

Study on Influence of Interlayer Position on Structure Performance of Cement Stabilized Macadam Base

Guoliang Zhang¹, Shuling Zhao¹, Mingjun Li¹, Guangshuai Yang¹, Zhengchao Zhang², Xiangpeng Yan², Xiaomeng Zhang²

¹Shandong Binzhou Highway Engineering Corporation, Binzhou Shandong

²Shandong Transportation Research Institute, Jinan Shandong

Email: 1044053629@qq.com

Received: Aug. 5th, 2019; accepted: Aug. 21st, 2019; published: Aug. 28th, 2019

Abstract

With the continuous development of construction machinery and equipment and on-site construction technology, the construction of cement stabilized macadam base has changed from traditional three-layer construction to two-layer construction, but the existence of interlayer interface still has a significant impact on road structure performance. In this paper, the finite element analysis software PLAXIS is used to adjust the road surface deflection, asphalt layer bottom strain and road of cement stabilized macadam base road under five working conditions (conventional three-layer construction and two-layer construction of four layers) to study the road performance of cement stabilized macadam base under different working conditions.

Keywords

Cement Stabilized Macadam Base, Interlayer Position, Surface Deflection, Pull Strain, Pressure Strain, Finite Element Simulation

层间位置对水泥稳定碎石基层结构性能影响研究

张国良¹, 赵树岭¹, 李明军¹, 杨广帅¹, 张正超², 闫翔鹏², 张晓萌²

¹山东省滨州公路工程总公司, 山东 滨州

²山东省交通科学研究院, 山东 济南

Email: 1044053629@qq.com

收稿日期：2019年8月5日；录用日期：2019年8月21日；发布日期：2019年8月28日

摘要

随着施工机械设备及现场施工工艺的不断发展，水泥稳定碎石基层施工已由传统的三层施工向两层施工转变，但层间界面的存在仍对道路结构性能有着显著的影响。本文采用有限元分析软件PLAXIS分别对五种工况下(传统三层施工及四种层间位置的两层施工)的水泥稳定碎石基层道路的路表弯沉、沥青层底拉应变和路基层压应变等指标进行分析比较，研究不同工况下水泥稳定碎石基层路用性能。

关键词

水泥稳定碎石基层，层间位置，路表弯沉，拉应变，压应变，有限元模拟

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

高速公路工程具有实施时间短、工期紧的特点；同时，高速公路建设质量标准要求高，路面宽度大，水泥稳定碎石基层如果按照传统的路面摊铺工艺施工，普遍存在接缝多、养护周期长、施工难度大等难题[1] [2]。因此如何对水泥稳定碎石基层施工工艺进行技术创新，促进施工工艺与工法的提升，从而在根本上解决基层摊铺的现有难题，是目前亟待解决的关键问题[3]。而水泥稳定碎石基层厚度组合方案的选择以及施工过程中的层间污染与损坏，会产生较弱的界面强度，进而影响水泥稳定基层的整体性[4] [5]。

本文通过 Plaxis 有限元数值分析软件，模拟不同厚度组合工况下水泥稳定碎石基层的力学响应及整体工作性能，有助于选择合理的结构设计方案和施工控制工艺。

2. 水泥稳定碎石基层厚度组合划分

水泥稳定碎石基层现场施工时(图 1)，通常先进行下基层施工，待 7 d 养生结束后再进行上基层水泥稳定碎石施工。通常情况下水泥稳定碎石基层总厚度为 54 cm，分三层 18 cm 进行先后施工。但是随着宽幅大厚度摊铺机、重型压路机等施工机械设备的改进升级，目前也会有基层一次性全厚施工或者分两层施工的工程实践。在笔者参与的山东省滨州市某国省道改扩建项目水泥稳定碎石基层施工中，设计了五种试验路结构方案。分别为传统 3 层 18 cm 水泥稳定碎石(工况 1)及 4 种分层厚度组合的两层施工(工况 2~5)。在基层分层施工过程中，由于不同厚度组合方案将会产生不同的界面接触条件。

结合现场试验路施工情况，对以下五种厚度组合方案进行数值分析(表 1)。

3. 有限元模型建立

有限元模型的建立以常见一级公路结构设计参数为参照。面层厚度为 18 cm，水泥稳定碎石基层总厚度为 54 cm。

3.1. 模型尺寸

为尽量减少边界效应对数值模拟有效性的影响，模型高度设置为 2.72 m，其中面层厚度 0.18 m，水



Figure 1. Site construction drawing of cement stabilized macadam base

图 1. 水泥稳定碎石基层现场施工图

Table 1. Thickness combination plan

表 1. 厚度组合方案表

序号	厚度组合方案
工况 1	18 cm + 18 cm + 18 cm
工况 2	18 cm + 36 cm
工况 3	27 cm + 27 cm
工况 4	24 cm + 30 cm
工况 5	36 cm + 18 cm

泥稳定碎石基层厚度 0.54 m，土基厚度 2 m；模型宽度设置为 15 m。本文用矩形作为轮胎与路面的接触形状，其中加载面宽度为 21.3 cm，两加载面间距为 31.95 cm；车轮荷载为标准轴载，其上的面力为 0.7 Mpa。

3.2. 参数取值

路面结构模型参数如下表 2 所示。

Table 2. Parameter value table

表 2. 参数取值表

类型	参数	计算值
沥青面层	弹性模量(Mpa)	6000
	厚度(cm)	18
	泊松比	0.35
水泥稳定碎石	弹性模量(Mpa)	12,000
	厚度(cm)	54
	泊松比	0.2
土基	弹性模量(Mpa)	200
	厚度(cm)	200
	泊松比	0.4

