

文章编号:1671-8879(2008)03-0036-04

高速公路拓宽差异沉降对路面结构的影响

傅 珍¹,王选仓¹,陈星光²,李宏志³,周洪文³,王 磊³

(1. 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;

2. 广东省公路勘察设计院,广东 广州 510507; 3. 河南高速公路安新改建工程项目部,河南 新乡 450003)

摘 要:为减少扩建高速公路拼接段的差异沉降,采用有限元 ANSYS 程序,研究了高速公路拓宽工程中新旧路基差异沉降对路面结构的力学影响。通过对路面应力进行计算,分析了拓宽沥青路面在使用期内不同阶段承受附加应力的力学特点与破坏方式,并预测了纵向开裂的出现位置。结果表明:早期开裂中,沥青混凝土面层和基层顶面产生较大拉应力,裂缝产生位置随着最大拉应力偏离新旧路基连接面而靠近旧路中心线方向;后期开裂中,最大拉应力和纵向开裂位置出现在新旧路基衔接处附近,且在靠近旧路一侧;当最大差异沉降超过 1.5 cm,沥青路面基层产生的附加应力大于其容许拉应力 0.21 MPa 时,路面便会产生开裂现象。

关键词:道路工程;路面结构;拓宽;差异沉降

中图分类号:U416.2 **文献标志码:**A

Influence of differential settlement on pavement structure in expressway widening project

FU Zhen¹, WANG Xuan-cang¹, CHEN Xing-guang²,
LI Hong-zhi³, ZHOU Hong-wen³, WANG Lei³

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Guangdong Province Institute of Highway Survey and Design, Guangzhou 510507, Guangdong, China; 3. Henan Province Department of Anxin Expressway Rebuilding Project, Xinxiang 450003, Henan, China)

Abstract: In order to decrease the differential settlement at the connection of old and new subgrade, this paper studies the mechanical influence of differential settlement on pavement structure between the old embankment and the new one in expressway widening project with the ANSYS analysis. By calculating stress in bituminous pavement, the trait of accessional stress and destructive styles in different periods of useful life are analyzed, and the position of longitudinal crack is forecasted. The research results show that, in early cracking, the bigger tensile stress appears on the top of surface and base, and the cracking position is closer to the center of the old road when the maximal tensile stress is further away from the bonded areas between the old and the new embankment; in the later cracking, the maximal flexural tensile stress appears on the top of asphalt surface and the maximal tensile stress appears at the bonded areas nearby. When the biggest differential settlement is more than 1.5 cm, the additional stress in bituminous pavement

收稿日期:2007-03-25

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200531881213)

作者简介:傅 珍(1976-),女,河南鹤壁人,讲师,博士,E-mail: fuzhen524@163.com

will be bigger than its confessional tensile stress, the cracks will occur at here. 3 tabs, 4 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; pavement structure; widening; differential settlement

0 引 言

近年来,为了满足急剧增长的交通需求,中国已对多条高速公路进行了扩建。研究人员虽然对高速公路拼接段的沉降变形规律及处治措施进行了相应的分析^[1-5],但是对高速公路拓宽工程中新旧路基差异沉降的路面结构力学影响分析较少^[6-9]。现有公路的扩建工程均为双侧拓宽,且为沥青路面。为此,本文对双侧拓宽条件下的沥青路面各结构层的拉应力进行计算分析,并预测纵向开裂出现的位置,从而为路面纵向裂缝的产生和防治提供理论参考。

1 计算模型和参数

1.1 路基沉降模型与计算参数

1.1.1 路基沉降模型及其假定

基于路基沉降影响因素的复杂性,综合考虑计算简化和计算精度的要求^[10],对计算模型做如下简化和假定。

- (1)按空间问题考虑,进行三维有限元分析。
- (2)土体为弹塑性材料,采用 Drucker-prager 模型进行模拟;同时采用 SOLID-45 单元,空间 8 节点等参元。
- (3)新旧路基接触面完全连续,且不发生滑移。
- (4)边界条件:地基地面为 3 个方向完全约束;地基宽度两侧水平约束(x 、 y 方向);地基和路基沿公路延伸方向(z 方向)水平约束。
- (5)计算得到的路基沉降为拓宽路基的最终沉降,包括 3 部分:旧路的第二次沉降和新路基的第一、第二次沉降,不包括旧路基在加铺前的沉降(即旧路基第一次沉降)。

