

深基坑支护变形机理及实例分析

齐 亮¹, 刘康和²

(1. 天津蓝巢工程项目管理有限公司, 天津 300202 ; 2. 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津 300222)

摘 要 : 介绍了深基坑支护变形机理 结合工程实例 根据收集整理的深基坑支护变形监测结果 , 简述了深基坑支护变形计算中存在的一些问题 , 并对一些新方法做了简要探讨。

关键词 : 深基坑 ; 基坑支护 ; 变形机理 ; 坑底隆起 ; 周围地层移动

中图分类号 : TU473.2 文献标识码 : A 文章编号 : 1672 - 7428(2005)03 - 0005 - 04

Mechanism of Shoring Transfiguration of Deep Foundation Pit and Case Analysis/ QI Liang¹, LIU Kang-he²(1. Tianjin LANCHAO Engineering Project Management Co. Ltd., Tianjin 300202, China; 2. China Water BEIFANG Investigation, Design & Research Co. Ltd., Tianjin 300222, China)

Abstract : This text introduces the mechanism of shoring transfiguration of deep foundation pit , then , collects and settles the survey result of an engineering example. Some shortcoming is founded in the current design of shoring system. At last , some new calculation methods of ambient stratum displacement are discussed.

Key words : deep foundation pit ; shoring of trench ; the transfiguration mechanism ; apophysis of pit bottom ; ambient stratum displacement

1 深基坑变形机理

基坑变形包括支护结构变形、坑底隆起和基坑周围地层移动。基坑周围地层移动是基坑工程变形控制设计中的首要问题 , 有不少工程因支护结构变形过大 , 导致围护结构破坏或围护结构虽未破坏但周围建筑物墙体开裂甚至倒塌的严重后果。故有必要讨论地层移动机理及支护结构变形、坑底隆起机理。

基坑开挖过程是基坑开挖面卸荷的过程 , 由于卸荷而引起坑底土体产生向上为主的位移 , 同时也引起围护墙在两侧压力差的作用下而产生水平位移 , 因此产生基坑周围地层移动。大家公认 , 基坑开挖引起基坑周围地层移动的主要原因是坑底土体隆起和围护墙的位移。

1.1 坑底土体隆起

坑底隆起是垂直向卸荷而改变坑底土体原始应力状态的反应。在开挖深度不大时 , 坑底土体在卸荷后发生垂直的弹性隆起。当围护墙底为清孔良好的原状土或注浆加固土体时 , 围护墙随土体回弹而抬高。坑底弹性隆起的特征为坑底中心部位隆起最高 , 而且坑底隆起在开挖停止后很快停止。这种坑底隆起基本不会引起基坑周围地层的移动。随着开挖深度增加 , 基坑内外的土面高差不断增大 , 当开挖

到一定深度 , 基坑内外土面高差所形成的加载和地面各种超载的作用就会使围护墙外侧土体向基坑内移动 , 使基坑坑底产生向上的塑性隆起。同时在基坑周围产生较大的塑性区 , 并引起地面沉降。Mana (美) 于 1981 年在旧金山的勒威斯特拉斯大楼 , 按不同开挖深度以理论预测 , 作出了软粘土基坑随开挖深度的增加基坑周围土体移动矢量场及塑性区分布图(见图 1)。

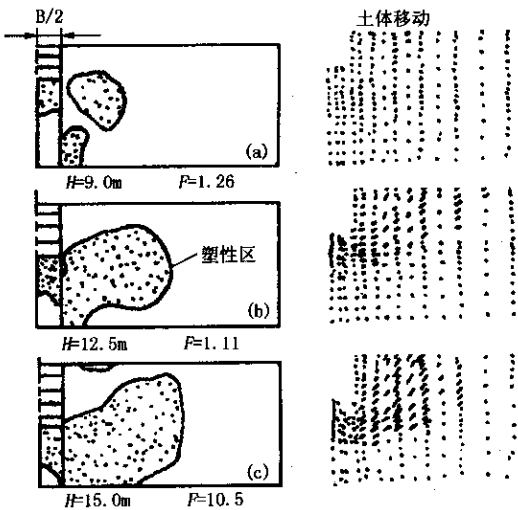


图 1 软粘土基坑随开挖深度增加基坑周围土体移动及塑性区的发展图
H——开挖深度 F——基坑抗隆起安全系数 B——基坑宽度

收稿日期 2004 - 05 - 11 ; 改回日期 2004 - 12 - 08

作者简介 : 齐亮 (1975 -) , 男 (汉族) , 北京人 , 天津蓝巢工程项目管理有限公司工程师 , 结构工程专业 , 硕士 , 从事地基加固与处理及地下工程方面的技术工作 , 天津市河西区龙海公寓 2 - 4 - 1031 (022)23919722 , 13820535320 , ql_211@ sina. com. o

