

文章编号: 1007-2993(2024)06-0704-08

# 基于 HSS 模型的新建墩台对邻近桥墩基础的影响研究

王采扣<sup>1</sup> 黄涛<sup>1</sup> 常伟<sup>1</sup> 王海元<sup>1</sup> 濮仕坤<sup>2</sup> 翟永勇<sup>3</sup>

(1. 江苏省地质局第一地质大队, 江苏南京 210098; 2. 陆军工程大学国防工程学院, 江苏南京 210098; 3. 南京勘察工程  
有限公司, 江苏南京 210098)

**【摘要】** 为了研究新建墩台施工对邻近高铁桥墩基础的影响, 首先基于小应变土体硬化模型(hardening soil model with small-strain stiffness, 简称 HSS 模型), 利用 PLAXIS 3D 有限元软件建立新建墩台施工全过程计算模型, 然后分析邻近既有线高铁桥墩基础土体位移特性, 并与现场监测数据对比验证有限元计算模型的可靠性, 最后计算分析墩台和桩体的位移情况。结果表明: 基坑开挖过程模拟采用 HSS 模型, 有助于有限元计算中获得较可靠的位移结果; 既有高铁桥墩基础土体方面, 水平向基坑方向最大水平位移 1.53 mm, 最大沉降 5.49 mm。既有墩身和承台最大沉降量小于 6 mm, 墩承台总沉降和相邻墩承台差异沉降均小于规范限值。既有桩基础群桩外围顶部向四周产生位移, 而中间桩顶部沉降较小, 呈“开花式”位移状态。在新建墩台施工过程中, 钻孔灌注桩的施工、钢板桩的插拔和基坑回填对既有高铁桥墩基础水平位移和沉降影响较大。

**【关键词】** 墩台施工; 邻近既有高铁线; 有限元; 桥墩基础; 位移分析

**【中图分类号】** U445

**【文献标识码】** A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2024.06.010

## Influence of New Pier Construction on Adjacent Existing High Speed Railway Pier Foundation

Wang Caikou<sup>1</sup> Huang Tao<sup>1</sup> Chang Wei<sup>1</sup> Wang Haiyuan<sup>1</sup> Pu Shikun<sup>2</sup> Zhai Yongyong<sup>3</sup>

(1. The First Geological Brigade of Jiangsu Geological Bureau, Nanjing 210098, Jiangsu, China; 2. School of Defense Engineering, Army University of Engineering, Nanjing 210098, Jiangsu, China; 3. Nanjing Survey Engineering Co., Ltd., Nanjing 210098, Jiangsu, China)

**【Abstract】** To study the influence of new pier construction on adjacent high-speed rail pier foundation, the whole construction process calculation model of the new pier was established based on the hardening soil model with small-strain stiffness (HSS model) and PLAXIS 3D finite element software, and then the soil displacement characteristics of adjacent existing high-speed rail pier foundation were analyzed. The reliability of the finite element model was verified by compared with the field monitoring data. The displacement of the pier and pile was calculated and analyzed. The results show that the HSS model is helpful to obtain more reliable displacement results in finite element calculation. In terms of soil mass, the maximum horizontal displacement and settlement are 1.53 mm and 5.49 mm in the horizontal direction of the foundation pit. The maximum settlement of the existing pier and cap is less than 6 mm, and the total settlement of the pier cap and the differential settlement of the adjacent pier cap is less than the standard limit. The outer top of the pile group of the existing pile foundation has a displacement to the four sides, while the top of the middle pile has a small settlement and bears the "open pattern" displacement state. During the construction of the new pier, the construction of the new bored pile, the insertion of the steel sheet pile, and the backfilling of the foundation pit have a great influence on the horizontal displacement and settlement of the existing high-speed railway pier foundation.

**【Key words】** pier construction; existing adjacent high-speed railway; finite element; pier foundation; displacement analysis

### 0 引言

我国较发达地区既有高铁线路运输压力越来越

大, 邻近高铁的城际铁路建设将有助于缓解铁路运营压力<sup>[1]</sup>。然而, 城际铁路桥梁墩台建设中的施工扰动

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(51609071)

作者简介: 王采扣, 男, 1980 年生, 汉族, 江苏高邮人, 大学本科, 高级工程师, 主要研究方向为水文地质、工程地质。E-mail: 43881738@qq.com

对邻近既有高铁桥墩基础具有显著影响, 对此, 国内外工程技术人员和学者做了一些有益的研究<sup>[2-3]</sup>。Liyanapathirana 等<sup>[4]</sup>建立了三维有限元计算模型, 研究了基坑开挖深度、桩与墙体的相对位置等影响因素在基坑施工过程中对既有桩基的变形和受力特性的影响。Korff 等<sup>[5]</sup>在不考虑开挖引起的应力释放的条件下建立有限元分析模型, 研究了深基坑开挖引起的桩土相互作用及沉降效应。徐俊<sup>[6]</sup>采用有限元软件计算了基坑开挖引起的围护结构及邻近高速铁路路基的变形, 并通过与现场监测数据的对比进行验证。侯兰新<sup>[7]</sup>采用理论计算、数值模拟和现场监测相结合的方法, 分析墩桩基在原始差异堆载和优化差异堆载预压条件下的最大水平位移和最大桩身裂缝。方淑君等<sup>[8-9]</sup>运用有限元法计算了新建桥运营状态下的荷载作用对既有桥桩基础横桥向附加水平变形和附加沉降的影响。刘鑫等<sup>[10]</sup>建立 PLAXIS 有限元计算模型, 分析了新建墩承台不同施工工况下邻近既有高铁线路基土体、挡土墙以及桩基水平位移和沉降, 并探究施工距离对路基位移的影响。岳齐贤等<sup>[11]</sup>利用有限元方法分析了沉井施工对邻近高铁桥基的影响, 以及计算了沉井的长宽比、面积比及下沉深度对周边土体和邻近高铁桥基的影响规律, 并通过桥基的监测数据验证其正确性。梅祯等<sup>[12]</sup>在反演分析基坑施工过程的计算参数的基础上, 研究了不同开挖距离、基坑规模、开挖深度、基坑数量和施工工序的基坑施工对邻近地铁高架结构的影响。范剑雄等<sup>[13]</sup>采用自动光纤光栅监测系统研究了新建铁路施工对邻近城际铁路进行了长期变形及内力监测, 分析了不同深度处的地层沉降及桩板结构内力。

