

文章编号: 1005-0523(2021)05-0030-10



南昌二元地层便道荷载对邻近桥梁桩基的影响

丁志文¹, 马斌¹, 张艺瀚¹, 车东霖², 王加俊²

(1. 中铁二局集团有限公司, 四川 成都 610032; 2. 华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 研究南昌地区典型二元地质条件下施工便道车辆荷载作用引起的邻近土体位移和桥梁桩基变形及内力分布特性, 评估邻近施工便道荷载对既有桥梁桩基安全的影响。采用 Plaxis 3D 有限元模型对比分析摩尔-库伦(M-C)和小应变刚度(HSS)两种土体本构模型计算结果的差异, 在此基础上采用 HSS 模型进一步分析施工便道荷载作用下, 邻近营业线既有桩基的附加变形及内力分布, 对其安全性能进行评估验算。研究表明: 采用 M-C 模型计算得到的土体位移分布范围过大, HSS 模型计算结果更接近实际情况; 在施工便道车辆荷载作用下, 以 6 mm 为土体沉降变形允许值, 其影响范围在便道中心线左右各 3.2 m, 邻近既有桥梁桩基的变形及内力均在安全范围之内, 其安全性满足规范要求。

关键词: 桥梁桩基; 施工便道; 数值模拟; 邻近荷载; 影响范围

中图分类号: TU431 **文献标志码:** A

本文引用格式: 丁志文, 马斌, 张艺瀚, 等. 南昌二元地层便道荷载对邻近桥梁桩基的影响[J]. 华东交通大学学报, 2021, 38(5): 30-39.

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.20211026.012

Influence of Adjacent Construction Access Load on the Existing Bridge Pile Foundation in Nanchang Binary Strata

Ding Zhiwen¹, Ma Bin¹, Zhang Yihan¹, Che Donglin², Wang Jiajun²

(1. China Railway NO.2 Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610032, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, East China of Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In order to investigate the soil displacement and pile foundation deformation and internal force distribution characteristics under adjacent construction access load in Nanchang binary strata, as well as evaluate the influence of adjacent construction access load on the safety of existing bridge pile foundations, a series of numerical simulations are conducted via Plaxis 3D. The difference of calculation results between two soil constitutive models of Mohr-Coulomb(M-C) and small strain stiffness(HSS) is compared. Besides, the HSS model is used to analyze the additional deformation and internal force of the existing pile foundation adjacent to the working line under the construction access load, and its safety performance are evaluated. The results show that the influence area of the soil displacement calculated by the M-C model is too large, and the calculation result by the HSS model is much closer to the practical situation. Considering 6 mm as the allowable value of soil settlement, the influence width is 3.2 m beyond the centerline of the construction access. The deformation and internal force of the adjacent existing bridge pile foundation are within the safety range, meeting the safety requirements specified by the codes or standards.

收稿日期: 2021-04-28

基金项目: 江西省主要学科学术和技术带头人资助计划(20194BCJ22009)

Key words: bridge pile foundation; construction access; numerical simulation; adjacent load; influence area

Citation format: DING Z W, MA B, ZHANG Y H, et al. Influence of adjacent construction access load on the existing bridge pile foundation in Nanchang binary strata[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2021, 38(5): 30-39.

随着各种大型施工机械车辆及设备的投入使用,施工便道车辆荷载对邻近桥梁桩基变形影响越来越不可忽视^[1]。尤其是邻近高铁线路的施工便道,其允许差异变形较小,为保证高铁线路的安全运营,更需对施工便道车辆荷载引起的邻近桥梁桩基变形及附加内力分布特性进行评估分析,以确定其是否满足工程安全要求^[2-3]。

针对该类问题,目前国内外学者基于试验研究^[4-5]、理论计算^[6]和数值模拟^[6-10]等方法分析了邻近堆载引起的既有桩基内力、变形特性。李雪峰等^[4]通过现场试验研究,得出了路基堆载下软土地区的桩基侧向位移以及桥梁墩台的位移分布模式。刘晨彬^[6]利用数值模拟及极限平衡法对比分析了桥墩桩基在复杂荷载下的桩基内力变化规律及桩体位移分布。Ellise等^[7]通过有限元软件建立了桥台填土与桩基础相互作用的数值模型,分析了不同工况下桥台填土对桩基工作性状的影响。杨忠良^[8]采用数值分析法研究了循环荷载作用下桩-土之间的作用关系,得到了循环荷载下土体蠕变的特性规律及不同参数对土体应力应变的影响程度。聂如松等^[10]利用ADINA有限元程序对荷载作用下排桩的受力性状进行了研究,并且根据现场实测的监测数据,对桥台群桩的受力性状进行了分析,得到了桩周土体压力的分布规律。

需要指出的是,目前有关邻近荷载对既有桥梁桩基影响的研究主要是针对软土地基,其相关研究结论并不适用于其他地质条件,有可能会高估土体变形大小及影响范围,从而导致不必要的额外施工费用。在已有的对于邻近桩基施工的数值模拟中,土体的本构模型往往多采用M-C模型,没有考虑土体的小应变刚度特性,得到的结果往往偏大,尤其是对于离堆载区较远的区域,从而会进一步高估邻近土体变形大小及影响范围^[11]。