另外,也应看到,基坑开挖后,墙体向基坑内移动,当基底面以下部分的墙体向基坑方向移动时,推挤墙前的土体,造成基底隆起。

基底隆起量的大小是判断基坑稳定性和将来建筑物沉降的重要因素之一。基坑隆起量的大小除和基坑本身特点有关外,还和基坑内是否有桩、基底是否加固、基底土体的残余应力等密切相关。因此,计算基底隆起量的方法虽然很多,但多数方法的计算结果和实测值相差较大。如:日本规范公式、(同济大学)模拟实验经验公式^[2]。

1.2 围护墙的位移

围护墙墙体的变形从水平向改变基坑外围土体原始应力状态而引起地层移动。基坑开始开挖后,围护墙便开始受力变形。在基坑内侧卸去原有土压力时,在墙体外侧则受到主动土压力。而在基坑的围护墙内侧则受到全部或部分被动土压力。由于总是开挖在前,支撑在后,所以围护墙在开挖过程中,安装每道支撑以前总是已发生一定的先期变形。一般挖到设计坑底标高时,墙体最大位移发生在坑底面上 1~2 m 处。围护墙的位移使墙体主动土压力区和被动土压力区的土体发生位移。墙外侧主动土压力区的土体向坑内水平位移,使背后土体水平应力减小,以致剪应力增大,出现塑性区,而在基坑开挖面以下的墙内侧被动土压力区的土体向坑内水平位移,使坑底土体加大水平向应力,以致坑底土体增大剪应力而发生水平向挤压和向上隆起的位移,在坑底处形成局部塑性区。而围护墙水平位移与围护墙外侧地面沉降的比值,以及沉降大小与沉降范围的关系,则可大体示于图 2。

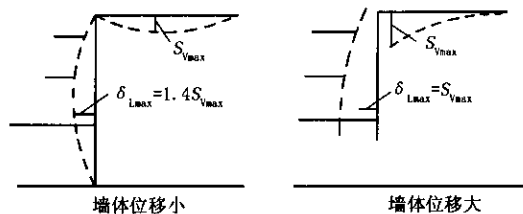


图 2 粘性土中基坑围护墙及地表变形的基本状况图
 δ_{Lmax} ——墙体最大位移; S_{Vmax} ——地面最大沉降

从图 2 中可以看出,墙体位移量小时,墙侧地面最大沉降量约为墙体位移的 70% 或更小,由于墙体位移小,墙外侧与土体间摩擦力可以制约土体下沉,故靠近围护墙处的沉降量很小,沉降范围小于 2 倍开挖深度,而当墙体位移量大时,地面最大沉降量就与墙体位移量相等,此时墙外侧与土体间摩擦力已丧失对墙后土体下沉的制约能力,所以最大沉降量

发生在紧靠围护墙处,沉降范围大于 4 倍开挖深度。因此,同样地质条件和开挖深度下,深基坑周围地层变形范围及幅度,因墙体的变形不同而有很大差异,墙体变形往往是引起周围地层移动的重要原因。

2 工程实例

2.1 工程概况

拟建的泰达图书馆周围环境较为复杂,被 4 条街道所包围,四周相邻街道为柏油路并存在地下管线,西侧为开发区投资服务中心办公楼,地下一层,是开发区对外交流的窗口;东侧为泰达学院住宅(桩基基础 6 层砖混);北靠第三大街,南临宏达路,南北两侧虽为空旷绿地,但地下有重要管线通过。

