

软土基坑围护变更分析

李 森 王树良 王小康 李明煜 徐梦强

中国铁建大桥工程局集团有限公司, 天津 300000

[摘要]在软土地区的基坑施工中,不同地连墙围护深度对基坑安全和临近的已有隧道的影响是不可忽略的。文中以宁波泽民站为依托,通过 Abaqus 有限元分析软件对不同围护条件下的软土基坑进行数值模拟,得出了地连墙围护变更前、后地连墙的水平位移变化规律、基坑两侧地表沉降变化规律以及临近的已有隧道的顶部隆起和底部沉降的变化规律,从而为临近隧道的软土基坑的地连墙围护设计和基坑的安全性及稳定性提供参考。

[关键词]软土; 基坑; 围护结构; 隧道

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17587

中图分类号: TU447

文献标识码: A

Analysis of Changes in Soft Soil Foundation Pit Enclosure

LI Sen, WANG Shuliang, WANG Xiaokang, LI Mingyu, XU Mengqiang

China Railway Construction Bridge Engineering Group Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract: In the construction of foundation pits in soft soil areas, the impact of different depths of retaining walls on the safety of the pit and adjacent existing tunnels cannot be ignored. Based on the Zemin Station in Ningbo, numerical simulations were conducted on soft soil foundation pits under different enclosure conditions using Abaqus finite element analysis software. The horizontal displacement changes of the diaphragm wall before and after the enclosure change, the surface settlement changes on both sides of the foundation pit, and the top uplift and bottom settlement changes of adjacent existing tunnels were obtained. This provides a reference for the design of diaphragm wall enclosure and the safety and stability of adjacent soft soil foundation pits.

Keywords: soft soil; foundation pit; enclosure structure; tunnel

引言

在现如今这个城市化加速的时代下,恶劣的地质条件与不利的围护条件对基坑建设所产生的影响,已成为基坑工程中亟待减弱的问题。在宁波这个正在建设的城市中,基坑工程扮演者至关重要的角色,然而由于软土地层和临近隧道等因素的影响,导致设计师不得不在原设计的基础上对地连墙嵌入深度进行变更,从而使得基坑工程在保持安全稳定的前提下,不对原有建筑物进行破坏。本文旨在对比研究不同地连墙变更前、后的软土浅基坑开挖对基坑和已有隧道结构的影响,从而优化地连墙的设计,进一步提高基坑工程的安全性及稳定性。

国内学者已对软土地层和不同围护条件下临近隧道的基坑工程进行了相关研究。高洪赞等^[1]通过施工现场监测以及数值模拟分析,得出了基坑开挖至底时隧道结构产生的位移变化规律。于涛^[2]利用有限元分析软件 PLAXIS 3D,研究并得出了地连墙嵌入深度 10~20m 对基坑和隧道结构变形的影响。谭树增^[3]基于有限元软件 MIDAS GTS NX,通过模拟了软土区基坑开挖对场地地形变和临近隧道的影响,得出了基坑开挖对场地和临近隧道形变的变化规律。李家平等^[4]基于实测数据和数值模拟方法,分析了软土地层大区基坑开挖和地下结构施工

期间邻近的地铁隧道变形情况,总结了基坑开挖过程中采用伺服系统控制围护结构侧向位移量与隧道变形之间的相对规律。

1 工程概况

本文以宁波市泽民站基坑为依托,泽民站北接天一家园西站,南抵丽园北路站。车站位于丽园北路与中山西路交叉路口北侧,沿丽园北路布置,西侧为丽园宾馆、宁波电容器总厂,东侧为泗江河。车站为地下三层 13m 岛式站台车站,车站起止里程为 CK14+866.500~CK15+025.500,车站总长 159m,地下一层为车站站厅层,地下二层为设备层,地下三层为车站站台层,底板埋深 29.21~30.81m,覆土约 3.2m。车站标准段主体结构净宽度为 20.3m,底板埋深为 29.21m,采用地下三层双柱三跨钢筋混凝土框架结构;围护结构采用 1200mm 厚连续墙加内支撑体系(第一、六道支撑为钢筋混凝土支撑,其余支撑为钢管支撑,共八道支撑+一道换撑)。土层由上至下分为九层,分别为填土 1a、淤泥 3a、淤泥 2a、淤泥质粉质黏土 2、淤泥质粉质黏土 1b、黏土 2a、粉质黏土 1a、粉质黏土 2、粉质黏土 4a。该基坑如土层参数和地连墙、支撑材料参数分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 模型土层参数

