

填埋场压实粘土衬垫防干裂试验研究

黄婉荣¹ 郭志平²

(1. 北京市勘察设计院 北京 100038 ;2. 河海大学土木工程学院 江苏 南京 210098)

摘要 对加不同砂量的粘土、砂土混合土料进行颗粒分析试验、击实试验、三轴渗透试验和体积收缩试验,研究加砂量对渗透系数、体积收缩率的影响.试验结果表明:当粘土中加砂量为 30%~40%时,混合土料击实后可同时获得低透水性和低收缩势,从而可较好地解决填埋场施工过程中压实粘土衬垫的干裂问题;当土料防渗、收缩特性在低压实能下不能满足要求时,可通过提高压实能加以改善.

关键词 固体废弃物填埋场;压实粘土衬垫;干裂;渗透系数;体积收缩率

中图分类号:TU411 文献标识码:A 文章编号:1000-198X(2000)06-0019-04

在城市固体废弃物填埋工程中,用于填筑防渗衬垫的粘土,通常均在比最优含水量 W_{op} 稍湿的情况下堆填和压实,以使压实粘土施工时的透水性最低^[1].然而,在比较干旱的地区,这种做法可能适得其反.因为在湿于 W_{op} 时压实的粘土失水干燥时会产生更大的裂缝,从而在衬垫内形成透水通道,使衬垫不能发挥正常的防渗功能.粘性土产生干裂的根本原因在于收缩,收缩势越大,产生的干裂缝也越大.因此,为了解决高收缩势和低渗透性这对矛盾,必须找到一种合适的途径,使土既具有较低的渗透性,又具有较小的收缩势.国外学者认为,在粘土中加砂是一种比较经济可行的方法.我国土石坝工程防渗土料中用过类似的方法,防渗性能良好^[2,3],但干裂缝的问题没有得到足够的重视.本文通过一系列室内试验,研究加砂量对渗透系数、体积收缩率的影响,建立适用于卫生填埋场衬垫系统防渗土的适宜加砂量范围.其成果对国内填埋场工程土质衬垫的设计具有一定的指导意义和参考价值.

1 土料来源和混合料组成

1.1 土料来源

试验所用两种土料均取自江苏南京某地,其工程分类分别为中液限粘土(或亚粘土)和不良级配砂.粘土基本物性参数见表 1,粘土、砂土颗粒分析结果见图 1.

1.2 混合土料组成

试验采用加砂量分别为 10%、20%、30%、40%、50% 的 5 种混合土料(加砂量系指砂土占整个混合土料的重量百分比,下同).混合土料的颗粒分析曲线见图 2.由土料颗粒分析曲线可算得不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c ,从而评价土料的级配情况,结果见表 2.

表 2 各土料的级配情况
Table 2 Gradation of sand, clay and mixed soils

土类名称	砂土	粘土	不同加砂量的混合土				
			10%	20%	30%	40%	50%
不均匀系数 C_u	3.57	4.29	4.67	5.63	9.41	55.56	131.58
曲率系数 C_c	1.37	0.87	0.75	0.71	0.53	0.12	0.076
级配评价	不良	不良	不良	不良	较好	不良	不良

2 试验方案

2.1 击实试验

本文采取了轻重两种击实能,对素粘土及 5 组混合土料进行击实试验,得击实曲线,分析加砂量对 W_{op} 和 ρ_{dmax} 的影响,并考虑击实能的影响.

收稿日期:1999-06-30
作者简介:黄婉荣(1973—),女,安徽金寨人,硕士,岩土工程专业,主要从事环境土工方面的研究.

