

# 桥头搭板受力分析及影响因素研究

唐杨<sup>1</sup>,唐彬<sup>2</sup>,王国炜<sup>3</sup>,任荣<sup>4</sup>,何宏彬<sup>5</sup>

1. 五峰土家族自治县农村公路管理所,湖北 宜昌 443413;
2. 湖北屹峡峰建设工程有限公司,湖北 宜昌 443000;
3. 济南金衢公路勘察设计研究有限公司,山东 济南 250101;
4. 五峰土家族自治县交通运输局公路造价质量监督站,湖北 宜昌 443413;
5. 湖北华中公路工程咨询有限公司,湖北 宜昌 443100

**摘要:**以某桥的桥头搭板为工程背景,采用 Midas FEA 建立非线性实体有限元模型,对桥头搭板的结构受力进行了计算分析,同时分析了板底脱空长度和地基承载能力对桥头搭板受力状况的影响。计算分析表明:随着板底脱空长度的增加和地基反应模量的降低,桥头搭板的挠度、应力、裂缝宽度将逐渐增加;当桥头搭板的板底脱空长度达到一半以上时,桥头搭板的受力状况将发生严重劣化;当地基反应模量低于  $100 \text{ MN/m}^3$  时,桥头搭板将出现裂缝。

**关键词:**公路工程;桥头搭板;板底脱空长度;地基反应模量

**中图分类号:**U441 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5322(2021)01-0066-06

桥头搭板是为了缓和桥台和路堤之间沉降差异造成的纵坡突变而设置的路桥过渡结构<sup>[1]</sup>,现有相关理论分析<sup>[2]</sup>表明桥头搭板容易出现应力过大、集中的现象,工程实践也表明桥头搭板由于台背填料不密实、填料流失、车辆超载等<sup>[3]</sup>原因造成的折角、断裂病害屡见不鲜,因此,不少专家学者对其进行了深入研究。

近年来,桥头搭板的主要研究方向在病害处治<sup>[4-5]</sup>和结构设计<sup>[6-7]</sup>两个方面,对于桥头搭板的结构受力分析和影响因素研究相对较少。沈宇鹏等<sup>[8]</sup>以车轮动荷载系数、桥面与引道路面容许台阶高度作为控制指标,通过建立三维动力学模型分析了桥头搭板在不同参数组合下车辆和过渡段的动力特性,以此对桥头搭板的厚度、弹性模量、长度、埋深等参数进行了综合优化,建议搭板采用 C25 混凝土,长度不小于 8.3 m,厚度不小于 30 cm,埋深不大于 0.1 m。王涛等<sup>[9]</sup>针对传统浅埋式桥头搭板容易出现板底脱空而断裂的现状,提出了深埋式桥头搭板的概念,通过对比计算分析表明:采用深埋式桥头搭板可以有效减小台背

地基沉降、搭板翘曲变形和板底应力,同时增强地基刚度,减缓桥头搭板断裂的可能性。

本文将以某桥的桥头搭板为工程背景,对桥头搭板的结构受力进行计算分析,同时对影响桥头搭板受力最为显著的因素进行研究。

## 1 工程概况与分析思路

### 1.1 工程概况

某座斜交实心板简支梁桥位于湖北省五峰土家族自治县,该桥的两侧桥台上各设置一个 6 m 长的桥头搭板,其厚度为 30 cm,斜交角度为  $30^\circ$ 。桥头搭板以下依次为 20 cm 厚夯实砂层、20 cm 厚夯实碎石、台后填土,桥头搭板顺桥向 46.2 cm 长的一段采用栓钉固定在桥台上。桥头搭板的结构示意图如图 1 所示。

桥头搭板采用双层钢筋,并在桥台侧的两个角隅位置布置角隅钢筋。桥头搭板的下缘设置 C20 钢筋,上缘设置 C16 钢筋,顺桥向、横桥向的间距均为 200 mm。角隅钢筋采用 C12 钢筋,在顺桥向、横桥向均布置 10 根,间距为 100 mm。