鉴于此,依托新建昌景黄铁路近距离并行沪昆

高铁项目,结合南昌地区典型二元地质条件,采用Plaxis 3D有限元数值模拟软件,对岩石上部土体分别建立M-C模型和HSS模型,对比研究了施工便道车辆荷载对邻近地层的影响特性,分析了模型的适用性。在此基础上,进一步采用HSS模型分析既有桥梁桩基的变形及内力分布规律,并通过绘制N-M包络线对桩身内力进行了验算,可为以后南昌地区相关工程的施工提供指导。

1 工程概况

1.1 场地介绍

以新建南昌经景德镇至黄山铁路站前工程局部并行既有沪昆高铁段项目为背景,根据施工组织安排,需在既有沪昆高铁近接区域设置一条施工便道以满足施工作业要求。新建施工便道以原有便道为基础,其距离既有桥墩边缘最小距离为3.7 m。当既有便道宽度不足5 m时,采取在便道外侧单侧加宽1.5 m,加宽部分采用厚0.5 m建渣填筑。加宽后的施工便道路面宽度5 m,便道面层采用20 cm厚建渣进行填筑。新建昌景黄铁路与邻近既有线路位置关系包括并行和上跨,上跨邻近京九铁路和昌赣铁路,并行邻近杭长客专和向莆铁路,其示意图如图1所示。施工便道与邻近既有线路位置示意图如图2所示。

由于施工便道车辆荷载会对邻近桩基产生不利的侧向挤压及差异沉降,为保证邻近高铁线路的安全运营,须对施工便道车辆引起的邻近桥梁桩基变形及附加内力分布特性进行分析,以确定其是否满足工程安全要求。

1.2 工程地质条件

南昌地质属河谷冲积平原,在垂直剖面上,地层由上部细砂或黏土组成的河漫滩沉积物和下部粗砂及砾石组成的河床沉积物所构成,上细下粗的地层沉积结构即为典型的二元地质结构,如图3所示。



(a) Parallel with Hangchang and Xiangpu railway



(b) Cross Jingjiu and Changgan railway

图1 新建线与邻近线位置关系

Fig.1 Positional relationship between new line and adjacent line

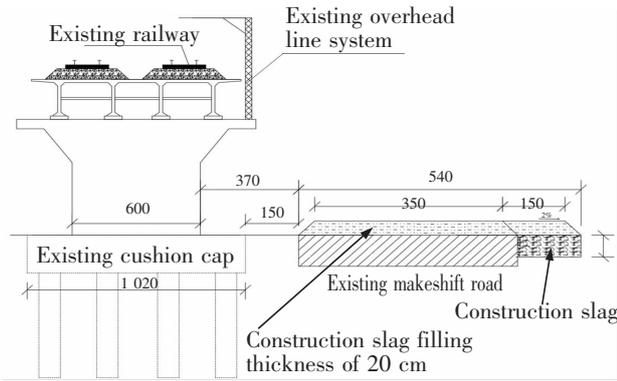


图2 施工便道与邻近既有桥梁桩基位置示意图(单位:mm)

Fig.2 Location diagram of the construction access and adjacent existing bridge pile foundation (Unit:mm)

本段途经江西省南昌市南昌县地区,沿线为鄱阳湖平原及阶地地区,阶地地势较为平坦开阔,坡度起伏较小,相对高度差5~8 m。地下水主要为第四系孔隙潜水、基岩裂隙水。地下水主要来自地表水和大气降雨补给,以蒸发排泄为主,动态变化较大,埋深0~14 m,随季节变化,变幅约1~3 m。

