

复合水泥混凝土路面板底应力及位移仿真

马云龙¹,岳贤君²,胡朋^{1*}

1. 山东交通学院 交通土建工程学院,山东 济南 250357;

2. 山东省人民防空建筑设计院有限责任公司,山东 济南 250023

摘要:为提高复合水泥混凝土路面的力学性能,采用 ABAQUS 有限元软件建立模型,分析在不同面板厚度、基层厚度、面板长度下,复合水泥混凝土路面板底应力和位移的变化,并与普通混凝土面板对比。结果表明:与普通混凝土路面一致,临界荷载位于纵缝边缘中部时复合水泥混凝土路面板底产生最大拉应力;临界荷载作用在板角,板底产生最大位移,复合水泥混凝土路面容易开裂。复合水泥混凝土路面层厚度变化对板底应力与位移的影响较大,基层厚度变化对板底应力与位移的影响较小,面板长度变化对板底应力与位移的影响极小,可忽略不计。复合水泥混凝土路面板对板底应力与位移变化的抵抗效果比普通混凝土面板好,较高强度水泥混凝土的厚度变化对复合水泥混凝土路面板底位移与应力有更大影响。设计混凝土路面时可适当调整不同强度水泥混凝土的厚度,改善路面的力学性能。

关键词:复合水泥混凝土路面;临界荷载位置;有限元模拟;应力;位移

中图分类号:U416.216;TU528

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2022)03-0093-09

引用格式:马云龙,岳贤君,胡朋. 复合水泥混凝土路面板底应力及位移仿真[J]. 山东交通学院学报,2022,30(3):93-101.

MA Yunlong, YUE Xianjun, HU Peng. Simulation of bottom stress and displacement of composite cement concrete pavement[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2022, 30(3): 93-101.

0 引言

水泥混凝土刚度大,承载力强,是常用的公路路面材料。但高强度混凝土路面易产生裂缝,低强度混凝土路面无法承受较大的行车荷载。研究人员发现复合混凝土路面可有效解决这2个问题。戴学臻^[1]提出了双层水泥混凝土路面的设计方法;高英力等^[2]铺设了具有梯度力学功能的混凝土路面;章配佳^[3]在普通混凝土路面基础上提出了碾压式复合水泥混凝土路面的概念,并采用有限元软件研究各因素对碾压式水泥混凝土应力及位移的影响;杨久俊等^[4-7]提出了复合混凝土的概念,并分析组分梯度对混凝土材料力学性能的影响;海然^[8]研究水泥分散相梯度的物理力学性能;周玉民等^[9]分析双层水泥混凝土路面临界点位置;张治军^[10]对复合式混凝土路面结构设计提出了建议;颜祥程等^[11]采用 ANSYS 软件分析水泥混凝土双层道面在不同层间接触情况下的受力及变形规律,提出了层间结合的概念;孙芹兰等^[12]研究了混凝土路面传力杆位置及最不利荷载位置;Wu 等^[13]分析了影响复合混凝土性能的微观结构;Cong 等^[14]探讨了荷载在混凝土板间的传递方式;王华楠^[15]对复合水泥混凝土板的板层间结合状态进行分析界定;唐亮^[16]采用有限元仿真分析复合水泥混凝土的层间结合情况。

收稿日期:2021-12-14

基金项目:山东省自然科学基金联合项目(ZR2017LEE026)

第一作者简介:马云龙(1996—),男,山东兰陵人,硕士研究生,主要研究方向为交通基础设施建设,E-mail: 492383481@qq.com。

*通信作者简介:胡朋(1976—),男,山东沂南人,教授,硕士研究生导师,工学博士,主要研究方向为路基路面工程道路安全与环境,E-mail:204021@sdjtu.edu.cn。

但目前研究均将符合水泥混凝土临界荷载位置设在纵缝边缘中部,未考虑复合水泥混凝土路面面板的临界荷载位置是否与普通混凝土路面存在差别,且未将复合水泥混凝土路面与普通混凝土路面面板进行对比。

本文假设4个复合水泥混凝土面板临界荷载位置,考虑了传力杆位置对复合水泥混凝土路面受力的影响,采用 ABAQUS 有限元软件建立模型进行模拟分析,研究临界荷载可能出现的位置,同时考虑其他模型因素对复合水泥混凝土路面板底应力与位移变化的影响。

1 模型参数

1.1 模型材料性能

根据文献[17]要求,选择 5 m×5 m 的正方形复合水泥混凝土路面面板,设计公路为一级公路,传力杆的弹性模量为 200.0 GPa,泊松比为 0.30,截面半径为 1.3 cm,其他材料参数如表 1 所示。路面车辆荷载采用等效面积的原理,用矩形均布荷载代替,如图 1 所示。