土层类别	密度 (kg/m ³)	泊松比 (-)	杨氏模量 (Pa)	屈服应力 (Pa)	摩擦角 (°)
填土 1a	2000	0.31	2.00E6	5.00E3	20.0
淤泥 3a	1660	0.38	2.04E6	1.19E4	6.9
淤泥 2a	1650	0.38	1.91E6	1.25E4	7.5
淤泥质粉质黏土 2	1690	0.37	2.10E6	1.30E4	8.0
淤泥质粉质黏土 1b	1740	0.35	2.70E6	1.38E4	8.9
黏土 2a	1900	0.31	6.54E6	3.50E4	14.6
粉质黏土 1a	1950	0.29	6.98E6	3.40E4	16.0
粉质黏土 2	1900	0.32	5.48E6	2.50E4	13.8
粉质黏土 4a	1860	0.33	5.32E6	2.30E4	12.6

表 2 地连墙、支撑材料参数

材料类别	密度 (kg/m ³)	泊松比 (-)	杨氏模量 (Pa)
混凝土	2400	0.30	3.00E10
钢材	7800	0.30	2.10E11

2 模型建立及控制标准

2.1 模型的建立

本文通过 Abaqus 有限元分析软件对该基坑进行模拟开挖。设置该土体模型为50m×50m×50m，地连墙变更前的嵌入深度为 34.5m，而地连墙变更后的嵌入深度则变为 19.1m。施工工程分四步进行开挖，第一层支撑采用宽为 a=800mm，高为 b=700mm 的混凝土支撑，第二、三、四层支撑均采用外径为 R=608mm，内径 r=16mm 的环形截面钢支撑，模拟过程如下表 3 所示，所建基坑地连墙变更前模型如下图 1 所示。

表 3 基坑模型开挖工序

步骤	说明
1	地应力平衡
2	挖去地连墙土体、安装地连墙
3	第一次开挖（深度为 3.9m）
4	安装混凝土支撑
5	第二次开挖（深度为 3.5m）
6	安装第一道钢支撑
7	第三次开挖（深度为 3m）
8	安装第二道钢支撑
9	第四次开挖（深度为 3.5m）
10	安装第三道钢支撑

2.2 控制标准

浙江省《建筑工程技术规程》（DB33T1096—2024）根据基坑开挖深度对地连墙的侧移值和基坑两侧地表沉降值做出了规定，如表 4 所示。同时浙江省工程建设标准《城市轨道交通结构安全保护技术规程》（DB331T1139—2017）也对隧道的水平位移和竖向位移做出了规定，如表 5 所示。

表 4 基坑变形控制指标

变形控制值	地连墙侧移值 (mm)	坑外地表沉降值 (mm)
变更前、后	<25.02	<20.85

表 5 城市轨道交通结构安全指标控制值

变形控制值	预警值 (mm)	控制值 (mm)
隧道竖向位移	<10	<20
隧道水平位移	<10	<20

3 模型计算结果及分析

3.1 地连墙变更前、后地连墙的水平位移对比

显然在施工过程中，由于地连墙嵌入深度的不同，所以地连墙所发生的形变也会不同。因此为研究基坑工程在地连墙变更前对地连墙的水平位移变化的影响规律，将不同工况下的地连墙变更前、后临近隧道侧地连墙的水平位移进行对比，如图 2 所示。

从图中可以很直观地看出，临近隧道侧地连墙随着离地面的距离增加，水平位移大体上都呈现出一种先增后减的趋势。但是在地连墙变更前，地连墙水平位移最大值出现的位置是在地连墙嵌入土体深度的 1/3 处，而在地连墙变更后，水平位移最大值则出现在地连墙嵌入土体深度的 1/2 处，虽然地连墙变更前、后水平位移的最大值均未超出浙江省规范所给出的地连墙侧位移值最大值 25.02mm，但是地连墙最大值出现位置的下移有利于实际工程中对地连墙自身的保护。

3.2 地连墙变更前、后基坑两侧地表沉降对比

在基坑工程中，地连墙嵌入土体深度的不同势必会对基坑两侧地表的沉降产生不同的影响，并且出地连墙水平位移外，基坑周围场地沉降值也是衡量工程是否安全可靠的重要指标，为探究地连墙变更前、后，对基坑两侧地表沉降的影响，现将不同工况下的地连墙变更前、后的基坑两侧地表沉降进行对比分析，如图 3 所示。

