

文章编号:1671-8879(2005)06-0025-04

旧水泥混凝土路面搭板罩面的应力

关宏信, 张起森, 郑健龙

(长沙理工大学 公路工程学院, 湖南 长沙 410076)

摘要:采用沥青罩面处理旧水泥混凝土路面时,沥青罩面层底对应旧路接裂缝的位置会因为应力集中而开裂。提出将旧板接裂缝顶部拓宽再采用水泥混凝土搭板来处理接裂缝,然后进行沥青罩面的方法,称为搭板罩面法。采用二维有限元方法分析了搭板罩面法处理旧水泥混凝土路面的影响因素,这些因素包括搭板厚度、搭板宽度、搭板强度以及搭板与旧水泥混凝土接头部位结合强弱。计算结果表明,接头顶端和裂缝顶端的应力随着搭板厚度的减小、搭板宽度的减小以及搭板的强度的减小而减小,而随着搭板与旧水泥混凝土板之间的接头处的结合由弱变强,接头顶端和裂缝顶端应力的变化趋势却相反。分析表明搭板设计需要综合考虑多方面的因素。

关键词:道路工程;水泥混凝土;旧路面;搭板罩面法;影响因素;应力;有限元

中图分类号:U416.216

文献标识码:A

Stress of asphalt overlay laying on cracked concrete pavement repaired with bridging slab

GUAN Hong-xin, ZHANG Qi-sen, ZHENG Jian-long

(School of Highway Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China)

Abstract: Cracking due to stress concentrating at the bottom of asphalt overlay corresponding to joint peak and crack peak in concrete will happen when asphalt overlay is laid on cracked concrete. This paper presents bridging slab and asphalt overlay method that is to widen the top of joint and crack and then fill with new concrete and overlaying with asphalt concrete. The factors that influence the stress in asphalt overlay laying on cracked concrete slab repaired with bridging slab are analyzed with 2-D FEM, which include the width of bridging slab, the thickness of bridging slab, the strength of bridging slab and the bond strength between bridging slab and old concrete slab. The calculating results indicate that the stress of the joint peak and crack peak decreases with the decrease of the thickness, the width and the strength of bridging slab. Whereas the stress developing tendency of the joint peak with the bond strength between bridging slab and concrete slab in the two peak points is reverse with the stress developing tendency of the crack peak. The analysis shows that the above-mentioned factors should be synthetically considered to design the bridging slab. 1 tab, 14 figs, 6 refs.

Key words: road engineering; concrete; old pavements; bridging slab and overlay; influence factors; stress; FEM

收稿日期:2004-06-10

作者简介:关宏信(1974-),男,湖北潜江人,长沙理工大学讲师,中南大学博士研究生。

0 引言

水泥混凝土路面破损后的修复常采用沥青罩面或沥青加铺,但沥青罩面或沥青加铺方法的最大问题是出现反射裂缝。国内外有许多学者一直致力于反射裂缝的研究^[1~4],普遍认为这种反射裂缝只能延缓无法阻止,延缓的方法包括增设应力吸收层、采用改性沥青、铺设土工合成材料以及增加沥青面层厚度等。作者于 2002 年提出了搭板罩面法用于旧混凝土路面改造^[5],后来也做过相关计算分析^[6],该法是将旧水泥混凝土板贯穿裂缝两侧一定范围一定深度的混凝土去除,然后换填以新的混凝土,这里称其为搭板,这样就将原本由沥青面层承担的应力集中转移给强度相对较高的水泥混凝土,并能有效降低沥青面层底部的弯拉应力和剪应力,而且搭板与旧板之间的接头部位(此为搭板罩面法的薄弱之处)产生的应力也可大大小于直接罩面法裂缝顶端的应力。但是,该方法要应用于工程实际首先需要解决的问题就是搭板的平面尺寸如何确定,即搭板的设计问题。本文通过二维有限元计算来分析搭板宽度和厚度等结构参数对结构层内应力的影响,探索其内在规律,为搭板的平面设计奠定基础。

1 有限元模型

本文所分析的路面结构为:细粒式沥青混凝土罩面层、搭板和旧水泥混凝土板、水泥稳定砂砾基层、灰土底基层和土基(图 1)。为分析行车荷载对横缝的影响,结构分析时采用平面应力模型。

