

MSW 主压缩指数变化规律试验研究及机理分析

廖智强^{1,2}, 施建勇², 冒 俊²

(1. 南昌航空工业学院土木工程系, 江西 南昌 330063 ; 2. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098)

摘要 : 为弥补室内试验对 MSW 主压缩参数研究不完善之处, 在人工配制 MSW 试样的基础上进行了大量的室内试验, 对 MSW 的主压缩指数在不同组成及含水率下的变化规律等进行了研究. 试验结果表明, 组成变化对 MSW 主压缩指数的变化存在较大的影响, 而含水率变化对主压缩指数影响很小.

关键词 : 主压缩指数 ; 组成成分 ; 含水率

中图分类号 : X705 文献标识码 : A 文章编号 : 1000-198X(2007)03-0326-04

填埋场主压缩沉降是填埋场整个沉降过程的重要组成部分, 一般采用式(1)计算^[1].

$$S_p = H_0 \frac{C_c}{1 + e_0} \lg \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_0} \right) \tag{1}$$

式中 : S_p ——主压缩沉降 ; H_0 ——填埋场初始高度 ; e_0 ——填埋场内 MSW 初始孔隙比 ; σ'_0 ——有效应力 ; $\Delta \sigma$ ——附加应力 ; C_c ——主压缩指数.

式(1)目前是填埋场主压缩沉降的主要计算模型. 填埋场中固体废弃物(MSW)组成非常复杂, 由于 MSW 填埋进入填埋场时间及季节的不同可能导致其组成成分、含水率不相同, 从而使其力学性质也不尽相同, 在相同附加荷载作用下产生的沉降大小也可能不同, 因此对 MSW 的主压缩指数进行相关试验研究具有重要的意义.

目前对 MSW 性质的试验研究大都直接从现场取样后在室内进行^[2-3], 尽管现场取样具有较多优点, 但还是存在着下列不足 : MSW 在填埋场内分布具有高度不均匀性, 所取的试样并不具有代表性 ; 有时为了解各组成对试验结果的影响还需对其进行分选, 而分选的难度太大, 这些都会使得试验结果不具代表性且不易推广. 因此对 MSW 基本性质的研究, 需要采用多种试验途径相结合的方法. 在了解填埋场整体组成基础上采用人工配制 MSW 进行试验研究则可以很好地弥补上述试验途径的不足.

1 试 验 材 料

MSW 主要成分为厨余、纸类、塑料、橡胶、竹木制品、纤维、玻璃和陶瓷及土等, 其中厨余、纸类、纤维、竹木制品、塑料橡胶可归类为有机质, 废金属、玻璃陶瓷、煤灰碎石与土归类为无机质^[1], 在参照我国一些大城市 MSW 组成及配比基础上^[4-5], 本文选取了一具有代表性的配比及相应材料, 进行 MSW 的人工配制室内试验, 试验结果见表 1.

2 试 验 方 法 及 设 计

2.1 试 验 方 法

对 MSW 性质的研究目前一般都是借鉴土工试验规程中土的试验方法. 现行土工试验规程中土压缩试验方法一般有

成 分		配比 / %	选用配 比 / %
有 机 质	厨余	23.54 ~ 70.00	25
	纸类	1.04 ~ 18.18	15
	纤维	2.00 ~ 64.98	5
	塑料、橡胶	4.81 ~ 14.10	10
	竹木制品	0.74 ~ 4.10	5
无 机 质	玻璃、陶瓷	1.27 ~ 13.37	10
	煤灰、碎石、土	2.90 ~ 55.84	30

标准固结方法与快速固结方法 2 种.标准固结方法是土压缩性质试验的主要方法^[6-7],其特点是在试验过程中每级压力下固结稳定时间为 24 h,因此一次试验一般需要数天甚至十多天才能完成.快速固结方法是一些规范^[7-8]建议采用的方法,它的特点为每级压力下的固结时间为 1 h,最后一级压力下 24 h 与 1 h 的读数比值为修正系数 K ,将每级荷载下的 1 h 的压缩值乘以 K 值即可视为相应的 24 h 读数,这种方法对渗透性具有一定的要求.