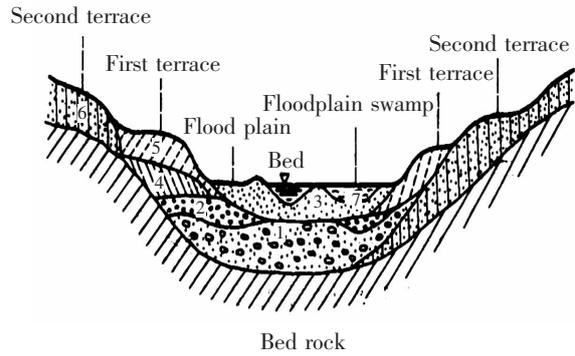


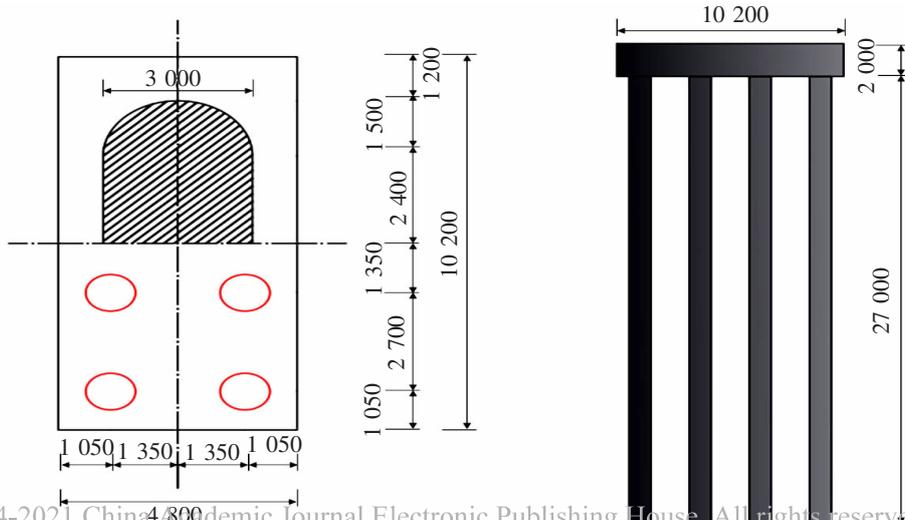
图3 典型二元地质结构示意图

Fig.3 Schematic diagram of typical binary strata

2 三维有限元数值模型

2.1 三维模型

取典型断面进行数值分析,施工便道及其邻近既有高铁桥墩的承台桩基几何参数如图4所示。采用三维有限元软件Plaxis 3D分析施工便道对既有邻近桥梁桩基的影响特性。邻近既有桩基承台尺寸



(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图4 邻近承台桩基分布及几何参数示意图(单位:mm)

Fig.4 Schematic diagram of the distribution and geometric parameters of adjacent pile foundations (Unit:mm)

为 10.2 m×4.8 m×2 m(长×宽×高),其下布置 8 根直径为 1 m 的混凝土灌注桩,桩长 27 m,地下水位在地面以下 2.0 m。

为保证模型边界条件对计算结果不产生影响,三维数值模型的几何尺寸为 100 m×32 m×50 m(长×宽×高),其中宽度方向 32 m 为既有高铁线路单跨桥梁跨度。施工便道宽度为 5.4 m,距离承台边缘 1.5 m。

由于施工便道对既有高铁线路影响最为关键的部分为桥梁基础部分,在本文数值模型中不考虑桥梁墩台 1 上部结构的影响,仅分析施工便道荷载对桥梁承台、桩基变形及内力的影响特性,而将上部结构等效为外加荷载作用在桥梁承台之上。三维有限元数值分析模型如图 5 所示。

2.2 荷载条件

数值模型中荷载条件包括两部分:既有高铁桥梁上部结构及墩台作用在承台上的荷载及施工便道车辆荷载。根据黄珏鑫等^[12]学者,对于前一部分荷载,跨度为 32 m 的高铁桥梁,作用在承台的上部结构设计荷载大约为 24 000 kN,将其换算为均布荷载,其大小约为 490 kPa。施工便道作为混凝土罐车、吊车、挖机等设备的运输通道,考虑到表层建渣的荷载扩散作用,且为了安全起见,施工便道荷载按满铺均布荷载考虑,均布荷载值取 40 kPa。

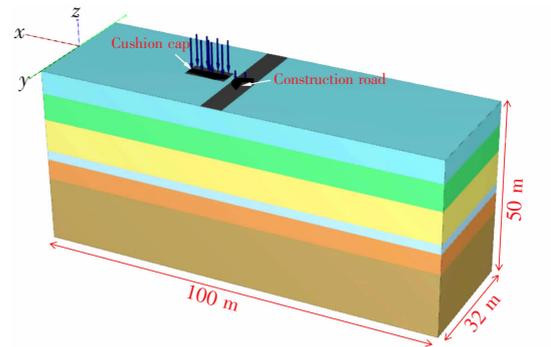


图 5 三维有限元数值分析模型
Fig.5 Three-dimensional finite element numerical analysis model

2.3 土层参数

为了分析不同土体本构模型的适用性,分别采用 M-C 模型和 HSS 模型对比研究施工便道车辆荷载对邻近地层的影响特性。在 HSS 模型中,上部黏土及砂性土采用 HSS 模型,考虑到下覆泥质砂岩受施工便道荷载影响较小,仍采用 M-C 模型进行模拟。

为合理简化计算,根据现场钻探地质资料,在分析数值模型时,将施工场地的土层简化为 6 个土层。依据地勘报告确定相关土层地质参数及混凝土材料参数,如表 1 所示,其中南昌地区黏性及砂性土的 HSS 模型参数取值方法参考王凌等^[13]学者研究。

表 1 HSS 模型各土层材料参数表

Tab.1 Material parameters of each soil layer in HSS model

Parameter	Silty clay	Fine sand	Coarse sand	Smooth round gravel soil	Argillaceous sandstone①	Argillaceous sandstone②	Concrete
Constitutive model	HSS	HSS	HSS	HSS	M-C	M-C	Linear elasticity
z/m	5.9	12.7	21	23.4	28.6	45.3	-
d/m	5.9	6.8	8.3	2.4	5.2	16.7	-
$\gamma/(kN/m^3)$	19.6	18	18	18	18	18	25
$\gamma_{sat}/(kN/m^3)$	20.6	19	19	19	19	19	25
$\varphi/(^\circ)$	23.09	33	40	35	38	40	-
$c/(kN/m^2)$	40.87	1	1	1	3	8	-
E/MPa	6.96	24	45	60	70	75	-
E_c/MPa	-	-	-	-	210	225	30 000
ν_{ur}	0.35	0.3	0.3	0.25	0.25	0.25	0.2
E_{50}/MPa	9.75	21.77	41.75	84	-	-	-
E_{oed}/MPa	6.5	21.77	41.75	56	-	-	-
E_{ur}/MPa	29.25	65.3	125.2	252	-	-	-
m	0.5	0.5	0.5	0.5	-	-	-
G_r/MPa	59.96	84.59	117.85	117.9	-	-	-
γ_c	0.000 2	0.000 2	0.000 2	0.000 2	-	-	-
P_{ref}/kPa	100	100	100	100	-	-	-
R_f	0.9	0.9	0.9	0.9	-	-	-

