

入土深度对围护结构水平位移的影响

陶月长,吴泽力

(河海大学 土木与交通学院,江苏 南京 210098)

摘要:通过实际监测数据与有限元软件的模拟结果的对比分析,观察围护结构水平方向的规律。利用有限元软件模拟不同地下连续墙的入土深度对围护结构水平位移的影响。结果表明:地下连续墙的顶部水平位移,最大水平位移以及底部水平位移随着不同地下连续墙的入土深度形成的变化曲线均可用数学模型 $y = a/x + b$ 来模拟。

关键词:地铁基坑;入土深度;围护结构;水平位移

中图分类号:TU470

文献标识码:A

The influence of buried depth on the horizontal displacement of retaining structures

TAO Yue - chang, WU Ze - li

(College of Civil Engineering and Transportation, Hohai University, Jiangsu Nanjing 210098, China)

Abstract: The law of the retaining structure were observed through the actual monitoring data and the results of the finite element software simulation contrast analysis. The effect different capacity of the underground continuous wall of on the horizontal displacement of retaining structures was simulated by using finite element software. Top horizontal displacement of the underground continuous wall at the bottom of the maximum horizontal displacement and horizontal displacement with different embedded depth of underground continuous wall formation change curve are available mathematical model $y = a/x + b$ to simulate.

Key words: the subway foundation pit; embedded depth; retaining structures; horizontal displacement

在深基坑工程中,围护结构的作用主要是挡土,其入土深度是由坑底抗隆起稳定性决定^[1]。深基坑开挖所引起的围护结构变形^[2-4]影响因素中围护结构的入土深度^[5-10]是当前研究的重点和难点。由于现场深基坑开挖难以及时对围护参数进行系统全面的研究分析,因此本文以南京某深基坑工程为背景,采用数值分析的方法对围护结构的参数进行系统全面的分析,确定入土深度与围护结构水平位移的关系,研究入土深度对支护结构水平位移的影响规律。

1 工程概况

该基坑工程为一地下2层岛式车站,采用盖挖顺作法施工。车站全长199.8 m,标准段基坑开

挖深度约18 m,宽约20 m,支护结构采用800 mm厚地下连续墙+6道支撑,入土深度约为1.2H,地下连续墙下端嵌入岩层(中等风化岩)4 m,其中第1道为900 mm×1 000 mm的混凝土支撑,其余5道为Φ609 mm,厚度 $t=19$ mm的钢支撑。土层分布主要由填土、粉质黏土、泥沙、砂土构成,其中土层的厚度分别为深8、10、9、7、22 m深。

2 有限元数值模拟及结果分析

2.1 数值模型的建立

本文采用的有限元软件为PLAXIS,它能够模拟复杂的工程地质条件,尤其适合于分析岩土工

表1 土层力学参数
Tab.1 The soil mechanical parameters

土层号	土重度 $r/\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	粘结系数 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/^\circ$	剪胀角 $\varphi/^\circ$	杨氏模量 E/MPa	渗流系数 $k/\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$	泊松比 μ	界面强度折减因子 R_{inter}
1	18	2	27	0	22	0.01	0.32	0.65
2	17	6	25	0	20	0.01	0.30	0.70
3	16	7	20	0	11	0.001	0.35	0.28
4	20	2	30	0	43	0.5	0.28	0.20