由表 1 可知,MSW 由于内部一般含有较高比例的有机质,而这些有机质在一般条件下会发生降解.如本文采用标准固结方法对所配制的 MSW(含水率 70%)进行压缩试验时,发现试验完成后质量损失率达 9.18%(室温 34℃、湿度 62),即试验结果已经包含了有机质降解的影响.由于压缩引起沉降与有机质降解后引起沉降的机理并不相同,得到的试验结果并不可信,因此得到的 MSW 主压缩指数需消除有机质降解对试验结果的影响.快速固结方法由于试验时间短,1 d 左右即可完成,通过部分试验得到的最大质量损失率约为 0.94%(< 1%),故可以认为采用该方法可消除有机质降解对试验结果的影响.同时从相关渗透试验结果看,笔者配制的 MSW 试样可满足快速固结法对试样渗透性的要求.Hossain^[9]也采用该方法研究了降解 MSW 的主压缩指数规律.

2.2 试验设计

2.2.1 MSW 组成对主压缩指数的影响

由表 1 可知,MSW 组成材料众多,若研究每种材料含量变化对主压缩指数的影响太复杂且不必要.MSW 总体上由有机质与无机质组成,因此研究 MSW 组成对主压缩指数的影响只需研究 MSW 中不同有机质含量对主压缩指数的影响即可,同时假定有机质与无机质中的各种成分相对含量保持不变.为使不同有机质含量下的 MSW 试验结果具有可比性,不同有机质含量的 MSW 试样均取其最大干密度的 0.8 倍进行压缩试验.各 MSW 最大干密度见表 2.为避免有机质材料中的一些成分在水软化效应下对试验结果产生影响,试验初始含水率均控制为 0.笔者分别取有机质含量为 100%、80%、60%、30%、0 的 MSW 进行试验.

表 2 各有机质含量下的最大干密度和试样采用干密度

Table 2 Maximal dry density of MSW and dry density of samples with different organic contents

有机质含量/%	最大干密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	试验采用干密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
100	0.445	0.335
80	0.556	0.440
60	0.660	0.533
30	0.998	0.800
0	1.710	1.368

2.2.2 含水率对主压缩指数的影响

在填埋场中,除底部 MSW 可能因为排水失效而处于饱和状态,一般情况下 MSW 都是处于持水率状态或低于持水率状态的^[1].因此研究含水率对 MSW 主压缩指数的影响只需研究含水率在低于持水率的情况即可.对表 1 中选用配比的 MSW 进行的持水率试验^[10]结果表明,一般荷载下(50 kPa)持水率为 71.43%.因此,笔者取低含水率分别为 0(干样)、30%、50% 及 70%,同时进行了饱和含水率下的压缩试验.主压缩指数计算中需要采用孔隙比,而孔隙比与材料的相对密度相关,因此还进行了各材料的相对密度试验,结果如表 3 所示.有机质含量 MSW 混合相对密度的计算公式为

表 3 各材料的相对密度

Table 3 Relative densities of materials

材料	麦麸	纸	布	木屑	塑料	土	玻璃
实测相对密度	1.51	1.75	1.26	1.37	1.69	2.71	2.50

$$d_s = \frac{\sum m_i}{\sum (m_i/d_{si})}$$

(2)

式中: d_s ——平均颗粒相对密度; m_i ——各材料的干质量; d_{si} ——各材料的相对密度.

通过计算,得有机质含量为 100%(纯有机质)、80%、60%、30%、0(纯无机质)时的 MSW 相对密度为 1.48、1.63、1.80、2.15、2.66.

3 试验结果与分析

根据土力学中孔隙比计算公式(3),试验结果的 $e-\lg(p/\text{kPa})$ 曲线分别如图 1 和图 2 所示.

$$\begin{cases} e_0 = \frac{d_s \rho_w}{\rho_{d0}} - 1 \\ e_i = e_0 - (1 + e_0) \frac{\Delta h_i}{h_0} \end{cases} \quad (3)$$

式中： e_0 ——初始孔隙比； ρ_{d0} ——初始干密度； d_s ——平均颗粒相对密度； Δh_i ——压缩值，取 $\Delta h_i = 2\text{ cm}$ ； h_0 ——环刀高。