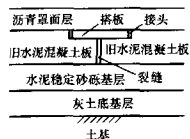


图 1 路面结构

为使计算结果尽量反映实际情况,采用模型尺寸为:车辆行驶方向(X轴)取 15 m(3 块板和 2 条接缝),深度方向(Y轴)取 10.85 m(其中土基厚度取为 10 m)。

对分析模型中存在的接缝、裂缝及搭板与旧水泥混凝土板的接头部位,均按照实体材料考虑,通过选取其模量的大小进行模拟。鉴于旧水泥混凝土路面的接缝传递荷载的能力普遍较低,取接缝材料的模量为 80 MPa,宽度为 1 cm;而对于水泥混凝土板中的裂缝(位于板的中间,贯穿整个旧板的厚度),认为其存在一定的传递荷载的能力,与接缝同样处理,但其模量为 10 MPa,宽度取 2 cm;本文取接头宽 2 cm,通过取接头处材料不同模量的方法来模拟搭板

与旧水泥混凝土板之间接头的结合情况的影响。

为评价搭板厚度对罩面效果的影响,取其厚度分别为 4、6、7、8、9、10、12、16、20 cm;同样,为评价搭板宽度对罩面效果的影响,取其宽度分别为 12、22、42、62、82、86、90、94、100、110、120、140、160、180、200、240 cm。各结构层的计算参数如表 1 所示。

表 1 各结构层的计算参数

类别	厚度/cm	回弹模量/MPa	泊松比
细粒式沥青混凝土罩面层	10	2 000	0.35
搭板	4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 16, 20	2 000, 6 000, 10 000, 12 000, 16 000, 18 000, 20 000, 24 000, 28 000, 30 000, 35 000	0.16
旧水泥混凝土板	25	10 000	0.16
基层	20	300	0.40
底基层	30	150	0.40
土基	—	50	0.45

计算做如下假定:①各结构层材料是均质、各向同性的弹性材料;②各结构层之间是完全连续的。

对于路面结构所受的荷载,本文考虑为静止垂直均布荷载,认为标准轴载通过后轴一侧的轮胎作用用于路表,大小为 5 t,轮胎接地长度为 20 cm。

本文的有限元模型采用 8 节点等参单元,所有节点都不能转动,同时认为 10 m 深度下的土基不受路表荷载的影响,模型的边界条件为:①模型底面固定;②旧水泥混凝土层两侧的边界面是自由的,其余各结构层两侧的边界面固定;③模型表面是自由的。

2 计算结果及分析

2.1 荷载作用位置及计算点位的确定

通过试算确定了 3 种荷载作用位置和相应的计算点位:①均布荷载对称作用于裂缝两侧(荷位 1),计算点为裂缝顶端也即搭板底部对应点(计算点 1)的弯拉应力,见图 2(a);②均布荷载作用于裂缝一侧(荷位 2),计算点为裂缝顶端也即搭板底部对应点(计算点 1)的剪应力,见图 2(b);③均布荷载作用

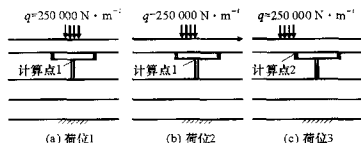


图 2 荷载作用位置及相应的计算点

于接头一侧(荷位3),计算点为接头顶端也即沥青罩面层底部对应点(计算点2)的剪应力,见图2(c)。

2.2 搭板厚度的影响

为评价搭板厚度对结构层内应力的影响,采用前述的9种板厚(搭板宽均为82 cm,搭板模量均为30 000 MPa,接头宽度均为1 cm,接头处材料模量均为100 Pa),分别计算了3种荷载作用位置下对应点位的应力,计算结果如图3~图5所示。

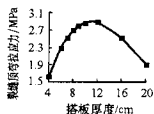


图3 荷位1下计算点1的弯拉应力变化曲线

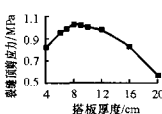


图4 荷位2下计算点1的剪应力变化曲线

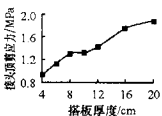


图5 荷位3下计算点2的剪应力变化曲线

由图3可见,随着搭板厚度的增加,裂缝两侧对称加载情况下,裂缝顶端的弯拉应力先增加后减小,呈抛物线形,峰值点对应搭板厚度约为12 cm;图4也出现了相同的变化规律,裂缝一侧偏载情况下,裂缝顶端的剪应力先增加后减小,呈抛物线形,峰值点对应搭板厚度约为8 cm;图5表明随搭板厚度的增加,接头顶端的剪应力随之增加。从变化趋势看,搭板厚度越小越好,如果搭板厚度为4 cm,在相同荷载下,裂缝顶端的弯拉应力仅为峰值的56%,裂缝顶端的剪应力仅为峰值的80%,接头顶端的剪应力仅为搭板厚度12 cm时的64.6%。