表 1 复合水泥混凝土路面面板材料参数

结构层	材料类型	弹性模量/GPa	泊松比	厚度/cm
面层	C20	23.0	0.15	17
	C30	27.0	0.15	8
基层	水泥稳定碎石	2.0	0.20	30
地基	Winkler 地基	0.1		50

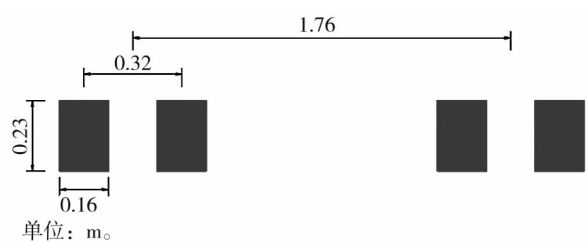


图 1 标准荷载等效面积示意图

将双层板理论模型与实际施工情况结合,考虑到在下层混凝土初凝前通常需铺筑上层混凝土,因此可认为上、下层混凝土间的结合状况良好,将复合水泥混凝土路面面板当作结合式双层板考虑。根据路面结构受力情况,将高强度混凝土放在上层能更好地避免产生车辙,因此将复合水泥混凝土路面面板模型设置为高强度混凝土在上、低强度混凝土在下的结构形式^[18-22]。将此结构的纵向、横向位移设为 0,对传力杆施加沿 x 轴旋转约束 UR1。面板及基层选取 8 节点 6 面线性减缩积分单元(C3D8R)进行网格划分,共划分为 800 个单元,如图 2 所示。

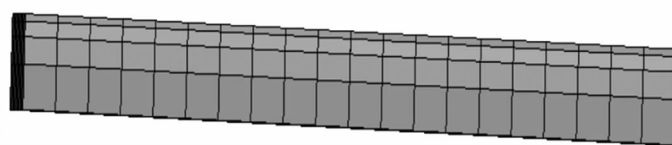
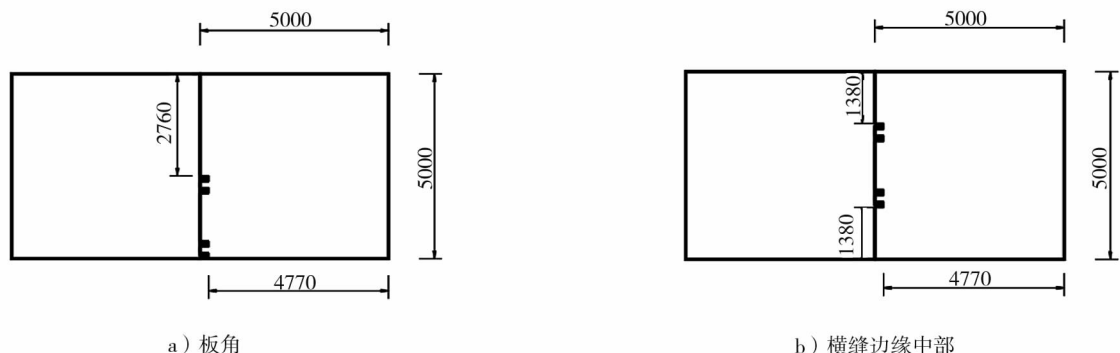


图 2 面板及基层模型的网格划分

1.2 临界荷载位置

根据文献[17]要求,水泥混凝土路面面板临界荷载位于纵缝边缘中部,对复合水泥混凝土路面的临界荷载位置未做出规定,假设复合水泥混凝土路面面板临界荷载可能出现的位置,如图 3 所示。设置 4 个传力杆位置,如图 4 所示。



