

文章编号: 1673-9469 (2019) 02-0047-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2019.02.011

## 明挖基坑对邻近高铁桥梁变形影响因素分析

宗晶瑶<sup>1, 2</sup>, 丰土根<sup>1, 2</sup>

(1. 河海大学 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏南京 210098; 2. 河海大学 江苏省岩土工程技术工程研究中心, 江苏南京 210098)

**摘要:** 以邻近运营高铁桥梁建设的明挖基坑实际工程为背景, 采用数值模拟的方法建立了二维有限元模型, 探讨了围护结构的插入比、设置内支撑的数量、隔离桩及基坑距高铁桥墩距离四个因素对高铁桥梁变形的影响。结果表明: 插入比对桥墩水平位移最大变形及整体沉降影响不大; 设置支撑能够减小桥墩水平位移及沉降, 增加支撑道数对变形影响小; 隔离桩不能减小变形; 距离显著影响水平位移和整体沉降, 但对沉降差影响不大。

**关键词:** 基坑; 高铁桥墩; 水平位移; 沉降

**中图分类号:** U455.4

**文献标识码:** A

## Numerical Analysis on Effect Factors of High-speed Railway Bridge Pier Deformation near Foundation Pit

ZONG Jingyao<sup>1, 2</sup>, FENG Tugen<sup>1, 2</sup>

(1. Key Laboratory for Geotechnical Engineering of Ministry of Water Resource, Nanjing, Jiangsu, 210098, China; 2. Research Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu, 210098, China)

**Abstract:** Based on foundation pit project near high-speed railway bridge pier in China, a two-dimensional finite- element model is established by numerical analysis method, and the influences of four factors on the deformation of high-speed railway bridge piers are discussed: the insertion ratio of envelope structure, inner supports, isolation pile and distance of foundation pit from pier. The results show that the insertion ratio has little effect on the maximum deformation of the horizontal displacement and the overall settlement of the pier; the inner supports can reduce the settlement and horizontal displacement of the pier, increasing the number of inner supports has little effect on deformation; the isolation pile cannot reduce the deformation; distance affects both horizontal displacement and overall settlement, but has little effect on the settlement difference.

**Key words:** foundation pit; high-speed rail bridge pier; horizontal displacement; settlement

伴随着城市规模的扩大, 市内交通与城际高铁交叉的不断增多, 基坑工程邻近高铁高架桥梁的特殊工况也随之不断增加。高铁对于高铁桥梁的变形和位移影响十分敏感, 邻近基坑开挖导致岩土体应力状态发生改变, 即使对高铁桥梁造成微小的影响, 也有可能造成严重的经济代价和恶劣的社会后果。国内外许多学者针对基坑开挖对邻近建(构)筑物变形及结构应力影响等方面展开了相关研究<sup>[1-4]</sup>, 为评估结构安全提供了可靠的研

究依据。然而, 以上研究在针对明挖基坑邻近高铁桥梁的影响因素方面分析较少。

无锡太湖大道节点改造工程SD3标段是明挖基坑邻近运营高铁立交桥工程项目。本文以其为背景, 采用数值分析方法探讨围护结构的插入比、设置内支撑数量、隔离桩以及基坑距桥墩距离对高铁桥梁变形的影响, 为基坑工程在类似工况下的支护设计、工程施工以及高铁的运营安全提供参考。

收稿日期: 2019-02-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51009054)

作者简介: 宗晶瑶(1996-), 女, 山东德州人, 硕士研究生, 从事岩土工程方面的研究。

## 1 工程概况

无锡太湖大道节点改造工程 SD3 标段基坑采用暗埋单层箱体式结构的设计方案, 高铁桥梁与基坑相对位置如图 1 所示。高铁连续梁距地面 4.5 m, 基坑距离高铁桥墩承台的距离分别为 3.7 m、5.7 m, 开挖深度约 8 m, 基坑宽 33 m。基坑采用隔离桩与重力式挡墙结合的围护形式, 挡墙是已有的构筑物, 围护桩采用桩长 16 m 的  $\phi 1\ 000@1\ 200$  mm 钻孔灌注桩。施工时期的地下水位较低, 采用集水坑实现降水。

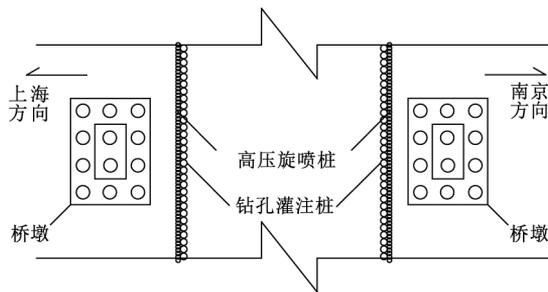


图 1 高铁桥梁与基坑相对位置俯视图

Fig.1 Vertical view of relative position between railway bridge and foundation pit