收稿日期:2020-11-25

基金项目:山区桥梁与隧道工程国家重点实验室开放基金项目(CQSLBF-Y16-10)。

作者简介:唐杨(1992—),男,湖北五峰人,硕士,主要研究方向为桥梁结构理论、桥梁养护与加固。

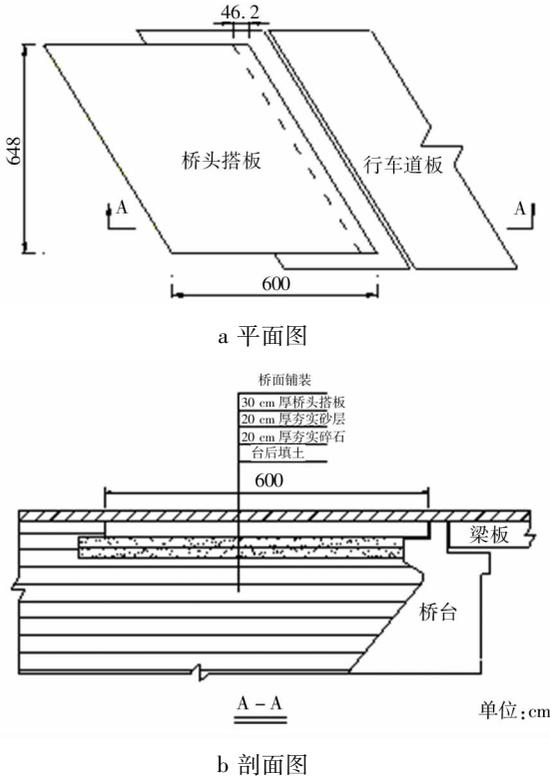


图 1 桥头搭板结构示意图

Fig 1 Schematic diagram of bridge approach slab structure

### 1.2 分析思路

计算分析采用 Midas FEA 3.7.0, 首先建立桥头搭板 30 cm 厚的实体结构, 采用实体切分法将 46.2 cm 长度的搭板切分出来, 为便于荷载施加, 顺桥向每间隔 1.0 m 切分一次桥头搭板, 顺桥向切分长度为 0.462 m + 5 × 1.0 m + 0.538 m, 横桥向按照双车道布置(0.79 m + 1.8 m + 1.3 m + 1.8 m + 0.79 m)将桥头搭板切为 5 份, 最后将切分的所有实体划分有限元网格, 网格划分采用自由网格划分技术, 划分为四面体单元。将钢筋的几何线条采用线网格划分为程序内置的钢筋单元, 不计桥头搭板混凝土与钢筋的滑移。整个计算模型共计 88 927 个单元, 有限元模型如图 2 所示。