1.1.2 路基计算参数及几何模型

拟拓宽高速公路旧路基宽为 26 m,采用双侧对称拓宽方式,每侧拓宽 8 m,拓宽路基宽度为 42 m,边坡坡度为 1:1.5,则拓宽路堤底部宽度为 66 m,地基计算深度为 20 m,计算宽度取 200 m(大于 3 倍拓宽路堤底部宽度),计算长度(沿公路延伸方向)取 1 m。计算参数见表 1。旧路基和新路基的模量取回弹模量,土基模量取压缩模量。

表 1 计算参数

类 别	高度/m	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	模量/ MPa	泊松比 μ	内摩擦 角 $\Phi/(^{\circ})$	粘聚力 c/kPa
旧路基	8	18	50	0.35	20	25
新路基	8	18	40	0.35	20	25
土基	20	18	4	0.35	15	25

1.2 路面模型与计算参数

在路基沉降模型基础上添加底基层、基层和面层,通过施加重力改变土的压缩模量和路基高度,得到不同的差异沉降,产生附加弯拉应力及剪应力,模型简化与假设如下所述。

- (1)层间接触完全连续,不会产生脱空现象。
- (2)沥青面层、基层和底基层为均匀、连续、各向同性的线弹性体。
- (3)土体为弹塑性材料,采用 Drucker-prager 模型进行模拟。
- (4)结构层回弹模量采用 20 ℃ 抗压回弹模量。
- (5)将 3 层沥青混凝土并作一层计算,抗压回弹模量采用 1 200 MPa。

计算参数见表 2、表 3,计算网格划分见图 1。

表 2 路面结构设计参数

材 料	厚度/cm	20 ℃ 抗压回 弹模量/MPa	15 ℃ 抗压回 弹模量/MPa	劈裂强度/ MPa
SMA-13	4	1 200	1 800	1.2
AC-20	6	1 200	1 800	1.1
AC-25	8	1 000	1 400	0.8
水泥稳定碎石	36	1 500	1 500	0.5
低剂量水泥稳定碎石	20	1 000	1 000	0.4
路基土		40		

表 3 材料计算参数

材 料	厚度/ cm	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 E / MPa	泊松比 μ
沥青混凝土	18	23	1 200	0.25
水泥稳定碎石	36	23	1 500	0.25
低剂量水泥稳定碎石	20	23	1 000	0.25

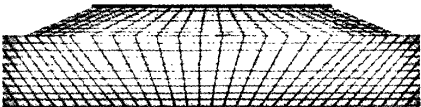


图 1 网格划分

2 差异沉降对路面结构层的力学影响

2.1 早期开裂

当差异沉降较大时,路面产生很大的附加弯拉应力,路面材料的抗弯拉强度不足以抵抗过大的附加应力,便会产生纵向裂缝。这种纵向破坏在路面拓宽完工后不久产生,为早期开裂,此时路基最大差异沉降与路面结构层最大拉应力的关系见图 2。

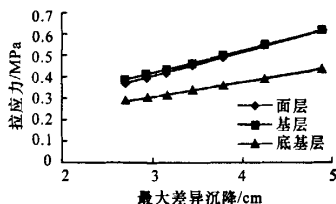


图2 路基最大差异沉降与路面结构层最大拉应力的关系

从图 2 可以看到,各结构层顶面最大拉应力随最大差异沉降的增大而增大,且呈线性增长。由表 2 可知,水泥稳定碎石基层的劈裂强度是 0.5 MPa,远小于沥青面层的劈裂强度 1.2 MPa。即使面层受力良好,如果基层顶面发生开裂,在行车荷载作用下极容易在开裂处产生集中应力,面层拉力过大而产生反射裂缝。所以,应该以基层顶面的最大拉应力作为控制指标。