## 2 数值分析

### 2.1 模型参数选取

本文中土体的本构模型弹性部分使用线弹性模型, 塑性部分应用摩尔-库伦模型。桥墩、围护结构采用线弹性模型模拟。各材料物理参数见表 1。

### 2.2 模型建立

参照有限元计算数值模型的建立方法与相关工程经验, 进行了有限元模型的一定简化, 按照平面应变问题处理, 模型选取宽度为 40 m。高铁桥墩墩柱取 8.5 m, 入土深度 65 m, 承台高 2.5 m、宽 9 m, 左右两根桩基直径为 1.5 m, 长 60 m。围护结构按照等效刚度原理简化为地连墙的形式, 宽 0.6 m, 深为 16 m, 土体、地连墙及桥墩均采用二维平面应变单元 (CPE4) 模拟, 接触面法向接触模型采用 HARD 接触, 切向接触利用各向同性 Coulomb 摩擦模型模拟。考虑到施工期间的地下水位较低, 模型建立过程中不考虑地下水及渗流影响。

### 2.3 模型验证

本文针对基坑参数对桥墩的变形影响展开研究,

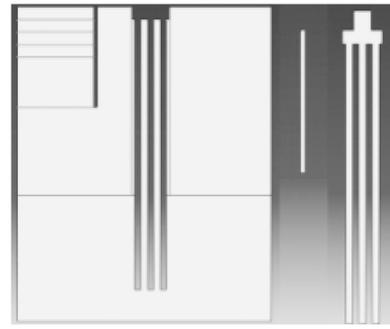
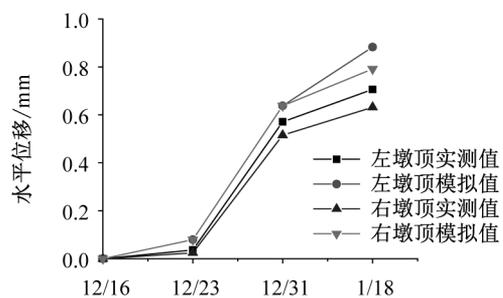


图 2 土体、地连墙、桥墩有限元模型

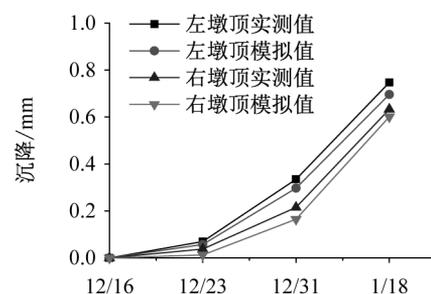
Fig.2 Finite element model of soil, underground diaphragm wall and piers

选取桥墩墩身水平位移及墩顶沉降作为参考指标, 数值模拟对应三个开挖步建立工况分析: ① 12.16 至 12.23, 挖除挡墙后土体; ② 12.24 至 12.30, 开挖原人行道至机动车道标高; ③ 12.31 至次年 1.18 整体开挖至设计标高。

比较分析现场监测与数值模拟的数据, 验证数值模型的合理性, 如图 3 所示。数据对比发现二者拟合较好, 变形分布规律相同, 数值模拟结果比现场实测大 15% 以内。考虑现场复杂性以及摩尔-库伦二维模型偏保守, 误差较合理, 认为模型能较好得模拟实际情况。



(a) 水平位移



(b) 沉降

图 3 数值模拟与测量结果对比图

Fig.3 Comparison of simulation and measured results

表 1 各材料物理参数表  
Tab.1 Physical parameter table of materials

土层编号及标高	土层名称	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	弹性模量 $E/\text{MPa}$	泊松比 $\nu$	摩擦角 $\Phi/^\circ$	粘聚力 $C_k/\text{kPa}$
① 4.55 ~ 2.05	人工填土	18.5	12.2	0.30	15.6	16
② <sub>1</sub> 2.05 ~ -2.95	灰黄~褐黄色粘土	19.4	19.4	0.39	14.9	51.4
② <sub>3</sub> -2.95 ~ -4.45	灰色~灰黄粉土	18.6	18.6	0.38	20.9	7.2
③ <sub>3</sub> -2.95 ~ -4.45	青灰~灰色粉砂	18.9	18.5	0.36	32.5	3.6
④ -4.45 ~ -8.45	灰色粉质粘土	18.2	18.6	0.34	13.3	22.5
⑤ <sub>1</sub> -8.45 ~ -12.45	黄灰黄色粉质粘土	18.5	19.8	0.34	15.0	53.6
⑤ <sub>2</sub> -12.45 ~ -30.0	青灰~灰黄层粘土	18.6	19.6	0.34	15.1	66.8
灌注桩		23.3	20 000	0.18		
桥墩		2.5	20 000	0.18		