对于砂土,一般缺少室内固结压缩试验,侧限压缩模量 $E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$ 值可根据标贯击数 K 按下式估算^[14]

$$\left. \begin{aligned} \text{粉细砂 } E_{\text{oad}}^{\text{ref}} &= 7.36 + 0.46 K (\text{MPa}) \\ \text{中粗砂 } E_{\text{oad}}^{\text{ref}} &= 7.73 + 0.47 K (\text{MPa}) \end{aligned} \right\} (1)$$

对于 E_{50}^{ref} 的值,一般取 $E_{50}^{\text{ref}} \approx E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$, 根据尹骥等学者^[15]对上海软土地区的研究, $E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$ 与 E_{50}^{ref} 的关系如表 2 所示。

表 2 $E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$ 与 E_{50}^{ref} 的参考经验关系

Tab.2 The correlation between $E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$ and E_{50}^{ref}

Soil	Empirical relationship
Normally consolidated clay ($q_c < 5 \text{ MPa}$)	$E_{50}^{\text{ref}} \approx 2E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$
Normally consolidated clay (10 MPa $< q_c < 12 \text{ MPa}$)	$E_{50}^{\text{ref}} \approx E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$
Normally consolidated sand ($q_c < 5 \text{ MPa}$)	$E_{50}^{\text{ref}} \approx E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$

参考加卸载模量 $E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ 的经验取值为 E_{50}^{ref} 的 3 倍, 其他参数的取值方法如下:

- 1) m : 对于粘性土取值范围为 0.5~1; 对于砂土和粉土, 取 0.5;
- 2) $\gamma_{0.7}$: 根据 Plaxis 3D 2010 版参考手册建议值取 2×10^{-4} ;
- 3) G_0^{ref} : 土体初始剪切模量,

$$G_0^{\text{ref}} = \rho V_s^2 (2)$$

式中: ρ 为土体密度; V_s 为土体剪切波速。

由于原位测试的土体剪切波速试验影响因素较多, 对于土体剪切波速的测试, 采用土的共振柱试验及室内弯曲元试验进行测定。同时, 为模拟结构物与土的相互作用, 在桩侧及承台边界设置相应接触面, 接触面参数与邻近土层参数一致。

在 M-C 模型中, 对于各个土层, 均采用 M-C 模型进行模拟。其中压缩模量 E 取 HSS 模型中的参考割线模量 E_{50}^{ref} , 其余参数及条件如模型边界、荷载布置位置及大小等均不变。

2.4 模拟流程

为了合理模拟近距离施工便道对邻近既有桥梁桩基的影响特性, 有限元模型分 3 个步骤进行模

拟分析, 具体模拟流程如表 3 所示。

表 3 数值模拟流程

Tab.3 Numerical simulation process

Step	Details	Remark
1	Geostress balance	-
2	Activate bridge superstructure load	The displacement is zeroed, the contact surface is activated, and the superstructure load is applied to the cap surface
3	Apply the construction load of the access road	The displacement is set to zero and activate the load of construction access road

3 计算结果对比分析

3.1 邻近土体沉降特性

图 6 为不同土体本构模型下施工便道荷载引起的周边土体沉降分布图。从图中可以很直观地看出: 由于车辆荷载的影响, 在施工便道及邻近区域内产生了明显的沉降槽; 采用不同的土体本构模型, 其所引起的土体沉降分布特性存在较大差异。总体而言, 无论是土体沉降大小还是其影响范围, 采用 M-C 模型计算得到的结果均要大于 HSS 模型。以图 6(b) 所示, 采用 M-C 模型进行计算分析时, 在深度方向超过 20 m 后, 土体仍然产生了较为明显的沉降, 影响深度过大, 且在底部边界附近也存在一定变形, 不符合施工经验。

为了更直观地展示地表土体沉降分布特性, 分别绘制出不同土体模型下垂直于施工便道走向方向的土体沉降曲线, 如图 7 所示。根据文献[16]规定的线路轨道静态几何不平顺容许偏差管理值, 在实际施工过程中, 以短期沉降值进行控制, 对应的路基沉降观测点累计沉降不应超过 6 mm。从图 7 中可以看出, 以 6 mm 为沉降变形特征值, HSS 模型地表沉降槽总的影响宽度为 6.4 m 左右, 扣除施工便道本身的宽度, 施工便道车辆荷载引起的沉降槽分布范围为便道边缘外扩 0.7 m 左右; 而 M-C 模型地表沉降槽总的影响宽度为 12 m 左右, 扣除施工便道本身的宽度, 施工便道车辆荷载引起的沉降槽分布范围为便道边缘外扩 3.5 m 左右。采用 M-C 模型计算其邻近土体影响范围要显著大于 HSS 模型计算结果。

