

DOI: 10.11779/CJGE2019S2060

常州地铁车站基坑地下连续墙不同接头型式分析

张思源¹, 童立元¹, 朱文骏², 尤迪³

(1. 东南大学岩土工程研究所, 江苏南京 210096; 2. 常州市轨道交通发展有限公司, 江苏常州 213022; 3. 常州市规划设计院, 江苏常州 213002)

摘要: 基于常州地铁 2 号线怀德站基坑工程地下连续墙的设计, 利用 ABAQUS 数值模拟软件, 研究了不同接头型式作用下的地下连续墙接头位置的水平位移变化以及接头型式对地下连续墙、支护体系受力变形的影响规律。研究结果表明: 接头处的最大水平位移多发生在基坑开挖的上部, 据此可以指导工程设计与安全防控, 避免接头位置的位移变形过大及大面积渗漏水情况的发生; 较柔性接头而言, 刚性接头与地下连续墙整体性更好, 可以增强围护结构抵抗侧向变形的能力, 降低支护体系受力, 提升围护结构的稳定性。研究结果可为常州地铁车站基坑工程设计中接头型式的选用提供一定的参考。

关键词: 地铁车站; 地下连续墙; 接头型式; 数值模拟

中图分类号: TU43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2019)S2-0240-04

作者简介: 张思源(1995—), 男, 硕士研究生, 主要从事基坑开挖变形、地下工程方面的研究工作。E-mail: 969950213@qq.com。

Different mechanical modes of diaphragm wall joints for foundation pit of subway station in Changzhou

ZHANG Si-yuan¹, TONG Li-yuan¹, ZHU Wen-jun², YOU Di³

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Changzhou Rail Transit Development Co., Ltd., Changzhou 213022, China; 3. Changzhou City Planning and Design Institute, Changzhou 213002, China)

Abstract: For the design of diaphragm wall of Changzhou metro line No. 1 of foundation pit project at Huaide Station, the horizontal displacement response to different mechanical joint modes and the influences of the joint types on the stress of diaphragm wall and support system are studied through ABAQUS simulation. The results show that the maximum horizontal displacement of the joint is most likely to happen at the upper part of excavation surface of foundation pit, leading to a better guidance to prevent the joints from over-large deformation and large-area seepage. Compared with the relative flexible joint, the rigid joint is more compatible with diaphragm wall, and it can increase resistance of retaining structures to resist deformation and to reduce stress of the support system and increase stability of retaining structures. The results can be as reference for choosing the right joint mode for foundation pit project of subway station in Changzhou.

Key words: subway station; diaphragm wall; joint type; numerical simulation

0 引言

近年来, 随着地下空间开发的力度越来越大, 地下轨道交通以及深基坑工程得到了快速发展, 地下连续墙作为一种可靠的围护结构形式被普遍选用。地下连续墙是集承重、挡土和防水三种功能于一体的基础围护结构形式。接头是地下连续墙结构中的薄弱环节, 其型式的选择与地下连续墙传递应力的能力和止水效果密切相关^[1]。特别是在富水软弱土层中进行基坑开挖, 地下连续墙接头型式的合理选用对基坑工程的稳定性有很大的影响。

本文依托常州市轨道交通 2 号线怀德站基坑工程, 利用 ABAQUS 分析了基坑开挖过程中接头位置

的变形情况, 对比了不同型式接头(工字钢接头、十字钢板接头、圆形锁口管柔性接头)下的基坑开挖地下连续墙及各道支撑的受力变形情况, 以期为常州地铁工程中地下连续墙接头型式的选用提供参考。

1 工程概况及数值模型建立

1.1 工程概况

常州市轨道交通 2 号线怀德站位于劳动西路与怀德北路交叉口北侧, 为地下三层岛式车站, 车站全长约 240 m, 基坑宽度 25.7 m, 标准段开挖深度约 24.85 m。

