

文章编号: 1005-0523(2010)01-0001-05

新老路面结构拼接部位的受力状态分析

马晓晖 李立寒

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室 上海 200092)

摘要:在道路拓建工程中,新老路面在结构层模量上存在差异,使得拼接结构在拼接部位的受力极为不利。根据新老路面结构组成形式、荷载条件,采用有限元方法,分析新老路面各个结构层模量差异对拼接部位受力状态的影响。结果表明:在新老路面结构中,新老面层、新老基层的模量差异对拼接部位的受力有着显著的影响,当保留老面层和老基层时应确保其具有足够的剩余强度(模量)。在最不利荷载工况下,如果要使得拼接结构拼接面上的剪应力增加不超过 10%,新老面层、新老基层的模量差异应不超过 30%~40%。

关键词:道路工程;模量差异;有限元;拼接结构;剪应力

中图分类号:U416.217

文献标识码:A

为了满足急剧增长的交通需求,近年来我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分析,但是对高速公路拓宽工程中新老面层模量差异对新老路面拼接结构的受力影响分析较少。

我国高速公路的加宽扩建开始于本世纪初。目前关于高速公路的加宽技术研究也主要集中在新老路基的不协调变形及控制技术。在新老路面的拼接研究方面,主要是依据经验的一些设计原则和施工技术。理论分析则主要体现在利用平面应变有限元法对新路基固结沉降在路面结构中引起的附加应力进行分析,而只有极少数研究对新老路面拼接的内容有所涉及^[1-3]。

因此本文研究主要通过模拟分析手段,结合实际工程,利用通用有限元计算软件 ANSYS 建立典型拼接路面结构的三维模型。由于拼接部位在竖直车轮荷载下主要承受集中的剪切力作用,因此对路面拼接结构拼接处的面层内剪应力进行计算,分析新老路面结构层模量差异对路面拼接结构的受力影响。通过合理的建模、单元选用及拼接部位特殊性质的模拟处理,可以得到与实际路面结构最接近的分析结果,解决室内试验由于条件局限无法实现的问题,为试验研究提供解决方案及综合验证,从而为道路拓宽中新老路面结构拼接的设计及施工提供理论参考。

1 计算模型和参数

1.1 结构分析模型的建立

所取拼接结构为:统一罩面层 10 cm,下部新老路面结构均为 10 cm 面层,40 cm 基层,15 cm 垫层。几何模型如图 1 所示。

在图 1 中左半幅为老路结构,右半幅为新路结构,新老路衔接的竖直平面即为拼接面。计算坐标系的规范如下:坐标原点位于路表拼接线上,X 坐标轴为道路横向方向,垂直于新老拼接面;Z 坐标轴为道路纵向方向,垂直于路面,正向向上。

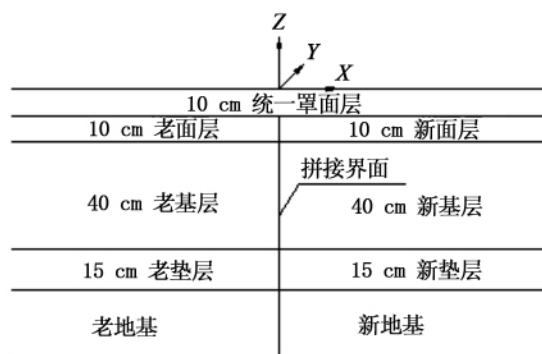


图 1 几何模型及坐标系

收稿日期: 2009-11-29

基金项目: 上海市科学技术委员会科学研究计划项目(062112062)

作者简介: 马晓晖(1986-),男,博士研究生,研究方向路面工程。

1.2 有限元模型及边界条件

荷载按标准双圆荷载规定为: 半径 $\delta = 0.1065 \text{ m}$, 双圆中心间距 $d = 3 \times \delta$, 接触压力 $P = 0.7 \text{ MPa}$ 。在有限元模型中为了便于变化荷载位置及在有限元程序中施加荷载步, 对双圆荷载进行简化, 根据作用面积等效原则将双圆荷载简化为 1 组 $16 \text{ cm} \times 22.28 \text{ cm}$ 的矩形, 双轮间距保持不变。计算时考虑最不利荷载位置^[4], 即荷载在老路一侧且轮迹边缘位于拼接线上时的偏载情况, 如图 2 中的 1 对矩形格栅区域。