3.3. 模型建立

本文采用 Plaxis 有限元数值分析软件进行，根据工况 1~5 分别建立五个数值分析模型，以工况 1 为

例，模型建立如图 2 所示：

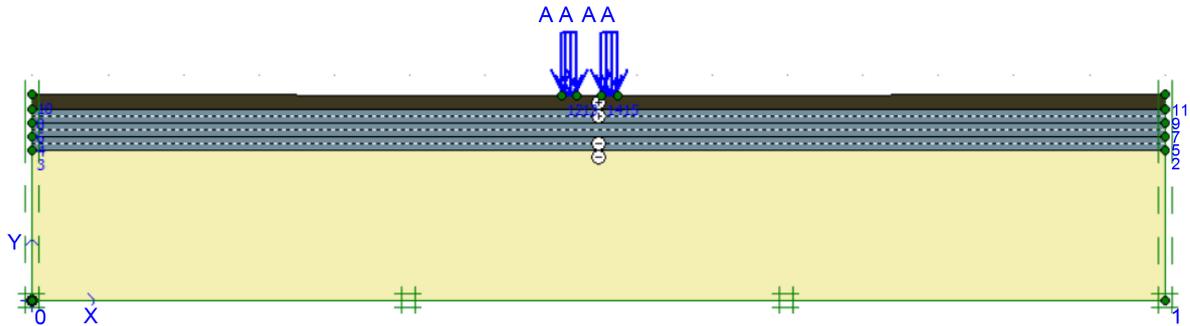


Figure 2. Model diagram of working condition 1
图 2. 工况 1 模型图

4. 计算结果及分析

4.1. 路表弯沉

路表弯沉是路面整体结构在荷载作用下的竖向位移量，它表征了路面结构的抗变形能力。路表弯沉是一项反应路基和路面结构总刚度大小的总体性和综合性指标。路表弯沉值得大小可以反映出路面结构的相对刚度，路标弯沉值小的路面结构具有较大的承载能力和较长的使用寿命。图 3~7 分别为工况 1~5 的路表弯沉云图，图 8 为各工况路边弯沉对比图。

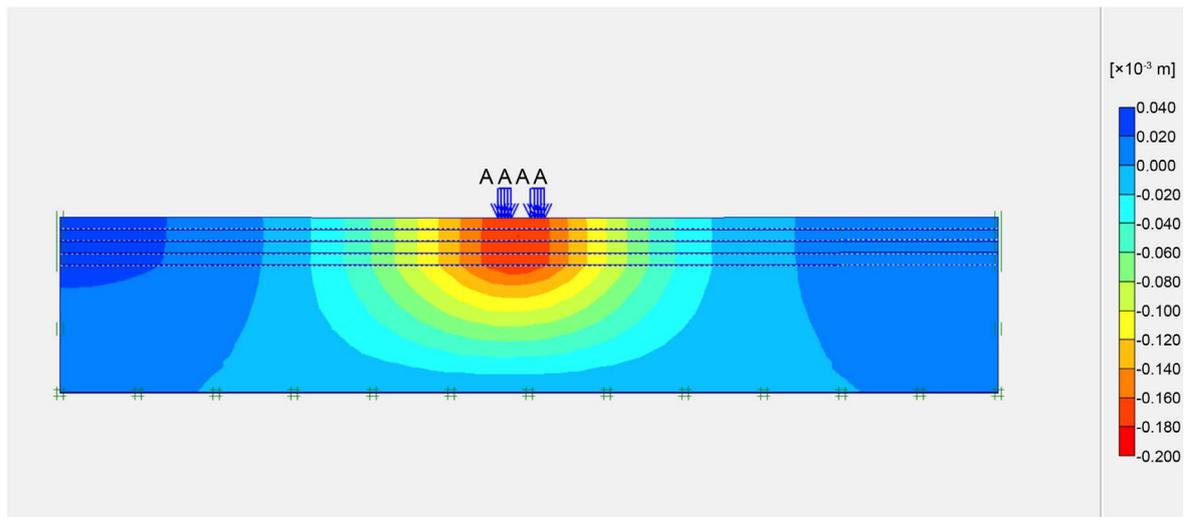


Figure 3. Vertical displacement diagram of working condition 1
图 3. 工况 1 竖向位移图

计算结果表明：工况 1~5 路表弯沉分别为： 1.80×10^{-4} m、 1.19×10^{-4} m、 1.31×10^{-4} m、 1.43×10^{-4} m、 1.55×10^{-4} m。工况 2 路表弯沉最小，表明其结构抗变形能力最强。传统 3 层 18 cm 水泥稳定碎石基层的路表弯沉值是工况 2 的 1.51 倍；从图 8 各工况路表弯沉对比图中可以看出：两层施工的水泥稳定碎石基层路面结构其路标弯沉值要小于传统三层施工水泥稳定碎石基层路面结构；且当水泥稳定碎石为两层施工时，随着水泥稳定碎石基层层间位置的不不断升高，路表弯沉值逐渐增大，路面结构抗变形能力逐渐减小。

