

文章编号:1671-6833(2010)06-0055-05

沥青混合料组合结构车辙变形及力学特性研究

栗培龙, 张争奇, 王秉纲

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘 要:为研究组合结构试件的高温变形特性,分别采用2种沥青混合料制备总厚度相同、不同厚度组合的车辙板和圆柱形试件,进行车辙试验和单轴重复加载永久变形试验,分析组合试件的车辙变形行为和力学特性,讨论力学参数与车辙动稳定度和车辙变形的关系,并针对组合结构进行数值模拟分析,分析不同结构组合试件在荷载下的变形行为差异.研究表明,不同厚度组合的试件重复荷载变形特性存在较大的差异,在相同荷载次数下S(4/6)变形最小,即具有最好的抗永久变形性能,力学参数 ε_p/F_n 可以反映组合结构试件的高温变形性能.不同组合结构的最大剪应力及其出现的位置不同,S(4/6)试件的最大剪应力最小而且分布于高温性能较好的上面层,其抗永久变形能力最好.

关键词:沥青混合料;组合结构;永久变形;力学参数

中图分类号: D414.75

文献标识码: A

0 引言

车辙是高等级公路沥青路面的主要病害类型之一,其中沥青混合料的高温永久变形是产生路面车辙的重要原因.国内外学者^[1-5]针对沥青混合料的永久变形行为及机理开展了大量的研究.然而高等级公路沥青路面并不是单一混合料铺筑而成,而是由存在性能差异的沥青混合料分2层或3层铺筑而成,沥青路面车辙是双层或3层沥青混合料永久变形累积的结果^[6].目前,对沥青混合料组合结构永久变形的研究相对较少,为了研究组合结构试件高温性能,分别制作车辙板和圆柱形组合试件,并进行车辙试验和单轴重复加载永久变形试验,分析沥青混合料组合结构的车辙变形特性及其与力学参数之间的关系,讨论组合力学参数与单一混合料试件力学参数之间的关系,并结合数值模拟力学分析,分析不同组合结构的抗变形性能差异.

1 试验方案

由于试验设备对试件规格最大厚度10 cm的限制,试验过程中仅模拟2层组合,结构组合方案如表1所示.分别制作不同组合方案的车辙板,进

行不同温度的车辙试验,分析组合车辙试件的永久变形特性,试件成型过程中分层采用旋转压实成型,层间涂抹粘层油,以更加真实地模拟现场沥青路面.

表1 试件结构组合方案

Tab.1 Scheme of composite structures

试件	上面层	下面层	层厚比	备注
S(3/7)	3	7	0.43	上层为AC-13 下层为AC-20
S(4/6)	4	6	0.67	
S(5/5)	5	5	1	

同时采用旋转压实成型制作不同厚度的组合 $\phi 150\text{ mm} \times H110\text{ mm}$ 的试件(图1),再钻芯得到尺寸为 $\phi 100\text{ mm} \times H110\text{ mm}$ 的试件.将圆柱形试件进行单轴重复加载永久变形试验,试验及加载模式如下:以5%的轴心应力预压10 min,然后在0.7 MPa的应力水平下,采用半正弦波荷载加载

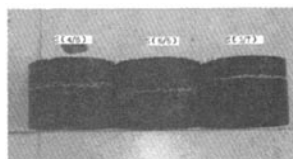


图1 不同厚度组合的SGC试件

Fig.1 Composite structure cylindrical specimens

收稿日期:2010-07-11;修订日期:2010-08-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51008031);国家西部交通建设科技项目(200631881221);中央高校基本科研业务费专项基金(CHD2009JC095)

作者简介:栗培龙(1980-),男,江苏邳州人,长安大学讲师,博士,主要从事路面结构与材料方面的研究,E-mail:peilong_li@126.com.