模型采用弹性层状体系理论建模, 层与层之间应力、位移连续。模型尺寸按道路横向、纵向及地基厚度变化取各项指标收敛时的尺寸, 面层各层厚度按实际道路结构。模型约束条件为侧向左、右、前、后四面法向约束, 底面全约束。在有限元模型中路面各结构层采用 solid45 空间 8 节点等参单元模拟, 地基以表面单元施加弹性地基模量代替。

在计算中, 关于拼接面的处理, 假定了连续和光滑两种情况。连续指新老路面的粘接效果处于理想状态, 能连续传递应力, 即在拼接面的接触单元上存在法向和切向刚度; 光滑指新老路面没有任何粘接作用, 只能传递压应力, 即在拼接面的接触单元上只有法向刚度, 无切向刚度。

1.3 计算参数

假定材料为线弹性, 参考规范^[5]的相关规定, 取 20°C 抗压模量值, 老路结构层模量按对应新材料的模量折减, 本文计算按 75% 折算。另外沥青混凝土面层直接受车轮荷载作用, 且沥青混合料是一种粘弹性材料, 模量差异大, 因此在进行相关计算时, 考虑了两个水平的面层模量。

本文计算所取的典型结构及材料参数见表 1。其中模量组合 2 面层模量相对模量组合 1 较大^[6]。由于基层及以下结构不直接受车轮作用, 故在计算中仍以抗压模量为依据。由于老地基经过长期的固结作用已趋于稳定, 且主要是比较“差异”, 因此变化新地基模量, 使之与老地基模量相当、大于或小于。

表 1 各结构层材料计算参数

参数取值	新结构层				老结构层			
	新面层	新基层	新垫层	新地基	老面层	老基层	老垫层	老地基
模量组合 1/ MPa	1 200	3 000	300	20 ~ 60	600 ~ 1 200	2 250	225	40
模量组合 2/ MPa	4 000	3 000	300	20 ~ 60	2 000 ~ 4 000	2 250	225	40
厚度/cm	20	40	15		20	40	15	
泊松比	0.35	0.25	0.35	0.4	0.35	0.25	0.35	0.4

由于同时考虑了基层拼接面连续和基层拼接面不连续两种情况, 为了便于统一比较, 主要关心拼接结构面层的受力, 而面层主要受剪应力作用, 所以选取竖直平面内的面层剪应力及路表变形作为计算参数。计算点位置如图 2。

计算不同荷载下拼接面 1-1 上沥青层上部靠近路表处 A 点及沥青层底 B 点的剪应力变化情况。A 点为最大剪应力发生的位置, 深度随路面结构不同有所变化。

2 计算结果与分析

2.1 垫层和地基模量差异的影响分析

在不同的垫层和地基模量下, 沥青层上部 A 点及沥青层底 B 点的剪应力分布见表 2。

表 2 中, 垫层模量变化时, 拼接面上的剪应力变化极为微小, 故本文主要讨论面层和基层模量差异对路面拼接结构的受力影响。

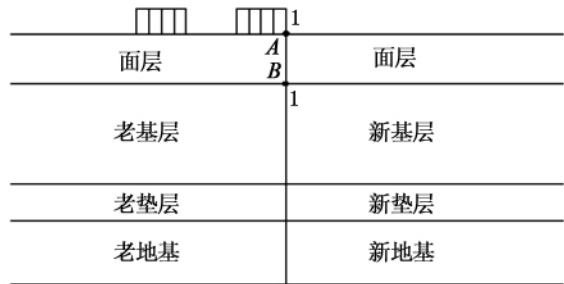


图 2 计算点位置

表 2 垫层和地基模量对路面结构的受力影响

			MPa		
老垫层模量	最大剪应力	层底剪应力	新地基模量	最大剪应力	层底剪应力
50	0.197 8	0.086 0	20	0.197 7	0.083 7
100	0.197 8	0.085 0	40	0.197 8	0.085 1
150	0.197 7	0.083 7	60	0.197 9	0.085 8