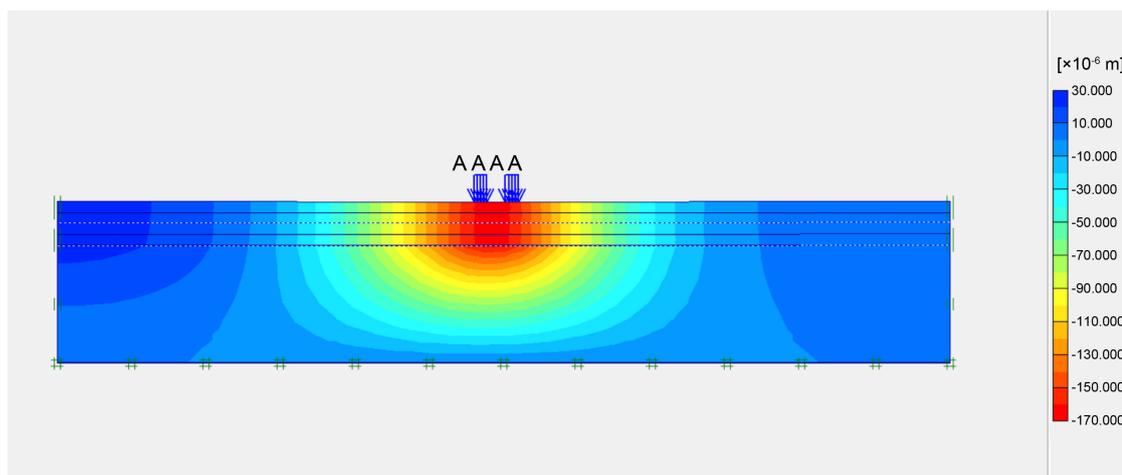


Figure 4. Vertical displacement diagram of working condition 2

图 4. 工况 2 竖向位移图

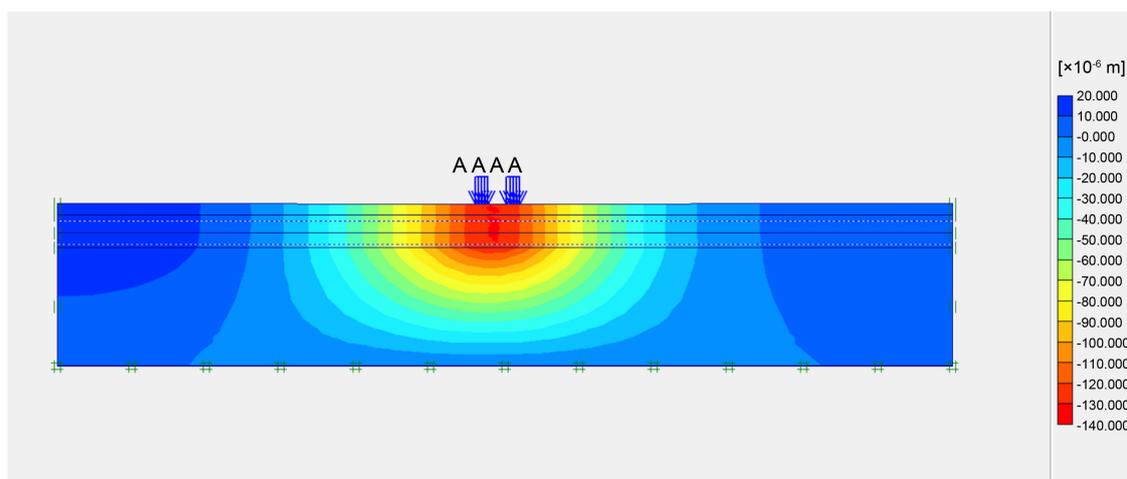


Figure 5. Vertical displacement diagram of working condition 3

图 5. 工况 3 竖向位移图

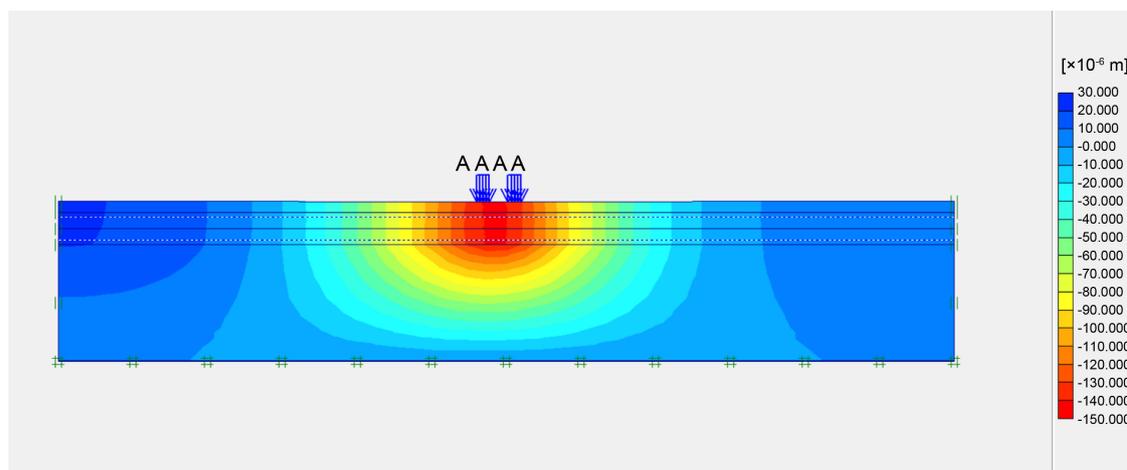


Figure 6. Vertical displacement diagram of working condition 4

图 6. 工况 4 竖向位移图

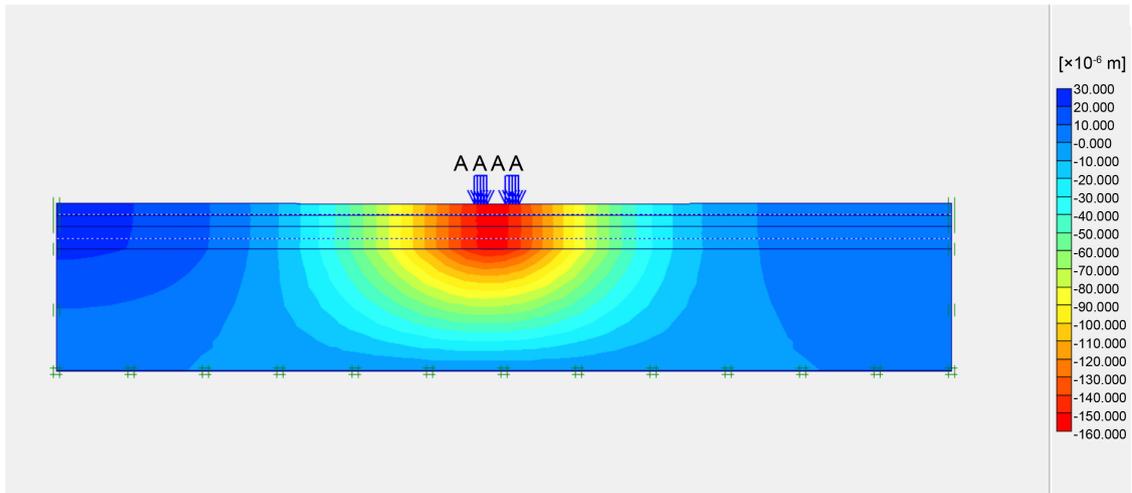


Figure 7. Vertical displacement diagram of working condition 5
图 7. 工况 5 竖向位移图

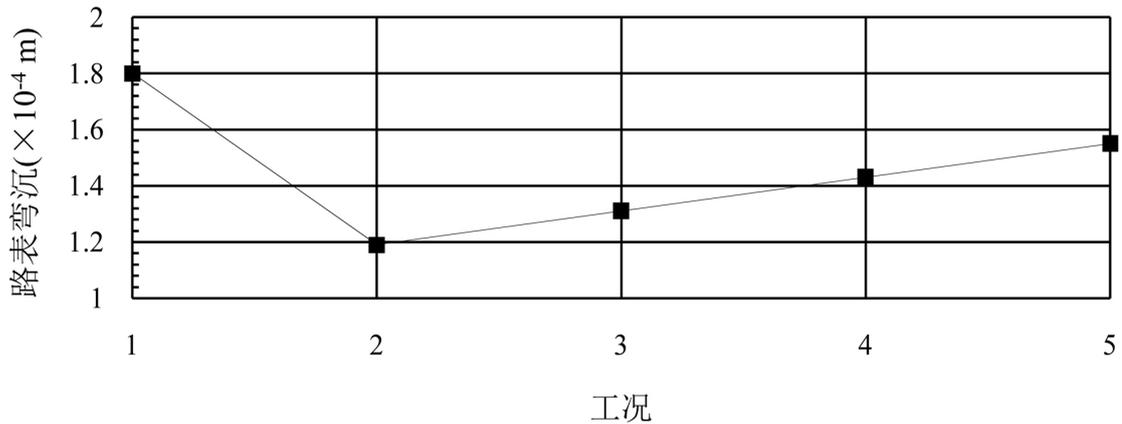


Figure 8. Surface deflection contrast chart of various working conditions