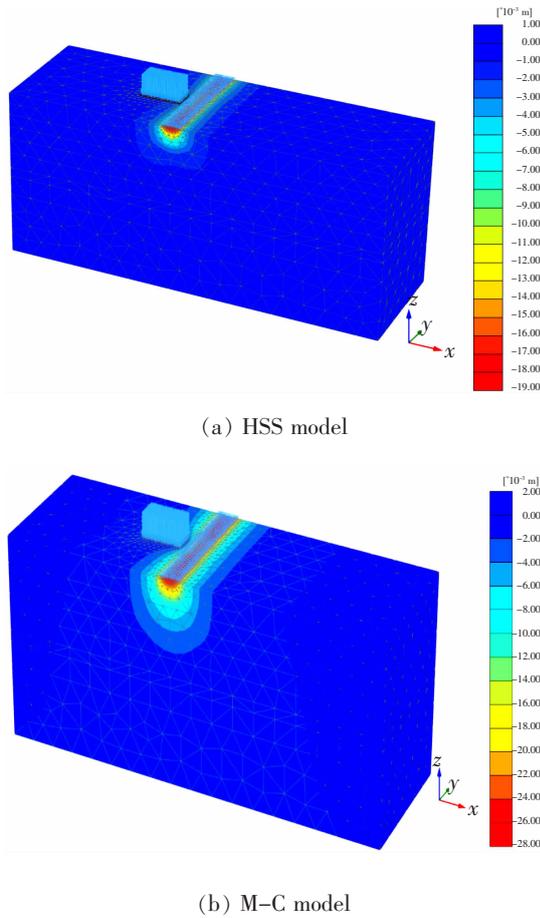


图 6 周边土体沉降分布图
Fig.6 Settlement distribution of adjacent soil

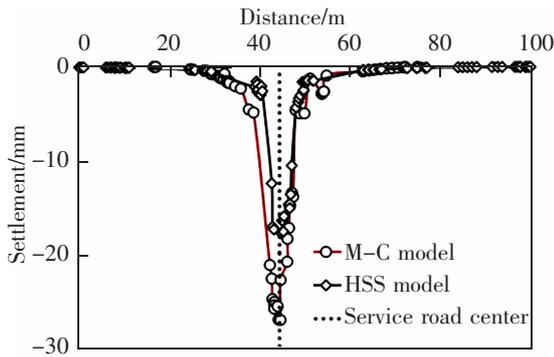


图 7 土体沉降变形曲线
Fig.7 Ground settlement curves

3.2 桩基及承台位移分布

对比分析两种本构模型(M-C,HSS)下桩基承台的位移分布特性,如图 8 所示。从图中可以看出:两种本构模型下除在最大沉降值存在一定差异外,采用 M-C 模型和 HSS 模型计算得到的桩基及承台

沉降分布特性基本一致。越靠近施工便道,沉降值越大,整体表现为往施工便道方向的倾斜。

与基础沉降分布特性不同的是,采用 M-C 模型与 HSS 模型计算得到的桩基及承台水平位移分布特性差异较大。由图 8(b)所示,采用 M-C 模型计算得到的桩身底部水平位移表现为整体向外侧扩展,而由于 P-Δ 效应引起承台朝施工便道方向的内挤,不同位置处桩身的水平位移值差异较小。相对而言,由图 8(a)所示,对于此类工况采用 HSS 模型计算得到的桩身位移分布模式更为合理。由于施工便道车辆荷载对桩周土体的挤土效应,在最外侧桩身的中上部产生较为明显的向外侧扩位移,而由于桩基的遮拦及嵌固作用,后排桩基及桩底部位的整体位移较小,离施工便道距离越大,桩身整体水平位移越小,更符合实际情况。

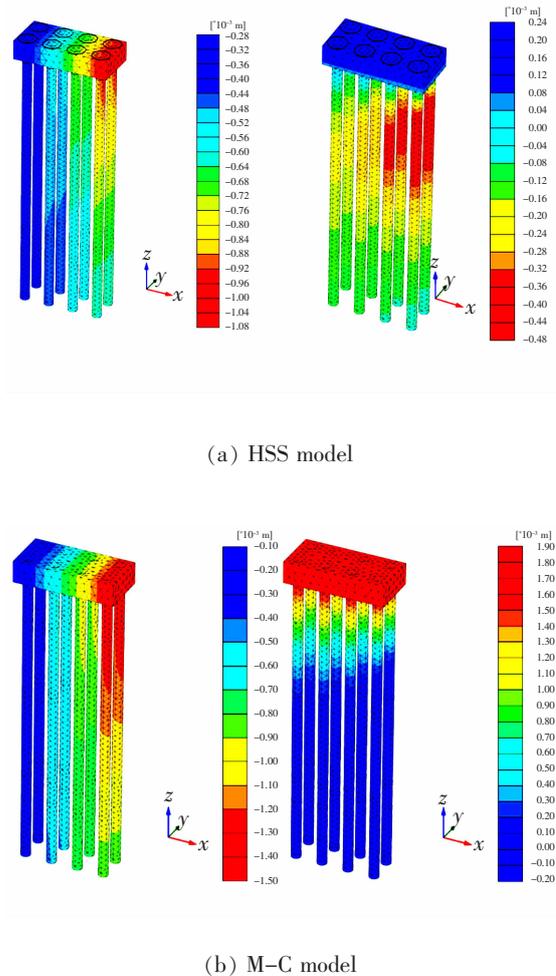


图 8 桩基承台的水平位移云图
Fig.8 Displacement contour of pile foundation

4 既有桥梁桩基安全性验算

4.1 承台沉降验算

从前述分析可知,采用 HSS 模型能更合理地反映施工便道荷载对邻近桥梁桩基的影响特性。鉴于此,将基于 HSS 模型进一步对邻近桥梁的变形及内力大小进行评估验算,以确定其是否满足工程安全

