

双层连铺大厚度水泥稳定碎石基层沥青路面力学响应分析

吴辉本¹, 张正超², 马天武¹, 张国良³, 闫翔鹏²

¹滨州市公路事业发展中心, 山东 滨州

²山东省交通科学研究院, 山东 济南

³山东省滨州公路工程有限公司, 山东 滨州

Email: 1044053629@qq.com

收稿日期: 2021年1月23日; 录用日期: 2021年2月15日; 发布日期: 2021年2月24日

摘要

静态层状弹性体系是我国沥青路面结构设计计算及力学响应分析的理论基础, 该方法通过路面结构路表弯沉、基层层底拉应变及沥青层层底拉应变的大小来表征路面结构强度。本文通过有限元分析软件, 计算了某国道改建工程两种路面结构形式的力学响应情况, 计算结果表明: 水泥稳定碎石基层采用双层连铺施工工艺比传统三层连铺的路表弯沉、基层层底拉应变和沥青层底拉应变均较小, 路面结构抵抗疲劳荷载和协调变形能力更佳。

关键词

双层连铺, 大厚度, 水泥稳定碎石基层, PLAXIS, 力学响应, 有限元模拟

Analysis of Mechanical Response of Asphalt Pavement with Double-Layer Continuously Paved Cement Stabilized Macadam Base

Huiben Wu¹, Zhengchao Zhang², Tianwu Ma¹, Guoliang Zhang³, Xiangpeng Yan²

¹Binzhou Highway Development Center, Binzhou Shandong

²Shandong Transportation Research Institute, Jinan Shandong

³Shandong Binzhou Highway Engineering Corporation, Binzhou Shandong

Email: 1044053629@qq.com

Abstract

The static layered elastic system is the theoretical basis for the design calculation and mechanical response analysis of the asphalt pavement structure in our country. This method characterizes the strength of the pavement structure through the surface deflection of the pavement structure, the tensile strain of the base layer and the tensile strain of the asphalt layer. This paper uses finite element analysis software to calculate the mechanical response of the two pavement structures of a national road reconstruction project. The calculation results show that the cement stabilized macadam base layer adopts double-layer continuous paving construction technology than the traditional three-layer continuous paving road surface deflection. The tensile strain at the bottom of the base layer and the tensile strain at the bottom of the asphalt layer are both small, and the pavement structure has better resistance to fatigue loads and coordinated deformation.

Keywords

Double Storey, Large Thickness, Cement Stabilized Macadam Base, PLAXIS, Mechanical Response, Finite Element Simulation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水泥稳定碎石原材料丰富、施工工艺简单、造价低廉、整体强度高,是我国最为常见的典型公路基层结构形式[1][2]。当前半刚性基层沥青路面基层施工时大多仍按照传统三层分铺模式进行施工,即松铺一层、碾压、养生结束后再施工下一层,直至基层施工完毕[3][4]。此种施工方式所需人员机械配置多、养生时间长、单位施工成本高,且层间薄弱区的存在大大降低了半刚性基层的整体性能[5][6]。随着施工工艺的不断改进提高,当前基层施工逐渐由三层分铺向双层连铺转变[7][8]。本文利用 PLAXIS 有限元软件,计算传统三层分铺及两层连铺路面结构的路表弯沉、基层层底压应变、沥青层底拉应变,研究两种不同工况下半刚性基层沥青路面力学响应情况。

2. 力学分析模型

PLAXIS 程序是由荷兰 PLAXIS B.V.公司推出的一系列功能强大的通用岩土有限元计算软件,现在已广泛应用于各种复杂岩土工程项目的有限元分析中,如:路面结构力学响应分析、大型基坑与周边环境相互影响、盾构隧道施工与周边既有建筑物相互作用、大型桩筏基础(桥桩基础)与邻近基坑的相互影响、板桩码头应力变形分析、库水位骤升骤降对坝体稳定性的影响、软土地基固结排水分析、基坑降水渗流分析及完全流固耦合分析、建筑物自由振动及地震荷载作用下的动力分析、边坡开挖及加固后稳定性分析等等。PLAXIS 计算功能强大,使用范围广,运算稳定,结果可靠。

