

应力施加顺序对 AC—13 沥青混合料永久变形的影响研究

江照伟^{1,2}, 李增光^{1,2}, 季正军^{1,2}

(1.山东省交通科学研究院, 山东 济南 250031; 2.高速公路养护技术交通行业重点实验室(济南), 山东 济南 250031)

摘要: 在 30、40、50 ℃下利用 CRT—NU14 气动伺服沥青材料试验机对 AC—13 沥青混合料进行 0.4、0.7、1.0 MPa 3 种应力不同施加顺序组合下的三轴重复荷载试验,并对最大永久变形量对应的应力施加顺序下的试验数据进行线性拟合,研究应力施加顺序对沥青混合料永久变形性能的影响。结果表明,AC—13 沥青混合料在 0.4 MPa→0.7 MPa→1.0 MPa 应力作用下产生的永久变形量最大;试验温度下,AC—13 沥青混合料抵抗永久变形的能力随着荷载的增大而降低;荷载一定时,试验温度区间内 AC—13 沥青混合料抵抗永久变形的能力随着温度的升高而降低。

关键词: 公路;沥青路面;沥青混合料;永久变形;应力施加顺序

中图分类号:U416.2

文献标志码:A

文章编号:1671—2668(2017)04—0073—03

永久变形是长期困扰热拌沥青混合料路面的问题,其在实际路面中的表现形式为车辙。交通荷载的加重,加上日益增多的极端炎热天气,车辙已成为影响沥青路面使用性能的最主要病害。车辙的存在使路面行车舒适性受到严重影响,达到一定深度时还会对高速行驶的车辆造成安全危害。因此,必须对沥青混合料的永久变形性能进行系统研究,为控制沥青路面车辙量奠定基础。

大量研究证明,蠕变试验在反映沥青混合料粘弹性方面具有巨大优势,能模拟行车荷载对路面的动态作用。室内对沥青混合料永久变形的试验研究一般给定温度和偏应力,但实际路面变形的形成是在不同轴重的各种运行车辆碾压下形成的,应采用大小不同的荷载对沥青混合料进行加载以模拟实际情况。该文采用 CRT—UN14 气动伺服沥青材料试验机对沥青混合料进行不同应力施加顺序下的三轴重复荷载试验,研究应力施加顺序对沥青混合料永久变形的影响。

1 原材料性质

1.1 沥青性能指标

采用 AH—70 沥青,其性能指标见表 1,满足规范要求。

1.2 集料、填充料性能指标

所用集料为石灰岩,填充料为石灰石矿粉,其性能指标分别见表 2、表 3,均满足规范要求。

表 1 AH—70 沥青的主要性能指标

项目	试验结果
针入度(25 ℃)/(0.1 mm)	68.4
延度(15 ℃)/cm	>100
软化点/℃	51.3
密度/(g·cm ⁻³)	1.026
含蜡量(蒸馏法)/%	1.8

表 2 集料的物理性能指标

项目	粗集料	细集料
表观密度/(g·cm ⁻³)	2.766	2.698
压碎值/%	19.0	—
洛杉矶磨碎值/%	24.4	—
针片状颗粒含量/%	9.1	—
吸水率/%	0.49	0.56

表 3 填充料的物理性能指标

项目	试验结果
表观密度/(g·cm ⁻³)	2.734
含水率/%	0.3
外观	无团粒结块
加热安定性(200 ℃)	无颜色变化
0.600 mm	100
粒度范围/%	0.150 mm 94.8
0.075 mm	75.5

1.3 混合料级配

采用 AC—13 型混合料,其级配组成见表 4,经

马歇尔试验确定的最佳油石比为 4.6%。

表 4 AC-13 混合料的级配

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
16.00	100.0	1.180	26.5
13.20	95.0	0.600	19.0
9.50	76.5	0.300	13.5
4.75	53.0	0.150	10.0
2.36	37.0	0.075	6.0

2 三轴重复加载蠕变试验

2.1 试验仪器

采用 CRT-NU14 气动伺服沥青材料试验机进行重复加载动三轴试验。该试验机可利用气体压力为试件提供围压,模拟实际道路中沥青混合料受到的侧向约束;轴向加载器能提供轴向压力,使试件产生偏应力,模拟行车荷载对路面材料的作用;温控系统可将三轴室温度提高到 60℃,压力恒定时控制精度为 1℃;数据采集系统能自动采集传感器及位移计的电信号,位移、荷载的测量精度分别为 1 μm 和 1 N。

2.2 试件成型

为减少压实过程中集料的破碎,且使集料排列更接近实际路面,采用旋转压实成型试件,尺寸为 $\phi 100 \text{ mm} \times H 200 \text{ mm}$ 。