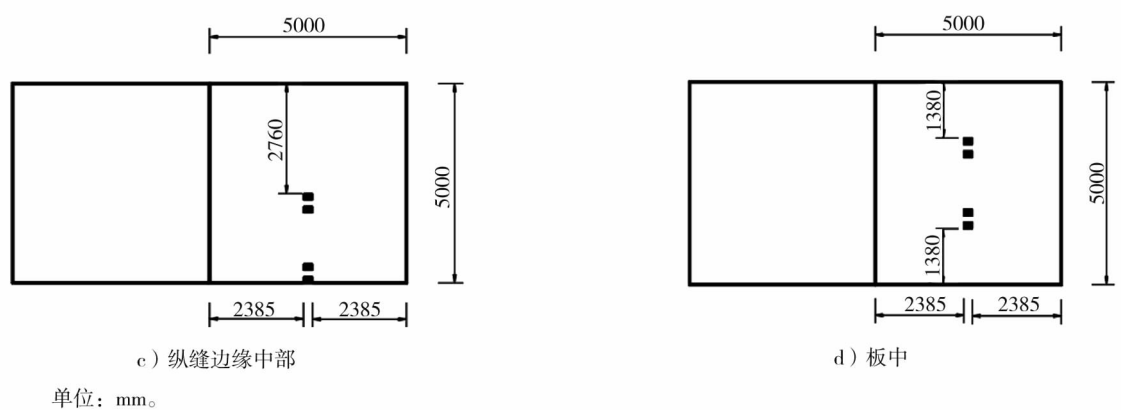


图3 复合水泥混凝土临界荷载作用位置

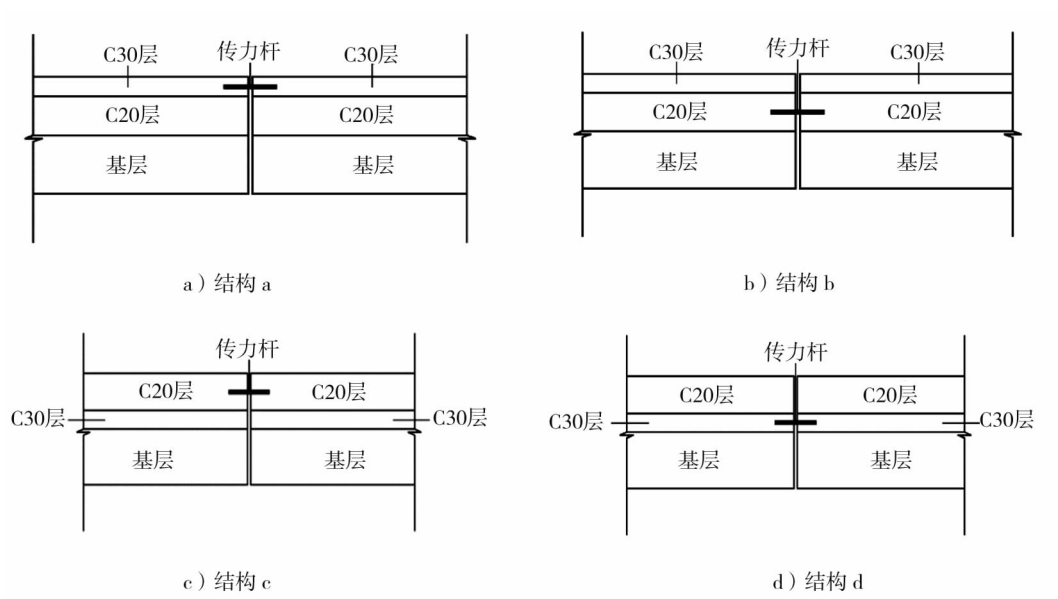


图4 传力杆位置示意图

根据图3、4的模型参数建模,采用ABAQUS有限元软件进行分析,不同结构、不同荷载作用位置的复合水泥混凝土路面面板板底拉应力和竖向位移如表2所示。

表2 不同结构、荷载作用位置的复合水泥混凝土路面面板板底拉应力及竖向位移

荷载作用位置	拉应力/MPa				竖向位移/mm			
	结构 a	结构 b	结构 c	结构 d	结构 a	结构 b	结构 c	结构 d
板角	0.268	0.255	0.088	0.098	0.328	0.295	0.841	0.836
板中	0.505	0.520	0.169	0.179	0.404	0.400	1.111	1.101
纵缝边缘中部	0.342	0.366	0.105	0.125	0.155	0.155	0.331	0.361
横缝边缘中部	0.240	0.244	0.077	0.090	0.659	0.666	1.333	1.388

由表2可知:当荷载作用在复合水泥混凝土路面面板纵缝边缘中部时,板底拉应力最大,与传统混凝土面板的临界荷载位置一致,分析复合水泥混凝土路面面板结构力学性能时,仍可将纵缝边缘中部作为临界荷载位置。当荷载作用在复合水泥混凝土路面面板板角位置时,板底竖向位移最大,极易出现疲劳破坏。传力杆位置对拉应力与竖向位移的影响可忽略不计,为施工方便,一般将传力杆设置在复合水泥混凝土路面面板上层的混凝土中。

2 模型影响因素分析

采用第1章所构建的模型,临界荷载位置选在复合水泥混凝土路面面板纵缝边缘中部与板角,研究复合水泥混凝土路面面板模型参数变化对板底应力和位移的影响。

2.1 面层厚度

研究面层厚度变化对复合水泥混凝土路面面板力学响应的影响,当荷载分别作用在纵缝边缘中部、板角位置时,复合水泥混凝土路面面板板底的最大拉应力、最大竖向位移如图5、6所示。