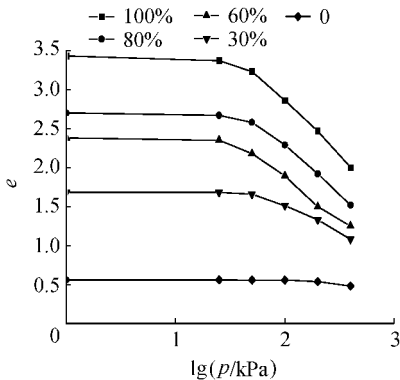


图 1 不同有机质含量的 $e\text{-lg}(p/\text{kPa})$ 曲线

Fig.1 $e\text{-lg}(p/\text{kPa})$ curve of MSW with different organic contents

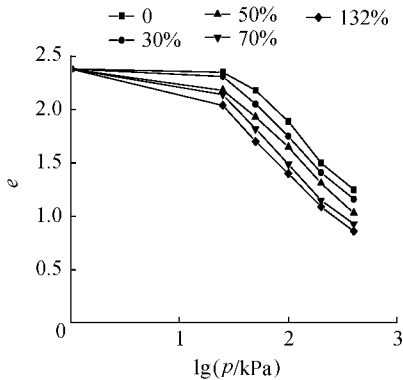


图 2 不同含水率的 $e\text{-lg}(p/\text{kPa})$ 曲线

Fig.2 $e\text{-lg}(p/\text{kPa})$ curve of MSW with different moisture ratios

从图 1 和图 2 可以看出，各种不同有机质含量 MSW 的 $e\text{-lg}(p/\text{kPa})$ 曲线在较高压力阶段大体呈一直线，因此将其看成一种特殊土进行研究是可行的且其主压缩指数为 $e\text{-lg}(p/\text{kPa})$ 曲线的斜率。

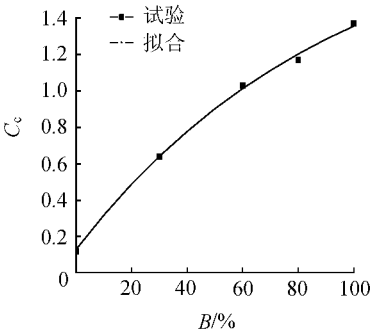


图 3 主压缩指数与 MSW 有机质含量的关系

Fig.3 Relationship between primary compression index and organic content of MSW

a. 从图 1 可知，MSW 的有机质含量为 100% 时 $e\text{-lg}(p/\text{kPa})$ 曲线斜率最大（即主压缩指数最大），而有机质含量为 0 时 $e\text{-lg}(p/\text{kPa})$ 曲线斜率最小（主压缩指数最小）。这是因为 MSW 中有机质成分大多具有孔隙较多、结构较松散、骨架刚度较小的特点，因此较容易压缩；而无机质成分一般内部孔隙较小，颗粒之间面积较大且骨架刚度较大。因此，当有机质与无机质按一定比例形成不同有机质含量且密实度相同的 MSW 时，有机质含量越高，骨架所能提供刚度越小，越容易压缩，即主压缩指数也就越大，反之亦然。试验结果表明，有机质含量分别为 100%、80%、60%、30%、0 时 MSW 的主压缩指数 C_c 值分别为 1.37、1.17、1.03、0.64、0.128。不同有机质含量的主压缩指数为

$$C_c = \alpha(1 - e^{-bB}) + c \quad (4)$$

式中： C_c ——MSW 主压缩指数； B ——MSW 中有机质含量。

笔者采用人工配料试验得到的 MSW 主压缩指数随有机质含量的变化规律（图 3）为

$$C_c = 1.88(1 - e^{-1.057B}) + 0.1292 \quad (5)$$

b. 从试验结果（图 2）可知，含水率为 0、30%、50%、70%、132%（饱和）时，MSW 主压缩指数分别为 1.03、0.99、1.00、0.99、0.95，可见主压缩指数随含水率的增加略有下降，但都在 0.99 左右（图 4）。这表明含水率对主压缩指数的影响非常小。不同含水率的 MSW 在加载前期压缩值差异较大，这是因为低应力下 MSW 结构较为松散，内部孔隙较大，颗粒接触面积较小。MSW 中有机质（如纤维、纸张等）具有遇水软化效应，这种遇水软化材料在干燥时强度和刚度都较大的情况下，遇水时其强度与刚度迅