从图中可以看出，在地连墙变更前、后，地表沉降值几乎都是呈现出增加后减少的趋势。有所不同的是，在地连墙变更后，无论是临近隧道侧的地表沉降值还是远离基坑侧的地表沉降值都大于地连墙变更前的值并且在地连墙变更后，临近隧道侧的地表沉降最大值为 12.1mm，远离隧道侧的地表沉降最大值为 14.53mm，反观地连墙变更前，临近隧道侧的地表沉降最大值则是 15.69mm，远离隧道侧的地表沉降最大值则是 18.83mm。虽然在地连墙变更后，临近隧道侧地表沉降值总是高于地连墙变更前，但是在离基坑最远处两者基本持平，并且均为超出浙江省规范所给定的 20.85mm 限值。当离基坑到达一定距离后，地连墙变更后的无论是临近基坑侧的地表沉降值还是远离基坑侧的地表沉降值都小于地连墙变更前。由于地表沉降会导致临近建筑物基础的沉降，从而会导致建筑物的不均匀沉降，进而影响建筑物的安全与稳定，所以对地连墙的变更可以很大程度上减缓临近建筑物在施工时受到的影响。从总体上来说，无论是地连墙变更前还是变更后，地表沉降值都在规范要求内，但是在地连墙变更后，离基坑较远处的地表沉降值则得到了改善，这对基坑安全和周边建筑的稳定是有益的，因此对地连墙进行变更是很有必要的。

