

文章编号: 1673-9469(2011)01-0025-05

盖挖逆作法施工的地下连续墙变形性状分析

李旭¹, 克胜¹, 张伟²

(1. 天津城市建设学院 土木工程系, 天津 300384; 2. 天津城投建设有限公司, 天津 300143)

摘要: 软土地区超深基坑地下连续墙挡土结构部分的变形大小受众多因素的影响, 地下连续墙的变形特征也随着支撑形式和施工方案的不同而有所变化, 结合实际工程对地下连续墙的变形因素、变形特性进行监测分析和数值模拟, 从而得出了非对称双曲弓形空间侧向变形规律。

关键词: 盖挖逆作; 非对称双曲弓形; 空间变形; 时空效应

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

The deformation character analysis of diaphragm wall used the Cover reverse construction excavation method

LI Xu¹, DING Ke-sheng¹, ZHANG Wei²

(1. Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China;

2. Tianjin City Investment Construction Co., Ltd., Tianjin 300143, China)

Abstract: In soft soil region, the deformation size of the wall which is used as the structure part of retaining is affected by many factors in the ultra-deep pit, the deformation characteristics of the diaphragm wall is distinguished with different support forms and construction programs. Based on the actual project, the deformation factors is analyzed by monitor and the features is analyzed by numerical simulation, we conclude the law of the space lateral deformation is non-symmetric hyperbolic bow.

Key words: cover reverse construction excavation; non-symmetric hyperbolic bow; space deformation; space-time effects

随着城市建设的发展, 深基坑工程设计计算控制标准也相应地从过去的基坑支护结构本身的稳定性转向更高的基坑变形控制, 以达到保护周围环境的目的。所谓变形控制设计是指满足自身和正常使用状态限定条件的, 与一定时域内控制变形目标相适应的支护结构体系设计, 以及对变形实施控制的技术措施。由此可见, 充分认识挡土结构在开挖过程的变形规律是进行变形设计的基础。逆作法由于是先支撑后挖土, 可使挡土结构的变形控制到最小程度, 是一种比较先进的深基坑围护技术, 地下连续墙是这项技术的常用形式之一。对于不同的基坑形状, 在不同的水平支撑和开挖方式下, 其挡土结构的变形特征有一定

的差异, 随着变形控制设计理论在工程中的应用, 开展对地下连续墙变形性状研究分析具有重要意义。

1 地下连续墙变形的影响因素

地下连续墙是支护结构的竖向挡土结构形式之一, 在基坑要求等级高, 周边建筑物密集的市区施工, 对基坑变形提出了更为严格的要求。在设计支护结构时, 不仅计算内力必须满足要求, 而且必须进行基坑变形估算。基坑工程的技术条件复杂, 影响基坑变形的因素概括起来主要有基坑的支护形式、基坑开挖的几何尺寸和开挖深度、有无

收稿日期: 2010-11-09

基金项目: 天津市科技创新专项基金(07FDZDSF01200)

