

文章编号: 1008-1542(2011)01-0088-04

泡沫聚苯乙烯路堤填料蠕变特性试验研究

赵全胜, 叶 森, 张春会, 刘泮森

(河北科技大学建筑工程学院, 河北石家庄 050018)

摘 要: 泡沫聚苯乙烯(EPS) 是一种有效防治软土地基桥头跳车的超轻质填料, 以往 EPS 路堤设计及材料选用方法中基本没有考虑材料蠕变特性的影响。笔者对不同密度、不同压力下的 EPS 试样进行了系列压缩蠕变试验。结果表明, EPS 的蠕变变形值依赖于应力水平因子, 当应力水平因子小于 0.6 时, 蠕变变形与应力水平因子近似呈线性关系且很快稳定, 当应力水平因子大于 0.6 后, 蠕变变形呈非线性快速增长且难以稳定, 根据蠕变试验结论可以确定 EPS 抗压强度设计值和相应的密度要求; 蠕变变形与时间之间符合双曲线关系, 据此建立了压缩蠕变本构方程, 并给出了方程中参数的确定方法。试验数据分析表明, 建立的 EPS 蠕变方程能较好地反映 EPS 的蠕变特性。

关键词: EPS 路堤; 蠕变试验; 应力水平因子

中图分类号: TU443

文献标志码: A

Creep tests study on expanded poly-styrene in embankment

ZHAO Quan-sheng, YE Sen, ZHANG Chun-hui, LIU Pan-sen

(College of Civil Engineering and Architecture, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China)

Abstract: Expanded poly-styrene(EPS) is a new material to reduce the subsidence of the bridgehead of soft embankment. Traditional design and material selection of EPS embankment does not take into account the basic characteristics of creep. Creep tests of EPS specimens in varied density and pressure are performed. Results are as follows: Uniaxial compressive strength and anti-deformation ability of EPS linearly rise up with increasing density; creep deformation of EPS depends on the stress factor. Creep deformation increases closely linearly with the stress factor and becomes stable fast when the factor is less than 0.6. However the creep deformation increases nonlinearly and rapidly and becomes unstable when the factor is more than 0.6. Conclusion from the creep test can determine the design value of compressive strength of EPS and the corresponding density requirements. The relation between the creep deformation and time follows the hyperbolic curve, and the corresponding constitutive creep relation is presented. The method to obtain the parameters is introduced. Case studies show that the constitutive relation of EPS presented better reflects the creep behaviors of EPS.

Key words: EPS embankment; creep tests; the stress factor

泡沫聚苯乙烯(Expanded poly-styrene, 以下简称 EPS) 是超轻质高分子聚合物, 每立方米含 300~600 万个独立密闭气泡, 内含空气体积达 98% 以上, 这种封闭空腔结构决定了 EPS 具有很小的密度(路用一般为 20~30 kg/m³, 为土密度的 1/60~1/100) 和一定的结构强度, 满足路堤结构应力水平要求。因此, EPS 可以作为消除深厚软基段桥头跳车病害的超轻质填料^[1]。

收稿日期: 2010-09-07; 修回日期: 2010-11-10; 责任编辑: 冯 民

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(E2010000872)

作者简介: 赵全胜(1968), 男, 河北石家庄人, 副教授, 硕士, 主要从事岩土工程与轻质土方面的研究。

国内外已对 EPS 的物理、力学特性和施工工艺开展了若干研究^[2-9]。这些研究基本涵盖了 EPS 路堤填料物理力学性质和工程实例 2 个方面。作为路堤填料的 EPS 材料要长期承受荷载的作用, 过大的蠕变变形将引起路堤整体超限沉降, 甚至导致路面结构的损坏。然而, 目前国内外对 EPS 路堤工程设计和材料选用中考虑填料蠕变特性的研究鲜有先例, 笔者针对不同密度的路用 EPS 试样开展了蠕变试验研究, 分析了 EPS 密度、应力水平等因素对其蠕变特性的影响, 提出路用 EPS 材料选用及工程设计的一种新思路。

1 试 验

1.1 试验概况

试验在河北科技大学土木工程实验中心进行。试验样品选用北京市北泡君诚泡沫塑料有限公司生产的阻燃型模塑泡沫聚苯乙烯板材。试样按密度分别为 18.92, 19.09, 22.96, 26.50, 27.88 kg/m³ 5 组。在压缩蠕变试验前先在长春科新试验仪器有限公司生产的 WDW3100 微机控制电子万能试验机上测试其力学特性, 试验结果见表 1。