图 8. 各工况路表弯沉对比图

4.2. 沥青层底拉应变

在我国的路面结构设计中，以沥青面层底面作为疲劳开裂的设计标准，当荷载作用下的拉应变大于材料结构的极限拉应变时，就会发生疲劳开裂的现象。一般认为，沥青层疲劳开裂始于拉应力(拉应变)最大处，而沥青层底面或接近底面处的拉应力(拉应变)最大，因而，疲劳开裂的初始裂缝出现在底面，而后由底面扩展到面层表面，贯穿整个沥青层。因此，比较在相同荷载水平作用下各工况沥青层底拉应变，可以得出五种结构组合路面结构沥青层抵抗疲劳开裂的能力差异。

由图 9~13 可以看出，在轮隙中间处，面层水平应变随着深度的增加而增大，并在层底处达到最大。

如上图 14 所示，计算结果表明：工况 1~5 沥青层底拉应变分别为： 195.8×10^{-6} m、 65.6×10^{-6} m、 85.4×10^{-6} m、 130.2×10^{-6} m、 214.6×10^{-6} m。工况 2 沥青层底拉应变最小，表明其抵抗疲劳开裂的能力最强。工况 1 (传统 3×18 cm 水泥稳定碎石基层结构)的沥青面层层底拉应变是工况 2 的 2.98 倍、工况 3 的 2.29 倍、工况 4 的 1.50 倍、略小于工况 5 的沥青层底拉应变。因此，水泥稳定碎石基层在同一厚度条件下，其施工层数及各层厚度组合对沥青层疲劳特性亦会产生不同程度影响；且当基层为两层施工时，层间位置的提升会降低沥青层抗疲劳开裂能力。