支护设计采用钢筋混凝土灌注桩围护,大直径混凝土格构环梁支撑组合。坑深 6~10 m,基坑面积 17000 m²,环梁直径 110 m 以上。

根据中国地质科学院工程勘察院天津工程处提供的泰达图书馆岩土工程勘察报告可知:深 3~6 m 范围为杂填土、素填土、粘土,土层水平方向分布不均匀,向下 11 m 范围土层分布较均匀,并且由流塑状态的淤泥质粘土组成,土质的粘聚力和内摩擦角指标分别为 9 kPa、4°,天然含水率 47% 以上,压缩模量约 2.5 MPa;再向下有 3 m 左右的粘土层,土质的粘聚力和内摩擦角指标分别为 14.3 kPa、5.2°,天然含水率 39% 以上,压缩模量约 3.3 MPa;再向下有 2 m 左右的粉土层和粘土层,土质的粘聚力和内摩擦角指标较好,天然含水率降至 19% 和 33%,压缩模量上升至 12.9 和 4.4 MPa,可作为围护桩端的嵌固层。场地地下水属潜水型,平均埋深 1.5 m。

2.2 基坑周围地层移动实测结果与分析

变形观测方法:围墙范围内在基坑四周硬化地面上各选取一个点打入射钉作为沉降观测点,围墙外在市政道路路牙(距基坑 6~8 m)上用红油漆标识作为沉降观测点,采用水准仪进行观测。

实测结果:距基坑 2~3 m 范围内,沉降值较大,在 40~80 mm 范围之间,比计算值(25 mm)大,硬化地面已经断开,道路路牙距基坑 5~6 m 范围内,土体沉降值在 8~12 mm 之间,比计算值(17 mm)小,西侧建筑距基坑约 15 m 范围内,沉降最大值 3.44 mm,东侧建筑距基坑约 30 m 范围内,沉降值很小,可忽略不计;以往对基坑周围地面变形的研究很少,计算多采取分层总和法估算。显然实测值与计算值相差较大(见图 3)。

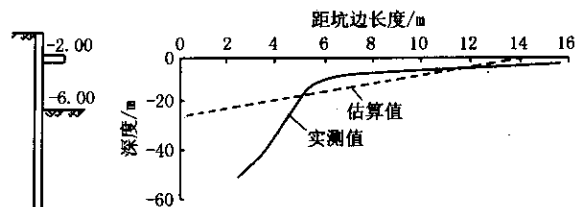


图3 地面沉降观测结果与计算值对比曲线图

由图3可知,上述计算方法存在较大缺陷。是否存在一种新方法,能比较准确地反映基坑周围土体的变形呢?目前,有人在基坑开挖二维非线性有限元分析基础上,已提出三维非线性有限元分析方法计算基坑周围地面变形,其计算结果也比较理想,如图4、5所示。

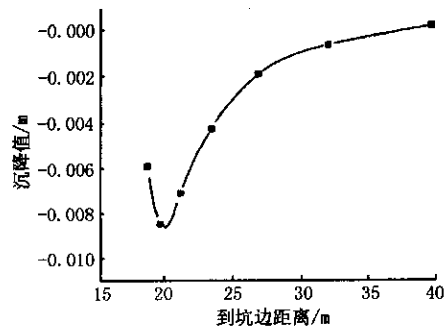


图4 基坑围护墙外侧沉降变形二维曲线图

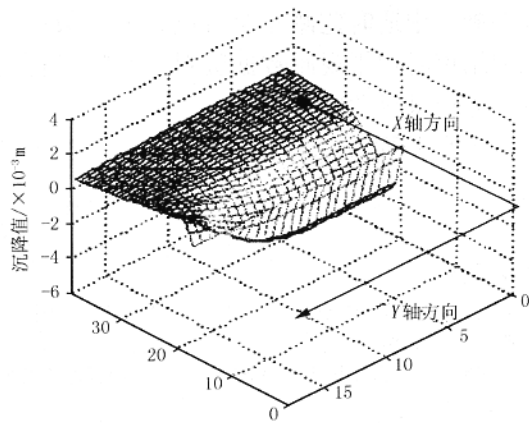


图5 基坑围护墙外侧沉降变形三维曲线图

该曲线计算结果比较符合软土地基发生塑性变形时的情况,尽管不考虑基坑降水引起的土体固结的影响,但比以往的估算方法要准确得多。只是计算方法比较复杂,土体单元采用改进邓肯-张本构模型,建立了耦合接触面而且由三节点、四节点二维有限单元划分发展为三维八节点等参元有限单元和无限单元来模拟基坑周围土体。为了使广大工程技术人员能更好地应用,该方法正在投入商业软件项目的实践与研究工作中。