2.3 搭板宽度的影响

为评价搭板宽度对结构层内应力的影响,采用前述的16种宽度(搭板厚度均为6 cm,搭板模量均为30 000 MPa,接头宽度均为2 cm,接头处材料模量均为100 Pa),分别计算了3种荷载作用位置下对应点位的应力,计算结果如图6~图8所示。

图6表明,随着搭板宽度的增加,裂缝顶端的弯拉应力总体趋势是越来越大,但增加的幅度却是先大后小,在搭板宽度增加到40 cm之前弯拉应力是急剧增大,40~80 cm之间变化缓慢,超过80 cm之后基本稳定下来;图7也表现出与图6相同的变化规律,在搭板宽度增加到20 cm之前裂缝顶端剪

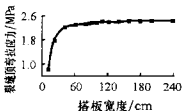


图6 荷位1下计算点1的弯拉应力变化曲线

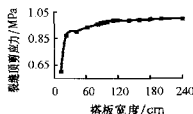


图7 荷位2下计算点1的剪应力变化曲线

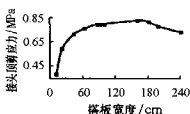


图8 荷位3下计算点2的剪应力变化曲线

应力是急剧增大,20~90 cm之间变化缓慢,超过90 cm之后基本稳定下来;图8所示的变化规律与前两者不同,随着搭板宽度的增加,接头顶端的剪应力先增加后减小,转折点约为搭板宽160 cm处,在此之前剪应力的增加也分两个阶段,在搭板宽度增加到60 cm之前剪应力是急剧增大,60~160 cm之间变化缓慢。

从变化趋势看,搭板宽度越小越好,如果搭板宽度为12 cm,与搭板宽度为160 cm的情况相比,在相同荷载作用下,前者裂缝顶端的弯拉应力仅为后者的33.8%,裂缝顶端的剪应力仅为后者的61.4%,接头顶端的剪应力仅为后者的46.2%。

2.4 搭板强度的影响

为评价搭板强度对结构层应力的影响,选取了11种不同的搭板模量(搭板厚度均为6 cm,搭板宽度均为82 cm,接头宽度均为2 cm,接头处材料模量均为100 Pa),即2 000、6 000、10 000、12 000、16 000、18 000、20 000、24 000、28 000、30 000、35 000 MPa,分别计算了3种荷载作用位置下对应点位的应力,计算结果如图9~图11所示。

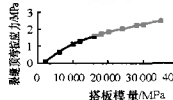


图9 荷位1下计算点1的弯拉应力变化曲线

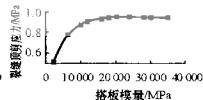


图10 荷位2下计算点1的剪应力变化曲线

图9~图11都表明了同一规律,即随着搭板强度的加大,裂缝顶端的弯拉应力、剪应力和接头顶端的剪应力都随之增加,但变化速度有所区别,裂缝顶端的弯拉应力基本随着搭板模量的增加均匀增加,裂缝顶端剪应力随搭板模量而变化的速度先快后慢,转折点约为搭板模量10 000 MPa处,接头顶端剪应力随搭板模量而变化的速度也是先快后慢(转折点约为搭板模量10 000 MPa处)。这就为搭板材料的选择提供了依据。

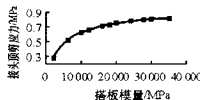


图11 荷位3下计算点2的剪应力变化曲线

2.5 接头处结合的影响

为评价接头处搭板与旧板之间结合强度对结构层内应力的影响,选取了 10 种不同的接头材料模量,即 100、1 000、10 000 Pa 和 0.1、1、10、50、100、500、1 000 MPa,分别计算了 3 种荷载作用位置下对应点位的应力,计算结果如图 12~图 14 所示。