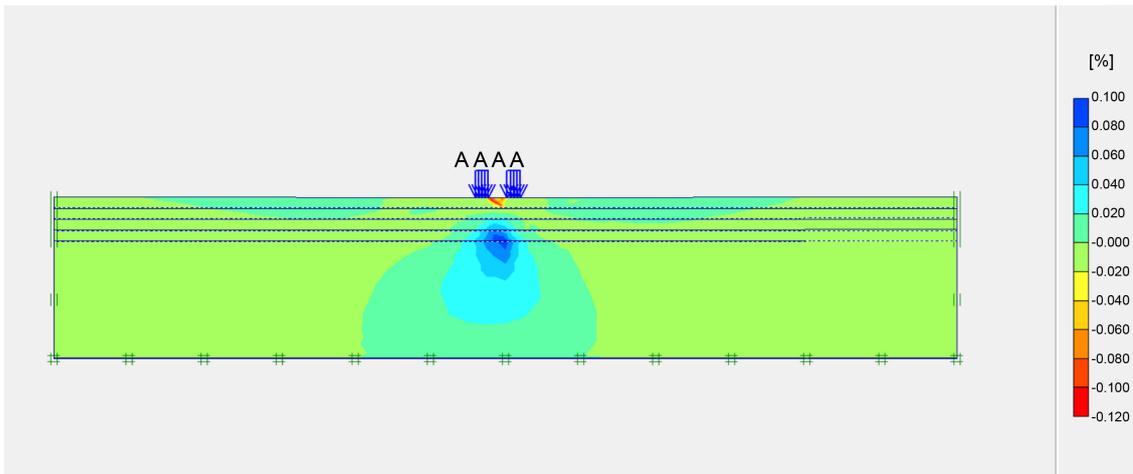


Figure 9. Horizontal strain diagram of working condition 1

图 9. 工况 1 水平应变图

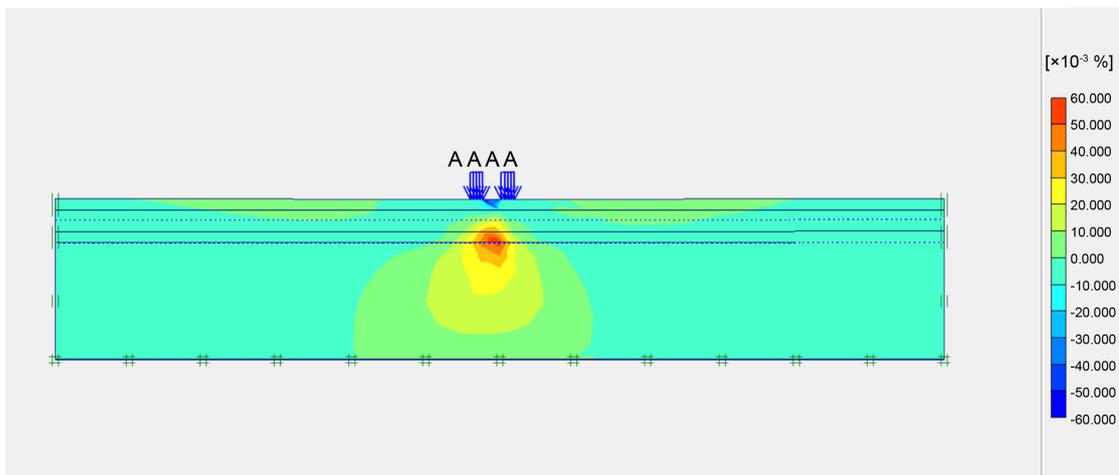


Figure 10. Horizontal strain diagram of working condition 2

图 10. 工况 2 水平应变图

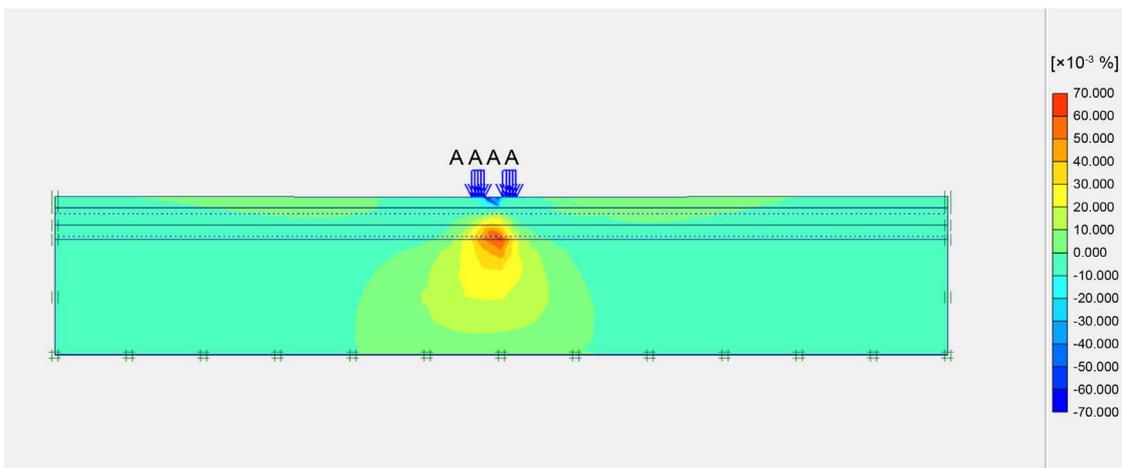


Figure 11. Horizontal strain diagram of working condition 3

图 11. 工况 3 水平应变图