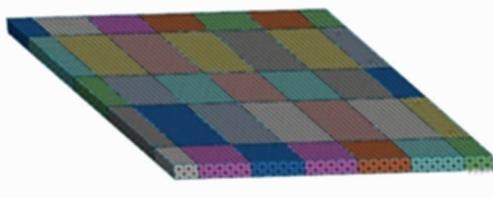


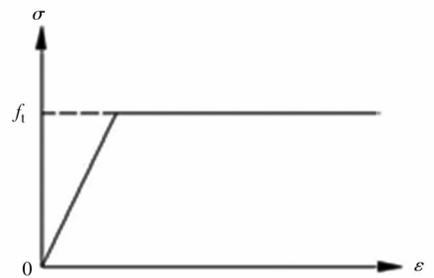
图 2 有限元模型

Fig 2 Finite element model

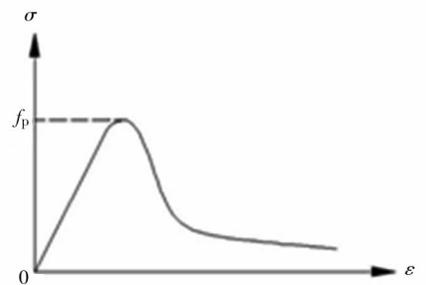
桥头搭板的材料为 C30 混凝土, 容重为 25 kN/m<sup>3</sup>, 泊松比为 0.2, 弹性模量为 30 GPa, 抗拉强度设计值为  $f_t = 1.39$  MPa, 抗压强度设计值为  $f_p = 13.8$  MPa。普通钢筋的容重为 76.98 kN/m<sup>3</sup>, 泊松比为 0.3, 弹性模量为 206 GPa, 抗拉强度设计值和抗压强度设计值均为 330 MPa。

在边界上将桥头搭板采用栓钉固定的一段施加固结约束, 搁置在夯实砂层上的搭板边界采用只受压弹簧模拟。查询相关资料发现, 搭板下半刚性垫层的地基反应模量一般取 100 MN/m<sup>3</sup> ~ 200 MN/m<sup>3</sup> 之间<sup>[10-11]</sup>, 在此将地基反应模量设置为 150 MN/m<sup>3</sup>。在荷载上考虑结构自重和汽车荷载, 自重荷载因子为 -1, 汽车荷载考虑为公路 - I 级, 集中荷载与均布荷载均考虑为面压力进行施加, 集中荷载施加在顺桥向中间的 1 m 宽度内, 均布荷载的压力范围是 6.0 m × 1.8 m, 集中荷载的压力范围是 1.0 m × 1.8 m。

混凝土本构模型采用总应变裂缝模型, 裂缝方式设置为转动, 即裂缝方向随着主应变方向的变化而变化, 计算刚度矩阵的方法设置为割线, 不考虑横向裂缝对抗压强度的影响和横向约束对强度提高的影响。总应变裂缝模型中的受拉函数采用常数函数, 受压函数采用 Thorenfeldt 函数。受拉函数和受压函数的应力 - 应变关系如图 3 所



a 受拉模型



b 受压模型

图 3 总应变裂缝模型

Fig 3 The total strain crack model

示,图中 $f_t$ 为抗拉强度设计值, $f_p$ 为抗压强度设计值。普通钢筋的本构模型设置为弹性模型,不考虑钢筋的材料非线性。

## 2 桥头搭板受力分析

### 2.1 变形分析

通过计算,得到桥头搭板的挠度如图4所示。由图4可以看出,桥头搭板的挠度最大值为0.28 mm,出现在施加汽车集中荷载的位置,桥头搭板的活动端与夯实砂层部分脱空。

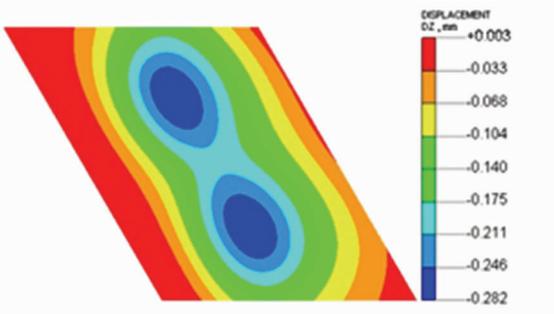


图4 桥头搭板挠度结果

Fig 4 Deflection results of the bridge approach slab

### 2.2 应力分析

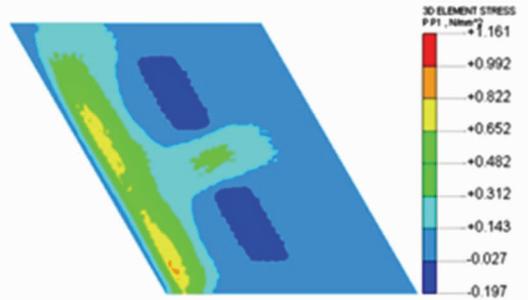
通过计算,得到桥头搭板的应力结果如图5所示,其中桥头搭板的上缘第一主应力分布如图5a,下缘第一主应力分布如图5b,钢筋应力分布如图5c。