山东省内某国道改建工程路面结构自上而下分别为 4 cm SMA-13 沥青混合料上面层 + 6 cm AC-25 沥青混合料下面层 + 54 cm 水泥稳定碎石混合料基层 + 土基。水泥稳定碎石基层总厚度 54 cm,分别采用

传统 18 cm 水泥稳定碎石基层三层分铺及 24 cm + 30 cm 两层连铺工艺进行全线施工，见图 1。本文利用 PLAXIS 有限元软件对两种路面结构进行力学响应分析，路面结构一为传统三层分铺半刚性基层路面结构，结构二为双层连铺半刚性基层路面结构。



Figure 1. Site construction drawing of cement stabilized macadam base
图 1. 水泥稳定碎石基层双层连铺施工图

模型尺寸参照该国道典型路面结构设计图纸，面层厚度 10 cm，基层厚度 54 cm，土基厚度 2 m，模型宽度设置为 15 m。对于沥青路面而言，矩形荷载分布相较于圆形均布荷载更能反映路面结构的整体受力情况，因此本模型采用矩形荷载作为胎 - 路间接触模拟，矩形荷载为两个加载面，加载面宽度为 213 mm，两者中心间距为 319.5 mm。结构模型及网格划分分别如图 2 和图 3 所示。

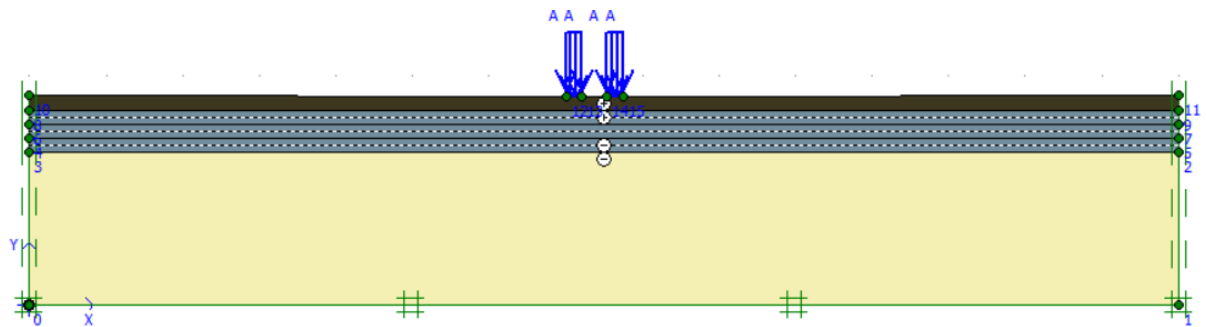


Figure 2. Schematic diagram of pavement structure model
图 2. 路面结构模型示意图

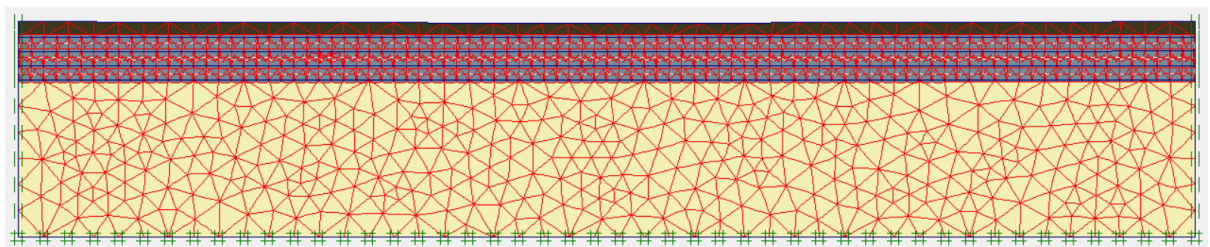


Figure 3. Meshing diagram
图 3. 网格划分示意图

各结构层材料参数如表 1 所示。

Table 1. Parameter value table
表 1. 各结构层材料参数表

结构层	参数	计算取值
土基	弹性模量(Mpa)	200
	泊松比	0.4
	厚度(cm)	200
水泥稳定碎石	弹性模量(Mpa)	12,000
	泊松比	0.2
	厚度(cm)	54
沥青面层	弹性模量(Mpa)	6000
	泊松比	0.35
	厚度(cm)	10