综合上述研究可以发现, 现阶段对于墩台施工中基坑开挖过程影响邻近既有高铁桥墩基础的研究已取得一定成果, 但缺乏后续施工阶段如围护结构、支护结构拆除、基坑回填、墩台浇筑等施工过程对邻近既有高铁桥墩基础影响的研究。考虑现有研究的不足, 本文以实际工程案例为研究背景, 基于能够较好描述土体非线性状态和应力路径相关变形特性的小应变土体硬化模型(简称 HSS 模型), 利用 PLAXIS 3D 有限元软件建立新建墩台施工全过程计算模型, 分析邻近既有线高铁桥墩基础土体、墩台和桩体的位移, 并通过与现场监测数据对比验证计算结果, 从而研究新建墩台工程对邻近既有高铁桥墩基础的影响, 以供类似工程参考。

## 1 工程概况

长江三角洲地区新建某城际高速铁路, 正线全

长 278.53 km, 设计时速 350 km/h, 施工地区地层岩性变化较大, 工程地质条件较差。河网湖塘密布, 地表水极发育。上部多黏性土, 下部含多层粉细砂层, 浅层地下水属孔隙潜水, 潜水位埋深 0~3 m, 下部砂层为良好的含水层, 地下水具微承压性, 地下水丰富, 水位变化幅度不大。

该线与既有沪通高铁并行, 有 305 个桥梁墩台工程邻近既有高铁线, 既有高铁线基础形式为墩承台+钻孔灌注桩。在土质较差地区、位于水塘内墩台以及邻近高铁线的墩承台将采用钢板桩围堰施工, 其中部分新建墩台钢板桩围堰位置与沪通高铁线的最近距离不足 30 m, 属于典型的邻近既有线施工问题, 因此有必要研究新建墩台施工对邻近既有高铁桥墩基础的影响。

## 2 有限元模型

### 2.1 土体模型及参数

现场新建墩台结构相似, 墩台施工中的基坑开挖深度均在 8 m 以上, 最大深度为 10.87 m, 钢板桩布置形式一致, 因此, 针对基坑开挖深度最大时的最不利情况进行计算, 若该工况下既有高铁桥墩基础安全, 则所有桥墩基础均能满足要求。新建墩台基坑面积较大, 开挖深度较深, 所处位置水力条件较为复杂, 考虑新建墩台施工的空间应力-应变效应, 故采用 PLAXIS 3D 有限元软件进行模拟。

根据地质勘察资料, 该区域土层以粉质黏土和淤泥质粉质黏土为主, 下卧粉砂层、黏土层和中砂层, 各土层参数见表 1。

表 1 土体基本参数

岩土名称	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	泊松比 $\mu$	弹性模量 $E/\text{kPa}$	厚度 $h/\text{m}$
淤泥质粉质黏土	18.0	10.27	10.49	0.36	$2.00\times 10^3$	15
粉质黏土	18.6	9.83	17.97	0.34	$2.79\times 10^3$	16
粉砂	19.4	5	31	0.28	$11.73\times 10^3$	8
黏土	19.7	21.51	22.72	0.35	$3.45\times 10^3$	10
中砂	18.8	1	29	0.31	$10.82\times 10^3$	37.5

新建工程和既有沪通高铁桥梁墩台的钢筋混凝土材料, 采用线弹性模型。

在土体本构模型选取方面, 由于新建墩台的施工涉及钻孔灌注桩施工、钢板桩围堰、基坑开挖和基坑回填等过程, 应力路径涉及土体的加、卸载, 且基坑工程应变属于小应变范畴, 土体会产生较大弹性变形。因此采用能够较好描述土体非线性状态和应力路径相关变形特性的 HSS 模型(见表 2)。