围护结构为地下连续墙, 厚度 1000 mm, 标准段深度 46 m, 连续墙接头型式选用十字型钢板接头(见图 1)。

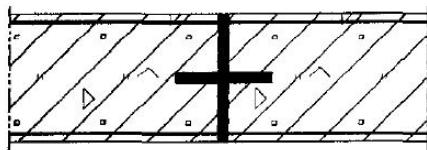


图 1 十字钢板接头^[2]

Fig. 1 Cross-plate joint

1.2 数值模型建立

结合工程实例, 根据现场施工分层测斜监测点的布置情况, 选取基坑中某连续槽段的两幅地下连续墙在 ABAQUS 软件中建立局部模型, 坑内土体采用六步开挖, 初始模型接头型式选用十字型钢^[3], 整体模型长 12.5, 宽 26.7, 高 75 m; 地下连续墙及接头数值模型见图 2, 模型结构参数见表 1, 基坑开挖与支撑示意图见图 3。根据勘察报告, 按场地实际情况划分土层单元, 土体本构模型采用修正剑桥模型, 具体土体参数见表 2。



图 2 地下连续墙及接头数值模型

Fig. 2 Numerical model for diaphragm wall and joint

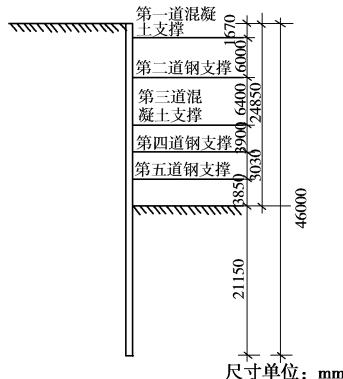


图 3 基坑开挖与支撑示意图

Fig. 3 Sketch map of excavation and support

表 1 模型结构参数表

Table 1 Parameters of model construction

结构名称	重度 $\gamma /(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	弹性模量 /MPa	泊松比
地下连续墙	2500	35000	0.2
十字钢接头	7850	20000	0.3
钢支撑	7900	200000	0.3
混凝土支撑	2500	30000	0.2

表 2 土体参数表

Table 2 Mechanical parameters of soil layers

土层名称	密度 $/(g \cdot \text{cm}^{-3})$	λ	M	κ	泊松比
①填土	1.91	0.101	0.567	0.009	0.31
③ ₂ 黏土	2.01	0.128	0.693	0.012	0.31
⑤ ₁ 黏质粉土夹 粉砂	1.94	0.076	1.200	0.007	0.26
⑤ ₂ 粉砂	1.97	0.072	1.200	0.006	0.24
⑤ _{3a} 黏质粉土	1.90	0.086	1.157	0.008	0.25
⑤ ₃ 黏质粉土夹 粉砂	1.88	0.082	1.157	0.007	0.24
⑧ ₁ 黏质粉土	1.89	0.086	1.243	0.008	0.25
⑧ ₂ 粉砂	1.90	0.081	1.243	0.008	0.24
⑨ _{3a} 粉黏夹粉土	1.97	0.091	0.526	0.009	0.24
⑨ ₅ 粉质黏土	1.97	0.107	0.567	0.010	0.32
⑨ ₆ 黏土	2.03	0.123	0.607	0.012	0.31
⑨ ₇ 粉质黏土	1.98	0.098	0.558	0.009	0.32

2 数值模拟结果分析

2.1 数值模型校验

在分析之前, 为了验证数值模型和各计算参数的合理性, 将基坑开挖到底的地下连续墙的水平位移的模拟计算结果与实际工况中所选的地下连续墙附近的分层测斜监测点的实测数据进行比对, 如图 4 所示。根据曲线可知, 数值模拟的结果基本符合实测数据的变化趋势; 模拟结果的最大水平位移为 16 mm, 最大水平位移对应的深度为 18 m, 而现场实测数据结果显示, 地下连续墙的最大水平位移为 15.7 mm, 最大水平位移对应的深度为 19 m, 二者基本符合, 验证了本文数值模型的准确性。

