

陈垃圾土的工程力学特性试验研究

骆行文, 杨明亮, 姚海林, 谷志孟

(中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

摘要: 垃圾在填埋场中填埋一定的年限后 (大于 5 a), 其中大部分发生了物理、化学及生物变化及反应, 易降解部分已经完成, 此时的垃圾即为陈垃圾。陈垃圾土的成分复杂, 结构松散, 压缩性较大, 与一般的地基土的工程力学性质存在着差异, 在垃圾填埋场上新建建筑物, 需对陈垃圾土的工程力学特性进行试验研究。通过在金口垃圾填埋场进行了现场的原位静载试验, 以及一系列室内试验后, 得出了陈垃圾土的工程力学性能, 为工程的设计提供依据, 并提出相应的建议。

关键词: 陈垃圾; 工程力学特性; 试验研究

中图分类号: TU411.3; X705 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 4548(2006)05 - 0622 - 04

作者简介: 骆行文(1976 -), 男, 助理研究员, 主要从事环境岩土工程方面的研究工作。

Experimental study on engineering mechanical properties of stale refuse

LUO Xing-wen, YANG Ming-liang, YAO Hai-lin, GU Zhi-meng

(Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: After the refuse had been buried in the landfill for several years (more than 5 years), most of it decomposed under physical reaction, chemical reaction and biological reaction etc. Then the refuse changed to be stale. The engineering mechanical properties of refuse was different from those of the common soils. In order to construct on Jinkou landfill in Wuhan, it was needed to research the engineering mechanical properties of the stale refuse there. After a lot of experiments in laboratory and in site, the properties of the stale refuse were known. It was helpful to the design of the project. A conclusion and some advices were given.

Key words: stale refuse; engineering mechanical properties; experimental study

0 引 言

垃圾在填埋场中填埋一定的年限后 (大于 5 a), 其中大部分发生了物理、化学及生物变化及反应, 易降解部分已经完成, 其物理化学及工程力学性质与新填埋时均存在着一定的差异, 此时的垃圾即为陈垃圾。随着城市经济和基础设施建设的飞速发展, 城市规模持续增长, 建设用地日趋紧张, 许多早期的简易垃圾填埋场被列入城市建设规划用地范围之内。武汉市金口垃圾填埋场位于该市汉口地区, 目前填埋场库容已满, 为了满足今后垃圾处理的需求, 拟在现有的垃圾填埋场上, 新建垃圾转运站, 将后期运来的垃圾经压缩处理后, 运至新建的距离较远垃圾填埋场 (阳逻垃圾填埋场)。拟建转运站为 2 层、框架结构。为了建筑物的安全性, 特对该场地的陈垃圾土的工程力学特性进行试验研究。

金口垃圾场填埋的垃圾主要以生活垃圾为主, 成分复杂, 与一般土相比较具有 3 个比较明显的特征:

①垃圾土含有纤维成分 (如纸、塑料、纺织品、绳索

等), 使垃圾土表现出类似加筋土的特性。②垃圾土通常含有大量可被微生物分解的有机物和其它可通过物理、化学或生物反应进行降解的组分。这些组分的降解和转化是一个与时间有关的过程, 并常会造成垃圾体积的减小, 填埋场表面的下沉。③垃圾填埋体发生的相对变形通常较大。这些特性均会对垃圾土的工程力学特征产生很大影响。

1 试验研究方案

拟新建的垃圾转运站所在位置的垃圾为 1999 年填埋, 至今已有 6 a, 属于陈垃圾。由于垃圾土组成组分的复杂性, 一些传统的土工试验方法通常不能直接应用于垃圾土上。一般土体的室内土工试验, 均采用小体积试件。由于垃圾土的纤维成分在宏观上是沿不同的方向随机分布的^[1], 因此我们采用大块垃圾土样

基金项目: 湖北环境岩土工程重点实验室赞助 (T000305)

