含水率大于最佳含水率时,有荷膨胀率下降的幅度又逐渐增大.当风化

砂掺量一定时,随着上覆荷载的提高,有荷膨胀率的降低幅度逐渐增大,这说明在较大的上覆荷载作用下,风化砂对膨胀性的抑制效果较好。

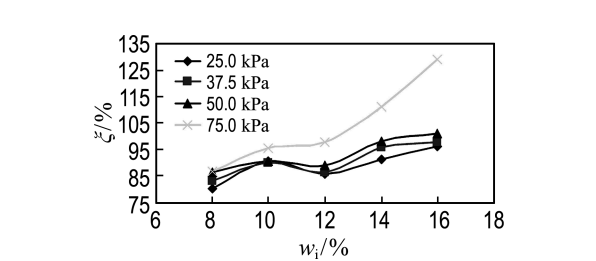


图 3 不同初始含水率下有荷膨胀率降低幅度

Fig. 3 The reduction magnitude of loaded expansion ratio under different initial water contents

4 结 论

(1)风化砂掺入膨胀土中,能显著抑制膨胀土的吸水膨胀,掺风化砂改良后膨胀指标均显著降低,达到了规范中对路基填料的要求。

(2)在同一风化砂掺量下,增大混合料的初始含水率,其有荷膨胀率逐渐减小,且二者满足很好的指数函数关系.当初始含水率低于最佳含水率时,增大初始含水率,有荷膨胀率会出现较大幅度降低;当初始含水率超过最佳含水率时,有荷膨胀率降低不明显.因此,从减小膨胀的角度出发,建议在进行风化砂改良膨胀土路基压实时,应控制土体含水率等于或略大于(1%~2%)最佳含水率。

(3)在同一初始含水率下,有荷膨胀率随着风化砂掺量的增加而逐渐下降,且当风化砂掺量由 0 增长至 10%时,有荷膨胀率降低幅度最大.当初始含水率过大时,风化砂掺量对有荷膨胀率的影响较小。

(4)随着初始含水率的增大,有荷膨胀率降低幅度呈现先增大后减小再继续增大的过程,在较大的上覆荷载作用下,风化砂对膨胀性的抑制效果较好。

参考文献:

[1] 章李坚,郭永春,代 聪,等. 含水率对膨胀土胀缩性能影响的试验研究[J]. 工程地质学报, 2012, 20(s):108-112.

- ZHANG Li-jian, GUO Yong-chun, DAI Cong, *et al.* Experimental study on water content on swelling-shrink-age properties of expansive soil [J]. **Journal of Engineering Geology**, 2012, **20**(s):108-112. (in Chinese)
- [2] 代启亮,王春林,孙飞,等.不同初始含水率对扰动膨胀土的影响研究[J].水电能源科学,2008, **26**(5):65-67,174.
- DAI Qi-liang, WANG Chun-lin, SUN Fei, *et al.* Study on different initial moisture's effect on expansive soil [J]. **Water Resources and Power**, 2008, **26**(5):65-67, 174. (in Chinese)
- [3] LIN Bo-tao, Cerato A. Hysteretic soil water characteristics and cyclic swell - shrink paths of compacted expansive soils [J]. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 2013, **72**(1):61-70.
- [4] 黄斌,饶锡保,王章琼,等.考虑状态含水率和密度的膨胀土膨胀模型试验研究[J].岩土力学,2011, **32**(s1):397-402.
- HUANG Bin, RAO Xi-bao, WANG Zhang-qiong, *et al.* Experimental study of expansion model of expansive soil considering state water content and density [J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2011, **32**(s1):397-402. (in Chinese)
- [5] 姚华彦,吴云刚,黄斌.侧限条件下膨胀土膨胀试验研究[J].水电能源科学,2010, **28**(7):40-43.
- YAO Hua-yan, WU Yun-gang, HUANG Bin. Experimental study on swelling characteristics of expansive soil under lateral restricted conditions [J]. **Water Resources and Power**, 2010, **28**(7):40-43. (in Chinese)
- [6] 范臻辉,王永和,肖宏彬.南宁膨胀土膨胀变形规律的试验与研究应用[J].铁道学报,2007, **29**(1):86-89.
- FAN Zhen-hui, WANG Yong-he, XIAO Hong-bin. Experimental and applied research on swelling laws of Nanning expansive soil [J]. **Journal of the China Railway Society**, 2007, **29**(1):86-89. (in Chinese)
- [7] 李志清,余文龙,付乐,等.膨胀土胀缩变形规律与灾害机制研究[J].岩土力学,2010, **31**(s2):270-275.
- LI Zhi-qing, YU Wen-long, FU Le, *et al.* Research on expansion and contraction rules and disaster mechanism of expansive soil [J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2010, **31**(s2):270-275. (in Chinese)
- [8] 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**(s1):335-338.
- HU Jin, WANG Bao-tian, ZHANG Wen-hui, *et al.* Deformation trends of expansive soils under free and loading condition [J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2011, **33**(s1):335-338. (in Chinese)
- [9] Ito Maki, Azam Shahid. Determination of swelling and shrinkage properties of undisturbed expansive soils[J]. **Geotechnical and Geological Engineering**, 2010, **28**(4):413-422.
- [10] Azam Shahid, Shah Imran, Raghunandan M E, *et al.* Study on swelling properties of an expansive soil deposit in Saskatchewan, Canada [J]. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 2013, **72**(1):25-35.
- [11] 王顺,李涛涛,王林,等.南阳压实膨胀土膨胀变形规律研究[J].水利水运工程学报,2011(3):36-41.
- WANG Shun, LI Tao-tao, WANG Lin, *et al.* Research on deformation disciplines of compacted expansive soil in Nanyang [J]. **Hydro-Science and Engineering**, 2011(3):36-41. (in Chinese)
- [12] 杨和平,张锐,郑健龙.有荷条件下膨胀土的干湿循环胀缩变形及强度变化规律[J].岩土工程学报,2006, **28**(11):1936-1941.
- YANG He-ping, ZHANG Rui, ZHENG Jian-long. Variation of deformation and strength of expansive soil during cyclic wetting and drying under loading condition [J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2006, **28**(11):1936-1941. (in Chinese)
- [13] Ene E, Okagbue C. Some basic geotechnical properties of expansive soil modified using pyroclastic dust [J]. **Engineering Geology**, 2009, **107**(1-2):61-65.
- [14] 张福海,王保田,刘汉龙.压实膨胀土路基的膨胀变形规律研究[J].岩土力学,2010, **31**(1):206-210.
- ZHANG Fu-hai, WANG Bao-tian, LIU Han-long. Research on deformation disciplines of compacted