2.3 基坑及环梁水平位移分析

该工程基坑及环梁水平位移的实测结果是从基

坑开挖到拆除环梁时止,其结果具有一定的代表性。下面分析环梁工作阶段基坑及环梁水平位移情况。

资料显示:土方开挖过程中实测支护结构变形最大(其值为34.6 mm),而且随土方开挖的进展,支撑体系变形的发展也在不断变化。

基坑采用岛式开挖,支撑处挖至-2.3 m,浇注混凝土支撑。尽管没有继续开挖,但环梁已开始工作,并有部分初始位移。当基坑南面已经开挖到接近设计标高-5.8 m,此时支护桩在环梁的约束下,接近平移了3~4 mm,北面已经开挖到接近设计标高-7.8 m,此时支护桩在环梁的约束处位移达到34.6 mm(拆除环梁前支护桩位移最大值),并从环梁的位置到坑底接近线性递减至12 mm。至拆除环梁前,基坑变形比较稳定,南面支护桩在环梁的约束处(-2 m)位移最小(3.9 mm),坑底(-5.8 m)支护桩位移最大(6.4 mm),并从环梁的位置到坑底接近抛物线型递增。北面支护桩在环梁的约束处(-2 m)位移最大(26.1 mm),坑底(-7.8 m)支护桩位移20 mm,并从环梁的位置到坑底接近弧线形递减。水平位移变化的全过程如图6所示。

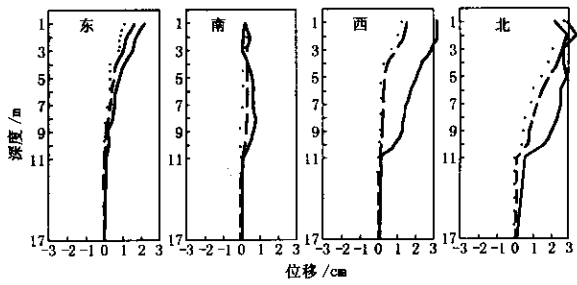


图6 环梁工作阶段围护桩各方向累计位移图
——拆除环梁前的变形值; - - - 开挖过程中的变形值;
.....浇注完环梁时的变形值

由此可见,不仅围护结构最大变形值出现在开挖过程中,而且环梁变形最大值也发生在开挖过程中,而且,都不在工况三(见表1)。

表1 各工况环梁水平位移表 /mm				
工况	东	西	南	北
一	8.5	3.9	10.4	28.6
二	13	4.6	13.9	34.6
三	16.5	1.7	33.0	29.3

注:工况一 2001年11月14日基坑采用岛式开挖,支撑处挖至-2.3 m,浇注混凝土支撑;工况二 2001年11月20日基坑四周开挖至设计坑底标高(除两个出土口外);工况三 2001年12月28日基坑土方开挖工作结束,并浇注完垫层混凝土。

以往在支护设计中不考虑挖土方案,一般由施工单位自己确定,当土方开挖量较小时,对工程影响

不大 ,而一般深基坑开挖土方量都较大 ,因此 ,挖土顺序等挖土方案与设计的吻合性直接影响支护效果的好坏。因此 ,考虑土方开挖过程对支撑系统的影响是十分必要的。

2.4 基坑回弹监测概况

下面我们再来分析环梁浇注完到拆除后坑底(回弹)隆起量 ,监测方法为钻孔埋点法^[3] ,监测点位见图 7。因本工程基坑面积近 17000 m² ,仅以图 7 所示 2 个剖面为例说明。

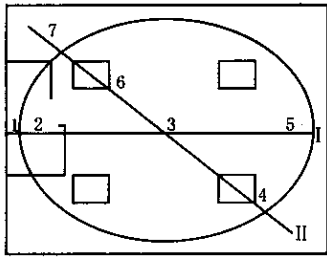


图 7 坑底回弹测点位置图

剖面 I 5 号—3 号—2 号—1 号 ,剖面全长 121 m。5 号和 3 号测点在同一标高(-5.8 m) 5 号、3 号和 2 号相距 52 m ,且 3 号测点为基坑中心 2 号和 1 号测点在同一标高(-7.8 m) 相距 17.4 m。5 号距坑边约 15 m ;1 号距坑边约 4 m。

