

文章编号:1671-6833(2014)06-0095-05

交通荷载作用下港区道路受力特性研究

牛力强

(山西省交通科学研究院 黄土地区公路建设与养护技术交通行业重点实验室,山西 太原 030006)

摘 要:依托交通荷载作用下港口道路现场试验,采用 FLAC3D 建立数值分析模型,其中铺面结构采用理想弹性模型模拟,地基采用 M-C 模型模拟,对地基中的附加应力与竖向应变等进行了系统的数值分析.结果表明:加载位置下浅层地基中的附加应力有较明显的应力集中现象,随地基深度的增加该应力集中现象逐渐减弱;淤泥质土层中的竖向应变值较大,且沿深度方向减小幅度较小.最后,对港区道路设计计算中荷位、轮压和砂垫层厚度等重要指标进行了参数分析.

关键词:港区;道路;交通荷载;受力特性

中图分类号: U416.1⁺6 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.06.023

0 引言

随着经济全球化的进程加快,全球经济总量的 60% 均集中在沿海地区,其中包含大量的重化工和能源等产业,这些产业需要大片的土地.面对人口剧增、城市和工业用地需要加大、土地资源有限的局面,沿海城市通过吹填造陆的方式缓解城市建设用地紧张的问题^[1-3].

在软弱地基上修建道路,首先要面临的是地基在车辆荷载作用下的沉降、不均匀沉降,以及由此引起的路面结构病害等问题. Sakai 等^[4]和 Samang 等^[5]通过对日本某低路堤高速公路的监测发现,该高速路正式运营 3 年后,由车辆荷载引起的沉降量占其工后沉降总量的 30%. 孙立强等^[6]通过现场实测发现,天津港内多条道路在投入使用 3 年后道路的沉降量均超过了 30 cm,并出现了严重的“波浪式”不均匀沉降现象.赵亮等^[7]基于天津港道路“波浪形”不均匀沉降实测数据,采用 PLAXIS 有限元软件建立数值模型,分析了该不均匀沉降产生的原因,并提出采用格栅加固的方式减小路面不均匀沉降.

目前,道路工作特性方面相关研究主要以高等级公路为研究对象,港区道路设计也主要参考公路相关设计规范^[8].但是,港区流动机械荷载远较公路大,公路荷载较为确定,车辆荷载对土基

工作区的影响深度也较为确定,因而对土基的压实深度均有明确要求.港区荷载如轮胎吊打支腿作业、集装箱叉车、正面吊荷载已超过 400 kN/轮^[9],远大于公路车辆荷载.在重载交通条件下,路基的工作区深度加大,造成通车后较短时间内即出现路面开裂、唧浆等早期病害,从而加速了港区铺面结构病害的发生与发展,造成后期铺面维修费用较大,港口道路工作特性与高等级公路必然相差较大.笔者依托交通荷载作用下港口道路现场试验,采用有限差分软件 FLAC3D 建立数值分析模型,对交通荷载作用下港口道路工作特性进行系统分析.

1 现场试验工况

现场试验位于广州南沙港一期工程 2 号路,道路铺面结构为现浇混凝土.如图 1 所示,现场共设置 6 个监测点,分别位于板角、板边和板中位置.现浇混凝土板尺寸为 4.0 m × 4.0 m.现场荷载试验过程中,分别将拖挂车分别放置在试验板块的不同位置,如图 2 所示.试验荷载值分别为拖挂车空载(T1),拖挂车装载 30 t 集装箱(T2)和拖挂车装载 60 t 集装箱(T3)3 种加载工况.

道路铺面结构由上至下名称及通过室内土工试验获得的各层材料物理力学参数详见表 1.

收稿日期:2014-07-05;修订日期:2014-09-06

基金项目:交通运输部建设科技项目(2014318771100);山西省交通建设科技项目(11-2-05)

作者简介:牛力强(1979-),男,山西左权人,山西省交通科学研究院高级工程师,主要从事路基路面工程相关研究,

E-mail: nlq_sxjk@163.com.