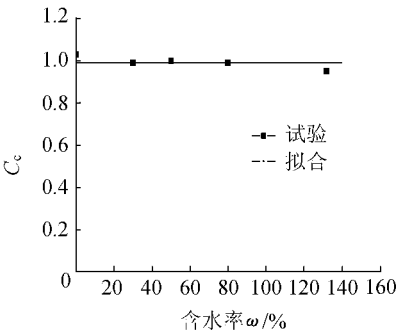


图 4 主压缩指数与含水率的关系

Fig.4 Relationship between primary compression index and moisture ratio of MSW

速减小.从图 2 可以看出,压缩值随着含水率的升高(低于持水率时)而增加,表明这种软化效应明显.当荷载较大时,MSW 变得密实,内部的孔隙变小,颗粒间接触面积增加.MSW 对外加荷载的抵抗不仅仅靠材料的骨架提供,MSW 中的各种不规则材料之间的咬合作用,内部纤维与纤维、纤维与无机质成分之间的摩擦力也发挥着较大作用.从主压缩指数看,在试验应力范围内(0~400 kPa),尽管主压缩指数略有下降,但是这种下降差异是可以忽略的.因此,不同含水率下 MSW 总压缩值随着含水率的增大而增加,但是 $e-\lg(p/\text{kPa})$ 曲线的斜率即主压缩指数与含水率无关.

4 结 论

- a. 由于一般压缩试验条件下 MSW 内的有机质会降解,MSW 主压缩指数规律的研究应采用快速固结方法.
- b. 随着有机质含量的增加,各主压缩指数也相应增加;在有机质含量相同的 MSW 中,初始含水率影响总的压缩值,呈初始含水率越高总压缩值越大的规律,而对主压缩指数影响可以忽略.
- c. 本文试验所采用试样的配比是在综合各大城市垃圾组成基础上选取的具有代表性的配比,因此结论具有一般性.

参考文献:

[1] 钱学德,郭志平,施建勇,等.现代卫生填埋场的设计与施工[M].北京:中国建筑工业出版社,2001:83-84,166-172.
[2] 陈云敏,柯瀚.城市生活垃圾的工程特性及填埋场的岩土工程问题[J].工程力学,2005,22(6):119-126.
[3] 谢强,张永兴,张建华.陈垃圾土的压缩性试验研究[J].重庆建筑大学学报,2003,25(4):18-22.
[4] 沈东升,何若,刘远宏.生活垃圾填埋生物处理技术[M].北京:化学工业出版社,2003:83.
[5] 深圳下坪固体废弃物填埋场,河海大学岩土工程研究所.深圳下坪固体废弃物填埋场中的水平防渗层特性研究[R].南京:河海大学岩土工程研究所,2002.
[6] 中华人民共和国水利部.GB/T 50123—1999 土工试验方法标准[S].北京:中国计划出版社,1999.
[7] 南京水利科学研究所.SL237—1999 土工试验规程[S].北京:中国水利水电出版社,1999.
[8] ASTM(American Society for Testing and Material). Standard test for one dimensional consolidation properties of soil[J]. Soil and Rock, 1999(4):79-84.
[9] HOSSAIN M S. Relationship of compressibility parameters to municipal solid waste decomposition[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2003, 23(4):1151-1158.
[10] MAHLER C F. Reflections on the stability of a municipal sanitary landfill[J]. Environmental Geotechnics, 1998, 10(1):83-88.

Experimental study and mechanism analysis of primary compression index of MSW

LIAO Zhi-qiang^{1,2}, SHI Jian-yong², MAO Jun²

(1. Department of Civil Engineering, Nanchang Institute of Aeronautical Technology, Nanchang 330063, China;
2. Geotechnical Research Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract :To prefect the previous research, large quantities of laboratory tests were performed on artificial MSW samples to study the law of variation of primary compression index of MSW with different components and moisture ratios. The result shows that the variation of components is of great influences but the variation of moisture ratio is of little influences on the primary compression index.

Key words :primary compression index; component; moisture ratio