压缩蠕变试验设备采用经改制的南京土壤仪器厂生产的 WG 型三联固结仪, 该设备可以提供恒定的压力, 为了满足试验要求, 按照杠杆比配置了小砝码。

试样用自制热熔式切割台加工成 79 mm × 50 mm 的圆柱体试件, 按上述密度大小分为 5 组, 每组 3 块。为模拟公路与铁路路堤应力水平^[10], 试验施加的压应力分别为 50, 60, 75 kPa 和 90, 100 kPa。试验温度为 (23 ± 2) °C, 相对湿度为 (50 ± 5) %。试验过程中蠕变变形观测值用百分表读取, 试验方法参照《硬质泡沫塑料压缩蠕变试验方法》(GB/T 15048—1994), 试验时间历时 360 d。

试验开始后, 数据采集时点选择参照混凝土受压徐变试验要求, 按第 1, 3, 7, 14, 28, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 360 d 的上午 10 时进行读数, 然后对试验数据进行系统整理分析。

1.2 试验结果分析

图 1 为密度与单轴抗压强度点关系图, 图 2 为 50 kPa 恒应力下不同组号(不同密度) 的 EPS 试件蠕变曲线。

从图 1 可见, 随着密度的增加, 抗压强度(5% 压应变) 也随之增加, 抗压强度与密度近似呈线性关系, 利用最小二乘法拟合, 拟合关系式为

$$\sigma_c = 0.006\rho - 0.0203 \tag{1}$$

式中: σ_c 为 5% 应变对应的抗压强度, kPa; ρ 为 EPS 的密度, kg/m³。

从图 2 可见, 随着密度的增加, 初始压缩变形和蠕变变形都减少, 蠕变更快进入稳定阶段。因此, 密度是影响 EPS 压缩变形和蠕变的一个重要指标。随着密度的增加, EPS 内部孔隙减小, 其抗变形和抗蠕变能力都有所提高。

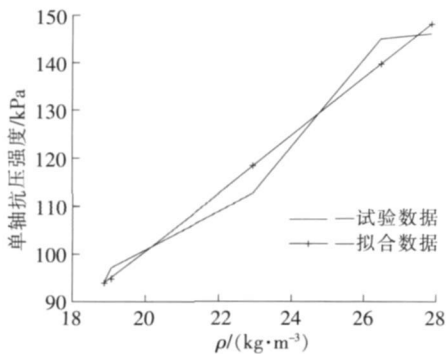


图 1 单轴压缩强度与密度关系曲线

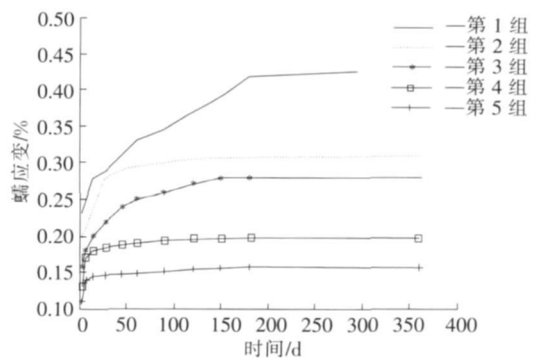


图 2 不同密度 EPS 试件在 50 kPa 压力下的蠕变曲线

Fig. 1 Curve of uniaxial compressive strength VS density Fig. 2 Creep curve of EPS with varied density under pressure at 50 kPa

下面仅对试验工程用密度为 22.96 kg/m^3 的 EPS 试件(表 2 中第 3 组) 不同压力下的蠕变试验进行分析, 结果见图 3。从图 3 可以看出, 随着压力增加到 75 kPa 以上, EPS 试件的蠕变变形迅速增长。

为了研究试验压力对蠕变发展的影响, 定义应力水平因子 ζ :