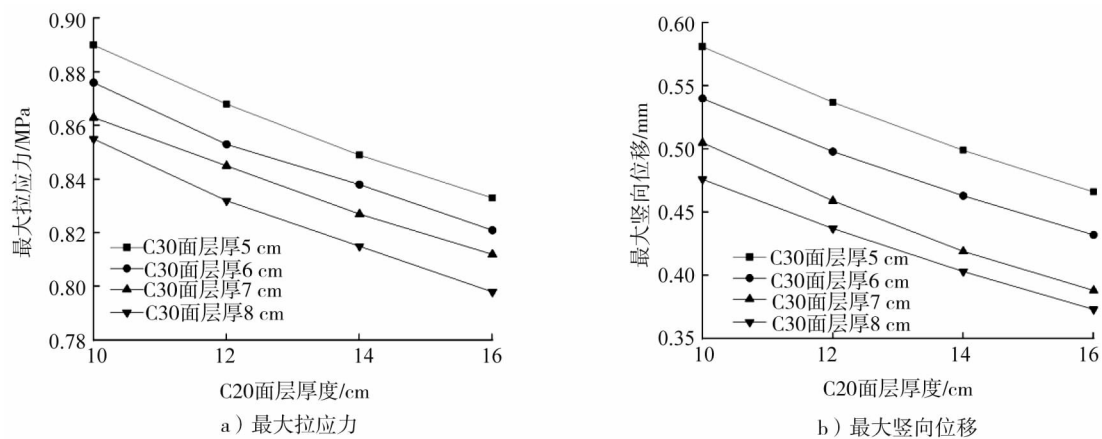


图5 荷载作用在纵缝边缘中部位置时 C20、C30 面层厚度不同时板底最大拉应力及最大竖向位移

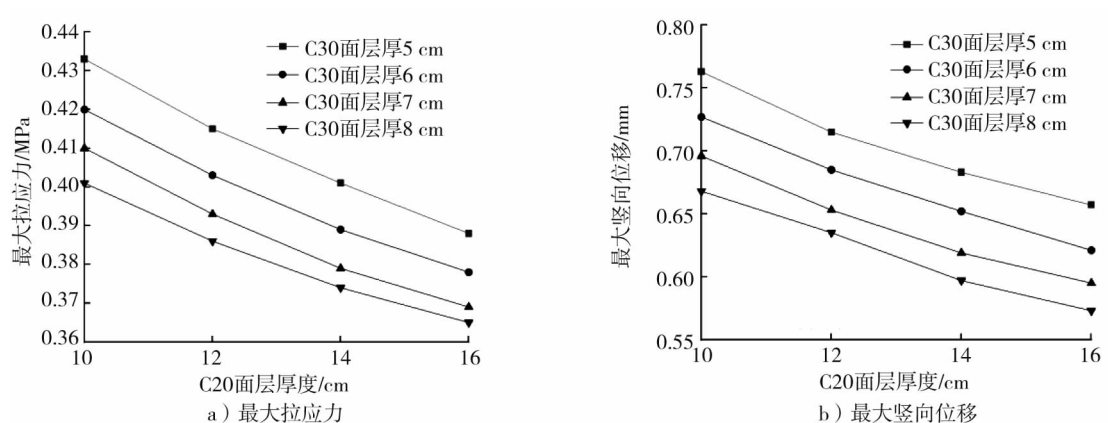


图6 荷载作用在板角位置时 C20、C30 面层厚度不同时板底最大拉应力及最大竖向位移

由图5、6可知:当荷载作用在复合水泥混凝土路面面板纵缝边缘中部时,C20 面层厚度从10 cm增至16 cm,复合水泥混凝土路面板底最大拉应力降低了5.9%~6.6%,板底最大竖向位移降低了19.8%~23.2%。C30 面层厚度从5 cm增至8 cm,复合水泥混凝土路面板底最大拉应力降低了3.9%~4.2%;板底最大竖向位移降低了18.1%~20.0%。

当荷载作用在复合水泥混凝土路面板角时,C20 面层厚度从10 cm增至16 cm,复合水泥混凝土路面板底最大拉应力降低了9.0%~10.4%,板底最大竖向位移降低了13.9%~14.6%。C30 面层厚度从5 cm增至8 cm,复合水泥混凝土路面板底最大拉应力降低了5.9%~7.4%,板底最大竖向位移降低了11.2%~12.8%。

因此,无论荷载作用于纵缝边缘中部位置还是板角位置,面层厚度变化对板底拉应力和竖向位移均有较大影响。

2.2 基层厚度

研究基层厚度变化对复合水泥混凝土路面面板力学性能的影响,按照表1的面层参数,采用ABAQUS有限元模拟分析,水泥稳定基层的厚度分别为26、28、30、32、34 cm,得到荷载分别作用在纵缝边

缘中部和板角位置时复合水泥混凝土路面板底的最大拉应力、最大竖向位移,如表3所示。

表3 不同基层厚度、荷载作用位置下复合水泥混凝土路面板底的最大拉应力、最大竖向位移

荷载作用位置	基层厚度/cm	板底最大拉应力/MPa	板底最大竖向位移/mm	荷载作用位置	基层厚度/cm	板底最大拉应力/MPa	板底最大竖向位移/mm
纵缝边缘中部	26	0.505	0.350	板角	26	0.245	0.552
	28	0.498	0.348		28	0.242	0.549
	30	0.922	0.346		30	0.238	0.546
	32	0.490	0.342		32	0.236	0.544
	34	0.489	0.338		34	0.232	0.543