0.1 s, 卸载 0.9 s 作为一个循环, 完成 5 000 次蠕变恢复过程的循环。根据应力应变关系提取反映力学性能的力学参数, 并分析沥青混合料组合试件力学参数与车辙变形之间的关系。为了减少离散性, 以上均进行 3 组平行试验, 并取误差范围内的均值作为试验结果。

2 试验结果分析及讨论

2.1 组合结构试件车辙变形

车辙试验是评价沥青混合料高温性能的试验方法, 车辙变形曲线可以直观地反映在荷载作用下的抗变形性能。由于 40 ℃ 时车辙变形较小, 误差较大, 很难表现出不同组合结构之间的车辙变形差异, 所以只进行 50 ℃ 和 60 ℃ 时的车辙试验。由图 2 车辙变形曲线可以看出, 2 种温度下, 3 种结构组合的车辙发展趋势基本一致。在初期压密阶段, 相同荷载作用次数下的车辙变形排序为: $S(5/5) > S(4/6) > S(3/7)$, 但随着荷载作用次数的增加, 车辙变形排序变为: $S(5/5) > S(3/7) > S(4/6)$, 并逐渐稳定发展。由此可见, 不同厚度组合的试件抗变形能力存在较大的差异, 在相同荷载次数下 $S(4/6)$ 变形最小, 即具有最好的抗永久变形性能。

2.2 重复加载变形特性及力学参数分析

重复加载永久变形曲线反映了不同荷载次数

下的变形发展, 能够表征沥青混合料试件的永久变形行为。以上 3 种组合试件在不同温度下的单轴重复加载试验变形曲线如图 3 所示。在相同试验温度下, 不同厚度组合的试件重复荷载曲线存在较大的差异, 在相同荷载次数下 $S(4/6)$ 变形最小, $S(5/5)$ 的变形最大, 即 $S(4/6)$ 的变形发展最为缓慢, 具有最好的抗永久变形性能。在 40 ℃ 和 60 ℃ 条件下, $S(3/7)$ 和 $S(5/5)$ 变形发展较为接近, 而 50 ℃ 3 种组合结构试件均有较好的区分度。可见在不同的温度下组合结构的抗变形能力存在差异。

沥青混合料属于黏弹性材料, 能够反映其黏弹性响应的变形评价参数一直是研究的焦点^[7]。针对变形曲线的 3 个阶段, 研究者^[8]提出了沥青混合料变形特性评价参数, 包括第 1 阶段斜率 (PS), 第 2 阶段斜率 (SS)、第 3 阶段斜率 (TS) 及出现第 3 阶段的流动次数 (F_n) 表示沥青混合料的重复荷载变形特性, 其中 F_n 被认为可以有效衡量混合料的稳定性, 并被推荐表征热拌沥青混合料车辙敏感性最重要的参数之一。笔者^[9]通过大量研究, 认为 F_n 存在一定的局限性, 进而结合 F_n 对应的应变 ε_p 提出了组合参数 ε_p/F_n 。不同组合试件的荷载作用次数 F_n 等力学参数如图 4 所示。