表2 HSS模型特有参数表

土体名称	淤泥质粉质黏土	粉质黏土	粉砂	黏土	中砂
排水类型	不排水A	不排水A	排水	不排水A	排水
$E_{s1,2}/\text{kPa}$	$3.36 \times 10^3$	$4.29 \times 10^3$	$15.00 \times 10^3$	$5.54 \times 10^3$	$15.00 \times 10^3$
三轴加载刚度 $E_{50}/\text{kPa}$	$3.43 \times 10^3$	$4.38 \times 10^3$	$15.30 \times 10^3$	$5.65 \times 10^3$	$15.30 \times 10^3$
三轴卸载刚度 $E_{ur}/\text{kPa}$	$21.36 \times 10^3$	$25.28 \times 10^3$	$70.22 \times 10^3$	$30.50 \times 10^3$	$70.23 \times 10^3$
固结仪加载刚度 $E_{oed}/\text{kPa}$	$2.72 \times 10^3$	$3.48 \times 10^3$	$12.15 \times 10^3$	$4.49 \times 10^3$	$12.15 \times 10^3$
幂指数 $m$	0.90	0.90	0.50	1.00	0.50
初始剪切模量 $G_0/\text{kPa}$	$55 \times 10^3$	$65 \times 10^3$	$210 \times 10^3$	$85 \times 10^3$	$200 \times 10^3$
剪切应变水平 $\gamma_{0.7}$	$3.2 \times 10^{-4}$	$3.2 \times 10^{-4}$	$3.9 \times 10^{-4}$	$3.2 \times 10^{-4}$	$3.9 \times 10^{-4}$

## 2.2 构件参数

根据设计资料,新建墩台的施工中,围堰采用 SP-VI L型拉森钢板桩,墩台下设有 0.5 m 厚混凝土垫层,墩台支护结构采用 Q235H 型钢拼接而成旋转 90° 的“II”型,钻孔灌注桩采用 C30 混凝土和 HRB400 钢

筋。PLAXIS 3D 有限元软件中内置有板单元、梁单元和 Embedded 桩单元等,可以简便建模。因此模型中钢板桩和混凝土垫层采用板单元模拟;钻孔灌注桩采用 Embedded 桩单元模拟;双拼 H 型钢和钢管撑采用梁单元模拟,计算参数见表 3—表 5。

表3 板单元参数表

构件	厚度 $d/\text{m}$	截面积 $A/\text{m}^2$	$\gamma_{\text{steel}}/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	$I_1/\text{m}^4$	$I_2/\text{m}^4$	$E_{\text{steel}}/\text{kPa}$	$E_1/\text{kPa}$	$E_2/\text{kPa}$	$G_{12}/\text{kPa}$	$G_{13}/\text{kPa}$	$G_{23}/\text{kPa}$
钢板桩	0.23	$30.6 \times 10^{-3}$	78.5	170.7	$1.19 \times 10^{-3}$	$0.06 \times 10^{-3}$	$2.06 \times 10^8$	$0.24 \times 10^9$	$0.012 \times 10^9$	$0.12 \times 10^9$	$74.64 \times 10^6$	$22.4 \times 10^6$
垫层	0.5	5.9		24.5	0.12			$3 \times 10^7$			$14.76 \times 10^6$	

表4 梁单元参数表

构件	型号	模型	材料	截面积 $A/\text{m}^2$	惯性矩 $I_2/\text{m}^4$	惯性矩 $I_3/\text{m}^4$	截面模量 $W/\text{m}^3$	弹性模量 $E/\text{kPa}$	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	屈服应力 $f/\text{kPa}$
双拼H型钢	2HW400×400×13×21×22	弹塑性	Q235钢	$43.74 \times 10^{-3}$	$1.31 \times 10^{-3}$	$14.91 \times 10^{-3}$	$4.77 \times 10^{-3}$	$2.06 \times 10^8$	76.93	$215 \times 10^3$
钢管撑	$\phi 609 \times 16$	弹塑性	Q235钢	$29.8 \times 10^{-3}$	$1.31 \times 10^{-3}$	$1.31 \times 10^{-3}$	$4.31 \times 10^{-3}$	$2.06 \times 10^8$	76.93	$215 \times 10^3$

表5 Embedded桩单元参数表

构件	型号	模型	弹性模量 $E/\text{kPa}$	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	直径 $D/\text{m}$	惯性矩 $I/\text{m}^4$
钻孔灌注桩	C30HRB400	线弹性	$3.0 \times 10^7$	24.5	1.0	$49.09 \times 10^{-3}$

## 2.3 模型建立

在 PLAXIS 3D 有限元软件建模中,为了方便后续读取计算结果,钻孔位置位于坐标 (0,0,0) 处,模型边界  $x_{\text{max}} = 150 \text{ m}$ ,  $y_{\text{max}} = 60 \text{ m}$ ,  $z_{\text{min}} = -100 \text{ m}$ 。土体采用 15 节点的三角形单元,地下水位高程为 0.0 m,模型边界限制渗流。有限元模型及坐标系见图 1,土体网格划分情况见图 2。

## 2.4 工况设置

新建墩台的施工全过程从打入钢板桩开始,至激活新建桥墩顶部荷载结束,为了能够精确地计算和分析每一个施工步骤对既有高铁桥墩基础的影响,在设置模型的分段施工时,共分为 18 个施工步骤。具体施工步骤及工期见表 6。