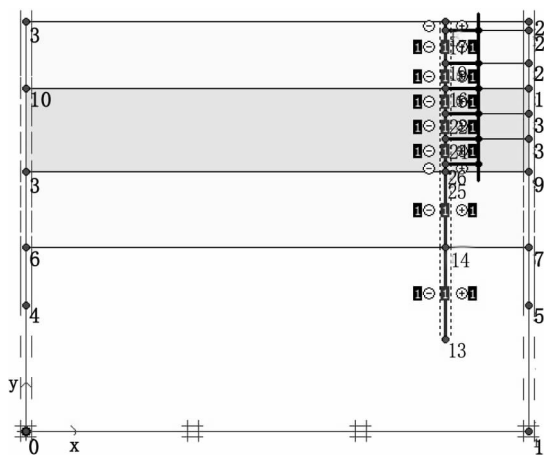


图1 基坑有限元模型

Fig.1 The finite element model of foundation pit



图2 围护结构变形水平位移图

Fig.2 Horizontal displacement diagram of retaining structure deformation

程学中变形、稳定性等。根据工程实况的数据,将薄层土层或参数相近的土层进行合并或简化,设置模拟类型为平面应变,根据平面应变的假设,在计算过程中选用15节点单元来模拟土层,该单元提供4阶位移插值,数值积分采用12个高斯应力点。土体采用摩尔库伦本构模型,地下连续墙采用弹性模型。另外由于接触面的强度参数一般要低于与其相连的土体强度参数,因此考虑用一个折减系数 R_{inter} 来描述接触面强度参数与所在土层的摩擦角和黏聚力之间的关系。在整个模拟过程中不考虑施工进度对土体力学指标的影响以及外部荷载对基坑的影响。本文建模是所采用的参数见如表1。

以此建立有限元模型如图1,围护结构水平位移如图2。

现把有限元模拟值与实测数据进行对比,并形成图3。可发现模拟值与实际值大致吻合,且最大变形基本上处于同一平面,且地下连续墙有明显的“踢脚”现象,其变形呈现中间大两端小的规律,但是模拟值整体比实际值偏小,可能与本文未考虑实际工况中荷载作用影响等有关。因此通过模拟值与实际值的对比,我们发现有限元软件模

拟可以有效的模拟实际基坑变形的情况。另外我们发现实际监测中未能监测到底部的水平变形,可能是由于测斜管底部密封不够导致泥浆等灌入堵住了测斜管,而这种情况在实际工程中也经常发现,因此现场我们需要加强对监测设施的保护,保证实际监测数据的有效性。

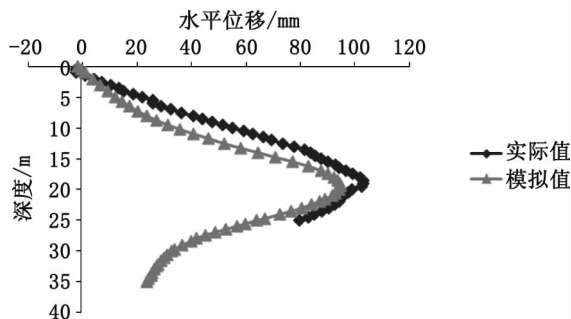


图3 有限元模拟值与实际值的对比

Fig.3 The contrast between finite element simulation value and actual value

2.2 入土深度对围护结构水平位移的影响

因考虑到实际工况难以对地连墙入土深度进行有效的研究,另通过运用有限元软件模拟发现与实际工况较吻合,故这里通过模拟探究入土深度

对围护结构水平位移的影响。

根据上海一地铁车站深基坑的工程经验,围护墙厚度一般采用 $0.05H$ (H 为开挖深度),本文中的墙厚符合该工程经验,插入深度一般采用 $0.6 \sim 0.8H$,对于变形控制要求较严格的基坑,可适当增加插入深度^[10]。本文中的实际工况对于深基坑工程而言,其工程地质条件和水文地质条件不良,故插入深度达约为 $1.2H$ 。因实际工程条件限制,为保证土层厚度,土的物理力学参数^[11-14]等条件一致,故无法将地连墙的入土深度设置过短。改变地连墙的入土深度,分别设为9 m(刚好在两层土层的交界面)、10 m、12 m、14 m、16 m、18 m、20 m(本文的实际入土深度)、22 m、24 m。通过模拟,将数据进行整理,分别将围护结构顶部,最大变形以及底部的水平位移随地连墙的入土深度加深的变化情况进行归纳并制成相应的变化曲线图(见图4)。

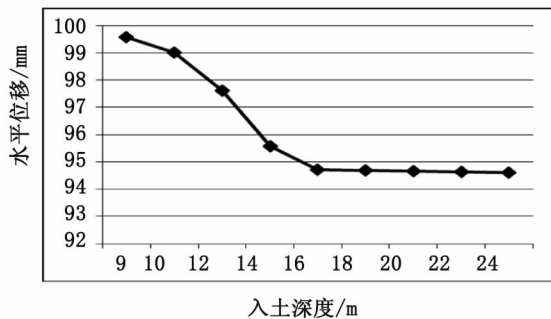


图4 围护结构最大水平变形随地连墙入土深度的变化曲线

Fig.4 The curves of diaphragm wall's mbedded depth with maximum horizontal deformation of retaining structures