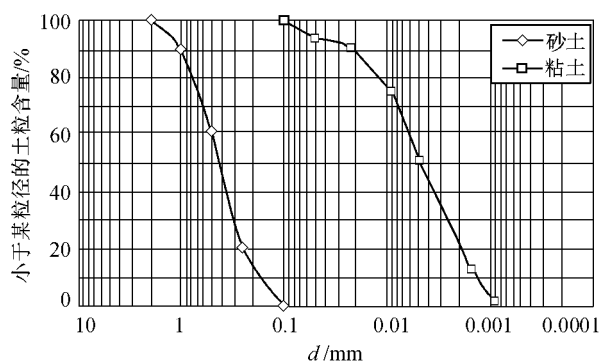


图1 砂土、粘土颗粒分析曲线

Fig.1 Gradation curves of sand and clay

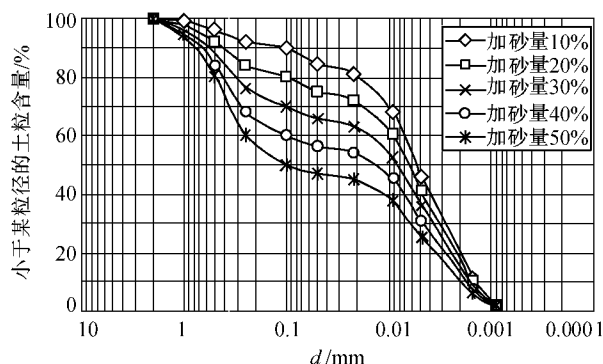


图2 混合土料颗粒分析曲线

Fig.2 Gradation curves of mixed soils

2.2 渗透试验

为克服常规渗透仪不考虑应力状态、容易产生侧壁(刚性壁)渗漏、不能测定土体的饱和度等缺陷,本文采用三轴仪进行渗透试验,即对土样施加围压,使土样固结完成、孔压完全消散后再施加渗水压力,使其在围压作用下发生渗流。试验装置由一台普通的三轴压力室、孔压量测系统、围压系统、排水系统和施加渗水压力系统组成(若土样饱和度不够,可用反压力系统使土样饱和),如图3所示。试验的步骤为:试样饱和→安装试样→用孔压系统测饱和度(若不饱和则施加反压力)→施加围压 σ_3 →固结(至少12h)→施加渗水压力→读排水管读数。试样的制备含水量和干密度按照击实试验确定的击实曲线加以控制,含水量为 $W_{op}+2$ (比 W_{op} 大2个百分点),干密度为击实曲线上 $W_{op}+2$ 对应的干密度。为便于分析, K 值按规范^[4]统一换算为20℃的渗透系数 K_{20} 值。

2.3 体积收缩试验

本试验的组数同渗透试验,含水量和干密度制备标准同渗透试验。收缩土样为圆柱形,面积 $A=30\text{ cm}^2$,高 $H=4\text{ cm}$,体积 $V=120\text{ cm}^3$ 。按照制备标准制完试样后,将试样放在室内自然风干,直至体积不再收缩(一般需一周左右),再用游标卡尺量试样收缩后的直径、高度,每次测量4个部位,取平均值,计算收缩后的体积,并测风干含水量。体积收缩率 $\varepsilon_s=(V_0-V_s)/V_0\times 100\%$ (V_0 ——试样原体积(环刀容积); V_s ——风干后土的体积)。

3 加砂量对击实曲线的影响

3.1 W_{op} 的变化规律

由图4可见,粘土中加砂后, W_{op} 随加砂量的增加而减小。由于砂土不具有塑性,粘土中加砂后使混合土料的塑性减小,而土的最优含水量与其塑性有关,从而使混合土料的 W_{op} 减小。事实上,决定混合土料 W_{op} 的主要因素在于粘土的含水量,而不是砂土的含水量,也不是混合土料的含水量。