2.2 模量差异对接接结构受力状态的影响分析

当基层、垫层、地基取相同参数而将模量组合 1 老路面层模量在 600 MPa(新老模量相差 50%) 至 1 200 MPa(新老模量相当) 之间变化, 将模量组合 2 老面层模量在 2 000 MPa(新老模量相差 50%) 至 4 000 MPa(新老模量相当) 之间变化, 考察拼接面上沥青层内最大剪应力和层底剪应力。

以各结构层模量变化(新老模量差异)的百分比为横坐标, 分别以面层最大剪应力和层底剪应力比为纵坐标, 对比各因素对接接结构受力影响的大小, 如图 3 及图 4。

2.2.1 拼接界面连续条件分析

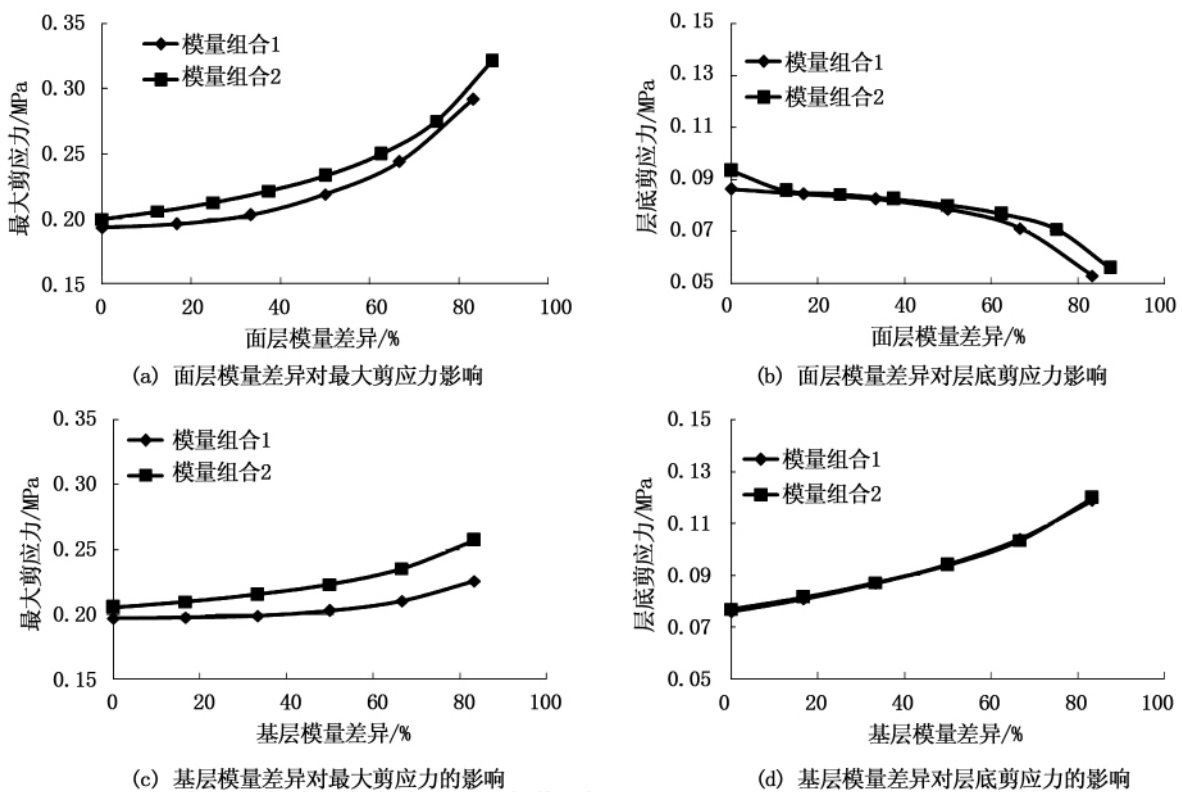


图 3 基层拼接面连续时模量差异对路面结构层受力影响

由图 3 可见

- 1) 当拼接界面新老基层连续时, 两种模量组合拼接结构的受力影响规律较为接近。
- 2) 在绝对数值上, 模量组合 2(面层模量较大) 的最大剪应力和层底剪应力都较模量组合 1(面层模量较小) 大。