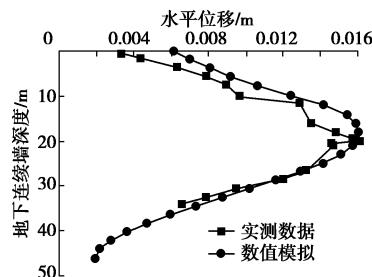


图 4 地连墙水平位移计算结果与实测数据对比

Fig. 4 Comparison between simulation results and measured data

2.2 计算结果分析

(1) 接头处水平位移

图 5 为基坑开挖全过程中接头处所产生水平位移的变化曲线。从曲线可知, 随着开挖深度的不断增加, 地下连续墙接头处的水平位移不断增加, 最大位移深度也随之下降, 整体呈现墙顶和墙底两端变形较小, 中部变形较大的曲线形态。当基坑开挖到底时, 接头处的最大水平位移为 16.2 mm, 对应的最大位移深度为 20 m, $\delta_{\max} / H = 0.81\%$, 满足国家标准中基坑变形

的相关规定^[4]。而值得特别注意的是,在第三层土体开挖之后,曲线在14~15 m附近都出现了明显的位移减小,这可能是由于第三道混凝土支撑的支撑位置正好位于地下连续墙接头附近所导致的,也说明了支撑对水平位移变形起到了较好的控制作用。

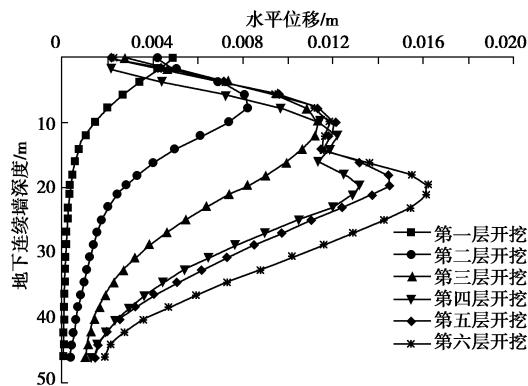


图5 基坑开挖过程中接头处水平位移变化曲线

Fig. 5 Horizontal displacements of joints during excavation

根据模拟结果可知,地下连续墙接头位置在开挖过程中的最大水平位移变形基本出现在基坑开挖的上部,变形过大必然也增大了渗漏水的风险。所以在基坑开挖施工到风险较高的位置的时候应提前做好相应的准备及预警工作,防止出现大面积渗漏水的情况发生,危及施工安全。

(2) 不同接头作用下的影响分析

为充分研究不同接头型式对地下连续墙的承载变形影响,继续选用工字钢接头、圆形锁口管柔性接头开展对比研究。图6为工字钢接头^[5]、圆形锁口管柔性接头^[6]示意图。图7为3种接头型式作用下,基坑开挖完成后,地下连续墙接头处的水平位移变化曲线。从图中曲线可知,不同接头型式作用下的水平位移响应是不同的:当接头为圆形锁口管柔性接头时,基坑开挖所引起的水平位移在第三道混凝土支撑的上下部位置分别出现一个极值点,分别为16.1, 18.0 mm;而选用工字钢跟十字钢板接头两种刚性接头型式时,由于本身接头处的刚度增加,使得最大水平位移有了明显的减小,最大水平位移分别为16.6, 16.0 mm。可见,选用刚性接头能够更好地传递应力,承担外部荷载作用,减小位移变形。

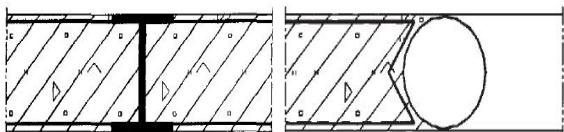


图6 接头示意图

Fig. 6 Diagram of joints

再者,根据模拟结果可知,柔性接头较刚性接头

而言,刚度较差,使得接头处容易发生较大变形,这也一定程度上增加了发生渗漏水的可能性。因此,如果仅考虑防渗作用,工期较短、成本较低的柔性接头则较为适用,但是如今的地铁车站深基坑工程中,地下连续墙的深度逐渐提高,对接头的受力变形要求也越来越高,刚性接头则具备较好的抗剪、抗弯性能,施工过程中产生较小的变形,对大面积渗漏水情况的出现起到更好的预防作用^[7]。

