

文章编号: 1000-7598 (2009) 07-1951-05

水泥垃圾土强度特性试验研究

施建勇, 冒 俊

(河海大学 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 南京 210098)

摘 要: 以生活垃圾为地基的工程事例越来越多, 但垃圾土的处理方法还没有形成系统的经验和成熟的设计计算理论。经过统计分析, 按一定配比制备了人工垃圾土, 分别进行了未降解、降解旺盛期、降解稳定期在水泥掺入量为 25 %、35 %、45 % 3 种条件下不同养护龄期水泥垃圾土的无侧限抗压试验, 得到了硬化的应力-应变关系曲线和水泥垃圾土强度随养护龄期、水泥掺入量、降解阶段变化的规律。试验结果表明, 垃圾土中的有机质既对水泥垃圾土有加筋作用, 也有减弱水泥垃圾土强度形成的作用; 未降解、降解旺盛期、降解稳定期水泥垃圾土的强度变化特性不同, 水泥只对降解稳定的垃圾土有较好的处理效果。同时建议水泥的掺入量应大于 35 %。

关 键 词: 无侧限抗压试验; 人工制备垃圾土; 水泥; 降解阶段; 养护龄期

中图分类号: TU 449

文献标识码: A

Experimental research of strength characteristics of solid waste mixed with cement

SHI Jian-yong, MAO Jun

(Key Laboratory of MOE of Geomechanics and Dike Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: There are more and more reports of construction on municipal solid waste landfills. But there are no systematic experiences and perfect design method for improvement of municipal solid waste. According to statistical results from national municipal solid waste landfills, artificial municipal solid waste was made. The unconfined compressions of artificial municipal solid waste were tested in under-degradation or in-degradation or past-degradation, mixed with cement 25 %, 35 %, 45 % at different maintenance periods. It is obtained that hardening stress strain curves and the strength law of artificial municipal solid waste mixed with cement versus maintenance period and cement content as well as degradation phase. The test results show that the organic constitute in artificial municipal solid waste can reinforce and weaken the artificial municipal solid waste mixed with cement. There are different strength characteristics of artificial municipal solid waste mixed with cement at different degradation phases. Only municipal solid waste at past-degradation can be better improved. It is suggested that the cement content is more than 35 %.

Key words: unconfined compression test; artificial municipal solid waste; cement; degradation phase; maintenance period

1 引 言

据有关报道, 已有在生活垃圾填埋场上修建建筑物工程实例, 如 1996 年韩国举办奥运会有的运动场修建在垃圾填埋场上, 且利用垃圾气发电作为空调动力的成功先例。美国曾将一大型超市修建在垃圾填埋场上。国内武汉金口垃圾填埋场需在填埋约 5 年的填埋场内新建垃圾中转站^[1], 考虑到垃圾土的力学特性, 提出主体建筑物采用大直径的钻孔灌

注桩基础, 附属建筑物采用能适应大变形和不均匀沉降的筏板基础, 除了考虑桩基础设计中由垃圾土降解引起的负摩擦外, 还提出考虑垃圾体中渗滤液的腐蚀性, 在桩基础设计施工中应采取有效防护措施。兰州地区一教学楼工程坐落在生活垃圾土地基上, 经地质勘探查明的垃圾土最大深度约 29 m, 根据现场的载荷板试验结果, 提出采用灰土挤密桩与换土垫层联合的地基处理方法, 并采用筏板基础^[2]。因大型道路或桥梁建设需要以垃圾土为地基的工程

收稿日期: 2007-12-28

第一作者简介: 施建勇, 男, 1965 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事软土地基加固, 城市卫生填埋, 地下工程有关岩土工程问题研究。

E-mail: soft-ground@hhu.edu.cn

也时有报道^[3]。垃圾土是有机质含量较高的特殊土,关于其与固化材料相互作用的研究不多。国内外有开展含有机质淤泥固化的研究成果^[4-6],但有机质含量较低,一般在 20 % 以内。文献[7]研究了掺入 40 % 富里酸模拟有机质对水泥土强度的影响规律。目前对垃圾土地基处理常采用强夯、挤密、桩基础等方法,对注浆、搅拌等改变垃圾土性质的处理方法研究不多。为了拓宽垃圾土地基的处理方法,拟进行水泥垃圾土强度特性的试验研究。