由以上分析可以看出,早期开裂的主要断裂力学特点有以下几种情况。

(1)在沥青混凝土面层和基层顶面产生较大拉应力,且基层顶面的拉应力略大于沥青混凝土面层顶面拉应力,而底基层拉应力较小。

(2)差异沉降越大,路面附加弯拉应力越大,最大拉应力的位置越偏离新旧路基连接面(偏向旧路中心线方向),裂缝产生位置也越靠近旧路中心线。

(3)在早期开裂中,由于沥青路面承受的前期荷载较少,可以认为路面材料的抗弯拉强度没有发生疲劳衰减,因此各结构层抗拉强度可以用材料的极限抗拉强度即劈裂强度表征。

2.2 后期开裂

当差异沉降量较小时,产生的附加应力不足以使沥青路面开裂,这种情况将一直持续到沥青路面使用后期。随着沉降量的逐步增大,附加应力也随之增大。同时,由于交通荷载的反复作用和沥青路面的老化,沥青路面结构层的抗弯拉能力进一步衰减,当不足以承受差异沉降所产生的附加弯拉应力时便产生纵向开裂。沥青路面使用后期,路基最大差异沉降与路面结构层最大拉应力的关系见图 3。

沥青路面在使用后期,结构层抗弯拉能力以路

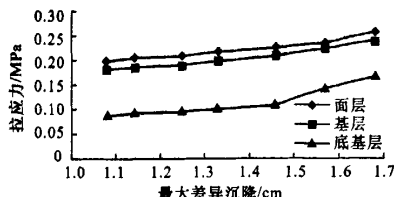


图3 路基最大差异沉降与路面结构层最大拉应力的关系

面材料的容许拉应力表征,结构层材料的容许拉应力是路面承受行车荷载反复作用达到临界破坏状态时的最大疲劳应力。当沥青路面结构层产生的附加拉应力 σ 大于路面结构层材料容许拉应力 σ_R 时,沥青路面便产生裂缝,其中

$$\sigma_R = \sigma_{sp} / K_s \quad (1)$$

式中: σ_{sp} 为结构层材料劈裂强度(MPa); K_s 为抗拉强度结构系数。

对于沥青混凝土面层

$$K_s = 0.08 A_s N_c^{0.22} / A_c \quad (2)$$

对于无机结合料稳定基层

$$K_s = 0.35 N_c^{0.11} / A_c \quad (3)$$

式中: A_c 为公路等级系数,高速公路、一级公路为 1.0,二级公路为 1.1; A_s 为沥青混合料级配系数,细、中粒式沥青混凝土为 1.0,粗粒式为 1.1; N_c 为设计年限内一个车道上累计当量轴次,安新(安阳—新乡)高速公路拓宽工程为 1.507×10^7 次。

根据高速公路扩建工程路面结构设计参数,利用式(1)得到沥青面层容许拉应力为 0.35 MPa,基层容许拉应力为 0.21 MPa。由图 3 可以看出,当后期最大差异沉降超过 1.5 cm,沥青路面基层产生的附加应力大于基层容许拉应力 0.21 MPa 时,路面便产生开裂现象。

后期开裂的特点主要有:① 绝对沉降量相对较小,最大差异沉降小;② 最大弯拉应力出现在沥青面层顶面,基层顶面的弯拉应力略小于沥青面层顶面弯拉应力;③ 最大拉应力出现在新旧路基衔接处附近(图 4),纵向开裂位置在新旧路基衔接处附近,且在靠近旧路一侧;④ 基层首先达到破坏状态,其次是底基层和面层。