3. 两种不同工况力学响应分析

3.1. 路表弯沉

路表弯沉荷载作用于路基、路面后，路面结构整体发生变形的大小，路表弯沉是反应路面结构总刚度的综合性指标，它反映了路面结构的整体承载能力。一般意义上来讲，路表弯沉值越小，则路面结构整体强度越大；路表弯沉值越大，则路面结构整体强度越小。

上图 4 和图 5 分别为两种路面结构在均布荷载作用下路表弯沉等值线图。图中可以看出，路面结构竖向变形以两均布荷载中心为原点向路面结构内部呈放射性发散，且随着放射距离的增大竖向变形逐渐减小。等值线图中路表处路面结构竖向变形值即为路表弯沉值，最大值在两均布荷载中心处。计算结果表明，路面结构一的路面弯沉为 22.9×10^{-4} ，路面结构二的路面弯沉为 15.5×10^{-4} ，路面结构二的弯沉值是路面结构一弯沉值的 1.48 倍，路面结构二相较于路面结构一有更好的整体性能。因此采用双层连铺水泥稳定碎石基层路面结构相较于传统三层分铺水泥稳定碎石基层路面结构的整体抗变形协调能力更强。

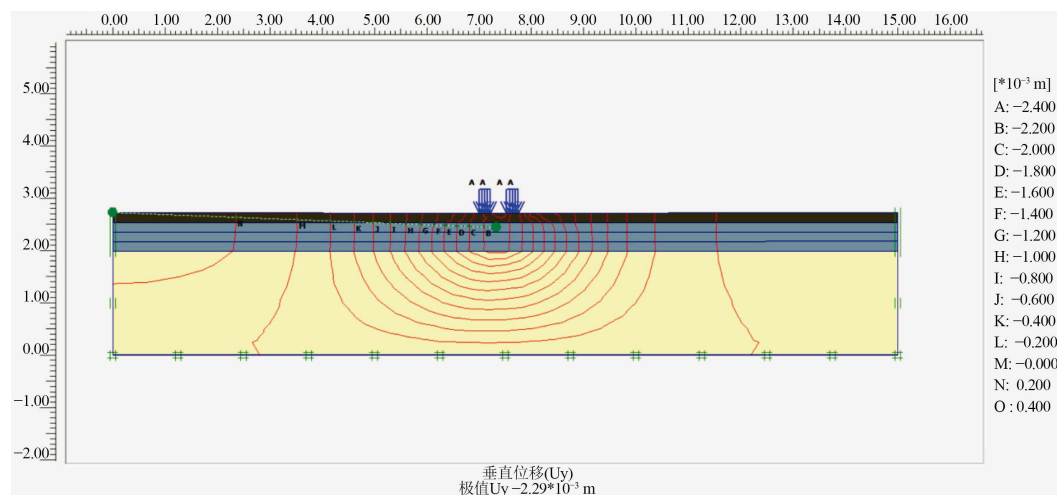