2 试验条件

2.1 试验材料

试验用垃圾土料可从垃圾填埋场钻取,但其填埋时间的不同和试样的不均匀性等,会使试验结果非常离散,难以分析相关影响因素的作用。本次试验时,采用人工配制的垃圾土,并在不同降解时间进行水泥垃圾土样的制备,以消除一些偶然因素的作用。经过对国内垃圾填埋场分拣资料的统计分析,结合本课题组已经进行的前期试验,选择用于水泥垃圾土强度试验的垃圾土的成分见表 1。

表 1 垃圾土组成
Table 1 The content of solid waste

成分	麦麸 /%	纸 /%	木屑 /%	轮胎皮 /%	玻璃 /%	土 /%	布 /%
质量含量	25	15	5	10	10	30	5

在不同填埋时间进入垃圾填埋场的垃圾土有不同的性质和组成,对水泥垃圾土的强度有不同的影响。根据已进行的试验^[8],在降解实验室温度 200 ℃、相对湿度 80 % 条件下垃圾土降解可大致分为 3 个阶段:降解初期、降解旺盛期和降解稳定期,相对应的时间为 2、15、90 d。试验用水泥是南京江南水泥厂生产的 C42.5 普通硅酸盐水泥。

2.2 试样的制备方法

按表 1 的组成成分计算出制备试样需要的垃圾土的质量,将每个试样所配制的垃圾土进行分装,加入 50 % 的水,拌均匀后放入恒温恒湿箱内。达到 3 个阶段相应的天数后,分别加入 25 %、35 %、45 % 的水泥,参照《土工试验规程》^[9],用 3 开模(直径为 39.1 mm,高 80 mm)制成水泥垃圾土样(根据颗粒直接不大于试样最小尺寸的 1/10 的原则控制垃圾成分的直径)。试样在恒温恒湿箱内养护 24 h 后拆模,再放入在恒温恒湿箱中养护到设计龄期(龄期为 7、14、28、45、60、90、120 d)后,进行无侧限抗压试验。

3 试验结果和初步分析

3.1 水泥垃圾土的应力-应变关系

经过初步试验,水泥掺入量小于 25 % 时难以成型,故本次试验的水泥掺入量选为 25 %、35 % 和 45 %,垃圾土未降解时水泥垃圾土样无侧限抗压试验的应力-应变曲线如图 1 所示。

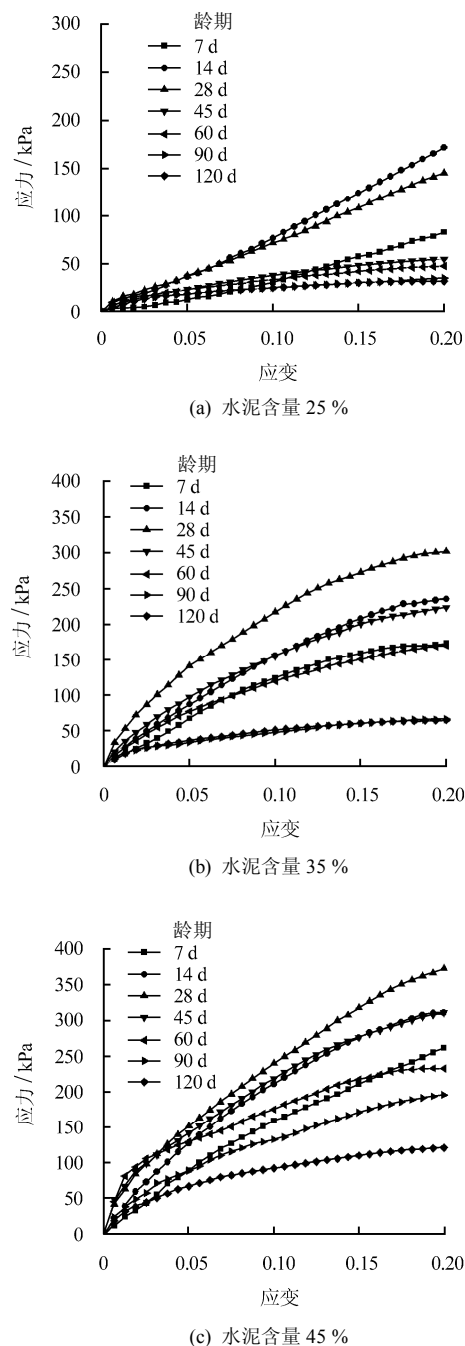


图 1 水泥垃圾土应力-应变曲线

Fig.1 Curves of stress-strain of solid waste with cement

由图 1 可见,水泥垃圾土的应力-应变曲线是硬化型的,即使在应变超过 20 % (试验仪器的最大位移) 时应力仍随应变增加而增加。常见的水泥土应

力-应变试验曲线在 1 %应变以内会出现峰值, 尤其是水泥掺入量高时 (25 %以上) 更加明显^[10], 这是因为垃圾土中有未完全降解的有机物, 其类似纤维作用, 有加筋功能, 降低了水泥垃圾土脆性破坏的可能性。同时, 水泥垃圾土的强度低于同等水泥掺入量水泥土的强度^[11], 是有机质含量增加而引起水泥垃圾土强度降低, 是有机质对水泥土强度影响的另一种表现。