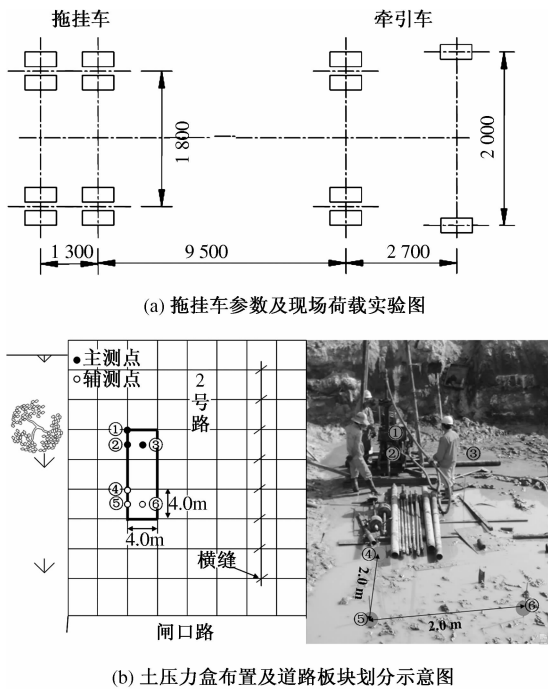


图 1 土压力盒布置及车辆荷载试验
Fig.1 Arrangement of earth pressure cells and vehicle load tests

表 1 道路结构各层材料物理力学参数

Tab.1 Physical and mechanical parameters of materials

结构层名称	层厚 /m	容重/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	E /MPa	c /kPa	φ /($^{\circ}$)
现浇混凝土板	0.34	26.0	35 000(真实值) 15 000(折减值)	—	—
6% 水稳层	0.20	25.0	2 500	—	—
碎石层	0.18	24.0	250	—	—
砂垫层	2.00	20.5	50	2	38
土混砂	3.30	20.0	24	2	32
淤泥质土	11.0	17.0	4	20	6
粉质黏土	7.0	20.0	8	40	18

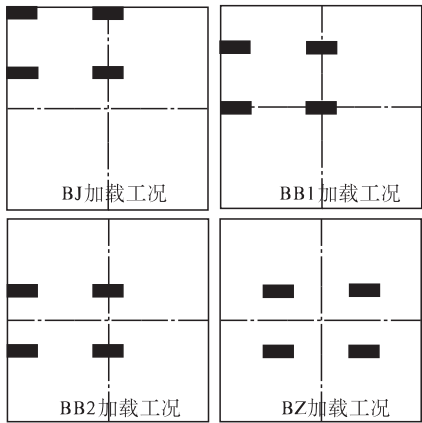


图 2 不同荷位加载工况示意图
Fig.2 Schematic of loading position

2 数值建模分析

2.1 数值模型的建立与验证

根据现场条件及表 1 各结构层参数,建立 $10.0\text{ m} \times 10.0\text{ m} \times 24.72\text{ m}$ 的道路拖挂车加载模型,铺面结构采用理想弹性模型,地基采用 Mohr-Coulomb 模型,模型边界采用固定位移边界,并以 T3 荷载工况进行加载.由于道路的现浇混凝土板并非为一整体,应力在板块与板块间的传递存在折减现象.本文模拟中,加载位置板块现浇混凝土板的回弹模量采用真实值,非加载板块采用折减值,以实现板块间应力传递折减的模拟.考虑到港区道路拖挂车车速较慢($v < 20\text{ km/h}$),数值模拟时将拖挂车荷载模拟为静荷载.另外,以加载板板角位置为坐标原点建立三维空间直角坐标系, x 轴以向右为正方向, y 轴以垂直纸面向里为正方向, z 轴以垂直向上为正方向.

2.2 模拟结果分析

基于板角加载工况,对加载板板角位置下地基中附加应力、附重比、竖向应变及侧向位移进行分析.

