

垃圾土降解规律及填埋场沉降计算分析

陈继东^{1,2}, 施建勇¹, 方云飞¹

(1. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098; 2. 深圳市下坪固体废弃物填埋场, 广东 深圳 518029)

摘要 通过垃圾土有机物降解试验, 提出垃圾土有机物降解规律的计算公式和参数确定方法, 并推导了垃圾土沉降计算模型. 以深圳下坪垃圾填埋场为例, 根据试验材料中的有机物和降解残余物含量以及特征降解时间, 计算得到降解速率和降解量随时间变化规律. 实例分析表明: 变形计算模型能够反映压缩和降解引起垃圾土的变形特性.

关键词 垃圾土; 有机物降解; 垃圾填埋场沉降; 计算模型

中图分类号 :TU433 ;X705 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-198X(2006)06-0680-03

垃圾土降解是垃圾填埋场沉降的主要影响因素, 降解除随时间变化外还受含水率、环境温度、相对湿度和压力等因素的影响. 室内模拟试验可分为垃圾土样和垃圾土柱或生物反应器试验两大类. Chugh 等^[1]根据垃圾土的降解试验, 考虑了垃圾土的配料方式、渗沥液的回灌形式等, 共进行了 10 组对比试验, 测得 BOD, COD, VFAs 等随时间的变化规律. 罗锋等^[2]进行了生物模拟器、渗沥液回灌模拟器、传统卫生填埋场模拟器试验, 研究了产气体积、模拟器内温度、渗沥液的酸碱度、水分含量等多变量随时间的变化规律. 从这些降解产物的变化规律可以间接推算出垃圾土中有机成分含量随时间的变化过程. Young^[3]根据水解试验提出有机物水解过程可以用指数函数来表示. 胡敏云等^[4]根据垃圾填埋场内有机物 BOD, COD 含量随填埋时间变化的参考资料, 提出了类似有机物降解计算公式和计算参数的确定方法. 朱青山等^[5]进行了不同外加剂下垃圾土有机物在聚乙烯桶中降解过程沉降试验研究, 拟合出沉降随时间变化的多项式关系曲线. 人工制备垃圾土的有机物降解和土柱沉降试验^[6]直观地反映了垃圾土变形规律. 文献[7]介绍了可考虑有机物降解的沉降模型. Yen 等^[8]对 3 个大型垃圾填埋场进行了 9 年的沉降监测, 并进行了沉降稳定时间的预测.

本文进行了室内垃圾土的降解试验, 结合半年的现场观测资料, 分析垃圾土降解规律, 并推导垃圾土沉降计算模型.

1 有机物降解的室内试验研究

在进行有机物降解试验时, 选取由麦麸、废纸、木屑组成的试验材料^[9], 设有机物的初始含量为 M_0 , 降解残余量为 M_R , 取降解速率上升到最大值的 $1/2$ 时对应的时间为 T_1 , 当降解速率降为最大速率的 $1/5$ 时对应的时间为 T_2 , 则可以用式(1)推求特征降解时间 T_C .

$$T_C = \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} \quad (1)$$

用式(2)可推求特征降解速率 q_C :

$$q_C = \frac{M_0 - M_R}{T_C} \frac{T_1}{T_2} \quad (2)$$

则有机物的降解质量 $M(t)$ 可表示成式(3).

$$M(t) = q_C \left[-T_2 + T_C \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) \right] \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) + M_0 - M_R \quad (3)$$

根据试验资料可知, 有机物的初始质量 $M_0 = 40 \text{ g}$, 降解残余量 $M_R = 21.2 \text{ g}$, $T_1 = 2.2 \text{ d}$, $T_2 = 22.5 \text{ d}$. 由式(1)计算得到特征时间 $T_C = 2.05 \text{ d}$, 由式(2)得到特征降解速率 $q_C = 0.92 \text{ g/d}$. 关于有机物降解规律模型, 也可

用其他方式表示^[9].

运用上述参数和计算方法,计算垃圾土的有机物降解质量和降解速率,结果如图 1 和图 2 所示.由图 1、图 2 可见,本文采用的计算方法能模拟有机物的降解过程,选取的计算参数比较合理.