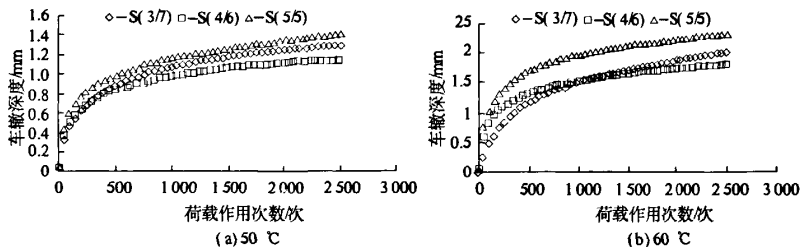


图 2 两种温度下的车辙变形曲线

Fig. 2 Rutting deformation curves at two temperatures

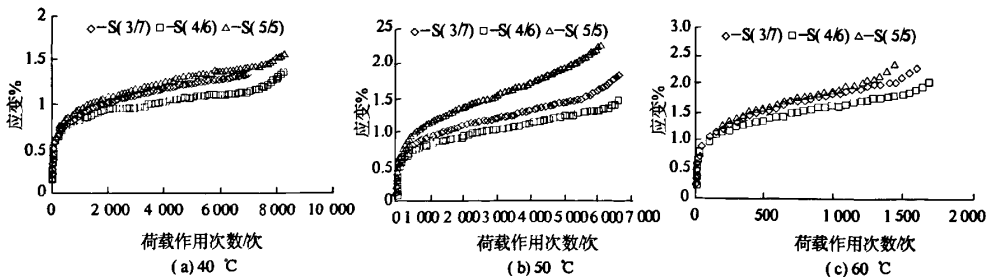
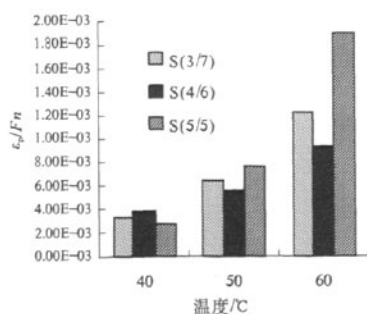
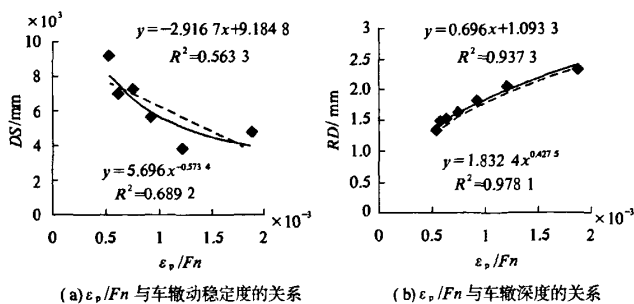


图 3 重复加载蠕变试验曲线

Fig. 3 Creep curves of composite structure specimens

图4 不同温度下3种组合结构的 ε_p/F_n 比较Fig. 4 Parameters ε_p/F_n of three structures

随着温度的升高,3种结构组合试件的重复加载试验力学参数 ε_p/F_n 均有显著增大,即温度越高,组合试件在荷载作用下达到临界破坏状态的流动次数产生的平均单位应变越大,越容易产生永久变形。在40 °C条件下,S(3/7)、S(4/6)、S(5/5)3种组合结构的力学参数 ε_p/F_n 差别不大,这是因为沥青混合料在较低的温度下刚度较大,应变较小,不同组合结构力学性能差异不显著;50 °C和60 °C条件下3种结构的 ε_p/F_n 排序一

(a) ε_p/F_n 与车辙动稳定度的关系(b) ε_p/F_n 与车辙深度的关系图5 组合试件 ε_p/F_n 与车辙试验指标的关系Fig. 5 The relationship between ε_p/F_n and at different temperatures rutting deformation

3 双层组合试件变形行为数值模拟分析

沥青混合料的变形特性与其内部的应力分布是分不开的,为了分析不同组合结构在相同荷载下的变形差异,采用ANSYS有限元软件对上述3种组合结构的受力状态进行数值分析。参考有关资料^[10]分别取上下2层AC-13和AC-20混合料的破坏模量为1400 MPa和1000 MPa,泊松比为0.35,按照重复加载试验模式建立模型,即压头与试件直径相同,直径和高度分别为100 mm和110 mm,底端UZ固定,试件无侧限作用,ANSYS软件分析结果如图6所示。

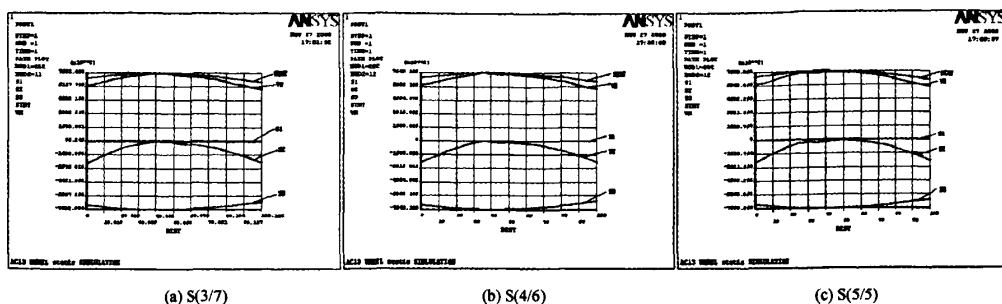
试件内部的剪应力由图6可知,不同组合结构的最大剪应力及其出现的位置均存在差异。对