2.3 试验方法

加载波形为半正弦波,加载频率为 1 Hz,荷载作用时间为 0.2 s,卸载时间为 0.8 s,以充分模拟车轮荷载的作用与卸载。根据试验机的特点,选择 0.4、0.7、1.0 MPa 3 种荷载模拟轻型轿车、载重货车等多种车型不同胎压对实际路面沥青混合料的作用。选取 30、40、50℃ 3 种温度研究沥青混合料在常温、较高温度和高温下的变形叠加。

在不同温度环境中,为了使 AC-13 混合料在 3 种大小不同偏应力作用下都能产生可观的变形,设定 3 种应力作用次数:30℃ 时 400 次,40℃ 时 300 次,50℃ 时 50 次。

3 试验结果及分析

3.1 试验结果

不同温度和应力施加顺序下 AC-13 混合料的永久变形量见表 5。其中变形量差 ϵ_i 按下式计算:

$$\epsilon_i = N_1 - N_i \quad (i=2,3) \quad (1)$$

式中: N_1 为 0.4 MPa→0.7 MPa→1.0 MPa 应力施加

顺序下 AC-13 沥青混合料的永久变形量; $i=2$ 时, N_i 代表 0.7 MPa→0.4 MPa→1 MPa 应力施加顺序下 AC-13 混合料的永久变形量; $i=3$ 时, N_i 代表 1 MPa→0.7 MPa→0.4 MPa 应力施加顺序下 AC-13 混合料的永久变形量。

表 5 不同温度和应力施加顺序下 AC-13 混合料的永久变形量

温度/ ℃	应力施加 顺序/MPa	永久变形 量/%	变形量 差 ϵ_i /%
30	0.4→0.7→1.0	1.65	—
	0.7→0.4→1.0	1.63	0.02
	1.0→0.7→0.4	1.60	0.05
40	0.4→0.7→1.0	2.80	—
	0.7→0.4→1.0	2.75	0.05
	1.0→0.7→0.4	2.46	0.34
50	0.4→0.7→1.0	3.10	—
	0.7→0.4→1.0	2.80	0.30
	1.0→0.7→0.4	1.85	1.25

3.2 试验结果分析

表 5 所示试验结果表明:1) 所有试验温度下,0.4 MPa→0.7 MPa→1.0 MPa 应力施加顺序下 AC-13 沥青混合料产生的永久变形量均高于其他两种应力施加顺序下所产生的永久变形量。该加载顺序下,试件受到从小到大逐渐增大的荷载作用,逐级增大的荷载使试件丧失其回弹特性发挥的条件,试件最终变形是 3 个应力加载阶段各自变形量的线性累加。0.7 MPa→0.4 MPa→1.0 MPa 施加顺序下,0.7 MPa→0.4 MPa 这一由大到小的荷载施加过程相当于为试件提供了卸载条件,且 0.4 MPa 加载时间更长,试件在 0.7 MPa 作用下产生的部分瞬时弹性变形立即恢复,部分粘弹性变形随着 0.4 MPa 加载时间的持续而逐渐恢复,导致最终永久变形量减小;1.0 MPa→0.7 MPa→0.4 MPa 的分析过程与此相同。2) 所有试验温度下, $\epsilon_3 > \epsilon_2$,因为 1.0 MPa→0.7 MPa→0.4 MPa 是一个荷载逐级减小的过程,在 1.0 MPa→0.7 MPa 和 0.7 MPa→0.4 MPa 两个加载阶段,试件都可恢复部分瞬时弹性变形和粘弹性变形,而在 0.7 MPa→0.4 MPa→1.0 MPa 过程中只有 0.7 MPa→0.4 MPa 可供沥青混合料试件表现回弹特性,故 $\epsilon_3 > \epsilon_2$;随着温度的升高, ϵ_2 、 ϵ_3 逐渐增大,说明在 30~50℃ 时 AC-13 沥青混合料的回弹特性随着温度的升高越显著。因此,在进行沥青混合

料永久变形性能研究时,建议室内试验采取由小到大的应力加载顺序,以得到较安全的试验结论。

分别对 30、40、50 °C 时 0.4 MPa→0.7 MPa→1.0 MPa 应力施加顺序下 AC-13 沥青混合料的永久变形量进行拟合,结果见图 1~3。