图 2 为水泥垃圾土强度-龄期曲线。由图可见, 由未降解垃圾土制备的水泥垃圾土, 随水泥掺入量增加试样的强度提高。28 d 养护期以前, 其强度随养护龄期的增加而增加, 但养护时间继续增加, 强度反而下降, 这是因为垃圾土有降解性质, 有机质降解的产物将影响水泥垃圾土强度的形成。在水泥垃圾土样养护初期, 水泥对试样强度提高作用大于降解产物的降低作用, 水泥垃圾土的强度随养护龄期的增加而提高; 养护龄期继续增加, 水泥对试样强度提高的作用趋缓, 降解产物的降低作用大于水泥的作用, 试样的强度随养护时间的增加而降低。养护时间达到 120 d 后, 水泥垃圾土的强度基本稳定, 但强度很低, 在对新填埋的城市生活垃圾不宜采用掺入水泥的方法进行处理。

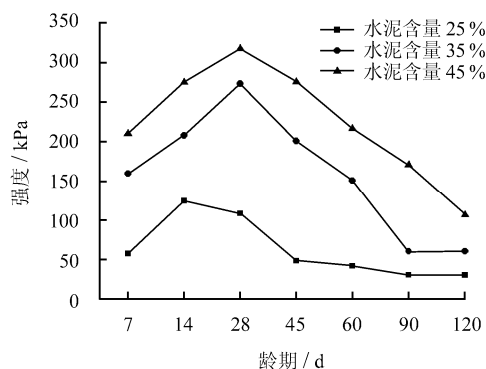


图 2 水泥垃圾土强度-龄期曲线(未降解)

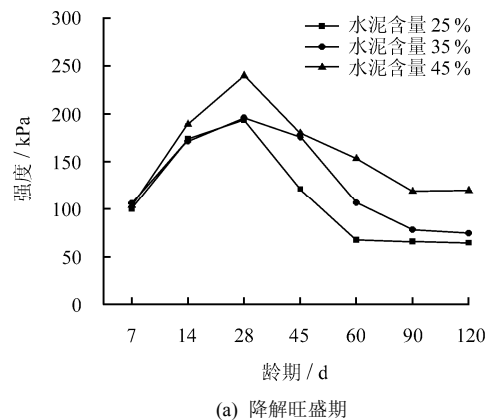
Fig.2 Curves of strength- maintenance period of solid waste with cement(un-degraded)

3.2 水泥垃圾土的强度随龄期变化特性

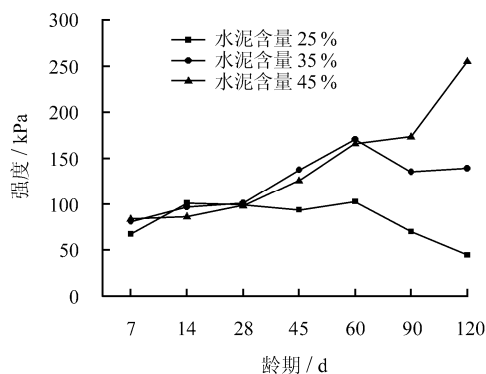
在本次试验温度和相对湿度条件下, 垃圾土将在 15 d 达到降解旺盛期, 90 d 可降解稳定^[8]。由降解旺盛期和稳定后水泥垃圾土的无侧限抗压试验, 仍能得到硬化的应力-应变曲线^[11], 降解旺盛期和稳定后, 水泥垃圾土试样强度随养护龄期变化规律如图 3 所示。由图 3(a)可见, 养护期 28 d 以前, 其强度随养护龄期的增加而增加, 养护时间继续增加, 强度下降, 因为水泥掺入后, 水泥垃圾土的碱性大大提高, 抑制了垃圾土中有机质的降解, 延长了垃