作者简介: 李旭(1988-), 男, 山东枣庄人, 硕士, 从事基坑支护研究

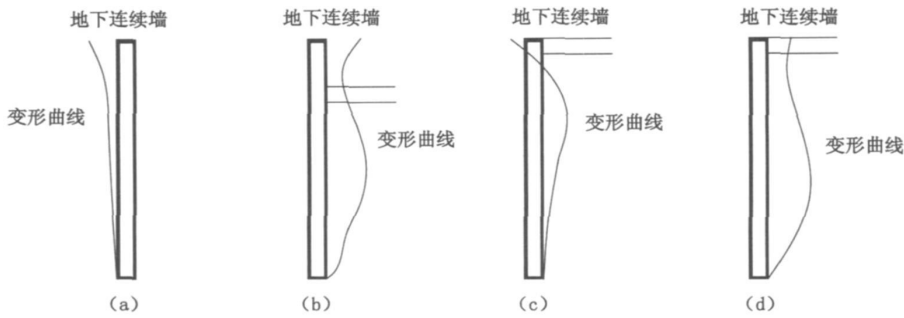


图1 挡土结构位移变形图

Fig.1 Displacement of deformation of retaining structure

内支撑或支撑的刚度、被动区土体是否加固、开挖的分区和先后顺序以及土体的物理力学性质、施工管理等。其中基坑支护形式起决定性因素,地下连续墙支护体系是基坑变形最小的一种方式,影响其变形的主要因素有:地下连续墙自身刚度和稳定性;土方开挖方式和起点、每步土方分段数量、开挖顺序与挖深,以及挖土进展速度;水平支撑刚度、位置和层数;地下连续墙与水平支撑的连接方式,特别是与顶层的连接;地下连续墙相邻两转角间的长度(即墙段长度)及转角形状;地下连续墙与支撑的空间协调作用。

2 变形特性分析

地下连续墙挡土结构的位移形态与水平支撑的连接和基坑的开挖方式紧密相联。研究表明,地下连续墙的变形有以下几种型式:第一种为悬臂式,即在开挖过程中未设置支撑而发生悬臂变形的位移,如图 1(a)所示。第二种为顶端支撑下送的形式,即在开挖面以下某个深度处设置首道支撑,变形曲线呈现出在这一位置附近有较小的向内位移形态,如图 1(b)所示;第三种为在开挖初期就设置水平支撑,它与地下连续墙对接,二者之间的这种连接是先挖土再支撑,顶端也会出现正位移,如图 1(c)所示;第四种为在开挖土方前先设置水平支撑,且地下连续墙与其顶部水平支撑整体连接,即为盖挖逆作法施工,其顶部在土方开挖初期为向坑外的负变形,水平支撑刚度不同,向坑外的负变形不同,但均可以很好的控制地下连续墙的侧向变形量,如图 1(d)所示。

天津站交通枢纽工程是目前我国采用盖挖逆作法施工规模最大的工程,监测项目和数量很多,

地下连续墙的水平变形是其中之一。本工程地下连续墙变形监测等级为一级,采用预埋测斜管的方法监测其侧向变形。在若干监测点中,本文选取同一墙段上的具有代表性的监测点,针对地下连续墙变形的时空效应进行研究,所选测点布置如图 2 所示。

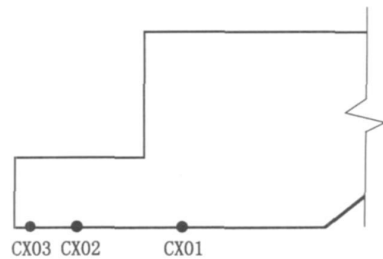


图2 基坑部分形状及测点布置图

Fig.2 The shape of foundation part and layout of measuring points

该研究墙段共有三个测孔,编号分别为 CX01、CX02、CX03。基坑开挖采用从中间向两侧分段依次施工,所测得的主要工况下墙体测斜曲线如图 3(向坑内变形为正)所示。

从图 3 可以看出: CX01, CX02, CX03 三个测点位于地下连续墙的不同位置,各点的位移变化规律基本一致。地下连续墙在土方开挖前处于直立状态,当第一步 6.8 m 厚土方开挖后,坑内土体应力得到释放,由于盖挖逆作法施工,在顶部水平支撑的作用下,顶部地下连续墙向坑外凸出,随开挖深度的加深,在一段时间内变形不断加大。但随着挖土时间的延续,顶端负位移开始减小。而支护结构下部的位移基本上随着开挖深度的增加而不断增大,但在第二道支撑 6.7 m 和第三道支撑 13.3m 处,由于受到支反力的作用,位移增加梯度

