

文章编号:1671-6833(2007)03-0037-03

半刚性路面 TDC 成因的有限元分析

李清富¹, 杨泽涛¹, 王 鹏^{1,2}

(1. 郑州大学 环境与水利学院, 河南 郑州 450001; 2. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 沥青路面向下扩展裂纹(Top-down Cracking, 简称 TDC)是导致沥青路面破坏的原因之一,也是目前道路工程领域研究的热点。为探讨 TDC 成因,建立了路面结构的三维有限元模型,并采用大型有限元软件进行计算。计算结果表明,在假定的车轮荷载作用下,路面结构最大剪应力发生在路面表层,位置在轮迹边缘,其大小接近或超过常温下沥青混合料的抗剪强度,是导致半刚性路面产生 TDC 的主要原因。

关键词: TDC; 有限元; 最大剪应力

中图分类号: U 416. 217 **文献标识码:** A

0 引言

传统的路面疲劳开裂总是假定发生在基层,然后向上扩展,人们对于这种破坏机理的研究已经取得了较深入和系统的成果,目前的许多路面设计方法都以此为依据。然而,近年的观察研究发现,在轮迹带附近出现源于表面而向下扩展的纵向裂纹,这种裂缝形式已经引起许多道路工作者的关注。沥青路面向下扩展裂纹(Top-down Cracking, TDC)^[1-2]可定义为起始裂纹发生在路面表面并且向沥青面层内扩展传播。早期也称为表面裂纹(Surface cracking)^[3-4]、表面起始裂纹(Surface initiated cracking)^[3]、表面起始纵向轮迹裂纹(Surface-initiated longitudinal wheel path cracking)^[5-6]、纵向表面裂纹(Longitudinal surface cracking)^[7]等。笔者将试图通过对路面结构的有限元分析,寻找半刚性路面产生 TDC 的原因。

1 路面结构有限元模型的建立

1.1 轮胎荷载模型的选择

车轮荷载是使路面产生应力、应变和位移变化的外力,是促使路面破坏的直接原因之一。汽车在路面上行驶有停驻、刹车、转向等状态,随着汽车在路面上运动状态的变化,车轮荷载的作用方向和作用力的大小也会有所改变,因此合理地选择轮胎荷载模型是正确分析路面响应的基础,是

准确确定 TDC 成因的根本。文献[8]对车轮荷载模型进行了较系统的研究,根据文献[8]研究成果,作者取车轮荷载的计算简化模型如图 1 所示(纵向花纹,轴载 100 kN)。

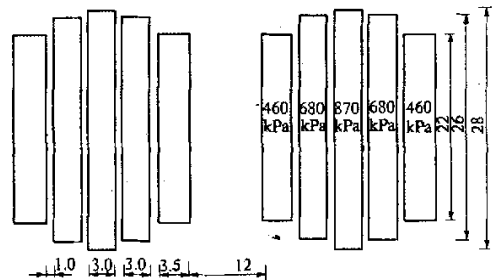


图 1 荷载模型

Fig. 1 Load model

注:图中长度单位为 cm

1.2 有限元模型的选择

笔者选定的有限元计算模型如图 2 所示:模型的尺寸为 5 m × 5 m × 5 m;边界条件为下底面固支,平行行车方向的两个侧面为滑动支撑,上表面和垂直行车方向的两个侧面为自由面,层间完全连续;单元采用实体八结点六面体单元;网格的划分采用手工划分加自动划分,在车轮荷载作用的位置上采用手工划分,网格划分较密,其余地方采用自动划分。计算过程采用大型通用有限元软件 ABAQUS。

1.3 路面结构计算参数的确定

路面结构不同,其结构层内的力学响应也不

收稿日期:2007-03-06;修订日期:2006-06-07

基金项目:河南省高校创新人才培养计划项目(2005)。

作者简介:李清富(1966-),男,河南林州人,郑州大学教授,博士,主要从事道路和桥梁领域的研究工作。

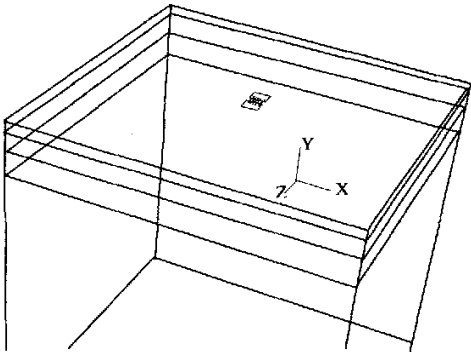


图2 模型坐标

Fig.2 The coordinate of model

同,因此要区分不同类型的路面结构参数.本研究采用的半刚性沥青混凝土路面具体参数值见表1.