### 3 基坑参数对于桥梁变形的影响分析

通过控制变量法，分析单个因素对高铁桥墩的变形影响。设置空白对照标本 A0：插入比为 1，无支撑及隔离桩，距桥墩距离 6 m。

#### 3.1 围护结构插入比对桥墩变形的影响

如图 5(a) 所示，插入比不影响桥墩深层水平位移的整体变形规律及最大深层水平位移值，但插入比的增加可以减小墩顶水平位移。图 4 为插入比与墩顶水平位移关系拟合曲线，二者呈线性关系。

墩顶沉降值随插入比增加有所减小，但减小幅度不明显，但插入比增加可明显减小墩身左右端沉降差。拟合插入比与墩顶左端点沉降值变化关系曲线如图 4，二者呈对数关系。

#### 3.2 内支撑对桥墩变形的影响

如图 5(b) 所示，设置内支撑可以明显减小桥墩水平位移。但随支撑道数增加，桥墩最大深层水平位移值没有明显减小，桥墩顶端水平位移少量减小。

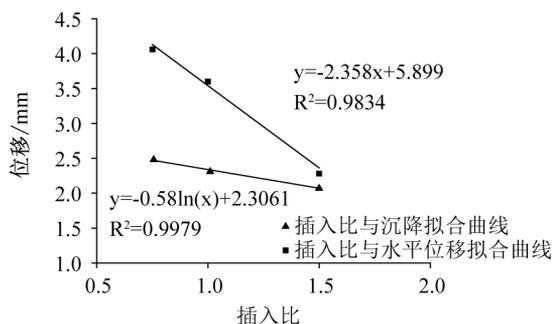


图 4 插入比不同时桥墩变形拟合曲线图  
Fig.4 The pier deformation fitting curve with different insertion ratios

内支撑对沉降的影响有类似情况，设置内支撑可减小墩顶的沉降，但支撑数增加对墩顶沉降基本无影响，可减小墩顶左右端沉降差。

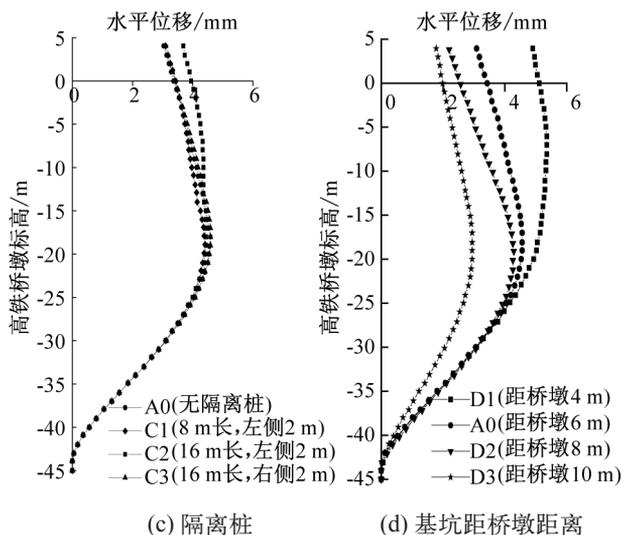
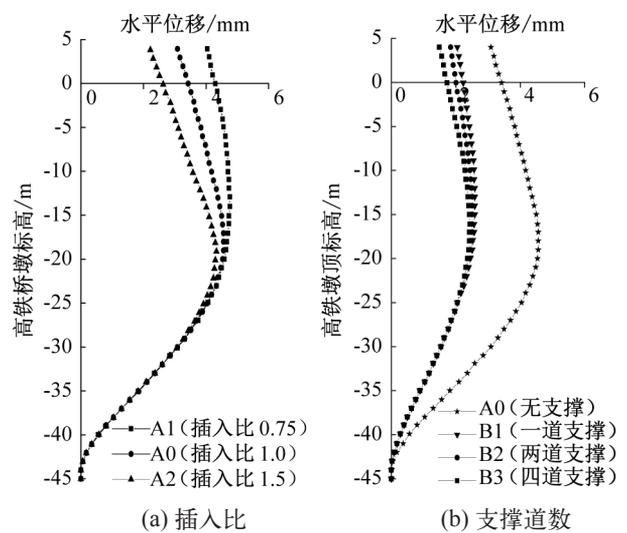