收稿日期: 2005 - 04 - 18

(大于其特征体) 进行试验, 试验的结果基本上能代表拟建转运站场地所填埋的陈垃圾土的力学特性。

(1) 根据垃圾填埋深度将陈垃圾土层分为上、中、下 3 层, 从地面向下, 上层为 0~3 m; 中层为 3~6 m; 下层为 6 m 以下。在 3 层的深度范围内, 以每 0.3 m 厚为 1 取样单元, 分别取一定重量的垃圾土。然后将同一层的垃圾土在取样现场充分混合, 作为某取样点某一层代表性垃圾试样, 标计样点和层次, 每 1 个样的垃圾土数量不小于 20 kg, 用塑料袋密封, 带回实验室测试其成分、粒径、密度、含水量、比重。

(2) 在拟建场区内, 随机选取 5 个取样点。将上覆的建筑垃圾及粘土覆盖层揭去后, 采用人工用刀具进行切割, 形成 $0.4 \times 0.4 \times 0.4 \text{ m}^3$ 的垃圾土试样。每个点取 1 个试样, 将试样装箱后密封, 并小心地运回实验室。将试样装入自行设计的试验筒内 ($400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}$), 试验筒置于一反力架平台上, 上面放一方形钢板 ($400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$)。钢板上依次安装传力柱、厚圆板、千斤顶、传力柱。厚圆板上安装大量程百分表, 千斤顶接油压泵和油压表。加压等级分别为 25、50、100、200、400、800、1500 kPa。稳定标准为每级压力下固结 24 h。

(3) 垃圾土的现场试验静载试验: 在拟建垃圾中转站所在场区内随机确定 5 个试验点进行平板静载试验。试验按《建筑地基基础设计规范》GBJ7—89 中的地基土荷载试验要点进行。

2 试验结果与分析

2.1 陈垃圾土的成分试验

将同一取样点垃圾混合后, 按 12 类组份分类法手工分拣, 分别称量, 计算各组分的重量, 计算百分含量。结果如表 1 所示^[2]。

表 1 金口垃圾填埋场陈垃圾土的成份表

Table 1 Composition of the stale refuse in Jinkou landfill

垃圾成份	厨渣	纸张	果皮	塑料	毛骨	橡胶皮革
含量/%	0.00	0.73	0.00	16.10	1.04	0.48
垃圾成份	纺织	木质杂草	金属	陶瓷 砖石	灰渣	玻璃
含量/%	0.92	1.88	0.64	4.95	71.60	1.65

从表 1 可以看出: 垃圾土在填埋 6 a 之后, 易降解成分 (如厨渣、果皮、纸张等) 基本降解完全, 剩余成份 (如塑料等) 需更长的时间才能降解, 目前垃圾成分相对稳定。

2.2 陈垃圾土的粒径分级试验

将陈垃圾土样称重后, 分别过 3 级筛^[3], 筛孔孔径分别为 60、25、10 mm, 分出 4 个粒径范围 (即 $>60 \text{ mm}$, $25 \sim 60 \text{ mm}$, $10 \sim 25 \text{ mm}$ 和 $<10 \text{ mm}$), 分别称重^[2], 计算每种粒径的百分含量。结果如表 2 所示。

表 2 金口垃圾填埋场陈垃圾粒径结果表

Table 2 Grain size distribution of stale refuse in Jinkou landfill

层次	$>60 \text{ mm}$	$60 \sim 25 \text{ mm}$	$25 \sim 10 \text{ mm}$	$<10 \text{ mm}$
上层	22.4	17.3	22.2	38.1
中层	15.8	14.9	20.2	49.0
下层	23.2	11.8	18.4	46.6
混合	20.5	14.7	20.3	44.6