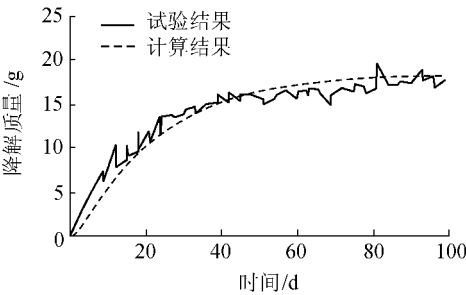


图 1 降解质量随时间变化曲线

Fig.1 Comparison of calculated result and experimental data of quantity of degradation

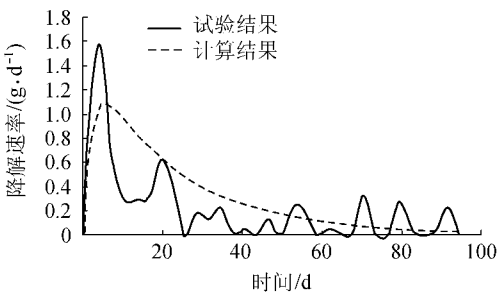


图 2 降解速率随时间变化曲线

Fig.2 Comparison of calculated result and experimental data of degradation rate

2 垃圾土沉降计算模型

模型的基本假定 (a)垃圾土中的无机物颗粒及水不可压缩,但水可以自由排出 (b)垃圾土仅产生竖向压缩沉降,不产生侧向挤出.

垃圾土中有机物降解后,其体积发生了变化.由基本假定(b)可知:

$$\frac{V_{v0} + V_{y0} + V_s}{h_0} = \frac{V_v + V_y + V_s}{h} \tag{4}$$

式中: V_v ——某时刻垃圾土的孔隙体积; V_y ——某时刻垃圾土中有机物的体积; h ——某时刻垃圾土的高度; V_{v0} ——垃圾土中孔隙的初始体积; V_{y0} ——垃圾土中有机物的初始体积; V_s ——垃圾土中无机物的体积; h_0 ——垃圾土的初始高度.

根据岩土力学中的基本概念,孔隙体积为固体体积与孔隙比 e 的乘积.引入垃圾土初始时刻的孔隙比 e_0 ,令 $V_0 = V_{v0} + V_{y0} + V_s$,则由 $\Delta h = h_0 - h$ 可得单向变形条件下垃圾土沉降计算公式为

$$\Delta h = \left[\frac{e_0(V_s + V_{y0}) - e(V_s + V_y)}{V_0} + \frac{V_{y0} - V_y}{V_0} \right] h_0 \tag{5}$$

从式(5)可以明显地看出,第 2 项是由有机物降解直接引起的压缩,第 1 项反映了有机物降解压缩与受荷载作用压缩变形的耦合,且当有机物颗粒的体积不变时,即固体颗粒不产生体积变化时(一般情况下土力学的假设),式(5)就变为土体单向压缩量计算公式.如果不考虑荷载的影响,近似认为垃圾土降解过程中密度和孔隙比不变化,则由式(5)可以得到,降解应变量为已降解的有机物质量与总的可降解有机物质量之比.

如果将垃圾土中有机物的初始体积分数表示为

$$A_{v0} = \frac{V_{y0}}{V_s + V_{y0}} \tag{6}$$

且用 λ_v 表示已降解的有机物体积与垃圾土有机物初始体积的比值 $\Delta V_y/V_{y0}$,即体积降解率,则有

$$\lambda_v = \frac{\Delta V_y}{V_{y0}} = \frac{V_{y0} - V_y}{V_{y0}} \tag{7}$$

由此可以得到

$$\Delta h = \frac{e_0 - (1 - \lambda_v A_{v0})e}{1 + e_0} h_0 + \frac{\lambda_v A_{v0}}{1 + e_0} h_0 \tag{8}$$

如前所述,在忽略荷载作用的情况下,垃圾土有机物体积降解与质量降解成比例关系,即 λ_v 可由已降解质量与有机物总质量的比值来表示.在应用时 λ_v 可由式(3)除以有机物的总质量($M(t)/M_0$)来表示.

3 深圳下坪垃圾填埋场现场观测与计算分析

深圳下坪垃圾填埋场是按照 20 世纪 90 年代国际先进技术标准设计、施工、运行的城市生活垃圾填埋工

程. 1998年4月开始填埋,到2003年10月已累计填埋50 m以上. 根据进入填埋场的垃圾土成分分析试验结果,可知垃圾土的成分:有机物(纸、纤维、竹木、皮革等)18.49%,塑料9.5%,厨余47.16%,土与玻璃、陶瓷、金属等碎屑24.85%. 降解后的垃圾土成分:有机物20.0%,塑料12.5%,土与玻璃、陶瓷、金属等碎屑67.5%.