表1 计算所用的路面结构及参数

Tab.1 Pavement structure and parameters for calculation

序号	结构层	半刚性路面结构			泊松比
		混合料	厚度/cm	弹性模量/MPa	
1	面层	沥青混凝土 AC	15	1 200	0.25
2	基层	水泥稳定碎石	30	1 500	0.25
3	底基层	石灰土	40	800	0.30
4	土基			40	0.35

2 计算结果与分析

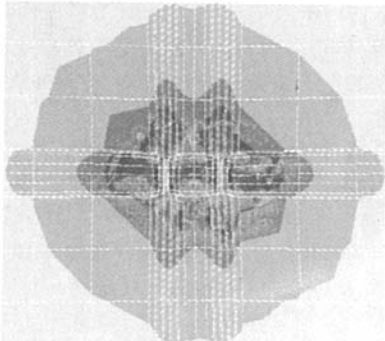
将上述结构参数输入到有限元模型中进行计算,得到面层的最大拉应力和最大剪应力值见表2,图3为最大剪应力的应力云图.

表2 最大拉应力、剪应力值及其位置

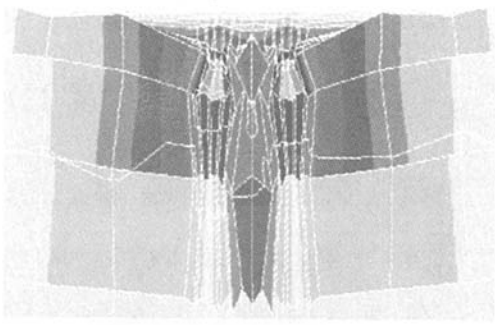
Tab.2 The maximum tensile stress, shear stress and locations

项目	应力值/Pa	出现位置坐标/m
最大拉应力	4.128E+04	(0.0,1.65,2.5)
最大剪应力	3.26E+05	(0.0,2.5,2.325)

注:坐标对应的是(x,y,z),其中坐标的原点位于右侧面的中心.



(a)正上方视图



(b)横断面视图

图3 最大剪应力云图

Fig.3 The maximum shear stress of contour

从表2中的数据可以看出,最大剪应力的值明显大于最大拉应力,且出现在路面的面层,而最大拉应力比最大剪应力小一个数量级,它出现的位置是位于底基层底部(因为坐标y值为1.65,恰好等于2.5-0.85).一般沥青混合料在常温、低温下的抗拉强度数量级为1 MPa^[9],抗剪强度约为0.3~0.5 MPa^[10].本研究计算的最大拉应力比混合料抗拉强度小一个数量级,而最大剪应力在材料抗剪强度范围内,考虑到混合料的疲劳作用,因此可以认为最大剪应力可能是导致TDC的直接原因,这一结论与文献[11]的研究结论相同.为进一步了解最大剪应力的变化规律,笔者分别计算最大剪应力与E1/E2以及面层厚度的关系,计算结果分别见图4和表3.

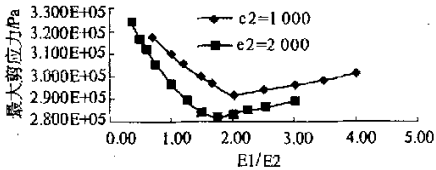


图4 最大剪应力与E1/E2的关系

Fig.4 The relation between the maximum shear stress and E1/E2

表3 面层厚度对应力和弯沉值的影响

Tab.3 Effect of surface thickness on stress and flexure

面层厚度/cm	最大拉应力/Pa	最大剪应力/Pa	弯沉值/m
9	4.129E+04	3.053E+05	-3.851E-04
12	4.019E+04	3.046E+05	-3.771E-04
15	3.901E+04	3.093E+05	-3.696E-04
18	3.782E+04	3.084E+05	-3.626E-04