2.2.1 附加应力及附重比分析

图 3(a)为加载板板角位置下地基不同深度处附加应力分布曲线.可以看出,附加应力沿深度方向逐渐减小,在浅层地基中附加应力在加载侧有较明显的应力集中现象,随深度的增加该现象逐渐消失.图 3(b)为加载板板角位置下地基不同深度处附重比分布曲线.附重比沿深度方向逐渐减小,在深 2.52 后附重比小于 0.1.

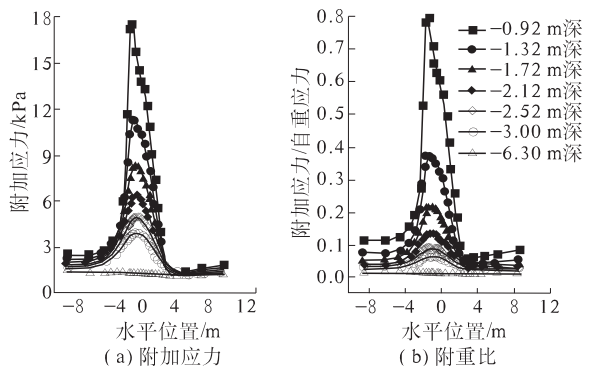


图 3 地基中附加应力及附重比分布曲线
Fig.3 Distribution of induced stresses and ratio of induced stress to gravity stress at different depths

2.2.2 竖向应变分析

图 4(a)为加载板板角位置下地基中竖向应变沿深度分布曲线.可以看出,竖向应变在地基各土层中均沿深度方向逐渐减小.从中粗砂垫层进

入细砂层时,竖向应变小幅增加,而进入淤泥质黏土层时则大幅增加,且沿深度方向减小幅值很小.图 4(b)为加载板板边位置下地基不同深度处竖向应变沿水平位置分布曲线.整体上,淤泥质黏土层中竖向应变要比其他土层的要大.

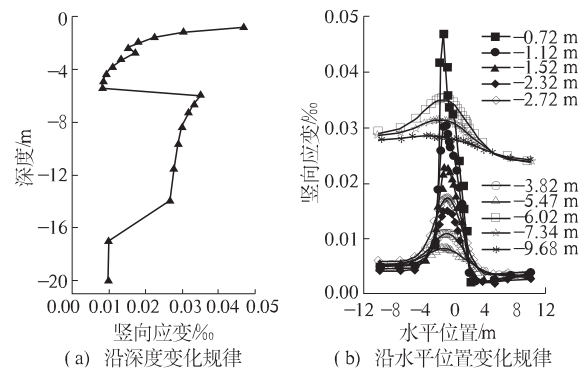


图 4 地基中竖向应变分布曲线
Fig. 4 Distribution of vertical strains

3 参数分析

3.1 不同荷位分析

对 T3 荷载下 BJ(S1)、BB2(S2)和 BZ(S3)位置加载工况进行参数分析.

3.1.1 附加应力及附重比分析

图 5 为 S1 ~ S3 加载工况附加应力及附重比沿深度分布曲线.如图 5(a)所示,在地基浅层,S1 工况下附加应力值最大,S2 工况次之,S3 工况最小.随深度增加,附加应力值快速减小,S1 工况的减小幅度最大,S2 工况次之,S3 工况最小,在 1.32 m 深处开始 S3 工况附加应力值较 S1 和 S2 工况的要大,2.12 m 深处开始 S1 工况的附加应力值小于 S2 工况的.如图 5(b)所示,附重比沿深度的变化规律与附加应力相似,均约在深度 2.5 m 处附重比减小至 0.1.