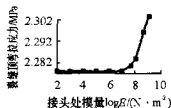


图 12 荷位 1 下计算点 1 的弯拉应力变化曲线

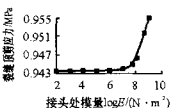


图 13 荷位 2 下计算点 1 的剪应力变化曲线

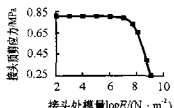


图 14 荷位 3 下计算点 2 的剪应力变化曲线

图 12~图 14 的共同特点是应力随着接头处材料模量的变化都是先缓慢变化后急剧变化,而且转折点都约为接头模量 10 MPa 处,在转折之前应力基本相同,不同之处在于裂缝顶端的弯拉应力和剪应力是随着接头处模量的增加而增加,但接头顶端剪应力却是随着接头处模量的增加而减小。这就为搭板与旧水泥混凝土板之间接头处结合状况的选择提供了依据,如果以接头顶端沥青罩面层的剪应力为控制应力,结合得越牢固越好;如果以裂缝顶端搭板底的弯拉应力或剪应力为控制应力,则结合得越松越好。

综上所述,从理论分析的角度来看,搭板越薄越好,越窄越好,强度越低越好。但是搭板太薄、太窄会引起施工方面的问题,而且这样的搭板自重相应也较小,容易随着车辆行驶的冲击而引起松动破坏。另外,虽然搭板模量越小越好,但此时其极限强度或容许应力相应也比较小,需要综合考虑来选取搭板材料;对于搭板与旧水泥混凝土板之间的接头处的结合状况的选择,就需要对接头顶端剪应力/沥青罩面层材料的容许剪应力、裂缝顶端剪应力/搭板材料的容许剪应力、裂缝顶端弯拉应力/搭板材料的容许拉应力这三者进行对比分析后确定^[5]。

3 结 语

(1)搭板的厚度越小,控制点位处的应力越小;搭板的宽度越小,控制点位处的应力越小,因此在施工允许的情况下应尽量减小搭板的平面尺寸。

(2)搭板的强度越低,控制点位处的应力越小,但同时需要考虑最大应力与搭板材料承载能力的比较来选择搭板材料。

(3)随着搭板与旧水泥混凝土板之间的接头处的结合由弱变强,2 个控制点位处应力的变化趋势相反,需要综合分析来确定接头处的结合情况。

(4)虽然通过理论分析得出上述结论,但一方面还难以根据上述分析提出搭板的设计方法,另一方面要应用于实践还有许多问题需要解决,比如搭板的厚度能薄到什么程度、宽度又能窄到什么程度等,这些都是本文后续需要解决的课题。

参考文献:

References:

- [1] 周富杰,孙立军.复合路面荷载型反射裂缝的力学分析和试验路验证[J].土木工程学报,2002,35(1):50-56. ZHOU Fu-jie, SUN Li-jun. Behavior analysis of reflection cracking in composite pavement[J]. China Civil Engineering Journal, 2002,35(1):50-56.
- [2] 武建民,伍石生.用三维有限元方法评价带接缝的旧水泥混凝土路面罩面[J].长安大学学报(自然科学版),2002,22(1):10-13. WU Jian-min, WU Shi-sheng. Evaluating of overlay on cement concrete slab with joints by 3D FEM[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2002,22(1):10-13.
- [3] 查旭东,王秉纲.基于同伦方法的路面模量反算研究[J].中国公路学报,2003,16(1):1-5. ZHA Xu-dong, WANG Bing-gang. Backcalculation of modulus for pavements based on homotopy method[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003,16(1):1-5.
- [4] 马 巍,胡长顺.旧沥青路面超薄水泥混凝土路面荷载应力影响[J].交通运输工程学报,2003,3(1):43-46. MA Biao, HU Chang-shun. Effects of existing asphalt pavement on loading stress of ultra-thin-whitertopping pavement[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003,3(1):43-46.
- [5] 关宏信,郑健龙.旧水泥混凝土路面一种新型罩面的应力分析[J].长沙交通学院学报,2002,18(1):45-48. GUAN Hong-xin, ZHENG Jian-long. The stress analysis on a new overlaying method on old concrete pavement[J]. Journal of Changsha Communications University, 2002,18(1):45-48.
- [6] 关宏信,杨海荣,程海潜.层间结合状况对搭板法处治旧水泥路面的影响[J].长沙交通学院学报,2002,18(3):32-35. GUAN Hong-xin, YANG Hai-rong, CHENG Hai-qian. The stress analysis on overlay on old concrete at different interfacial contact[J]. Journal of Changsha Communications University, 2002,18(3):32-35.