Figure 4. The first road surface deflection contour map

图 4. 路面结构一路表弯沉等值线图

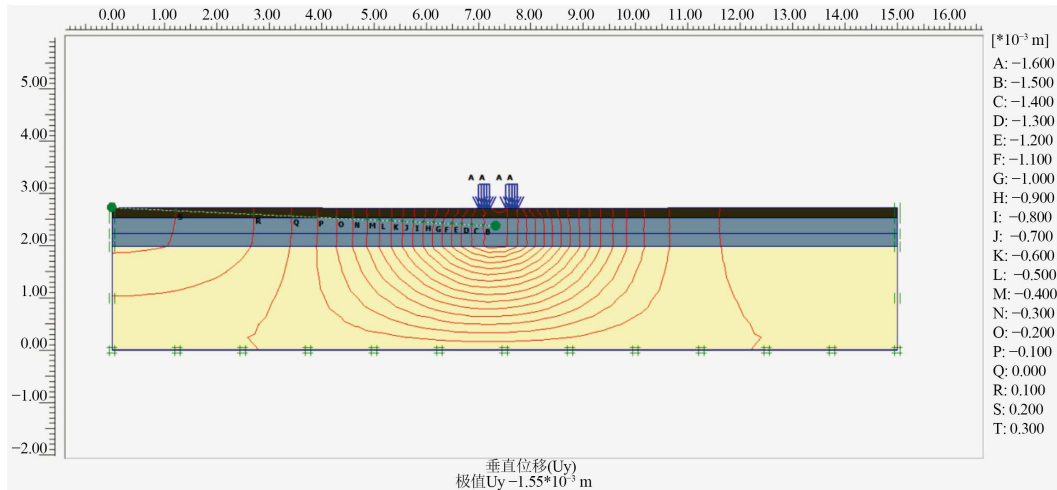


Figure 5. Road surface deflection contour map of the second pavement structure
 图 5. 路面结构二路表弯沉等值线图

3.2. 基层层底拉应变

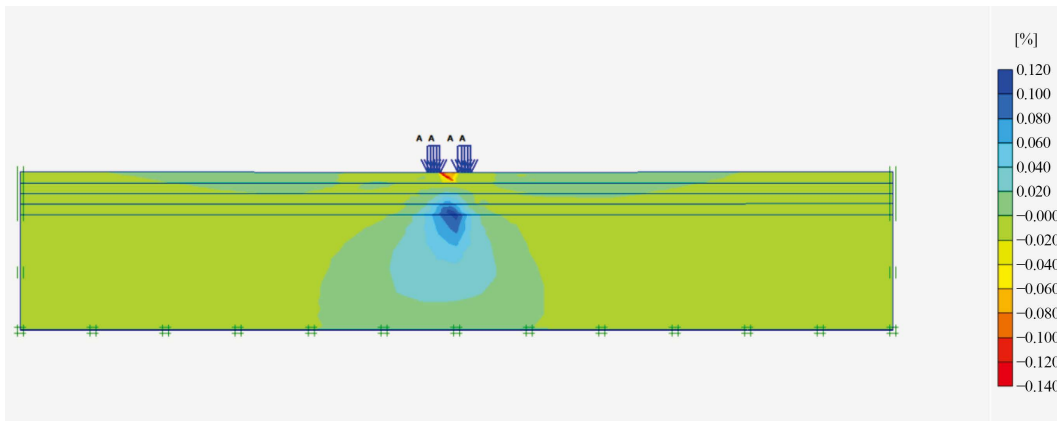


Figure 6. The first type of pavement structure base layer tensile strain cloud map
 图 6. 路面结构一基层层底拉应变云图

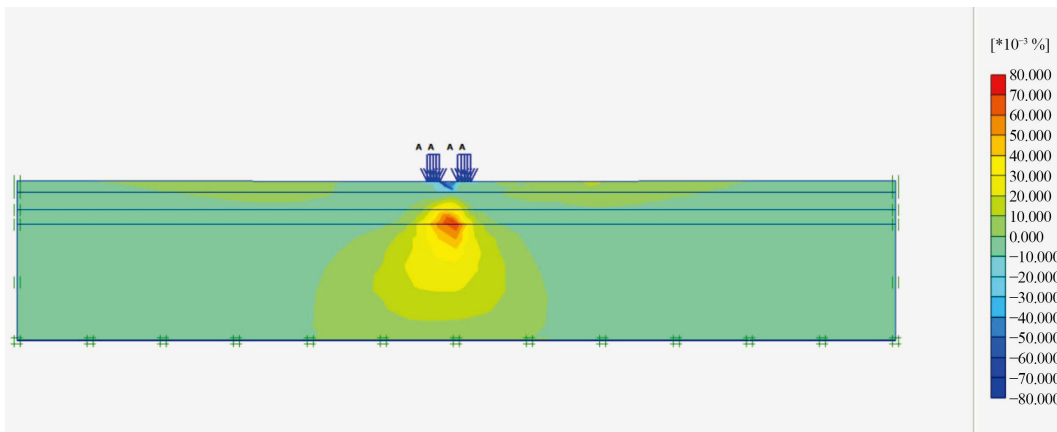


Figure 7. The second type of pavement structure base layer tensile strain cloud map
 图 7. 路面结构二基层层底拉应变云图