3) 对于每一种模量组合

(1) 当在拼接界面新老基层连续时, 新老面层模量差异对接接面上沥青层内的最大剪应力有较大影响, 而对拼接面上沥青层底的剪应力影响较小。当老路面层模量降为新面层模量的 50% 时, 最大剪应力由 0.192 9/0.199 3 MPa(模量组合 1/模量组合 2, 下同) 变为 0.218 6/0.232 9 MPa, 增加接近 20%; 而层底剪应力由 0.086 3/0.093 3 MPa 变为 0.078 5/0.080 1 MPa, 减小约 10%。

(2) 新老基层模量差异对接接面上沥青层内的最大剪应力并无显著影响, 却对接接面上沥青层底的

剪应力有较大影响,当老路基层模量降为新基层模量的50%时,拼接面上沥青层内最大剪应力由0.196 7/0.205 5 MPa变为0.202 8/0.222 9 MPa,增加不足10%,层底剪应力由0.075 9/0.076 9 MPa变为0.086 9/0.093 9 MPa,增加了约20%。

2.2.2 拼接界面光滑条件分析

由图4可见,基层拼接面不连续时与基层拼接面连续时拼接结构的受力影响因素有相同之处,也有不同之处。

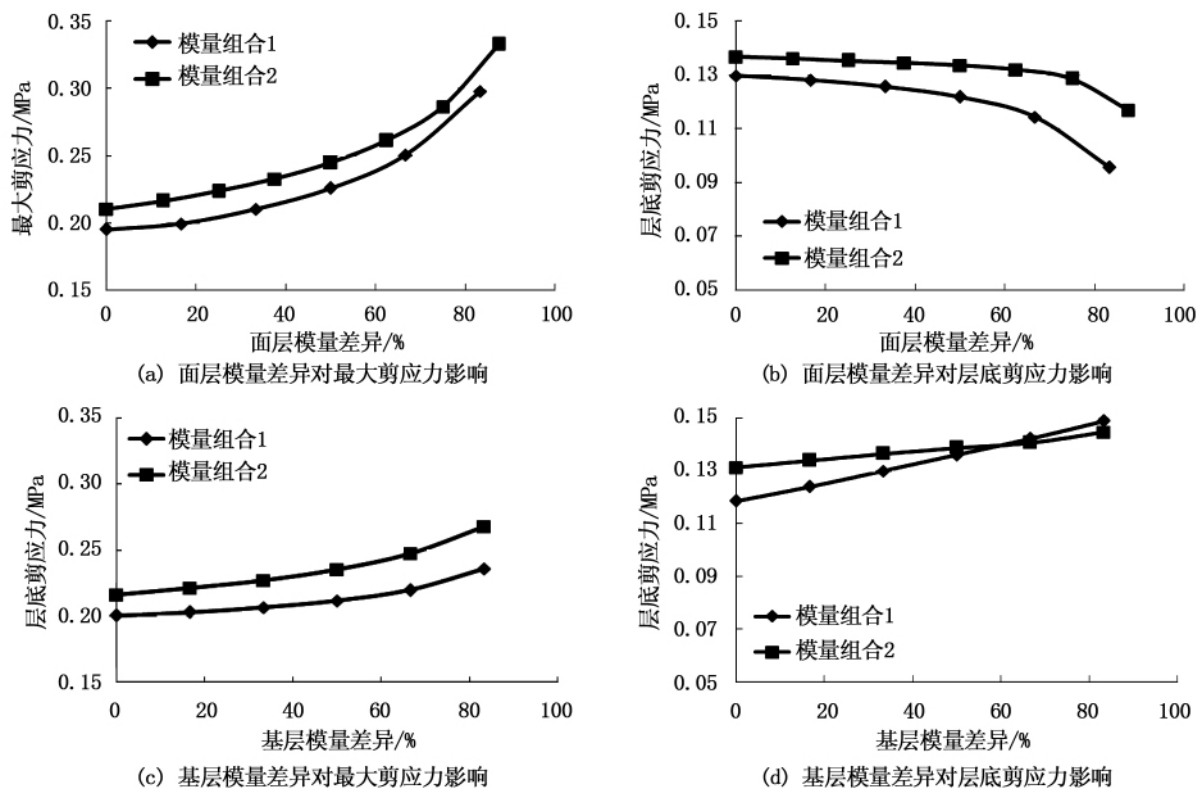


图4 基层拼接面不连续时模量差异对路面结构层受力影响

相同点

- (1) 新老面层模量差异对最大剪应力的影响最大。
- (2) 新老基层模量差异对沥青面层底部的剪应力影响最大。
- (3) 在不同模量组合下,新老面层和基层模量差异对最大剪应力的影响规律是接近的。
- (4) 在基层连续或不连续的情况下,新老垫层和新老地基模量差异对于拼接结构的(受力影响都很小。
- (5) 当新老路面面层及基层模量差异大于40%后,拼接面上沥青层内最大剪应力呈现快速增长的趋势。