3.2 ρ_{dmax} 的变化规律

由图5可见,随着加砂量的增加, ρ_{dmax} 的总体趋势是先增加后减小。粘土中加砂,导致混合土料的压实 ρ_{dmax} 发生变化。其原因在于(a)砂土密度本身比粘土大,若孔隙比相同,则单位体积的粘土、砂土混合土料比单位体积的粘土重(b)粘土中加砂后,使得击实 W_{op} 减小,而 $\rho_{dmax}=\rho/(1+W_{op})$,从而使 ρ_{dmax} 增大(c)粘土中加砂后,使得混合土料的颗粒组成发生变化(图2),改变了土体的孔隙比,而 $\rho_{dmax}=G_s\rho_w/(1+e)$,从而使 ρ_{dmax} 发生变化。当加砂量不大时,砂土对土体只起填充作用,土体 ρ_{dmax} 的增加是(a)(b)共同作用的结果;随着加砂量的继续增加(a)(b)(c)三个因素同时作用使土体 ρ_{dmax} 继续增大;当加砂量超过一定值(本试验为40%)时,土料属不良级配,砂土在混合土料中起骨架作用,含量较少的粘土颗粒不足以填充砂粒间的孔

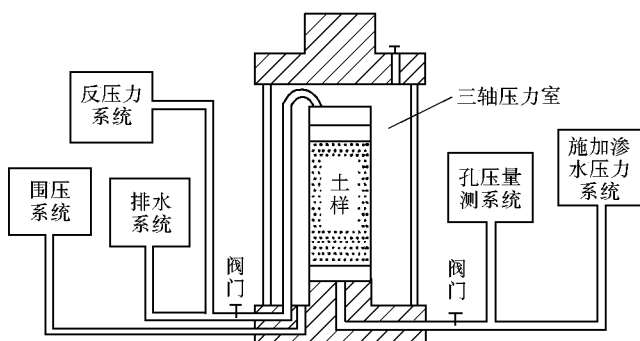


图3 三轴渗透试验装置示意图

Fig.3 Triaxial permeability test apparatus

隙,即使(a)(b)引起的 ρ_{dmax} 增加也不足以抵消由(c)引起的 ρ_{dmax} 减小,从而使 ρ_{dmax} 表现为减小.

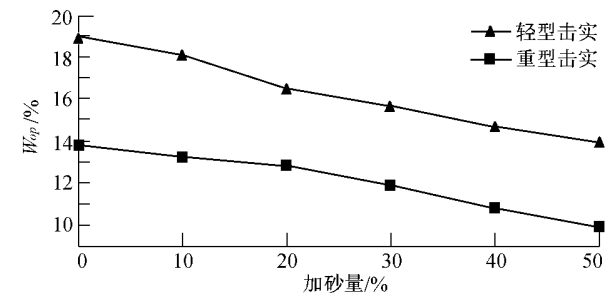


图 4 W_{op} ~ 加砂量关系曲线

Fig.4 Relationship of W_{op} and additive sand content

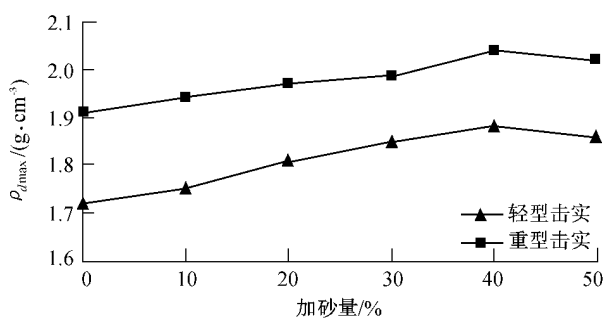


图 5 ρ_{dmax} ~ 加砂量关系曲线

Fig.5 Relationship of ρ_{dmax} and additive sand content

3.3 击实能的影响

由图 4 和图 5 可知,相同加砂量下,击实能越大, W_{op} 越小,相应的 ρ_{dmax} 越大.这是因为,击实能越大,土块越易变形,越易使土粒重新排列挤紧,从而在较小的 W_{op} 下就能压实到 ρ_{dmax} .