图 6 及图 7 给出了半刚性基层沥青路面基层层底拉应变云图,从图中可以看出在荷载作用下,水泥稳定碎石基层层底出现拉应力聚集区。水泥稳定碎石材料抗压能力较强,抗拉能力相对较弱。在轴载往复作用下,水泥稳定碎石基层层底拉应力聚集区处极易出现疲劳开裂,出现裂缝后向上传导至面层,这就是半刚性基层沥青路面常见的反射裂缝病害。由计算结果可知,路面结构一基层层底最薄弱处拉应变变为 118×10^{-6} ,路面结构二基层层底最薄弱处拉应变变为 79×10^{-6} ,路面结构一基层层底最大拉应变比路面结构二增大了 1.4 倍。因此,采用双层连铺方式的半刚性基层沥青路面比传统三层分铺的半刚性基层沥青路面具有更好的抗疲劳开裂能力,可以有效减少反射裂缝的产生,延长道路使用寿命。

3.3. 沥青层底拉应变

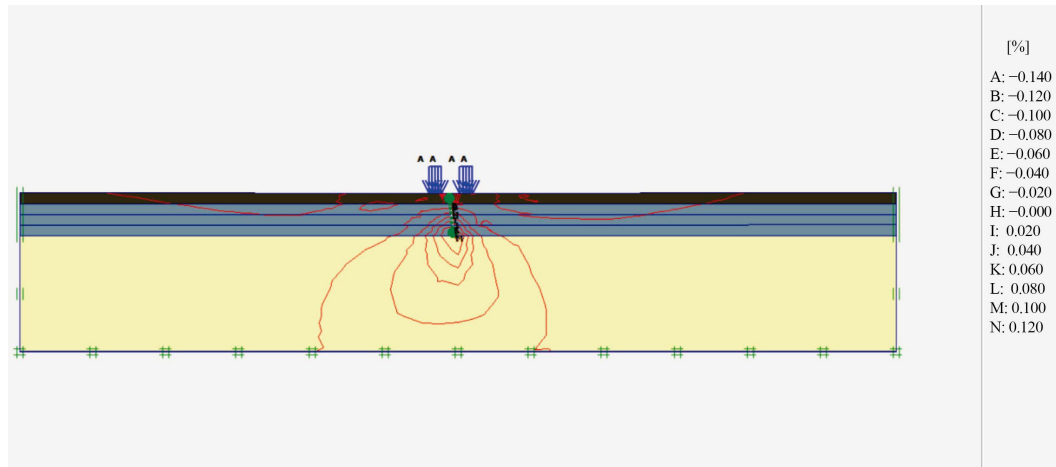


Figure 8. The first type of pavement structure asphalt bottom tensile strain cloud map
图 8. 路面结构一沥青层底拉应变云图