由表 2 可知, 垃圾土中粗颗粒成分所占的比例相当大, 细颗粒成分较小, 属级配不良的粗粒土。

2.3 陈垃圾土的密度、含水率、比重试验

对从现场运回的陈垃圾土样进行密度、含水率、比重进行试验, 结果如表 3 所示^[4]。

表 3 陈垃圾土的密度、含水率、比重结果表

Table 3 Density, water content and special gravity of the stale refuse

取样点	#1	#2	#3	#4	平均值
湿密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^3)$	0.94	0.89	0.74	0.79	0.84
含水率 $w/\%$	32.2	34.3	18.1	24.0	27.2
干密度 $\rho_d/(\text{g} \cdot \text{cm}^3)$	0.71	0.66	0.63	0.64	0.66
比重 d_s	2.01	1.96	1.82	2.00	1.95
孔隙比 e	1.83	1.97	1.90	2.13	1.95
孔隙率 $n/\%$	64.7	66.3	65.5	68.1	66.1
饱和度 $S_r/\%$	35.2	34.1	17.4	22.6	27.1

由表 3 可知: 该处陈垃圾土的湿密度为 $0.742 \sim 0.936 \text{ g} \cdot \text{cm}^3$, 平均值为 $0.839 \text{ g} \cdot \text{cm}^3$, 比普通土小; 含水率为 $18.1\% \sim 34.3\%$, 平均值为 27.2% , 与新鲜垃圾土的含水率相比, 其值要小得多, 变化也不大, 这是因为填埋场封闭以后, 其上部垃圾土中的有机物降解产生的渗滤液已通过渗流排走, 从而使其含水率降低。另外填埋场上覆盖层的密封性比较好, 从现场的情况来看, 场内上覆层植被良好, 有效地防止了雨水的入侵。拟建转运站车间所在位置陈垃圾土的孔隙比为 $1.833 \sim 2.131$, 平均值为 1.954 。如按孔隙比 e 来评价垃圾土的密实度, 则垃圾土为 1 种高压缩性土。

2.4 陈垃圾土的侧限压缩试验

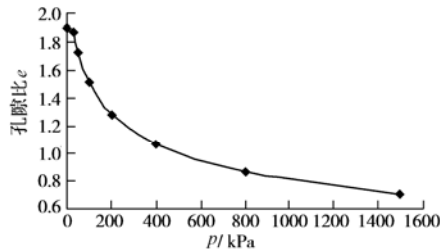
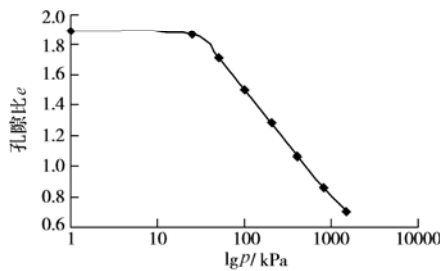
对该场地的陈垃圾土的侧限压缩试验数据进行整理, 结果如表 4 及图 1 和 2 所示。

从试验结果可以看出, 该场地陈垃圾土的压缩系数 a_v 并不是常数, 当外压较小时压缩系数降幅较大, 外压加至 300 kPa 以后, a_v 降幅减小。陈垃圾土在起始阶段 ($0 \sim 25 \text{ kPa}$) 孔隙比变化不大, 这主要与试样受前期固结压力作用有关。据场地背景资料: 垃圾填埋场地表垃圾填埋至设计标高后加了一层 0.5 m 厚的建筑垃圾 (无菌层), 然后再覆盖 0.5 m 厚营养土后, 进行封场绿化。垃圾土上覆盖层荷载约为 20 kPa , 几年后垃圾土在这一荷载作用下基本完成固结。

表4 陈垃圾土的室内压缩试验结果表

Table 4 Experimental result of the stale refuse compressed in laboratory

荷载/kPa	压缩系数 a_v/MPa^{-1}	侧限压缩模量 E_s/Mpa	体积压缩系数 m_v/MPa^{-1}
25	0.117	24.298	0.041
50	3.345	0.847	1.180
100	3.993	0.710	1.408
200	1.971	1.438	0.695
400	0.869	3.264	0.306
800	0.475	5.967	0.168
1500	0.214	13.234	0.076