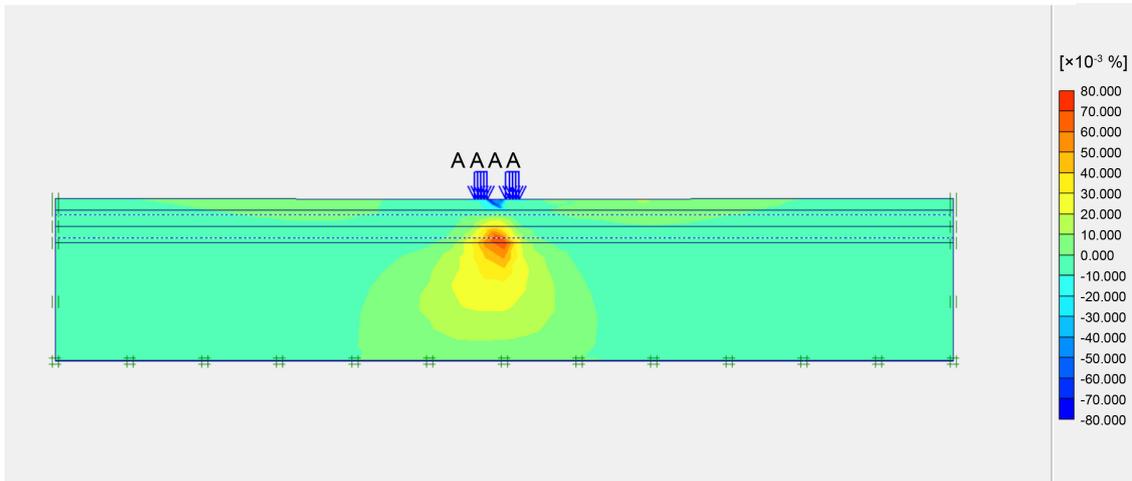


Figure 12. Horizontal strain diagram of working condition 4
图 12. 工况 4 水平应变图

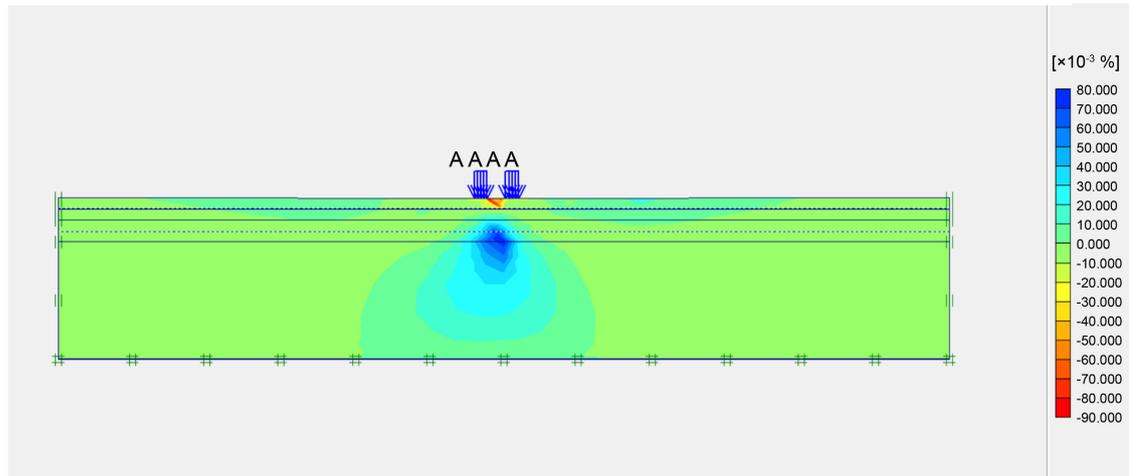


Figure 13. Horizontal strain diagram of working condition 5
图 13. 工况 5 水平应变图

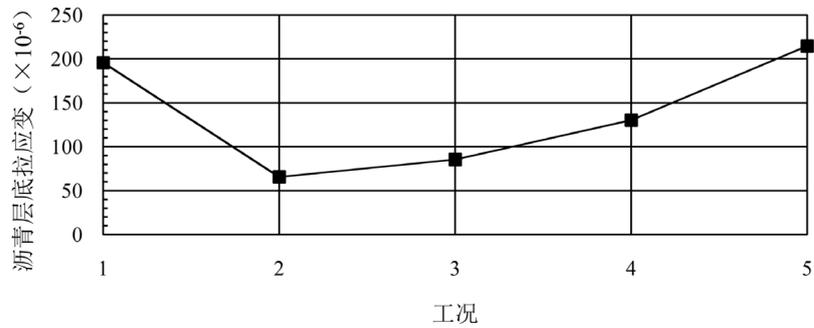


Figure 14. Bottom strain diagram of asphalt layer under various working conditions
图 14. 各工况沥青层底拉应变图