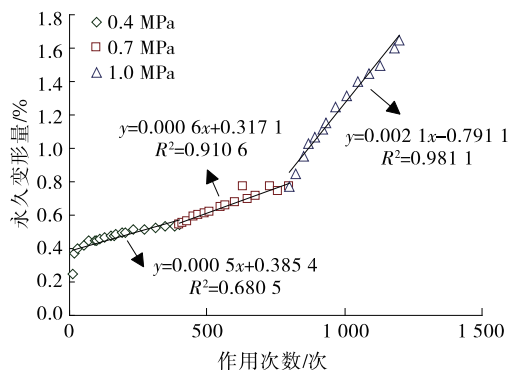


图1 30 °C 时 0.4 MPa→0.7 MPa→1.0 MPa 应力施加顺序下的永久变形过程

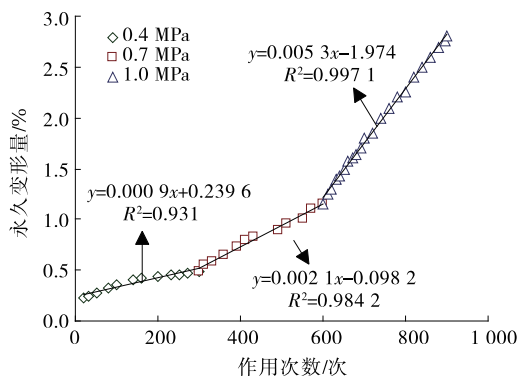


图2 40 °C 时 0.4 MPa→0.7 MPa→1.0 MPa 应力施加顺序下永久变形过程

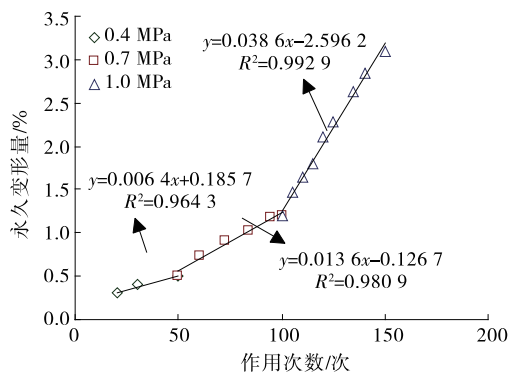


图3 50 °C 时 0.4 MPa→0.7 MPa→1.0 MPa 应力施加顺序下永久变形过程

拟合公式中的斜率 k 代表沥青混合料抵抗永久变形的能力,其值越大,则沥青混合料抵抗永久变形的能力越弱。30~50 °C 试验温度下,随着应力的

增大 k 值增大,说明 AC-13 沥青混合料抵抗永久变形的能力随着荷载的增大而降低;1 MPa 作用下的 k 值最大且远高于其他两种荷载下的 k 值,说明沥青混合料受到大荷载作用时变形会迅速增大。因此,要控制路面的永久变形量,应严格限制超载车辆,尤其是夏季高温时超载车辆的行驶。

4 结论

(1) 在 0.4 MPa→0.7 MPa→1.0 MPa、0.7 MPa→0.4 MPa→1.0 MPa、1.0 MPa→0.7 MPa→0.4 MPa 3 种应力施加顺序中,AC-13 沥青混合料在 0.4 MPa→0.7 MPa→1.0 MPa 作用下产生的永久变形量最大,室内沥青混合料永久变形试验宜采取由小到大的应力加载顺序,以得到最安全的试验结论。

(2) 在 30~50 °C 温度区间,AC-13 沥青混合料的回弹特性随着温度的升高而越加显著。

(3) 30~50 °C 试验温度下,AC-13 沥青混合料抵抗永久变形的能力随着荷载的增大而降低,在超过 0.7 MPa 荷载的作用下其永久变形迅速增大。

(4) 相同荷载条件下,在 30~50 °C 温度区间,AC-13 沥青混合料抵抗永久变形的能力随着温度的升高而降低。

参考文献:

- [1] 邓学均,黄晓明.路面设计原理与方法[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [2] 姚祖康.沥青路面结构设计[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [3] 李金凤,梁乃兴,王鑫洋,等.三轴重复荷载作用下 AC-13 沥青混合料永久变形试验分析[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2012,31(1).
- [4] W S Housel. Internal stability of granular materials: proceedings of the American Society for testing material[M]. Literary Licensing, LLC, 2013.
- [5] Van de L, P J. The creep test: a key tool in asphalt mix design and in the prediction of pavement rutting[J]. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 1978, 47.
- [6] Judycki J. Non-linear viscoelastic behaviour of conventional and modified asphaltic concrete under creep[J]. Materials and Structures, 1992, 25(2).
- [7] 徐世法.高等级道路沥青路面车辙预估和防治[D].上海:同济大学,1991.