图1 陈垃圾土的室内压缩试验 $e-p$ 曲线Fig. 1 $e-p$ curves of stale refuse compressed in laboratory图2 陈垃圾土的室内压缩试验 $e-\lg p$ 曲线Fig. 2 $e-\lg p$ curves of stale refuse compressed in laboratory

根据垃圾土的侧限压缩试验结果及相关的国家规范进行比较, 陈垃圾土的 $a_{v1-2} \geq 1.938 \text{ MPa}^{-1}$; $E_{s1-2} \leq 1.534 \text{ MPa}$; $m_{v1-2} \geq 0.652 \text{ MPa}^{-1}$ 表明场地内陈垃圾土是1种高压缩性土。在现有的垃圾填埋场上新建转运站必须注意: 在外荷载作用下, 垃圾土的沉降量较大, 由此引起的不均匀沉降量也会很大。因此在转运站设计时必须对现有的垃圾土地基进行处理后方能进行, 同时根据需提高拟建建筑物的整体的强度和刚度, 减小由于地基的沉降所带来的影响。

2.5 陈垃圾土的现场静载试验

(1) 陈垃圾土的现场静载试验结果与分析

由现场陈垃圾土的静载试验数据可知: 在拟定的最大荷载 ($p = 300 \text{ kPa}$) 作用下, 陈垃圾土周围的土体并没有明显的侧向挤出, 沉降量 s 值急剧增大, $p-s$ 曲线出现陡降段等现象; 而且垃圾土在某一荷载下 24 h 内沉降速率均能达到稳定标准。由于当荷载为 300 kPa 时, $p-s$ 曲线的拐点仍没出现, 因此很难通过确定垃圾土的极限值后来确定其承载力基本值。本文将采用相对沉降 (s/d) 来确定其承载力基本值, 取 $s/d =$

0.01~0.015 时对应的承载力作为陈垃圾承载力的基本值, 静载试验结果如表 5 所示。

表5 陈垃圾土的现场静载试验结果表

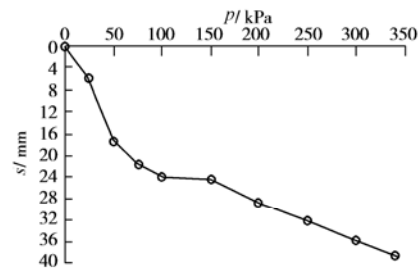
Table 5 Experimental result of the stale refuse loaded in site

试验点	0.01b /mm	$p_{0.01}$ /kPa	0.015 b/mm	$p_{0.015}$ /kPa	极限承载力/kPa
1	7.07	40	10.61	58	>300
2	7.07	30	10.61	46	>300
3	7.07	80	10.61	92	>300
4	7.07	46	10.61	60	>300
5	7.07	54	10.61	70	>300
平均值		50		65	>300

由上表结果可以看出: 陈垃圾土的极限承载力相对较高, 这是垃圾土中粗纤维起的作用, 从本次对陈垃圾土所进行的 5 组现场静载试验结果可知, 其极限承载力均大于 300 kPa。而承载力基本值如根据 s/d 来确定则比较低, $p_{0.01}$ 的平均值为 50 kPa; $p_{0.015}$ 的平均值为 65 kPa。

(2) 陈垃圾土试验结果典型 $p-s$ 曲线分析

通过对现场静载试验数据的整理分析, 陈垃圾土的静载试验结果典型 $p-s$ 曲线如图 3 所示。

图3 陈垃圾土静载试验典型 $p-s$ 曲线图Fig. 3 Typical $p-s$ curves of stale refuse that was loaded in site