## 3 模型可靠性验证

本节将在有限元计算新建墩承台施工过程中既有线土体位移特性的基础上,对比计算结果与现场监测数据,以验证本文建立的有限元计算模型的可靠性。

### 3.1 既有线土体位移分析

模型中既有线设置五个墩承台,将沿  $x$  正方向依次编号为既有墩承台 1—5,选取墩承台 3 与地表土体相交四个顶点位置,记为 A—D 点(见图 3)。

对既有高铁线部分土体进行切面,得到既有高铁线桥墩基础土体和墩承台 3 的位移情况;整个模型的各个节点总位移在施工进行至最后一步时达到最大值(见图 4)。

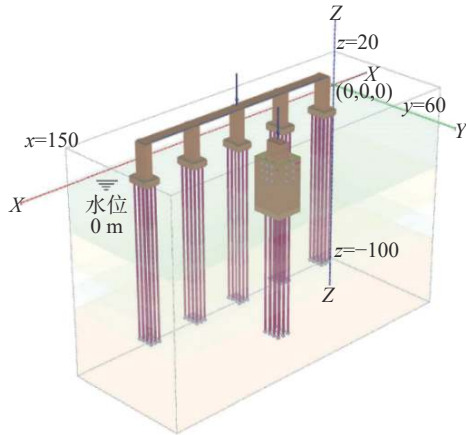


图1 有限元模型图(单位:m)

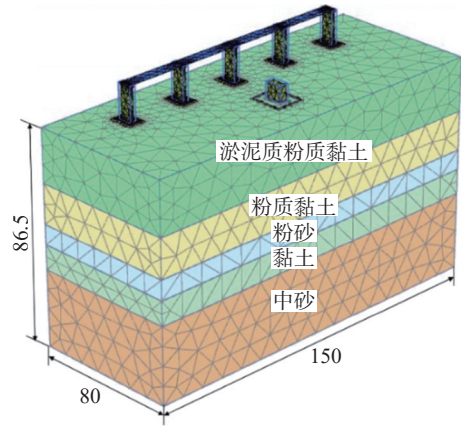


图2 网格划分图(单位:m)

表6 施工步骤及工期表

步骤	阶段施工内容	工期/d	步骤	阶段施工内容	工期/d
0	激活土层、既有沪通高铁墩承台和钻孔灌注桩	0	9	激活新建加台	5
1	激活新建钻孔灌注桩	10	10	围堰内回填土3.0 m至标高-7.50 m处	3
2	激活基坑围堰拉森钢板桩	5	11	拆除标高为-6.50 m, -3.50 m, -0.50 m处三道内支撑	1
3	围堰内降水开挖3 m至标高-1.50 m处, 在标高-0.50 m处 激活第一层围檩、角撑和内支撑	4	12	激活新建桥墩	5
4	围堰内降水开挖3 m至标高-4.50 m处, 在标高-3.50 m处 激活第二层围檩、角撑和内支撑	4	13	拆除标高为-6.50 m处第三层围檩、角撑, 围堰内回填土3.0 m至标高-4.50 m处	3
5	围堰内降水开挖3 m至标高-7.50 m处, 在标高-6.50 m处 激活第三层围檩、角撑和内支撑	4	14	拆除标高为-3.50 m处第二层围檩、角撑, 围堰内回填土3.0 m至标高-1.50 m处	3
6	围堰内降水开挖3 m至标高-10.50 m处	4	15	拆除标高为-0.50 m处第一层围檩、角撑, 围堰内回填土3.0 m至标高1.50 m处	3
7	激活0.5 m厚混凝土垫层	1	16	拆除基坑围堰拉森钢板桩	1
8	激活新建承台	5	17	激活新建桥墩顶部荷载	1

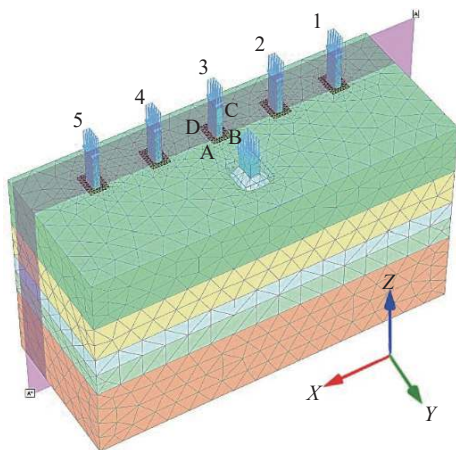


图3 既有线土体切面网格图

由图4可见,既有高铁桥墩基础土体位移呈“U”型向外扩散,随着到开挖基坑距离增大,土体位移减小。土体位移随着深度增大逐渐减小,墩承台3距离开挖基坑距离最小,土体位移量最大。取A—D位置水平和竖直方向土体位移,位移曲线见图5。

从上图组中可以得出如下结论:

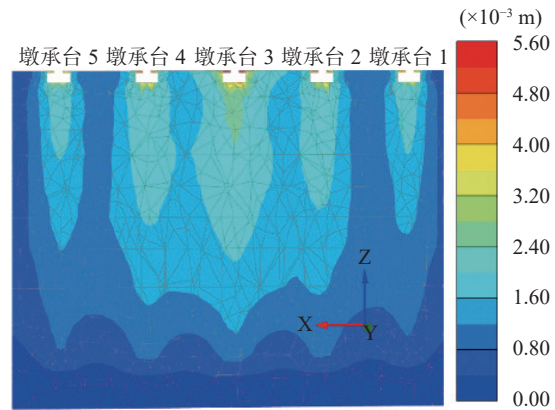


图4 土体位移阴影图

(1)在水平位移方面,土体位移以y方向位移为主,x方向位移较小,位移量在0.1 mm水平,整体向基坑方向位移,最大位移量1.53 mm,各个位置位移趋势一致。在铺设混凝土垫层时达到初期极大值1.15 mm后,维持在此水平,在拆除三道内支撑时向y负方向回弹至极小值0.93 mm,由于内支撑拆除顺序为从下至上,在拆除下部支撑时对应位置钢板桩对