要求。

为了更直观地展示地表沉降的分布特性,图 9 给出了沉降槽的三维形态特性。由于承台桩端嵌入至泥质砂岩中,承台总体变形很小。从变形图中可以看出:施工便道引起的既有桥梁桩基变形小于规范允许的 6 mm 沉降变形控制要求,仍处于安全范围之内。

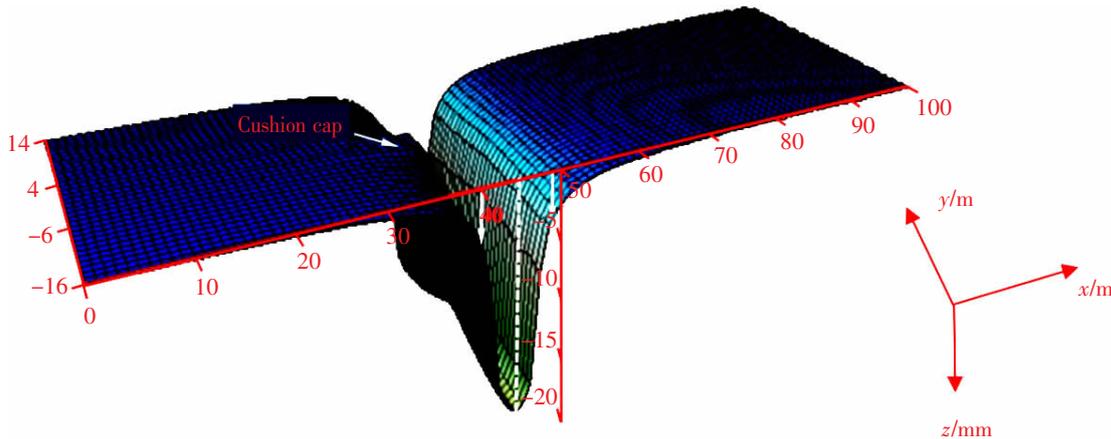


图 9 地表沉降槽三维形态特性

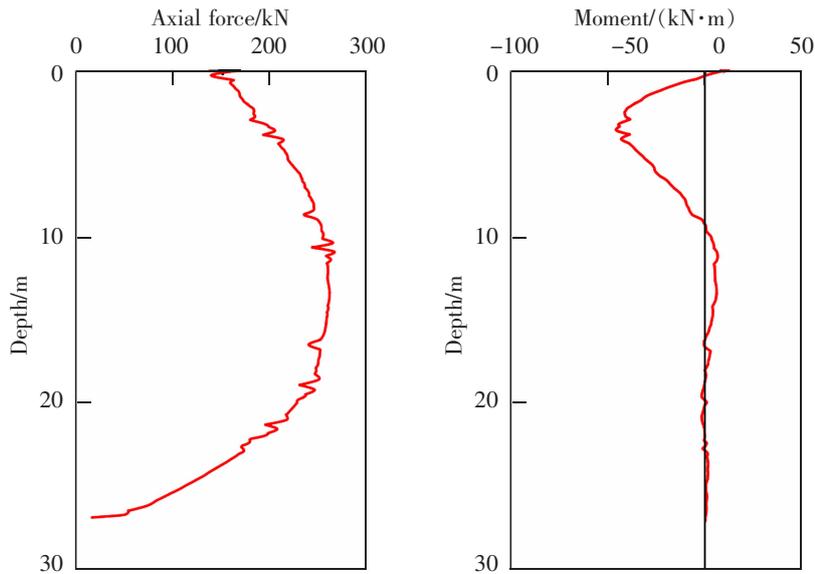
Fig.9 Three-dimensional characteristics of settling tank

4.2 桩身内力验算

除了承台变形之外,施工便道引起的桩身附加内力分布特性也是工程所重点关注的。如图 10 所示为便道施工引起的最外侧(靠近施工便道处)桩身附加内力分布特性,从图中可以看出:桩身最大附

加轴力值接近 300 kN,发生在桩身中部区域,其主要由施工便道引起的土体负摩阻力所导致;最大附加弯矩约为 50 kN·m,主要发生在地表下 2 m 左右,其主要由承台的 P-Δ 效应所致。