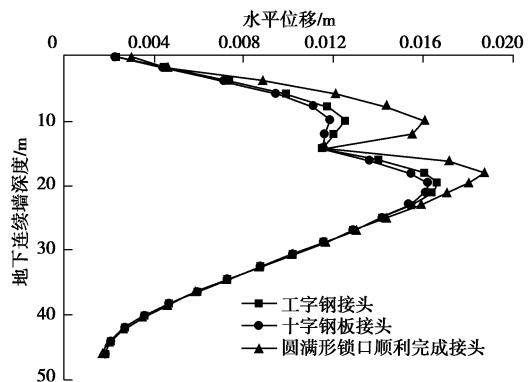


图7 不同接头型式在开挖过程中的水平位移

Fig. 7 Horizontal displacements of different joints during excavation

图8~11为选用不同接头的地下连续墙水平位移随开挖过程变化曲线。由图8,9看出,十字钢板和工字钢两类刚性接头作用下的地下连续墙的水平位移随着基坑开挖的变化趋势大致相同,最大水平位移约为16.3 mm,对应的最大水平位移深度为18 m。而从图10,11看出,当选用圆形锁口管柔性接头时,由于柔性接头传递应力效果较差,缺少抵抗弯矩的能力,地下连续墙槽段间既可以沿接缝发生扭转,又可以产生错动,使得地下连续墙与接头的整体性下降,导致最大水平位移增大到17.5 mm,对应的最大水平位移深度上移到17 m,较刚性接头作用下变形更大。

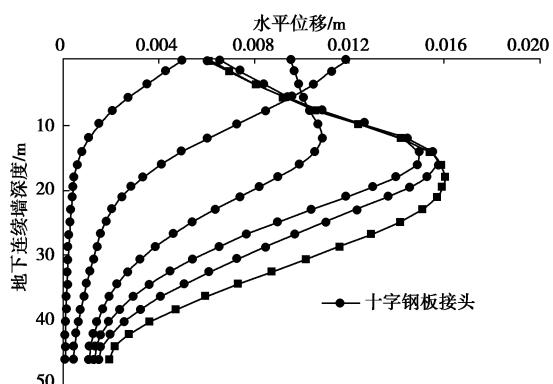


图8 十字钢板接头作用下地连墙水平位移

Fig. 8 Horizontal displacements of diaphragm wall with cross-plate joints

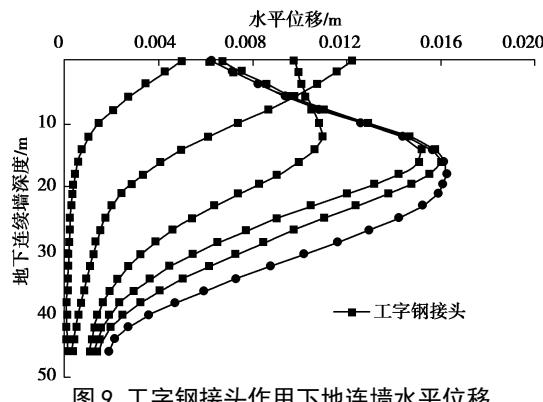


图 9 工字钢接头作用下地连墙水平位移

Fig. 9 Horizontal displacements of diaphragm wall with steel joints

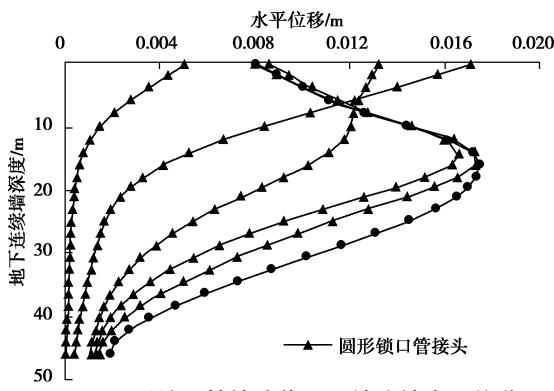


图 10 圆形锁口管接头作用下地连墙水平位移

Fig. 10 Horizontal displacements of diaphragm wall with circular fore shaft pipe joints