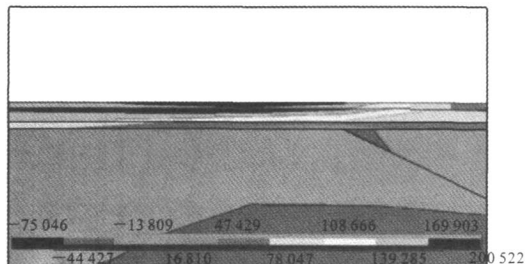


图4 路面结构层拉应力分布 单位:Pa

3 结 语

(1)在早期开裂和后期开裂中,各结构层顶面最大拉应力都随最大差异沉降的增大而增大,且基本呈线性增长。

(2)早期开裂中,在沥青混凝土面层和基层顶面产生较大拉应力,且基层顶面的拉应力略大于沥青混凝土面层顶面拉应力;底基层拉应力较小,而土基受压;差异沉降越大,路面附加弯拉应力越大,最大拉应力出现的位置越偏离新旧路基连接面(偏向旧路中心线方向),裂缝产生的位置也越靠近旧路中心线。

(3)后期开裂中,最大弯拉应力出现在沥青面层顶面,基层顶面的弯拉应力略小于沥青面层顶面弯拉应力;最大拉应力和纵向开裂位置均出现在新旧路基衔接处附近,且在靠近旧路一侧;基层先达到破坏状态,然后是底基层和面层。

参考文献:

References:

- [1] 高 翔,刘松玉,石名磊.软土地基上高速公路路基扩建加宽中的关键问题[J].公路交通科技,2004,21(2):29-33.
GAO Xiang, LIU Song-yu, SHI Ming-lei. Key problems in embankment widening of expressway on soft ground [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(4): 29-33.
- [2] 傅 珍,王选仓,陈星光,等.拓宽路基差异沉降特性和影响因素[J].交通运输工程学报,2007,7(1):54-57.
FU Zhen, WANG Xuan-cang, CHEN Xing-guang, et al. Differential settlement characteristics and influencing factors of widening subgrade[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(1): 54-57.
- [3] 傅 珍,王选仓,陈星光,等.安新高速公路改建工程台阶开挖方案分析[J].公路,2006,(12):71-74.
FU Zhen, WANG Xuan-cang, CHEN Xing-guang, et al. Analysis on scheme of digging steps in Anxin widening expressway[J]. Highway, 2006, (12): 71-74.
- [4] 傅 珍,王选仓,陈星光,等.土工格室处理高速公路拓宽结合部分析[J].郑州大学学报:工学版,2007,28(1):76-78.
FU Zhen, WANG Xuan-cang, CHEN Xing-guang, et al. Analysis of treating connection of expressway widening project with geocell [J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Science, 2007, 28(1): 76-78.
- [5] 蒋 鑫,邱延峻.旧路拓宽全过程三维有限元分析[J].工程地质学报,2005,13(3):419-423.
JIANG Xin, QIU Yan-jun. Three-dimensional numerical simulation of pavement performance in widened roads[J]. Journal of Engineering Geology, 2005, 13(3): 419-423.
- [6] 邓卫东,张兴强,陈 波,等.路基不均匀沉降对沥青路面受力变形影响的有限元分析[J].中国公路学报,2004,17(1):12-15.
DENG Wei-dong, ZHANG Xing-qiang, CHEN Bo, et al. Nonlinear FEM analysis of influence of asphalt pavement under non-homogenous settlement of roadbed [J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(1): 12-15.
- [7] 张嘉凡,张慧梅.软土地基路基不均匀沉降引起路面结构附加应力[J].长安大学学报:自然科学版,2003,23(3):21-25.
ZHANG Jia-fan, ZHANG Hui-mei. Additional stress in pavement structure due to asymmetrical settlement of soft subgrade[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(3): 21-25.
- [8] 张洪亮,胡长顺,吕文江.路桥过渡段容许差异沉降计算模型[J].交通运输工程学报,2005,5(1):19-23.
ZHANG Hong-liang, HU Chang-shun, LÜ Wen-jiang. Theoretical models of determining tolerable differential settlement at end of bridge[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(1): 19-23.
- [9] 李进军,黄茂松,王育德.交通荷载作用下软土地基累积塑性变形分析[J].中国公路学报,2006,19(1):1-5.
LI Jin-jun, HUANG Mao-song, WANG Yu-de. Analysis of cumulative plastic deformation of soft clay foundation under traffic loading[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(1): 1-5.
- [10] 张起森.道路工程有限元分析法[M].北京:人民交通出版社,1983.