$$\zeta = \frac{P}{\sigma_c} \quad (2)$$

式中: σ_c 为无侧限抗压强度(5% 应变), kPa; P 为试验压力, kPa。

利用式(2) 计算应力水平因子, 将应力水平因子和蠕变极限值绘制于图 4 中。从图 4 可见当应力水平因子在 0.6 以下时(如图 4 中的 0.48 和 0.58, 对应的压力分别为 50 kPa 和 60 kPa), 蠕变变形迅速收敛, 180 d 内稳定, 稳定后其蠕变不到 0.6%。当应力水平因子超过 0.6 后(如图 4 中的 0.728, 对应压力为 75 kPa), 蠕变呈非线性快速增长, 蠕变值不能稳定, 360 d 达到 4.2%。当应力水平因子接近 1 时, 蠕变发展速度更快。这启示人们在利用 EPS 填筑路堤时应根据路堤部位的应力水平并考虑材料的蠕变特性, 确定合适的 EPS 材料抗压强度设计值, 进而根据式(1) 选择 EPS 密度。对于路堤变形控制要求较高的高速铁路和高等级公路, 充分考虑蠕变的影响, 应力水平因子宜控制在 0.6 以下, 根据式(2) 计算出作为 EPS 的设计强度。当 EPS 用于变形控制要求较低的一般铁(公) 路时, 可以适当放宽, 在设计中应力水平因子原则上最大不宜超过 0.7。

2 EPS 的蠕变本构方程

建立 EPS 材料的蠕变本构方程就是建立在长期荷载作用下 EPS 的蠕变变形与时间的关系, 常用方法主要有理论模型法和经验公式法。理论模型法是采用弹性元件、塑性元件和粘性元件进行组合, 该法具有一定的物理意义, 但存在拟合精度差、参数测试复杂等问题。经验公式法是利用蠕变试验数据通过经验拟合方法建立蠕变的本构方程, 该法拟合精度高, 适用范围广。笔者采用经验公式法建立 EPS 蠕变本构方程。

从 EPS 蠕变试验结果看, EPS 的压缩蠕变变形与应力水平、时间都有关系, 建立的本构方程应反映上述各因素的影响。从图 2 和图 3 的蠕变试验曲线看, 可以采用双曲线拟合 EPS 材料应变与时间的关系, 即

$$\varepsilon = \frac{bt}{a+t} \quad (3)$$

式中: a, b 为试验常数; ε 表示蠕变极限值。

式(3) 也可以写为

$$t = b \frac{t}{\varepsilon} - a \quad (4)$$

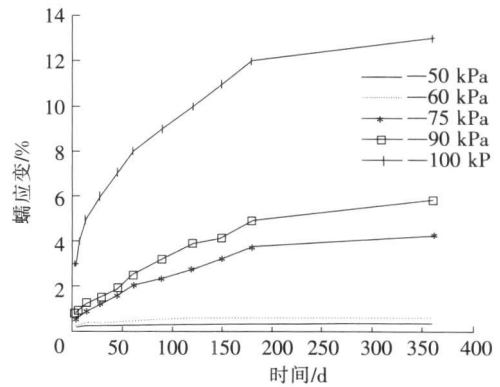


图 3 不同压力下的蠕变发展与时间关系

Fig. 3 Creep evolution VS time in varied stress

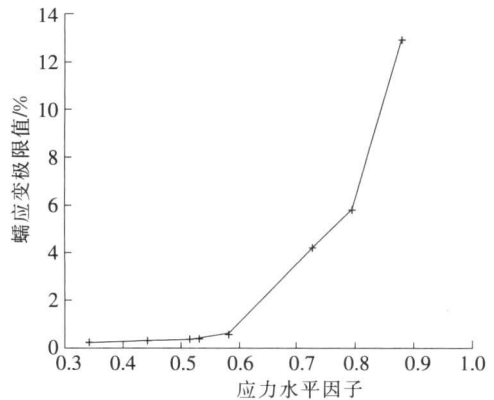


图 4 应力水平因子与蠕变极限值关系曲线

Fig. 4 Curve of maximum creep VS stress factor

表 2 蠕变本构方程参数拟合结果表

Tab. 2 Creep parameters of form fitting results

压力 / kPa	密度 / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	a	b	相关系数
50	18.92	13.063 0	0.004 4	0.967
50	19.09	3.308 7	0.003 1	0.958
50	22.96	6.003 2	0.002 9	0.978
50	26.50	1.801 4	0.002 0	0.957
50	27.88	2.162 6	0.001 6	0.986
60	22.96	15.003 9	0.006 2	0.968
75	22.96	63.206 0	0.046 3	0.937
90	22.96	66.004 4	0.062 8	0.926
100	22.96	30.502 0	0.135 9	0.923