由表3可知:当荷载作用在复合水泥混凝土路面面板纵缝边缘中部时,随基层厚度增加,复合水泥混凝土路面板底的最大拉应力降低了3.2%,板底最大竖向位移降低了3.4%;当荷载作用于板角时,随基层厚度的增加,板底最大应力降低了5.3%,板底最大竖向位移降低了1.6%。因此,基层厚度变化对复合混凝土路面板底的应力和位移的影响较小。

2.3 面板长度

研究面板长度变化对复合水泥混凝土路面面板力学性能的影响,设复合水泥混凝土面板宽5 m,其余参数参考表1,采用ABAQUS有限元模拟分析,面板长度分别为5、6、7、8、9、10 m,得到荷载分别作用在复合水泥混凝土路面面板纵缝边缘中部和板角位置时,复合水泥混凝土路面板底的最大拉应力、最大竖向位移如表4所示。

表4 不同面板长度、荷载作用位置下复合水泥混凝土路面板底的最大拉应力、最大竖向位移

荷载作用位置	面板长度/m	板底最大拉应力/MPa	板底最大竖向位移/mm	荷载作用位置	面板长度/m	板底最大拉应力/MPa	板底最大竖向位移/mm
纵缝边缘中部	5	0.503	0.401	板角	5	0.248	0.633
	6	0.503	0.401		6	0.248	0.633
	7	0.505	0.403		7	0.248	0.633
	8	0.505	0.403		8	0.248	0.633
	9	0.506	0.405		9	0.250	0.635
	10	0.506	0.405		10	0.250	0.635

由表4可知:面板长度变化对复合水泥混凝土路面板底应力与位移变化的影响极小,可忽略不计。

3 复合混凝土路面面板与单一强度混凝土路面面板对比

根据文献[17]要求,与普通混凝土路面一致,复合水泥混凝土路面面板临界荷载的位置选在纵缝边缘中部,采用第1章模型及表1的模型参数,研究当模型参数改变时,复合水泥混凝土路面面板与普通混凝土路面面板的应力、位移变化情况。

3.1 面层厚度

复合水泥混凝土路面面板的结构上层为高强度混凝土,下层为低强度混凝土,高强度混凝土分别厚7、8、9、10 cm;低强度混凝土分别厚14、16、18、20 cm;采用7 cm+14 cm、8 cm+16 cm、9 cm+18 cm、10 cm+20 cm。荷载作用在复合水泥混凝土路面面板纵缝边缘中部位置,采用ABAQUS有限元软件模拟在不同面层厚度组合下,复合水泥混凝土路面面板与普通混凝土路面面板(C20、C30)板底的应力及竖向位移,结果如图7所示。

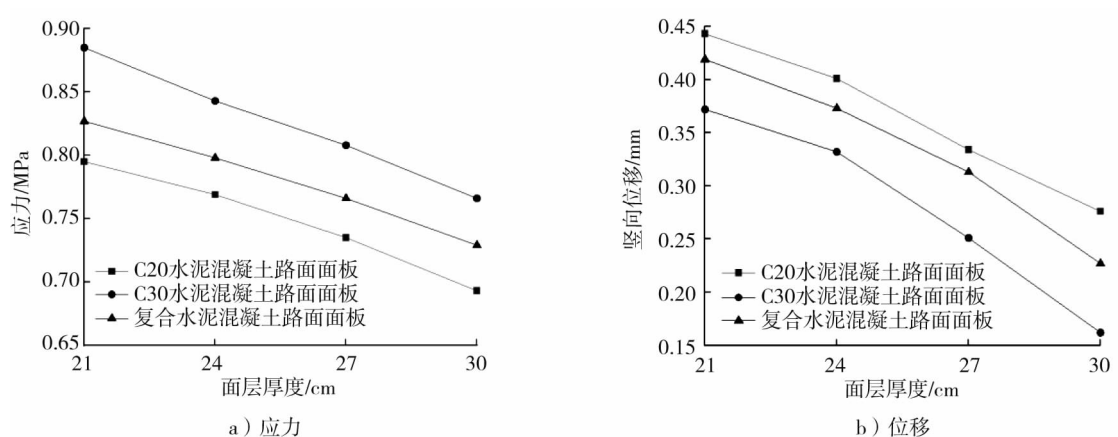


图7 不同面层厚度下复合水泥混凝土路面面板及普通混凝土路面面板底应力与位移的变化曲线

由图7a)可知:当面层厚度较小时,复合水泥混凝土路面面板的应力变化趋势与C20面板相接近;随面层厚度的增大,复合水泥混凝土路面面板的应力逐渐向C30面板靠拢。因此,当面层厚度较小时,复合水泥混凝土路面面板比C30面板能更好的抵抗应力变化。