除了附加内力之外,图 11 给出了施工便道荷载



(a) Additional axial force

(b) Additional bending moment

图 10 桩身附加内力分布特性

Fig.10 Distribution characteristics of additional internal force along the pile

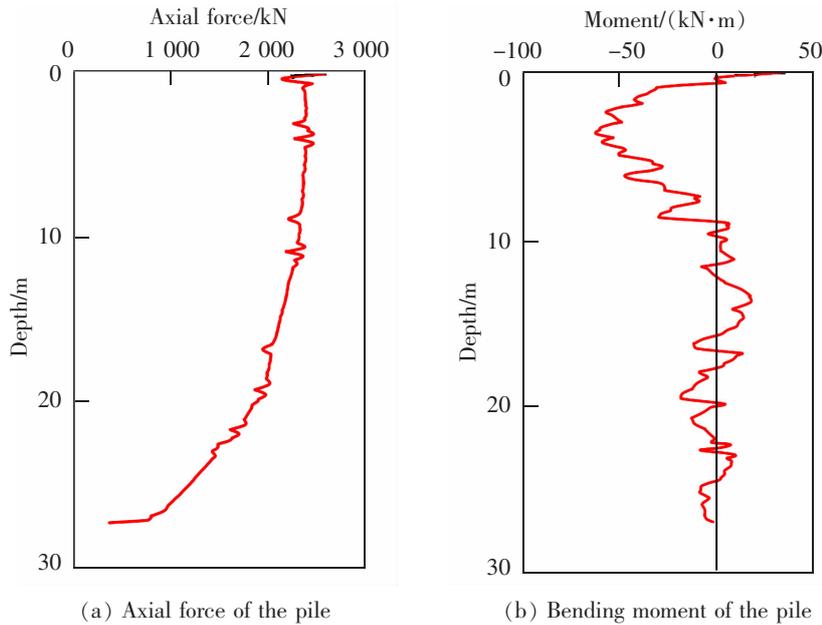


图 11 桩身内力分布特性
 Fig.11 Distribution characteristics of internal force along the pile

作用下最终桩身内力分布特性。从图中可以看出：最大桩身轴力约为 2 500 kN，主要发生在桩头位置，随着深度的增加，轴力逐渐衰减；最大附加弯矩约为 70 kN·m，主要发生在地表下 2 m 左右。

钢筋混凝土轴心受压构件其极限承载力值 N

$$N \leq 0.9 \varphi (f_c A + f_y' A_s') \quad (3)$$

桩基直径 $d=1$ m，设计混凝土强度为 C40, $f_c=19.1$ MPa，桩身配筋率为 0.3%，钢筋抗压强度设计值 $f_y'=360$ MPa。考虑到桩侧土体的约束作用，构件轴向受压稳定系数 φ 取 1.0。根据上式即可得到桩身混凝土构件轴心受压极限承载力值 $N=1.426 \times 10^7$ N。

对于圆形截面，其正截面受弯构件极限承载力值 $M_u^{[17]}$

$$M_u = M_{uc} + M_{us} = \frac{2}{3} \left(\frac{d}{2} \right)^3 \sin^3 \theta \cdot f_{ck} + \frac{2}{\pi} A_s r_s \sin \theta \cdot f_{yk} \quad (4)$$

式中： M_{uc} 为正截面混凝土极限受弯承载力； M_{us} 为正截面钢筋极限受弯承载力； f_{ck} 为施工阶段时混凝土轴心抗压强度标准值； f_{yk} 为钢筋抗拉强度标准值； d 为圆形正截面直径； A_s 为正截面全部钢筋面积； r_s 为纵向钢筋所在圆周的半径； θ 为计算特征角，其控制方程为

$$2\theta(1+2\omega) - \sin 2\theta - 2\pi(\omega + v_k) = 0 \quad (5)$$

式中： ω 为等效加筋率； v_k 为轴向压力无量纲系数。

根据上式即可得到钢筋混凝土构件正截面受弯极限承载力值 $M=7\ 751.3$ kN·m。

考虑到实际桩身受压弯共同作用，其承载力包络曲线如图 12 所示，并考虑最不利组合，将桩身最大弯矩和最大轴力施加于同一点，标于图 12 中。从图中可以看出：桩身实际受荷状态处于承载力包络线以内，桩身结构处于安全状态。

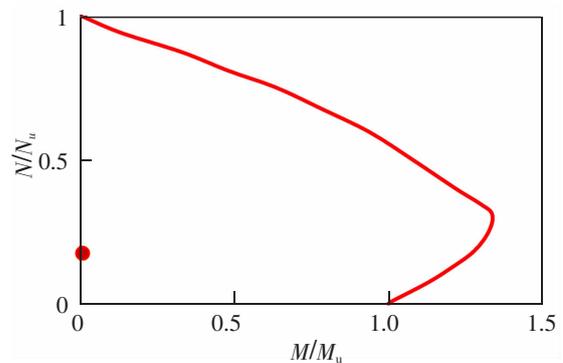


图 12 桩身承载力包络曲线
 Fig.12 Envelope curve of pile bearing capacity

5 结论

结合实际工程项目，采用数值模拟方法研究了南昌地区典型二元地层条件下施工便道荷载作用对邻近既有高铁桥梁桩基的影响特性，分析了不同土体本构模型的适用性，并对既有桥梁桩基的安全性进行了评估验算。基于研究结果可得到以下几点结论：

1) 对于南昌地区典型二元地层,采用HSS模型得到的土体及桩基变形特性更为合理,M-C模型得到的土体变形更大,且影响范围过大,不符合实际情况;

2) 以6 mm作邻近土体沉降允许值,施工便道荷载引起的沉降槽分布范围为便道边缘外扩3.5 m左右;

3) 本文模拟工况为施工便道边缘距离邻近线承台边缘1.5 m时,便道荷载对既有线桥梁桩基的影响情况。根据实际情况,绝大多数邻近线施工时,施工便道边缘距离既有线承台边缘不会小于1.5 m,所以本文为南昌地区邻近线施工时便道荷载的影响特性提供了参考。

参考文献:

- [1] 梁浩毅,项瑞聪,狄宏规,等. 基坑开挖引起邻近桩板路基的变形及分区[J]. 华东交通大学学报,2020,37(6):18-27.
LIANG H Y, XIANG R C, DI H G, et al. Excavation of foundation pit causes deformation and partition of adjacent pile-slab subgrade[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2020, 37(6): 18-27.
- [2] 梁发云,于峰,李镜培,等. 土体水平位移对邻近既有桩基承载性状影响分析[J]. 岩土力学,2010(2):449-454.
LIANG F Y, YU F, LI J P, et al. Effect of horizontal displacement of soil on bearing behavior of adjacent piles[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010(2): 449-454.
- [3] 项瑞聪,杨龙才,王炳龙. 路基填筑引起水泥搅拌桩复合地基变形监测分析[J]. 华东交通大学学报,2020,37(2):38-45.
XIANG R C, YANG L C, WANG B L. Monitoring and analysis of deformation of cement mixing pile composite foundation caused by subgrade filling[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2020, 37(2): 38-45.
- [4] 李雪峰,张军辉,郑健龙. 路基堆载下软土侧移对桥台桩基影响研究综述[J]. 路基工程,2011(1):12-15.
LI X F, ZHANG J H, ZHENG J L. Review on the influence of soft soil lateral movement on abutment pile foundation under subgrade load[J]. Subgrade Engineering, 2011(1): 12-15.
- [5] 丁任盛. 临近堆载对深厚软土桩基影响的现场试验研究[J]. 铁道科学与工程学报,2015,12(2):291-296.
DING (R) S. Field test study on influence of adjacent pile load on deep soft soil pile foundation[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2015, 12(2): 291-296.
- [6] 刘晨彬. 填土和车载对桥墩桩稳定性的影响研究[J]. 铁道勘察,2011,37(5):76-79.
LIU C B. Study on the influence of soil filling and vehicle loading on the stability of bridge pier pile[J]. Railway Investigation and Surveying, 2011, 37(5): 76-79.
- [7] ELLISE A, SPRINGMAN S M. Modelling of soil structure interaction for piled bridge abutment in plane strain FEM analyses[J]. Computers and Geotechnics, 2001, 28(2): 79-98.
- [8] 杨忠良. 交通荷载对道路两侧建筑物桩土体系受力性状的影响研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
YANG Z L. Study on the influence of traffic load on the mechanical behavior of pile-soil system of buildings on both sides of road[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [9] 陈福全,杨敏. 地面堆载作用下邻近桩基性状的数值分析[J]. 岩土工程学报,2005,27(11):1286-1290.
CHEN F Q, YANG M. Numerical analysis of adjacent pile behavior under ground loading[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(11): 1286-1290.
- [10] 聂如松,冷伍明,魏丽敏,等. 堆载对既有桥墩桩基础影响距离分析[J]. 水文地质工程地质,2017,44(1):64-70.
NIE R S, LENG W M, WEI L M, et al. Influence distance analysis of pile foundation of existing bridge pier under pile load[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2017, 44(1): 64-70.
- [11] 徐中华,王卫东. 敏感环境下基坑数值分析中土体本构模型的选择[J]. 岩土力学,2010,31(1):258-264.
XU Z H, WANG W D. Selection of soil constitutive model in numerical analysis of foundation pit under sensitive environment[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(1): 258-264.
- [12] 黄珏鑫. 邻近堆载对深厚软土地区高速铁路桥梁桩基内力与变位影响分析[D]. 长沙:中南大学,2014.
HUANG J X. Analysis of influence of adjacent pile load on internal force and displacement of high-speed railway bridge foundation in deep soft soil area[D]. Changsha: Central South University, 2014.
- [13] 王凌,张声宇,张跃明,等. 南昌河流阶地内地铁车站基坑变形研究[J]. 华东交通大学学报,2021,38(3):31-40.
WANG L, ZHANG S Y, ZHANG Y M, et al. Study on foundation pit deformation of subway station in Nanchang river terrace[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2021, 38(3): 31-40.
- [14] 黄涛. 一种用标贯击数直接确定粉土、砂土压缩模量的方法[J]. 勘察科学技术,1997(5):11-14.

- HUANG T. The invention relates to a method for directly determining the compression modulus of silty and sandy soil by using the standard penetration strike number[J]. Site Investigation Science and Technology, 1997(5):11-14.
- [15] 尹骥. 小应变硬化土模型在上海地区深基坑工程中的应用[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(S1):166-172.
- YIN J. Application of small strain hardening soil model in deep foundation pit engineering in Shanghai[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(S1):166-172.
- [16] 中国铁路总公司. 普速铁路线路修理规则: TG/GW102-2019[M]. 北京: 中国铁道出版社有限公司, 2019.
- China Railway Corporation. Rules for Repair of Universal Speed Railway Line: TG/GW102-2019[M]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd, 2019.
- [17] COSENZA E, GALASSO C, MADDALONI G. A simplified

method for flexural capacity assessment of circular RC cross sections[J]. Engineering Structures, 2011, 33(3): 942-946.



第一作者: 丁志文(1987—), 男, 高级工程师, 中铁二局第六工程有限公司昌景黄铁路 CJHZQJX-7 标项目指挥部常务副经理。研究方向为铁路、公路工程建设技术管理。2010年本科毕业于兰州交通大学。E-mail: 1298049063@qq.com。

(责任编辑: 吴海燕 刘棉玲)