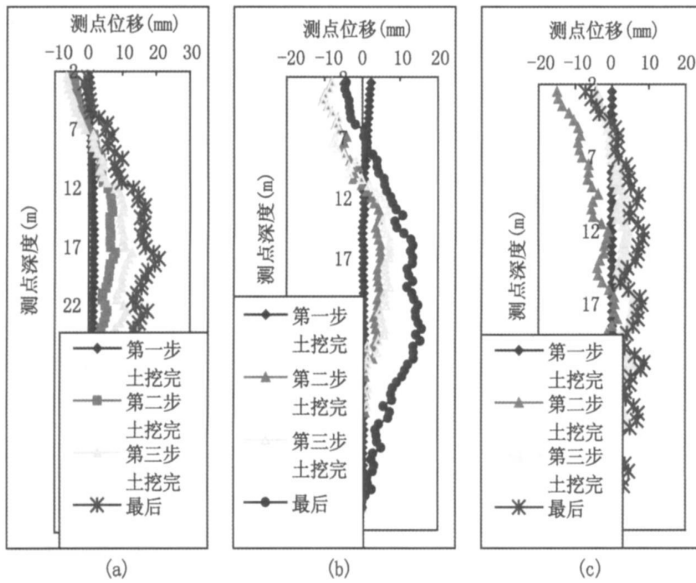


图3 各测点地下连续墙沿竖向水平变形

Fig.3 The vertical level deformation along the diaphragm wall of measuring points

(a) CX01测点; (b) CX02测点; (c) CX03测点

明显减小。地下连续墙最大变形位置逐渐向下移动,最大侧移深度大致位于开挖面的附近。开挖至坑底 25 m 后,变形趋势减缓。地下连续墙在其深度范围内呈现出开挖面上下变形较大,两端变形较小的曲线变形特征。开始时的顶端负变形越大,最后向坑内的正变形越小,符合结构力学计算的变形规律。这说明盖挖逆作法施工对控制基坑变形是非常有效的。

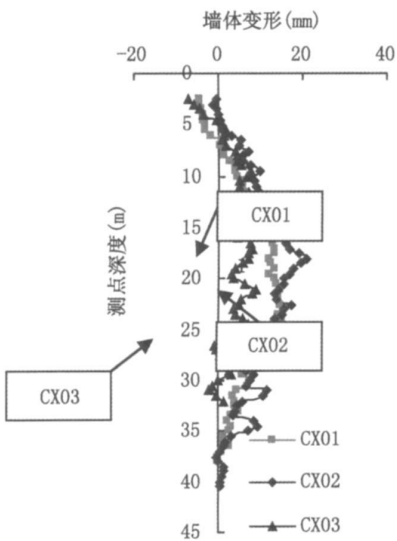


图4 三个测点的最终变形图

Fig.4 The final deformation map of three measuring points

另外对三个测孔处墙体最大位移进行比较,从图 4 可以看出,在同一工况条件下, CX01 最大变形为 15.72mm, CX02 为 16.96mm, 而 CX03 最大变形只有 8.75mm。结合三个测点在地下连续墙的位置分析得出: CX03 测点处于该段墙体的边角处,该测点处两段墙体相互支撑,形成了空间结构,有效控制了支护结构的变形,所以变形值最小;而 CX01、CX02 两个测点处于墙段的中间位置,所以变形相对较大,在开挖过程中,测孔 CX01 处墙体变形略小于测孔 CX02 处墙体,这是由于基坑采用分段开挖,从右向左的方式依次施工, CX02 处墙体开挖暴露较早,而 CX01 处墙体较晚,说明基坑施工开挖的顺序对墙体的变形也有一定的影响。但随着挖土范围的扩大,支护结构的空间受力增加,内力产生重分布,变形在其弹性范围内产生相应的改变,最后挖土停止。变形趋于平稳时,测点 CX01 的变形略大于测点 CX02,说明在同一墙段内,墙段中心的变形最大。在墙的另一深度,沿墙段长度方向的侧向变形同样是两端小,中间大的弓形。在实测中还发现,如果测点距墙段中心相同,但开挖不对称,则先挖出点的变形略大于后挖点。由此可见,整个地下连续墙的变形为非对称双曲弓面形(竖向和纵向)。