由图7b)可知:C20面板与复合水泥混凝土路面面板的位移差明显小于C30面板与复合水泥混凝土路面面板的位移差,C30水泥混凝土的面层厚度变化对位移的影响较大。

3.2 基层厚度

复合水泥混凝土路面面板基层厚度分别为26、28、30、32 cm,荷载作用于复合水泥混凝土路面面板纵缝边缘中部,采用ABAQUS有限元软件模拟在不同基层厚度下板底的应力及产生的竖向位移,结果如图8所示。

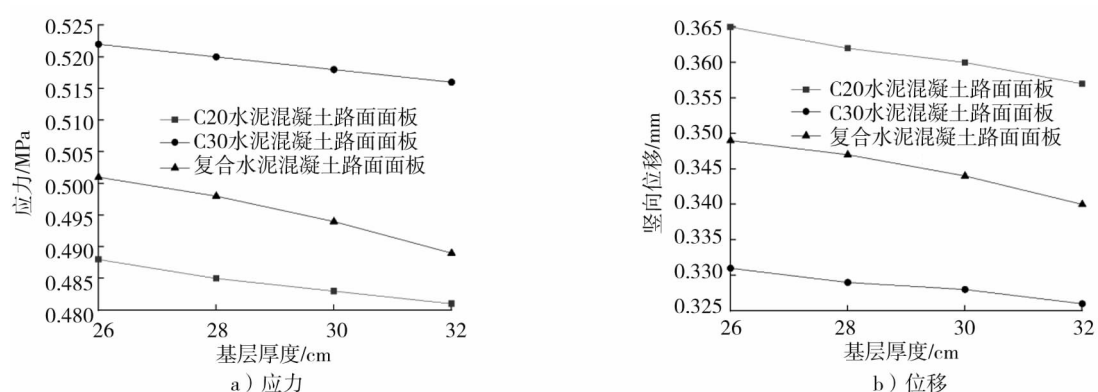


图8 不同基层厚度下复合水泥混凝土面板及普通混凝土路面面板底应力与位移的变化曲线

由图8a)可知:复合水泥混凝土路面面板的应力变化更趋近于C20面板,比C30面板更能抵抗应力的变化。

由图8b)可知:C30面板、复合水泥混凝土路面面板的位移之差与复合水泥混凝土路面面板、C20面板位移之差接近,随基层厚度的增大,二者的变化趋势相同,说明基层厚度的改变对复合水泥混凝土路面面板底位移变化的影响较小。

3.3 面板长度

复合水泥混凝土路面面板长度分别为5、6、7、8、9、10 m,采用ABAQUS有限元软件模拟在不同面板长度条件下板底的应力及产生的竖向位移,结果如图9所示。

由图9a)可知:复合水泥混凝土路面面板的应力变化更趋近于C20面板,说明将C30面板改为复合水泥混凝土路面面板可明显提高其抵抗应力变化的能力。

由图9b)可知:复合水泥混凝土路面面板的位移变化更趋近于C20面板,C30面板与复合水泥混凝土

土路面面板的位移差更大,因 C30 混凝土厚度只占复合水泥混凝土路面面板厚度的 1/3,说明单独改变 C30 厚度对复合水泥混凝土路面面板板底位移影响较大。

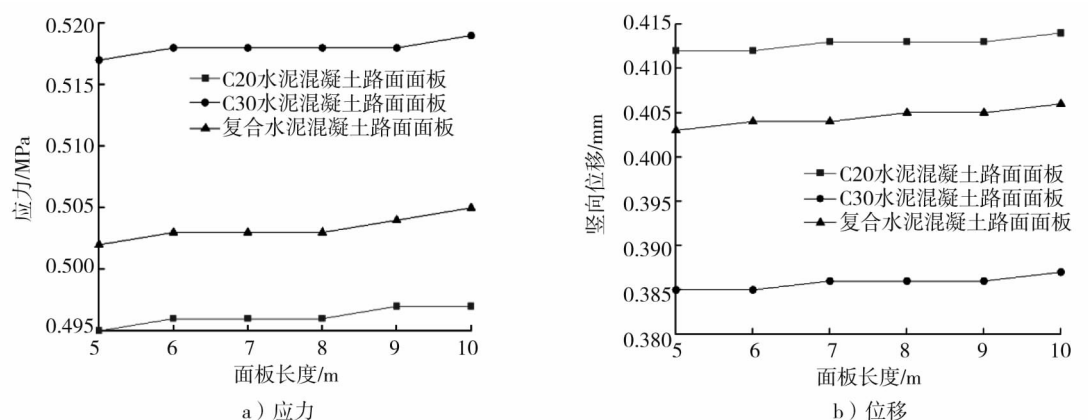


图9 不同面板长度下复合水泥混凝土路面面板及普通混凝土路面面板底应力与位移的变化曲线

4 结论

1) 当行车荷载作用于复合水泥混凝土路面面板纵缝边缘中部时,板底产生最大拉应力;当行车荷载作用于复合水泥混凝土路面面板板角时,板底产生最大竖向位移。

2) 无论荷载作用在复合水泥混凝土路面面板纵缝边缘中部还是板角位置,面层厚度变化对板底应力与位移的影响较大,基层厚度变化对板底应力与位移的影响较小,面板长度变化对板底应力与位移的影响极小,可忽略不计。