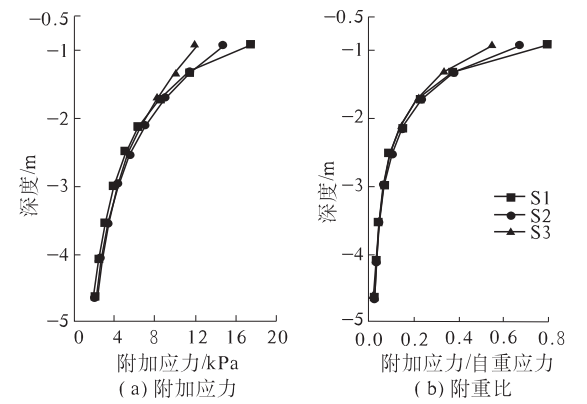


图 5 地基不同深度处附加应力及附重比分布曲线
Fig. 5 Distribution of induced stresses and ratio of induced stress to gravity stress along depth

3.1.2 竖向应变分析

图 6 为 S1 ~ S3 加载工况竖向应变分布曲线.浅层地基中 S1 工况地基的竖向应变最大,S2 工况次之,S3 工况最小;在深层地基中则相反.

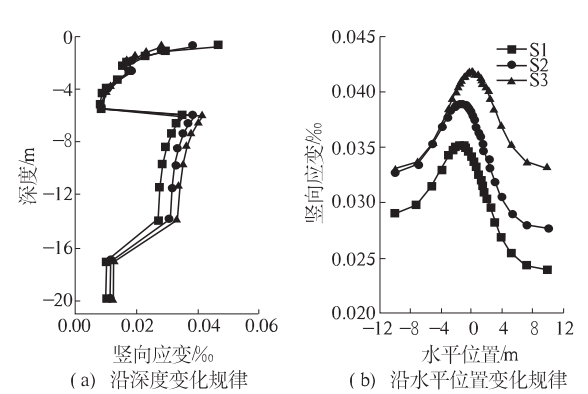


图 6 竖向应变分布曲线
Fig. 6 Distribution of vertical strains

3.2 不同轮压工况分析

假设拖挂车接地面积不变,增加的荷载只引起轮压的变化.分别选取轮压为 0.5、0.7、0.9、1.1、1.3 MPa,对不同轮压荷载工况进行参数分析.

3.2.1 附加应力及附重比分析

图 7 为不同轮压工况下附加应力及附重比沿深度分布曲线.可以看出,同一深度处附加应力值随着轮压的增加而增加(图 7(a)).同一深度处附重比随轮压增加而增加,各工况下附重比等于 0.1 的深度分别约为 1.85、2.10、2.30、2.60、3.0 m(图 7(b)).

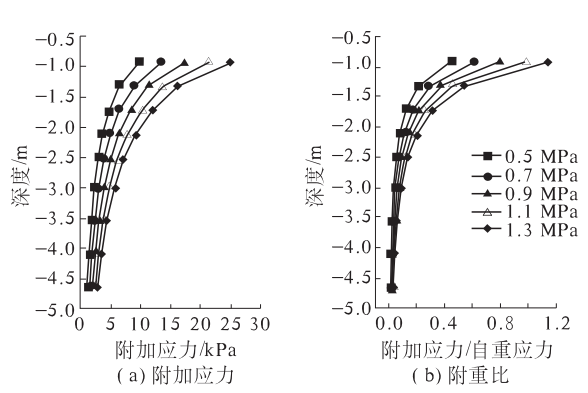


图 7 不同轮压工况下附加应力及附重比沿深度变化曲线
Fig. 7 Variation of ratio of induced stress to gravity stress with depth under different loading conditions

3.2.2 竖向应变分析

图 8 为不同轮压荷载工况下竖向应变沿深度分布曲线.可以看出,随轮压的增加,同一深度处的竖向应变逐渐增大,且增幅有上升趋势.