致,即 $S(4/6) < S(3/7) < S(5/5)$,可见S(4/6)结构的抗永久变形性能最好。由此可见,2种相同的沥青混合料,不同的厚度组合将会表现出不同的力学性能,上面层沥青混合料太薄或者太厚都不利于发挥最好的力学性能。

2.3 组合结构试件永久变形及其与力学参数的关系

现将组合试件力学参数 ε_p/F_n 与车辙变形进行相关分析,由图5可知,组合参数 ε_p/F_n 与车辙动稳定度的相关性较差,与车辙深度的相关性较好,这是因为动稳定度一般仅反映第2阶段沥青混合料的抗永久变形特性,而车辙深度是压密阶段和稳定速率变形阶段2个阶段永久变形的积累,对于双层组合试件而言,厚度组合对车辙初期变形的影响较大,所以 ε_p/F_n 与动稳定度的相关性较差,这也从侧面反映出动稳定度表征混合料抗永久变形性能的局限性。但随着 ε_p/F_n 的增加,车辙深度不断增大,与车辙深度成较好的乘幂关系,乘幂相关系数达0.97以上,可见力学参数 ε_p/F_n 同样可以反映组合结构试件的高温变形性能。

于S(3/7)试件,最大剪应力为0.763 MPa,出现在40~50 mm之间,即上层厚度较薄时最大剪应力出现在下层结构中;对于S(4/6)试件,最大剪应力为0.754 MPa,出现在30~40 mm之间,可见与S(3/7)相比上层结构厚度增加后最大剪应力有所减小而且位置上移;对于S(5/5)试件,最大剪应力为0.755 MPa,出现在50 mm左右,即上层厚度继续增加,下层厚度减薄,最大剪应力变化不大,但位置下移致两层分界处。一般而言,与实际路面对应的上层沥青混合料破坏模量大于中面层,S(4/6)试件的最大剪应力最小而且分布于上面层,因此具有最好的抗永久变形能力,与以上试验结果一致。



(a) S(3/7)

(b) S(4/6)

(c) S(5/5)

图6 组合结构试件的应力分布

Fig. 6 Stress distribution in composite structures of asphalt concrete

4 结论

(1) 2种相同的沥青混合料,不同的厚度组合将会表现出不同的力学变形性能,在相同荷载次数下S(4/6)变形最小,S(5/5)的变形最大,即S(4/6)的变形发展最为缓慢,具有较好的抗永久变形性能;

(2) 随着 ε_p/Fn 的增加,车辙深度不断增大,与车辙深度成较好的乘幂关系,乘幂相关系数达0.97以上,可见参数 ε_p/Fn 可以反映组合结构试件的高温变形性能;

(3) 不同组合结构的最大剪应力及其出现的位置均存在差异,S(4/6)试件的最大剪应力最小而且分布于上面层,因此具有最好的抗永久变形能力。

参考文献:

- [1] 栗培龙,张争奇,王秉纲. 沥青混合料汉堡车辙试验方法研究[J]. 交通运输工程学报, 2010, 10(2): 30-35.
- [2] LU Q, HARVEY J T. Evaluation of moisture sensitivity of hot mix asphalt by flexural beam fatigue test [C]//MASAD E, PANOSKALTSIS V P WANG L B. Asphalt Concrete: Simulation, Modeling, and Experimental Characterization. Reston: American Society of Civil Engineers, ASCE, 2006: 124-133.
- [3] CHOEDHURY A, BUTTON J W, WIKANDER J P. Variability of Hamburg wheel tracking devices [R].

FHWA/TX-04/5-4977-01-1, Texas Transportation Institute, Texas, 2004.