由成分分析试验结果可知,土、玻璃、陶瓷、金属是降解过程中性质基本不变的成分;厨余经过一段时间降解后,可降解的部分转化成淋滤液和垃圾气,剩余的成分是难降解的有机物和降解转化来的细颗粒,降解改变了原来有机物、土、玻璃、陶瓷、金属等碎屑的相对含量,但塑料具有比较稳定的成分,因此借助塑料在总成分中的含量变化可以间接推求出可降解的有机物含量. 塑料在进场垃圾土中的含量为9.5%,降解后在垃圾土中的含量为12.5%,可以计算出在可降解的有机物含量为 $A_{v0} = 24.0\%$, $\lambda_v = 58.89\%$,垃圾土的孔隙比为4.553,深层沉降管处的填埋厚度为20 m,则由于有机物降解引起的压缩量为

$$\Delta h = \frac{\lambda_v A_{v0}}{1 + e_0} h_0 = \frac{24\% \times 58.89\%}{1 + 4.553} \times 20 = 4.4 \text{ (m)}$$

4 结 语

- 有机物的降解规律可以用式(3)表示,式中的参数可由降解试验获得.
- 在一定的假设下可以推导出垃圾土压缩量的计算公式,并可以在特殊条件下简化成土的单向压缩量公式和纯有机物降解引起的沉降计算公式.
- 本文中的垃圾填埋场沉降计算公式,可供垃圾填埋场设计时借鉴.垃圾填埋场的沉降量和沉降随时间变化的规律尚需进一步研究.

参考文献:

- [1] CHUGH S, CHYNOWETH D P, CLRAKE W, et al. Degradation of unsorted municipal solid waste by a leach-bed process[J]. *Bioresource Technology*, 1999, 69(2):103-115.
- [2] 罗锋,陈万志,李小鹏,等.三种垃圾填埋场单元模拟器对废物降解的对比试验[J]. *中国环境科学*, 2004, 24(4):474-479.
- [3] YOUNG A. Mathematical modeling of landfill degradation[J]. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 1989, 46:189-208.
- [4] 胡敏云,陈云敏,温振统.城市垃圾填埋场垃圾土压缩变形的研究[J]. *岩土工程学报*, 2001, 23(1):123-126.
- [5] 朱青山,赵由才,徐迪民.垃圾填埋场中垃圾降解与稳定化模拟试验[J]. *同济大学学报*, 1996, 24(5):596-600.
- [6] 刘荣,施建勇,彭功勋.垃圾土沉降特性的室内试验研究[J]. *扬州大学学报:自然科学版*, 2003, 6(2):51-55.
- [7] 张振营,陈云敏.城市垃圾填埋场有机物沉降模型的研究[J]. *岩土力学*, 2004, 25(2):238-241.
- [8] YEN B C, SCANLON B. Sanitary landfill settlement rate[J]. *Journal of Geotechnical Engineering*, 1975, 101(5):475-487.
- [9] 方云飞.城市生活垃圾有机物降解和变形规律研究[D].南京:河海大学,2005.

Degradation law of municipal solid waste and settlement calculation of landfills

CHEN Ji-dong^{1,2}, SHI Jian-yong¹, FANG Yun-fei¹

(1. *Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China*;

2. *Shenzhen Xiaping Municipal Solid Waste Landfill, Shenzhen 518029, China*)

Abstract: Based on organic matter degradation experiments performed on solid waste, a calculation formula to obtain the law of organic matter degradation in solid waste and method for parameter determination were proposed, and a settlement calculation model for solid waste was deduced. With the Xiaping Municipal Solid Waste Landfill taken as an example, laws of the rate and quantity of solid waste degradation varying with time were obtained by means of experimental data of amounts of organic matter and residue of degradation in test materials and the characteristic time of degradation. Analysis shows that the deformation calculation model is capable of reflecting the deformation characteristics of solid waste induced by compression and degradation.

Key words: solid waste; organic matter degradation; settlement of solid waste landfill; calculation model