圾土降解的时间。用降解旺盛期垃圾土配置的水泥垃圾土样, 养护初期水泥对试样强度提高作用大于降解的降低作用, 水泥垃圾土的强度随养护龄期的增加而提高; 随着养护龄期延长, 水泥对试样强度提高的作用减弱, 降解产物的降低作用增强, 试样的强度随养护时间的增加而降低; 养护期达到 90 d 后, 水泥垃圾土的强度基本稳定, 但强度很低。因此, 对处于降解旺盛期的城市生活垃圾填埋场, 不宜采用掺入水泥的方法进行加固。

由降解稳定垃圾土制备的水泥垃圾土, 无侧限抗压强度随养护龄期变化曲线如图 3(b)所示, 其强度变化规律与水泥土类似, 可以认为降解稳定后的垃圾土已是性质相对稳定的地基土。由降解稳定垃圾土制备的水泥垃圾土的强度主要受水泥强度增长特性的影响, 垃圾土的降解影响已经很小。由图 3(b)还可以看出, 水泥掺量 35 % 以上的水泥垃圾土 90 d 后的强度仍在增加, 且强度比水泥掺量 25 % 的水泥垃圾土有较明显的提高。对于已经降解稳定的城市生活垃圾填埋场, 可以考虑采用掺入水泥的方法加固, 水泥的掺入量应根据工程的实际情况试验确定, 建议水泥掺入量不小于 35 %。



(a) 降解旺盛期



(b) 降解稳定后

图 3 水泥垃圾土强度-龄期曲线(降解)

Fig.3 Curves of strength- maintenance period of solid waste with cement past-degradation(degrading)

3.3 不同降解阶段水泥垃圾土强度对比

比较图 2 和图 3 可以看出, 在相同龄期且较短时, 除个别试验点, 基本满足未降解水泥垃圾土的强度值 > 降解旺盛期水泥垃圾土强度值 > 降解稳定期水泥垃圾土强度。同样比较, 龄期为 120 d 时、相同水泥掺量条件下, 基本满足降解稳定期水泥垃圾土强度值 > 降解旺盛期水泥垃圾土强度值 > 未降解水泥垃圾土的强度值。表 2 为龄期 7 d 和 120 d 时 3 个不同时期(未降解、降解旺盛期、降解稳定期)水泥垃圾土的强度值。

表 2 龄期 7 d 和 120 d 水泥垃圾土的强度
Table 2 Strength of solid waste with cement at maintenance period 7 d, 120 d

龄期 / d	水泥含量 / %	各期水泥垃圾土强度 / kPa		
		未降解	降解旺盛期	降解稳定期
7	25	57.49	99.60	67.73
	35	159.37	105.86	81.39
	45	210.59	103.87	83.67
120	25	30.17	64.32	44.96
	35	60.62	74.28	139.36
	45	109.56	119.52	254.87

通过比较还可以看出, 在龄期较长即 90~120 d 时, 未降解和降解旺盛期的垃圾土的强度基本不变化, 有趋向稳定值的趋势。而降解稳定水泥垃圾土的强度在不断提高。不同的水泥含量对 3 个不同时期的垃圾土改良有着不同的效果。图 4 为龄期 120 d、3 个不同时期水泥垃圾土强度和水泥掺量的关系曲线。从图 4 可以看出, 本次试验中, 在同样水泥掺量下水泥对降解稳定期垃圾土的改良效果最好, 水泥掺量为 45 % 时, 水泥垃圾土强度为 254.87 kPa, 水泥掺量为 25 %、35 % 时, 水泥垃圾土强度分别为 109.56 kPa 和 119.52 kPa。

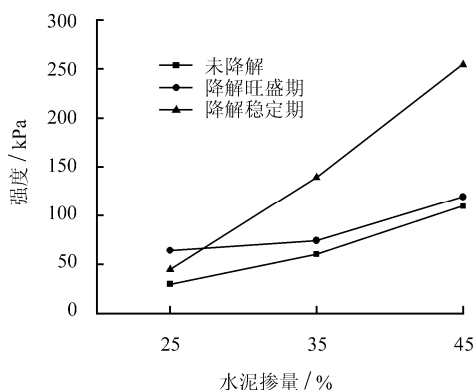


图 4 水泥掺量和强度的关系曲线

Fig.4 Curves of strength-cement content

根据渗滤液对水泥强度影响^[12]和本次试验结果, 笔者认为, 降解稳定的生活垃圾填埋场的垃圾土可以作为新建筑物的地基, 进行地基处理时可考虑采用水泥改良方案。

4 结 论

(1) 水泥垃圾土的应力-应变曲线是硬化型的, 与水泥土的试验结果有明显的差别。水泥垃圾土由于含有未完全降解的有机质对其有加筋作用, 改变了其应力应变特性。在水泥掺量相同条件下, 水泥垃圾土的强度要低于水泥土的强度, 有机质对水泥垃圾土强度的形成有减弱作用。