由图5a可以看出,桥头搭板上缘的第一主拉应力最大值约0.95 MPa,出现在固定端的钝角侧附近;第一主压应力最大值约0.14 MPa,出现在施加汽车集中荷载的位置。由图5b可以看出,桥头搭板下缘的第一主拉应力最大值约1.16 MPa,出现在施加汽车集中荷载的位置;第一主压应力最大值约0.19 MPa,出现在固定端的钝角侧附近。综合来看,桥头搭板的第一主拉应力尚在C30混凝土的抗拉强度设计值以内,其第一主压应力较小。由图5c可以看出,钢筋的拉应力最大值为7.14 MPa,压应力最大值为7.01 MPa,远低于钢筋的抗拉强度设计值。

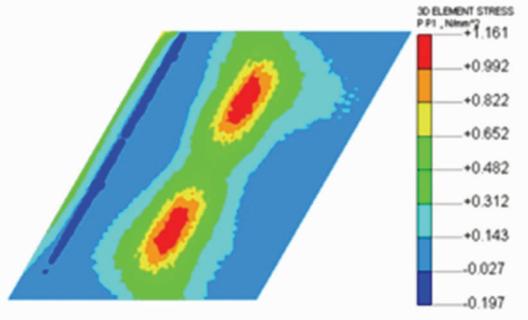
## 3 结构受力影响因素分析

### 3.1 板底脱空长度影响分析

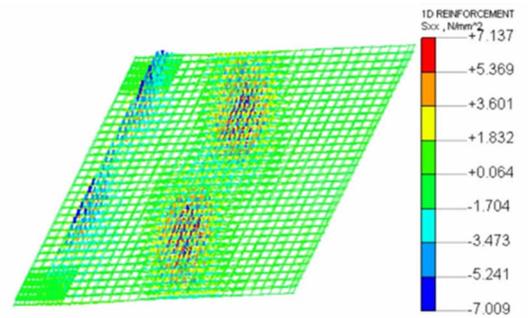
为了研究桥头搭板的板底脱空长度对其受力的影响,删除桥头搭板底部的部分只受压弹簧,将靠近固定端1 m、3 m、5 m范围内的只受压弹簧删



a 上缘应力



b 下缘应力



c 钢筋应力

图5 桥头搭板应力结果

Fig 5 Stress results of the bridge approach slab

除以模拟板底脱空长度为1 m、3 m、5 m时的结构支承状态。为了模拟不同板底脱空长度下较为不利的受力状态,将汽车荷载的集中力设置在脱空段的跨中1 m长度范围内。

通过计算,得到板底脱空长度为1 m、3 m、5 m时桥头搭板的挠度、应力和裂缝宽度最大值如图6所示,桥头搭板的板底脱空宽度为5 m时的应力分布和裂缝分布如图7所示。

由图6a可以看出,随着板底脱空长度的增大,桥头搭板的挠度将逐渐增加,当板底脱空长度超过3 m时尤为明显。板底脱空长度为1 m时的挠度最大值为0.10 mm;板底脱空长度为3 m时的挠度最大值为0.48 mm,为板底脱空长度为1 m时的4.80倍;板底脱空长度为5 m时的挠度最大