4.3. 路基顶压应变

路基是路面结构的基础，承载面层及基层传导的行车荷载。过大的路基顶压应变会导致路基产生塑

性变形，从而引起沉降及裂缝等病害。因此，土基顶压应变是反映道路结构承载能力的重要指标。

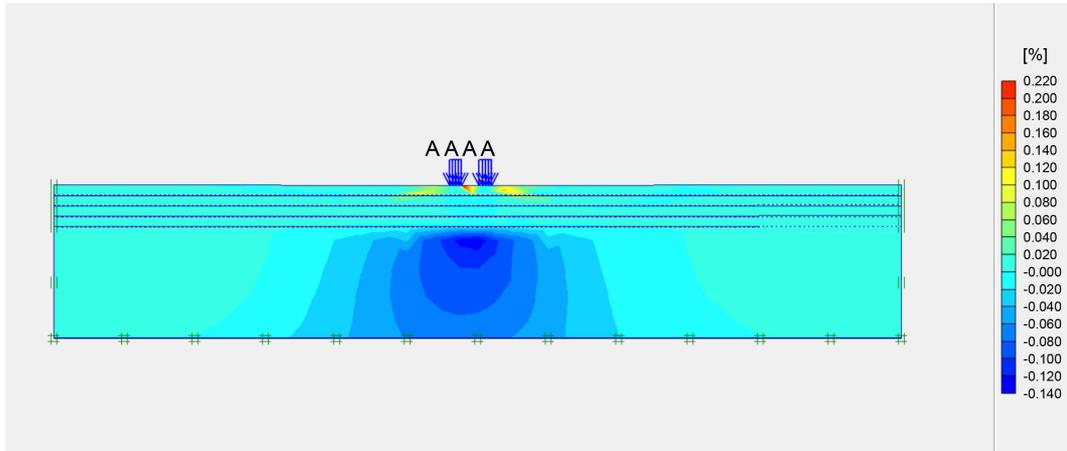


Figure 15. Vertical strain diagram of working condition 1
图 15. 工况 1 竖向应变图

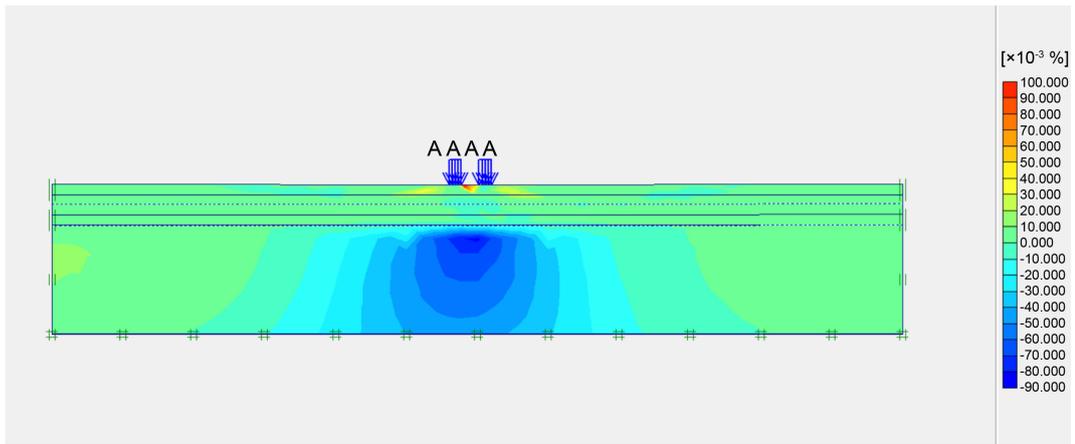


Figure 16. Vertical strain diagram of working condition 2
图 16. 工况 2 竖向应变图

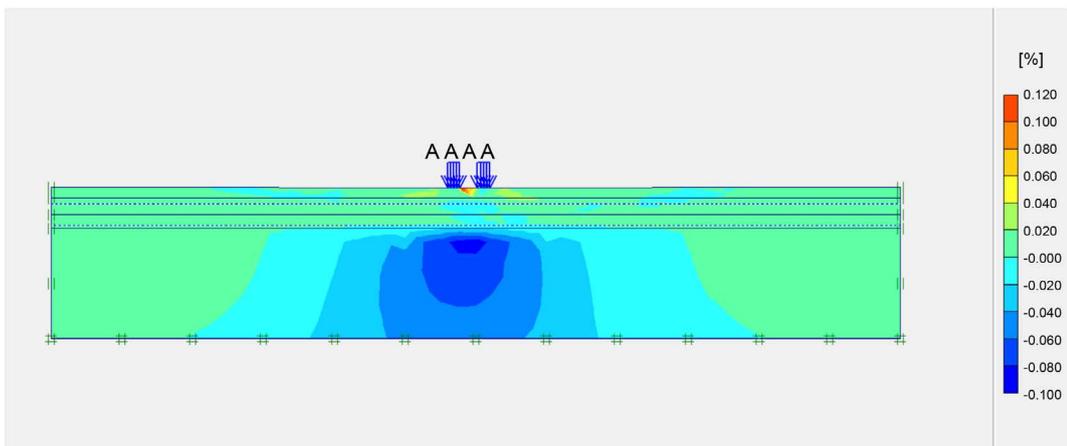


Figure 17. Vertical strain diagram of working condition 3
图 17. 工况 3 竖向应变图

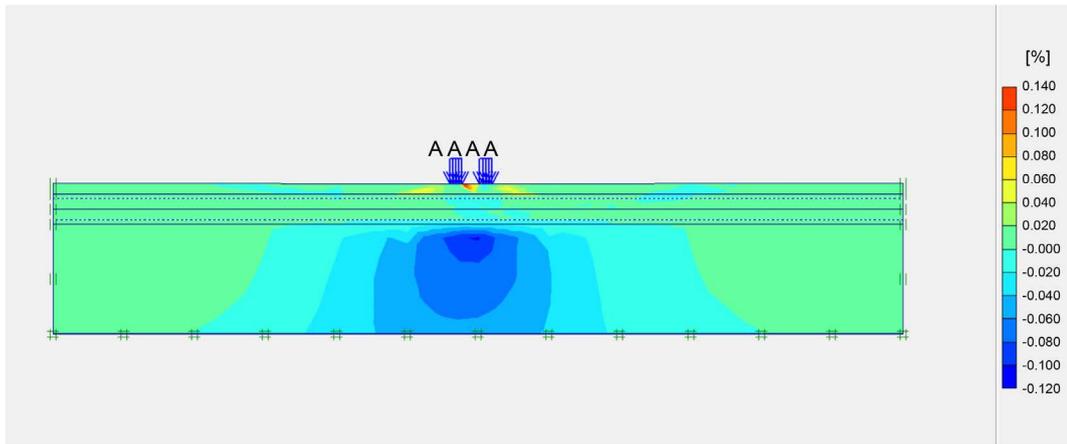


Figure 18. Vertical strain diagram of working condition 4
图 18. 工况 4 竖向应变图

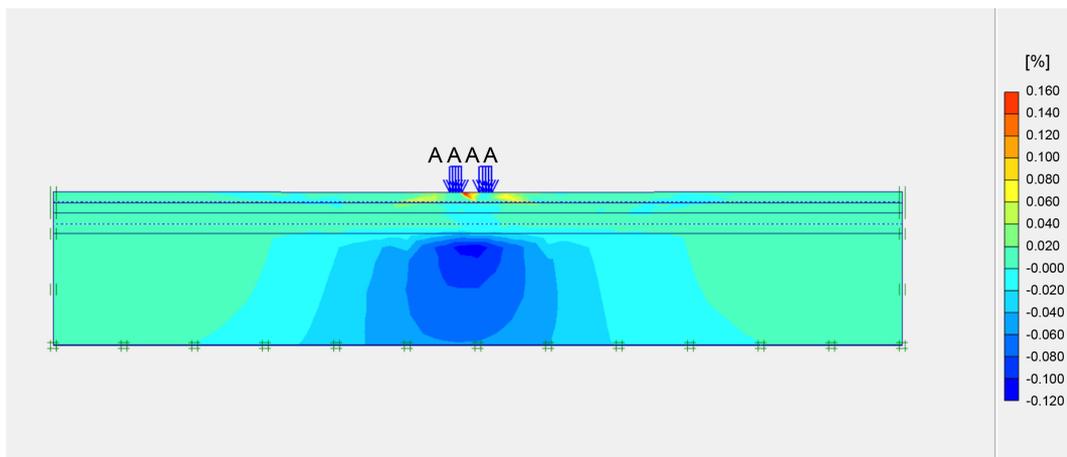


Figure 19. Vertical strain diagram of working condition 5
图 19. 工况 5 竖向应变图

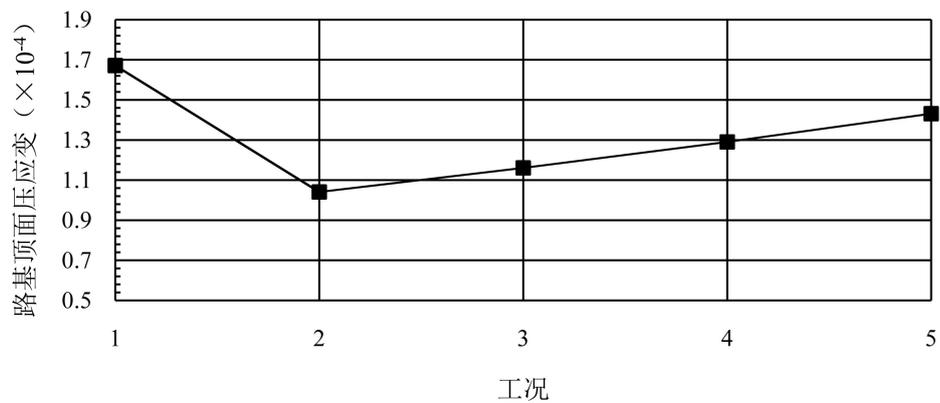


Figure 20. Soil foundation compression strain under various working conditions
图 20. 各工况路基顶面应变

路基顶面应变是反映路基承载能力的重要指标，相同荷载作用条件下，路基顶面应变值越小，表明路基抵抗变形及损坏的能力越强。图 15~19 分别为工况 1~5 路基顶面应变云图，从图中可以看出，车轮