从式(4)可见 t 和 t/ε 呈线性关系, 基于 t 和 t/ε 的数据对, 利用最小二乘法可以拟合出 b 和 a 。

对图 2 和图 3 中的试验数据的拟合结果见表 2。

从图 4 可以看出, 蠕应变极限值与应力水平因子有关。当应力水平因子小于 0.6 时, 蠕应变极限值和应力水平因子近似呈线性关系。对图 4 中的数据进行拟合, 得到拟合方程如下:

$$b = 0.0146\sigma - 0.0034 \quad (5)$$

拟合值和试验值的对比可参见图 5。从图 5 可见, 式(5)能较好地反映蠕应变极限值与应力水平因子之间的关系, 并可以应用于蠕应变极限值的计算。

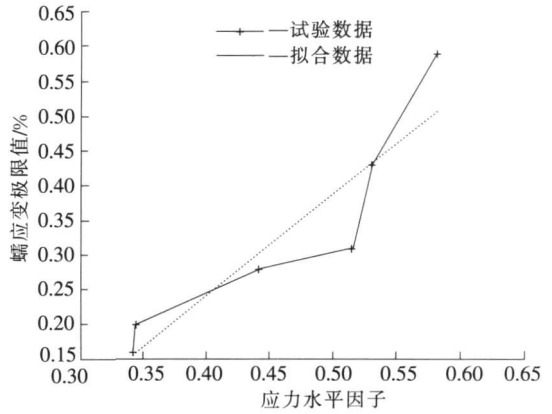


图 5 应力水平因子与蠕变极限值关系曲线
Fig. 5 Curve of maximum creep VS stress factor

3 结 论

笔者通过室内不同密度、不同压力下的路用 EPS 填料试样压缩蠕变试验, 得到如下结论。

1) EPS 的抗压强度和抗变形能力随着密度的增大而线性增加;

2) EPS 的蠕应变依赖于应力水平因子, 当应力水平因子小于 0.6 时, 蠕应变与应力水平因子呈线性关系, 蠕变值在 180 d 内稳定且满足高速铁路和高等级公路路堤变形要求; 当应力水平因子大于 0.6 时, 蠕应变随应力水平因子呈非线性快速增长, 蠕变值难以稳定将引起路堤超限沉降和铺面结构的损坏。

3) 利用 EPS 填筑路堤时应根据路堤部位的应力水平并考虑材料的蠕变特性, 根据式(2) 确定合适的 EPS 材料抗压强度设计值, 进而根据式(1) 选择 EPS 密度。

4) 对试验数据的分析表明, 蠕应变与时间之间符合双曲线关系, 其蠕变本构方程可用式(3) 表示, 其参数可通过试验数据利用线性拟合求出, 试验数据的统计分析表明, 建立的 EPS 蠕变方程能较好的反映其蠕变特性。

参考文献:

[1] 杜 骋, 杨 军. 聚苯乙烯泡沫(EPS) 的特性及应用分析[J]. 东南大学学报(自然科学版)(Journal of Southeast University(Natural Science Edition)), 2001, 31(3): 138-142.

[2] DUSKOV M. Measurements on a flexible pavement structure with an EPS Geoform sub-base[J]. Geotextiles and Geomembrances, 1997, 15: 147-181.

[3] 高燕希, 张 军, 张起森. 软弱地基桥台背填筑 EPS 的结构分析[J]. 中国公路学报(China Journal of Highway and Transport), 2003, 16(3): 27-30.

[4] 胡庆国, 阳军生, 黄生文. 采用泡沫聚苯乙烯修筑的轻型桥台路堤特性分析[J]. 中南大学学报(自然科学版)(Journal of Central South University(Science and Technology)), 2006, 37(2): 408-413.

[5] 白 冰. 泡沫塑料在道路工程中的应用[J]. 公路(Highway), 1993(4): 31-33.

[6] 吴 征, 曾 明, 钱志斌. EPS 轻质路堤的施工方法探讨[J]. 公路交通科技(Journal of Highway and Transportation Research and Development), 2003, 20(4): 30-33.

[7] 王 斌, 陈嘉福, 许永明, 等. 高速公路拼接段 EPS 轻质路堤现场试验研究[J]. 公路交通科技(Journal of Highway and Transportation Research and Development), 2008, 25(1): 27-42.

[8] 赵全胜, 苏国柱, 张春会, 等. 泡沫轻质土控制软土路堤桥头沉降试验[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版)(Journal of Liaoning Technical University(Natural Science)), 2010, 29(2): 260-262.

[9] 邓学明. 一类非线性系统分岔混沌拓扑结构分析[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2008, 29(3): 182-184.

[10] 赵全胜, 张春会. 改进 Duncan-Chang 模型及其在基坑开挖数值模拟中的应用[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2009, 30(2): 146-151.