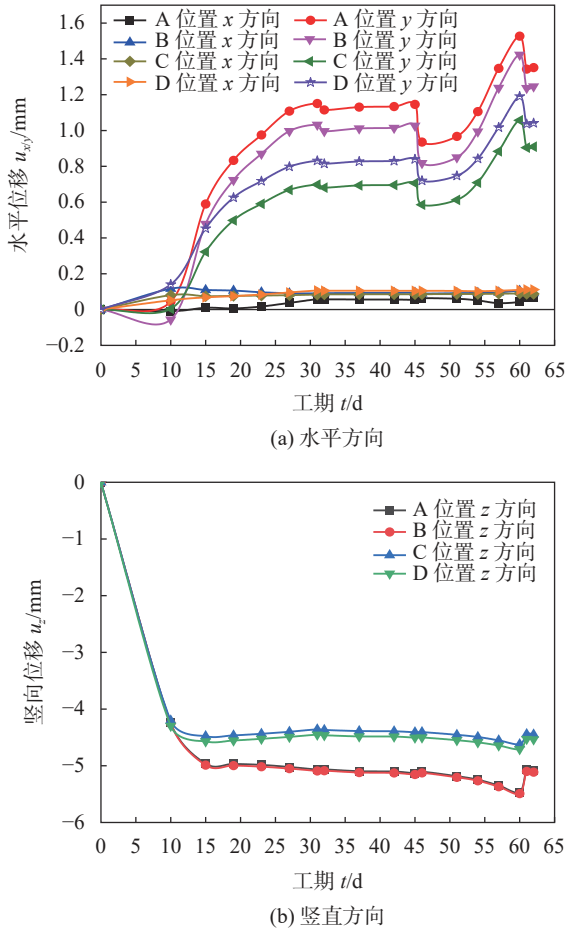


图5 墩承台3土体位移曲线图

土体侧向支撑减小,使得下部率先出现朝基坑内侧的位移,此时钢板桩以和上部内支撑的接触点为支点发生竖直方向轻微转动,对上部土体发生了挤压,也就导致了上部土体发生轻微向y负方向的回弹;随后水平位移继续向正方向增大直到拆除第一层围檩、角撑,并在填土时达到第二个极大值 1.53 mm,最后回弹至 1.35 mm。尽管既有线土体水平方向位移在中途产生了负方向回弹,但最终还是向正方向移动,且靠近基坑一侧水平位移量大于远离基坑一侧。

(2)在竖向位移方面,土体位移更大,整体一直沉降,最大沉降量 5.49 mm,在钻孔灌注桩施工时便产生较大沉降,后续施工步骤导致沉降增速较缓慢,拆除钢板桩围堰后土体产生了向上回弹,分析可能由于在拆除内支撑时,钢板桩发生竖向的旋转导致上部土体受到一定挤压,钢板桩围堰拆除后挤压消失,故既有线墩承台处土体竖向位移发生轻微回弹。最终靠近新建基坑一侧沉降量大于远离基坑一侧。

既有墩承台3靠近新建墩台一侧产生较大土体位移,其中B位置产生最大水平位移,A位置产生最大沉降,于是可选取AB中点作为墩承台3土体位移

代表位置,其余墩承台也选取同样位置。由上文分析可知,水平方向位移以y方向位移为主,x方向位移可忽略不计,分别绘制五个既有墩承台所在位置土体在y和z方向位移情况见图6。

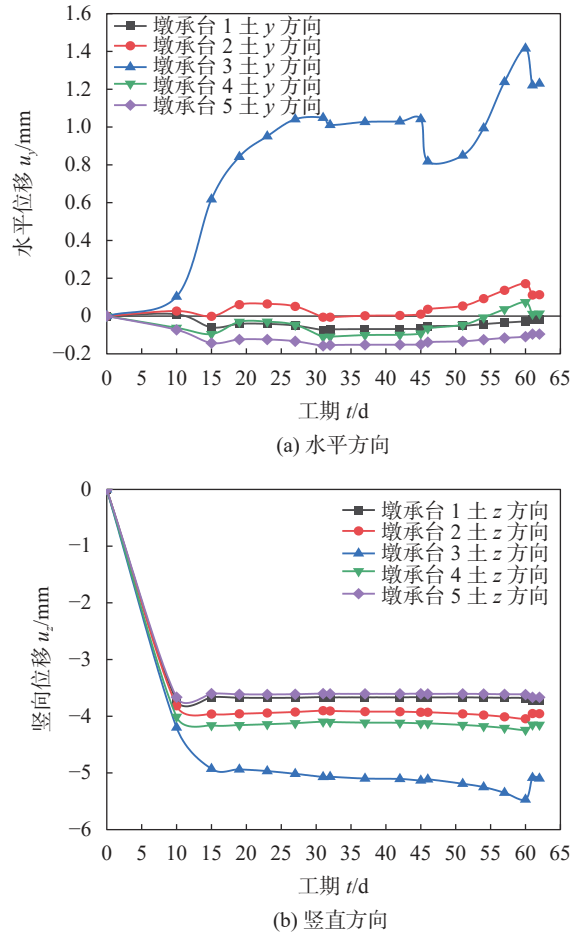


图6 既有墩承台土体位移曲线

从上图组中可以得出结论:

(1)水平位移方面,新建墩台施工对于较远距离既有墩承台土体位移影响较小,墩承台3位移变化量最大,而相距25m的墩承台2和4,y方向位移距离在0mm附近波动,而相距50m的墩承台1和5,反而会产生y负方向即向远离新建基坑一侧位移,但总体位移范围不大,在0.2mm以内。

(2)沉降方面,5个既有墩承台中墩承台3沉降量最大,随着到基坑距离增大,沉降量减小,墩承台2和4沉降量在4.2mm以内,墩承台1和5沉降量在3.8mm以内。虽然模型中5个墩承台在结构上对称,但墩承台2和4,墩承台1和5土体在各个方向上位移量并不完全相同。

### 3.2 现场监测情况分析

城际高速铁路施工过程中,为了及时掌握既有线的变形特性,确保既有线的安全,并验证有限元计

算模型的可靠性,在既有桥墩承台靠近新建墩台一侧中点外 0.5 m 处(图 3 中 AB 连线中点外)埋设位移桩,位移桩尺寸 150 mm×150 mm×800 mm,并在桩顶设置有直径 10 mm 并标记“十”字型记号的 HRB400 钢筋。位移桩的水平位移和沉降反映了既有土体的位移特性,通过现场监测获取新建墩承台施工期间对位移桩的监测情况,同时将图 6 中墩承台 3 的土体位移计算结果与现场监测数据对比分析(见图 7)。

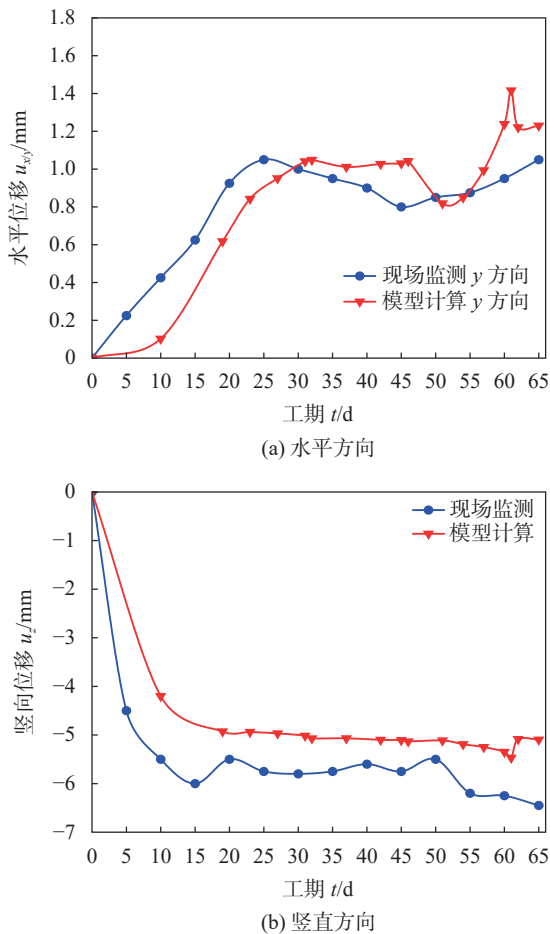


图 7 计算结果与现场监测情况对比分析

可以发现,计算和监测的水平位移和沉降在变化趋势上基本一致,均是随着新建墩承台的施工开展既有土体位移逐渐增大趋势。在关键施工节点上的位移趋势监测和计算结果比较吻合,现场监测和计算的最终水平位移值分别为 1.05 mm 和 1.23 mm,误差值仅为 0.18 mm,现场监测和计算的最终沉降值分别为 6.45 mm 和 5.10 mm,误差值仅为 1.35 mm,说明基于土体 HSS 本构模型的有限元计算具有一定的可靠性。

#### 4 既有墩基础位移分析

基于上述有限元计算模型,分别计算既有墩承

台和桩基础的位移情况,从而分析新建墩台对邻近桥墩基础的影响。

##### 4.1 既有墩承台位移分析

由上文分析,墩承台位移主要来自于沉降,水平方向位移较沉降值过小,可忽略不计,于是选取墩身和承台沉降最大位置,其余墩承台也选取同样位置节点,绘制竖向位移曲线图,进而将各个既有墩承台墩身和承台最终沉降量绘制成曲线(见图 7)。

从上图组中可以得出如下结论:

(1)既有墩身和承台沉降趋势类似,最大沉降量在 6 mm 以内,在钻孔灌注桩施工便产生较大沉降,接着在钢板桩围堰施工也对沉降量产生了较大影响,距离基坑越近,影响越大。既有高铁线承台最终沉降量总体略大于墩身,在墩承台 3 位置处,墩身和承台沉降量均达到峰值。

(2)目前我国关于高速铁路墩承台总沉降限值规定<sup>[4]</sup>为 $\Delta_1 = 20\sqrt{L}$ ;相邻墩承台均匀总沉降差限值规定为 $\Delta_2 = 10\sqrt{L}$ ,其中  $L$  为相邻墩承台之间最小跨径的长度,计算得 $\Delta_1 = 100$  mm,  $\Delta_2 = 50$  mm,在本模型中总沉降和相邻墩承台差异沉降均小于 $\Delta_1$ 与 $\Delta_2$ ,满足要求。