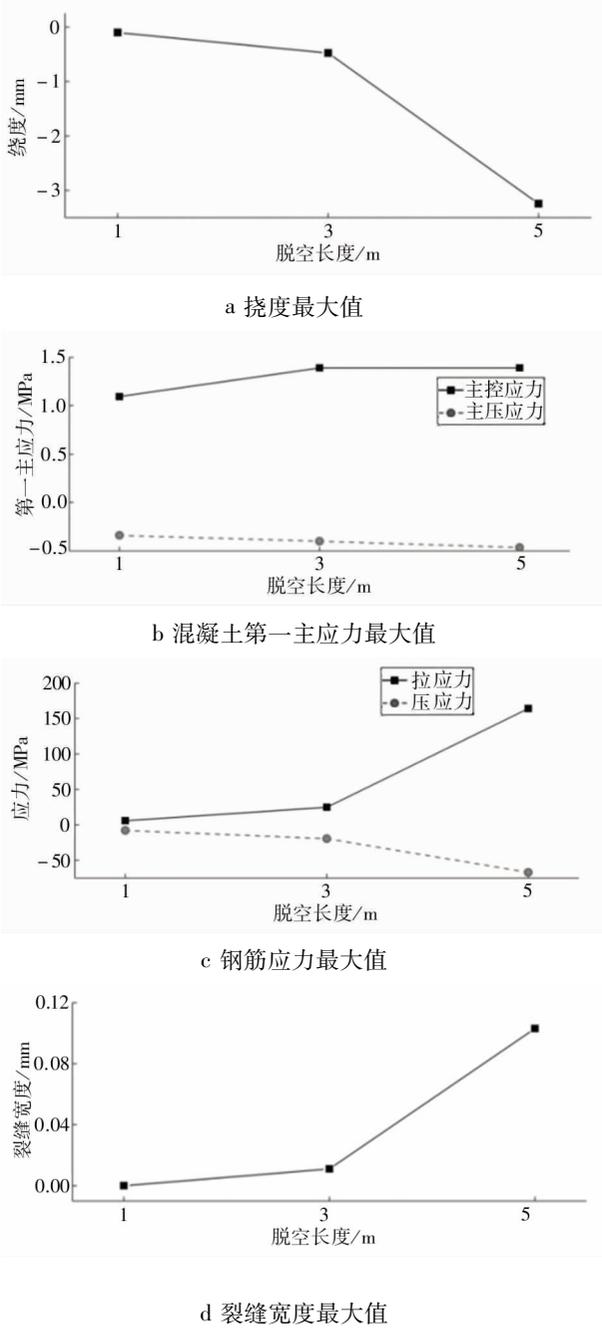


图 6 板底脱空长度对桥头搭板的影响  
**Fig 6 The influence of the slab bottom void length on the bridge approach slab**

值为 3.25 mm,为板底脱空长度为 1 m 时的 32.50 倍。由图 6b 可以看出,随着脱空长度的增大,桥头搭板的混凝土第一主应力将逐渐增加。当板底脱空长度达到 3 m 时,桥头搭板的第一主拉应力达到 C30 混凝土的抗拉强度设计值。由图 6c 可以看出,随着板底脱空长度的增大,桥头搭板的钢筋应力将逐渐增加,当板底脱空长度超过 3 m 时尤为明显。板底脱空长度为 1 m 时的钢筋拉应力