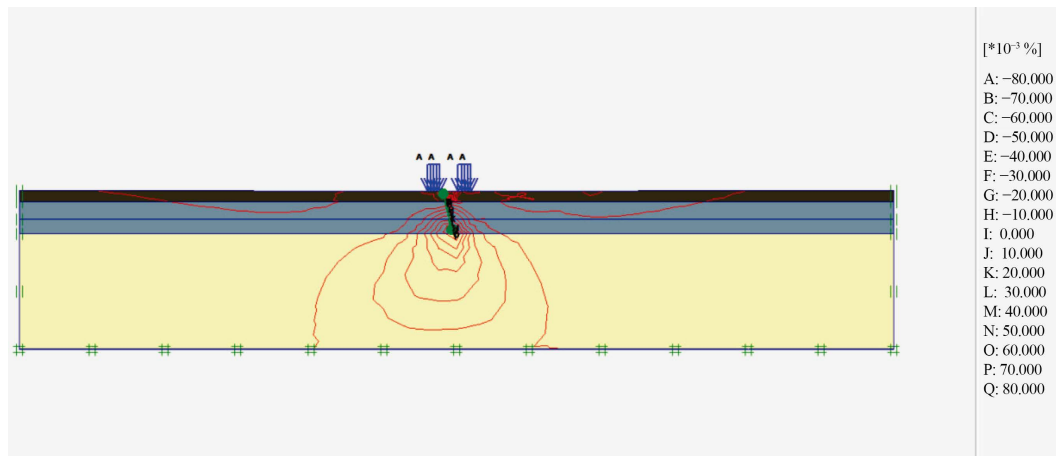


Figure 9. The second type of pavement structure asphalt bottom tensile strain cloud map
图 9. 路面结构二沥青层底拉应变云图

沥青混合料是典型的黏弹性材料,沥青层底拉应变是决定路面结构疲劳寿命的重要指标。图 8 及图 9 给出了两种路面结构沥青层底拉应变等值线图,从图中可以看出面层内拉应力沿路面结构向下逐渐增大,在沥青层底达到最大值。路面结构一沥青层底拉应变变为 138×10^{-6} ,路面结构二沥青层底拉应变变为 76×10^{-6} ,路面结构一沥青层底拉应变比结构二增大约 1.82 倍,因此路面结构二比路面结构一有更强的抗疲

劳损伤能力。

在此定义“应变比” Δ 为沥青层底拉应变与基层层底拉应变比值，即

$$\Delta = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$$

其中， ε_1 为沥青层底拉应变， ε_2 为基层层底拉应变。

通过上述计算结果可知，路面结构一应变比 Δ_1 为1.17，路面结构二应变比为 Δ_2 为1.04，结构二比结构一有更强的整体协调变形能力。

4. 结语

1) 半刚性基层沥青路面中水泥稳定碎石基层采用大厚度双层连铺施工工艺逐渐代替传统三层分铺施工工艺。

2) 采用双层连铺施工工艺的水泥稳定碎石基层路面结构比传统三层分铺水泥稳定碎石基层路面结构的路表弯沉、基层层底拉应变、面层层底拉应变均较小，路面结构抵抗疲劳损伤的能力更强。

3) 半刚性基层沥青路面采用双层连铺水泥稳定碎石基层时，整体路面结构有更好的抗变形协调能力。

参考文献

- [1] 曹建建, 郑炳锋. 4类不同基层沥青路面长期性能研究[J]. 公路, 2020, 65(4): 1-6.
- [2] 杨武. 水泥稳定碎石基层双层连续摊铺施工工艺及质量控制[J]. 交通世界, 2020(7): 22-23+49.
- [3] 陈超峰, 张向北. 抗裂型水泥稳定碎石基层双层连铺技术在高速公路中应用[J]. 公路, 2018, 63(10): 47-50.
- [4] 徐中新. 宽幅沥青路面摊铺均匀性与大厚度路面基层压实特性研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 长安大学, 2018.
- [5] 周兴业, 时敬涛, 王旭东. 半刚性基层沥青路面层间应变传递试验研究及影响因素分析[J]. 公路交通科技, 2017, 34(6): 1-6.
- [6] 张慧中, 臧国帅, 孙立军. 半刚性基层沥青路面动态应变响应实测分析[J]. 交通科学与工程, 2017, 33(1): 12-17.
- [7] 钟勇强, 黄晓明, 马涛. 基于室内结构试验的半刚性基层开裂数值仿真[J]. 北京工业大学学报, 2013, 39(5): 690-695+729.
- [8] 苏凯, 孙立军, 石鸿. 半刚性沥青路面结构组合优化设计研究[J]. 石家庄铁道学院学报, 2007(1): 1-5.