从图4可以看出,基层的弹性模量E2大时,最大剪应力随着E1/E2的增大而减小的速率大,同时还可以发现E1/E2的值接近2时,最大剪应力的值最小,大于2或者小于2的时候都是增大

的,而且小于2时下降明显,大于2时增大较缓。

表3的计算结果表明,不管是拉应力还是弯沉值都是随着面层厚度的增大而减小,但是对最大剪应力却没有明显的影响,最大误差不超过2%。

3 结论

(1)最大剪应力发生在路面表层,是导致半刚性路面 TDC 的主要原因;

(2)最大拉应力发生在路面底基层底部,是导致路面反射裂缝的主要原因;

(3)路面面层厚度对最大剪应力没有明显影响,但最大拉应力和路面弯沉值随面层厚度的增加而减小;

(4)面层与基层的弹性模量比对最大剪应力有一定影响,比值在2附近时最大剪应力值最小;

由于本文考虑情况有限,许多问题尚有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] UHLMAYER J S, WILLOUGHBY K, PIERE L M, et al. Top - Down cracking in Washington State asphalt concrete wearing courses[A]. In 79th Annual Meeting (CD - ROM), TRB, National Research Council, Washington, D. C., 2000, Paper No. 00 - 0405.
- [2] SVASDISANT T, SCHORSCH M, BALADI G Y, et al. Mechanisti analysis of Top - Down cracks in asphalt pavements[A]. In 81st Annual Meetin (CD - ROM), TRB, National Research Council, Washington, D. C., 2002.
- [3] DAUZATS M, RAMPAL A. Mechanism of surface cracking in wearing courses[A]. Proceedings, 6th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, July 1987:232 - 247.
- [4] GERRITSEN A H, VAN GURP C A P M, VAN DER HEIDE. Prediction and prevention of surface cracking in asphaltic pavement[A]. Proceedings, 6th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, July 1987:378 - 391.
- [5] MYERS L A, ROQUE R, BIRGISSON B. Propagation mechanisms for surface - initiated longitudinal wheel path cracks [A]. In 80th Annual Meeting (CD - ROM), TRB, National Research Council, Washington, D. C., 2001, Paper No. 01 - 0433.
- [6] MYERS L, ROQUE R, RUTH B E. Mechanisms of surface - initiated longitudinal wheel path cracks in high - type bituminous pavements[J]. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 1998, 67:401 - 432.
- [7] MATSUNO S, NISHIZAWA T. Mechanism of longitudinal surface cracking in asphalt pavement[A]. Proceedings, 7th International Conference on Asphalt Pavements, The University of Nottingham, 1992: 277 - 291.
- [8] 谢水友. 轮胎接触应力对沥青路面结构的影响研究[D]. 西安:长安大学硕士学位论文,2003.
- [9] 毕玉峰. 沥青混合料抗剪试验方法及抗剪参数研究[R]. 上海:上海同济大学道路与机场工程系, 2004.
- [10] 吕伟民. 沥青混合料设计原理与方法[M]. 上海:上海同济大学出版社,2001.
- [11] 李 峰,孙立军. 沥青路面 Top - Down 开裂成因的有限元分析[J]. 公路交通科技,2006,23(6):1 - 4.

Finite Element Analysis of Top - Down Cracking in Semi - rigid Pavement

Li Qing - fu, Yang Ze - tao, Wang peng

(1. School of Environment and Water Conservancy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. School of transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Surface - initiated longitudinal cracking along wheel path (or Top - down Cracking) is not only one of the main damage types of heavy - duty asphalt pavement but also a fresh hotspot in the field of pavement damage focused. The authors developed a 3D finite element model to discuss the cause of TDC with large finite element software. The analysis shows that maximum shear stress which come into surface - initiated under wheel load is beyond shear strength of asphalt binder. So the authors consider the maximum shear stress the major reason that causes Top - down Cracking.

Key words: TDC; finite element; maximum shear stress.