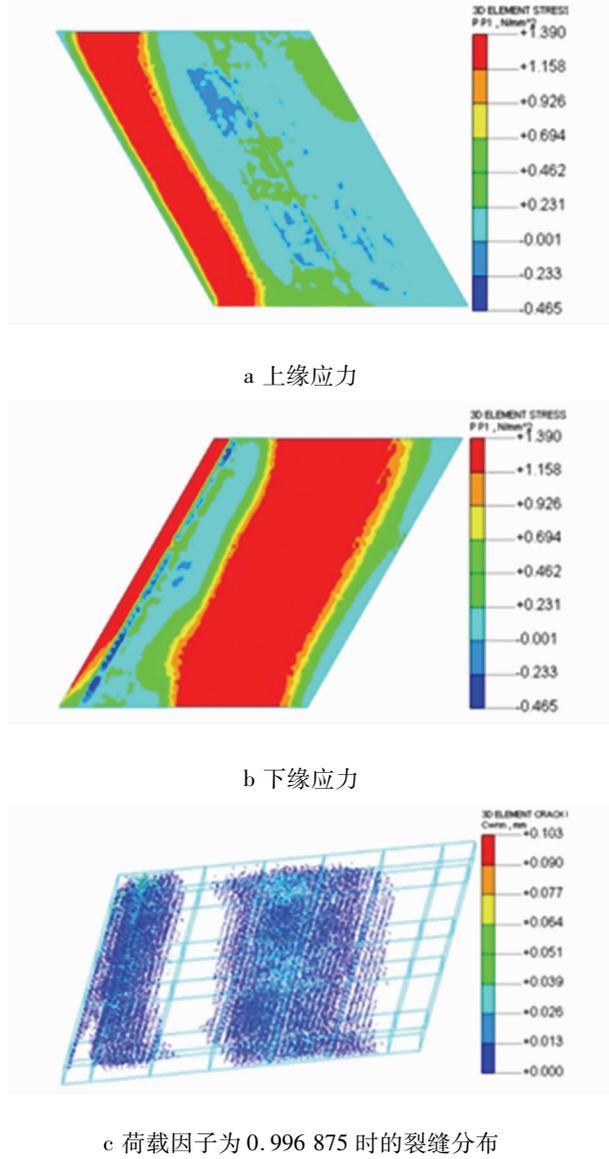


图 7 板底脱空长度为 5 m 时的桥头搭板受力  
**Fig 7 The force of the bridge approach slab when the slab bottom void length is 5 meters**

最大值为 5.86 MPa;板底脱空长度为 3 m 时的钢筋拉应力最大值为 24.76 MPa,为板底脱空长度为 1 m 时的 4.23 倍;板底脱空长度为 5 m 时的钢筋拉应力最大值为 164.10 MPa,为板底脱空长度为 1 m 时的 28.00 倍。由图 6d 可以看出,板底脱空长度为 1 m 时,桥头搭板的第一主拉应力尚未超过 C30 混凝土的抗拉强度设计值,其裂缝宽度为 0,当板底脱空长度达到 3 m 时出现 0.01 mm 的裂缝,当板底脱空长度达到 5 m 时出现 0.10 mm 的裂缝,其裂缝宽度均在钢筋混凝土构件在一般环境下的限值 0.2 mm 以内。

由图 7a 和 7b 可以看出,当板底脱空长度为

5 m 时,桥头搭板上缘的第一主拉应力主要分布在桥头搭板支承刚度发生突变的位置,下缘的第一主拉应力主要分布在集中荷载施加的板底脱空段中部和桥头搭板固定端端部。由图 7c 可以看出,当荷载因子为 0.996 875 时程序停止运算,即桥头搭板的板底脱空长度为 5 m 时结构将发生破坏,其裂缝主要分布在集中荷载施加的板底脱空段和桥头搭板固定端端部。

### 3.2 地基反应模量影响分析

为了研究桥头搭板的地基承载能力对桥头搭板受力的影响,将地基反应模量由 150  $\text{MN}/\text{m}^3$  调整为 50  $\text{MN}/\text{m}^3$ 、100  $\text{MN}/\text{m}^3$ 、200  $\text{MN}/\text{m}^3$ 、250  $\text{MN}/\text{m}^3$ 。通过计算,得到桥头搭板的挠度、应力和裂缝宽度最大值的变化情况如图 8 所示。

由图 8a 可以看出,随着地基反应模量的增大,桥头搭板的挠度最大值逐渐下降。当地基反应模量为 50  $\text{MN}/\text{m}^3$  时,桥头搭板的挠度最大值为 0.58 mm;当地基反应模量为 250  $\text{MN}/\text{m}^3$  时,桥头搭板的挠度最大值为 0.20 mm,下降为地基反应模量为 50  $\text{MN}/\text{m}^3$  时挠度最大值的 34.48%。