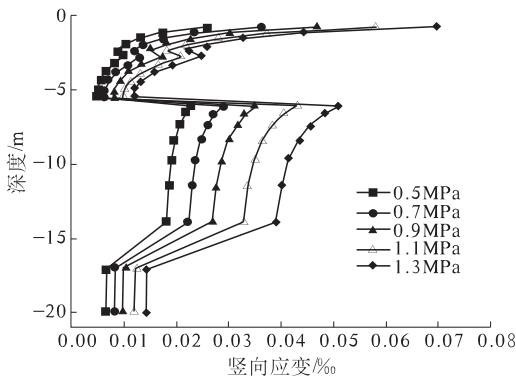


图 8 不同轮压工况下竖向应变分布曲线
Fig.8 Distributions of vertical strains under different loading conditions

3.3 不同砂垫层工况分析

砂垫层厚度是港口地基设计中的重要参数,下面对不同厚度砂垫层工况进行参数分析.

3.3.1 附加应力及附重比分析

图 9 为不同砂垫层厚度工况下附加应力及附重比沿深度变化曲线.可以看出,在相同深度处附加应力值随着砂垫层厚度增加而减小(图 9(a)).在相同深度处附重比随着砂垫层厚度增加而减小(图 9(b)).各工况附重比等于 0.1 的深度均在 2.5 m 左右.对于 0.8 m 和 1.2 m 工况,该深度已超出砂垫层底部,1.6 m 工况几乎位于砂垫层底部,2.0 m 厚工况则在砂垫层中.

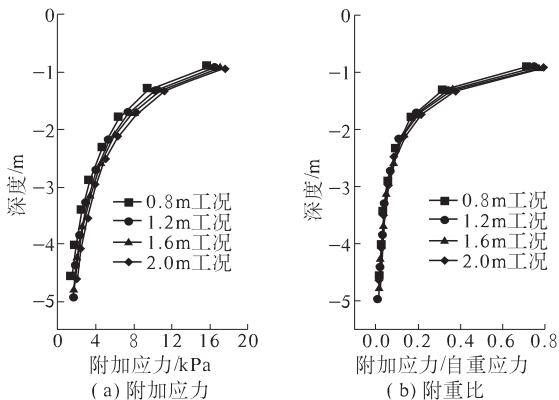


图 9 不同砂垫层厚度工况下附加应力及附重比变化曲线
Fig.9 Variation of induced stress and ratio of induced stress to gravity stress under different thickness of sand cushion conditions

3.3.2 竖向应变分析

图 10 为不同砂垫层厚度工况下竖向应变沿深度变化曲线.可以看出,最大竖向应变发生在淤泥质土顶部,相同深度处竖向应变随砂垫层厚度的增加而减小,减小幅度呈减小趋势,从 1.6 m 增

加到 2.0 m 时,淤泥质土顶部竖向应变该变量较未到达 1.6 m 前要小得多.

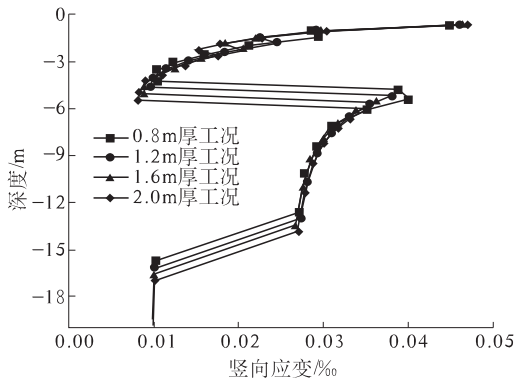


图 10 不同砂垫层厚度工况下竖向应变分布曲线
Fig.10 Distributions of vertical strains under different thickness of sand cushion conditions

4 结论

以广州南沙港现场拖挂车荷载试验为依托,采用 FLAC3D 建立数值分析模型,通过与现场试验数据对比,验证了模型及参数选择的合理性.随后对地基中的附加应力、竖向应变及侧向位移等进行了系统分析,并对不同加载荷位、轮压和砂垫层厚度工况进行了参数分析,主要得到以下结论:

(1)附加应力在浅层地基中在加载侧有较明显的应力集中现象,随深度的增加该现象逐渐消失.

(2)竖向应变在各土层中均沿深度方向逐渐减小.淤泥质土层中的竖向应变值较大,且沿深度方向减小幅值较小.