4 加砂量对渗透系数的影响

4.1 加砂量对渗透系数的影响

由图 6 可知,粘土中加砂后,渗透系数总体变化趋势是增大.对轻型击实来说,当加砂量从 0 增大到 30% 时, K_{20} 值变化不大,均小于或等于 $1 \times 10^{-7} cm/s$,当加砂量从 0 增至 40% 时, K_{20} 值急剧增大,超过 $1 \times 10^{-7} cm/s$.对重型击实而言,当加砂量从 0 增大到 40% 时, K_{20} 值变化在一个数量级范围内,均小于或等于 $1 \times 10^{-7} cm/s$,当加砂量增至 50% 时, K_{20} 值急剧增大,也超过 $1 \times 10^{-7} cm/s$.事实上,加砂量对 K 值的影响与对干密度的影响是一致的.当混合土料中加砂量小于 30% ~ 40% 时, ρ_d 随加砂量的增加逐渐增大,土粒孔隙比减小, K 值缓慢增大,甚至没有什么变化,当加砂量超过 40% 以后, ρ_d 减小,细颗粒不足以填充粗颗粒间的空隙,形成透水通道,导致渗透系数急剧增长.

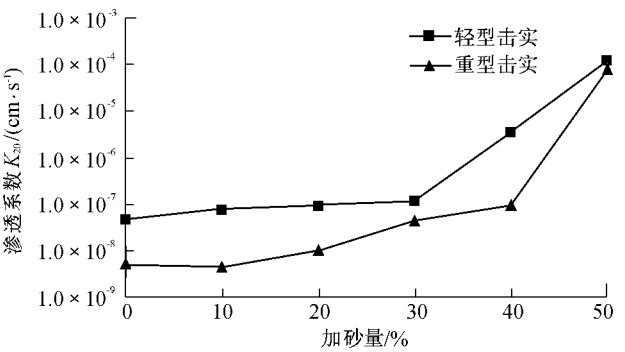


图 6 制备含水量为 W_{op+2} 时渗透系数与加砂量之间的关系

Fig.6 Relationship of hydraulic conductivity and additive sand content for prepared water content W_{op+2}

因此,要使加砂后的混合土料适用于填埋场土质衬垫,满足 $K \leq 1 \times 10^{-7} cm/s$ 的要求,必须使加砂量控制在 30% ~ 40% 的范围内.

4.2 击实能对渗透系数的影响

相同加砂量的土样,击实能越大, K_{20} 值越小,轻重击实能导致 K_{20} 值相差 1 ~ 2 个数量级.这种影响也与对干密度的影响一致.对防渗性能达不到要求($K \leq 1 \times 10^{-7} cm/s$)的土料,可通过增加碾压功能降低其透水性.

5 加砂量对体积收缩率的影响

5.1 加砂量对体积收缩率的影响

图 7 表明,随着加砂量的增大,土样体积收缩率 ϵ_s 总体趋势是减小;当加砂量不大时, ϵ_s 对加砂量反应灵敏,而加砂量较大时, ϵ_s 变化缓慢.其原因在于,土体收缩特性与含水量密切相关,含水量越大,风干后体积收缩率越大.加砂量越大,击实后的 W_{op} 越小,因而 ϵ_s 越小.但当 W_{op} 减小到一定程度(小于或等于土样缩限)时,体积不再收缩,从而使图 7 中曲线表现为由陡渐至平缓.另外,土的收缩与土中粘粒含量也有关,粘土中加砂后,粘粒含量减少,使体积收缩率减小.