图5中为方便统计围护结构顶部变化规律,本文将负值(代表了围护结构结构顶部向基坑外部变形)处理成正值。通过数值模拟计算发现:随着地连墙入土深度的增加,墙体最大变形深度略有提高。当入土深度为9 m时,最大变形位置为19.95 m处;当入土深度达到16 m时,墙体始终处于同一平面,作用位置位于基坑开挖面下1.5 m左右处,符合冯虎等对上海地区最大水平位移出现深度的上下限分别为1.12倍和0.59倍的开挖深度的统计规律。通过图4~图6的变化曲线的对比,相对于围护结构自身最大水平变形和顶部水平变形,围护结构底部的水平位移受到地连墙的入土深度影响最大。入土深度由9 m变化到24 m时,地连墙的变形幅度达到了44.07 mm,变形得到了很好的抑制,但地连墙仍然呈现“踢脚”

现象,而其他两者的变形幅度分别为3.96 mm和0.14 mm,可知随着地连墙的入土深度的加深,对最大变形面上部变形抑制较小,对最大变形面下部抑制较大。从整体变形规律来看,随着地连墙入土深度的增加,三者均呈现开始变形幅度较大,然后渐渐趋于稳定的规律,甚至不再变化。基坑施工过程中,地连墙兼止水和挡土功能于一体。通过适当增加地下连续墙插入深度,可以减小因坑内降水可能引起的地面沉降等环境问题,有助于抑制围护结构的变形,但是当满足一定深度之后继续增加入土深度对围护结构变形的控制是不明显的,反而造成了施工成本以及施工工艺难度的增加。

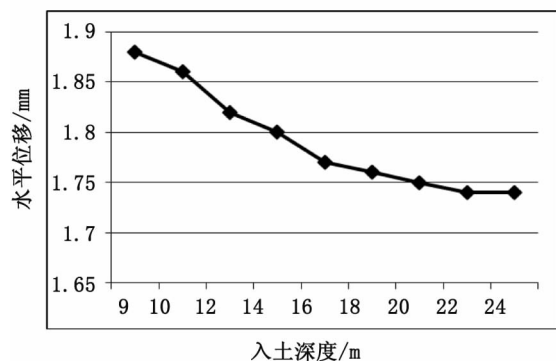


图5 围护结构顶部水平变形随地连墙入土深度的变化曲线

Fig.5 The curves of diaphragm wall's embedded depth with top horizontal deformation of retaining structures

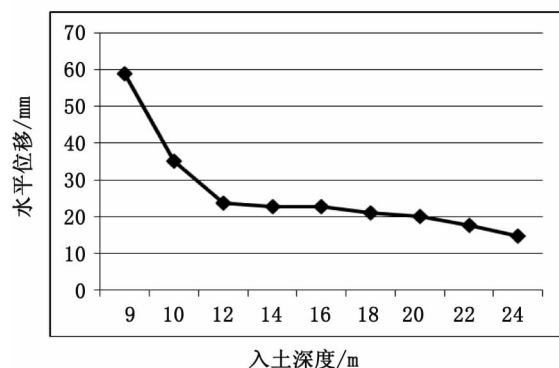


图6 围护结构底部水平变形随地连墙入土深度的变化曲线

Fig.6 The curves of diaphragm wall's embedded depth with retaining structure horizontal deformation

上述与众多相关研究得出的结论^[7-10]相似,本文通过对三个图形的观察以及前人得出的相关变性规律的总结,目前已有地区工程经验地连墙入土深度 $0.6 \sim 1.2H$ 深度范围内,围护结构的变