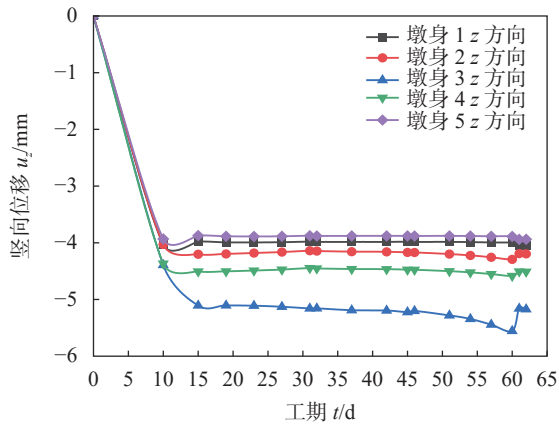
##### 4.2 既有桩基础位移分析

既有墩承台下部桩基础同样会产生位移,由于各个既有墩承台结构相同,均采用 3(x 方向)×4(y 方向)12 根桩布置形式,可将这 5 组桩命名为组 1—5。由于位移集中在桩顶部分,外围桩基础顶部向四周产生位移,而中间桩基础顶部位移较小,并且总体向下产生沉降,可形容为“开花式”位移。进而选取 5 组桩基础在  $x$ 、 $y$  和  $z$  方向上出现最大位移的桩顶节点,并分别绘制这些桩顶节点随新建墩台施工进行的位移变化曲线(见图 8)。

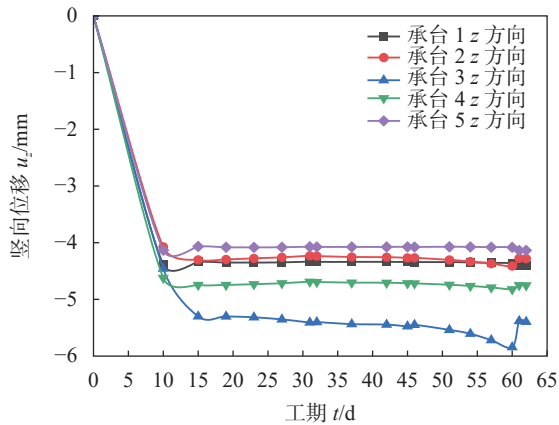
从上图组中可以得出如下结论:

(1)在  $x$  方向上,各组桩基础桩顶最大位移节点位移呈现先增大后稳定趋势,总体位移量在 1.0 mm 附近,特别是第 2 组和第 4 组桩,在新建桥墩施工后第 2 组桩顶节点位移呈现增大趋势,而第 4 组桩顶节点位移向反方向有回弹趋势。

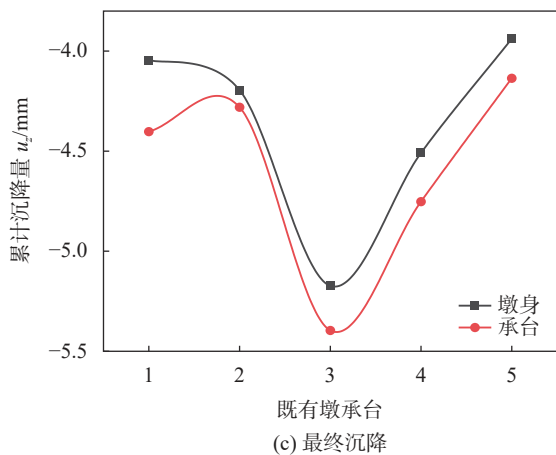
(2)在  $y$  方向上,所选节点均向  $y$  正方向即开挖基坑方向进行位移,但是距离基坑较近的第 3 组桩基础和其余四组桩位移变化趋势差别较大,其余四组在激活灌注桩后便稳定在某一个值,变化不大,最大位移值为 0.8 mm 左右,而第 3 组桩顶节点则在施工开始至开始回填土一直以较快速率向  $y$  正方向位移,在拆除内支撑后产生少许回弹位移后继续增大至回



(a) 墩身沉降



(b) 承台沉降



(c) 最终沉降

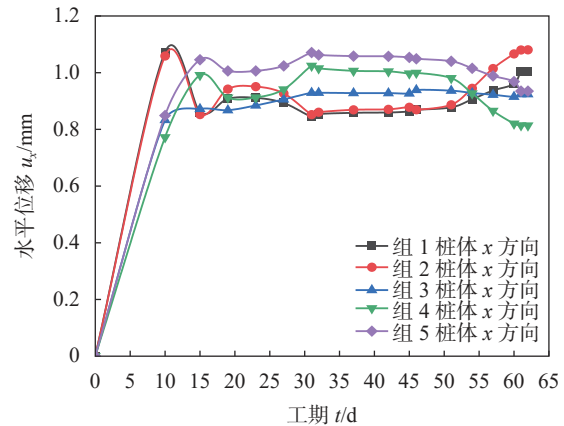
图8 既有墩承台竖向位移曲线图

填最后一层土后,拆除钢板桩时再次产生微小回弹, $y$ 方向最大位移为 1.87 mm(见图9)。

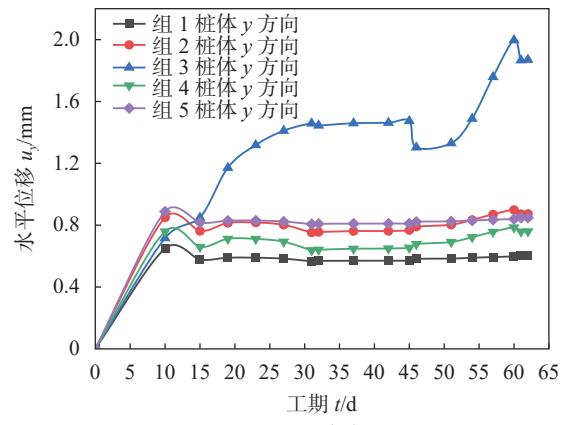
(3)在 $z$ 方向上,位移变化规律和既有墩承台及其所在土体的变化具有一致性,随着到基坑距离的增大,最大位移减小,最大位移值不超过 3 mm,激活钢板桩和第一层内支撑时对桩基础竖向沉降量影响最大,而拆除钢板桩使得桩基础产生向上的微小位移。