因此在满足防渗性能的前提下,要使击实混合土料的体积收缩率减小,则加砂量应该愈多愈好。

5.2 击实能对体积收缩率的影响

对加砂量相同的土样,击实能越大, ϵ_s 越小。这是因为相同加砂量的土样击实时,击实能越大, W_{op} 越小, W_{op+2} 越小,因而 ϵ_s 越小。因此,对体积收缩率较大的土体,可用高击实能在较小的 W_{op} 下压实,从而减小 ϵ_s , 预防干裂。

6 结 论

a. 在粘土中加不良级配砂,可同时获得低透水性和低收缩势,从而较好解决土质衬垫的干裂问题。

b. 只要混合土料中加砂量为 30% ~ 40%, 混合土料击实后的渗透系数 K 仍然能够满足小于或等于 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 的要求。

c. 粘土中加砂后,使得土料颗粒级配改变,导致压实参数(ρ_{dmax} 和 W_{op})改变,这是得出上述两个结论的根本原因所在。

d. 当土料防渗、体积收缩特性在低压实能下不能满足要求的时候,可通过提高压实能加以改善。

e. 三轴渗透试验具有施加周围固结压力、防止侧壁渗漏和测饱和度的优点,因而可以测得比较真实的渗透系数 K 值。

f. 粘土衬垫合适的加砂量与粘土的塑性和所加砂的级配情况有关,本文所得出的 30% ~ 40% 的结论仅是由南京地区的粉质粘土和所加的不良级配砂得出的,是否有普遍意义很难说,需要通过对更多的不同 I_p 的粘土和不同级配砂的配合做大量试验后才能得出普遍结论。

g. 填埋场衬垫土料的选择,应以当地现有土料为主,对大面积工程粘土中掺砂施工问题,值得进一步探讨。

参考文献:

- [1] 钱学德, 郭志平. 美国的现代卫生填埋工程[J]. 水利水电科技进展, 1995, 15(5): 5 ~ 6.
- [2] 王继庄, 董槐三. 软岩风化石料高土石坝防渗体的工程特性[J]. 岩土工程学报, 1991, 13(3).
- [3] 朱建华, 等. 宽级配砾石土坝料的防渗性及反滤[J]. 岩土工程学报, 1993, 15(6).
- [4] GBJ 123—88, 土工试验方法标准[S].

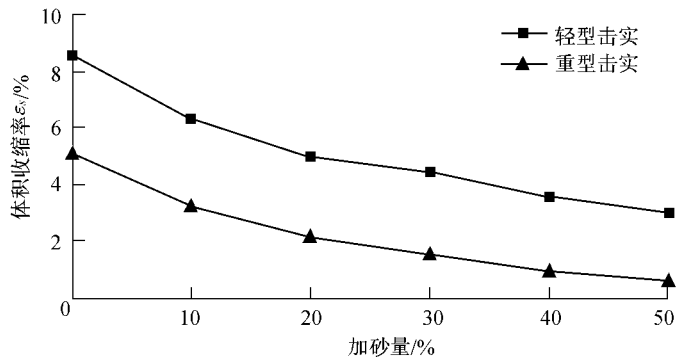


图7 制备含水量为 W_{op+2} 时 ϵ_s 与加砂量之间的关系

Fig.7 Relationship of ϵ_s and sand content

for prepared water content = W_{op+2}

Experimental Research on Preventing Desiccation Cracking of Compacted Clay Liner in Municipal Solid Waste Landfill

HUANG Wan-rong¹, GUO Zhi-ping²

(1. Beijing Design Institute, Beijing 100038, China;

2. College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: Grain-size analysis tests, Proctor compaction tests, triaxial permeability tests and volumetric shrinkage tests are performed for several soil specimens with different sand contents. The effect of sand content on hydraulic conductivity and volumetric shrinkage strain is studied. Test results show that if the sand content in clay is in the range of 30% to 40%, the mixture after compaction will obtain low hydraulic conductivity and low shrinkage potential, so the desiccation cracking problem of compacted clay liners during construction is solved relatively successfully; when the hydraulic conductivity and shrinkage potential of the soil are not satisfied under low compaction effort, they can be improved by increasing compaction effort.

Key words: municipal solid waste landfill; compacted clay liner; desiccation crack; hydraulic conductivity; volumetric shrinkage strain