形曲线可以用数学模型 $y = a/x + b$ 来进行大致的模拟。例如本文中的围护结构底部水平位移变形随地连墙入土深度变形曲线中,在 $0.6 \sim 1.2H$ 深度范围,大约 $10 \sim 22$ m 之间,可以大致算得 $a = 45, b = 20$,即数学模型为 $y = 45/x + 20$ 。因此在该地域或者相似的土层以及支护条件下,已知地连墙的设计长度以及基坑开挖深度,便可以预估围护结构底部水平变形值,为同地域以及同等地质条件下在相似施工条件下提供变形预估并做好防范措施。同样虽然改变地连墙的入土深度对最大水平位移以及顶部水平位移的影响不大,但通过其细小的变化规律我们仍旧可以通过上述的数学函数进行模拟,最大水平位移在 $0.6 \sim 1.2H$ 深度范围,大约 $10 \sim 22$ m 之间,可以大致算得 $a = 15, b = 94.5$,即数学模型为 $y = 15/x + 94.5$,地连墙顶部的在 $0.6 \sim 1.2H$ 深度范围,大约 $10 \sim 22$ m 之间,可以大致算得 $a = 0.84, b = 1.74$,即数学模型为 $y = 0.84/x + 1.74$,均会给围护结构的变形预估提供一定的参考意义。

3 结论

1) 有限元模拟值与实际值大致吻合,模拟效果比较好,符合实际工况。

2) 随着地连墙的入土深度的增加,对围护结构的顶部变形,最大变形以及底部“踢脚”现象均有抑制作用。地连墙的入土深度的改变对围护结构的上部抑制作用相对较弱,随着深度的增加,抑制作用也随之明显。

3) 通过对围护结构顶部变形,最大变形以及底部变形随地连墙入土深度增加而改变的变化曲线观察,在已有工程经验地连墙入土深度的范围内,本文通过数学函数 $y = a/x + b$ 来模拟和预估不同入土深度的围护结构水平位移,为相同地域以及相同地质条件、设计条件下的工程提供有效的参考意义。

参考文献:

[1] 刘建航,侯学渊. 深基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑

工业出版社,1997.

- [2] 姜忻良,徐炳伟. 狭长基坑中地下连续墙的简化计算模型[J]. 工程力学,2009,26(6):33-36.
- [3] 武文永,曹雪山. 南京地铁鸡鸣寺站地下连续墙深层水平位移特性研究[J]. 华东交通大学学报,2014(3):115-119.
- [4] 徐中华,王建华,王卫东. 上海地区深基坑工程地下连续墙的变形性状[J]. 土木工程学报,2008,41(8):81-86.
- [5] 刘冬,曹雪山,刘兴. 深基坑围护结构侧向位移变化规律分析研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2014,31(3):31-34.
- [6] 杜春涛,张建新,王瑞琪. 超大逆作基坑地下连续墙变形分析[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2013,30(3):43-45.
- [7] 施占新. 围护体插入深度与刚度对基坑变形的影响[J]. 施工技术,2004,33(10):10-12.
- [8] 段绍伟,杜飞,沈蒲生. 基坑深度、墙体长度、墙体插入深度对高层建筑深基坑开挖变形的影响[J]. 建筑结构,2002,32(7):27-28.
- [9] 谢文强,王光勇,万晓东,等. 支护结构的刚度、入土深度对拉锚式支护结构水平位移的影响[J]. 岩土工程界,2009(1):41-43.
- [10] 高新南,刘松玉,童立元. 苏州地铁车站基坑多支点咬合桩插入比分析[J]. 东南大学学报:自然科学版,2012(2):352-357.
- [11] 吕爱钟,蒋斌松. 岩石力学反问题[M]. 北京:煤炭工业出版社,1998.
- [12] 高俊合,赵维炳,施建勇. 土体非线性影响的深基坑支护研究综述[J]. 水利水电科技进展,1997,17(4):14-17.
- [13] 乔亚飞,丁文其,王军,等. 无锡地区地铁车站深基坑变形特性[J]. 岩土工程学报,2012,34(Z1):761-766.
- [14] 李淑,张顶立,房倩,等. 北京地区深基坑墙体变形特性研究[J]. 岩石力学与工程学报,2012,31(11):2344-2353.

(责任编辑 王利君)