不同点

- (1) 当基层拼接面不连续时,面层最大剪应力和层底剪应力都增大,层底剪应力更加显著。当新老面层模量相同时,模量组合1和模量组合2的最大剪应力由0.192 9/0.199 3 MPa变为0.195 2/0.210 3 MPa,分别增加了1.2%和5.5%;而层底剪应力则由0.086 3/0.093 3 MPa变为0.129 5/0.136 6 MPa,增加了50%和46%。

- (2) 在路面结构组合中面层模量越大,则面层中的剪应力也相应越大,且新老基层拼接面不连续时这种差异更加明显。当基层拼接面连续时,模量组合2的最大剪应力比模量组合1的最大剪应力大4%左右,而层底剪应力比模量组合1的约大0.7%。当基层拼接面不连续时,模量组合2的最大剪应力与层底

剪应力,分别比模量组合1的大约8%和6%。

(3) 当基层拼接面不连续时,两种模量组合下层底剪应力的变化规律相差较大。当老路基层模量降为新基层模量的50%时,模量组合1的层底剪应力由0.118 6 MPa变为0.136 0 MPa,增加了约16.6%;而模量组合2的层底剪应力由0.131 2 MPa变为0.138 6 MPa,只增加了约6.7%。

3 结论

通过分析典型拼接结构在不同结构层模量差异下,拼接面上最大剪应力和层底剪应力的变化情况,相关结论如下。

(1) 当基层拼接面连续及不连续时,新老面层模量差异越大,拼接面上面层的最大剪应力越大,层底剪应力越小,最大剪应力的变化更加显著。

(2) 当基层拼接面不连续时,面层最大剪应力和层底剪应力都增大,层底剪应力则更加显著。因此在实际工程中应保证新老路面拼接面有一定的连续性。

(3) 在路面结构组合中层模量越大,则面层中的剪应力也相应越大,且在新老基层拼接面不连续时这种差异更加明显。因此在进行路面拼接结构设计时,可适当采用较小刚度的面层材料。

(4) 新老面层与新老基层模量差异对拼接结构受力影响显著,当保留老面层和老基层时应确保其具有足够的剩余强度(模量),建议模量差异不大于40%。

参考文献:

- [1] 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): 420-423.
- [2] 张军辉,王鹏,黄晓明. 软土地基上高速公路加宽工程的数值分析[J]. 公路交通科技, 2006, 23(6): 32-35.
- [3] 汪浩,黄晓明. 软土地基上高速公路加宽的有限元分析[J]. 公路交通科技, 2004, 21(8): 21-24.
- [4] 马晓晖. 扩建公路新老拼接路面结构的力学响应分析[D]. 上海: 同济大学, 2008: 14-37.
- [5] 中国公路规划设计院. JTG D50-2006. 公路沥青路面设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [6] 胡霞光,李德超,田莉. 沥青混合料动态模量研究进展[J]. 中外公路, 2007, 27(1): 132-136.

An Analysis on the Force Bearing State of the Jointing Position of New - old Pavement Structure

Ma Xiaohui, LI Lihan

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: In road expanding project, there are differences in the modulus of each layer structure of new - old pavement, which makes the force bearing at the jointing position of the splicing structure extremely unfavorable. The influence of the modulus variance of each layer structure on the force bearing state of the jointing position is analyzed according to different forms of new - old pavement structure. The results shows that the modulus variance of surface layer has obvious effect on the force bearing of jointing position, and enough residual strength(modulus) should be assured when old surface layer and old base are reserved. Given the least favorable load case, if the shear stress increase in the jointing plane of the spliced structure needs to be limited under 10%, the modulus variance of new - old surface layer and base should not exceed 30% - 40%.

Key words: road engineering; modulus variance; finite element method; spliced structure; shear stress

(责任编辑 刘棉玲)