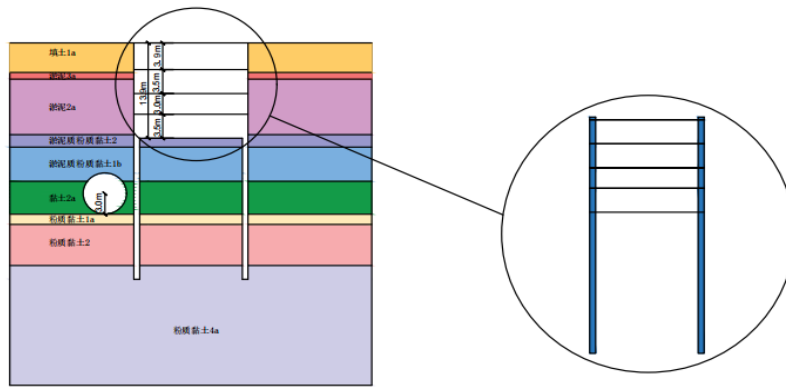


图1 基坑模型

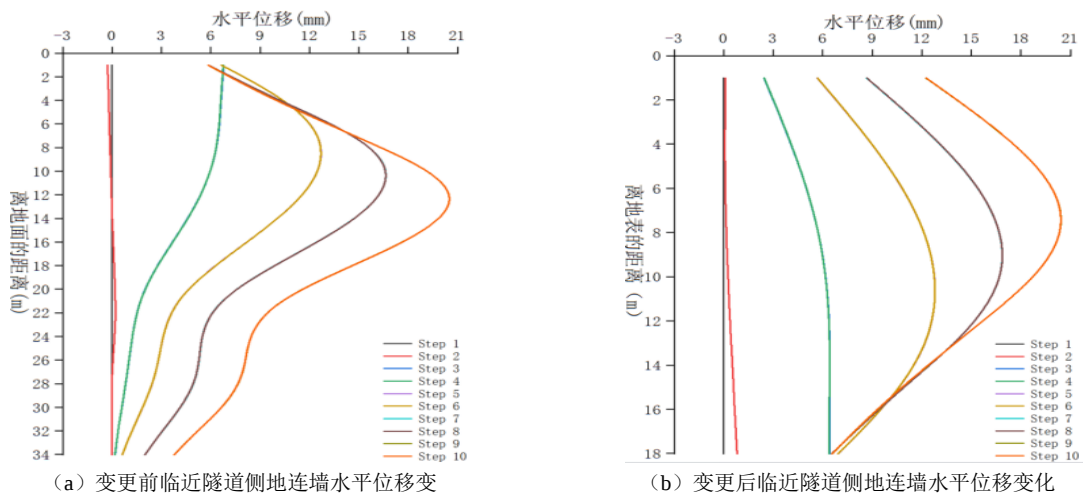


图2 变更前、后临近隧道侧地连墙水平位移变化

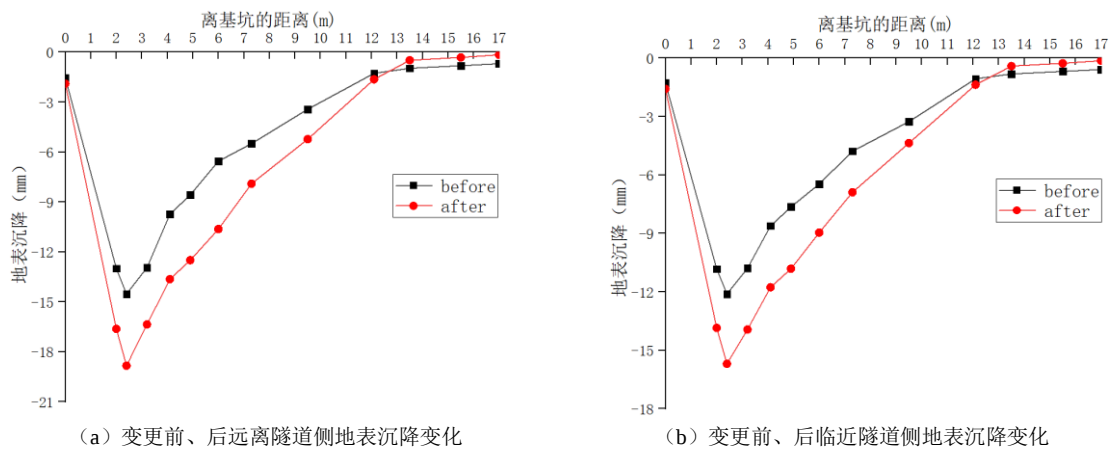


图3 变更前、后地表沉降变化

3.3 地连墙变更前、后隧道顶部和底部竖向位移的对比

由于在该基坑工程水平距离1m处有一地铁隧道，因此如何在施工过程中对临近的已有隧道不造成过多影响也是不得不考虑的问题。为分析在基坑施工过程中，不同地连墙对临近的已有隧道的顶部和底部造成的影响，本文将在不同工况下对地连墙变更前、后隧道顶部和底部中心点处的竖向位移分别进行对比，如图4和图5所示。

从图中可以很明显地看出，随着基坑工程工作的进行，隧道顶部和底部的竖向位移均是在1~3步时地连墙变更后的值大于变更前的值，且竖向位移表现为沉降，而在3~9步时也是地连墙变更前的值大于变更后的值，但竖向位移则表现为隆起，最后在9~10步时则是地连墙变更前的值大于变更后的值，竖向位移也是表现为隆起。但无论是地连墙变更前还是地连墙变更后，隧道顶部和底

部的竖向位移最大值均在 18mm 左右且远大于浙江省规范所给定的 10mm 预警值,但是小于浙江省规范所给定的 20mm 变形控制值,因此对地连墙的改变符合规范。分别对比地连墙变更前、后基坑开挖完成后隧道顶部和底部的竖向位移可知,对地连墙的改变在基坑开挖完成后对于隧道顶部和底部的竖向位移并不会造成较大影响。