可以看出 $p-s$ 曲线上存在上凹区段, 这与一般土体的 $p-s$ 曲线有明显区别。垃圾土是一种包含可降解成分并含有纤维结构加筋的散粒体结构^[5]。在较小荷载作用下, 垃圾土的细颗粒向大孔隙中运动, 产生较大的变形, 此时垃圾土中纤维成分与颗粒间的摩擦, 限制其运动, 从而增强垃圾土的整体变形能力, 而不至于立即破坏。当垃圾土产生较大变形时, 垃圾土中颗粒成分和纤维成分之间的摩擦力增加, 纤维成分中的拉应力随之增加, 纤维成分开始发挥作用并限制垃圾土的变形, 随着正应力的增加, 由纤维成分拉力产生的强度随之增加, 对垃圾土变形限制约大, 直至达到其最大值, 此时垃圾土变形曲线处于上凹段最低点。由于垃圾土中的纤维成分存在一定的抗拉强度, 随着正应力的增加, 纤维成分中的拉应力达到其抗剪强度时, 由纤维成分拉力所产生的强度不再增加; 相反, 随着部分纤维成分的破坏, 它对垃圾土变形的限制越来越小。该段曲线的形状与垃圾土中的纤维成分的含量、

纤维的组成成分和纤维组成成分的长短有关^[5]。

3 结 论

(1) 垃圾土在填埋时间达 5 a 之后, 易降解成分(如厨渣、果皮、纸张等)基本降解完全, 剩余成份(如塑料等)需更长的时间才能降解。目前金口垃圾填埋场内所填埋的垃圾成分相对稳定。

(2) 该场地的陈垃圾土的孔隙比平均值为 1.954, $a_{v1-2} \geq 1.9 \text{ MPa}^{-1} > 0.5 \text{ MPa}^{-1}$, $E_{s1-2} \leq 1.5 \text{ MPa} < 4.0 \text{ MPa}$, $m_{v1-2} \geq 0.652 \text{ MPa}^{-1} > 0.25 \text{ MPa}^{-1}$, 表明场地内陈垃圾土是 1 种高压缩性土。在现有的垃圾填埋场上新建转运站必须注意, 在外荷载作用下垃圾的沉降量比较大, 且不均匀沉降量也会较大。

(3) 陈垃圾土可看成是由颗粒成分和纤维成分组成。在产生较大变形条件下, 纤维成分会产生附加的粘聚力, 限制其变形。

(4) 陈垃圾土是一种包含可降解成分并含有纤维结构加筋的散粒体结构的材料。陈垃圾土现场载荷试验的 $p-s$ 曲线上存在上凹区段, 其上凹区段是由垃圾土中纤维材料产生的拉力引起的。

(5) 陈垃圾土的极限承载力相对较高, 而其承载力基本值如根据 s/d 来确定时, 则相对较低。

参考文献:

[1] GABR M A, VALERO S N. Geotechnical property of municipal soil waste [J]. Geotechnical Testing Journal ASTM,

1995,18(2):242 - 246.

- [2] 武汉市环境卫生科学研究设计院. 金口垃圾填埋场陈垃圾检测报告[R]. 武汉: 武汉市环境卫生科学研究设计院, 2003.(Wuhan Environmental Sanitation Scientific Research and Design Institute. Test report of stale refuse on Jinkou landfill[R]. Wuhan: Wuhan Environmental Sanitation Scientific Research and Design Institute, 2003.)
- [3] HARI D Shirma, SANGEETA P Lewis. Waste containment systems, waste sta-bilization and landfill, design and evaluation[M]. John Wiley & Sons INC. 1994:568 - 582.
- [4] 骆行文, 杨明亮, 姚海林. 武汉市金口垃圾填埋场转运站基础选型及场地安全性研究[R]. 武汉: 武汉市环境卫生科学研究设计院, 中国科学院武汉岩土力学研究所报告, 2004.(LUO xing-wen, YANG ming-liang, YAO hai-lin. Research on foundation and secuiuty of deifice built on Jinkou landfill[R]. Wuhan: Wuhan Environmental Sanitation Scientific Research and Design Institute, Institute of Rock and Soil Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, 2004.)
- [5] 严 树, 吴 文, 徐松林, 等. 武汉市某卫生填埋场垃圾图变形曲线特征研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(12):2020 - 2022.(YAN Shu, WU Wen, XU Song-lin, et al. Study of deformation curve of municipal domestic refuse in Wuhan[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(12):2020 - 2022.)