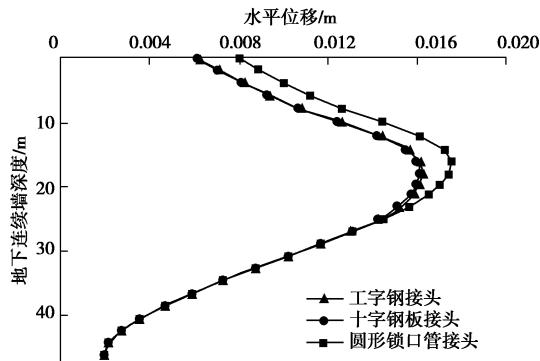


图 11 不同接头型式作用下地连墙水平位移对比

Fig. 11 Comparison of horizontal displacements of diaphragm wall with different joint types

表 3 是不同接头型式作用下, 各道支撑在基坑开挖过程中出现的最大轴力值。由表所示, 两种刚性接头作用下各支撑的轴力值相差不大, 在接头水平位移发生明显减小的第三道混凝土支撑处的支撑轴力较大。当选用圆形锁口管柔性接头时, 由于地下连续墙与接头的整体性降低, 导致自身刚度的降低, 使得各道钢支撑要承受更大的压力, 因此各道钢支撑的轴力则要明显大于刚性接头作用下的支撑轴力, 混凝土支

撑轴力的略微下降可能跟混凝土支撑作用位置靠近接头, 并不是在两槽段的地下连续墙墙身有关。根据模拟结果可知, 不同接头型式的选用不仅影响接头位置的稳定性, 也对基坑的整个支护体系的受力变形产生重要影响^[8]。

表 3 不同接头型式作用下各支撑最大轴力值

Table 3 Axial force of support with different joints

接头型式	各支撑的最大轴力值/kN				
	混凝土支撑 1	钢支撑 2	混凝土支撑 3	钢支撑 4	钢支撑 5
工字钢	3338	3093	4839	2702	2088
十字钢	3367	3055	5021	2681	2078
圆形锁口管	3053	3576	4469	3217	2519

3 结论与建议

为比较不同接头型式在地铁车站基坑工程中的适用性以及对基坑围护结构和支护体系的受力变形影响, 本文对常州地铁建设工作中常见的几种接头型式进行了数值模拟分析, 得到以下 3 点结论。

(1)接头处产生最大侧向变形的位置处于基坑开挖的上部, 工程施工前应准确预测变形位置, 提前做好工程控制, 防止接头变形过大以及大面积渗漏水发生。

(2)刚性接头作用下, 地下连续墙可以很好的抵抗侧向变形, 支护体系受力也有效降低, 提升了围护结构的稳定性, 较柔性接头而言, 对渗漏水情况的出现起到更好的预防作用。

(3)柔性接头作用下, 地下连续墙的整体性降低, 降低了围护结构对土体侧向变形的约束能力, 增加了支护体系的受力, 不适用于变形控制要求较高的深基坑工程; 如果工程设计中使用柔性接头, 尽量在接头位置外侧采用高压旋喷桩加固。

参考文献:

- [1] 王卫东, 徐中华. 深基坑支护结构与主体结构相结合的设计与施工[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(增刊 1): 191–199. (WANG Wei-dong, XU Zhong-hua. Design and construction of deep foundation pit supporting structure and main structure[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(S1): 191–199. (in Chinese))
- [2] 孙立宝. 地下连续墙施工中几种接头形式的对比分析及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(5): 53–56. (SUN Li-bao. Comparison analysis on joint shapes of underground diaphragm wall construction and the application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(5): 53–56. (in Chinese))

(下转第 248 页)