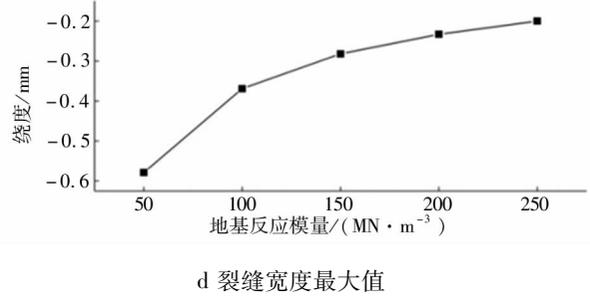
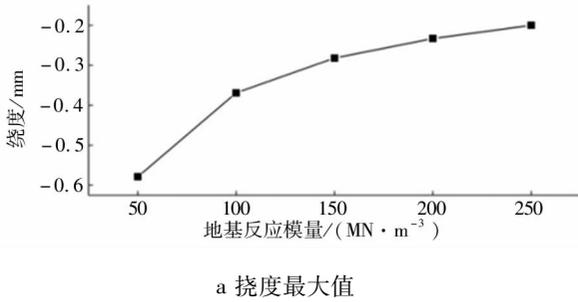


图 8 地基反应模量对桥头搭板的影响

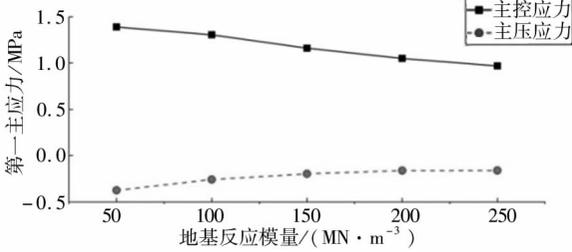
Fig 8 The influence of foundation reaction modulus on bridge approach slab

由图 8b 可以看出,随着地基反应模量的增大,桥头搭板的第一主应力最大值逐渐下降。当地基反应模量由 50  $\text{MN}/\text{m}^3$  上升到 250  $\text{MN}/\text{m}^3$  时,第一主拉应力最大值由 1.39 MPa 下降到 0.97 MPa,降低幅度为 30.22%;第一主压应力最大值由 0.38 MPa 下降到 0.16 MPa,降低幅度为 57.89%。当地基反应模量大于等于 100  $\text{MN}/\text{m}^3$  时,其第一主拉应力将控制在 C30 混凝土抗拉强度设计值以内。

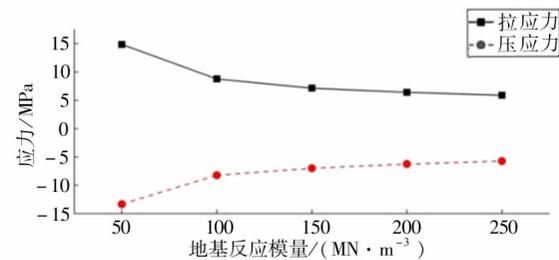
由图 8c 可以看出,随着地基反应模量的增大,钢筋的应力最大值同样逐渐下降。当地基反应模量由 50  $\text{MN}/\text{m}^3$  上升到 250  $\text{MN}/\text{m}^3$  时,钢筋的拉应力最大值由 14.86 MPa 下降到 5.89 MPa,降低幅度为 60.36%,钢筋的压应力最大值由 13.35 MPa 下降到 5.75 MPa,降低幅度为 56.93%。由图 8d 可以看出,当地基反应模量大于等于 100  $\text{MN}/\text{m}^3$  时,桥头搭板不会出现裂缝。



a 挠度最大值



b 混凝土第一主应力最大值



c 钢筋应力最大值

## 4 结论

通过对某桥头搭板的受力分析和影响因素分析,可以得到以下几点结论:

(1) 桥头搭板的固定端附近通常容易出现较大的主拉应力,从而导致桥头搭板开裂。

(2) 随着桥头搭板板底脱空长度的增加,桥头搭板的挠度、应力、裂缝宽度将逐渐增加,当板底脱空长度超过桥头搭板长度的一半时,桥头搭板的受力将发生显著的劣化。

(3) 随着地基反应模量的增加,桥头搭板的挠度、应力、裂缝宽度将逐渐下降,当地基反应模量大于 100  $\text{MN}/\text{m}^3$  时,桥头搭板的主拉应力最大值可以控制在 C30 混凝土的抗拉强度设计值以内,不会出现混凝土裂缝。

(4)台背回填时应当严格控制填料质量,保证填料表面具有较高的地基反应模量;桥头搭板的板底脱空后,建议采取压浆、换填、强夯等方式及时加固。

### 参考文献:

- [1] 刘润星,王海亮. 桥头搭板设计方法与技术参数研究[J]. 内蒙古公路与运输,2009(2):15-17.
- [2] YAO H, LI L, XIE H, et. al. Mechanics analysis of vehicle bumping at approach slabs with superelevation[J]. Journal of Southeast University(English Edition), 2012, 28(2):221-228.
- [3] 纪国亮. 公路桥头搭板脱空病害及现行处治方法[J]. 交通世界(运输·车辆), 2013(4):152-153.
- [4] 成彦勇. 垂直注浆法处理桥头搭板脱空的措施[J]. 交通世界, 2018(7):88-89.
- [5] 刘涛. 高速公路桥头搭板沉陷的原因分析及防治策略[J]. 中华建设, 2018(7):122-123.
- [6] 阎妍. 论桥头搭板长度、厚度、配筋设计[J]. 北方交通, 2016(12):51-53, 58.
- [7] 王智德. 搭板设计参数优化解决桥头跳车的研究及应用[D]. 武汉:武汉理工大学, 2011.
- [8] 沈宇鹏, 张尧禹, 柴树山, 等. 公路路桥过渡段搭板设计参数优化[J]. 北京交通大学学报, 2017, 41(3):55-60, 68.
- [9] 王涛, 宋金华, 张静. 深埋式混凝土桥头搭板结构计算分析[J]. 路基工程, 2015(3):63-67.
- [10] 刘润星, 崔俊平. 高等级公路桥头搭板配筋设计研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2012, 36(5):1021-1024.
- [11] 乔华. 桥头搭板设计方法及技术参数的研究[D]. 西安:长安大学, 2011.

## Study on Force Analysis and Influence Factors of Approach Slab at Bridge Head

TANG Yang<sup>1</sup>, TANG Bin<sup>2</sup>, WANG Guowei<sup>3</sup>, REN Rong<sup>4</sup>, HE Hongbin<sup>5</sup>

1. Countryside Highway Administration Bureau of Wufeng Tujia Autonomous County, Yichang Hubei 443413, China;
2. Hubei Yixiafeng Construction Engineering Co., Ltd., Yichang Hubei 443000, China;
3. Jinan Jinqu Road Survey Design Research Co., Ltd., Jinan Shandong 250101, China;
4. Transportation Bureau Highway Cost Quality Supervision Station of Wufeng Tujia Autonomous County, Yichang Hubei 443413, China;
5. Hubei Huazhong Highway Engineering Supervision Consulting Co., Ltd., Yichang Hubei 443100, China

**Abstract:** Based on the engineering background of a bridge approach slab in Wufeng Tujia Autonomous County, Hubei Province, the nonlinear solid finite element model is established by Midas FEA, and the structural stress of the approach slab is calculated and analyzed. At the same time, the influence of slab bottom void length and foundation bearing capacity on the stress condition of approach slab is analyzed. The results show that the deflection, stress and crack width of approach slab increase with the increase of slab bottom void length and the decrease of foundation response modulus. When the length of slab bottom of bridge head slab is more than half, the stress condition of bridge head slab will be seriously deteriorated. When the foundation response modulus is less than  $100 \text{ MN/m}^3$ , cracks will appear in the approach slab.

**Keywords:** highway engineering; approach slab at bridge head; slab bottom void length; foundation response modulus

(责任编辑:张英健)