expansive soils [J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2010, **31**(1):206-210. (in Chinese)

[15] 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. HUANG Bin, NIE Qiong, XU Yan-yong, *et al.* Experimental research on cement-modification of expansive soil [J]. **Journal of Yangtze River Scientific Research Institute**, 2009, **26**(11):27-30. (in Chinese)

[16] 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 Song-lin, HUANG Ling, LI Yu-hua. Engineering properties of expansive soil mixed with lime at Yichang-Jingmen expressway [J]. **Journal of Engineering Geology**, 2009, **17**(3):421-425. (in Chinese)

Study of impact of initial water content on loaded expansion ratio of expansive soil improved by weathered sand

YANG Jun^{*1,2}, LIU Shi-yi^{1,2}, ZHANG Guo-dong^{1,2}, TANG Yun-wei³, XIE Zhi-gang⁴

- (1. Collaborative Innovation Center of Geological Hazards and Ecological Environment in Three Gorges Area in Hubei Province, China Three Gorges University, Yichang 443002, China;
2. Civil and Architectural Institute, China Three Gorges University, Yichang 443002, China;
3. Yichang Transport Bureau, Yichang 443000, China;
4. From Xiaoxita to Yaqueling First-Class Highway Rebuilding Engineering Project Management Center, Yichang 443100, China)

Abstract: Using weathered sand as improved materials, the feasibility of suppressing swelling characteristics of expansive soil and the improvement effects were explored, the impact of weathered sand content on the expansion ratio of expansive soil was studied, and the impacts of different contents of water and weathered sand on the loaded expansion ratio were analyzed. The research results show that the weathered sand can effectively suppress swelling of expansive soils, and with the increasing of the weathered sand dosage, the decreasing magnitude of swelling index is enhanced. At the same initial water content, within 0 to 10% of weathered sand content, the decreasing magnitude of the loaded expansion ratio is the largest. The loaded expansion ratio decreases as exponential function with the increasing of initial water content, and when the initial water content is less than the optimum water content, the loaded expansion ratio decreases obviously with the increasing of the initial water content. When the initial water content is larger than the optimum water content, there is no obvious decreasing of loaded expansion ratio with the increasing of the initial water content. When the initial water content is the same, the larger the overlying loads are, the better the suppressing effect is for loaded expansion mixed with weathered sand.

Key words: expansive soil; weathered sand; initial water content; loaded expansion ratio