(2) 水泥对垃圾土的改良作用与垃圾土的降解阶段有关, 未降解阶段: 水泥垃圾土的强度在养护初期(28 d 内)有强度增长, 但在养护后期, 养护时间增加强度反而下降, 即使水泥掺入量达到 45 % 也是如此。降解旺盛期: 水泥的掺入将延缓垃圾土的降解, 并影响水泥垃圾土的强度增长规律, 水泥垃圾土的强度有与未降解阶段相似的变化规律。降解稳定后: 水泥垃圾土的强度有持续的增长, 且能达到比较高的强度。

(3) 根据试验研究结果, 对新填埋和降解旺盛期的垃圾填埋场, 不适合采用水泥改良方案进行垃圾土地基处理, 对已降解稳定(我国一般 5—8 年)的垃圾填埋场则可考虑选择进行水泥改良技术, 进行垃圾土的加固。

参 考 文 献

- [1] 杨明亮, 骆行文, 喻晓, 等. 金口垃圾填埋场内大型建筑物地基基础及安全性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(4): 628—637.
YANG Ming-liang, LUO Xing-wen, YU Xiao, et al. Research on foundation and security of the edifice in Jinkou municipal refuse landfill[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2005, 24(4): 628—637.
- [2] 衡涛, 米海珍, 杨文侠, 等. 兰州地区某工程垃圾地基土处理方法研究[J]. 甘肃科学学报, 2007, 19(1): 140—145.
HENG Tao, MI Hai-zhen, YANG Wen-xia, et al. The treatment of garbage foundation soil in an engineering project in Lanzhou[J]. *Journal of Gansu Sciences*, 2007, 19(1): 140—145.
- [3] 张永军. 生活垃圾杂填土对地基基础的危害及工程措施[J]. 天津建设科技, 2001, (1): 45—46.

- ZHANG Yong-jun, The hazard and protect method of municipal solid waste landfills to ground and foundation[J]. **Tianjin Construction Science and Technology**, 2001, (1): 45—46.
- [4] 储诚富, 邵俐, 刘松玉, 等. 有机质含量对水泥土强度影响的室内定量研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(9): 1613—1618.
- CHU Cheng-fu, SHAO Li, LIU Song-yu, et al. Laboratory study quantitatively on effect of organic content on strength of cement-mixed clays[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2006, 27(9): 1613—1618.
- [5] 陈慧娥, 王清. 有机质对水泥加固软土效果的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(2): 5716—5821.
- CHEN Hui-e, WANG Qing. Influences of organic matter on the effects of consolidating soft soil with cement[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2005, 24(2): 5716—5821.
- [6] 范昭平, 朱伟, 张春雷. 有机质含量对淤泥固化效果影响的试验研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(8): 1327—1330.
- FAN Zhao-ping, ZHU Wei, ZHANG Chun-lei, Experimental study on influence of organic matter content on solidified dredging[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2005, 26(8): 1327—1330.
- [7] 徐日庆, 郭印, 刘增永. 人工制备有机质固化土力学特性试验研究[J]. 浙江大学学报, 2007, 41(1): 109—113.
- XU Ri-qing, GUO Yin, LIU Zeng-yong, Experimental study on mechanical properties of stabilized artificial organic soil[J]. **Journal of Zhejiang University**, 2007, 41(1): 109—113.
- [8] 胡亚东. 有机质降解规律及对垃圾土变形影响的研究[硕士学位论文 D]. 南京: 河海大学, 2006.
- [9] 南京水利科学研究院. SL237—1999 土工试验规程[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [10] 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988: 405—410.
- [11] 冒俊. 人工改良垃圾土强度特性研究[硕士学位论文 D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [12] 冒俊, 施建勇. 淋滤液对水泥强度影响的模拟试验研究[J]. 河海大学学报, 2008, 36(增刊 2): 86—89.
- MAO Jun, SHI Jian-yong. Tests of effect of leach on cement strength[J]. **Journal of Hohai University**, 2008, 36(Supp. 2): 86—89.