剖面 II 4 号—3 号—6 号—7 号 ,剖面全长 140 m。4 号、3 号、6 号测点在同一标高(-5.8 m) 4 号、3 号相距 54 m 3 号、6 号相距 36 m ,且 3 号测点为基坑中心 7 号测点标高(-6.8 m) ,与 6 号相距 40 m。4 号和 7 号距坑边约 15 m。

各测点回弹量见表 2。
从实测结果可以看出 ,一个月后 ,泰达图书馆一侧开挖较浅(-5.8 m) 坑底为弹性隆起 ,其特征为坑底中部隆起最高 ,两边相对较少 ;当图书馆一侧继续开挖 1 号、2 号、7 号点时(较深) ,基坑边上的隆起量逐步增加 ,甚至超过坑底中部。从其变形特征

表 2 各测点坑底回弹值表

剖面	测点	坑底回弹值/cm
I	5	13
	3	25
	2	13
	1	20
II	4	19
	3	25
	6	7
	7	30

来看 ,属于塑性隆起。完全符合坑底隆起机理。

3 结语

通过对泰达图书馆基坑工程实例分析 ,说明深基坑支护变形机理研究有助于系统地了解 and 掌握深基坑的实际变形特点 ,以便及时采取相应措施 ,改善基坑内土体性能 ,加快工期以减少基坑暴露时间 ,并及时排降水和控制地面超载和振动等 ,使支护设计达到良好的应用效果。

基坑支护设计应考虑土方开挖和开挖方式或顺序对水平支护结构系统变形的影响 ,加强工程动态监测及其结果的适时分析 ,并在施工设计中具体研究和体现。对于采用信息化施工的基坑支护工程 ,不仅在施工中适时监测并及时反馈分析数据 ,而且在工程结束时积累观测数据资料 ,为科学研究和结构设计等提供科学依据。

由于水平所限 ,文中定有不妥或错误之处 ,敬请指正。

参考文献 :

[1] 孙更生 ,郑大同. 软土地基与地下工程[M]. 北京 :中国建筑工业出版社 ,1984.
[2] 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.
[3] 龚晓南. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京 :中国建筑工业出版社 ,1998.

“ 旋挖钻机推广中新技术、新工艺研讨会(北京) ”在北京举行

本刊讯 由北京市建筑业联合会、中国工程机械工业协会桩工机械分会共同主办 ,湖南山河智能机械股份有限公司承办的“ 旋挖钻机推广中新技术、新工艺研讨会(北京) ”2005 年 2 月 26 日在北京召开。
本次会议与会代表 200 余人 ,有北京市建设委员会、中国工程机械工业协会、中国土木工程学会、中国勘察设计协会工程勘察与岩土分会、中国地质学会探矿工程专业委员会等领导 ,中铁、中冶、中化、中煤、路桥、中建、勘察、城建、北京市政等行业、政府领导 ,旋挖钻具、工艺方面的专家 ,以及对旋挖钻机有着浓厚兴趣的各界人士。
会议紧紧围绕着旋挖钻机在推广应用中出现的难点、热点和大家共同关心的问题 ,就设备、地质、工艺工法、钻具及现场施工方面进行了广泛的技术交流与研讨 ,专题讲座的专家层次高 ,水平高 ,内容

丰富 ,12 位发言嘉宾从各视角、多层面对旋挖钻机的行业现状、发展趋势等进行了专题论述 ,广开思路。会议得到了北京市建设委员会等相关领导的高度重视 ,给予了大力支持 ,引起了社会各界的高度关注 ,取得了较好的社会效益。
与会人员还赴京承高速路十二标段施工现场(北京怀柔焦村) 参观了山河智能旋挖钻机精彩的施工表演。现场 ,山河智能旋挖钻机在整机结构与性能、工作特点、系统集成控制、钢丝绳损耗等方面展示了强大的优势 ,博得了嘉宾们的称赞。
此次会议的召开 ,将成功解决旋挖钻机在使用中遇到的实际问题 ,对国产旋挖钻机的普及使用起到较大的促进作用。
(栗荣亮 供稿)