## 5 结论

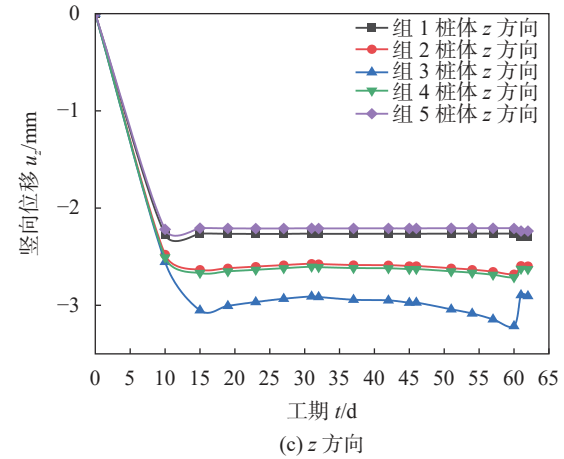
以软土地区邻近既有线高铁桥墩基础的新建墩



(a) x方向



(b) y方向



(c) z方向

图9 桩顶节点位移曲线图

台施工工程为研究背景,利用 PLAXIS 3D 有限元软件建立新建墩台施工全过程计算模型,分析对邻近既有线高铁桥墩基础土体、墩台和桩体的位移的影响,得出如下结论:

(1)基坑开挖过程土体应变属于小应变范畴,采用能够较好描述土体非线性状态和应力路径相关变形特性的 HSS 模型,有助于有限元数值计算中获得较可靠的位移结果。

(2)既有高铁桥墩基础土体方面,水平向基坑方

向最大水平位移 1.53 mm, 最大沉降 5.49 mm。既有墩身和承台最大沉降量小于 6 mm, 墩承台总沉降和相邻墩承台差异沉降均小于规范限值。既有桩基础群桩外围顶部向四周产生位移, 而中间桩顶部沉降较小, 呈“开花式”位移状态。

(3) 在新建墩台施工过程中, 钻孔灌注桩的施工、钢板桩的插拔和基坑回填对既有高铁桥墩基础水平位移和沉降影响较大, 在该阶段施工中应加强对既有高铁桥墩基础的监测。

#### 参 考 文 献

- [1] 于建勇. 新建常州至泰州城际铁路必要性研究 [J]. 交通工程, 2020, 20(2): 60-64,72.
- [2] 张旭, 王杰杰. 深基坑施工对邻近既有地铁车站附属的影响分析 [J]. 岩土工程技术, 2023, 37(4): 492-498.
- [3] 周志良, 仇欢, 黄晓东, 等. 钻孔灌注桩施工对邻近运营隧道变形影响研究 [J]. 岩土工程技术, 2021, 35(1): 1-6,11.
- [4] LIYANAPATHIRANA D S, NISHANTHAN R. Influence of deep excavation induced ground movements on adjacent piles[J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2016, 52(2): 168-181.
- [5] KORFF M, MAIR R J, Van TOL F A F. Pile-soil interaction and settlement effects induced by deep excavations[J]. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2016, 142(8): 04016034.
- [6] 徐俊. 深基坑开挖对邻近高速铁路路基影响研究 [J]. *铁道建筑技术*, 2020(10): 42-45,88.
- [7] 侯兰新. 深厚软土地基堆载预压对邻近桥梁桩基影响分析 [J]. *铁道建筑技术*, 2022(6): 140-144.
- [8] 方淑君, 张利勇, 刘神斌, 等. 新建桥运营状态下对邻近高铁桥基础水平变形的影响分析 [J]. *铁道科学与工程学报*, 2021, 18(9): 2234-2243.
- [9] 方淑君, 徐新桐, 王涛, 等. 运营状态下新建桥对邻近高铁桥梁沉降的分析 [J]. *铁道科学与工程学报*, 2022, 19(5): 1187-1195.
- [10] 刘鑫, 张思卿, 龚天昊, 等. 新建墩承台施工对邻近既有高铁线路基的影响研究 [J]. *水利与建筑工程学报*, 2023, 21(2): 220-228.
- [11] 岳齐贤, 赵建立, 沈水龙. 泥岩地区沉井施工对土体及高铁桥基影响研究 [J]. *地下空间与工程学报*, 2014, 10(4): 878-883.
- [12] 梅祯, 肖军华, 王炳龙. 基坑开挖对临近基坑地铁高架结构变形的影响 [J]. *土木与环境工程学报 (中英文)*, 2019, 41(4): 51-58.
- [13] 范剑雄, 王海峰, 陕耀. 新建连镇铁路施工对邻近沪宁城际铁路的影响 [J]. *铁道建筑*, 2022, 62(9): 136-140.
- [14] Q/CR 9230—2016 铁路工程沉降变形观测与评估技术规范 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.

收稿日期: 2023-11-16