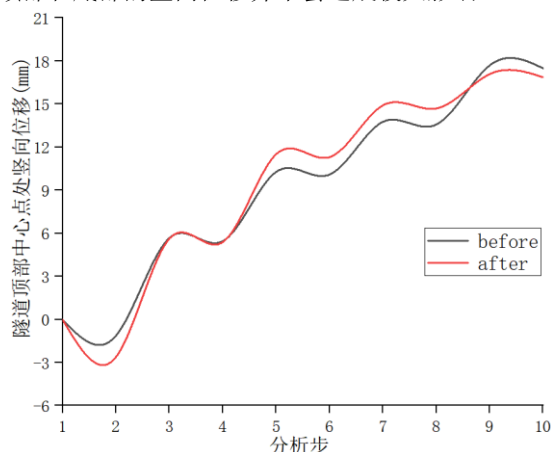


图4 地连墙变更前、后隧道顶部竖向位移变化

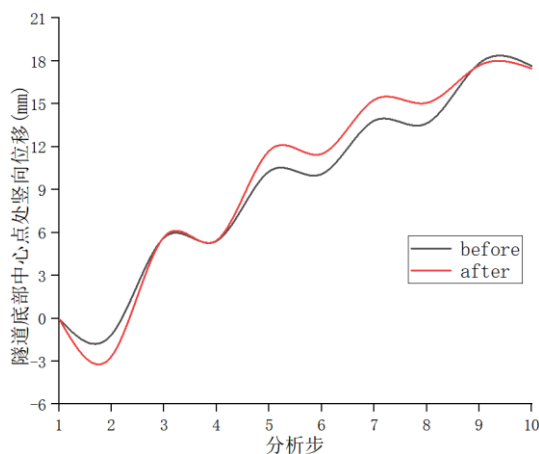


图5 地连墙变更前、后隧道底部竖向位移变化

3.4 地连墙变更前、后隧道临近基坑侧点的水平位移的对比

对于临近隧道的基坑工程来说,施工过程也会对隧道的水平位移造成一定的影响,这在对基坑施工造成的影响进行分析时也是不可忽略的。因此为找出基坑施工过程中,不同地连墙对临近的已有隧道的水平位移造成的影响,将不同工况下地连墙变更前、后对隧道的水平位移的影响进行分析对比,如图6所示。

从图中可以看出,在对地连墙进行变更前,基坑施工对隧道造成的水平位移最大值为 4.94mm,而在对地连墙进行变更后,基坑施工对隧道造成的水平位移最大值增加至 8.55mm,对比之前增加了 42.22%。但是地连墙变更前、后的隧道水平位移最大值均未超出浙江省规范所给出的 20mm 限值,同时也未超出浙江省规范所给定的 10mm 预

警值,因此对地连墙的改变可以认为隧道水平位移的影响是微乎其微的,并且又考虑到实际工程作业时可能会出现的情况,对地连墙的改变可以更好地保护隧道的结构,从而维护隧道的安全和稳定。

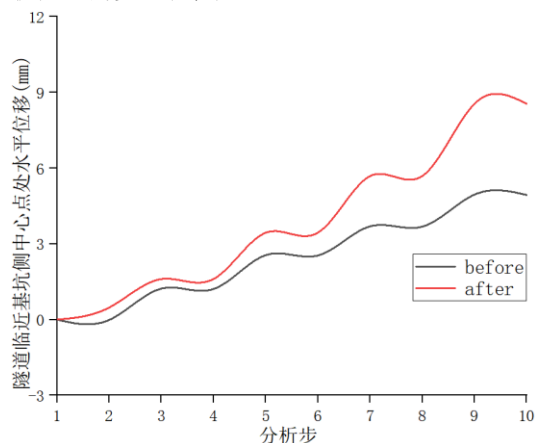


图6 地连墙变更前、后临近隧道侧中心点处水平位移变化

4 结论

本文依托宁波市泽民站基坑分别对地连墙变更前、后使用 Abaqus 有限元分析软件进行了建模计算。

对于地连墙来说,临近隧道侧地连墙的水平位移随着不同基坑施工工序的进行大体上均呈现出先增后减的趋势,而且地连墙的变形趋势均为向中间挤压,并且在地连墙变更前、后临近隧道侧地连墙的水平位移最大值出现的位置发生改变。

对于基坑来说,基坑两侧的地表沉降均呈现出先增加后减少的趋势,并且地连墙变更后地表沉降最大值大于地连墙变更前的地表沉降最大值,但是在离基坑较远处,地连墙变更后的最小值则是小于地连墙变更前的最小值。

对于临近的隧道来说,基坑开挖完成后,地连墙的改变对隧道顶部或底部的竖向位移最大值几乎没有影响,然而会对隧道临近基坑侧的水平位移造成较大影响。

本文对比分析了不同地连墙在基坑开挖时对临近隧道侧地连墙的水平位移、基坑周边场地的沉降、临近的隧道的竖向位移与水平位移的影响,得到了不同地连墙对基坑工程施工的影响规律,对实际的基坑工程设计和施工提供一定的参考。

[参考文献]

- [1]高洪赞,徐天涵,王志华,等.深基坑开挖对自身围护结构及邻近隧道的影响研究[J].中外公路,2024,14(1):10.
- [2]于涛.软土地区深基坑施工对邻近地铁隧道的影响[J].地基处理,2021,3(5):427-432.
- [3]谭树增.软土区基坑开挖对临近隧道及建筑的影响分析[J].江苏建筑,2024(2):84-88.
- [4]李家平,雷丹,杨石飞,等.软土地层临近地铁基坑施工影响控制研究[J].工程勘察,2024,52(4):7-12.

作者简介:李森(1989.2—),性别:男,民族:汉,籍贯:辽宁省沈阳市,学历大学本科,研究方向:地下工程。