轮隙中心引垂线至土基顶, 此处土基顶压应变为最大值, 压应变以此为中心向土基扩散并衰减。由图 20 可以看出, 工况 1~5 最大土基顶压应变分别为 1.67×10^{-4} m、 1.04×10^{-4} m、 1.16×10^{-4} m、 1.29×10^{-4} m、 1.43×10^{-4} m; 与工况 1 相比, 工况 2~5 土基顶压应变分别减少了 39.5%、30.5%、22.8%、14.4%。

5. 结语

本文通过有限元分析软件 PLAXIS 对五种工况的水泥稳定碎石基层沥青路面结构进行了路表弯沉、沥青层底拉应变及土基顶压应变等表征路面结构整体性能的指标进行了对比分析研究, 并得到以下结论:

1) 同一厚度水泥稳定碎石基层, 当采用两层铺筑时其路表弯沉、沥青层底拉应变及土基顶压应变等指标优于或接近传统三层铺筑。

2) 层间位置对水泥稳定碎石基层结构性能有着显著影响, 同一厚度水泥稳定碎石基层采用两层铺筑时, 层间位置越低, 路表弯沉、沥青层底拉应变及土基顶压应变等指标越小, 道路结构性能越好。

3) 考虑到现有水泥稳定碎石基层材料及现场施工设备, 水泥稳定碎石基层施工当采用两层铺筑时可适当降低层间位置并控制每层摊铺压实厚度。以本文所述工程为例, 现场施工时发现当水泥稳定碎石基层单层厚度大于 30 cm 时, 其摊铺及压实有较大离析。因此, 建议实体工程施工时基层单层厚度可控制在 30 cm 及以内, 现场可以获得较好的摊铺及压实效果。

参考文献

- [1] 许海龙. 水泥稳定碎石在公路路面基层的施工实践[J]. 交通世界, 2019(6): 20-21.
- [2] 吴鸿飞. 水泥稳定碎石基层双层连铺施工技术研究[J]. 华东公路, 2019(2): 39-41.
- [3] 郭海波. 水泥稳定碎石基层双层连铺施工技术现场试验研究[J]. 石家庄铁路职业技术学院学报, 2019, 18(1): 31-34.
- [4] 延西利, 梁春雨, 许金华, 游庆龙, 李昂. 水泥稳定碎石基层的弹塑性特性[J]. 中国公路学报, 2019, 32(1): 29-36.
- [5] 李丽慧. 双层水泥稳定碎石层间作用分析[J]. 许昌学院学报, 2018, 37(12): 36-39.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询; 或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org