- [4] YANG J, YIN C. Laboratory Study of Porous Asphalt Mixture Made With Rubber Bitumen [C]//CHEN D H, ESTAKHRI C, ZHA Xudong, et al. Material, Design, Construction, Maintenance, and Testing of Pavement. Reston: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2009: 22-31.
- [5] YILDIRIM Y, JAYAWICKRAMA P W, HOSSAIN M S, et al. Hamburg wheel-tracking database analysis [R]. FHWA/TX-05/0-1707-7, Texas Transportation Institute, Texas, 2006.
- [6] 乔英娟,王抒红,郭忠印. 基于侧向位移法的沥青路面抗车辙影响因素[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2009, 37(11): 1487-1491.
- [7] 栗培龙,张争奇,王秉纲. 沥青混合料粘弹性响应影响因素分析[J]. 郑州大学学报:工学版, 2010, 31(3): 96-100.
- [8] PAN T Y, TUTUMLUER E, CARPENTER S H. Effect of coarse aggregate morphology on permanent deformation behavior of hot Mix asphalt [J]. Journal of Transportation Engineering, ASCE, 2006, 132(7): 580-589.
- [9] 栗培龙. 沥青混合料粘弹性力学参数及其应用研究[D]. 西安:长安大学公路学院道路系, 2009.
- [10] 苏凯,孙立军,王永新,等. 行车荷载及路面结构对车辙影响的有限元分析[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2007, 35(2): 187-192.

Research on Permanent Deformation and Mechanical Properties of Composite Structure Asphalt Mixture

LI Pei-long, ZHANG Zheng-qi, WANG Bing-gang

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: In order to study the high-temperature performance of composite structure asphalt concrete speci-

mens, plate and cylindrical double-layer specimens with two asphalt mixtures are prepared to conduct wheel tracking test and uniaxial repeated load permanent deformation test. The rut deformation behavior and mechanical characteristics are analyzed and the relationship between rut deformation and mechanical parameters is also discussed. In addition, according to numerical simulation analysis, the deformation mechanism of composite structures under the same loads was discussed. The results and analysis indicate that the deformation behaviors of the specimens with different structures are different significantly despite the same total thickness. Among those specimens, S(4/6) has the smallest deformation and corresponding mechanical parameter ϵ_p/F_n is also the smallest under the same load. The maximum shear stresses and their occurrence in different positions for different composite structures have discrepancies. The maximum shear stress of S(4/6) is smaller than other structures, which appears in the upper layer having better high temperature performance. This is the reason why the resistance to permanent deformation of S(4/6) is best among the three composite structures.

Key words: asphalt concrete; composite structure; permanent deformation; mechanical parameter

(上接第46页)

- [3] PARK W C, YOON M H. The Implementation of Indoor location system to control zigbee home network. [C]. Bexco, Busan, Korea: SICE - ICASE International Joint Conference, 2006: 2158 - 2161.
- [4] BOE J. Zigbee 定位解决方案[J]. 电子设计应用,

2008; 85 - 87

- [5] 刘学平. 无线传感器网络 RSSI 定位算法的研究与应用[D]. 西安: 西北大学计算机软件与理论学院, 2009: 19 - 25.
- [6] 熊小华, 何能通. 无线传感器网络节点定位算法的研究综述[J]. 机电工程, 2009, 26(2): 14 - 17.

A RSSI Location Algorithm Based on the Centroid of Point of Intersection and Its Optimization

ZHU Hao¹, GU Zong-hai¹, SU Jin², LIU Yan¹, ZHANG Chen¹

(1. School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. School of Information Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: To enhance the accuracy, this paper represents a new location method based on RSSI called centroid alculuation of point of intersection, which gets the equations' mean through solving these equations with matrix, and the location message lies in the mean. Further more, two ways to optimize the centroid calculation are given. Compared with traditional LS algorithm, the location accuracy is highly enhanced. Finally, it gives a method to realize the three-dimension location is proposed.

Key words: RSSI; location; centroid - calculation; three-dimension location