从上述分析可以看出,该基坑由地下连续墙和盖板及楼板组成的空间体系支护效果明显,即

时空效应显著。

3 各深度测点随时间的水平位移

由图5~图7各深度测点的变化曲线可以看出,各深度处的变形基本上呈现出一增一减的波浪形曲线,这与工况一、三、五、七浇筑楼板,工况

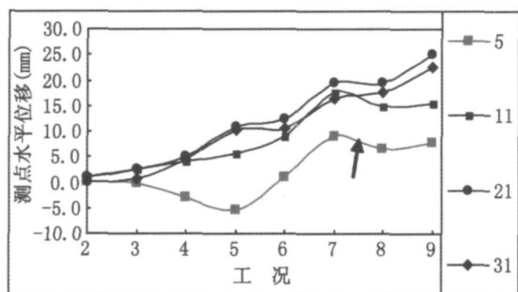


图5 测点CX01各深度处随时间的水平位移

Fig.5 The horizontal displacement over time of many depths of measurement point CX01

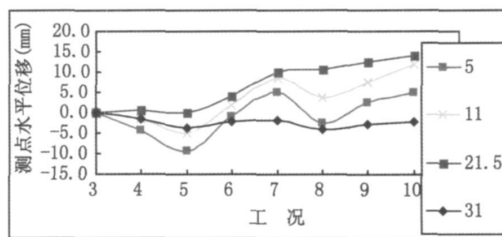


图7 测点CX03各深度处随时间的水平位移

Fig.7 The horizontal displacement over time of many depths of measurement point CX03

二、四、六、八挖土相一致。三个图的最大水平位移分别位于 22.5m、20m 和 25m 处,基本位于开挖面附近。虽然在支楼板时位移会相对减小,但随着施工的进行,各位置处总的变形趋势还是不断加大。而且都呈现出早期增长速率快,后期增长速率慢的特点。

4 基坑开挖的数值模拟结果

由图8可以看出,数值模拟的结果跟实测结果一致,最大位移都发生在开挖面附近,而且也呈现出在开挖面以上随深度的增加,位移增长较快,开挖面以下位移减小较慢的非对称曲线状态。由三个模拟图也可以看出在 CX01 点处变形最大, CX03 处变形较小,较好的符合了实际监测数据。证实了盖挖逆作法施工地下连续墙的变形为双曲弓面形。

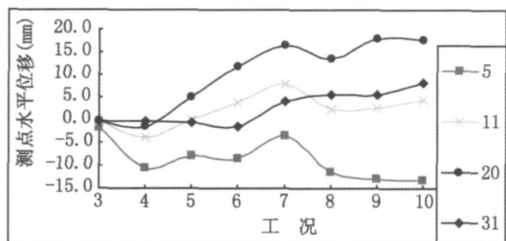


图6 测点CX02各深度处随时间的水平位移

Fig.6 The horizontal displacement over time of many depths of measurement point CX02