(3)侧向位移沿水平方向呈先增大后减小的变化规律,并在加载板一侧达到最大值,沿深度方向呈先增加后减小的变化规律.

(4)板角加载工况为最不利荷位工况.整体上,地基中的附加应力、竖向应变和侧向位移,均随着轮压的增加而增大,随着砂垫层厚度的增加而减小.

参考文献:

[1] YAN S W, CHU J. Soil improvement for a storage yard using the combined vacuum and fill preloading method [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2005, 42(4): 1094 - 1104.
[2] 孙立强,闫澍旺,李伟.真空-堆载联合预压加固吹填土地基有限元分析法的研究[J].岩土工程学报, 2010, 32(4): 592 - 599.
[3] 梅国雄,徐锴,宰金珉,等.真空预压加固软土地

基变形机理的探讨[J]. 岩土工程学报, 2006, 28 (9): 1168 – 1172.

[4] SAKAI A, SAMANG L, MIURA N. Partially-drained cyclic behavior and application to the settlement of a low embankment road on silty-clay [J]. Soils and Foundations, 2003, 43(1): 33 – 46.

[5] SAMANG L, MIURA N, SAKAI A. Long-term measurements of traffic load induced settlement of pavement surface in Saga Airport Highway, Japan [J]. Journal Teknik Sipil, 2005, 12(4): 275 – 285.

[6] 孙立强, 闫澍旺, 徐余. 软土路基“波浪形”不均匀沉降及其机制分析[J]. 岩土力学, 2011, 32(S1): 526 – 531.

[7] 赵亮, 闫澍旺. 吹填土地基道路工后不均匀沉降分析和加固措施研究[J]. 土木工程学报, 2012, 45 (2): 176 – 173.

[8] 张军, 申俊敏, 甘甜, 等. 重交通荷载作用下港区地基工作区深度研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(S1): 2942 – 2949.

[9] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. JTS 1441—2010 港口工程荷载规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.

Study on Mechanical Characteristics of Port Road under the Vehicle Load

NIU Li-qiang

(Key Laboratory of Highway Construction and Maintenance Technology in Loess Region, Shanxi Transportation Research Institute, Taiyuan 030006, China)

Abstract: Based on the field tests of port road under the vehicle load, a series of numerical simulation was conducted using FLAC3D to analyze the deformation characteristics of port reclamation ground under the vehicle load. The pavement is modelled by the elastic model and the ground is modelled by the M-C model. A detailed analysis of the additional stress and vertical strain of ground is performed. Simulation results show that the additional stress concentrates in shallow ground under the loading position and this phenomenon disappears gradually along the depth. The vertical strain of silt soil is larger than the other soil and it decreases slightly along the depth. Lastly, a series of parameters analysis was carried out, such as loading position, wheel pressure and sand cushion thickness.

Key words: port; road; vehicle load; mechanical characteristics

(上接第 81 页)

Preparation and Properties of Epoxy Asphalt Applied for Concrete Bridge Deck

CONG Pei-liang^{1,2}, LIU Jian-fei^{1,2}, ZHAO Zhi-qiang^{1,2}, CHEN Shuan-fa^{1,2}

(1. School of Materials Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Engineering Research Center of Transportation Materials of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: For the application of epoxy asphalt in concrete bridge deck materials, a kind of epoxy asphalt was prepared to study and analyze the influence of resin content for the viscosity characteristics, high temperature performance of epoxy asphalt binder, and the strength properties, high temperature stability, fatigue resistance of epoxy asphalt mixture. The results shows that the application of epoxy can improve pavement performance and mechanical properties of asphalt mixture; when dosage of resin is increased, the process of curing reaction of epoxy asphalt happens faster, high temperature performance and fatigue resistance are enhanced, stiffness modulus is increased, creep rate is decreased, low temperature cracking resistance is reduced, asphalt mixture fatigue resistance and high temperature stability are improved. Synthetically, 30% is the best resin content.

Key words: epoxy asphalt; bridge deck material; pavement performance; epoxy resin content; mechanical property