图 5 不同变量桥墩深层水平位移图  
Fig.5 Deep horizontal displacement diagram with control variables

### 3.3 隔离桩对桥墩变形的影响

桥墩的深层水平位移规律如图 5(c) 所示, 增加隔离桩后, 桥墩水平位移基本不变。其中, 隔离桩位于桥墩左侧, 长度为 16 m 时, 墩顶水平位移有所增大, 考虑其原因为地连墙与隔离桩之间的土体变形减小, 隔离桩减小了地连墙的侧向压力, 增加了桥墩侧向土体压力, 因而导致桥墩侧向变形增大。

### 3.4 基坑距离对桥墩变形的影响

如图 5(d) 所示, 基坑距桥墩越近, 桥墩的变形控制越不利。间距在 8 m 以内时, 桥墩深层水平位移变形规律及位移值在标高 -25 m 以下部分基本相同, 基坑与桥墩距离越小, 桥墩上部变形就随之增大。间距 10 m 时, 水平位移变形规律有所不同, 深层水平位移整体减小。基坑与桥墩距离越小, 墩顶沉降随之增大, 拟合对应变形关系如图 6, 基坑距桥墩距离与墩顶水平位移及沉降均为对数减小关系。

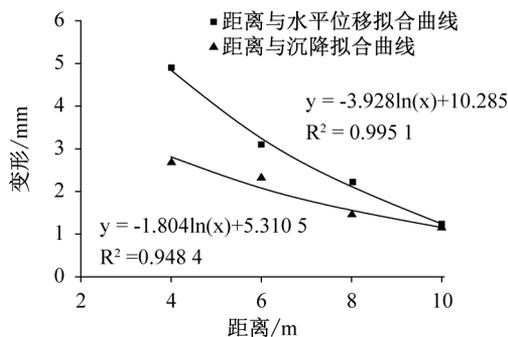


图 6 距离不同时桥墩变形拟合曲线图

Fig.6 The pier deformation fitting curve with different distances

## 4 结论

1) 高铁桥墩深层水平位移变形最大值及位置与插入比无关, 墩顶水平位移随插入比增加近似线性减小; 插入比对桥墩沉降减小效果一般, 两者呈对数关系。

2) 设置内支撑减小了桥墩水平位移和墩顶沉降量。但支撑道数增加对两者的影响不明显。

3) 隔离桩不能有效减小桥墩的变形。

4) 高铁桥墩墩顶水平位移随基坑距其距离的减小而增大; 基坑与桥墩距离越小, 墩顶沉降随之增大, 基坑距桥墩距离与墩顶左端沉降及墩顶水平位移均为对数减小关系。

### 参考文献:

- [1] RICHARD J.F., MICHELE C. Supported Excavations: Observational Method and inverse Modeling[J]. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2005, 826-836.
- [2] 沈健, 李耀良, 王建华. 深基开挖对邻近高架基础影响的三维数值分析[J]. 地下空间与工程学报, 2005(4): 518-521.
- [3] 王翠, 闫澍旺, 张启斌. 深基坑开挖对邻近桥桩的影响机制及控制措施研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(增刊 1): 2994-3000.
- [4] 宋欢艺. 某城市地道深基坑开挖对桥桩影响有限元分析[J]. 福建建筑, 2016(5): 89-91.
- [5] 王磊, 张福海, 王纲, 等. 高铁桥梁下明挖隧道施工安全分析[J]. 施工技术, 2013, 42(5): 72-74.
- [6] 李云安, 葛修润, 张鸿昌, 等. 基坑变形影响因素与有限元数值模拟[J]. 岩土工程技术, 2001, (2): 63-68.
- [7] 辛学忠, 魏丽敏, 何群, 等. 深厚软土桥梁桩基荷载传递特性及沉降控制效果研究[J]. 中国铁道科学, 2012, 33(4): 13-19.
- [8] 代汝林, 李忠芳, 王姣, 等. 基于 ABAQUS 的初始地应力平衡方法研究[J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2012, 29(9): 76-81.
- [9] 李云安, 葛修润. 基坑变形影响因素与有限元数值模拟[J]. 岩土工程技术, 2001, (2): 64-68.

(责任编辑 李新)