3) 与普通混凝土面板相比,复合水泥混凝土路面面板对板底应力与位移变化的抵抗效果更好,较高强度混凝土的厚度变化对复合水泥混凝土路面面板板底位移与应力有更大的影响。

因 C30 与 C20 混凝土间的性能差距不大,无法更好地体现复合水泥混凝土路面面板的优势,对复合水泥混凝土路面面板性能的影响只采用软件模拟,没有试验证明,下一步研究考虑采用强度差较大的混凝土,并铺筑试铺段进行验证。

参考文献:

- [1] 戴学臻. 基于等强度原理的双层水泥混凝土路面设计[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2010, 29(2): 185-187.
DAI Xuezhen. Two-layer cement concrete pavement design based on equal strength theory[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2010, 29(2): 185-187.
- [2] 高英力, 马保国, 王信刚. 功能梯度水泥基材料的制备及性能研究[C]//《硅酸盐学报》创刊 50 周年暨中国硅酸盐学会 2007 年学术年会论文摘要集. 北京: 中国硅酸盐学会, 2007: 80.
- [3] 章佩佳. 复合式碾压混凝土路面研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2010.
ZHANG Peijia. Study of composite roller compacted concrete pavement[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2010.
- [4] 杨久俊, 贾晓林, 谭伟, 等. 水泥基梯度复合功能材料物理力学性能的初步研究[J]. 新型建筑材料, 2001(11): 1-3.
- [5] 杨久俊, 徐芄, 海然, 等. 界面区组分对层状水泥基材料力学行为的影响[J]. 建筑材料学报, 2004, 7(3): 323-327.
YANG Jiujun, XU Peng, HAI Ran, et al. Effect of the components at the interfacial zone on mechanical behavior of the layered cement-based materials[J]. Journal of Building Materials, 2004, 7(3): 323-327.
- [6] 杨久俊, 董延玲, 林伦, 等. 连续相组分梯度分布对水泥基材料力学性能的影响[J]. 硅酸盐学报, 2004, 32(10): 1225-1228.
YANG Jiujun, DONG Yanling, LIN Lun, et al. Effects of continuous component gradient distribution on mechanical strength of cement-based materials[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2004, 32(10): 1225-1228.
- [7] 杨久俊, 海然, 董延玲, 等. 组分梯度复合对水泥基材料力学性能的影响[J]. 硅酸盐学报, 2002, 30(6): 803-806.
YANG Jiujun, HAI Ran, DONG Yanling, et al. Effect of the component gradient distribution on the strength of cement-based

- composite materials[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2002,30(6):803-806.
- [8] 海然. 分散相梯度分布对水泥基材料物理力学性能的影响[D]. 郑州:郑州大学,2003.
- [9] 周玉民,谈至明. 双层水泥混凝土路面结构临界点位置分析[J]. 同济大学学报(自然科学版),2010,38(4):538-544.
- ZHOU Yumin, TAN Zhiming. Analysis of critical locations in double-layered cement concrete pavement structure[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2010,38(4):538-544.
- [10] 张治军. 复合式混凝土路面设计研究[J]. 四川建材,2021,47(5):146-147.
- [11] 颜祥程,翁兴中,冷冰林,等. 机场水泥混凝土双层道面层间接触对加铺层性能的影响[J]. 公路,2011(5):26-29.
- YAN Xiangcheng, WENG Xingzhong, LENG Binglin, et al. Influence of bond condition between airport double-layer cement concrete pavement on overlay performance[J]. Highway, 2011(5):26-29.
- [12] 孙芹兰,周正华. 水泥混凝土路面力学特性分析[J]. 公路,2019,64(10):53-58.
- SUN Qinlan, ZHOU Zhenghua. Analysis on mechanical properties of cement concrete pavement[J]. Highway, 2019,64(10):53-58.
- [13] WU Bo, YAN Jia. Influences of size and shape of demolished concrete lumps on compressive behavior of compound concrete[J]. Construction and Building Materials, 2020,269(8):121317.
- [14] CONG Zhimin, TAN Zhiming, ZHU Tangliang. Ultimate bearing capacity of plate on Winkler foundation subjected to a circular uniform load[J]. International Journal of Pavement Research and Technology, 2021,14(6):668-675.
- [15] 王华楠. 双层板水泥混凝土路面板层间粘结状态理论研究[D]. 西安:长安大学,2015.
- WANG Huanan. A new interlayer model for the bending stress analysis of bi-layer cement concrete pavements[D]. Xi'an: Chang'an University, 2015.
- [16] 唐亮. 不同层间结合状态下典型路面结构力学响应及损伤分析[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2021.
- TANG Liang. Mechanical response and damage analysis of typical pavement structure under different interlayer bonding states[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021.
- [17] 公路水泥混凝土路面设计规范:JTG D40—2011[S]. 北京:人民交通出版社,2011.
- [18] 丁江民,常成. 复合混凝土界面性能及微观结构研究[J]. 大连交通大学学报,2018,39(5):67-70.
- DING Jiangmin, CHANG Cheng. Research on interfacial properties and microstructure of composite concrete[J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2018,39(5):67-70.
- [19] AKHNOUKH A K, ELIA H. Developing high performance concrete for precast/prestressed concrete industry[J]. Case Studies in Construction Materials, 2019,11:e00290.
- [20] SAKTHIVEL T, GETTU R, PILLAI R G. Compressive strength and elastic modulus of concretes with fly ash and slag[J/OL]. [2020-10-21]. Journal of the Institution of Engineers (India): Series A. <https://doi.org/10.1007/s40030-019-00376-w>.
- [21] 陈玉,郑传超. 弹性地基上双层板板间结合状态的影响[J]. 中国科技论文,2016,11(13):1457-1460.
- CHEN Yu, ZHENG Chuanchao. Effects of slab in-between contact conditions on the stress status for double-layer concrete slabs on elastic foundation[J]. China Science Paper, 2016,11(13):1457-1460.
- [22] 李晓亮,姚银辉. 基于双层摊铺技术的市政沥青混凝土路面施工[J]. 建筑技术开发,2020,47(21):93-94.
- LI Xiaoliang, YAO Yinhui. Construction of municipal asphalt concrete pavement based on double-layer paving technology[J]. Building Technology Development, 2020,47(21):93-94.