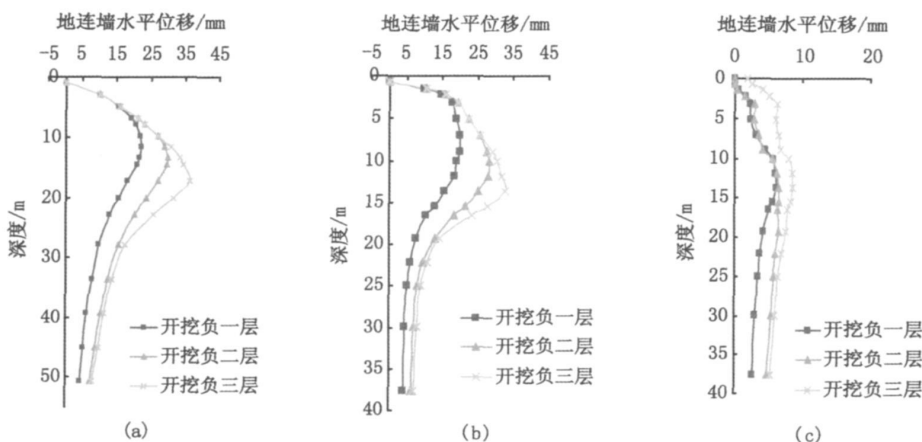


图8 地下连续墙水平位移曲线

Fig.8 Horizontal displacement curve of diaphragm wall (a)CX01点水平位移; (b)CX02点水平位移; (c)CX03点水平位移

5 结语

1) 根据开挖过程存在的时空效应, 缩短基坑开挖后的暴露时间, 尽快见底施工结构底板。

2) 基坑整体开挖起始位置应选择两墙段的交接处、基坑的边角或竖向支护结构的拐点, 以减小地下连续墙变形量。

3) 开挖后及时对墙体进行加固; 在条件允许的情况下, 多划分施工单元。采取盆式开挖的方式能有效减小地下连续墙变形。

4) 在不影响出土的前提下, 减小地下连续墙的横向长度, 从而增加支撑刚度。

(上接第 21 页)

$$a_3 = \frac{3Eb}{2} \left[\frac{l^3 (h_1^6 - h_0^6)}{60(h_1 - h_0)^3} - \frac{l^3 h_0^5}{10(h_1 - h_0)^2} - \frac{l^3 h_0^4}{4(h_1 - h_0)} \right]$$

利用式(13) 求解就比利用式(10) 求解更接近精确解。

当 $h_1 = 2h_0$, $x = l$ 时, 由式(13) 求得变截面梁自由端的挠度为

$$y_{(l)} = \frac{0.022 \ 653ql^4}{EI_{(0)}} \quad (14)$$

与精确解 $y_{(l)} = \frac{0.022 \ 22ql^4}{EI_{(0)}}$ 相比其相对误差为 1.9%, 可见具有相当高的精度。

式中 $I_{(0)} = \frac{bh_0^3}{12}$ 为梁自由端横截面对中性轴的惯性矩。

当取的项越多就越接近精确解, 相应的工作量就越大, 但精度就越高。对于上例, 如果假设位移函数为 $y_{(x)} = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \left[1 - \cos \frac{(2n-1)\pi x}{2l} \right]$, 只要取其中的前几项求解, 很快就会得到其精确解。

参考文献:

- [1] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [2] 李云安. 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.
- [3] 凌宏, 罗小文. 复杂软土深基坑围护结构水平位移的时空效应分析[J]. 建筑科学, 2007, 23(5): 45-48.
- [4] 陈仲颐, 叶书麟. 基础工程[M]. 北京: 中国建筑出版社, 1990.
- [5] 孙志华, 邓义龙, 田红梅, 等. 超长深基坑土方开挖方法[J]. 城市勘测, 2008(6): 152-156.

(责任编辑 刘存英)

3 结论

本文所给出的单位力法、积分法、最小势能原理法, 都是求解变截面梁很好的方法, 其中单位力法、积分法为精确的方法, 最小势能原理法为近似方法。单位力法可以很快求出变截面梁的某个截面的挠度和转角的精确解; 积分法可以求出变截面梁精确的挠曲线方程, 根据挠曲线方程可求出任一截面的挠度和转角的精确解, 对理论研究很有意义。

参考文献:

- [1] 王世斌. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [2] 孙训方. 材料力学(II)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [3] 徐杏华. 基于最小势能原理的悬臂梁弯曲研究[J]. 陕西理工学院学报, 2009, 25(1): 12-16.
- [4] 李自林. 变截面构件受冲击荷载作用时动应力的计算[J]. 河北建筑科技学院学报, 1999, 16(4): 6-9.

(责任编辑 刘存英)