Simulation of bottom stress and displacement of composite cement concrete pavement

MA Yunlong¹, YUE Xianjun², HU Peng^{1*}

1. School of Transportation and Civil Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China;

2. Shandong Civil Air Defense Architectural Design Institute Co., Ltd., Jinan 250023, China

Abstract: In order to improve the mechanical properties of composite cement concrete pavement, the finite

element software ABAQUS is used to establish a model to analyze the changes of stress and displacement at the bottom of composite cement concrete pavement slab under different panel thickness, base thickness and panel length, and is compared with ordinary concrete slab. The results show that the maximum tensile stress occurs at the bottom of the composite cement concrete pavement slab, consistent with the ordinary concrete pavement, when the critical load is located in the middle of the longitudinal joint. The critical load acts on the slab corner and the maximum displacement occurs on the slab bottom, and the composite cement concrete pavement is easy to crack. The change of panel thickness of composite cement concrete pavement has a great impact on the stress and displacement of slab bottom, the change of base thickness has little effect on the stress and displacement of slab bottom, and the change of panel length has slight impact on the stress and displacement of slab bottom, which can be ignored. The resistance effect of composite cement concrete pavement slab to the change of slab bottom stress and displacement is better than that of ordinary concrete slab. The thickness change of higher strength concrete has greater influence on the displacement and stress of composite cement concrete pavement slab bottom. The thickness of different strength cement concrete can be appropriately adjusted to improve the mechanical properties of pavement while it is designed.

Keywords: composite cement concrete pavement; critical load location; finite element simulation; stress; displacement

(责任编辑:王惠)

(上接第 54 页)

The passenger satisfaction and loyalty about online ride-hailing for college students based on subjective well-being

LI Gang^{1,2}, ZHAO Jingyi², ZHANG Yu²

1. College of Transportation Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

2. School of Traffic and Transportation Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China

Abstract: In order to study the relationship between some evaluation factors subjective well-being of college students' online ride-hailing, the operational service level of online ride-hailing, passenger satisfaction and loyalty and the influencing elements, the travel behavior data of college students' online ride-hailing and cruise taxi from 9 universities in Dalian in 2019 are used. The structural equation models (SEM) of positive emotion, negative emotion, operational service, passenger satisfaction and loyalty are built to make a comparative analysis of ride-hailing and cruise taxi. The results show that college students' positive emotion and operational service have a significant positive impact on passenger satisfaction, and passenger satisfaction has a significant positive impact on loyalty. Negative emotion has a certain negative influence on passenger satisfaction. Among online ride-hailing and cruise taxi, the operational service has the greatest impact on passenger satisfaction, and the travel time of online ride-hailing and the punctuality of cruise taxi are the most important to the operational service. The total effect of operational service, positive emotion and negative emotion on the loyalty of online ride-hailing and cruise taxi decreases successively. To verify the interaction mechanism of subjective well-being, passenger satisfaction and loyalty of college students in online ride-hailing can provide a certain policy basis for the development of online ride-hailing and cruise taxi.

Keywords: online ride-hailing; cruise taxi; passenger satisfaction; loyalty; subjective well-being; SEM

(责任编辑:郭守真)